

B  
9  
1

68

# BELEIDSPLAN WESTERSCHELDE

Deelrapport 2

Microverontreinigingen



W

De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde



# BELEIDSPLAN WESTERSCHELDE

De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde

Deelrapport 2

Microverontreinigingen

Werkgroep

Waterbeheer Westerschelde

April 1989

Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren  
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg

Rijkswaterstaat Directie Zeeland  
Postbus 5014, 4330 KA Middelburg

VLI (VZW)  
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEEL  
FLANDERS MARINE INSTITUTE  
Oostende - Belgium  
INSTITUTE







## INHOUDSOPGAVE

|          |                                                                          |          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Samenvatting</b>                                                      | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>Inleiding</b>                                                         | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>De aanvoer van zware metalen en organische microverontreinigingen</b> |          |
| 3.1      | Inleiding                                                                | 5        |
| 3.2      | Jaarvrachten van zware metalen en organische microverontreinigingen      | 5        |
| 3.2.1    | De Schelde                                                               | 5        |
| 3.2.2    | Directe afvalwaterlozingen                                               | 6        |
| 3.2.3    | Polderlozingen                                                           | 6        |
| 3.2.4    | Neerslag                                                                 | 6        |
| 3.2.5    | Het Kanaal Gent-Terneuzen                                                | 7        |
| 3.2.6    | Stortingen van baggerspecie                                              | 7        |
| 3.2.7    | Het Zoommeer                                                             | 7        |
| 3.3      | De antropogene fractie van de belasting aan zware metalen                | 9        |
| 3.3.1    | Analyse van de antropogene invloed                                       | 9        |
| 3.3.2    | De antropogeniteitsfactor                                                | 10       |
| 3.3.3    | Analyse van de concentratie-opbouw                                       | 10       |
| <b>4</b> | <b>Ruimtelijke variatie, trends en processen</b>                         |          |
| 4.1      | Inleiding                                                                | 13       |
| 4.2      | Zware metalen                                                            | 15       |
| 4.2.1    | Zink                                                                     | 15       |
| 4.2.2    | Koper                                                                    | 17       |
| 4.2.3    | Chroom                                                                   | 17       |
| 4.2.4    | Lood                                                                     | 17       |
| 4.2.5    | Cadmium                                                                  | 18       |
| 4.2.6    | Nikkel                                                                   | 18       |
| 4.2.7    | Kwik                                                                     | 18       |
| 4.2.8    | Arseen, ijzer en andere metalen                                          | 19       |
| 4.3      | Olie                                                                     | 20       |
| 4.4      | Organische microverontreinigingen                                        | 20       |
| 4.4.1    | Vluchtige organochloorverbindingen                                       | 20       |
| 4.4.2    | Extraheerbare organochloorverbindingen                                   | 21       |
| 4.4.3    | Dichloorbenzenen                                                         | 22       |
| 4.4.4    | Trichloorbenzenen                                                        | 22       |
| 4.4.5    | Cholinesterase-remmers                                                   | 23       |
| 4.4.6    | Fungiciden                                                               | 23       |
| 4.4.7    | De pesticiden endosulfan-alpha, pp-DDT, -DDD en -DDE                     | 23       |
| 4.4.8    | Polychloorbifenylen (PCB's)                                              | 24       |
| 4.4.9    | Fenolen en polychloorfenolen                                             | 24       |
| 4.4.10   | Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)                       | 24       |
| 4.5      | Radioactieve stoffen                                                     | 25       |
| 4.5.1    | Inleiding                                                                | 25       |
| 4.5.2    | Resterende bèta-activiteit                                               | 26       |
| 4.5.3    | Tritium                                                                  | 27       |
| 4.5.4    | Totale alpha-activiteit                                                  | 28       |
| 4.5.5    | Radium-226                                                               | 29       |

|          |                                                                   |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5      | Radioactieve stoffen (vervolg)                                    |    |
| 4.5.6    | Toetsing aan de normen voor de basiskwaliteit                     | 29 |
| 4.6      | Waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde               | 30 |
| 4.6.1    | Grondslag van de kwaliteitsbeoordeling                            | 30 |
| 4.6.2    | Uitwerking van de methode                                         | 30 |
| 4.6.3    | Waterkwaliteitsdoelstellingen                                     | 31 |
| 4.6.4    | Toetsing van de waterkwaliteit aan de doelstellingen              | 32 |
| <b>5</b> | <b>Risico's bij het vervoer van gevaarlijke stoffen</b>           |    |
| 5.1      | Inleiding                                                         | 35 |
| 5.2      | Vervoer van olie en olieproducten                                 | 35 |
| 5.2.1    | Omvang van het vervoer en aard van de lading                      | 36 |
| 5.2.2    | Calamiteiten en risico-analyse                                    | 36 |
| 5.2.3    | De verspreiding van geloosde olie en olieproducten                | 37 |
| 5.2.4    | De verontreiniging door olie als gevolg<br>van scheepsongevallen  | 38 |
| 5.3      | Vloeibare toxische stoffen                                        | 38 |
| 5.3.1    | Inleiding                                                         | 38 |
| 5.3.2    | Omvang van het vervoer                                            | 39 |
| 5.3.3    | Het risico van calamiteiten                                       | 40 |
| 5.3.4    | De verspreiding van vloeibare toxische stoffen                    | 40 |
| 5.3.5    | Schadelijke effecten van vloeibare toxische stoffen               | 41 |
| 5.4      | Beoordeling van de risico-analyse                                 | 42 |
| 5.5      | Maatregelen                                                       | 43 |
| 5.5.1    | Maatregelen om calamiteiten te voorkomen                          | 43 |
| 5.5.2    | Maatregelen in geval van een calamiteit                           | 44 |
| <b>6</b> | <b>Biologische effecten van contaminanten</b>                     |    |
| 6.1      | Inleiding                                                         | 45 |
| 6.2      | Effecten van zware metalen                                        | 46 |
| 6.3      | Effecten van organische microverontreinigingen                    | 47 |
| 6.4      | Effecten van olieverontreiniging                                  | 48 |
| 6.4.1    | Effecten van olie op vegetatie en bodemdieren                     | 48 |
| 6.4.2    | Effecten van olie op vogels                                       | 49 |
| 6.5      | Effecten van radioactieve stoffen                                 | 50 |
| 6.6      | Gehalten van contaminanten in<br>bodemdieren uit de Westerschelde | 50 |
| 6.6.1    | PCB's                                                             | 50 |
| 6.6.2    | PAK's                                                             | 51 |
| 6.6.3    | Cadmium                                                           | 52 |
| 6.6.4    | Koper                                                             | 53 |
| 6.6.5    | Kwik                                                              | 53 |
| 6.6.6    | Samenvatting van de ruimtelijke variaties                         | 53 |
| 6.6.7    | Trends in gehalten van contaminanten in de Mossel                 | 54 |
| 6.6.8    | Vergelijking met andere Nederlandse kustwateren                   | 56 |
| 6.7      | De relatie met de waterkwaliteit : concentratiefactoren           | 57 |
| 6.7.1    | Concentratiefactoren seston/water                                 | 57 |
| 6.7.2    | Concentratiefactoren bodemdieren/seston                           | 57 |
| 6.7.3    | Concentratiefactoren Visdiefje/Garnaal                            | 58 |
| 6.8      | Beoordeling van de verontreiniging van de Westerschelde           | 59 |
| 6.8.1    | Effecten van zware metalen                                        | 59 |
| 6.8.2    | Effecten van organische microverontreinigingen                    | 60 |



## **7 Sanering van de belasting aan microverontreinigingen**

|       |                                                                        |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1   | Het saneringsprogramma voor de Nederlandse lozingen                    | 63 |
| 7.2   | Vergelijking met de saneringsinspanning voor de Rijn                   | 65 |
| 7.3   | Het belang van de Belgische saneringen                                 | 65 |
| 7.4   | Voorgenomen saneringen                                                 | 65 |
| 7.4.1 | Het Rijn-Actieplan                                                     | 65 |
| 7.4.2 | De Noordzeeconferentie                                                 | 66 |
| 7.4.3 | Toelichting op onderdelen die voor de Westerschelde van belang zijn    | 67 |
| 7.5   | Effecten van sanering                                                  | 67 |
| 7.5.1 | Inleiding                                                              | 67 |
| 7.5.2 | Effecten van sanering van de zware-metalenbelasting                    | 68 |
| 7.5.3 | Effecten van sanering van de belasting aan organische micro's          | 68 |
| 7.6   | Verdergaande sanering                                                  | 69 |
| 7.6.1 | De natuurlijke concentratieniveau's                                    | 69 |
| 7.6.2 | De geactualiseerde waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde | 70 |
| 7.6.3 | Effecten van verdergaande saneringen                                   | 70 |

## **8 Beleidsontwikkeling**

|       |                                             |    |
|-------|---------------------------------------------|----|
| 8.1   | Het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid       | 73 |
| 8.2   | Internationale afspraken                    | 74 |
| 8.3   | Beleidsuitgangspunten voor de Westerschelde | 75 |
| 8.3.1 | Algemeen                                    | 75 |
| 8.3.2 | Doelen                                      | 75 |
| 8.3.3 | Voorwaarden                                 | 76 |
| 8.3.4 | Maatregelen                                 | 76 |
| 8.3.5 | Nader onderzoek                             | 78 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| Geciteerde literatuur | 79 |
|-----------------------|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| Overzicht van figuren  | 84 |
| Overzicht van tabellen | 87 |
| Overzicht van bijlagen | 89 |
| Colofon                | 90 |

## **Bijlagen en figuren**





## 1 SAMENVATTING

Van de anorganische microverontreinigingen in de Westerschelde treedt cadmium het sterkst op de voorgrond. Het cadmiumgehalte in het water is voor 95-98% het gevolg van menselijke activiteiten. De concentraties van andere zware metalen zijn voor 60 à 75% van antropogene herkomst. Bovendien is cadmium, na kwik, het meest-toxische metaal voor ongewervelde bodemdieren. Beide stoffen staan op de zwarte lijst.

De grootste hoeveelheid cadmium wordt aangevoerd door de Schelde. Op het grenspunt Schaar van Ouden Doel is het gemiddelde cadmiumgehalte in de periode 1975-1985 gedaald van 2,6 naar 1,5 µg/l. Bij Vlissingen echter worden in de periode 1981-1986 van tijd tot tijd sterk verhoogde gehalten geconstateerd, waarvan de oorzaak niet met zekerheid bekend is.

Alléén de gehalten van chroom en nikkel voldoen in de meest-recente jaren (1985/1986) aan de waterkwaliteitsdoelstellingen die in deze nota zijn afgeleid uit de basiskwaliteitsnormering van zoetwater. Na een 50%-reductie van de belasting, conform de afspraken gemaakt tijdens de Noordzee-Ministersconferentie, zal alleen het cadmiumgehalte nog beduidend hoger zijn dan de geactualiseerde waterkwaliteitsdoelstelling. Uit ecotoxicologische overwegingen dient de cadmiumbelasting met 75% verminderd te worden. Het huidige cadmiumgehalte in mosselen uit de Westerschelde is zeven maal hoger dan in soortgenoten uit de Oosterschelde. Bij dieren uit de omgeving van Terneuzen ligt het gehalte maar net onder de grens waarboven groeiremming verwacht kan worden.

Op grond van de huidige ecotoxicologische kennis zijn PCB's, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en organotinverbindingen de belangrijkste organische microverontreinigingen in de Westerschelde. Alleen van de eerste twee categorieën bestaat een beeld van de verspreiding in het estuarium. De toxiciteit van tributyltin is echter dermate groot dat de toepassing van deze stof in aangroeiwerende verven met spoed dient te worden verboden.

Bodemdieren uit de Westerschelde (Wadpier, Nonnetje, Zeeduizendpoot) vertonen relatief-hoge PCB-gehalten. Deze gehalten liggen ruim boven het no-effectlevel voor eindpredatoren, zodat rekening gehouden moet worden met reproductievermindering bij duikeenden, steltlopers en (bodem)visetende predatoren. De PCB-belasting zal met 80 à 90% gereduceerd moeten worden.

Ook voor PAK's is een dergelijk reductiepercentage noodzakelijk, om aan de geactualiseerde waterkwaliteitsdoelstellingen te kunnen voldoen. De aanwezigheid van deze verbindingen verhoogt de prevalentie van levertumoren bij platvis. Het PAK-gehalte in de Westerschelde neemt af van oost naar west. Te Schaar van Ouden Doel daalde de gemiddelde concentratie van 0,37 µg/l in 1980 tot 0,21 µg/l in 1985. De gehalten vertonen echter een sterke fluctuatie in de tijd, wat er op wijst dat een belangrijk deel van de PAK-belasting het gevolg is van illegale olielozingen.

Voor vele andere organische microverontreinigingen ontbreekt de ecotoxicologische kennis om een verdergaande sanering dan 50% te beargumenteren. Hier dient het voorzorgsprincipe te worden toegepast. Een algemene reductie van de gehalten aan microverontreinigingen is voorwaarde voor een verbetering van de natuurfunctie van de Westerschelde.



## 2 INLEIDING

Deze nota is opgesteld ter onderbouwing van het beleid voor de Westerschelde, met betrekking tot de belasting aan zware metalen en organische microverontreinigingen. Dit beleid is verwoord in het integrale beleidsplan Westerschelde.

In tegenstelling tot de andere Zeeuwse rijkswateren wordt de Westerschelde sterk beïnvloed door lozingen van gemeentelijk en industrieel afvalwater. Deze lozingen vinden plaats op zowel het Belgische als het Nederlandse deel van het hydrografische bekken. Tot in de zeventiger jaren ging het in vrijwel alle gevallen om de emissie van ongezuiverd afvalwater, wat resulteerde in een hoge belasting met afbreekbare organische stof, nutriënten, zware metalen en organische microverontreinigingen. Een eerste planmatige sanering van de Nederlandse lozingen werd uitgewerkt in het in 1979 verschenen "Waterkwaliteitsplan Zuidelijke Deltawateren 1979, periode 1980-1984". Een belangrijke sanering werd in 1983 gerealiseerd door de ingebruikname van de rwzi te Bath. Hiermee werd tevens de vracht aan zware metalen, afkomstig van de galvanische industrie in West-Brabant, verder gereduceerd.

De belasting met microverontreinigingen in de periode 1981-1987 wordt gerapporteerd in hoofdstuk 3 van deze nota. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende categorieën belastingsbronnen. Alleen de vrachten vanuit de Schelde zijn over de gehele periode bekend.

In hoofdstuk 4 wordt de ruimtelijke variatie en de ontwikkeling in de tijd van de waterkwaliteit beschreven, met betrekking tot microverontreinigingen en radioactiviteit. Deze beschrijving is gebaseerd op waarnemingen op vier meetpunten langs de lengteas van het estuarium. Een belangrijk onderdeel van dit hoofdstuk is de formulering van waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde. Hiermee wordt een toetsingsmogelijkheid gecreëerd voor de verschillende waterkwaliteitsparameters die routinematig in het estuarium gemeten worden.

Op de drukbevaren Westerschelde vormt het grootschalig transport van gevaarlijke stoffen een apart probleem. Inzicht in de risico's van dit vervoer is vereist om te kunnen beoordelen of en hoe de veiligheid op de Westerschelde verder geoptimaliseerd kan worden. Inzicht in de verspreiding van chemicaliën na een scheepsramp maakt het mogelijk om maatregelen te treffen die de gevolgen van een calamiteit kunnen beperken. In hoofdstuk 5 wordt de huidige kennis gepresenteerd.

Hoofdstuk 6 geeft de waargenomen gehalten van zware metalen, PAK's en PCB's in enkele belangrijke bodemdieren van de Westerschelde. Deze gehalten zijn het resultaat van de verontreiniging van water en bodem, in combinatie met fysisch-chemische processen in het estuarium en biochemische in de organismen. Om het effect van waterkwaliteitsscenario's op gehalten in diersoorten te kunnen voorspellen, zijn concentratiefactoren bepaald.

In hoofdstuk 7 wordt het huidige programma voor de sanering van de afvalwaterstromen besproken en de noodzaak van een verdergaande sanering beargumenteerd. In hoofdstuk 8 tenslotte, worden voorstellen geformuleerd voor het toekomstig waterkwaliteitsbeleid in de Westerschelde.



### *Verantwoording van de rapportage*

Deze nota maakt deel uit van een rapportage van onderzoek waarin de ecologische ontwikkeling van de Westerschelde wordt beschreven ter onderbouwing van het beleid voor dit estuarium. Om praktische redenen is de rapportage opgesplitst in vier deelnota's, getiteld :

- 1 Zuurstof- en nutriëntenhuishouding
- 2 Microverontreinigingen
- 3 Slibhuishouding en bodemkwaliteit
- 4 Morfologische structuur en dynamiek

Deze nota's zijn vervaardigd door de Werkgroep Waterbeheer Westerschelde, een samenwerkingsverband tussen de Dienst Getijdewateren en de Directie Zeeland van de Rijkswaterstaat.

### *Samenstelling van de Werkgroep Waterbeheer Westerschelde*

|                          |                                                                       |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Directie Zeeland :       | L. Bijlsma (voorzitter)                                               |
|                          | W. Iedema                                                             |
|                          | J.P. Swart                                                            |
| Dienst Getijdewateren :  | J. Coosen                                                             |
|                          | A.M.B. Holland                                                        |
|                          | T. Pieters (vanaf juni 1988)                                          |
|                          | F. Steyaert (tot juni 1988)                                           |
|                          | J. Stronkhorst                                                        |
|                          | T. Walhout ( <i>secretaris</i> )                                      |
|                          | C.J. van Westen                                                       |
| RDD Aquatic Ecosystems : | R. Bijkerk ( <i>redactionele ondersteuning</i> ; vanaf augustus 1988) |

### **3 DE AANVOER VAN ZWARE METALEN EN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN**

#### **3.1 Inleiding**

De Westerschelde wordt verontreinigd door een groot aantal belastingsbronnen, die onderverdeeld kunnen worden in de volgende categorieën :

- De afvoer van de Schelde;
- De directe lozingen van huishoudelijk en industrieel afvalwater;
- De lozingen van polderwater;
- De neerslag;
- De afvoer van kanalen;
- De stortingen van baggerspecie.

De bijdrage van elk in de totale belasting is afhankelijk van de afgevoerde hoeveelheid water en de concentratie van de verontreinigingen hierin. De afvoeren in de rapportageperiode 1981-1987 zijn gepresenteerd in deelrapport 1, samen met de belasting aan nutriënten en zuurstofbindende stof. In dit hoofdstuk wordt de belasting aan microverontreinigingen besproken.

Eerst worden de grensoverschrijdende jaarvrachten te Schaar van Ouden Doel en de jaarvrachten vanuit de overige bronnen gerapporteerd. De grensoverschrijdende vrachten zijn berekend over de gehele periode 1981-1987. De vrachten vanuit de overige bronnen zijn alleen bepaald over het peiljaar 1985, waarvoor de gegevens het meest compleet zijn. De informatie over de organische microverontreinigingen is overigens zeer onvolledig.

Vervolgens wordt vastgesteld welk deel van de belasting aan zware metalen is toe te schrijven aan menselijke activiteiten. Tenslotte wordt aangegeven wat de relatieve bijdrage is van de onderscheide belastingsbronnen in de totale antropogene belasting van de Westerschelde.

#### **3.2 Jaarvrachten van zware metalen en organische microverontreinigingen**

##### **3.2.1 De Schelde**

Bijlage 1 presenteert de jaarvrachten aan microverontreinigingen die aangevoerd zijn door de Schelde in de periode 1981-1987. Bij de berekening van deze vrachten is gebruik gemaakt van de waterkwaliteitsgegevens voor het meetpunt Schaar van Ouden Doel uit het WAKWAL-bestand van Rijkswaterstaat. Deze waarnemingen zijn gecorrigeerd voor de verdunning met zeewater. De hoogte van de afvoer op dit punt is berekend uit het gemeten debiet te Schelle. De methode waarmee de jaarvrachten zijn berekend is beschreven in hoofdstuk 3 van deelrapport 1.

De vrachten variëren van jaar tot jaar wat onder andere het gevolg is van de wisselende afvoer van de Schelde. Desondanks is deze rivier voor de Westerschelde verreweg de belangrijkste belastingsbron van zware metalen. Dit kan afgeleid worden uit tabel 1, waarin de vrachten over het jaar 1985 per bron zijn samengevat.

TABEL 1 *De belasting van de Westerschelde met zware metalen (opgelost en particulier gebonden), in 1985.*

| Bron           | Vracht in 10 <sup>3</sup> kg/jaar |        |       |       |         |      |       |       |
|----------------|-----------------------------------|--------|-------|-------|---------|------|-------|-------|
|                | koper                             | nikkel | zink  | chrom | cadmium | kwik | lood  | ijzer |
| Schelde        | 69                                | 78     | 403   | 89    | 8       | 1    | 92    | 17134 |
| Dir. lozingen  | 3,6                               | 4,0    | 23    | 0,8   | 0,4     |      | 2,1   |       |
| Baggerspecie   | 11,8                              | 4,5    | 18,4  | 15,3  | 0,4     |      | 8,6   |       |
| Kanalen        | 0,6                               | 2,1    | 27,4  | 1,7   | 0,1     | 0,01 | 1,6   |       |
| Polderlozingen | 7,2                               | 2,9    | 9,1   | 1,6   | 0,1     | 0,1  | 1,8   |       |
| Neerslag       | 2,7                               | 0,5    | 37,2  | 0,1   | 0,1     | 0,01 | 2,8   | 12,1  |
| Totaal         | 84,8                              | 92,5   | 518,1 | 108,5 | 9,1     | 1,1  | 108,9 | 17146 |

### 3.2.2 Directe afvalwaterlozingen

Langs de gehele Westerschelde vinden lozingen plaats van zowel huishoudelijk als industrieel afvalwater (zie figuur 1). De belangrijkste bronnen zijn de persleiding bij Waarde, de afvalwaterleiding (awl) van de Kanaalzone bij Terneuzen, het industriegebied Sloe en de gemeenten Middelburg, Vlissingen en Goes. De geschatte vrachten aan zware metalen vanuit deze belastingsbron in het jaar 1985, staan vermeld in tabel 1. De vrachten aan organische microverontreinigingen zijn onvoldoende te kwantificeren.

### 3.2.3 Polderlozingen

Via zo'n 25 uitwateringssluizen en gemalen wordt overtollig polderwater van Walcheren, Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen uitgeslagen op de Westerschelde (zie figuur 1). De belasting aan zware metalen via deze lozingen is voor het jaar 1985 bepaald op basis van waterkwaliteitsgegevens die verzameld zijn door de Technologische Dienst voor de Waterschappen (tabel 1). Van organische microverontreinigingen zijn onvoldoende gegevens beschikbaar.

### 3.2.4 Neerslag

De totale omdijkte oppervlakte van de Westerschelde bedraagt 31.961 ha, waarvan 7.530 ha droogligt bij een waterstand op NAP-niveau [11]. De gemiddelde neerslaghoeveelheid in dit gebied bedroeg 760 mm in 1985 [29]. De totale neerslagbegroting op de Westerschelde in dit jaar bedroeg dus  $243 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Op basis van gegevens over de samenstelling van regenwater, verzameld door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, is de belasting van de Westerschelde door zware metalen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) berekend (tabel 1 en 2).



TABEL 2 *Belasting van de Westerschelde met polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en PCB's (opgelost en particulier), in 1985.*

| Bron            | Vracht in 10 <sup>3</sup> kg/jaar |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | PAK's                             | PCB's  |        |        |        |        |        |
|                 | 6 van Borneff                     | 28     | 52     | 101    | 153    | 138    | 180    |
| Schelde         | 1,640                             | 0,004  | 0,007  | 0,011  | 0,013  | 0,014  | 0,013  |
| Dir. lozingen   | ± 0,400                           | ?      | ?      | ?      | ?      | ?      | ?      |
| Polderlozingen  | -                                 | ?      | ?      | ?      | ?      | ?      | ?      |
| Neerslag        | 0,020                             | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| Kan. Gent-Tern. | 0,350                             | 0,0005 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0005 |
| Baggerspecie    | 0,080                             | 0,0002 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0003 | -      |

### 3.2.5 Het Kanaal Gent-Terneuzen

Het Kanaal Gent-Terneuzen staat bij Gent via sluizen in verbinding met de rivier de Schelde. Hierdoor is het water in dit kanaal voornamelijk Scheldewater. De belasting vanuit dit kanaal wordt dan ook in belangrijke mate bepaald door de verontreiniging van de Schelde via deze voorbelasting in België. Daarnaast wordt het kanaal belast met een aantal directe lozingen op Belgisch grondgebied. Tussen Sas van Gent en Terneuzen vinden geen lozingen van betekenis plaats. Voor de berekening van de jaarvrachten kan daarom gebruik gemaakt worden van de waterkwaliteitsgegevens voor het meetpunt Sas van Gent [49, 50, 51, 52]. De resultaten staan in de tabellen 2 en 3.

### 3.2.6 Stortingen van baggerspecie

In de Westerschelde wordt reeds vele jaren baggerspecie gestort. Deze specie is afkomstig van de Schelde en van de Westerschelde zelf. Voor de berekening van de belasting op de Westerschelde is alleen de aanvoer van specie uit België van belang; in 1985 bedroeg deze  $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Op de stortlocaties zijn gehalten aan zware metalen bepaald, die gebruikt zijn voor de berekening van de jaarvrachten (tabel 1).

### 3.2.7 Het Zoommeer

#### *Tijdens de ontzilting*

Tijdens de ontzilting van het Zoommeer, in de periode mei 1987-februari 1988, is gemiddeld ongeveer  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  Zoommeerwater via de Bathse Spuisluis op de Westerschelde geloosd [53]. De kwaliteit van het gespuide water is iedere twee maanden onderzocht. Van de geanalyseerde organische microverontreinigingen zijn alleen pentachloorfenol (PCP) en aldrin enkele malen in meetbare concentraties aangetroffen. Tabel 3 geeft de maandvrachten van

cadmium, lood, nikkel, koper, PCP en aldrin. Sinds augustus 1987 is het chloridegehalte van het Zoommeerwater lager dan van het Scheldewater bij Bath. De nikkelbelasting vanuit het Zoommeer bedraagt in de laatste maanden van 1987 5 à 10% van de nikkelaanvoer via de Schelde. De belasting aan cadmium, lood en koper is berekend op 1% van de Scheldevrachten, die aan PCP op maximaal 5%. Daarentegen is de vracht aan aldrin in november vergelijkbaar met de aldrinbelasting vanuit de Schelde.

TABEL 3 *Belasting van de Westerschelde met microverontreinigingen (opgelost en particulier gebonden), door lozingen vanuit de Bathse Spuisluis in 1987.*

| Maand    | Debiet<br>m <sup>3</sup> /s | Vracht<br>kg/maand   |      |        |       |        |        |
|----------|-----------------------------|----------------------|------|--------|-------|--------|--------|
|          |                             | cadmium              | lood | nikkel | koper | PCP    | aldrin |
| mei 1987 | 50                          | 0-1,48 <sup>1)</sup> | 148  | 444    | 148   | 0-0,15 | 0-0,15 |
| jun      | 50                          | 0-1,51               | 151  | 453    | 151   | 0-0,15 | 0-0,15 |
| jul      | 50                          | 0-1,17               | 136  | 513    | 171   | 0-0,17 | 0-0,17 |
| aug      | 50                          | 0-1,80               | 108  | 540    | 180   | 0-0,36 | 0-0,18 |
| sep      | 50                          | 0-1,06               | 32   | 318    | 106   | 0,42   | 0-0,11 |
| okt      | 50                          | 2,28                 | 80   | 421    | 193   | 1,82   | 0-0,11 |
| nov      | 50                          | 2,30                 | 69   | 609    | 115   | 3,22   | 0,23   |
| dec      | 50                          | 1,78                 | 53   | 471    | 89    | 2,49   | 0,18   |

1) Dergelijke ranges geven aan dat het totaalgehalte lager was dan de betreffende detectielimiet van 0,001 µg/l voor de organische en 0,01-0,1 µg/l voor de anorganische microverontreinigingen.

#### *Na de ontzilting*

Sinds februari 1988 wordt gemiddeld 14 m<sup>3</sup>/s via het spuimiddel Bath en 6 m<sup>3</sup>/s via de Kreekraksluizen op de Westerschelde gebracht. In tabel 4 is voor enkele zware metalen een schatting gegeven van de resulterende jaarvrachten. Deze schattingen zijn gebaseerd op gehalten in het Zoommeerwater, bepaald over de periode januari-juni 1988. De jaarvrachten aan cadmium en lood zijn geschat op 0,3 à 0,4%, die van nikkel en koper op 6 à 8% van de belasting vanuit de Schelde. Concentraties van organische microverontreinigingen zijn in deze periode niet bepaald.

TABEL 4 *Geschatte belasting van de Westerschelde met zware metalen (totaal), door lozingen vanuit de Bathse Spuisluis en de Kreekraksluizen in 1988.*

| Jaar | Debiet<br>m <sup>3</sup> /s | Vracht<br>10 <sup>3</sup> kg/jaar |       |        |       |
|------|-----------------------------|-----------------------------------|-------|--------|-------|
|      |                             | cadmium                           | lood  | nikkel | koper |
| 1988 | 20                          | 0,022                             | 0,315 | 4,400  | 4,400 |

### 3.3 De antropogene fractie van de belasting aan zware metalen

#### 3.3.1 Analyse van de antropogene invloed

Om de effecten van sanering op de waterkwaliteit te kunnen bepalen is het nodig om de antropogene bijdrage aan de gehalten van zware metalen te kennen. Hiertoe zijn referentieconcentraties voor de Westerschelde berekend op basis van de "natuurlijke" concentraties in het instromende water.

Tabel 5 geeft een overzicht van de natuurlijke concentraties van zware metalen. Uiteraard zijn de natuurlijke concentraties van xenobiotische microverontreinigingen zoals PCB's, organochloorpesticiden en chloorbenzenen, nul; de waargenomen gehalten van deze verbindingen zijn volledig toe te schrijven aan antropogene invloeden.

TABEL 5 *Natuurlijke concentraties van zware metalen (opgelost en particulier gebonden), in het water dat de Westerschelde instroomt.*

| Watermassa                          | Concentratie in $\mu\text{g/l}$ |        |      |       |      |       |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------|------|-------|------|-------|
|                                     | cadmium                         | kwik   | lood | koper | zink | chrom |
| Schelde <sup>1)</sup>               | 0,12                            | 0,09   | 11   | 5     | 34   | 8     |
| Kanaal Gent-Tern.<br>en polderwater | 0,08                            | 0,05   | 5    | 3     | 18   | 4     |
| Vlissingen-Breskens                 | 0,027                           | 0,009  | 1,10 | 0,50  | 3,4  | 0,8   |
| Centrale Noordzee <sup>2)</sup>     | 0,027                           | 0,0033 | 0,17 | 0,40  | 0,73 | 0,68  |

1) Afkomstig c.q. afgeleid uit [58];

2) Afkomstig c.q. afgeleid uit [20].

Zowel de referentiesituatie als de actuele verspreiding van de microverontreinigingen in het peiljaar 1985, is berekend met het model VEDWAM [17, 19, 54]. Bij het vergelijken van berekende en gemeten concentraties moeten enkele eigenschappen van dit model in acht worden genomen.

Op de eerste plaats is bij de berekeningen verondersteld dat de stoffen zich conservatief gedragen. Hierdoor mag verwacht worden dat de berekende concentratie in het algemeen te hoog zal zijn. Op de tweede plaats berekent VEDWAM de gehalten voor de getijgemiddelde situatie, terwijl de metingen meestal worden uitgevoerd rond de hoog- of laagwaterkentering. Op de derde plaats geeft het model de concentraties gemiddeld over de verticaal; de metingen daarentegen, zijn representatief voor de bovenste halve meter van de waterkolom. Uit onderzoek is gebleken dat de slibconcentratie gemiddeld over de verticaal een factor één tot drie groter kan zijn dan in de bovenste halve meter. Toch is er in het algemeen een redelijke overeenkomst tussen de ranges van berekende concentraties en die van de meetgegevens, al zijn de berekende maxima aan de hoge kant (zie tabel 6).



TABEL 6 *De ranges van waargenomen en berekende jaargemiddelde totaalgehalten van zware metalen in de Westerschelde, voor het jaar 1985.*

| Metaal  | Waargenomen<br>$\mu\text{g/l}$ | Berekend met VEDWAM<br>$\mu\text{g/l}$ |
|---------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Cadmium | 0,7 - 1,2                      | 1,8 - 2,0                              |
| Kwik    | 0,05 - 0,17                    | 0,07 - 0,21                            |
| Lood    | 8,2 - 14,2                     | 6 - 18                                 |
| Koper   | 6 - 12                         | 5 - 13                                 |
| Zink    | 27 - 56                        | 23 - 81                                |
| Chroom  | 4 - 15                         | 6 - 17                                 |

### 3.3.2 De antropogeniteitsfactor

Van elk van de berekende metaalgehalten is de antropogene fractie,  $A$ , bepaald met behulp van de relatie :

$$A = \frac{C_{85} - C_{\text{ref}}}{C_{85}} \quad (1).$$

Hierin is  $C_{\text{ref}}$  de met VEDWAM en de gegevens uit tabel 5 berekende referentieconcentratie en  $C_{85}$  het berekende gehalte voor de belastingssituatie in het jaar 1985.

De antropogene fractie is bepaald voor de punten Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Lamswaarde en voor het Belgisch-Nederlandse grenspunt. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 2 tot en met 7. Uit deze berekeningen blijkt dat het antropogene aandeel in het cadmiumgehalte ongeveer 95% is. De concentraties van de andere metalen zijn voor 60 tot 75% toe te schrijven aan menselijke activiteiten.

### 3.3.3 Analyse van de concentratie-opbouw

De relatieve bijdrage van de diverse belastingsbronnen aan de antropogene fracties van deze zware metalen is nader onderzocht. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de Schelde, het Kanaal Gent-Terneuzen en een restgroep met daarin de industriële en communale lozingen, de polderuitslag en de neerslag. De resultaten zijn grafisch weergegeven in de figuren 8 tot en met 13. Duidelijk blijkt dat de invloed van de Schelde overheersend is. Wat zink en chroom betreft levert ook het Kanaal Gent-Terneuzen een wezenlijke bijdrage. Wat koper betreft is de bijdrage van de groep "overige belastingsbronnen" aanzienlijk. Dit is vooral een gevolg van de hoge kopervrachten die met het polderwater op de Westerschelde komen (zie tabel 1). Opmerkelijk is de bijdrage van de neerslag aan de belasting met koper, zink en lood. Deze benadert of overtreft zelfs de bijdrage van de directe, industriële en communale lozingen (zie tabel 1). Het effect van

sanering op de antropogene fractie van de zware-metalenbelasting wordt gekwantificeerd in hoofdstuk 8.

Wat de organische microverontreinigingen betreft zijn de beschikbare gegevens ontoereikend om de relatieve bijdragen van de diverse bronnen aan te kunnen geven. Nader onderzoek is gewenst naar de belasting door directe lozingen en de lozingen van polderwater.





## 4 RUIMTELIJKE VARIATIE, TRENDS EN PROCESSEN

### 4.1 Inleiding

#### *Het meetprogramma*

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling in de waterkwaliteit van de Westerschelde in de periode 1981-1986 beschreven. De waterkwaliteitsgegevens zijn door Rijkswaterstaat routinematig ingewonnen en maken deel uit van het landelijke WAKWAL-bestand. In de Westerschelde liggen vier meetpunten, te weten Schaar van Ouden Doel, waar tweewekelijks bemonsterd is en de punten Hansweert, Terneuzen en Vlissingen, waar maandelijks bemonsterd is. De monsternamen en -voorbehandeling zijn uitgevoerd conform de voorschriften van het monitoringprogramma "Kwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren" van de Dienst Binnenwateren/RIZA en de Dienst Getijdewateren van Rijkswaterstaat (zie bijvoorbeeld [49]). De analyses van microverontreinigingen zijn uitgevoerd door het laboratorium van het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA) van Rijkswaterstaat. In een watermonster van 1 liter zijn van de meeste zware metalen zowel de opgeloste als de totaalgehalten bepaald; van organische microverontreinigingen zijn uitsluitend totaalgehalten gemeten. Voor sommige organische microverontreinigingen is de analysemethode niet gevoelig genoeg om lage concentraties van deze stoffen te detecteren. In de loop der jaren zijn de analysetechnieken wel verbeterd waardoor de detectiegrenzen verlaagd zijn.

De waargenomen concentraties op het meetpunt Schaar van Ouden Doel zijn een resultaat van de belasting van de Schelde op Belgisch en Frans grondgebied. De concentraties op het meetpunt Vlissingen zijn een afspiegeling van zowel de belasting van de Schelde en het Kanaal Gent-Terneuzen, als van de directe lozingen op Nederlands grondgebied en die langs de Belgische kust.

#### *Processen*

De verspreiding en het lot van microverontreinigingen worden in een aquatisch systeem bepaald door fysisch-chemische processen, de waterbeweging en de interactie tussen water en bodem. Wat de organische microverontreinigingen betreft zijn verdamping, fotolyse, biodegradatie, hydrolyse en adsorptie/desorptie aan sediment, belangrijke fysisch-chemische processen. Voor zware metalen zijn ondermeer van belang: De adsorptie/desorptie aan sediment, de binding aan sulfides en de opname door algen.

Microverontreinigingen zijn deels opgelost en deels geadsorbeerd aan particulier materiaal. Tussen de opgeloste en particulier-gebonden fractie van een stof bestaat een concentratie-evenwicht, dat beïnvloed wordt door fysisch-chemische condities zoals het zuurstofgehalte, de zuurgraad en het chloridegehalte. De transportprocessen, die de concentratieverdeling van microverontreinigingen in de Westerschelde bepalen, zijn verschillend voor de opgeloste en particulier-gebonden fractie. De opgeloste fractie is in de waterkolom onderhevig aan verdunning en een zeewaarts gericht transport, die gestuurd worden door het toevoerdebiet en het concentratie-

verschil tussen bron en zee. De concentratieverdeling van de particulaire fractie is afhankelijk van het sedimenttransport (met name van slib), zoals dat in de Westerschelde van nature bestaat als gevolg van stroming, wind e.d. [3]. Dit particulier transport wordt ook door de mens beïnvloed, via het baggeren, de specie-storting en de zandwinning (zie deelrapport 3).

Het overgrote deel van de particulier-gebonden microverontreinigingen accumuleert in sedimentatiegebieden. Vanuit deze gebieden kan vervolgens nalevering optreden van opgeloste verontreinigingen. Hieronder wordt kort ingegaan op deze relatie tussen bodem en waterfase.

#### *De interactie tussen bodem en oppervlaktewater*

In het zuurstofrijke oppervlaktelaagje van het sediment bestaat er evenwicht tussen de fractie zware metalen die opgelost is in het interstitiële water en de fractie die geadsorbeerd is aan de fijne sedimentdeeltjes. Wanneer de concentratie opgeloste stof in het poriënwater afneemt zal een deel van de particulier-gebonden fractie in oplossing kunnen gaan: nalevering.

Dieper in het sediment heerst zuurstofloosheid en vormen zware metalen onoplosbare verbindingen met sulfide. De omvang van de fractie die op deze wijze geïmmobiliseerd is, hangt af van de zuurstofhuishouding in het sediment. Neemt bijvoorbeeld de toevoer van zuurstof naar de bodem toe terwijl het zuurstofverbruik gelijk blijft, dan zal een deel van de geïmmobiliseerde fractie in oplossing gaan.

De uitwisseling tussen sediment (*i.c.* poriënwater) en het bovenstaande water verloopt via diffusie, als gevolg van (kleine) concentratieverschillen in het interstitiële water, tussen de zuurstofloze en de zuurstofrijke sedimentlaag. Deze zuurstofrijke toplaag functioneert als buffer tussen de anaerobe bodem en het oppervlaktewater. Resuspensie van bodemdeeltjes ten gevolge van waterbeweging of baggerwerkzaamheden, zal direct kunnen leiden tot een toename van het gehalte opgeloste zware metalen, door oxidatie van deze sulfidecomplexen.

#### *Trendanalyse*

De dataset van totaalgehalten in de waterfase, is onderworpen aan een trendanalyse met behulp van het rekenmodel TREND [8]. Met dit model kan een lineaire trend worden bepaald, waarbij zo nodig gecorrigeerd wordt voor afhankelijkheden binnen een meetreeks (via correctievariabelen) en voor seizoenseffecten (via Fouriertransformatie). In bijlage 2 is aangegeven bij welke parameters deze correcties zijn toegepast.

De trendberekeningen hebben in het algemeen betrekking op de periode 1975 t/m 1985. Het model vereist echter een voldoende groot en consistent gegevensbestand. Consistent betekent in deze context, dat de meetfrequentie over het gehanteerde tijdvak constant is. Niet voor alle parameters is de meetfrequentie gelijk gebleven. De periode waarover de analyse toegepast kan worden, de trendperiode, kan daarom per parameter verschillen.

De trendanalyse is uitgevoerd met de gegevens voor de monsterpunten Schaar van Ouden Doel, Hansweert, Terneuzen en Vlissingen. De berekende trends zijn al of niet rekenkundig significant. Alleen de significante trendlijnen worden gepresenteerd. Een aparte categorie vormen de trends die weliswaar significant zijn, maar niet realistisch. Dit kan optreden bij een te korte



trendperiode, of bij parameters waarvan de metingen regelmatig op de detectiegrens uitkomen terwijl de detectielimieten in de loop van de periode zijn aangepast. Ook deze resultaten worden buiten beschouwing gelaten. Tenslotte moet men zich realiseren dat de gepresenteerde trends alleen een uitspraak rechtvaardigen over de beschouwde trendperiode. Extrapolatie naar aansluitende perioden is in principe ongeoorloofd, omdat buigpunten in het langjarig verloop van de meetwaarden worden versluierd door de lineaire trendbenadering.

## 4.2 Zware metalen

De zware metalen zink (Zn), koper (Cu), chroom (Cr), lood (Pb), cadmium (Cd), nikkel (Ni) en kwik (Hg), vormen een aparte groep microverontreinigingen. In natuurlijke wateren komen deze elementen in zeer lage concentraties voor. Als spoorelementen zijn chroom, koper en zink onmisbaar voor organismen. Cadmium, kwik en lood zijn wat dit betreft onbelangrijk. Voor al deze metalen geldt echter dat ze boven een bepaalde concentratie toxisch zijn. Kwik en cadmium met hun verbindingen staan vanwege hun toxische eigenschappen op de zogenaamde "zwarte lijst". Lozingen van zwarte-lijststoffen worden aangepakt via emissiegrenswaarden gebaseerd op de best-bestaande zuiveringstechnieken. De gevolgen van een eventuele restlozing moeten zeer zorgvuldig bestudeerd worden. Op basis van de resultaten van een dergelijk onderzoek kunnen eventuele verdergaande eisen gesteld worden, zoals een absoluut lozingsverbod. De genoemde overige metalen zijn "grijze lijst"-stoffen. Dit houdt in dat alleen dan een lozingsvergunning wordt afgegeven als het afvalwater dat deze stoffen bevat met de best-toepasbare technieken wordt gezuiverd.

Door de rivier de Schelde worden grote hoeveelheden metalen aangevoerd, die zowel in opgeloste vorm als particulier-gebonden voorkomen. In bijlage 1 zijn de grensoverschrijdende jaarvrachten te Schaar van Ouden Doel gegeven, van beide fracties tezamen en van de opgeloste fractie afzonderlijk. Tabel 7 geeft de jaargemiddelde totaalgehalten op de vier meetpunten in de periode 1981-1986.

### 4.2.1 Zink

De concentratie van zink fluctueert zeer sterk op alle meetpunten in de Westerschelde; dat geldt voor zowel het totaalgehalte (figuur 14) als het gehalte van de opgeloste fractie (figuur 15). Deze variatie is het gevolg van kortstondige lozingen. Gaande van oost naar west kan het volgende worden geconstateerd. Op de grensovergang te Schaar van Ouden Doel komen hoge concentraties zink onregelmatig voor. Bij Hansweert en Terneuzen worden minder vaak grote concentratieverschillen tussen opeenvolgende monsterdata waargenomen. Hier zijn de gehalten afgenomen door verdunning en sedimentatie. Tussen Schaar van Ouden Doel en Hansweert treedt een sterke verlaging op van het totaalgehalte. De concentratie opgelost zink neemt over dit traject veel minder sterk af. Hieruit kan men concluderen dat het merendeel van het zink gebonden is aan zwevend stof, dat op dit traject voor een belangrijk deel bezinkt.

**TABEL 7** *Zware metalen (opgelost en particulier gebonden) in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1981 - 1986.*

| Metaal         | Meetpunt   | Jaargemiddeld totaalgehalte in µg/l |      |      |      |      |      |
|----------------|------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                |            | 1981                                | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
| <b>Zink</b>    | Ouden Doel | 73,6                                | 76,2 | 51,3 | 65,9 | 69,9 | 46,2 |
|                | Hansweert  | 44,0                                | 26,9 | 26,3 | 26,6 | 37,2 | 23,7 |
|                | Terneuzen  | 35,6                                | 26,8 | 21,9 | 27,4 | 22,5 | 15,5 |
|                | Vlissingen | 24,0                                | 31,3 | 22,7 | 27,4 | 38,7 | 12,7 |
| <b>Koper</b>   | Ouden Doel | 12,5                                | 9,1  | 9,3  | 15,2 | 14,1 | 8,2  |
|                | Hansweert  | -                                   | 5,5  | 6,2  | 7,6  | 6,8  | 15,0 |
|                | Terneuzen  | -                                   | 4,5  | 5,3  | 6,6  | 17,3 | 4,8  |
|                | Vlissingen | -                                   | 3,1  | 4,5  | 5,7  | 47,7 | 7,7  |
| <b>Chroom</b>  | Ouden Doel | 16,9                                | 21,6 | 15,8 | 19,2 | 16,8 | 14,5 |
|                | Hansweert  | -                                   | 8,4  | 8,5  | 7,1  | 9,5  | 7,0  |
|                | Terneuzen  | 9,4                                 | 10,2 | 6,3  | 6,4  | 7,4  | 5,0  |
|                | Vlissingen | 5,6                                 | 5,0  | 4,8  | 4,8  | 4,6  | 2,8  |
| <b>Lood</b>    | Ouden Doel | 16,6                                | 14,0 | 12,6 | 15,8 | 16,7 | 10,2 |
|                | Hansweert  | 9,1                                 | 6,4  | 8,4  | 7,3  | 8,1  | 6,7  |
|                | Terneuzen  | 7,4                                 | 7,0  | 6,9  | 6,3  | 6,1  | 4,7  |
|                | Vlissingen | 5,6                                 | 6,5  | 6,7  | 8,1  | 7,7  | 2,6  |
| <b>Cadmium</b> | Ouden Doel | 1,9                                 | 1,5  | 1,1  | 1,3  | 1,6  | 0,9  |
|                | Hansweert  | 1,1                                 | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,8  | 0,6  |
|                | Terneuzen  | 1,2                                 | 0,6  | 0,8  | 0,6  | 0,5  | 0,4  |
|                | Vlissingen | 1,4                                 | 1,2  | 2,1  | 1,7  | 1,4  | 0,9  |
| <b>Nikkel</b>  | Ouden Doel | 32,8                                | -    | 13,4 | 17,5 | 15,1 | 12,7 |
|                | Hansweert  | -                                   | -    | 7,7  | 9,5  | 9,7  | 7,3  |
|                | Terneuzen  | -                                   | -    | 5,0  | 6,1  | 6,0  | 5,0  |
|                | Vlissingen | 4,6                                 | -    | 3,4  | 3,6  | 4,4  | 2,7  |
| <b>Kwik</b>    | Ouden Doel | 0,12                                | 0,18 | 0,16 | 0,18 | 0,22 | 0,15 |
|                | Hansweert  | 0,07                                | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,11 | 0,06 |
|                | Terneuzen  | 0,06                                | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
|                | Vlissingen | 0,05                                | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,02 |

In de tijdgrafieken van totaal en opgelost zink is verder te zien dat de hoge gehalten te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen niet altijd met eenzelfde frequentie optreden. Verder valt op dat de maximale concentraties te Vlissingen hoger zijn dan bij Hansweert en Terneuzen. Door sedimentatie en verdunning zou men bij Vlissingen lagere gehalten verwachten. In de omgeving van dit meetpunt moet dus een bron bestaan die het zinkgehalte in de Westerschelde weer sterk verhoogt. Dit komt ook in de jaargemiddelde



gehalten van totaal-zink naar voren (zie tabel 7). Bij cadmium en in mindere mate bij lood, treedt dit verschijnsel eveneens op. In het zogenaamde Fliessende-Welle-onderzoek, in 1983, werd het Sloegebied als verantwoordelijke bron aangemerkt [9]. Vermoedelijk is het Sloegebied niet de enige belastingsbron; ook met illegale lozingen en lozingen voor de Belgische kust moet rekening gehouden worden. Hoge zink-totaalgehalten zijn geconstateerd in het water van de kustzone ter hoogte van Cadzand (Appelzakraai). Deze gehalten zijn zelfs hoger dan te Vlissingen, met name in de winterperiode. Er is een goede correlatie met het zwevend-stofgehalte, zodat deze verhoogde concentraties het gevolg zullen zijn van de opwerveling van bodemsediment. Vermoedelijk is de bodemkwaliteit in dit gebied verslechterd door de stortingen van havenslib uit Zeebrugge.

#### *Significante trend van zink-totaal*

Het totaal-zinkgehalte vertoont te Schaar van Ouden Doel een significante, dalende trend over de periode 1975-1985 :

Schaar van Ouden Doel : 1975-1985; daling van 109 naar 61  $\mu\text{g/l}$  (fig. 16).

#### 4.2.2 Koper

Het koper-totaalgehalte vertoont te Schaar van Ouden Doel de hoogste waarden en de sterkste fluctuaties. De meetpunten Hansweert, Terneuzen en Vlissingen vertonen een identiek verloop in de tijd, al treden er in 1985 en 1986 enkele onverklaarbare uitschieters op in de bepalingen. Ook de concentratie opgelost koper vertoont deze uitschieters, doorgaans op dezelfde data. Afgezien van deze pieken is het opgelost-kopergehalte op alle monsterpunten vrij constant.

#### *Significante trend van koper-totaal*

Schaar van Ouden Doel : 1982-1984; stijging van 8,7 naar 12,6  $\mu\text{g/l}$  (fig. 17).

#### 4.2.3 Chroom

Het gedrag van chroom in de Westerschelde is vergelijkbaar met dat van koper. De hoogste chroom-totaalgehalten worden gevonden bij Schaar van Ouden Doel, waar zich ook de sterkste fluctuaties voordoen. Wat de opgeloste fractie betreft worden op de andere meetpunten weer enkele onverklaarbaar hoge concentraties waargenomen.

#### *Significante trend van chroom-totaal*

Vlissingen : 1975-1981; daling van 10,4 naar 2,4  $\mu\text{g/l}$  (figuur 18).

#### 4.2.4 Lood

In de Westerschelde gedragen zink, cadmium en lood zich overeenkomstig. Te Vlissingen zijn de gehalten soms hoger dan men volgens verdunning zou

verwachten. Deze belasting is vermoedelijk uit het Sloegebied afkomstig.

#### *Significante trend van lood-totaal*

Hansweert : 1975-1981; daling van 10,6 naar 6,7  $\mu\text{g/l}$  (figuur 19);  
Vlissingen : 1975-1981; daling van 9,0 naar 2,6  $\mu\text{g/l}$  (figuur 20).

#### 4.2.5 Cadmium

De figuren 21 en 22 geven de tijdgrafieken van respectievelijk, het totaal- en het opgelost-cadmiumgehalte. De concentraties opgelost cadmium bij Vlissingen zijn in het algemeen hoger dan op de overige drie punten. Een vergelijking met voorgaande jaren maakt duidelijk dat deze verhoogde gehalten te Vlissingen pas sinds 1981 optreden. In de periode 1975-1980 was het jaargemiddeld cadmium-totaalgehalte te Vlissingen lager dan te Hansweert en Terneuzen. Het is niet bekend door welke lozingen de pieken op het meetpunt Vlissingen veroorzaakt zijn. Het meetpunt ligt ca. 1 km uit de kust bij Breskens. Eén van de mogelijke bronnen is het Sloegebied. Met een rekenmodel is nagegaan welke hoeveelheden in het Sloegebied geloosd moeten worden om de waargenomen concentraties te bewerkstelligen. Door de grote getijvolumina in het mondingsgebied moeten dit zeer grote hoeveelheden zijn. Het is dan ook niet waarschijnlijk is dat het Sloegebied (volledig) verantwoordelijk is. Illegale lozingen vanaf een nabijgelegen punt in de omgeving van Breskens zouden de waarnemingen kunnen verklaren, maar hiervoor bestaan geen concrete bewijzen. Anders dan bij zink en kwik gaat het hier om een verhoging van het gehalte opgeloste stof, dat geen relatie vertoont met het zwevend-stofgehalte. De oorzaak van deze extreem-hoge concentraties kan daarom niet gezocht worden bij de spiciestortingen vanuit Zeebrugge.

#### *Significante trend van totaal-cadmium*

Ouden Doel : 1975-1985; daling van 2,6 naar 1,5  $\mu\text{g/l}$  (figuur 23);  
Terneuzen : 1977-1981; stijging van 0,4 naar 1,2  $\mu\text{g/l}$  (figuur 24).

#### 4.2.6 Nikkel

De Schelde voert voornamelijk opgeloste nikkel aan, dat in het estuarium vervolgens met zeewater verdund wordt. De gehalten op de meetpunten nemen hierdoor geleidelijk af van oost naar west.

#### *Significante trend van totaal-nikkel*

Ouden Doel : 1975-1981; stijging van 2,0 naar 3,4  $\mu\text{g/l}$  (figuur 25).

#### 4.2.7 Kwik

De opgelost-kwikgehalten zijn in de Westerschelde laag; in veel gevallen wordt de detectielimiet bereikt. Mede hierdoor zijn de verschillen tussen de monsterpunten wat deze fractie betreft, klein.

Het totaalgehalte is aanmerkelijk hoger, waaruit blijkt dat het kwik vooral particulier gebonden is. Te Schaar van Ouden Doel correspondeert het kwik-totaalgehalte zeer goed met de concentratie van het zwevend stof die voor de analyse van zware metalen bepaald wordt. Op de andere monsterpunten is deze relatie minder duidelijk. In de kustzone bij Cadzand zijn de jaargemiddelde kwik-totaalgehalten in het water hoger dan te Vlissingen, Terneuzen en Hansweert. Hetzelfde geldt voor de zink-totaalgehalten, zodat er reden is om aan te nemen dat de bodemkwaliteit in dit kustgebied (Appelzakraai) slechter is dan bij Vlissingen. De oorzaak is vermoedelijk gelegen in het feit dat dit gebied gebruikt wordt als stortlocatie voor havenslib uit Zeebrugge.

#### *Significante trend van kwik*

Ouden Doel : 1975-1985; daling van 0,47 naar 0,13 µg/l (figuur 26);  
Hansweert : 1975-1981; daling van 0,29 naar 0,06 µg/l (figuur 27).

#### 4.2.8 Arseen, ijzer en andere metalen

Een groot deel van het arseen is in de Westerschelde aanwezig in de opgeloste vorm. Te Schaar van Ouden Doel fluctueert het arseengehalte meer dan op de overige monsterpunten. Zowel van arseen als van ijzer zijn de grensoverschrijdende jaarvrachten in de rapportageperiode niet duidelijk veranderd (bijlage 1).

TABEL 8 Overige metalen (opgelost en particulier gebonden) in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1981 - 1986.

| Metaal    | Meetpunt   | Jaargemiddeld totaalgehalte |      |      |      |      |      |
|-----------|------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|           |            | 1981                        | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
| in µg/l   |            |                             |      |      |      |      |      |
| arsen     | Ouden Doel |                             |      | 11,8 | 11,1 | 12,1 | 8,9  |
| beryllium | Ouden Doel | 0,3                         |      |      |      |      |      |
| lithium   | Ouden Doel | 43                          |      |      |      |      |      |
| antimoon  | Ouden Doel | 2,9                         |      |      |      |      |      |
| seleen    | Ouden Doel | 0,6                         |      |      |      |      |      |
| vanadium  | Ouden Doel | 18,2                        |      |      |      |      |      |
| mangaan   | Ouden Doel | 374                         | 267  | 333  |      |      |      |
| in mg/l   |            |                             |      |      |      |      |      |
| ijzer     | Ouden Doel |                             | 3,8  | 2,8  | 3,6  | 3,6  | 3,6  |
|           | Hansweert  |                             | 1,7  | 1,4  | 1,7  |      |      |
|           | Terneuzen  |                             | 2,0  | 1,3  | 1,5  |      |      |
|           | Vlissingen |                             | 1,5  | 1,0  | 1,1  |      | 0,5  |



De concentraties van de metalen beryllium, lithium, antimoon, seleen en vanadium, zijn alleen in 1981 te Schaar van Ouden Doel bepaald. Mangaan is gedurende een beperkt aantal jaren gemeten. Wat deze stoffen betreft wordt volstaan met het presenteren van de beschikbare jaargemiddelde concentraties, over de periode 1981-1987 (tabel 8).

#### 4.3 Olie

In beginsel wordt olie niet tot de organische microverontreinigingen gerekend. Het is echter zinvol om een bespreking van het gedrag van de olieconcentraties te combineren met dat van de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's; zie paragraaf 4.4.10). Evenals deze verbindingen vertoont olie grote concentratieverschillen op opeenvolgende data van bemonstering, terwijl de maximale concentraties van beide stoffen meer dan eens op dezelfde tijdstippen waargenomen worden. Op de meetpunten Hansweert en Terneuzen bijvoorbeeld, valt het zeer hoge oliegehalte medio 1984 samen met hoge PAK-gehalten. Deze relatie tussen PAK's en olie is terug te voeren op de uitstoot van verbrandingsmotoren [42]. Lozingen van afgewerkte motorolie, die PAK's bevat, komen op de drukbevaren Westerschelde regelmatig voor, ondanks het verbod dat hierop bestaat.

De olieconcentratie is bepaald met behulp van infrarood spectrofotometrie; Figuur 28 toont de tijdgrafieken over de periode 1981-1986. Hoge olieconcentraties worden te Schaar van Ouden Doel het meest frequent gevonden. Ook bij Vlissingen echter, zijn in deze periode meerdere malen vergelijkbare gehalten waargenomen.

#### 4.4 Organische microverontreinigingen

De belasting van de Westerschelde met organische microverontreinigingen is groot, als gevolg van de industriële activiteiten bovenstrooms en de daarmee samenhangende lozingen. Bijlage 1 geeft de grensoverschrijdende jaarvrachten van organische microverontreinigingen te Schaar van Ouden Doel. Een deel van de belasting vanuit België is afkomstig uit Frankrijk.

Van een aantal organische microverontreinigingen wordt in deze paragraaf het concentratieverloop in de periode 1981-1986 gepresenteerd. Van de meeste stoffen zijn de gehalten alleen op het meetpunt Schaar van Ouden Doel bepaald, zodat een beschrijving van de ruimtelijke variatie over de Westerschelde niet mogelijk is. Sommige organische microverontreinigingen met dezelfde fysisch-chemische eigenschappen worden als somparameter geanalyseerd. Geen aandacht is besteed aan stoffen waarvan het gehalte niet boven de detectielimiet uitkwam.

##### 4.4.1 Vluchtige organochloorverbindingen

Tot de groep vluchtige organochloorverbindingen (VOCl) behoren trichloormethaan (chloroform), tetrachloormethaan (tetra), trichlooretheen, tetrachlooretheen, 1,2-dichloorethaan en 1,1,1-trichloorethaan. Deze stoffen worden in grote hoeveelheden toegepast als oplosmiddel in de industrie, maar ook



in huishoudens. Het huishoudelijk aandeel in de belasting met VOCl is vaak groter dan het industriële aandeel.

Figuur 29 geeft het verloop van het VOCl-gehalte in de periode 1983-1986; vóór 1983 werd deze somparameter niet bepaald en alleen de gegevens voor Schaar van Ouden Doel zijn volledig genoeg voor een beschrijving van het verloop. De concentratie VOCl is temperatuurafhankelijk; door de grotere vluchtigheid zijn de gehalten in de zomer lager.

Verder blijkt het VOCl-gehalte niet gelijk aan de som van de concentraties van de afzonderlijke componenten (zie tabel 9). Daarom is de VOCl-concentratie indicatief en slechts in beperkte mate te gebruiken als toetsingsgrootheid. Naast de bovengenoemde verbindingen met een rechte koolstofketen dragen ringvormige organochloorverbindingen bij aan de VOCl-concentratie. Deze ringvormige componenten zijn niet gedefinieerd.

Tabel 9 geeft de jaargemiddelde gehalten van enkele vluchtige organochloorverbindingen en, vanaf 1983, van VOCl. De tijdgrafieken van deze afzonderlijke verbindingen voor het punt Schaar van Ouden Doel zijn opgenomen in de figuren 30 en 31.

TABEL 9 *Jaargemiddelde gehalten van vluchtige organochloorverbindingen (VOCl) en enkele afzonderlijk bepaalde componenten, te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986.*

| Verbinding            | Jaargemiddelde totaalgehalte in µg/l |      |      |      |      |      |
|-----------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                       | 1981                                 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
| Chloroform            | 0,43                                 | 0,46 | 1,31 | -    | 0,79 | 0,12 |
| Trichloorethyleen     | 0,55                                 | 1,20 | 1,18 | -    | 0,55 | 0,50 |
| Tetrachlooretheen     | 1,66                                 | 1,41 | 1,19 | -    | 1,69 | 0,83 |
| 1,1,1-Trichloorethaan | 2,04                                 | 2,35 | 2,03 | -    | 1,74 | 0,95 |
| Totaal                | 4,68                                 | 5,42 | 5,71 | -    | 4,77 | 2,40 |
| VOCl                  | -                                    | -    | 4,48 | 6,32 | 5,66 | 4,19 |

#### 4.4.2 Extraheerbare organochloorverbindingen

Tot deze groep behoren de niet-vluchtige organochloorverbindingen, waarvan de concentratie gemeten wordt na extractie van het watermonster met petroleumether. Hierbij wordt zowel de opgeloste als de aan zwevend-stof geadsorbeerde fractie van alle organochloorverbindingen geëxtraheerd.

Bij het daaropvolgende indampproces blijven alleen de organochloorverbindingen met een hoog kookpunt over, die aangeduid worden als extraheerbaar (EOCl). Voor EOCl geldt hetzelfde als voor VOCl: de somparameter is slechts indicatief. In de periode 1983-1986 is het EOCl te Schaar van Ouden Doel regelmatig gemeten. Bij de andere meetpunten ontbreken

gegevens van 1984 en 1985. De jaargemiddelde gehalten te Schaar van Ouden Doel zijn gepresenteerd in tabel 10. Figuur 32 geeft het concentratieverloop van EOCL te Schaar van Ouden Doel weer. Van de andere drie meetpunten zijn alleen gegevens verzameld in de jaren 1983 en 1986. Deze wijzen niet op een vermindering van het EOCL-gehalte in westelijke richting, wat verwacht zou mogen worden op grond van verdunning, verdamping en sedimentatie. Wat hiervan de oorzaak is, is niet bekend. Mogelijk spelen storingen van de analyse door zwavelverbindingen en chloride een rol.

TABEL 10 *Jaargemiddelde gehalten van extraheerbare organochloorverbindingen (EOCL) te Schaar van Ouden Doel in de periode 1983-1986.*

| Parameter | Jaargemiddelde totaalgehalte in $\mu\text{g/l}$ |      |      |      |
|-----------|-------------------------------------------------|------|------|------|
|           | 1983                                            | 1984 | 1985 | 1986 |
| EOCL      | 1,49                                            | 2,74 | 2,43 | 1,63 |

#### 4.4.3 Dichloorbenzenen

Chloorbenzenen zijn industriële nevenproducten, die gevormd worden bij de productie van hoger-gechloreerde bestrijdingsmiddelen. De concentratie van 1,2- en 1,4-dichloorbenzeen tezamen en die van 1,3-dichloorbenzeen afzonderlijk, zijn alleen in 1986 op alle vier de meetstations bepaald (zie figuur 33). Hierbij valt op dat de concentraties bij Vlissingen en Terneuzen hoger zijn dan te Schaar van Ouden Doel. Ook bij Hansweert zijn enkele malen hogere gehalten gemeten. Waarschijnlijk is dit het gevolg van incidentele lozingen, die vanuit het Sloegebied of het Kanaal Gent-Terneuzen op de Westerschelde gebracht worden.

#### 4.4.4 Trichloorbenzenen

Tot deze categorie gechloreerde koolwaterstoffen behoren 1,2,3-, 1,2,4- en 1,3,5-trichloorbenzeen. Op het meetpunt Schaar van Ouden Doel ligt de concentratie van deze stoffen in de periode 1983-1986 op een niveau van ongeveer  $0,05 \mu\text{g/l}$ . In de eerste helft van 1985 wordt een verhoging tot  $0,5 \mu\text{g/l}$  geconstateerd, die samen valt met een piek in het gehalte van 1-chloor-2-nitrobenzeen (zie figuur 34) en verwante chloornitrobenzenen.

Ter hoogte van Hansweert, Terneuzen en Vlissingen zijn de concentraties lager dan de detectielimiet van  $0,01 \mu\text{g/l}$ .

#### 4.4.5 Cholinesterase-remmers

Tot deze groep moderne insecticiden horen stoffen als parathion, malathion, dichloorvos en fenthion. Vanaf begin 1982 is de concentratie van deze groep gemeten te Schaar van Ouden Doel. De jaarlijks waargenomen maxima lijken toe te nemen (zie figuur 35). De gehalten bij Vlissingen, die sinds 1984 worden bepaald, zijn aanmerkelijk lager.

#### 4.4.6 Fungiciden

##### *C-HCH (lindaan) en nevenproducten zoals HCB*

C-HCH, dat staat voor gamma-hexachloorcyclohexaan, is een schimmelbestrijdende stof die beter bekend is onder de handelsnaam lindaan. Bij de productie van lindaan ontstaan de bijproducten a-HCH, b-HCH en HCB (hexachloorbenzeen), die in het afvalwater terecht komen.

Het lindaangehalte te Schaar van Ouden Doel is gemeten in de periode 1981-1986 (zie figuur 35). Het gehalte is hier in de zomermaanden duidelijk hoger dan 's winters. Bij Vlissingen is in 1983 en 1986 enkele malen de concentratie van lindaan bepaald (figuur 35).

Sinds de beginjaren tachtig is het gebruik van lindaan als bestrijdingsmiddel in de landbouw verboden in Nederland, Frankrijk en Duitsland [33]. Ofschoon de productie van lindaan is verminderd blijken de grensoverschrijdende vrachten (bijlage 1) en de concentraties te Schaar van Ouden Doel (figuur 35) niet duidelijk afgenomen. Uit de trendanalyse over de periode 1975-1985 komt geen significante verandering in de gehalten op het grenspunt naar voren.

De verwante verbindingen HCB, a-HCH en b-HCH zijn in de periode 1981-1986 in zeer lage concentraties aangetroffen, zodat de grensoverschrijdende jaarvrachten klein zijn (zie bijlage 1). In tegenstelling tot lindaan vertoont de concentratie HCB een dalende trend te Schaar van Ouden Doel, over de periode 1975-1985 (zie figuur 36). Deze daling kan verklaard worden door de vermindering van de productie van lindaan en daardoor tevens van het bijproduct HCB.

##### *Significante trend van HCB*

Ouden Doel : 1975-1985; daling van 0,01 naar < 0,001  $\mu\text{g/l}$  (figuur 36).

#### 4.4.7 De pesticiden endosulfan-alpha, pp-DDT, pp-DDD en pp-DDE

De concentraties van deze onkruidbestrijdingsmiddelen overschrijden alleen te Schaar van Ouden Doel de detectiegrens van 0,001  $\mu\text{g/l}$ . Figuur 37 geeft het verloop van de concentraties van endosulfan-alpha en pp-DDT in de periode 1983-1986. Figuur 38 toont het verloop van de gehalten pp-DDD en pp-DDE. Waar in deze tijdgrafieken een gehalte gelijk aan nul wordt aangegeven, moet een concentratie tussen nul en de genoemde detectielimiet gelezen worden. Uit deze verlopen kan worden afgeleid dat de jaargemiddelde concentratie vooral door incidentele lozingen wordt bepaald.



#### 4.4.8 Polychloorbifenylen (PCB's)

Sinds mei 1979 is de toepassing van PCB's als weekmaker, smeer- en impregneermiddel in de EEG-landen verboden. Wel worden PCB's nog door een tweetal Europese bedrijven gebruikt bij de vervaardiging van condensatoren voor, onder andere, TL-armaturen en is er nog tal van apparatuur in gebruik waarin PCB's aanwezig zijn. Vroeg of laat kunnen deze PCB's in het milieu terecht komen. Dit uit zich in het algemeen als een diffuse stofstroom, of als een incidentele puntlozing.

In de periode 1983 tot en met 1986 zijn de gehalten van de PCB-congeneren 28, 52, 101, 138, 153 en 180 routinematig gemeten. Vaak werd de detectielimiet van 0,001 µg/l niet overschreden. De hoogste waarden kwamen zelden boven 0,005 µg/l (figuur 39). Alleen in maart 1986 werd een incidentele lozing gedetecteerd, getuige de opvallend hoge concentraties van een aantal PCB-verbindingen te Schaar van Ouden Doel en, in mindere mate, Vlissingen.

#### 4.4.9 Fenolen en polychloorfenolen

De concentratie van fenolen wordt als somparameter bepaald. In de periode 1981-1984 is het gehalte fenolen-totaal gemeten. Vanaf 1985 is een methode toegepast waarbij deze verbindingen als waterdampvluchtige fenolen geanalyseerd worden. In figuur 40 zijn de resultaten in een tijdgrafiek uitgezet. De verschillen in de gehalten tussen Schaar van Ouden Doel en Vlissingen zijn kleiner dan op grond van verdunning verwacht mag worden. Waarschijnlijk is dit een gevolg van de belasting vanuit het Kanaal Gent-Terneuzen. In vergelijking tot de overige wateren in het Deltagebied vertoonde dit kanaal in de jaren 1982 en 1983 de hoogste concentratie van fenolen en tevens van gechloreerde fenolen [33].

Pentachloorfenol en 2,4,6-trichloorfenol worden toegepast in pesticiden en houtconserveringsmiddelen. De concentraties van deze polychloorfenolen zijn afzonderlijk bepaald vanaf respectievelijk 1982 en 1985, maar alleen te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen. Figuur 41 geeft de tijdgrafieken van beide stoffen.

#### 4.4.10 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) worden niet gesynthetiseerd om te worden toegepast, maar komen voor in restfracties die ontstaan bij de synthese van andere verbindingen. Van deze restfracties worden sommige echter op grote schaal gebruikt, bijvoorbeeld creosootolie en koolteerpek. Daarnaast kunnen PAK's gevormd worden bij de verbranding van organische stoffen. Verbrandingsmotoren vormen de belangrijkste bron van lagere PAK's (PAK's met een laag molecuulgewicht). Kolenstook, afvaloliestook en de industrie leveren de grootste bijdrage aan de emissie van hogere PAK's.

De PAK's worden meestal opgegeven als het totaal van zes afzonderlijke verbindingen (de zes van Borneff). Dat zijn de stoffen fluorantheen, benz(b)fluorantheen, benz(k)fluorantheen, benz(a)pyreen, indeno(1,2,3-cd)pyreen en benz(ghi)peryleen.

TABEL 11 *Jaargemiddelde gehalten van polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986.*

| PAK                    | Jaargemiddelde totaalgehalte in ng/l |      |      |      |      |      |
|------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                        | 1981                                 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
| Fluorantheen           | -                                    | -    | 62   | 48   | 95   | 78   |
| Benz(a)pyreen          | 54                                   | 48   | 24   | 43   | 52   | 40   |
| Benz(b)fluorantheen    | 71                                   | 62   | 37   | 53   | 46   | 44   |
| Benz(k)fluorantheen    | -                                    | -    | 14   | 25   | 28   | 19   |
| Indeno(1,2,3-cd)pyreen | -                                    | -    | 28   | 47   | 50   | 42   |
| Benz(ghi)peryleen      | -                                    | -    | 9    | 22   | 37   | 38   |

Figuur 42 geeft het concentratieverloop van PAK's-totaal te Schaar van Ouden Doel in het tijdvak 1981-1986. In 1983 is het PAK-gehalte ook voor de andere drie meetpunten bepaald. Figuur 42 toont dat deze concentraties lager zijn dan die te Schaar van Ouden Doel. Ook de analyses die uitgevoerd zijn binnen het SAWES-project, laten een afname in de PAK-gehalten zien van oost naar west. In de loop van een jaar fluctueert het PAK-gehalte sterk in de Westerschelde. Wanneer men het concentratieverloop in de tijd van de zes componenten afzonderlijk uitzet, blijken deze variaties bij alle zes synchroon te lopen (zie figuur 43). De oorzaak van deze fluctuatie is niet duidelijk. Vermoedelijk is een belangrijk deel van de PAK-belasting terug te voeren op illegale olielozingen (zie paragraaf 4.3). De jaargemiddelde concentraties staan vermeld in tabel 11.

Evenals zink en kwik vertonen de PAK's relatief-hoge concentraties in het kustwater ter hoogte van Cadzand. Met name het gehalte van fluorantheen is er gemiddeld hoger dan bij Vlissingen, Terneuzen en Hansweert. Ook voor deze stoffen geldt dat de oorzaak gezocht moet worden in de stortingen van havenslib uit Zeebrugge.

#### *Significante trend van PAK's*

Ouden Doel : 1975-1979; stijging van 60 naar 380 ng/l (figuur 44);

Ouden Doel : 1980-1985; daling van 370 naar 210 ng/l (figuur 45).

## 4.5 Radioactieve stoffen

### 4.5.1 Inleiding

Radioactieve stoffen komen van nature voor in het oppervlaktewater. In zeeën en oceanen zijn deze stoffen tamelijk uniform verspreid. De natuurlijke radioactiviteit van zeewater bedraagt gemiddeld 340 pCi/l. Tabel 12 geeft aan welke isotopen aan deze activiteit bijdragen. Enkele jaren geleden is de Curie (Ci) als eenheid voor radioactiviteit vervangen door de Becquerel

(Bq); voor de relatie tussen beide geldt:  $1 \text{ pCi} = 37 \text{ mBq}$ . In het vervolg van deze rapportage zal alleen de Bequerel als eenheid van radioactiviteit worden gebruikt.

Als gevolg van menselijk handelen is de radioactiviteit in de Westerschelde sterk verhoogd ten opzichte van deze achtergrondstraling, te Vlissingen bijvoorbeeld, met ca.  $2200 \text{ mBq/l}$ . De radioactieve stoffen die door lozingen of met de neerslag in het estuarium terecht komen zijn afkomstig van, onder andere, kerncentrales, opwerkingsfabrieken (Cape la Hague, Sellafield), laboratoria en ertsverwerkende fabrieken. Een belangrijke en langdurige verhoging via fall-out werd veroorzaakt door de bovengrondse kernproeven uit de jaren vijftig en beginjaren zestig.

In deze paragraaf wordt van een aantal radioactieve stoffen en somparameters de variatie in ruimte en tijd besproken. Van de overige onderzochte radioactieve stoffen worden alleen de jaargemiddelde gehalten gepresenteerd.

TABEL 12 *Opbouw van de natuurlijke radioactiviteit van zeewater.*

| Radionuclide     | Naam     | Activiteit in zeewater |        |
|------------------|----------|------------------------|--------|
|                  |          | pCi/l                  | mBq/l  |
| $^{40}\text{K}$  | kalium   | 324                    | 11.988 |
| $^{87}\text{Rb}$ | rubidium | 3                      | 111    |
| $^3\text{H}$     | tritium  | 3                      | 111    |
| $^{238}\text{U}$ | uranium  | 1                      | 37     |
| $^{14}\text{C}$  | koolstof | 0,1                    | 3,7    |

#### 4.5.2 Resterende bèta-activiteit

De totale bèta-activiteit (radioactiviteit door bèta-emissie: het uitzenden van elektronen) wordt gemeten aan een ingedampt watermonster. Hierdoor wordt de radioactiviteit van tritium gebonden als  $^3\text{HHO}$ , niet meebepaald (zie paragraaf 4.5.3). De resterende bèta-activiteit verkrijgt men door de gemeten totale bèta-activiteit te verminderen met de  $^{40}\text{K}$ -activiteit. Kalium-40 is verantwoordelijk voor 95% van de achtergrondstraling (zie tabel 12), maar behoort tot de radionucliden die geassocieerd zijn met de vorming van de aarde. Het isotoop wordt niet gevormd onder invloed van kosmische straling en is evenmin gekoppeld aan de toepassing van kernenergie.

Uit de jaargemiddelde waarden van de resterende bèta-activiteit komt een lichte stijging naar voren in de periode 1981-1986. De relatief lage waarden in 1981 en 1984 doen vermoeden dat er een relatie bestaat tussen deze activiteit en de Schelde-afvoer; in beide jaren was de afvoer relatief hoog, zoals tabel 13 laat zien. Het optreden van verdunning werd in de onderzoeksperiode 1964-1981 niet waargenomen [32].

De jaargemiddelde waarden van de resterende bèta-activiteit zijn het hoogst te Schaar van Ouden Doel. Bij Vlissingen echter, is de gemiddelde activiteit weer hoger dan die te Hansweert en Terneuzen, zodat er een tweede belastingsbron moet bestaan. De kernenergiecentrale Borssele kan



niet als zodanig worden aangemerkt, omdat deze met het koelwater voornamelijk tritium loost dat niet in deze waarden verdisconteerd is. De oorzaak van deze toename bij Vlissingen moet gezocht worden in een toevoer van particulier-gebonden radioactieve stoffen vanuit de Noordzee. Het optreden van dit verschijnsel is aangetoond in de estuaria van de Gironde, de Seine en de Loire, voor meerdere radioactieve stoffen. In de Westerschelde is een import van plutonium vanuit de Noordzee vastgesteld [18].

Het verloop van de tweewekelijkse metingen van de resterende bèta-activiteit vertoont een grillig patroon (zie figuur 46). Er lijkt sprake te zijn van een overeenkomst met het verloop van het zwevend-stofgehalte (zie deelrapport 1); de fluctuaties zijn het sterkst te Schaar van Ouden Doel.

#### *Significante trend van de resterende bèta-activiteit*

Ouden Doel : 1975-1981; daling van 302 naar 189 mBq/l (figuur 47);

Hansweert : 1975-1981; daling van 209 naar 148 mBq/l (figuur 48).

TABEL 13 *Jaargemiddelde resterende bèta-activiteit en waterafvoer te Schaar van Ouden Doel in de periode 1978-1986.*

| Parameter |                   | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
|-----------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Rest-bèta | mBq/l             | 259  | 259  | 185  | 204  | 248  | 276  | 219  | 287  | 301  |
| Afvoer    | m <sup>3</sup> /s | 97   | 116  | 134  | 158  | 124  | 120  | 147  | 120  | 127  |

#### 4.5.3 Tritium

Tritium wordt van nature gevormd onder invloed van kosmische straling. Belangrijker is de vorming van tritium bij de toepassing van kernenergie, onder invloed van ioniserende straling. In Belgisch oppervlaktewater was de tritiumactiviteit in de zeventiger jaren één tot meerdere grootteorden gestegen door fall-out en emissies van kernenergiecentrales [28]. Getritieerd water wordt door kerncentrales met het koelwater geloosd. Daarnaast ontsnapt deze nuclide als tritiumgas, dat in de atmosfeer echter wordt omgezet in getritieerd water.

In de Westerschelde neemt de bèta-activiteit door tritium af van oost naar west. De resultaten op de meetpunten Schaar van Ouden Doel en Vlissingen geven een totaal ander beeld te zien dan die van de resterende bèta-activiteit (zie figuur 49). In het mondingsgebied vindt geen verhoging plaats door de aanvoer van marien zwevend stof, omdat getritieerd water niet particulier gebonden is. Tritium geïncorporeerd in organische materiaal is wel voor een deel geassocieerd met zwevend stof, maar de hoeveelheid daarvan zal alleen bijdragen aan de resterende bèta-activiteit.

De jaargemiddelde waarde te Schaar van Ouden Doel schommelt in de periode 1975-1986 rond 14,7 Bq/l, met een minimum van 11,1 Bq/l in 1981 en een maximum van 16,8 Bq/l in 1986. De norm voor de basiskwaliteit van zoetwater is een jaargemiddelde tritium-activiteit van 185 Bq/l.

*Significante trend van de bèta-activiteit door getritiëerd water ( $^3\text{HHO}$ )*

Ouden Doel : 1975-1981; daling van 16,0 naar 11,8 Bq/l (figuur 50);  
Ouden Doel : 1982-1984; stijging van 7,8 naar 18,9 Bq/l (figuur 51);  
Hansweert : 1982-1984; stijging van 6,6 naar 10,5 Bq/l (figuur 52);  
Terneuzen : 1975-1981; stijging van 4,3 naar 6,9 Bq/l (figuur 53);  
Vlissingen : 1975-1981; daling van 5,6 naar 2,9 Bq/l (figuur 54);  
Vlissingen : 1982-1985; stijging van 2,5 naar 4,4 Bq/l (figuur 55).

In de periode 1975-1981 vertoonde de tritiumactiviteit een dalende tendens; sinds 1982 is sprake van een stijging.

#### 4.5.4 Totale alpha-activiteit

Belangrijke bronnen van alpha-activiteit (radioactiviteit door alpha-emissie: het uitzenden van een helium-4-kern) vormen de lozingen van fosfaat- en kunstmestfabrieken. Deze fabrieken verwerken erts dat van nature uranium en radium bevat. Fosfaatmineralen waaruit kunstmest wordt geproduceerd bevatten per ton ongeveer 100 g uranium, maar vanuit radiologisch oogpunt is radium-226, een vervalproduct van uranium-238, de belangrijkste component (paragraaf 4.5.5). Het procentuele aandeel van radium-226 in de totale alpha-activiteit bedraagt 12% te Schaar van Ouden Doel en 3% bij Vlissingen.

Tabel 14 geeft de jaargemiddelde, totale alpha-activiteit in de Westerschelde, in de periode 1981-1986. Figuur 56 geeft het verloop van de totale alpha-activiteit over het tijdvak 1981-1986. Zoals ook uit de jaargemiddelde waarden blijkt neemt de activiteit te Schaar van Ouden Doel geleidelijk toe. Verder is bij Vlissingen de alpha-activiteit regelmatig hoger dan te Schaar van Ouden Doel. Directe lozingen, waarschijnlijk afkomstig van het Sloegebied en een import vanuit de Noordzee zullen hieraan bijdragen.

TABEL 14 *Jaargemiddelde totale alpha-activiteit in de Westerschelde, in de periode 1981-1986.*

| Meetpunt              | Jaargemiddelde activiteit in mBq/l |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                       | 1981                               | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
| Schaar van Ouden Doel | 239                                | 268  | 279  | 290  | 325  | 339  |
| Hansweert             | 265                                | 371  | 389  | 280  |      |      |
| Terneuzen             |                                    | 324  | 368  | 438  |      |      |
| Vlissingen            | 393                                | 363  | 458  | 326  | 353  | 482  |

#### 4.5.5 Radium-226

De alpha-deeltjes die door uranium en haar vervalproducten worden uitgezonden kunnen alleen bij opname in het lichaam een belangrijk biologisch effect teweegbrengen. Radium, dat ontstaat uit het verval van uranium-238, lijkt qua chemische eigenschappen veel op calcium en hoopt zich daardoor op in botten. Bovendien vervalt het belangrijkste radiumisotoop, radium-226, zelf tot het gasvormige radon-222, dat ingeademd kan worden. Bij de basiskwaliteitsnormering wordt dan ook onderscheid gemaakt tussen de aan- en afwezigheid van radium-226 en -228 (paragraaf 4.5.6).

De alpha-activiteit door radium-226 is in de Westerschelde alleen van 1981 tot medio 1984 gemeten op de punten Schaar van Ouden Doel, Hansweert en Vlissingen. De resultaten hiervan zijn opgenomen in figuur 57. Te Schaar van Ouden Doel fluctueert de radium-226-activiteit sterk tussen circa 15 en 80 mBq/l. Naar het westen toe wordt het verloop gelijkmatiger en nemen de maximale waarden af.

#### 4.5.6 Toetsing aan de normen voor de basiskwaliteit

De norm voor de basiskwaliteit van zoetwater heeft betrekking op de som van de alpha-, bèta- en gamma-activiteit. Voor de bèta-activiteit wordt de resterende bèta-activiteit ingevuld, dus zonder tritium en kalium-40. Twee normen worden gehanteerd :

- 1 alpha + rest-bèta + gamma < 370 mBq/l, op jaargemiddelde basis;
- 2 alpha + rest-bèta + gamma < 3700 mBq/l, op jaargemiddelde basis, wanneer is aangetoond dat radium-226 en -228 afwezig zijn.

Tabel 15 geeft jaargemiddelden van de gesommeerde alpha- en rest-bèta-activiteit. Gamma-activiteit wordt niet gemeten. Uit dit overzicht blijkt dat de basiskwaliteitsnorm van 370 mBq/l (radium is in de Westerschelde aanwezig) in de periode 1981-1986 jaarlijks overschreden is. In de meeste gevallen is de gesommeerde activiteit te Vlissingen hoger dan die te Schaar van Ouden Doel, op jaargemiddelde basis.

TABEL 15 *Alpha-activiteit + rest-bèta-activiteit; jaargemiddelde waarden in de Westerschelde, periode 1981-1986.*

| Meetpunt              | Jaargemiddelde activiteit in mBq/l |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                       | 1981                               | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
| Schaar van Ouden Doel | 443                                | 516  | 555  | 509  | 612  | 640  |
| Hansweert             | 407                                | 564  | 619  | 461  |      |      |
| Terneuzen             |                                    | 538  | 601  | 633  |      |      |
| Vlissingen            | 582                                | 592  | 712  | 507  | 602  | 733  |



#### 4.6 Waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde

De basiskwaliteitsnormen die gepresenteerd zijn in het Indicatief Meerjaren Programma Water 1985-1989 [47] en het Rijks Waterkwaliteitsplan [48], zijn ontwikkeld voor zoetwater. Toepassing van deze normen in de brakke tot zoute Westerschelde is niet gefundeerd en voor een aantal parameters bovendien niet relevant (o.a. chloride, sulfaat en doorzicht). Zout- en brakwaternormen zijn niet beschikbaar. Om de kwaliteit van de zoetwaterfractie in de Westerschelde te kunnen toetsen is in deze paragraaf een aparte benadering uitgewerkt.

##### 4.6.1 Grondslag van de kwaliteitsbeoordeling

De antropogene belasting die met het Rijn-, Maas- of Scheldewater naar de Noordzee wordt afgevoerd, zal verdund worden met zeewater. In een smalle zone langs de kust is het effect van deze belasting echter nog lange tijd merkbaar, als gevolg van een slechts langzame menging en de noordwaarts gerichte reststroom. Verder op zee en verder van de lozingspunten liggen de concentraties van veel stoffen op het niveau van de natuurlijke referentiegehalten; bij de analyse van xenobiotische stoffen wordt in het algemeen de detectiegrens bereikt. De basiskwaliteitsnormering voor zoetwater is ontwikkeld als toetsingskader voor een reductie van de antropogene belasting. De formulering van een basiskwaliteit voor zoutwater op vergelijkbare grondslag, is daarom zinloos. Een beoordeling van de kwaliteit van zoutwater kan alleen refereren aan de natuurlijke achtergrondconcentraties in zee. Voor een intermediair systeem als het Schelde-estuarium, kunnen normen worden afgeleid die het midden houden tussen de basiskwaliteitsnormen voor zoetwater en de referentiewaarden voor zoutwater. Deze normen zullen worden beschouwd als waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde, afgekort :  $WDW$ .

##### 4.6.2 Uitwerking van de methode

De waterkwaliteitsdoelstelling,  $WDW_x$ , voor een willekeurige stof  $x$  (niet chloride) op een willekeurige locatie,  $y$ , in het estuarium, ligt binnen de range die gevormd wordt door de betreffende referentiewaarde voor zoutwater,  $R_x$ , en de betreffende basiskwaliteitsnorm voor zoetwater,  $B_x$ . Van sommige stoffen neemt de concentratie van nature toe, gaande van zoet naar zout. In alle gevallen is de exacte waarde van  $WDW_x$  afhankelijk van de chlorideconcentratie op de locatie,  $Cl_y$  :

$$\frac{B_x - R_x}{WDW_x - R_x} = \frac{19,37}{19,37 - Cl_y} \quad (2).$$

Hierin is 19,37 de chlorideconcentratie in zeewater, waaraan de referentiewaarde,  $R_x$ , gekoppeld is.

$WDW_x$  kan als enige onbekende eenvoudig berekend worden :

$$WDW_x = B_x - \frac{Cl_y}{19,37} \cdot (B_x - R_x) \quad (3).$$

Een grafische bepaling van  $WDW$  is geïllustreerd in figuur 58.

Voor stoffen die van nature in concentratie toenemen van zoet naar zout, is de volgende vergelijking afgeleid :

$$WDW_x = B_x + \frac{Cl_y}{19,37} \cdot (R_x - B_x) \quad (4).$$

#### 4.6.3 Waterkwaliteitsdoelstellingen

Via de bovenbeschreven methode zijn doelstellingen berekend voor het grenspunt Schaar van Ouden Doel en het punt Terneuzen, gelegen in het midden van het estuarium. Hierbij is gebruik gemaakt van het gemiddelde chloridegehalte over de periode 1981-1986 ter plaatse :

|                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| Terneuzen             | 13,11 g $Cl^-$ /l; |
| Schaar van Ouden Doel | 4,00 g $Cl^-$ /l.  |

In tabel 16 zijn de waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde gepresenteerd, samen met de gebruikte referentiewaarden en basiskwaliteitsnormen. Voor zuurstof, anorganische stikstof- en fosfaatverbindingen en faecale colibacteriën zijn de doelstellingen gegeven in deelrapport 1.

De meeste referentiewaarden voor zoutwater zijn ontleend aan [20]. De hierin genoemde waarden voor PAK's en zware metalen hebben betrekking op de opgeloste fracties. Deze zijn omgerekend tot referentiewaarden voor totaalgehalten, onder aanname van een zwevend-stofgehalte van 30 mg/l. Van een aantal xenobiotische stoffen ontbreken referentiewaarden. In de berekening is voor deze stoffen in het algemeen de referentiewaarde gelijk aan nul gesteld. Voor de gesommeerde alpha+rest-beta+gamma-activiteit is een referentie van 270 mBq/l aangenomen (oceanwater).

De gebruikte basiskwaliteitsnormen voor zoetwater zijn afkomstig uit het Rijks Waterkwaliteitsplan [48]. Stoffen die in de basiskwaliteitsnormering ontbreken zijn niet in deze beschouwing betrokken.

Overigens is de basiskwaliteitsnormering voor zoetwater aan verandering onderhevig. Voor diverse stoffen zal de norm uit het Rijks Waterkwaliteitsplan naar verwachting worden aangescherpt op ecotoxicologische gronden. Voor bepaalde stoffen zal de norm versoepeld kunnen worden.

TABEL 16 *Waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde, met de gebruikte referentiewaarden "zout" en basiskwaliteitsnormen "zoet".*

| locatie                              | "zout" | "zoet" | Terneuzen | Ouden Doel |
|--------------------------------------|--------|--------|-----------|------------|
| <b>chloride</b> g Cl <sup>-</sup> /l | 19,37  | 0      | 13,11     | 4,00       |
| <b>parameter</b> µg/l                |        |        |           |            |
| arseen-totaal                        | 1,7    | 50     | 17        | 40         |
| cadmium-totaal                       | 0,04   | 2,5    | 0,8       | 2          |
| chromium-totaal                      | 2,8    | 50     | 18        | 40         |
| koper-totaal                         | 1,3    | 50     | 17        | 40         |
| kwik-totaal                          | 0,008  | 0,5    | 0,2       | 0,4        |
| lood-totaal                          | 1,0    | 50     | 17        | 40         |
| nikkel-totaal                        | 2,3    | 50     | 18        | 40         |
| zink-totaal                          | 2,9    | 200    | 66        | 159        |
| olie                                 | 0      | 200    | 65        | 159        |
| indiv. PAK-totaal                    | 0,001  | 0,2    | 0,07      | 0,16       |
| syndets                              | 0      | 200    | 65        | 159        |
| cholin. remmers                      | 0      | 1,0    | 0,3       | 0,8        |
| org-Cl pesticiden-tot                | 0      | 0,1    | 0,03      | 0,08       |
| indiv. PCB                           | 0      | 0,01   | 0,0032    | 0,0079     |
| <b>parameter</b> Bq/l                |        |        |           |            |
| tritium                              | 0,1    | 185    | 60        | 147        |
| som α+β+γ                            | 0,270  | 0,370  | 0,302     | 0,349      |

#### 4.6.4 Toetsing van de waterkwaliteit aan de doelstellingen

Van een aantal waterkwaliteitsparameters zijn de waarnemingen in de Westerschelde per jaar getoetst aan de in tabel 16 gepresenteerde doelstellingen. Voor de meeste parameters is het absolute gehalte getoetst, dat wil zeggen de hoogste waarde die in het betreffende jaar werd waargenomen. Ook de waterkwaliteitsdoelstellingen zijn gebaseerd op absolute gehalten, volgens de normstelling in het Rijks Waterkwaliteitsplan [48]. Zodoende zijn incidentele overschrijdingen van het ten doel gestelde gehalte te herkennen. Voor de parameters tritium en som α+rest-β+γ-activiteit is de toetsing uitgevoerd op basis van het jaargemiddelde gehalte. Jaarlijks zijn 26 metingen uitgevoerd.

Zoals tabel 17 laat zien worden de kwaliteitsdoelstellingen voor de gesommeerde radioactiviteit in het gehele estuarium nimmer gehaald. In een groot deel van het estuarium worden de normen voor cadmium, synthetische detergenten en cholinesteraseremmers overschreden, ook in recente jaren. De overschrijdingen van arseen, koper, kwik en lood, werden éénmaal per jaar geconstateerd; die van chromium één- à tweemaal per jaar. De toetsing van polycyclische aromatische koolwaterstoffen heeft betrekking op fluoran-



theen; de overige PAK's voldeden aan de normen. De overschrijdingen door pesticiden betreffen de stof lindaan (c-HCH). De overschrijding door PCB's in 1986 te Schaar van Ouden Doel, werd éénmaal geconstateerd en betrof een aantal congenere.

TABEL 17 *Toetsing van de waterkwaliteit over de periode 1981-1986<sup>1)</sup>.*

| Parameter          | Terneuzen |    |    |    |    |    | Ouden Doel |    |    |    |    |    |
|--------------------|-----------|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|
|                    | 81        | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 81         | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 |
| arseen             |           |    | +  | +  | +  | +  |            |    | +  | +  | +  | +  |
| cadmium            | -         | -  | -  | -  | +  | +  | -          | -  | -  | -  | -  | -  |
| chrom              | -         | -  | +  | +  | +  | +  | -          | -  | +  | -  | +  | +  |
| koper              |           | +  | +  | +  | -  | +  | +          | +  | +  | -  | -  | +  |
| kwik               | +         | +  | +  | +  | +  | +  | +          | -  | -  | -  | -  | -  |
| lood               | +         | +  | +  | +  | +  | +  | +          | +  | +  | -  | +  | +  |
| nikkel             |           |    | +  | +  | +  | +  | +          | +  | +  | +  | +  | +  |
| zink               | +         | +  | +  | -  | +  | +  | +          | -  | +  | -  | +  | +  |
| olie               | -         | -  | -  | -  |    |    | -          | -  | -  | -  | -  | +  |
| fluorantheen (PAK) |           |    | -  |    |    |    |            |    | -  | +  | -  | -  |
| syndets            | -         | -  | -  | -  | -  | +  | +          | +  | +  | -  | -  | +  |
| cholin.remmers     |           |    |    |    | -  | -  |            | -  | -  | -  | -  | -  |
| pesticiden         |           |    | +  |    |    | +  | +          | +  | -  | -  | -  | +  |
| PCB                |           |    | +  |    |    | +  |            |    | +  | +  | +  | -  |
| tritium            |           | +  | +  | +  |    |    | +          | +  | +  | +  | +  | +  |
| a+r-B+y-activiteit | -         | -  | -  | -  | -  | -  | -          | -  | -  | -  | -  | -  |

1) + = aan de waterkwaliteitsdoelstelling werd in het gehele jaar voldaan;

- = aan de waterkwaliteitsdoelstelling werd niet voldaan;

De meetfrequentie bedroeg 26/jaar.

Zoals al werd opgemerkt is de normstelling voor de basiskwaliteit van zoetwater momenteel in ontwikkeling. Op ecotoxicologische gronden zullen de toelaatbare gehalten van onder meer PCB's en cadmium sterk verlaagd moeten worden. Deze stoffen zijn voor de Westerschelde van groot belang. In paragraaf 7.6 wordt hierop teruggekomen.



## 5 RISICO'S BIJ HET VERVOER VAN GEVAARLIJKE STOFFEN

### 5.1 Inleiding

De Westerschelde is voor zeeschepen een moeilijke en krappe vaarweg. Uit een onderzoek van scheepsongevallen die plaatsvonden in de jaren 1966 tot 1978, blijkt echter niet dat de Westerschelde een bijzonder onveilige route is, in vergelijking tot andere drukbevaren waterwegen in Nederland [45]. De gegevens in tabel 18 geven een globale indruk van de verkeersveiligheid van de Westerschelde in deze periode.

TABEL 18 *Balans van scheepsongevallen in de Westerschelde in de periode 1966-1978.*

| Ongevalsaspect                             | Gemiddeld aantal per jaar |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| Scheepsongevallen                          | 148                       |
| Bij ongeval betrokken schepen              | 204                       |
| Zware ongevallen <sup>1)</sup>             | 19                        |
| Ongevallen met gerapporteerde milieuschade | 3                         |
| Doden                                      | 3,3                       |
| Gewonden                                   | 2,6                       |
| Vermisten                                  | 1,1                       |

1) Tot zware ongevallen worden gerekend: zinken, breken, kapseizen, zware scheepsschade, ladingschade, zware brand- en explosieschade.

Bron: [45]

In de onderzochte periode van 12 jaar deed zich gemiddeld drie keer per jaar een ongeval voor waarbij melding gemaakt werd van schade aan het milieu. Ook al is de kans op calamiteiten klein, de effecten van ongevallen kunnen groot zijn wanneer er schepen betrokken zijn die olie, olieproducten of vloeibare, toxische stoffen vervoeren. In dit hoofdstuk wordt een schatting gemaakt van de huidige risico's van dergelijk transport over de Westerschelde.

### 5.2 Vervoer van olie en olieproducten

Op basis van een eerste verkenning [56] wordt een beschrijving gegeven van de omvang van het vervoer, van de kans op calamiteiten en van de verwachte effecten op organismen.



### 5.2.1 Omvang van het vervoer en aard van de lading

In het jaar 1981 vervoerden zeeschepen over de Westerschelde in totaal  $3 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> ruwe olie en  $12 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> nafta (ruwe petroleum) en daarmee gelijkgestelde stoffen. Tabel 19 geeft de aantallen schepen die hierbij betrokken waren, onderverdeeld naar lading en capaciteit.

TABEL 19 *Aantallen zeeschepen betrokken bij het vervoer van nafta en ruwe olie over de Westerschelde in 1981, onderverdeeld naar lading en capaciteit.*

| Aantal schepen in 1981 |       |           | Capaciteit in m <sup>3</sup> |          |
|------------------------|-------|-----------|------------------------------|----------|
| totaal                 | nafta | ruwe olie | per schip                    | per tank |
| 200                    | 200   |           | 49.000                       | 1.900    |
| 50                     | 20    | 30        | 91.000                       | 6.300    |
| 3                      | 2     | 1         | 195.000                      | 9.600    |

Bron: [56].

### 5.2.2 Calamiteiten en risico-analyse

In een TNO-onderzoek naar de risico's van het vervoer van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde, is uitgegaan van een ongeval waarbij de totale inhoud van één tank van een schip leegstroomt; een zogenaamde kritieke aanvaring. De kans op een dergelijke calamiteit is voor de gehele Westerschelde geschat op  $5 \cdot 10^{-6}$  per scheepsbeweging, dat betekent één kritieke aanvaring op 200.000 scheepsbewegingen. De kans op het vrijkomen van een bepaalde hoeveelheid olie of nafta is op grond van de gegevens van tabel 19 eenvoudig te berekenen. Tabel 20 geeft de resultaten, waarbij tevens de onzekerheid in de berekende kansen is aangegeven. De onzekerheidsfactor bij deze kansberekeningen wordt genoteerd als  $+a/+b$ , wat betekent dat de onzekerheidsgrenzen gesteld worden op  $a+1$ , respectievelijk  $1/(b+1)$  maal de berekende kans. De onzekerheidsfactor voor een kritieke aanvaring is  $+3/+5$ . De kans op het leegstromen van meerdere tanks is niet in beschouwing genomen.

Ongeacht de omvang van de tank c.q. lozing, is de kans op een calamiteit één maal per duizend jaar. Tot op heden heeft zich in de Westerschelde nog geen calamiteit voorgedaan van de omvang vermeld in tabel 20. In de periode 1966-1978 waren in totaal 2653 zee- en binnenvaartschepen op de Westerschelde bij ongevallen betrokken. Hierbij waren 28 schepen die olie of olieproducten vervoerden. In enkele gevallen is olie vrijgekomen, met name bij ongelukken met binnenvaartschepen. De hoeveelheid lag maximaal in de orde van 500 m<sup>3</sup>, hetgeen overeenkomt met de inhoud van twee tanks in een binnenvaartschip.

TABEL 20 *Schatting van de kans op het optreden van olie- en naftalozingen van een bepaalde omvang, als gevolg van ongevallen met zeeschepen.*

| Voorbeeldschip<br>(enkelwandig) | Kans op lozing<br>jaar <sup>-1</sup> | Waarschijnlijkheidsgrenzen <sup>1)</sup><br>jaar <sup>-1</sup> |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>m<sup>3</sup> ruwe olie</b>  |                                      |                                                                |
| 6.300                           | $2 \cdot 10^{-4}$                    | $3 \cdot 10^{-5}$ tot $8 \cdot 10^{-4}$                        |
| 9.600                           | $5 \cdot 10^{-6}$                    | $9 \cdot 10^{-7}$ tot $2 \cdot 10^{-5}$                        |
| <b>m<sup>3</sup> nafta</b>      |                                      |                                                                |
| 1.900                           | $1 \cdot 10^{-3}$                    | $2 \cdot 10^{-4}$ tot $4 \cdot 10^{-3}$                        |
| 6.300                           | $1 \cdot 10^{-4}$                    | $2 \cdot 10^{-5}$ tot $4 \cdot 10^{-4}$                        |
| 9.600                           | $1 \cdot 10^{-5}$                    | $2 \cdot 10^{-6}$ tot $4 \cdot 10^{-5}$                        |

1) Deze grenzen zijn bepaald door de berekende kans te vermenigvuldigen met de voor een kritieke aanvaring veronderstelde onzekerheidsfactor van +3/+5.

Bron: [25].

### 5.2.3 De verspreiding van geloosde olie en olieproducten

De meeste ruwe-oliesoorten en olieproducten verspreiden zich over het wateroppervlak. Er zijn echter oliesoorten die zich nauwelijks verspreiden, als gevolg van een hoge grensvlakspanning tussen water en olie, of van een hoog "pour point", de temperatuur waarbij de olie nog net vloeit. Sommige olieproducten bezitten een hoger soortelijk gewicht dan water en bezinken.

Een olievlek breidt zich uit onder invloed van de zwaartekracht en de grensvlakspanning. De verspreiding wordt tegengewerkt door wrijvingskrachten en door de traagheidskrachten die opgeroepen worden door de versnelling die de olie ten opzichte van het water krijgt. Als gevolg van getijstromingen, de invloed van de wind en de grillige morfologie van het estuarium met haar intergetijdegebied, zal de olievlek zich meer in de lengterichting dan in de breedte van het estuarium verplaatsen. Door de horizontale getijbeweging zal de vlek gedurende meerdere getijcycli over een grote afstand heen en weer verplaatst kunnen worden. De getijweg bedraagt in de Westerschelde 10 tot 20 km. Door het verticaal getij zal bij afgaand water een deel van de olie achterblijven op de droogvallende slikken en schorren. Daarnaast heeft de wind vat op de olie. De oppervlakedrift van een olielaag varieert van 2 tot 4,5% van de gemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte. Wanneer slechts één tank van een olie-of naftaschip leegstroomt moet rekening gehouden worden met een lozing van zo'n 1900 tot 9600 m<sup>3</sup>, afhankelijk van de grootte van het vaartuig. Deze hoeveelheid leidt tot een vlek met een initieel oppervlak van ongeveer 1 tot 5 km<sup>2</sup> met een laagdikte van 0,5 mm en een maximaal oppervlak van 70 tot 100 km<sup>2</sup> met een laagdikte van 0,1 mm.

#### 5.2.4 De verontreiniging door olie als gevolg van scheepsongevallen

De gevormde olie- of naftaplas zal binnen één tot tien dagen van het wateroppervlak verdwenen zijn. In de tussentijd zal de substantie vooral in de intergetijdezone afgezet worden, wat tot een duidelijke schade leidt aan de planten en dieren van deze slikken en schorren. Gezien de relatief lage  $LC_{50}$ -waarden van olie zal een zekere sterfte van organismen in de waterkolom alleen direct na de lozing verwacht kunnen worden. Sterfte door andere oorzaken dan vergiftiging kan zich voordoen onder bodemfauna, wanneer olie wordt afgezet in intergetijdegebieden en onder vogels. In hoofdstuk 6 van dit deelrapport wordt dieper op deze effecten ingegaan.

### 5.3 Vloeibare toxische stoffen

TABEL 21 *Enkele belangrijke stoffen uit de toxiciteitsklassen A en B van de MARPOL 73/78 Conventie van 1973 (zie tekst voor de klassegrenzen).*

| Groep A               | Groep B                             |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Creosoot              | Acrylnitril                         |
| Cresolen              | Ammoniak                            |
| Cresylzuur            | Benzylchloride                      |
| Dichloorbenzeen       | n-Butylaldehyde (butanal)           |
| Naftaleen (vloeibaar) | Butaanzuur (boterzuur)              |
| Tetraethyllood        | para-Chloortolueen                  |
| Tetramethyllood       | Crotonaldehyde                      |
|                       | Dibroometheen (ethyldibromide)      |
|                       | Dichlooretheen (ethyldichloride)    |
|                       | Dichloordiethylether                |
|                       | Dichloorpropeenpropaan              |
|                       | Fenol                               |
|                       | Monochloorbenzeen                   |
|                       | Monochloormethaan (methylchloride)  |
|                       | Perchlooretheen (ethylperchloraat?) |
|                       | Pyridine                            |
|                       | Tetrachlooretheen                   |
|                       | Tetrachloormethaan (tetra)          |
|                       | Tolueendiisocynaat                  |
|                       | Trichlooretheen                     |
|                       | Trichloormethaan (chloroform)       |

#### 5.3.1 Inleiding

De Inter-Governmental Maritime Consultative Organization (IMCO, tegenwoordig IMO) heeft in 1973 een internationale conventie opgesteld voor de preventie van verontreiniging door schepen. In Annex II van deze conventie,



die bekend staat als MARPOL 73/78, zijn een groot aantal vloeibare toxische stoffen opgenomen, die ingedeeld zijn in vijf toxiciteitsklassen. Groep A omvat de zeer toxische ( $LC_{50} < 1$  mg/l) en de toxische verbindingen ( $LC_{50} < 10$  mg/l, waarbij additionele factoren een bepaalde schade kunnen veroorzaken) en tevens die stoffen die zich kunnen ophopen in het weefsel van organismen en risico's opleveren voor het aquatisch leven of voor de menselijke gezondheid bij consumptie. Voor de stoffen uit categorie B geldt een  $LC_{50}$ -waarde tussen 1 en 10 mg/l. Een aantal belangrijke stoffen uit de klassen A en B van de conventie van 1973 zijn vermeld in tabel 21. Ofschoon deze MARPOL-conventie wat de vloeibare toxische stoffen betreft nog niet is geratificeerd, heeft er inmiddels wel een evaluatie plaatsgevonden van de risico's verbonden aan het vervoer van deze stoffen per schip [24]. Deze evaluatie heeft geleid tot een groot aantal wijzigingen in de indeling in toxiciteitsklassen. Gegevens over de omvang van het transport van afzonderlijke chemicaliën over de Westerschelde ontbreken echter. Daarom leek het weinig nuttig om deze veranderingen te verwerken en is de oude groepsindeling gehanteerd.

### 5.3.2 Omvang van het vervoer

Tabel 22 geeft een schatting van de omvang van het vervoer van vloeibare toxische stoffen over de Westerschelde. De beschikbare gegevens zijn ontoereikend om onderscheid te kunnen maken naar de aard van de lading.

TABEL 22 *Schatting van het jaarlijks vervoer van vloeibare toxische stoffen door zeeschepen over de Westerschelde.*

| Scheepsgrootte<br>dwt | Tankinhoud<br>m <sup>3</sup> /tank | Scheepsbewegingen<br>aantal/jaar | Vervoerde hoeveelheid<br>10 <sup>3</sup> kg/jaar |
|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1.600                 | 200                                | 150                              | 350.000                                          |
| 20.000                | 700                                | 150                              | 350.000                                          |

Bron: [56].

De schatting van de omvang van het transport van vloeibare toxische stoffen is gebaseerd op de volgende drie veronderstellingen :

- 1 Van de circa 2000 zeeschepen die chemicaliën over de Westerschelde vervoeren, bevat 15% één of meer deelladingen van de in tabel 21 genoemde stoffen;
- 2 Op grond van een in 1981 gehouden weektelling wordt geschat dat ongeveer de helft van de chemicaliëntankers tot de kleinere typen behoort;
- 3 Geschat wordt dat 5 à 10% van de 4½ miljoen ton chemicaliën die in 1981 door de Antwerpse haven zijn behandeld, behoort tot de in tabel 21 vermelde stoffen. Dit komt neer op circa 350.000 ton. Daarnaast worden er chemicaliën als deellading vervoerd, die niet in Antwerpen behandeld worden. Daarom is de geschatte hoeveelheid verdubbeld en vervolgens verdeeld over beide onderscheide scheepstypen.

### 5.3.3 Het risico van calamiteiten

In de risico-analyse van TNO [25] wordt de kans op een kritieke aanvaring die leidt tot het scheuren van één tank, geschat op  $5 \cdot 10^{-6}$  per scheepsbeweging. De hieruit berekende kans op een calamiteit in de Westerschelde (zie tabel 23) is gelijk voor de beide naar tankinhoud onderscheide scheepstypen, omdat het aantal scheepsbewegingen van elk even groot is verondersteld.

TABEL 23 *Schatting van de kans op het optreden van chemicaliënlozingen van een bepaalde omvang, als gevolg van ongevallen met zeeschepen.*

| Voorbeeldschip<br>(enkelwandig) | Kans op lozing<br>jaar <sup>-1</sup> | Waarschijnlijkheidsgrenzen <sup>1)</sup><br>jaar <sup>-1</sup> |     |                     |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----|---------------------|
| m <sup>3</sup> chemicaliën      |                                      |                                                                |     |                     |
| 200                             | $7,5 \cdot 10^{-4}$                  | $3,0 \cdot 10^{-3}$                                            | tot | $1,3 \cdot 10^{-4}$ |
| 700                             | $7,5 \cdot 10^{-4}$                  | $3,0 \cdot 10^{-3}$                                            | tot | $1,3 \cdot 10^{-4}$ |

1) Deze grenzen zijn bepaald door de berekende kans te vermenigvuldigen met de voor een kritieke aanvaring veronderstelde onzekerheidsfactor van +3/+5; zie paragraaf 5.2.2.

Bron: [25].

### 5.3.4 De verspreiding van vloeibare toxische stoffen

De verspreiding van weglekkende vloeistoffen verschilt sterk van stof tot stof. Afhankelijk van de fysische en chemische eigenschappen van de vloeistof bij uitstroming in water, kunnen de volgende vier categoriën onderscheiden worden :

- 1 Stoffen die onmiddellijk verdampen;
- 2 Stoffen die op het water blijven drijven;
- 3 Stoffen die goed oplossen in, of snel reageren met water;
- 4 Stoffen die zinken.

De meeste toxische stoffen die door chemicaliëntankers worden vervoerd, behoren tot categorie 2. Deze stoffen zijn slecht in water oplosbaar. In veel gevallen gaat het om zeer toxische verbindingen. De verspreiding van deze vloeistoffen is net als bij olie afhankelijk van getijstromingen, de windkracht en -richting en de morfologie van het estuarium. De effecten zijn het grootst wanneer de stof wordt afgezet in de intergetijdezone en vervolgens in de bodem dringt. De hoeveelheid die wordt afgezet wordt vooral bepaald door de snelheid waarmee de stof aan het wateroppervlak verdampt. Uiteraard spelen ook de windrichting en de plaats van het ongeval een belangrijke rol.

Van de goed-oplosbare stoffen, categorie 3, is het grootste deel matig tot weinig toxisch. Voorbeelden zijn methanol, ammoniak en zwavelzuur. De groep slecht-oplosbare vloeistoffen met een hogere soortelijke massa

dan water (categorie 4), omvat een groot aantal stoffen uit de klassen A en B van de MARPOL-conventie, zoals vloeibaar naftaleen, chloroform en trichlooretheen. Ook vloeibaar zwavel, dat veel vervoerd wordt over de Westerschelde, behoort tot deze groep. De verspreiding van deze zinkende vloeistoffen is voornamelijk afhankelijk van de getijstrooming; wind en golven hebben nauwelijks invloed. De stroomsnelheid op de plaats van het ongeval zal ook bepalen of de bezinkende stof in de directe omgeving een plas vormt op de bodem, of eerst getransporteerd wordt om in rustiger water te sedimenteren. Een op de bodem gevormde plas kan in tweede instantie verplaatst of verspreid worden, wanneer de stroomcondities zich wijzigen.

Om de verspreiding van stoffen die vrijkomen bij een calamiteit te kunnen berekenen heeft de Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren het programma-pakket CALMOD ontwikkeld [35, 36, 37]. Dit pakket is toepasbaar voor conservatieve, homogeen mengende stoffen en voor een tijdsbestek van enkele dagen na het ongeval. De lozing wordt gesimuleerd door middel van een deeltjesformulering, waarbij de stof wordt beschouwd als een verzameling deeltjes. Het advectief transport, het transport door de waterbeweging, wordt berekend aan de hand van snelheidsgegevens die zijn toegeleverd door het waterbewegingsmodel WAQUA. De diffusieve verspreiding wordt gesimuleerd als een random proces. Figuur 59 geeft ter illustratie, de verspreiding van een lozing zoals deze berekend is met CALMOD, voor bepaalde condities en een gegeven tijdstip na het ongeval. In deze figuur is de vlek weergegeven door isoconcentratielijnen, die zo zijn gekozen dat respectievelijk 90% en 50% van de totale hoeveelheid geloosde stof zich binnen deze lijnen bevindt.

### 5.3.5 Schadelijke effecten van vloeibare toxische stoffen

De schadelijke effecten van chemicaliën zijn afhankelijk van hun mate van toxiciteit en hun concentratie. Bij een puntlozing, waarvan sprake is bij de beschouwde calamiteiten, varieert deze concentratie in ruimte en tijd in een mate die afhankelijk is van de hydrografische condities en de fysische eigenschappen van de stof in kwestie (zie paragraaf 5.3.4).

De lozing van toxische chemicaliën kan leiden tot acute sterfte van, of schade aan organismen in de waterkolom. Bij lozingen van 700 m<sup>3</sup> is voor oplosbare stoffen uit de toxiciteitsklasse B, de maximale concentratie in de wolk gedurende 10 tot 30 uur boven de LC<sub>50</sub>-waarde. Gaat men uit van een arbitrair gekozen "no-effect level" van 1% van de LC<sub>50</sub>-waarde en conservatief gedrag van de stof, dan zal de maximale concentratie meer dan 1000 uur boven dit "no effect" niveau liggen. De oppervlakte van het gebied waarbinnen dit niveau wordt overschreden, zal na 10 uur gemiddeld 3,3 tot 4,5 km<sup>2</sup> bedragen en na 96 uur 120 tot 230 km<sup>2</sup>.

De groep bezinkende stoffen verdient om twee redenen extra aandacht. Op de eerste plaats behoort een groot aantal van de meest-toxische stoffen uit de klassen A en B tot deze groep. Op de tweede plaats is de kans op het optreden van hoge concentraties van deze stoffen, lokaal maar gedurende langere tijd, relatief groot.

Ook drijvende stoffen kunnen weinig verdund in de toplaag van het sediment terecht komen, maar dan in het intergetijdegebied. De effecten op bodemor-



ganismen kunnen hierdoor ernstiger zijn dan de gevolgen voor organismen in de waterfase. Vooral in sedimentatiegebieden kunnen chronische vergiftingsverschijnselen optreden als gevolg van de veel minder snelle verdunning en verspreiding van de afgezette chemicaliën.

#### 5.4 Beoordeling van de risico-analyse

Het is de vraag of de gepresenteerde kansberekeningen een aanvaardbaar uitgangspunt bieden voor een beoordeling van de werkelijke risico's. Uit een studie van de Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde blijkt dat in de periode 1966-1978 in totaal 1922 ongevallen op de Westerschelde zijn geregistreerd. Hierbij waren 2653 schepen betrokken, waaronder 1666 zeeschepen en 961 binnenschepen. Zoals tabel 24 laat zien was in een groot aantal gevallen de aard van lading niet bekend; dit gold voor 58% van de zeeschepen en 24% van de binnenschepen. Voor zover deze wel bekend was ging het in 10 à 17% van de gevallen om gevaarlijke stoffen, dat wil zeggen, brandbare, explosieve en/of giftige. De meeste van deze schepen vervoerden brandbare vloeistoffen.

TABEL 24 *Informatie over de lading van de schepen die in de periode 1966-1978 betrokken waren bij een ongeval op de Westerschelde.*

| Soort schip | Aantal schepen |        |                          |                                   |         |          |
|-------------|----------------|--------|--------------------------|-----------------------------------|---------|----------|
|             | totaal         | bekend | gevaarlijk <sup>1)</sup> | lading<br>brandbaar <sup>2)</sup> | toxisch | onbekend |
| Zeeschip    | 1666           | 700    | 75                       | 52                                | 3       | 966      |
| Binnenschip | 961            | 730    | 124                      | 103                               | 2       | 231      |

1) Onder gevaarlijk wordt verstaan: brandbaar, explosief, toxisch etc.

2) Hierbij gaat het om brandbare vloeistoffen.

Bron: [45].

Bij 82 ongevallen was sprake van milieuschade als gevolg van het wegstromen van een deel van de lading. In 27 gevallen ontsnapten minerale olieproducten, in twee gevallen giftige chemicaliën en in drie gevallen giftige gassen. In de overige gevallen was de lading en daardoor de aard van de verontreiniging niet bekend. Op grond van eenzelfde verhouding zouden drie tot vier van deze schepen toxische stoffen hebben kunnen bevatten. Gesteld kan worden dat zich in een tijdsbestek van 13 jaar twee zekere en drie tot vier onzekere gevallen van waterverontreiniging door giftige chemicaliën hebben voorgedaan. De omvang van deze lozingen is niet bekend. Evenmin kan uit de studie worden afgeleid of bij de geconstateerde gevallen zeeschepen dan wel binnenschepen betrokken waren. Wel is vrijwel zeker dat er geen grote calamiteiten met giftige stoffen hebben plaatsgevonden.

De kans op een kritieke aanvaring is moeilijk te schatten, omdat de lacunes in de gegevens groot zijn en de onderzochte periode kort is. Wel kan geconcludeerd worden dat het aantal ongevallen met zeeschepen in deze periode veel hoger is dan op grond van de schatting van TNO zou worden verwacht. Wat het transport van giftige stoffen betreft wijzen de feitelijke gegevens op een frequentie van één ongeval in enkele jaren.

## 5.5 Maatregelen

Om de risico's van het vervoer van gevaarlijke stoffen op de Westerschelde te minimaliseren moet de algemene veiligheid op de vaarroute verder geoptimaliseerd te worden. Doet zich een ongeval voor waarbij gevaarlijke stoffen in het water terecht komen, dan moeten maatregelen genomen worden om de effecten hiervan te beperken. De coördinatie van activiteiten die hierbij ontplooit moeten worden, is in handen van het Hydro-Meteocentrum van de Rijkswaterstaat Directie Zeeland.

### 5.5.1 Maatregelen om calamiteiten te voorkomen

#### *Snelheidslimiet*

Op het traject Hansweert-Terneuzen varen zeeschepen en binnenschepen van de beroepsvaart. Door de golven veroorzaakt door snelvarende zeeschepen kunnen moeilijke situaties ontstaan voor in koppelverband varende binnenschepen. Deze situaties moeten voorkomen worden door een maatregel die de snelheid van zeeschepen beperkt, bij het passeren of oplopen van binnenschepen.

#### *Regulering van het vervoer van gevaarlijke stoffen*

Sinds 1985 is een reglement van kracht voor het vervoer van gevaarlijke stoffen met zeeschepen (RVGZ), dat een verdergaande beveiliging beoogt. Dit reglement omvat een aantal internationaal geldende voorschriften voor zeeschepen die gevaarlijke stoffen over de Westerschelde vervoeren. Op grond van de ervaringen met deze regels kan besloten worden tot een aanpassing. Wijziging van dit reglement ligt in handen van het Directoraat voor het Vervoer en heeft internationale aspecten.

#### *Risico's van overslag en bunkeren op stroom*

Overslag op stroom is op dit moment toegestaan in de Everingen (nevenvaarwater) en de Put van Terneuzen (langs het hoofdvaarwater); bunkeren op stroom mag alleen in de Everingen. Deze activiteiten brengen risico's met zich mee. Onderzocht zou moeten worden of de risico's voor de waterkwaliteit (morsingen) en de veiligheid (aanvaringen) zodanig zijn dat maatregelen genomen moeten worden om deze risico's te beperken.

### 5.5.2 Maatregelen in geval van een calamiteit

Wat de bestrijding van de gevolgen van een calamiteit betreft, is onderscheid te maken tussen gevolgen voor de veiligheid (brand, obstakels, e.a.) en gevolgen voor de waterkwaliteit. De eerste categorie effecten wordt meestal bestreden door een particuliere berger, onder contract van de scheepseigenaar. In de huidige wetgeving is de berger hierbij verplicht om aanwijzingen op te volgen van de vaarwegbeheerder en burgemeester (i.c. brandweer).

Het bestrijden van de waterverontreiniging is een taak van de waterbeheerder, in dit geval de regionale Directie van Rijkswaterstaat. Deze beschikt daartoe over oliebestrijdingsmaterieel, zoals veegarmen en oil brooms voor kleine verontreinigingen of een eerste bestrijding van grotere. Bij grote verontreinigingen wordt zonodig hulp gevraagd aan andere instanties, zoals de Directie Noordzee met het oliebestrijdingsvaartuig Smal Agt, of worden plaatselijke aannemers en cleaningsbedrijven ingeschakeld.



## 6 BIOLOGISCHE EFFECTEN VAN CONTAMINANTEN

### 6.1 Inleiding

Het industrieel en huishoudelijk afvalwater dat op de Westerschelde terecht komt bevat stoffen die het functioneren van organismen op de één of andere wijze beïnvloeden. Veel van deze stoffen zijn al bij lage concentraties toxisch en komen zowel in het water als de bodem voor. Waterdieren onderhouden een intensief contact met de waterfase ten behoeve van hun ademhaling. Vele nemen voedsel op door grote hoeveelheden water te filteren. Ongewervelde bodemdieren, bentische vissen en hogere planten zijn daarnaast in nauw contact met de bodem, die een vestigings- of schuilplaats vormt en tevens voedingsstoffen kan leveren. Naast deze contacten tussen organismen en contaminanten kan biomagnificatie optreden. Hieronder wordt de accumulatie van toxische stoffen in de voedselketen verstaan, wat tot relatief-hoge gehalten in predatoren leidt. In estuaria vormen bodemdieren een belangrijke voedselbron voor vissen en vogels. Aan deze bodemdieren wordt daarom in de volgende paragrafen relatief veel aandacht besteed.

Het gehalte van een toxische stof in een organisme is bij een gegeven belasting van het milieu afhankelijk van de eigenschappen van die stof en de eigenschappen van het organisme. Van een stof zijn de mate van afbreekbaarheid (persistentie), de vorm waarin de stof beschikbaar is (speciatie) en de concentratie in het milieu, van invloed op het uiteindelijke gehalte in het organisme. Tussen diersoorten kunnen grote verschillen bestaan in accumulatie van een toxische stof, door verschillen in opname, uitscheiding, of transformatie van de beschikbare stof. Ook de gevoeligheid voor contaminanten kan variëren. Binnen één soort kunnen verschillen optreden, die samen hangen met het levensstadium en de conditie van de individuen. Onder minder gunstige omstandigheden, bijvoorbeeld tijdens een verlaagd zoutgehalte of een verhoogde temperatuur, is de gevoeligheid voor verontreinigingen groter dan onder gunstige. Deze variatie in responses leidt ertoe dat het inzicht in de reële effecten van microverontreinigingen nog steeds beperkt genoemd moet worden, ondanks het vele onderzoek dat is verricht.

De meest opvallende effecten van contaminanten zijn de acute, letale effecten waarbij organismen sterven. In de praktijk echter, zijn de subletale, vaak chronische effecten belangrijker en verdienen zij daarom meer aandacht. Gesteld kan worden dat het optreden van deze effecten in het algemeen een grotere bedreiging voor het ecosysteem vormt dan het optreden van letale acute. De chronische vergiftiging heeft een sluipende, onzichtbare werking, die op een langere termijn ernstige schadevormen kan aannemen [39]. Voorbeelden hiervan zijn groeistoornissen, vermindering van de voortplanting en aantasting van het afweersysteem waardoor het organisme ontvankelijker wordt voor infecties.

## 6.2 Effecten van zware metalen

De gevoeligheid van bodemdieren voor zware metalen neemt in het algemeen toe bij dalende zoutgehalten en stijgende temperaturen [40]. Bij het Nonnetje (*Macoma balthica*) is dit verschijnsel onderzocht door Bryant en medewerkers, voor de metalen chroom, arseen, nikkel en zink [14, 15, 16]; figuur 60 geeft een beeld van hun resultaten voor zink.

Niet alle zware metalen zijn even toxisch. McLusky c.s. hebben op basis van een literatuuronderzoek naar de effecten op estuariene ongewervelden de onderstaande volgorde van afnemende toxiciteit vastgesteld [40] :

kwik > cadmium > koper > zink > chroom > nikkel > lood, arseen.

Veel toxicologisch onderzoek is verricht aan de Mossel (*Mytilus edulis*). In mosselen uit een niet-verontreinigd systeem bedraagt het kwikgehalte ongeveer 0,1 mg Hg per kg drooggewicht. Kopergehalten van 5 tot 12 mg Cu per kg drooggewicht zijn normaal. Bij lagere kopergehalten treden deficiëntieverschijnselen op, bij hogere gehalten subletale effecten. Sterfte doet zich voor bij gehalten van 50 à 200 mg Cu per kg drooggewicht.

Wat cadmium betreft is een gehalte van ca. 1 mg Cd per kg drooggewicht normaal. Bij een verhoogde opname in de lichaamscellen blokkeert cadmium eiwitten, waardoor deze niet meer benut kunnen worden voor de instandhouding en groei van het organisme. Het dier blijft achter in de groei en zijn weerstand vermindert. De afwezigheid van schelpdieren in de Rijn is zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de hoge cadmiumconcentraties, die tot 1983 in deze rivier optraden. Waarnemingen aan de groei van de Driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) hebben het mogelijk gemaakt om de cadmiumgehalten in deze mosselen te koppelen aan effecten. Remming van de groei treedt op bij gehalten vanaf ongeveer 5 mg Cd per kg asvrij drooggewicht. Mariene mosselen lijken een overeenkomstige gevoeligheid te bezitten.

Het is van belang de concentraties in het milieu te kennen waarbij effecten kunnen optreden. Steur [55] geeft een literatuuroverzicht van metaalgehalten in het water, waarbij 50% van de populatie Strandgapers sterft (LC<sub>50</sub>-waarden). Overeenkomstig de eerdergenoemde volgorde van afnemende toxiciteit lopen deze gehalten uiteen van 0,004 mg/l voor kwik, via 0,70 mg/l voor cadmium en 3,10 mg/l voor zink, tot 112 mg/l voor nikkel, bij een temperatuur van  $\pm 21$  °C, een saliniteit van 20 ‰ en een blootsteldingsduur van 168 uur. De gegevens voor het Nonnetje wijzen op LC<sub>50</sub>-waarden die in dezelfde orde van grootte liggen. Wel lijkt deze soort relatief minder gevoelig te zijn voor zink.

Subletale effecten, zoals een remming van het graafvermogen en een beschadiging van de sifons, treden bij jonge Nonnetjes op na een blootstelling aan kwik- of zinkconcentraties, die een factor 20 lager zijn dan de bijbehorende LC<sub>50</sub>-gehalten [23]. Effecten op de larvale ontwikkeling van bodemdieren zijn al bij lage metaalgehalten te constateren. Jonge Brakwaterkrabbetjes (*Rhithropanopeus harrisii*) bijvoorbeeld, ontwikkelen zich na het ei verlaten te hebben in gemiddeld 14,4 dagen tijd tot megalopalarven, bij een saliniteit van 20 ‰ en een watertemperatuur 23,5 °C. Bij een gelijktijdige blootstelling aan lood en zink, waarbij de concentraties van elk onafhankelijk varieerden van 0 tot 50 µg/l, werden ontwikkelingstij-



den van gemiddeld 14-16 dagen waargenomen. De invloed van gehalten hoger dan 50 µg/l werd niet onderzocht [6]. In het brakke deel van de Westerschelde varieert het opgelost-zinkgehalte tussen 0 en 75 µg/l (figuur 15); het loodgehalte ligt op een lager niveau. Het is denkbaar dat de geschetste beïnvloeding van de ontwikkelingstijd effect heeft op de levensvatbaarheid van deze larven.

### 6.3 Effecten van organische microverontreinigingen

Bepaalde groepen van organische microverontreinigingen vormen een groot milieuprobleem, vanwege een combinatie van toxiciteit, persistentie, biomagnificatie, carcinogene en mutagene werking. Voorbeelden van verbindingen die zich ophopen zijn DDT en afgeleide componenten, PCB's en chloorbenzenen. Andere microverontreinigingen, zoals de PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen), kunnen door de meeste, hogere organismen weliswaar afgebroken worden, maar staan toch op de zwarte lijst door hun kankerverwekkende eigenschappen.

Organische microverontreinigingen kunnen al bij zeer lage concentraties in het oppervlaktewater ziekten veroorzaken bij koud- en warmbloedige dieren. Vaak zijn deze effecten carcinogeen van aard. Bij vissen leiden zij tot de ontwikkeling van vinrot en tumoren. Vaak ook zijn deze verbindingen direct of indirect bedreigend voor de voortplanting. Het vermoeden bestaat dat contaminatie met PCB's bij vogels en zeehonden de drang tot het ouderschap doet afnemen. DDE kan leiden tot dunnere eierschalen waardoor de kans op breuk toeneemt en het broedsucces af. Door ophoping in de vetweefsels kunnen organische microverontreinigingen sterfte veroorzaken zodra het dier moet interen op zijn reserves. In de eerste helft van de jaren zestig waren de zogenaamde "drins"-pesticiden verantwoordelijk voor de sterfte onder Eidereenden tijdens de broedperiode [57]. Nadat de belasting van de Waddenzee met deze pesticiden was verminderd nam het aantal eidereenden weer toe.

De verontreiniging met PCB's levert een bekend voorbeeld van de sluipende effecten van cumulatie in eindpredatoren. Al 25 jaar zijn de PCB-gehalten in het milieu en in organismen dermate hoog dat zoogdieren en visetende vogels ernstig bedreigd worden in hun voortplanting. In de westelijke Waddenzee is de reproductie van de Zeehond duidelijk verstoord [44], terwijl de Grote stern zich waarschijnlijk alleen nog in de Waddenzee kan handhaven dankzij het feit dat het dier voedsel zoekt in de Noordzee, op ruim 20 km buiten de eilanden.

Een andere groep van organische microverontreinigingen die in Nederland duidelijke effecten veroorzaakt, zijn de organotinverbindingen. Eén van deze verbindingen, het tributyltin (TBT), wordt toegepast als aangroeiwerend middel in scheepsverven. Rond jachthavens worden organotingehalten van 0,1 à 0,2 µg Sn/l gevonden, terwijl TBT al bij concentraties vanaf 0,1 µg/l acuut toxisch is voor oester- en mossellarven. Vanaf 0,05 µg/l treden afwijkingen op in de schelpgroei van Japanse oesters, terwijl een abnormale ontwikkeling van de mannelijke geslachtskenmerken bij de Purperslak al is waargenomen bij concentraties vanaf 0,001 µg/l. Ook de sterke achteruitgang van de diatomee *Skeletonema costatum* voor de kust van Plymouth



sinds 1980, wordt in verband gebracht met de gevoeligheid van dit organisme voor TBT [10]. De milieuschade van TBT blijkt zo groot dat in Frankrijk, Engeland, Japan en Amerika al maatregelen zijn genomen die het gebruik moeten beperken.

Over de effecten van combinaties van organische microverontreinigingen is weinig bekend. Het effectonderzoek in laboratoria is doorgaans gericht op afzonderlijke stoffen, of op groepen van verbindingen met identieke eigenschappen. In de kustwateren en rivieren zijn het cocktails van stoffen die effecten teweegbrengen. Naar verwachting zijn deze effecten anders dan die van de stoffen apart [12].

#### **6.4 Effecten van olieverontreiniging**

##### **6.4.1 Effecten van olie op vegetatie en bodemdieren**

De aantasting van de intergetijdenflora door afzetting van olie is sterk afhankelijk van de hoeveelheid olie en de vorm waarin deze contact maakt met de planten. Bij alle olierampen waarvan de effecten in het veld zijn onderzocht werd achteruitgang of sterfte geconstateerd van enige tot meerdere soorten macrowieren, ééncellige algen en zeegrassen. Sommige soorten bleken onder bepaalde omstandigheden opvallend resistent.

Bij acute effecten op bodemdieren zijn afhankelijk van de oliesoort, de diersoort en het ontwikkelingsstadium van het organisme [26, 43].

De gevoeligheid van larven van deze diergroep kan een factor 10 tot 1000 hoger zijn dan van de volwassen stadia, zoals kan worden afgeleid uit tabel 25. Deze tabel presenteert de resultaten van een groot aantal laboratoriumonderzoeken, waarbij getracht werd de letale concentratie van een aantal oliesoorten te bepalen op basis van het gehalte aan oplosbare, aromatische koolwaterstoffen.

Olie die wordt afgezet in intergetijdengebieden zal een relatief langdurige invloed kunnen uitoefenen. Daarom moet tevens rekening gehouden worden met een geleidelijke sterfte van bodemdieren, door een fysische beperking van zowel de zuurstof-, als de voedselopname. Deze geleidelijke effecten worden versterkt door het optreden van subletale effecten als gevolg van de toxiciteit van olie. Subletale effecten treden al op bij olieconcentraties die een factor 10 tot 1000 lager zijn dan de gepresenteerde, letale gehalten. Concentraties van 0,01-1 ppm olie bijvoorbeeld, kunnen bij mollusken de voedselopname vertragen en de respiratie verhogen.

Na grote olierampen kan er plaatselijk grote sterfte onder de bodemdieren optreden, zowel boven als onder de laagwaterlijn. Gebleken is dat het herstel van de bodemfauna vijf tot tien jaar kan duren. Ook bij het opruimen van olieverontreiniging ondervindt deze fauna negatieve effecten. Bij het "schoonvegen" van een plaat, of het gebruik van oliedispergenten worden bodemdieren gedood. De negatieve effecten van de olielaag op bodemdieren worden eerder versterkt dan verminderd door de toepassing van dispergentia.

TABEL 25 *Schatting van de letale concentratie van enkele oliesoorten op basis van SAD-gehalten<sup>1)</sup>, voor larvale en adulte bodemdieren bij een expositieduur van enkele uren.*

| Organisme                                            | Letale SAD-<br>concentratie<br>ppm | Geschatte concentratie van oliesoorten<br>die letale gehalten van SAD oplevert<br>ppm |                                  |                                  |                  |
|------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
|                                                      | SAD                                | Stookolie                                                                             | Ruwe olie                        | Kerosine                         | Residu           |
| Larven algemeen                                      | 0,1-1,0                            | 0,5-5                                                                                 | 10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> | 1-10                             | ≥10              |
| Slakken                                              | 10-100                             | 50-500                                                                                | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> | ≥10 <sup>3</sup> |
| Tweekleppigen                                        | 5-50                               | 25-500                                                                                | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 50-500                           | ≥300             |
| Benthische<br>kreeftachtigen                         | 1-10                               | 5-50                                                                                  | 10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> | 10-100                           | ≥10 <sup>2</sup> |
| Andere benthische<br>organismen (o.a. borstelwormen) | 1-10                               | 5-50                                                                                  | 10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> | 10-100                           | ≥10 <sup>2</sup> |

1) SAD = soluble aromatic hydrocarbon derivatives, waaronder mono- en bicyclische aromaten en nafteen-aromaten.

Stookolie (nr 2) bevat 1-30% SAD, ruwe olie 0.1-10%, kerosine 1-20% en residu 0-1%.

Bron: [26].

#### 6.4.2 Effecten van olie op vogels

Vogels zijn in het algemeen de meest opvallende slachtoffers van olieverontreiniging. Zolang deze drijfvlagen veroorzaakt op het wateroppervlak raakt het verenkleed van duikende of zwemmende vogels besmeurd met olie. Bij watervogels is dit verenkleed waterafstotend, maar olie dringt de verenstructuur binnen. De veren kleven aan elkaar en de isolerende luchtruimten tussen de veren worden verdrongen door olie en water. De vogels zelf versnellen dit proces wanneer zij zich trachten schoon te poetsen. De gevolgen zijn warmteverlies, inwendige vervuiling en verlies van drijf- en vliegvermogen. Veelal sterven de vogels aan longontsteking. Een kleine olievlek van 2 à 3 cm doorsnede op de borst van een vogel, kan in koude omstandigheden al tot de dood van het dier leiden.

Daarnaast kunnen de fourageergebieden van diverse vogelsoorten met olie besmeurd raken waardoor het voedselaanbod beperkt wordt en fourageergebieden geheel of gedeeltelijk voor kortere of langere tijd verloren gaan.

Het aantal slachtoffers is sterk afhankelijk van de plaats waar de olie na een ongeval terecht komt en het jaargetijde waarin een ongeval plaatsvindt.

## 6.5 Effecten van radioactieve stoffen

Als gevolg van radioactieve straling kunnen weefselcellen afsterven, of in hun normale functioneren veranderen. Een zeer hoge dosis radioactieve straling kan de dood tot gevolg hebben of een ziekte veroorzaken die tot een vroegtijdige dood leidt. Dergelijke doses kunnen alleen verwacht worden bij nucleaire oorlogshandelingen, rampen met kerncentrales of militair materiëel en, lokaal, bij ongelukken met geneeskundige of wetenschappelijke bronnen van radioactiviteit.

Wat de dosis-effectrelatie voor een radioactieve-stralingssoort in het lage dosesgebied betreft, is een lineaire responscurve aanvaard. Dit betekent dat elke verhoging van het stralingsniveau theoretisch gepaard gaat met een toename van de kans op veranderingen in celmateriaal, met mogelijke subacute, letale effecten. Vanwege de statistische implicaties is de wetenschappelijke vaststelling van het additionele effect om technische redenen moeilijk te realiseren, vooral bij organismen met een korte levensduur.

## 6.6 Gehalten van contaminanten in bodemdieren uit de Westerschelde

In de zomer van 1987 zijn bodemdieren uit de Westerschelde onderzocht op microverontreinigingen om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van toxicanten in de biota. De dieren zijn verzameld in de intergetijdzone van het brakke gebied (Bath-Hansweert), het overgangsgebied (Hansweert-Terneuzen) en het mariene gebied (Terneuzen-Vlissingen).

Hieronder worden de resultaten per onderzochte verbinding gepresenteerd.

De gehalten van zware metalen refereren aan het asvrij drooggewicht (ADW), terwijl de organische microverontreinigingen gerelateerd zijn aan het vetgehalte; deze stoffen hopen zich hoofdzakelijk op in het vetweefsel.

### 6.6.1 PCB's

Figuur 61 toont de concentraties van de diverse PCB-congeneren in de onderzochte bodemdieren uit het overgangsgebied in de omgeving van de Molenplaat. Tevens is het PCB-gehalte van het zwevend stof aangegeven. Vergeleken met deze zwevend-stofgehalten zijn de concentraties van de congenen 28, 31, 44 en 49 in de bodemdieren duidelijk lager. Vermoedelijk is dit het gevolg van biotransformatie. Kwantitatief het meest belangrijk in deze dieren zijn de congenen 101, 118, 138, 153 en 180; deze zijn niet transformeerbaar. Tabel 26 vermeldt de gehalten van de PCB-138 en PCB-153. De Slijkgarnaal vertoont van beide verbindingen de hoogste gehalten. De verschillen tussen de overige diersoorten zijn klein.

Om een indruk te krijgen van de ruimtelijke variatie van beide PCB's in bodemdieren zijn de gehalten in de figuren 62 en 63 uitgezet tegen het chloridegehalte, gemiddeld over de periode januari-augustus 1987, ter hoogte van het monsterpunt. Bij Zeeduizendpoot, Wadpier, Garnaal en Mossel blijkt sprake te zijn van een afname van het PCB-gehalte in westelijke richting. Bij Slijkgarnaal en Nonnetje kan met de beschikbare gegevens geen gradiënt worden aangetoond.



**TABEL 26** *Gehalten van PCB-138 en PCB-153 in enkele bodemdiersoorten uit drie gebieden van de Westerschelde, zomer 1987.*

| Diersoort      | Gehalte in mg/kg vet per gebiedsdeel |                 |                |
|----------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|
|                | brakke gebied                        | overgangsgebied | mariene gebied |
| <b>PCB-138</b> |                                      |                 |                |
| Mossel         |                                      | 1,69 - 2,43     | 1,15 - 1,37    |
| Nonnetje       | 2,36                                 | 1,38            | 1,59 - 1,70    |
| Zeeduizendpoot | 1,83 - 3,39                          | 1,62            | 0,88 - 1,20    |
| Wadpier        | 2,64 - 2,74                          | 2,57            | 0,86 - 1,24    |
| Garnaal        | 3,52                                 | 1,76            | 0,54           |
| Slijkgarnaal   | 4,47 - 4,66                          | 4,25            |                |
| <b>PCB-153</b> |                                      |                 |                |
| Mossel         |                                      | 1,21 - 1,68     | 0,72 - 0,86    |
| Nonnetje       | 1,84                                 | 1,02            | 1,13 - 1,18    |
| Zeeduizendpoot | 1,11 - 1,97                          | 1,03            | 0,53 - 0,76    |
| Wadpier        | 1,70 - 2,02                          | 1,41            | 0,44 - 0,69    |
| Garnaal        | 2,96                                 | 1,57            | 0,68           |
| Slijkgarnaal   | 3,21 - 3,58                          | 3,00            |                |

#### 6.6.2 PAK's

In totaal zijn 15 polycyclische aromatische koolwaterstoffen geanalyseerd. De kwantitatief belangrijkste PAK's in bodemdieren zijn fluorantheen, phenanthreen en pyreen, terwijl benz(a)anthraceen, benzo(a)pyreen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen en benzo(ghi)peryleen belangrijk zijn in verband met hun aangetoonde carcinogene en mutagene werking. Vergeleken met deze bodemdieren bevat het zwevend stof meer phenanthreen, benzo(a)pyreen en indeno(1,2,3-cd)pyreen.

De procentuele verdeling van de diverse PAK's verschilt sterk per diersoort. Zo is in de Garnaal veel fluoreen aanwezig en bevat de Wadpier relatief veel pyreen, benz(e)pyreen en benzo(b)fluorantheen. Tabel 27 geeft de gehalten van fluorantheen en benz(a)anthraceen in bodemdieren uit de drie onderzochte gebieden. Van oost naar west vertonen deze gehalten geen sterk verloop; de variatie is in het algemeen gering. De concentraties in Zeeduizendpoot en Garnaal zijn op alle stations relatief laag.

TABEL 27 *Gehalten van twee polyaromatische koolwaterstoffen in enkele bodemdiersoorten uit drie gebieden van de Westerschelde, zomer 1987.*

| Diersoort                | Gehalte in mg/kg vet per gebiedsdeel |                 |                |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|
|                          | brakke gebied                        | overgangsgebied | mariene gebied |
| <b>Fluorantheen</b>      |                                      |                 |                |
| Mossel                   |                                      | 1,10 - 1,26     | 1,47 - 1,58    |
| Nonnetje                 | 2,65                                 | 2,00            | 1,98 - 2,28    |
| Zeeduizendpoot           | 0,73 - 0,74                          | 0,91            | 0,83 - 0,91    |
| Wadpier                  | 2,21 - 2,60                          | 2,69            | 2,20 - 2,97    |
| Garnaal                  | 0,54                                 | 0,53            | 0,34           |
| Slijkgarnaal             | 1,27 - 1,44                          | 1,81            |                |
| <b>Benz(a)anthraceen</b> |                                      |                 |                |
| Mossel                   |                                      | 0,36 - 0,56     | 0,36 - 0,39    |
| Nonnetje                 | 1,08                                 | 0,75            | 0,79 - 0,91    |
| Zeeduizendpoot           | 0,09 - 0,12                          | 0,13            | 0,05 - 0,08    |
| Wadpier                  | 0,54 - 0,57                          | 0,49            | 0,20 - 0,45    |
| Garnaal                  | 0,15                                 | 0,00            | 0,09           |
| Slijkgarnaal             | 0,55 - 0,70                          | 0,73            |                |

TABEL 28 *Gehalte van cadmium in enkele bodemdiersoorten uit drie gebieden van de Westerschelde, zomer 1987.*

| Diersoort      | Gehalte in mg/kg asvrijdrooggewicht per gebiedsdeel |                 |                |
|----------------|-----------------------------------------------------|-----------------|----------------|
|                | brakke gebied                                       | overgangsgebied | mariene gebied |
| Mossel         |                                                     | 2,72 - 4,74     | 0,74 - 1,60    |
| Nonnetje       | 1,09                                                | 0,52            | 0,26 - 0,41    |
| Zeeduizendpoot | 0,57 - 0,65                                         | 0,81            | 0,15 - 0,40    |
| Wadpier        | 5,03 - 9,60                                         | 10,03           | 1,22 - 1,29    |
| Garnaal        | 1,00                                                | 1,16            | 0,28           |
| Slijkgarnaal   | 0,82 - 1,17                                         | 1,54            |                |

### 6.6.3 Cadmium

Tabel 28 geeft de cadmiumgehalten in bodemdieren uit de drie onderzochte gebieden. De hoogste concentraties, van 5-10 mg Cd/kg ADW, zijn aangetroffen in Wadpieren afkomstig uit het brakke en het overgangsgebied.

Het gehalte in Mossels uit het overgangsgebied ligt net beneden de waarde van 5 mg Cd/kg ADW, waarboven groeiremming verwacht mag worden (zie paragraaf 6.2). Bij de overige organismen variëren de gehalten tussen 0,2 en 1,5 mg Cd/kg ADW. Het cadmiumgehalte in bodemdieren neemt af in westelijke richting, behalve bij Slijkgarnaal en Zeeduizendpoot. De gehalten in Zeeduizendpoot en Wadpier zijn in het overgangsgebied verhoogd, vermoedelijk als gevolg van de lozing van huishoudelijk afvalwater ter hoogte van de Kapelle Bank.

#### 6.6.4 Koper

De hoogste gehalten, 75-164 mg Cu/kg ADW, zijn gevonden bij Garnalen en Slijkgarnalen uit het brakke gebied en het overgangsgebied. Ter hoogte van de Hoge Platen is de concentratie in Garnaal gedaald tot 62 mg Cu/kg ADW. De gehalten in Nonnetje, Mossel, Zeeduizendpoot en Wadpier lopen uiteen van 10-40 mg Cu/kg ADW en vertonen geen oost-westgradiënt. Zeeduizendpooten van de Slikken van Hoofdplaat vertonen een opvallend hoge koperconcentratie.

#### 6.6.5 Kwik

De kwikgehalten variëren van de detectiegrens (0,05) tot 0,44 mg Hg/kg ADW, met een enkele hogere waarde, 0,82 mg Hg/kg ADW, in Slijkgarnalen op het monsterpunt Schaar van de Noord. In het algemeen zijn de gehalten in Slijkgarnaal ongeveer drie maal hoger dan in de overige soorten. In Zeeduizendpoot is te Vlissingen een relatief hoog gehalte aangetroffen. Bij deze soort en bij het Nonnetje is er sprake van enige toename van de kwikgehalten in westelijke richting. Bij de overige bodemdiersoorten is op basis van de beperkte dataset geen gradiënt aantoonbaar.

#### 6.6.6 Samenvatting van de ruimtelijke variaties

In een aantal gevallen nemen de gehalten van microverontreinigingen in bodemdieren toe in oostelijke richting. Dit geldt voor :

- het cadmiumgehalte in Wadpier, Mossel en Nonnetje;
- het kopergehalte in Garnaal;
- het zinkgehalte in Mossel;
- het PCB-gehalte in Zeeduizendpoot, Wadpier, Garnaal en Mossel.

In twee gevallen lijkt sprake te zijn van een toename in westelijke richting, namelijk bij het kwikgehalte in Zeeduizendpoot en Nonnetje.

Wat de gehalten aan PAK's betreft kan bij géén van de onderzochte organismen een ruimtelijke gradiënt worden aangetoond. Dit weerspiegelt het diffuse karakter van de belasting met deze categorie microverontreinigingen.



#### 6.6.7 Trends in gehalten van contaminanten in de Mossel

Conform de verdragen van Oslo en Parijs hebben de betrokken landen een gezamenlijk programma opgesteld om de verspreiding van verontreinigende stoffen in water, bodem en organismen van de Noordzee en aanliggende estuaria te registreren. In het kader van dit Joint Monitoring Programme (JMP) zijn vanaf 1979 mosselen uit de Westerschelde onderzocht op contaminanten. De dieren worden op drie punten in het estuarium bemonsterd: ter hoogte van Vlissingen (meetpunt Vlissingen), in de Pas van Terneuzen (meetpunt Terneuzen) en in het Zuidergat (meetpunt Hansweert). Nagegaan is of de verzamelde gegevens een verandering in de tijd laten zien, die overeenkomt met de trends in de waterkwaliteit die zijn vastgesteld op het grenspunt Schaar van Ouden Doel (zie hoofdstuk 4).

##### *HCB (hexachloorbenzeen)*

Over de hele periode 1979-1987 ligt het HCB-gehalte in de Mossel op een laag niveau van maximaal 0,001 mg/kg natgewicht. Het gehalte in het water te Schaar van Ouden Doel is overeenkomstig laag.

##### *PCB's*

Het som-7 PCB-gehalte in mosselen (de som van de congenen 28, 52, 101, 118, 138, 153 en 180) is weergegeven in figuur 64. Op het meetpunt Terneuzen, het punt waarvoor de tijdreeks het meest compleet is, vertoont het PCB-gehalte op drooggewichtbasis geen trend in de tijd, maar varieert het tussen 0,30-0,65 mg/kg drooggewicht. De jaarlijkse fluctuaties zijn gedeeltelijk te verklaren uit de verschillen in vetpercentages. Deze invloed kan alleen worden aangegeven voor de jaren na 1983, omdat sindsdien de juiste vetanalyses zijn uitgevoerd. Zo toont tabel 29 dat het som-7 PCB-gehalte op basis van drooggewicht tussen 1985 en 1986 gehalveerd is, maar gelijk is gebleven wanneer het gerelateerd wordt aan het vetgehalte. Ook het PCB-gehalte in het water te Schaar van Ouden Doel is in de afgelopen jaren niet veranderd.

**TABEL 29** *PCB-gehalten in mosselen uit de omgeving van Terneuzen in de periode 1985-1987, berekend op basis van drooggewicht en vetgehalte.*

| Jaar | som-7 PCB-gehalte |           | PCB-153-gehalte<br>mg/kg vet |
|------|-------------------|-----------|------------------------------|
|      | mg/kg drooggew.   | mg/kg vet |                              |
| 1985 | 0,65              | 7,47      | 2,57                         |
| 1986 | 0,31              | 7,42      | 2,53                         |
| 1987 | 0,54              | 6,00      | 2,07                         |

### PAK's

Figuur 65 toont het PAK-gehalte in mosselen op drooggewicht basis; weergegeven is de somconcentratie van de zes van Borneff (fluorantheen, benz(b)fluorantheen, benz(k)fluorantheen, benz(a)pyreen, indeno(1,2,3-cd)pyreen en benz(ghi)peryleen). Dit somgehalte varieert tussen 0,4-1,4 mg/kg drooggewicht. Van de zes van Borneff levert fluorantheen de grootste bijdrage, ongeveer 50%.

Omdat de beschikbare gegevens beperkt zijn kan alleen het tijdsverloop in de laatste drie jaar worden aangegeven. In de periode 1985-1987 is op het meetpunt Terneuzen het PAK-gehalte op vetbasis aanzienlijk gedaald, zoals tabel 30 laat zien. Deze daling is vooral het gevolg van een afname van het fluorantheengehalte.

TABEL 30 *Het PAK-gehalte (zes van Borneff) in mosselen bij Terneuzen, in de periode 1985-1987.*

| Jaar | PAK-gehalte in mg/kg vet |
|------|--------------------------|
| 1985 | 16,3                     |
| 1986 | 8,8                      |
| 1987 | 6,1                      |

### Cadmium

In de periode 1980-1987 daalt het cadmiumgehalte in mosselen op alle monsterpunten (zie figuur 66). Mosselen uit de omgeving van Terneuzen bevatten in 1987 nog ongeveer 2 mg Cd/kg drooggewicht. Ook in het water bij Schaar van Ouden Doel daalt de concentratie totaal-cadmium in dit tijdvak (overigens moeten de concentraties die in 1979 op de meetpunten Hansweert en Terneuzen werden bepaald als onwaarschijnlijk laag beoordeeld worden, gezien de hoogte van de cadmiumgehalten in het water in dat jaar).

Hoewel de mosselen in de Westerschelde niet voor menselijke consumptie worden gebruikt, is het interessant om de waargenomen cadmiumgehalten te toetsen aan de betreffende kwaliteitsnorm voor consumptie van schelpdieren. Vanaf 1985 voldoen de mosselen bij Terneuzen aan deze norm, die is gesteld op 1 mg Cd/kg natvleesgewicht (ongeveer 5 mg Cd/kg ADW).

### Chroom

Op de meetpunten Terneuzen en Vlissingen fluctueert het chroomgehalte in mosselen van jaar tot jaar (zie figuur 67). Te Hansweert variëren de gehalten minder sterk, tussen 2,5 en 5,5 mg Cr/kg drooggewicht. Het totaal-chroomgehalte in het oppervlaktewater heeft zich in de periode 1979-1987 niet gewijzigd; de concentratie opgelost chroom vertoont over een langere periode een duidelijke afname.

### *Koper*

Na een aanzienlijke daling tussen 1980 en 1982 neemt het kopergehalte in mosselen toe tot een niveau van ongeveer 10 mg/kg drooggewicht in 1987, op het meetpunt Terneuzen (zie figuur 68). Ook het totaal-kopergehalte in het water te Schaar van Ouden Doel stijgt in de periode 1982-1984.

### *Lood*

Figuur 69 toont het verloop van de loodgehalten in mosselen vanaf 1979. Op het meetpunt Terneuzen is in de jaren 1980-1982 een snelle afname geconstateerd van dit gehalte, tot een gelijkmatig niveau van 2 à 3 mg Pb/kg drooggewicht. Uit het verloop op de meetpunten Vlissingen en Hansweert kan geen duidelijke trend worden afgeleid. Opvallend zijn de hoge gehalten bij Vlissingen in 1983 en bij Hansweert in 1984. Deze zijn niet weerspiegeld in de waterkwaliteitsgegevens van beide locaties. Behalve in de jaren 1980 en 1984, voldoen deze mosselen aan de kwaliteitsnorm voor schelpdieren (10 mg Pb/kg ADW).

### *Kwik*

Het kwikgehalte in de Mossel is tussen 1980 en 1987 op alledrie de meetpunten geleidelijk gedaald (zie figuur 70). In 1987 bedraagt de concentratie bij Terneuzen 0,17 mg/kg drooggewicht. De afname van het kwikgehalte in de mosselen van Hansweert stemt overeen met de significante afname van het totaal-kwikgehalte tussen 1975 en 1985, in het oppervlaktewater te Schaar van Ouden Doel.

### *Zink*

De variaties in het zinkgehalte van mosselen zijn van jaar tot jaar groot (zie figuur 71). Bij Hansweert correspondeert het verloop niet met dat van de zinkconcentratie in het water te Schaar van Ouden Doel.

### *Resumé*

Vooraf het PCB- en het cadmiumgehalte in mosselen uit de Westerschelde zijn hoog. Beide gehalten worden voornamelijk bepaald door de Scheldebelasting. Wat PCB betreft is er in de loop van de tachtiger jaren geen verbetering opgetreden in de kwaliteit van het Scheldewater. Wel is het cadmiumgehalte in het Scheldewater gedaald, wat tot lagere concentraties in mosselen heeft geleid.

#### 6.6.8 Vergelijking met andere Nederlandse kustwateren

Op basis van gegevens van het Joint Monitoring Programme is een vergelijking gemaakt tussen de gehalten in mosselen uit de omgeving van Terneuzen



in de jaren 1986 en 1987 en mosselen uit de Oosterscheldemonding in de jaren 1985 en 1986.

Zowel het cadmium- als het PCB-gehalte is bij mosselen uit de Westerschelde aanmerkelijk hoger dan bij soortgenoten uit de Oosterschelde; het PCB-gehalte is drie maal en het cadmiumgehalte zelfs zeven maal hoger. Beide mosselpopulaties vertonen geen verschillen in de gehalten van chroom, koper, zink, lood en PAK's.

In het overgangsgebied van de Westerschelde zijn ook bij Nonnetjes de PCB(-153)-gehalten verhoogd; de concentraties zijn drie à vijf maal hoger dan bij Nonnetjes uit de Waddenzee. De PCB-gehalten in Wadpieren zijn twee à drie maal hoger dan bij soortgenoten uit de Oosterschelde, maar vergelijkbaar met de PCB-gehalten in wadpieren uit de Grevelingen.

In het mariene deel van de Westerschelde ligt het PCB-gehalte in mosselen en wadpieren op een vergelijkbaar niveau als in de Oosterschelde; dit niveau ligt lager dan de concentraties in soortgenoten uit het Grevelingenmeer. Daarentegen is het PCB-gehalte in Zeeduizendpoten in de gehele Westerschelde een factor 1,5 hoger dan in het Grevelingenmeer en de Waddenzee.

Het kopergehalte in Wadpieren is in de Westerschelde ongeveer even hoog als in de Waddenzee.

## 6.7 De relatie met de waterkwaliteit : concentratiefactoren

Op dit moment ontbreken modellen die een goede beschrijving geven van de relatie tussen het externe gehalte van contaminanten in het water en het interne gehalte in het organisme. Een goede beschrijving is van belang voor de interpretatie van waterkwaliteitsscenario's in termen van effecten op de gehalten van microverontreinigingen in de biota. Om toch enige greep te krijgen op deze materie is een vergelijking gemaakt van de gehalten in de verschillende compartimenten: water, seston en biota. Deze vergelijking is uitgevoerd voor het brakke, het overgangs- en het mariene gebied van de Westerschelde, voor de stoffen PCB-138, PCB-153, benz(a)-anthraceen, fluorantheen, cadmium en koper. De gehalten van de organische microverontreinigingen zijn betrokken op het organische seston en het asvrijdrooggewicht van de bodemdieren; die van de metalen op het totale seston en het drooggewicht van de dieren.

### 6.7.1 Concentratiefactoren seston/water

Van de onderzochte organische microverontreinigingen zijn de concentraties in het organische seston een factor  $10^6$  hoger dan die in het water. Voor cadmium en koper ligt de factor seston/water in de orde  $10^4$ .

### 6.7.2 Concentratiefactoren bodemdieren/seston

Verondersteld wordt dat de gehalten in bodemdieren voornamelijk bepaald worden door de concentraties van de opgeloste fracties in het omringende water. De concentraties in het water zijn vele malen lager dan in het

seston. Het is dan ook interessant om de gehalten in het seston te vergelijken met de concentraties in bodemdieren.

Voor enkele PCB's, PAK's en zware metalen zijn concentratiefactoren bodemdieren/seston berekend.

#### PCB's

De gemiddelde concentratiefactor tussen het PCB-138-gehalte in de zes onderzochte bodemdieren en het organische seston bedraagt  $0,8 \pm 0,4$  ( $n = 24$ ). De factor is relatief laag bij de Garnaal (0,1) en hoog bij de Wadpier (1,0 tot 1,4). De gemiddelde concentratiefactor voor PCB-153 is  $0,9 \pm 0,5$  ( $n = 24$ ). Evenals bij PCB-138 is de factor relatief laag bij de Garnaal (0,1 tot 0,2) en hoog bij de Wadpier (1,2 tot 2,2).

#### PAK's

Voor fluorantheen is de gemiddelde concentratiefactor is  $0,11 \pm 0,08$  ( $n = 24$ ) en wederom vertoont de Garnaal de laagste (0,003 tot 0,01) en de Wadpier de hoogste factoren (0,21 tot 0,28). Voor benz(a)anthraceen is een gemiddelde concentratiefactor van  $0,01 \pm 0,01$  ( $n = 24$ ) gevonden. De verbinding is niet gedetecteerd in Garnalen, terwijl de hoogste concentratiefactor gevonden werd bij de Wadpier en het Nonnetje (0,03).

#### Zware metalen

Voor cadmium variëren de concentratiefactoren van 0,1 bij de Zeeduizendpoot uit het brakke gebied, tot 3,5 bij Wadpieren en Mossels uit het overgangsgebied. Voor koper bedraagt de gemiddelde concentratiefactor  $0,9 \pm 0,7$  ( $n = 24$ ). Bij beide kreeftachtigen, Garnaal en Slijkgarnaal, is de factor ongeveer vier keer groter dan bij de andere bodemdieren. De hoge koperniveaus in deze dieren hangen samen met de aanwezigheid van hemocyanine, een koperbevattende eiwitverbinding in het bloedplasma.

### 6.7.3 Concentratiefactoren Visdiefje/Garnaal

Gegevens over microverontreinigingen in vogels uit het Westerscheldegebied zijn zeer schaars. Van Visdiefjes (*Sterna hirundo*) uit Saeftinghe is iets bekend. Bij het onderzoek bleek de maaginhoud van deze vogels hoofdzakelijk uit garnalen te bestaan, zodat een vergelijking gemaakt kan worden tussen de gehalten in beide diersoorten om een indruk te krijgen van concentratiefactoren. Tabel 31 geeft een schatting van de concentratiefactoren van enkele anorganische en organische microverontreinigingen, waarbij het gehalte van de laatste categorie verbindingen op vetbasis berekend is.

Zowel kwik als de beide PCB's accumuleren in het vogellichaam. De gehalten van de twee PAK's zijn in het Visdiefje lager dan in de Garnaal. Het Visdiefje bezit voor deze verbindingen een hoger biotransformatievermogen dan de Garnaal. Bij koper en cadmium is sprake van biominificatie.

TABEL 31 *Schatting van de concentratiefactor Visdiefje / Garnaal, voor enkele contaminanten.*

| Microverontreiniging | Visdiefje / Garnaal |
|----------------------|---------------------|
| PCB-138              | 4                   |
| PCB-153              | 5                   |
| Fluorantheen         | 0,1                 |
| Benz(a)anthraceen    | 0,1                 |
| Cadmium              | 0,4                 |
| Koper                | 0,1                 |
| Kwik                 | 2,6                 |

## 6.8 Beoordeling van de verontreiniging van de Westerschelde

### 6.8.1 Effecten van zware metalen

Voor zover bekend treden in de Westerschelde geen acute, letale effecten op als gevolg van de belasting met zware metalen. De gehalten in de Westerschelde liggen beneden de  $LC_{50}$ -waarden, waarbij moet worden opgemerkt dat deze natuurlijk bepaald zijn bij een blootstelling aan afzonderlijke contaminanten. Wel is sprake van subletale effecten door cadmium. Voor de relatie tussen cadmium en mosselen is een schaal van zogenaamde effect-indicatieve gehalten vastgesteld, die begint bij de natuurlijke concentratie en doorloopt tot het gehalte waarbij mosselen volledig uit het systeem verdwijnen [39]. In figuur 72 is een vergelijking gemaakt tussen de cadmiumgehalten in mosselen uit Nederlandse kustwateren en deze effect-indicatieve waarden. Hieruit blijkt dat het laagste effectniveau alleen nog benaderd wordt in het oostelijke, brakke deel van de Westerschelde. De weergegeven cadmiumgehalten zijn gebaseerd op waarnemingen uit de periode 1980-1985. De situatie is in de afgelopen twee jaar verder verbeterd zodat de gehalten in mosselen in 1987 beneden het laagste effectniveau liggen. Aangezien in de brakke zone van de Westerschelde geen mosselen aanwezig zijn door het lage zoutgehalte, is voor dit gebied geen beoordeling te geven. Omdat de cadmiumconcentratie toeneemt in oostelijke richting zijn nadelige effecten op bodemdieren aannemelijk.

De andere zware metalen leiden op dit moment vermoedelijk niet tot subletale effecten. Een beïnvloeding van de larvale ontwikkeling van bodemdieren is voorstelbaar, maar het effect hiervan is moeilijk te beoordelen (zie paragraaf 6.2).

Wat de hogere organismen betreft geven Barrett en medewerkers een overzicht van de toxiciteit van kwik op zeevogels [4]. Hieruit blijkt dat geen toxische effecten te verwachten zijn wanneer het kwikgehalte in eieren lager is dan 1 à 2  $\mu\text{g Hg/g}$  natgewicht. In 1987 zijn zes eieren van Visdiefjes uit Saeftinge onderzocht op kwik. Het kwikgehalte bedroeg  $0,32 \pm 0,12 \mu\text{g/g}$  natgewicht en ligt dus beneden de genoemde grenswaarde.



Vermoedelijk zijn de milieu-effecten van de zware-metalenbelasting in de Westerschelde in het algemeen verzwakt als gevolg van de eutrofiëring. Zware metalen worden sterk gebonden door sulfiden in de bodem. Daarnaast adsorberen ze aan algen en complexeren ze met organische verbindingen. Deze processen verlagen de beschikbaarheid c.q. de werkelijk opgeloste concentraties. Hierdoor kunnen in eutrofe systemen de gehalten in organismen relatief laag zijn. In de schorreplanten van het oostelijk deel van de Westerschelde zijn de gehalten van zware metalen echter dermate hoog, dat de consumptie van eetbare soorten sterk ontraden wordt [5]. Schorreplanten en dieren die in de bodem graven brengen zuurstof in het sediment en zouden daarmee de beschikbaarheid van zware metalen kunnen verhogen. Mogelijk is dit één van de oorzaken van het relatief-hoge cadmiumgehalte in wadpieren (zie tabel 28).

#### 6.8.2 Effecten van organische microverontreinigingen

De verontreiniging van de Westerschelde leidt bij een aantal diergroepen tot waarneembare effecten op het voorkomen in het estuarium. In enkele gevallen zijn deze effecten geheel of gedeeltelijk terug te voeren op de belasting aan organische microverontreinigingen. Voor het optreden van subletale effecten op de conditie van dieren, als gevolg van deze stoffen, bestaan alleen aanwijzingen.

##### *Bodemdieren*

De afwezigheid van volwassen tweekleppigen in het oostelijk deel van de Westerschelde en de algehele soortenarmoede onder de bodemfauna terplaatse, zijn mede het gevolg van deze vorm van verontreiniging, in combinatie met de lage zuurstofconcentraties nabij de bodem, de instabiliteit van de bodem door bagger- en stortactiviteiten en de grote morfologische dynamiek (zie deelrapport 4). In het westelijk deel, langs de kust van Walcheren, worden geen Purperslakken meer aangetroffen. Dit is zeer waarschijnlijk het gevolg van tributyltin [39].

##### *Vissen*

Huidzweren (ulcera) komen met een relatief-hoge frequentie voor bij platvis uit het oostelijk deel van de Westerschelde. De ontwikkeling van deze infecties wordt gestimuleerd door factoren die de weerstand van de vissen verlagen [39]. PAK's zijn vermoedelijk de oorzaak van de hoge percentages levertumoren bij platvissen uit de Nederlandse kustwateren.

##### *Vogels*

Barrett en medewerkers geven een overzicht van de toxische effecten van HCB en PCB bij zeevogels [4]. Bij een HCB-gehalte van 0,31 µg/g natgewicht in eieren van de Zilvermeeuw werd geen sterfte van embryo's of kuikens geconstateerd.

In 1987 zijn zes eieren van het Visdiefje van het Land van Saeftinge onderzocht op HCB. Het HCB-gehalte bedroeg  $0,03 \pm 0,01 \mu\text{g/g}$  natgewicht en ligt dus ruim beneden het bovengenoemde niveau. Subletale effecten van dergelijke gehalten zijn niet bekend.

Wat PCB's betreft bestaat er geen éénduidigheid omtrent het niveau waarbij geen effecten meer optreden. Bovendien wordt een vergelijking met gegevens uit het Westerscheldegebied bemoeilijkt door verschillen in de analysemethode voor PCB's.

### *Eindpredatoren*

Door het uitvoeren van voedselexperimenten hebben Marquenie en Simmers [38] kritische niveau's van PCB-gehalten in mosselen kunnen afleiden die indicatief zijn voor een potentiële vermindering van de reproductie van eindpredatoren. Bij PCB-153-gehalten in mosselen beneden  $0,015$  en  $0,040 \mu\text{g/g}$  asvrijdrooggewicht (ADW) zijn geen effecten te verwachten op de voortplanting van respectievelijk, Gewone zeehond en Kuifeend. Gehalten van  $0,07$  en  $0,55 \mu\text{g/g}$  ADW reduceren de reproductie van deze predatoren met 50%.

Hoe verhouden deze effect-indicatieve gehalten zich met die in de Westerschelde? Bij Hansweert bedroegen de PCB-153-concentraties in mosselen medio 1987,  $0,109$ - $0,118 \mu\text{g/g}$  ADW. Het PCB-gehalte in bodemdieren neemt toe in oostelijke richting (zie paragraaf 6.6.7). In het oostelijk deel van de Westerschelde ontbreekt de Mossel als gevolg van het lage zoutgehalte. Een ander schelpdier, het Nonnetje, komt hier nog wel voor. Nonnetjes uit Saeftinge bevatten  $0,134 \mu\text{g}$  PCB-153/g ADW. Deze gehalten liggen dus ruim boven de kritische geen-effectniveau's en een reproductievermindering bij eindpredatoren mag verwacht worden. Overigens wordt de zeehond tegenwoordig slechts incidenteel in de Westerschelde waargenomen. Om een beeld te krijgen van de effecten op eindpredatoren onder de watervogels (fuutachtigen, duikeenden, zaagbekken, steltlopers en meeuwen) is onderzoek nodig in het estuarium zelf.





## 7 SANERING VAN DE BELASTING AAN MICROVERONTREINIGINGEN

### 7.1 Het saneringsprogramma voor de Nederlandse lozingen

Wanneer in 1990 de laatste rioolwaterzuiveringsinstallatie (bij Terneuzen) in gebruik wordt genomen, zal er geen ongezuiverd gemeentelijk afvalwater meer geloosd worden op het Nederlandse deel van de Westerschelde.

In principe zijn de rwzi's bedoeld om de geloosde hoeveelheid zuurstofbindende stoffen te reduceren. Hierbij wordt echter een deel van de aanwezige organische en anorganische microverontreinigingen tegengehouden. In een Rijkswaterstaatsnota van 1985 wordt de verwijdering van microverontreinigingen in een zestal rwzi's beschreven, die qua proces variëren van het oxidatiebed- tot het tweetraps-actief-slibtype [46]. Het percentage achtergehouden zware metalen varieert van 40 tot 80%. Van minerale olie wordt meer dan 80% onttrokken. Bij organische microverontreinigingen is het percentage dat uit de afvalwaterstroom verwijderd wordt sterk afhankelijk van de eigenschappen van de stof in kwestie; het percentage loopt uiteen van 20 tot 80%.

Ook bedrijven vormen een belangrijke bron van microverontreinigingen voor de Westerschelde. Per Nederlands bedrijf zijn afspraken gemaakt over het tijdstip waarop de lozing van specifieke verontreinigingen via het industriële afvalwater gesaneerd moet zijn. Tabel 32 geeft een overzicht van de geplande saneringen. Dit tijdschema impliceert dat in 1990 de belasting aan microverontreinigingen door Nederlandse, gemeentelijke en industriële lozingen op de Westerschelde geminimaliseerd zal zijn. Een voorspelling van de resulterende belasting voor het jaar 1990 is gepresenteerd in tabel 33. Ter vergelijking is ook de belasting in de jaren 1980 en 1985 in deze tabel aangegeven.

TABEL 32 *Planning van saneringsmaatregelen bij de industrie langs de zuidelijke deltawateren.*

| Bedrijf      | Geplande jaar | Organische microverontreiniging |                     |       |         |         | Zware metalen<br>excl Cd |
|--------------|---------------|---------------------------------|---------------------|-------|---------|---------|--------------------------|
|              |               | HK <sup>1)</sup>                | MAK's <sup>2)</sup> | PAK's | Fenolen | Overige |                          |
| ACZ          | 1987/1990     |                                 |                     | +     | +       |         |                          |
| CPC          | 1989/1990     |                                 |                     |       |         |         |                          |
| Dow Chemical | 1987/1990     | +                               | +                   |       | +       | +       |                          |
| Hoechst      | 1989/1990     |                                 |                     | +     |         |         | +                        |
| M & T        | 1989          |                                 | +                   |       |         | +       | +                        |
| NSM          | 1989          |                                 |                     |       |         |         |                          |
| Péchiney     | 1986/1990     |                                 |                     | +     |         |         |                          |

1) HK = gehalogeneerde koolwaterstoffen;

2) MAK's = monocyclische aromatische koolwaterstoffen.

Tabel 33 *Directe lozingen van microverontreinigingen op het Nederlands deel van de Westerschelde in 1980 en 1985, met een voorspelling voor 1990.*

| Stof               | Via gemeentelijk afvalwater<br>10 <sup>3</sup> kg/jaar |      |      | Via industrieel afvalwater<br>10 <sup>3</sup> kg/jaar |      |      |
|--------------------|--------------------------------------------------------|------|------|-------------------------------------------------------|------|------|
|                    | 1980                                                   | 1985 | 1990 | 1980                                                  | 1985 | 1990 |
| kwik               | 0                                                      | 0    | 0    | 0,05                                                  | 0    | 0    |
| cadmium            | 0,15                                                   | 0,1  | 0,06 | 1,17                                                  | 0,3  | 0,3  |
| koper              | 6,0                                                    | 3,5  | 1,8  | 14,5                                                  | 1,3  | 1,0  |
| lood               | 6,5                                                    | 3,7  | 1,2  | 2,52                                                  | 0,6  | 0,6  |
| chromium           | 1,5                                                    | 0,9  | 0,45 | 3,88                                                  | 0,2  | 0,2  |
| zink               | 26,4                                                   | 15,5 | 7,9  | 37,1                                                  | 13   | 9    |
| nikkel             | 3,0                                                    | 2,5  | 2,1  | 2,1                                                   | 1,3  | 1,1  |
| fenolen            | 0                                                      | 0    | 0    | ?                                                     | ?    | ?    |
| koolwaterstoffen : |                                                        |      |      |                                                       |      |      |
| gehalogeneerde     | ?                                                      | ?    | ?    | ?                                                     | 1,4  | 0,8  |
| polycyclische      | ?                                                      | 0    | 0    | ?                                                     | 0,8  | 0,2  |

Bron: Rijkswaterstaat Directie Zeeland.

Tabel 34 *Directe lozingen van microverontreinigingen op de Nederlandse Rijntakken, in 1980 en 1985 met een voorspelling voor 1990.*

| Stof               | Via gemeentelijk afvalwater<br>10 <sup>3</sup> kg/jaar |      |      | Via industrieel afvalwater<br>10 <sup>3</sup> kg/jaar |      |      |
|--------------------|--------------------------------------------------------|------|------|-------------------------------------------------------|------|------|
|                    | 1980                                                   | 1985 | 1990 | 1980                                                  | 1985 | 1990 |
| kwik               | 0,3                                                    | 0,2  | 0,1  | 0,3                                                   | 0,2  | 0,2  |
| cadmium            | 0,6                                                    | 0,5  | 0,3  | 16                                                    | 16   | 5    |
| koper              | 22                                                     | 16   | 10   | 24                                                    | 11   | 6    |
| lood               | 21                                                     | 13   | 7    | 13                                                    | 9    | 3    |
| chromium           | 6                                                      | 4    | 3    | 82                                                    | 75   | 11   |
| zink               | 96                                                     | 69   | 45   | 192                                                   | 64   | 15   |
| nikkel             | 14                                                     | 13   | 11   | 16                                                    | 10   | 7    |
| fenolen            | 6,3                                                    | 0,4  | 0,4  | 150                                                   | 25   | 22   |
| minerale olie      | 1400                                                   | 700  | 200  | 1500                                                  | 430  | 250  |
| koolwaterstoffen : |                                                        |      |      |                                                       |      |      |
| gehalogeneerde     | -                                                      | -    | -    | 260                                                   | 85   | 50   |
| monocyclische      | -                                                      | -    | -    | 500                                                   | 380  | 120  |
| polycyclische      | 0,7                                                    | 0,4  | 0,2  | 0,2                                                   | -    | -    |

Bron: [13, 48].

## 7.2 Vergelijking met de saneringsinspanning voor de Rijn

Tabel 34 geeft een overzicht van de directe lozingen van zware metalen en organische microverontreinigingen op de Nederlandse Rijntakken, in de jaren 1980 en 1985. Tevens geeft deze tabel de verwachte belasting in 1990. Overeenkomstige gegevens voor de Westerschelde zijn gepresenteerd in tabel 33, zodat de saneringsinspanning voor beide wateren vergeleken kan worden.

### *Resultaat van recente saneringen van gemeentelijke lozingen*

Via gemeentelijke afvalwaterlozingen werd in het jaar 1980 in totaal  $160 \cdot 10^3$  kg aan zware metalen op het Nederlandse deel van de Rijn gebracht tegen  $44 \cdot 10^3$  kg op de Westerschelde. In 1985 was deze belasting op het Nederlands deel van de Rijn met 30% afgenomen en op de Westerschelde met ongeveer 35%.

### *Resultaat van recente saneringen van industriële lozingen*

In het jaar 1980 werd met het afvalwater van bedrijven in totaal  $343 \cdot 10^3$  kg zware metalen op het Nederlandse deel van de Rijn gebracht tegen  $61 \cdot 10^3$  kg op de Westerschelde. In 1985 was de belasting op het Nederlandse deel van de Rijn vanuit deze bron met 30% verminderd. Voor de Westerschelde bedroeg de reductie zelfs 75%, ten opzichte van 1980.

## 7.3 Het belang van de Belgische saneringen

De grensoverschrijdende belasting aan microverontreinigingen vormt 80-90% van de totale belasting op de Westerschelde. Het saneringsprogramma van België is dus van het grootste belang. In de naaste toekomst mag enige reductie van de belasting verwacht worden, waarvan de omvang bepaald wordt door de ingebruikstelling van rwzi's (zie deelrapport 1, paragraaf 7.2). Een versnelde aanpak is zeer gewenst.

Ondertussen heeft ook België de afspraken ondertekend die gemaakt zijn op de tweede Ministersconferentie inzake de bescherming van de Noordzee, eind 1987 in Londen (zie paragraaf 7.4). Hier is ondermeer overeengekomen om de verontreiniging van de Noordzee via rivieren met 50% te reduceren ten opzichte van het jaar 1985, in de periode tot 1995.

## 7.4 Voorgenomen saneringen

### 7.4.1 Het Rijn-Actieplan

De Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn tegen Verontreiniging (ICR) heeft in 1987 voorstellen gedaan voor het "Actieprogramma Rijn".



De uitvoering van dit programma zal omstreeks het jaar 2000 tot de volgende resultaten moeten leiden [27] :

- De vroeger aanwezige hogere diersoorten zoals de Zalm, moeten in de Rijn weer inheems kunnen worden op grond van de waterkwaliteit;
- Het gebruik van Rijnwater voor de drinkwatervoorziening moet (ook) in de toekomst mogelijk zijn;
- Het sediment in de Rijn moet niet belast worden met schadelijke stoffen.

De voorgenomen maatregelen, die evenwel nog nader uitgewerkt moeten worden, beogen :

- Een versnelde vermindering van de permanente vervuiling als gevolg van rechtstreekse en diffuse lozingen;
- Een verkleining van de kans op ongevallen;
- Een verbetering van de hydrologische en morfologische condities.

Het feitelijke Actieprogramma omvat drie fasen :

- 1 Nadere uitwerking van het Actieprogramma; Fase 1 duurt tot 1989;
- 2 Uitvoering van de voorgenomen maatregelen; Fase 2 loopt door tot 1995;
- 3 Uitvoering van aanvullende maatregelen, wanneer het beoogde doel niet kan worden bereikt met de maatregelen van Fase 2; Fase 3 moet vóór het jaar 2000 zijn aangevangen.

#### 7.4.2 De Noordzeeconferentie

Op 24 en 25 november 1987 is in Londen de tweede internationale Ministersconferentie inzake de bescherming van de Noordzee gehouden. De deelnemende landen hebben afspraken gemaakt over vraagstukken waarover in het ambtelijk overleg geen overeenstemming kon worden bereikt. In de slotverklaring wordt, wat deze vragen betreft, het volgende opgemerkt [1] :

##### *Verbranding van afval op zee*

Er worden stappen ondernomen die moeten leiden tot een vermindering van de hoeveelheid afval die op zee verbrandt wordt; overeengekomen is een reductie van 65% per 1 januari 1991. Als einddatum voor volledige stopzetting van de verbranding is 31 december 1994 voorgesteld. Er zal naar gestreefd worden om deze datum vast te stellen binnen het kader van het Verdrag van Oslo.

##### *Dumping van afval in zee*

De landen die op dit moment nog industrieel afval in zee dumpen zullen met ingang van 31 december 1989 stoppen met deze activiteit. Een uitzondering zal gemaakt worden voor afval dat geen schade toebrengt aan het zeemilieu; zulks mede ter beoordeling van de Oslo-Commissie. Het Verenigd Koninkrijk zal actie ondernemen om de hoeveelheid schadelijke stoffen in zuiveringsslib te reduceren; na 1987 zal er geen toename van de

dumping van zuiveringsslib plaatsvinden. Oorzaken van de verontreiniging van baggerspecie zullen door de Noordzeelanden aangepakt worden; in de praktijk betekent dit een vermindering van de lozing van verontreinigingen op rivieren en estuaria. Met onmiddellijke ingang zullen de richtlijnen worden toegepast van de Oslo-Commissie voor baggerspecie.

#### *Lozing van radioactieve stoffen*

De Noordzeelanden zullen de lozingen van radioactieve stoffen door nucleaire installaties minimaliseren, door het toepassen van de "best-available technology".

#### *Overige belangrijke punten*

Het Verenigd Koninkrijk heeft het "voorzorgprincipe" aanvaard. Hierdoor is er een betere basis ontstaan voor gemeenschappelijke beleidsmaatregelen met betrekking tot de Noordzee.

Er is overeengekomen om de verontreiniging van de Noordzee via rivierlozingen terug te dringen. De vrachten van zowel microverontreinigingen als nutriënten zullen gehalveerd worden in de periode 1985-1995.

De Noordzee zal worden aangewezen als "special area" voor Annex V van het MARPOL-verdrag; deze passage heeft betrekking op huisvuil, verpakkingsmateriaal, plastics e.d.

Het belang van de Waddenzee voor de gehele Noordzee is door de overige Noordzeelanden nadrukkelijk onderkend.

België, de Bondsrepubliek Duitsland, Denemarken en Nederland zullen nauwer gaan samenwerken bij controle en opsporing vanuit de lucht, van illegale lozingen op zee.

#### 7.4.3 Toelichting op onderdelen die voor de Westerschelde van belang zijn.

Wat de gemeentelijke lozingen op de Westerschelde betreft zal in 1990 een reductiepercentage van 50% gehaald worden, van het totaal aan organische microverontreinigingen en van de meeste zware metalen uit deze bron. Alleen wat nikkel betreft zal de reductie ongeveer 30% zijn.

Wat de industriële lozingen betreft kan tussen 1985 en 1990 nog een grote reductie in de vracht aan organische microverontreinigingen verwacht worden. De belasting aan zware metalen vanuit deze bron was in 1985 al met gemiddeld 75% gereduceerd ten opzichte van het jaar 1980. Alleen wat koper betreft kan tot 1990 een verdere reductie worden doorgevoerd, tot 50% van de vracht in het jaar 1985.

### 7.5 Effecten van sanering

#### 7.5.1 Inleiding

Volgens het "voorzorgprincipe" ("the principle of precautionary action") zijn stoffen schadelijk wanneer kan worden aangenomen dat ze nadelige effecten

hebben op organismen. De aanname wordt gebaseerd op de mate van giftigheid, persistentie en accumulatie, eventueel door vergelijking met nauw verwante stoffen. Een wetenschappelijk aanvaarde, specifieke relatie tussen emissies en effecten is dus niet noodzakelijk om een stof als schadelijk te kunnen benoemen.

Ecologische effecten van saneringen kunnen in veel gevallen alleen kwalitatief voorspeld worden. Dosis-effectrelaties zijn voor de meeste microverontreinigingen niet beschikbaar of onvoldoende uitgewerkt. Bovendien is in een verontreinigd systeem doorgaans sprake van een gelijktijdige blootstelling aan meerdere contaminanten en stressfactoren. Ook het zuurstofgehalte, het zwevend-stofgehalte en de morfologische ontwikkelingen werken in op de organismen. Daarbij kan sanering tot een verandering leiden van even zovele waterkwaliteitsparameters. Kwantitatieve uitspraken over effecten op bijvoorbeeld, de ontwikkeling van de bodemfauna, zijn daarom in veel gevallen onmogelijk. Men kan slechts stellen dat een vergaande reductie van de antropogene belasting aan contaminanten, een voorwaarde is voor het natuurlijk herstel van aangerichte schade aan het milieu. Om een verbetering daadwerkelijk te realiseren zijn aanvullende maatregelen noodzakelijk. Hierbij kan men denken aan natuurbouw en de herintroductie van soorten.

Sanering van de lozingen van een prioritaire stof (cadmium, PAK, PCB, e.a.), of van complexe mengsels zal in de Westerschelde leiden tot een vermindering van chronische effecten; nalevering van microverontreinigingen door de bodem kan er toe bijdragen dat het enige tientallen jaren duurt vóór chronische effecten verdwenen zijn. In de Westerschelde bereiken individuele contaminanten alleen in de onmiddellijke nabijheid van lozingspunten hun letale concentraties. De toxiciteit van complexe mengsels is onbekend.

#### 7.5.2 Effecten van sanering van de zware-metalenbelasting

Op basis van de berekende antropogeniteitsfactoren (zie paragraaf 3.3) is het effect van sanering op de omvang van de antropogene fracties zware metalen berekend. De resultaten zijn weergegeven in figuur 73.

In de Rijn zijn de concentraties van zware metalen tussen 1975 en 1985 gedaald met 60 à 90%. Als dergelijke percentages ook voor de Westerschelde gehaald kunnen worden, komt wat de metalen betreft, de natuurlijke toestand binnen handbereik. Alleen cadmium vormt een uitzondering: Voor dit metaal zal zelfs een concentratiereductie van 90% nog resulteren in een antropogene fractie van ongeveer 50%.

#### 7.5.3 Effecten van sanering van de belasting aan organische micro's

De effecten van PCB's zijn relatief goed bekend. Voor deze categorie stoffen kan een redelijk beeld gevormd worden van de effecten van een sanering. De reproductiestoring bij eindpredatoren, die optreedt in de Westerschelde (paragraaf 6.8.2), zal verminderen bij een 50%-reductie van de PCB-belasting. Na een dergelijke sanering zal het PCB-gehalte in het voedsel van deze predatoren echter nog een factor  $1\frac{1}{2}$  à 5 boven het no-effect level liggen, (zie paragraaf 6.7). Een 50%-reductie van de organo-



tinbelasting zal eveneens onvoldoende zijn om een herstel mogelijk te maken van de Purperslakpopulatie in de Westerschelde. Ook voor de PAK's tenslotte, geldt dat een verdergaande reductie noodzakelijk is om de kans op het optreden van visziekten te verminderen.

## 7.6 Verdergaande sanering

Voor een aantal prioritaire stoffen zijn de voorgenomen saneringsmaatregelen onvoldoende om het Westerschelde-ecosysteem als geheel te herstellen. Om de natuurfunctie van dit estuarium te verbeteren, conform de systeemdoelstellingen in de Derde Nota Waterhuishouding, moeten de lozingen van deze prioritaire stoffen verder teruggedrongen worden. Hiertoe dienen de waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde aangepast te worden. In het algemeen is het waterkwaliteitsbeleid gericht op een duurzame ontwikkeling van het estuarium. Dit houdt in dat op een langere termijn de waterkwaliteit getoetst moet kunnen worden aan de natuurlijke referentiegehalten.

### 7.6.1 De natuurlijke concentratieniveau's

De referentiegehalten van niet-xenobiotische verontreinigingen zijn in het estuarium nooit gemeten. Ze kunnen echter berekend worden uit de referentiewaarden voor zoutwater en die voor zoetwater, via de methode die beschreven is in paragraaf 4.6. Voor de punten Schaar van Ouden Doel en Vlissingen zijn de berekende referentiegehalten vermeld in tabel 35. Voor alle zware metalen geldt dat de huidige gehalten op deze punten (peiljaar 1985) ver boven deze referentieniveau's liggen.

TABEL 35 *Referentiegehalten (Ref) en geactualiseerde Waterkwaliteits Doelstellingen Westerschelde (WDW), vergeleken met de gehalten in 1985 en de gehalten na 50% reductie van de belasting (alle gehalten in µg/l).*

| Stof      | Schaar van Ouden Doel |        |           |             | Vlissingen |         |                    |         |
|-----------|-----------------------|--------|-----------|-------------|------------|---------|--------------------|---------|
|           | Ref                   | WDW    | 1985      | 50% red     | Ref        | WDW     | 1985               | 50% red |
| Cadmium   | 0,10                  | 0,41   | 1,60      | 0,85        | 0,05       | 0,11    | 0,25 <sup>1)</sup> | 0,15    |
| Chroom    | 7                     | 78     | 17        | 12          | 3,6        | 18      | 5                  | 4,3     |
| Koper     | 4                     | 10     | 14        | 9           | 1,9        | 3       | 5 <sup>1)</sup>    | 3       |
| Kwik      | 0,07                  | 0,10   | 0,22      | 0,15        | 0,02       | 0,03    | 0,04               | 0,03    |
| Lood      | 9                     | 80     | 17        | 13          | 3          | 17      | 3                  | 3       |
| Zink      | 28                    | 89     | 70        | 49          | 7,7        | 20      | 39                 | 23      |
| PAK indiv | 0,001                 | 0,01   | 0,03-0,09 | 0,015-0,045 | 0,001      | 0,002   | -                  | -       |
| PCB indiv | 0                     | 0,0002 | 0,0013    | 0,0007      | 0          | 0,00003 | -                  | -       |

1) In dit gehalte zijn de pieken als gevolg van illegale lozingen niet verdisconteerd.

### 7.6.2 De geactualiseerde waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde

Voor de korte en middellange termijn wordt uitgegaan van de geactualiseerde basiskwaliteit van zoetwater. De normgehalten die hierbij gehanteerd zullen worden liggen boven de referentiewaarden voor zoetwater en zijn op dit moment nog in ontwikkeling. Wel zijn conceptuele basiskwaliteitsnormen beschikbaar. Voor enkele stoffen is voorgesteld om de normen te versoepelen, op grond van ecotoxicologische inzichten. Dit geldt voor de metalen arseen, chroom en lood. Voor een aantal andere stoffen, te weten cadmium, koper, kwik, nikkel, zink, PCB's en PAK's, zijn de conceptuele normen strenger dan de oude basiskwaliteitsnormen. Vooruitlopend op een definitieve vaststelling van de basiskwaliteit zijn deze concept-normen gebruikt om de waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde te actualiseren. Voor de zoutwaterfractie in het estuarium blijven de referentiewaarden voor zeewater van toepassing (zie paragraaf 4.6 en 7.6.1). Tabel 35 geeft de geactualiseerde waterkwaliteitsdoelstellingen voor de meetpunten Schaar van Ouden Doel en Vlissingen.

De waterkwaliteitsdoelstellingen hebben betrekking op de totaalgehalten van stoffen. De consequentie is dat hiermee tevens een basiskwaliteit van de waterbodem wordt aangegeven, omdat een voortdurende uitwisseling van sediment plaatsvindt tussen waterfase en bodem. Deze impliciete kwaliteitsbeschrijving verschilt echter van de basiskwaliteitsnormering voor waterbodems die gehanteerd wordt bij de beoordeling van sedimenten volgens het RWS-systeem (zie deelrapport 3).

### 7.6.3 Effecten van verdergaande saneringen

De effecten van een 50%-reductie van de belasting, conform de afspraken op de Noordzee-Ministersconferentie, kunnen worden berekend en getoetst aan de waterkwaliteitsdoelstellingen voor de korte en middellange termijn. De concentratie van een willekeurige stof is het gevolg van de antropogene en de natuurlijke belasting :

$$C = C_A + C_N \quad (5).$$

De voorgenomen sanering halveert de antropogene belasting in de periode 1985 tot 1995. Voor de concentratie in het jaar 1995,  $C(1995)$ , geldt dan :

$$C(1995) = 0,5 \cdot C_A(1985) + C_N = 0,5 \cdot (C(1985) + C_N) \quad (6),$$

waarbij verondersteld is dat de natuurlijke belasting in de periode 1985 tot 1995 niet verandert. Voor het natuurlijke gehalte,  $C_N$ , zijn de referentiewaarden uit tabel 35 ingevuld. Voor de concentratie  $C(1985)$  is de jaargemiddelde concentratie in dit peiljaar genomen. Het effect van een 50% reductie,  $C(1995)$ , is voor een aantal stoffen berekend. De uitkomsten zijn opgenomen in tabel 35, zodat een vergelijking gemaakt kan worden met de geformuleerde waterkwaliteitsdoelstellingen.

Voor chroom en lood wordt in het jaar 1985 al voldaan aan de geactualiseerde waterkwaliteitsdoelstelling. Na 50%-reductie van de belasting wordt ook voor zink, koper en kwik aan de doelstelling voldaan. Voor de overige

beschouwde stoffen is een 50%-reductie echter onvoldoende. De PCB-belasting moet met 80 à 90% worden verminderd om aan de waterkwaliteitsdoelstelling te kunnen voldoen. Een dergelijke reductie is ook noodzakelijk om de PCB-gehalten in prooidieren beneden het no-effectlevel voor predatoren te brengen.

Voor PAK's is een reductie van 70 à 90% nodig om aan de waterkwaliteitsdoelstellingen te voldoen. De belasting van de Westerschelde met deze stoffen is dusdanig hoog, dat een vergaande sanering noodzakelijk is om de prevalentie van visziekten, zoals levertumoren bij platvis, tot het natuurlijke niveau terug te brengen.

De huidige cadmiumbelasting leidt in het middengebied van de Westerschelde tot kritische gehalten in mosselen (4,7 mg/kg asvrij-drooggewicht). Vanaf 5 mg/kg ADW treedt groeiremming op. Deze grens is vastgesteld in afwezigheid van andere contaminanten; in complexe mengsels kunnen negatieve effecten versterkt worden (synergisme). Een 50%-reductie van de belasting zal leiden tot cadmiumgehalten van ongeveer 2,5 à 3,5 mg/kg asvrij-drooggewicht. Deze marge is klein. Een sanering tot 75% is nodig om voor cadmium de natuurlijke situatie te benaderen en aan de waterkwaliteitsdoelstellingen te voldoen.

Voor vele andere chemicaliën is onvoldoende kennis aanwezig om een verdergaande sanering dan 50%-reductie op ecotoxicologische gronden te beargumenteren. Uitgaande van het voorzorgsprincipe (paragraaf 7.5.1) kan gesteld worden dat de belasting aan xenobiotische stoffen tot nul moet worden teruggebracht. Een specifiek voorbeeld wordt gevormd door de organotinverbindingen. Ook voor deze stoffen geldt dat 50%-reductie onvoldoende is om aan de waterkwaliteitsdoelstellingen te voldoen. In diverse landen is het gebruik van deze stoffen echter juist verboden vanwege de grote schade die zij in het mariene milieu veroorzaken. Negatieve effecten treden al bij zeer lage concentraties op. In Nederland is daarentegen géén verbod van kracht. Een totale reductie van tributyltin is noodzakelijk voor een terugkeer van de Purperslak in de westelijke Westerschelde.





## 8 BELEIDSONTWIKKELING

In dit hoofdstuk worden voorstellen gedaan voor het toekomstig waterkwaliteitsbeleid in de Westerschelde, toegespitst op de belasting aan anorganische en organische microverontreinigingen. Deze voorstellen hangen samen met de reeds geformuleerde uitgangspunten van het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid en gemaakte internationale afspraken. Tegelijkertijd echter, wordt met deze voorstellen vooruitgelopen op het waterbeleid zoals dat in de Derde Nota Waterhuishouding zal worden verwoord.

### 8.1 Het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid

Het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid is in hoofdlijnen omschreven in het Indicatief Meerjaren Programma (IMP) Water 1985-1989 [47]. Recentere aanvullingen op dit IMP vormen het Actieprogramma Rijn [27] en het Actieprogramma Noordzee. De doelstellingen die geformuleerd zijn in het Rijks Waterkwaliteitsplan 1986 voor de planperiode 1984-1994, komen vrijwel overeen met van het IMP Water 1985-1989. De volgende beleidslijnen zijn belangrijk :

- Het stand-still beginsel;
- Het met 50% verminderen van de verontreinigingen tussen 1985 en 1995;
- Het definiëren van basiskwaliteit en van water- en bodemkwaliteit;
- Het beschermen van het grondwater (het beleid hiertoe is weergelegd in provinciale plannen);
- Het aandacht schenken aan de problematiek van onderwaterbodems.

Voor de reductie van de belasting aan microverontreinigingen is onderscheid gemaakt tussen zwarte-lijststoffen en overige stoffen. Voor de zwarte-lijstverbindingen wordt gestreefd naar een beëindiging van de lozingen. De normstelling voor de basiskwaliteit van zoetwater is ten aanzien van organische microverontreinigingen minder streng in het Rijks Waterkwaliteitsplan 1986 [48], dan in het IMP Water 1985-1989 [47]. Voor radioactieve stoffen is het Rijks Waterkwaliteitsplan juist weer strenger.

De hoofdlijnen van het waterbeleid voor de komende jaren zullen gedefinieerd worden in de Derde Nota Waterhuishouding, die op dit moment wordt voorbereid [2]. In deze nota zullen watersysteemdoelstellingen worden ontwikkeld die betrekking hebben op de gebruiksfuncties van het systeem, inclusief de natuurfunctie. Deze doelstellingen monden uit in een verzameling van eisen aan de fysische, chemische en biologische eigenschappen van een watersysteem, om de gewenste situatie op termijn zo goed mogelijk te kunnen benaderen. Onder watersysteem wordt het oppervlaktewater verstaan met inbegrip van oever, waterbodem en grondwater.

De huidige basiskwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater zullen aangepast worden (zie paragraaf 7.6). Voor de waterbodem is een nieuw, interim RWS-systeem ontwikkeld (zie bijlage 2 van deelrapport 3).

In de hoofdlijnen worden aspecten uitgewerkt waarvan de volgende van belang zijn voor het beleid ten aanzien van microverontreinigingen in de Westerschelde :

- Lozingen van systeemvreemde stoffen, zowel lokaal als diffuus, moeten beëindigd worden, waarna het "stand-still"-beginsel gehanteerd moet worden;
- Waar nodig moet de onderwaterbodem gesaneerd worden;
- De kans op calamiteuze verontreiniging moet geminimaliseerd worden.

## 8.2 Internationale afspraken

Van belang voor de Westerschelde zijn de afspraken die gemaakt werden op de Ministersconferentie ter bescherming van de Noordzee. Deze conferentie vond plaats in november 1987. De gemaakte afspraken moeten gezien worden als toezeggingen van de ministers van de deelnemende landen, met mandaat van hun regeringen. De regering van Nederland heeft zich daarop verplicht om de toezegging van de eigen minister gestand te doen. Op de volgende conferentie, die in 1990 in Den Haag wordt gehouden, zal geëvalueerd worden of de inspanningen van de betrokken landen voldoen aan de verwachtingen.

Wat de belasting van de Noordzee aan microverontreinigingen betreft, is het volgende overeengekomen [1] :

- Neem met voorrang maatregelen om de totale hoeveelheid schadelijke stoffen die de Noordzee bereikt, drastisch te reduceren. Schadelijke stoffen zijn stoffen die persistent zijn, toxisch zijn en/of accumuleren in organismen. Bij het beoordelen van de schadelijkheid van stoffen wordt het voorzorgsprincipe gehanteerd. Het doel van de maatregelen is een reductie te bereiken in de orde van 50% tussen 1985 en 1995.
- Versterk de al beschikbare maatregelen om te komen tot een verdere reductie van de belasting door kwik, cadmium, PCB's, PCT's, CTC, organotinverbindingen, biociden, afvalzuur van de titaniumindustrie en olie van raffinaderijen en olie-ontvangststations;
- Onderzoek de effecten van andere soorten afvalstromen die een milieurijsco inhouden, conform de aanbevelingen van de Paris Commission;
- Geef aan wat de beste manier is om schadelijke stoffen uit met name genoemde afvalstromen te verwijderen;
- Zorg dat fabrieken die schadelijke stoffen gebruiken maatregelen treffen om milieuverontreiniging door ongelukken te voorkomen;
- Stel met spoed actieplannen op om de hierboven geformuleerde doelen te bereiken;
- Ontwerp nationaal- en internationaal-buikbare procedures voor een monitoring van de Noordzee, voor het rapporteren van de resultaten hiervan en voor het ondernemen van acties om de belasting door microverontreinigingen te verminderen;
- Nodig de aanspreekbare, internationale lichamen uit om de bovengenoemde maatregelen te nemen.



Op de Noordzee-Ministersconferentie zijn tevens afspraken gemaakt ten aanzien van de atmosferische belasting van de Noordzee door microverontreinigingen. Atmosferische depositie is voor de Westerschelde van betekenis ofschoon de directe lozingen een overheersende invloed hebben.

Ook over de dumping en verbranding van afvalstoffen op zee zijn enige afspraken gemaakt, die indirect van belang zijn voor het beleid inzake de Westerschelde. Deze afspraken hebben ondermeer betrekking op de dumping van baggerspecie op de Noordzee. Baggerslib uit de Westerschelde is tot op heden echter niet in de Noordzee gedumpt. In de beleidsontwikkeling met betrekking tot specieberging is dit ook geen optie (deelrapport 3).

### **8.3 Beleidsuitgangspunten voor de Westerschelde**

#### **8.3.1 Algemeen**

Bij het formuleren van de beleidsuitgangspunten voor de Westerschelde is onderscheid gemaakt in doelen, voorwaarden en maatregelen. Bovendien is aangegeven welke aspecten nader onderzoek behoeven.

De doelen zijn vastgelegd in doelstellingen voor de korte termijn (het jaar 1995) en doelstellingen voor de middellange termijn (het jaar 2000). In beide gevallen hebben de doelstellingen betrekking op de ecologische functie van de Westerschelde. Voorwaarde voor het herstel van ecologische waarden is een verbetering van de kwaliteit van water en waterbodem. Het voorgestelde beleid ten aanzien van de waterbodem en de slibhuishouding wordt omschreven in deelrapport 3. Enkele punten hieruit zijn echter van direct belang voor de waterkwaliteit.

Het is nog niet mogelijk om voor alle doelstellingen de voorwaarden te kwantificeren waaraan voldaan moet worden om de doelen te bereiken. In de meeste gevallen zijn deze voorwaarden dan ook richtinggevend geformuleerd. De te nemen maatregelen vloeien slechts ten dele voort uit reeds vastgesteld beleid. Een aantal beleidsuitgangspunten zal uitgewerkt worden in de Derde Nota Waterhuishouding. De begrippen "Herstel van natuurwaarden" en "Duurzame ontwikkeling" zullen een centrale rol spelen in het onderdeel Natuur van deze nota.

#### **8.3.2 Doelen**

Voor zowel de korte als middellange termijn geldt dat de waterkwaliteit in de hele Westerschelde zodanig moet zijn, dat de geactualiseerde waterkwaliteitsdoelstellingen (zie paragraaf 7.6) gehaald worden. Daarnaast zijn een aantal specifieke doelen geformuleerd voor een verbetering van de natuurfunctie van het estuarium.

##### *Korte termijn (1995)*

De waterkwaliteit van de Westerschelde moet zover verbeteren dat verarmde populaties van schelpdieren (Purperslak, Kokkel, Nonnetje, Strandgaper) en

hogere kreeftachtigen (Noordzeekrab, Zeekreeft) zich kunnen herstellen. De gehalten van contaminanten in mosselen en in de schorplanten Lamsoor en Zeekraal, moeten zodanig laag zijn dat eventuele consumptie mogelijk is.

#### *Middellange termijn (2000)*

De water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde moet zover verbeteren dat verdwenen of zeldzame vissoorten als Fint, Steur, Elft, Houting en Zalm terug kunnen keren en de verarmde bodemfauna van het brakke gebied zich zal kunnen herstellen. De voortplanting van vogels die leven van bodemdieren of vis, moet onbedreigd voortgang kunnen vinden. Ook de zeehond moet terug kunnen keren in het estuarium en zich met succes kunnen handhaven en voortplanten. De prevalentie van visziekten moet overeenkomen met die in onbelaste estuaria.

#### 8.3.3 Voorwaarden

##### *Korte termijn (1995)*

- Algemene reductie van de totaalgehalten van organische en anorganische microverontreinigingen in het watersysteem;
- Reductie van de PCB-gehalten in bodemdieren met een factor vijf;
- Reductie van de concentratie tributyltin in oppervlaktewater tot 0,001 µg Sn/l, of lager.

##### *Middellange termijn (2000)*

- Verdere reductie van de totaalgehalten van microverontreinigingen;
- Reductie van de PCB-gehalten in bodemdieren met tenminste een factor tien.

#### 8.3.4 Maatregelen

Voor een verdergaande reductie van de gehalten van microverontreinigingen in het watersysteem is een pakket van maatregelen noodzakelijk.

In het IMP Milieubeheer 1985-1989 en in paragraaf 7.6 zijn zogenoemde prioritaire stoffen aangegeven. Voor een aantal daarvan wordt het belang voor het waterkwaliteitsbeleid nadrukkelijk onderstreept. Die stoffen zijn cadmium, kwik, PAK's, chlooranilines, chloorbenzenen, PCB's, PCT's en lindaan. De belasting aan deze stoffen zal met minimaal 80% verminderd moeten worden om de resulterende gehalten in organismen voldoende te verlagen.

Het saneringsprogramma voor de Nederlandse communale lozingen moet worden afgerond. De saneringsinspanning van bedrijven moet gestimuleerd worden door gebruik te maken van de mogelijkheden die geboden worden door de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO).

Belangrijk is een herziening van het vergunningenbeleid inzake lozingen. Industrieën die het afvalwater niet met de beste beschikbare techniek zuiveren zullen dat moeten gaan doen. In Nederland gaat het om de effectivering van de maatregelen in het lopend saneringsprogramma voor PAK's, tin- en organotinverbindingen en fenolen. In België zal de wetgeving geëffectueerd moeten worden.

Bij het storten van vervuilde baggerspecie kan door resuspensie van verontreinigd sediment en desorptie van contaminanten een additionele belasting van het watersysteem optreden. Dit moet door een adequate berging van dergelijke specie voorkomen worden.

De slibhuishouding is van invloed op het vóórkomen en de verspreiding van microverontreinigingen. Daarom zal de antropogene belasting aan zwevend stof verminderd moeten worden door de slibvrachten aan de bron te reduceren.

Door een vermenging van functies blijft er op de vaarweg Westerschelde een verhoogd risico van verontreiniging door calamiteiten. Een duurzame ontwikkeling vergt een minimalisatie van dit risico. De mogelijkheden die de beheerders van Schelde en Westerschelde ter beschikking staan om milieurampen te bestrijden, moeten worden uitgebreid. Het instrumentarium moet erop gericht zijn calamiteiten met schepen, met fabrieken en met toevoerleidingen zo snel en volledig mogelijk te bestrijden.

Om het risico van het vervoer van gevaarlijke stoffen te minimaliseren moet de algemene veiligheid op de Westerschelde verder geoptimaliseerd worden.

Samengevat luidt het pakket van maatregelen :

#### *Korte termijn (1995)*

- Conform de afspraken van de Noordzee-Ministersconferentie: Een algemene reductie van de belasting aan microverontreinigingen in het afwateringsgebied van de Westerschelde en de Schelde met 50%;
- Een reductie van tenminste 80% van de belasting met de prioritair stoffen cadmium, kwik, PCB's, TBT, PAK's en organochloorverbindingen in het stroomgebied van de Schelde;
- Nieuwe aanvragen voor lozingsvergunningen zullen worden getoetst aan de watersysteemdooelstellingen voor de Westerschelde (fit-in principe);
- De berging van verontreinigd sediment moet zodanig plaatsvinden dat geen diffuse bronnen van verontreinigingen gecreëerd worden.
- De algemene veiligheid van de scheepvaart moet verder geoptimaliseerd worden;
- De mogelijkheden voor een snelle en doeltreffende bestrijding van milieurampen moeten worden uitgebreid.

#### *Middellange termijn (2000)*

- Opstelling van een actieplan voor een verdere, noodzakelijke reductie van de belasting aan toxicanten.



### 8.3.5 Nader onderzoek

De effecten op bodemdieren, vissen en vogels, veroorzaakt door de diverse microverontreinigingen zowel individueel als in combinatie, moeten onderzocht worden. Hierdoor zullen effect-niveau's vastgesteld kunnen worden die moeten dienen als referentie.

Om de effecten van de saneringsinspanningen en het voorgestelde beleid te kunnen volgen en beoordelen, diffuse bronnen van verontreiniging op te kunnen sporen en zonodig aanvullende maatregelen te kunnen nemen, is onderzoek nodig, zowel monitoring als gerichte monsternamen en analyse ten behoeve van effectonderzoek.

#### *Voorstellen voor onderzoek*

##### 1) Bronnen

- Bronnen van organische microverontreinigingen in het afwateringsgebied van de Westerschelde moeten worden opgespoord, met de prioriteit bij PCB's.
- Onderzoek naar de bijdrage van lozingen vóór de Belgische kust aan de verontreiniging in het mondingsgebied van de Westerschelde.

##### 2) Verspreiding

- Onderzoek naar de verspreidingsprocessen van contaminanten in water, bodem en biota;
- Modelleren van de relatie tussen de externe gehalten van contaminanten en het interne gehalte in organismen;
- Onderzoek naar de biologische beschikbaarheid van contaminanten;
- Monitoring van de gehalten van contaminanten in organismen.

##### 3) Effecten en normen

- Formulering van "kritische gehalten" in water, sediment en biota voor een risicoschatting van schadelijke effecten bij vissen, vogels en bodemdieren, mede ter onderbouwing van de waterkwaliteitsdoelstellingen;
- Ontwikkeling van een bio-assay methode voor de beoordeling van de kwaliteit van baggerspecie en onderwaterbodems;
- Onderzoek naar de relatie tussen het vóórkomen van visziekten en de aanwezigheid van organische microverontreinigingen in combinatie met eutrofiëring;
- Uitwerking van een normensysteem voor estuaria ten behoeve van het opstellen en toetsen van waterkwaliteitsdoelstellingen;
- Beschrijving van de referentiesituatie van het Schelde-estuarium met betrekking tot de natuurlijke gehalten c.q. vrachten en de potentiële samenstelling van de levensgemeenschappen.

##### 4) Technische aspecten

- Stimulering van onderzoek ter vermindering van afvalstromen.

## GECITEERDE LITERATUUR

- 1 ANONYMUS (1987) Ministerial Declaration of the Second International Conference on the Protection of the North Sea, London, November 24-25, 1987.
- 2 ANONYMYS (1988) Een gegist bestek. Hoofdpijnen van beleid Derde Nota Waterhuishouding. Eerste concept, 30 mei 1988.
- 3 BAEYENS W, WARTEL S, DEHAIRS F, DECADT G, BOGAERT M, GILLAIN G en DEDEURWAERDER H (1982) The river Scheldt as a transport route for heavy metals in the sea (ICES CM 1982/E:37). pp 87-108 in : Disteché A en Elskens I (eds) *Distribution, transport and fate of heavy metals in the Belgian coastal marine environment*. Programmatie van het Wetenschapsbeleid, Brussel.
- 4 BARRETT RT, SKAARE JU, NORHEIM G, VADER W en FROSLIE A (1985) Persistent organochlorines and mercury in eggs of Norwegian seabirds 1983. *Environ Pollut (Series A)* 39 : 79-93.
- 5 BEEFTINK WG en NIEUWENHUIZE J (1982) Heavy-metal accumulation in salt marshes from the Western and Eastern Scheldt. *The Science of the Total Environment* 25 : 199-223.
- 6 BENIJTS-CLAUS C en BENIJTS F (1975) The effect of low lead and zinc concentrations on the larval development of the mud-crab *Rhithropanopeus harrisii* Gould. p 43-52 in Koeman JH en Strik JJTWA (eds) *Sublethal effects of toxic chemicals on aquatic animals*. Proceedings of the Swedish-Netherlands Symposium, Wageningen, September 2-5, 1975. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York.
- 7 BERGMAN M (1982) Gedrag, bestrijding en biologische effecten van olie in estuariene gebieden. I. Literatuuroverzicht. RIN-rapport 82/18, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel. 420 p.
- 8 BITTER G (1988) Trendanalyse waterkwaliteit Westerschelde over de periode 1975-1985. Nota GWWS-88.405, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- 9 BLOM AM (1986) Fliessende Welle Schelde (13-17 augustus 1983). Report 86, International Centre of Water Studies, Amsterdam.
- 10 BOALCH GT (1987) Changes in the phytoplankton of the western English Channel in recent years. *Br Phycol J* 22 : 225-235.
- 11 BOLLEBAKKER GP (1985) Inhoudsberekeningen Westerschelde 1952-1982. Nota WWKZ-85.V027, Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Vlissingen.

- 12 BOON JP en LEEUWEN CJ van (1985) Een oriëntatie op ecotoxicologisch onderzoek aan organische en anorganische microverontreinigingen in mariene, estuariene en zoete milieus. Nota DDMI-85.16, Rijkswaterstaat, Deltadienst, Middelburg.
- 13 BROEKHOVEN ALM VAN (1987) De Rijn in Nederland. Toestand en ontwikkeling anno 1987. Nota 87.061, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, Lelystad.
- 14 BRYANT V, MCLUSKY DS, RODDIE K en NEWBERY DM (1984) Effects of temperature and salinity on the toxicity of chromium to three estuarine invertebrates. *Mar Ecol Progr Ser* 20 : 137-149.
- 15 BRYANT V, NEWBERY DM, MCLUSKY DS en CAMPBELL R (1985a) Effects of temperature and salinity on the toxicity of arsenic to three estuarine invertebrates. *Mar Ecol Progr Ser* 24 : 129-137.
- 16 BRYANT V, NEWBERY DM, MCLUSKY DS en CAMPBELL R (1985b) Effects of temperature and salinity on the toxicity of nickel and zinc in two estuarine invertebrates. *Mar Ecol Progr Ser* 24 : 139-153.
- 17 DAAMEN JW en LEFEVRE FOB (1982) Berekening naar het effect van verdiepingswerken en lozingen van het Zoommeer op de chloridegehalten op de Westerschelde. Nota WWKZ-82.V009, Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Vlissingen.
- 18 DUURSMA EK, FRISSEL MJ, GUARES JC, MARTIN JM, NIEUWENHUIZE J, PENNDERS RMJ en THOMAS AJ (1984) Plutonium in sediments and mussels of the Rhine-Meuse-Scheldt estuary. Publicatie 296, Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke.
- 19 EBBENS EH, HENGST P en LEFEVRE FOB (1980) De ijking van het ééndimensionale waterkwaliteitsmodel Dfenst 20 van de Westerschelde en de Schelde. Nota WWKZ-80.V023, Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Vlissingen.
- 20 ECK B van, TURKSTRA E en SANT H VAN 'T (1983) Voorstel referentiewaarden Nederlandse zoute wateren. Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieuhygiëne, Leidschendam.
- 21 EISLER R (1977a) Acute toxicities of selected heavy metals to the soft-shell clam *My arenaria*. *Bull Environ Cont Tox* 17 : 233-242.
- 22 EISLER R en HENNEKEY RJ (1977b) Acute toxicities of  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  to estuarine macrofauna. *Arch Environ Cont Tox* 17 : 315-323.
- 23 ELTON J, PEKKARINEN M en KRISTOFFERSSON R (1980) Effects of low concentrations of heavy metals on the bivalve *Macoma balthica*. *Ann Zool Fenn* 17 : 233-242.
- 24 GESAMP (1982) The evaluation of the hazards of harmful substances by ships. IMO document, International Maritime Organization, UN's Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Pollution.



- 25 HORST J VAN DE en JANSEN CMA (1983) De invloed van de verdieping op het risico voor mens en milieu ten gevolge van het transport van gevaarlijke stoffen. TNO, Apeldoorn.
- 26 HYLAND JL en SCHNEIDER ED (1976) Petroleum hydrocarbons and their effects on marine organisms, populations, communities and ecosystems. In: *Source, effects and sinks of hydrocarbons in the aquatic environment*. Am Inst Biol Sci, Washington.
- 27 ICR (1987) Actieprogramma "Rijn". Internationale Commissie ter bescherming van de Rijn tegen verontreiniging. (Verkorte Nederlandse editie van *Das Aktionsprogramm "Rhein" des ICRs*).
- 28 KIRCHMANN R en DUPONT JC (1980) Incorporation of tritium from various origins in freshwater fish and the radiological implications for men. p 39-43 in N. Egami (ed) *Radiation effects on aquatic organisms*. Japan Scientific Societies Press, Tokyo/University Park Press, Baltimore.
- 29 KNMI (1986) Jaaroverzicht van het weer in Nederland, 1985. KNMI, De Bilt.
- 30 KOCK WC DE (1986) Monitoring bio-available marine contaminants with mussels (*Mytilus edulis*) in the Netherlands. *Envir Monit Assess* 7 : 209-220.
- 31 KOEMAN JH, BOTHOF T, VRIES R DE en VOS RH (1972) The impact of persistent pollutants on piscivorous and molluscivorous birds. *TNO-Nieuws* 27 : 561-569.
- 32 KOOIJ LA VAN DER (1982) De kwaliteit van de Westerschelde in de periode 1964-1981. Nota 82.063, Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.
- 33 KOOIJ LA VAN DER (1984) Organische microverontreinigingen in de Zeeuwse wateren in 1982 en 1983. Rijkswaterstaat RIZA OW/DZW, Lelystad.
- 34 LANGSTON WJ en MINGJIANG ZHOU (1987) Cadmium accumulation, distribution and elimination in the bivalve *Macoma balthica*: neither metallothionein nor metallothionein-like proteins are involved. *Mar Environ Res* 21 : 225-237.
- 35 LEFEVRE FOB (ongepubl) Fysische achtergrond deeltjesmodel CALM14. Concept nota GWWS 88.406, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- 36 LEFEVRE FOB en MALE C VAN DER (ongepubl) Gebruikersdocumentatie programma pakket CALMOD ten behoeve van het deeltjesmodel CALM14. Concept nota GWWS 88.407, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- 37 MALE C VAN DER (1988) Concentratieberekeningen met het deeltjesmodel CALM14. Concept nota GWWS 88.408, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- 38 MARQUENIE JM en SIMMERS JW (1988) Environmental behaviour of PCB's, who are at risk and why. Proceedings International Conference on Environmental Contamination, Venice, September, 1988. CEP Consults Ltd, Edinburgh.

- 39 MARQUENIE JM en VETHAAK AD (in druk) Effecten in zoutwater ecosystemen. (Aangeboden aan  $H_2O$ ).
- 40 MCLUSKY DS, BRYANT V en CAMPBELL R (1986) The effects of temperature and salinity on the toxicity of heavy metals to marine and estuarine invertebrates.  
*Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 24 : 482-520.
- 41 MEENT D VAN DE, OOSTERWIJK J en ALDENBERG T (1984) Meetnet regenwater 1978-1982. Rapport ECOWAD-84-01, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- 42 NAALD WGH, TAMIS W en BERG MMHE VAN DEN (1987) Polycyclische aromatische koolwaterstoffen in het Nederlandse milieu. Coördinatie-commissie voor de metingen van radioactiviteit en xenobiotische stoffen (CCRX), Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieuhygiëne, Leidschendam.
- 43 NELSON-SMITH A (1977) Biological consequences of oil spills. In: Lenihan en Fletcher (eds) *The marine environment*, chapter 2, 12 p.
- 44 REYNDERS PHJ (1987) Reproductive failure in common seals feeding on fish from polluted coastal waters. *Nature* London 324 : 456-457.
- 45 RIJKSWATERSTAAT (1981) Scheepsongevallen op de Westerschelde over de periode 1966 tot en met 1978. Nota S.77.42, Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde, Dordrecht.
- 46 RIJKSWATERSTAAT (1985) Oriënterend onderzoek naar het gedrag van niet-zuurstofbindende en milieuvreemde stoffen in rioolwaterzuiveringsinstallaties. Nota 86.06, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA, Lelystad.
- 47 RIJKSWATERSTAAT (1986) De waterkwaliteit van Nederland. Indicatief Meerjarenprogramma water 1985-1989. Ministerie van Verkeer en Waterstaat/Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- 48 RIJKSWATERSTAAT (1986) Rijks waterkwaliteitsplan 1986. Ministerie van Verkeer en Waterstaat/Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. 136 p.
- 49 RIJKSWATERSTAAT (1986) Kwaliteitsonderzoek in de rijkswateren. Verslag van de resultaten over het eerste kwartaal 1985. Rijkswaterstaat/Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
- 50 RIJKSWATERSTAAT (1986) Kwaliteitsonderzoek in de rijkswateren. Verslag van de resultaten over het tweede kwartaal 1985. Rijkswaterstaat/Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
- 51 RIJKSWATERSTAAT (1986) Kwaliteitsonderzoek in de rijkswateren. Verslag van de resultaten over het derde kwartaal 1985. Rijkswaterstaat/Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.

- 52 RIJKSWATERSTAAT (1986) Kwaliteitsonderzoek in de rijkswateren. Verslag van de resultaten over het vierde kwartaal 1985. Rijkswaterstaat/Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
- 53 RIJKSWATERSTAAT (1988) Evaluatie ontziltling Zoommeer. Nota AX 88.120, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg.
- 54 STAP P VAN DE (1981) A branched one-dimensional waterquality model. Nota FAO-8102, Rijkswaterstaat Fysische Afdeling, Den Haag.
- 55 STEUR (1988) Beschrijving van enkele bodemdieren in de Nederlandse Noord-zee, Waddenzee en Deltawateren. Literatuuronderzoek. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg/Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke.
- 56 STORTELDER P en HOLLAND AMB (1984) Risico's van het vervoer van olie en vloeibare toxische stoffen. Een eerste verkenning in verband met de verdieping van de Westerschelde. Nota DDMI-84.07, Rijkswaterstaat Deltadienst, Middelburg.
- 57 SWENNEN C (1972) Chlorinated hydrocarbons attacked the Eider population in the Netherlands. *TNO-Nieuws* 27.
- 58 WL (1985) Waterkwaliteitsplan Noordzee. Verslag van onderzoek, deel 2. Nota R2000-2b, Waterloopkundig Laboratorium, Delft.



## OVERZICHT VAN FIGUREN

- 1 Ligging van lozingspunten in het Westerscheldebekken.
- 2 Aantropogene fractie van de cadmiumbelasting.
- 3 Antropogene fractie van de kwikbelasting.
- 4 Antropogene fractie van de chroombelasting.
- 5 Antropogene fractie van de koperbelasting.
- 6 Antropogene fractie van de loodbelasting.
- 7 Antropogene fractie van de zinkbelasting.
- 8 Opbouw van de antropogene fractie van de cadmiumbelasting.
- 9 Opbouw van de antropogene fractie van de kwikbelasting.
- 10 Opbouw van de antropogene fractie van de chroombelasting.
- 11 Opbouw van de antropogene fractie van de koperbelasting.
- 12 Opbouw van de antropogene fractie van de loodbelasting.
- 13 Opbouw van de antropogene fractie van de zinkbelasting.
- 14 Verloop van het gehalte totaal-zink op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 15 Verloop van het gehalte opgelost zink op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 16 Trend van totaal-zink te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1985.
- 17 Trend van totaal-koper te Schaar van Ouden Doel over de periode 1982-1984.
- 18 Trend van totaal-chroom te Vlissingen over de periode 1975-1981.
- 19 Trend van totaal-lood te Hansweert over de periode 1975-1981.
- 20 Trend van totaal-lood te Vlissingen over de periode 1975-1981.
- 21 Verloop van het gehalte totaal-cadmium op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 22 Verloop van het gehalte opgelost cadmium op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 23 Trend van totaal-cadmium te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1985.
- 24 Trend van totaal-cadmium te Terneuzen over de periode 1977-1981.
- 25 Trend van totaal-nikkel te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1981.
- 26 Trend van totaal-kwik te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1985.
- 27 Trend van totaal-kwik te Hansweert over de periode 1975-1981.
- 28 Verloop van het oliegehalte, bepaald via infrarood spectrofotometrie, op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 29 Het gehalte van vluchtige organische chloorverbindingen op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1983-1986.
- 30 Verloop van de gehalten van chloroform en trichloorethyleen te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986.
- 31 Verloop van de gehalten van tetrachlooretheen en 1,1,1-trichloorethaan te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986.
- 32 Het gehalte van extraheerbare organische chloorverbindingen op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1983-1986.
- 33 Gehalten van dichloorbenzenen te Schaar van Ouden Doel in de periode 1985-1986 en te Hansweert, Terneuzen en Vlissingen in het jaar 1986.
- 34 Gehalten van trichloorbenzenen en 1-chloor-2-nitrobenzenen te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1983-1986, respectievelijk 1985-1986.

- 35 Verloop van de gehalten van cholinesteraseremmers en hexachloorcyclohexaan te Schaar van Ouden Doel in de periode 1982-1986, respectievelijk 1981-1986, met enkele waarnemingen (?) te Vlissingen.
- 36 Trend van hexachloorbenzeen (HCB) te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1985.
- 37 Verloop van de gehalten van endosulfan-alpha en dichloordifenyldichloorethaan te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1983-1986.
- 38 Verloop van de gehalten van dichloordifenyldichloorethaan en dichloordifenyldichlooretheen te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1983-1986.
- 39 Verloop van de gehalten van zes PCB-congeneren te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1983-1986.
- 40 Verloop van de gehalten van fenol-totaal en waterdampvluchtige fenolen op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1984, respectievelijk 1985-1986.
- 41 Gehalten van 2,4,6-trichloorfenol en pentachloorfenol te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1982-1986.
- 42 Verloop van het gehalte van poly-aromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986, met indicentele waarnemingen van de overige drie meetpunten.
- 43 Verloop van de gehalte van zes poly-aromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986, respectievelijk 1983-1986, met indicentele waarnemingen te Vlissingen.
- 44 Trend van polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1979.
- 45 Trend van polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel over de periode 1980-1985.
- 46 Resterende bèta-activiteit in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 47 Trend van resterende bèta-activiteit te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1981.
- 48 Trend van resterende bèta-activiteit te Hansweert over de periode 1975-1981.
- 49 Bèta-activiteit van tritium in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 50 Trend van tritium te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1981.
- 51 Trend van tritium te Schaar van Ouden Doel over de periode 1982-1984.
- 52 Trend van tritium te Hansweert over de periode 1982-1984.
- 53 Trend van tritium te Terneuzen over de periode 1982-1984.
- 54 Trend van tritium te Vlissingen over de periode 1975-1981.
- 55 Trend van tritium te Vlissingen over de periode 1982-1985.
- 56 Totaal-alpha-activiteit in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 57 Alpha-activiteit van radium-226 in de Westerschelde in de periode 1981-1984.
- 58 Grafische bepaling van de Westerschelde-waterkwaliteitsdoelstelling.
- 59 Verspreiding van een lozing op de Westerschelde, berekend met het model CALM00.
- 60 Effecten van temperatuur en zoutgehalte op de toxiciteit van zink voor het nonnetje.
- 61 Gehalte van PCB's in bodemdieren en zwevend stof uit het overgangsgebied van de Westerschelde, in 1987.
- 62 Ruimtelijke variatie van het PCB-138-gehalte in bodemdieren uit de Westerschelde, in 1987.
- 63 Ruimtelijke variatie van het PCB-153-gehalte in bodemdieren uit de Westerschelde, in 1987.
- 64 Gehalte van PCB's (som 7) in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987.

- 65    Gehalte van PAK's (som 6) in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987.
- 66    Cadmiumgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987.
- 67    Chroomgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987.
- 68    Kopergehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987.
- 69    Loodgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987.
- 70    Kwikgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987.
- 71    Zinkgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987.
- 72    Vergelijking van de cadmiumgehalten in mosselen uit Nederlandse kustwateren met de effect-indicatieve waarden.
- 73    Effect van sanering op de antropogene fractie van de zware-metalenbelasting.



## OVERZICHT VAN TABELLEN

- 1 Belasting van de Westerschelde met zware metalen, in 1985.
- 2 Belasting van de Westerschelde met PAK's en PCB's in 1985.
- 3 Belasting van de Westerschelde met microverontreinigingen door lozingen vanuit de Bathse Spuisluis in 1987.
- 4 Geschatte belasting van de Westerschelde met zware metalen door lozingen vanuit de Bathse Spuisluis en de Kreekraksluizen, in 1988.
- 5 Natuurlijke concentraties van zware metalen in het water dat de Westerschelde instroomt.
- 6 De ranges van waargenomen en berekende jaargemiddelde totaalgehalten van zware metalen in de Westerschelde, voor het jaar 1985.
- 7 Jaargemiddelde gehalten van zware metalen in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 8 Jaargemiddelde gehalten van andere metalen in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 9 Jaargemiddelde gehalten van vluchtige organochloorverbindingen (VOCL) en enkele afzonderlijk bepaalde componenten, te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986.
- 10 Jaargemiddelde gehalten van extraheerbare organochloorverbindingen (EOCL) te Schaar van Ouden Doel in de periode 1983-1986.
- 11 Jaargemiddelde gehalten van polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986.
- 12 Opbouw van de natuurlijke radioactiviteit van zeewater.
- 13 Jaargemiddelde resterende bèta-activiteit en waterafvoer te Schaar van Ouden Doel in de periode 1978-1986.
- 14 Jaargemiddelde totale alpha-activiteit in de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 15 Jaargemiddelde som-alpha+bèta-activiteit, periode 1981-1986.
- 16 Waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde.
- 17 Toetsing van de waterkwaliteit over de periode 1981-1986.
- 18 Balans van scheepsongevallen in de Westerschelde in de periode 1966-1978.
- 19 Aantallen zeeschepen betrokken bij het vervoer van nafta en ruwe olie over de Westerschelde in 1981, onderverdeeld naar lading en capaciteit.
- 20 Schatting van de kans op het optreden van olie- en naftalozingen van een bepaalde omvang, als gevolg van ongevallen met zeeschepen.
- 21 Enkele belangrijke stoffen uit de toxiciteitsklassen A en B van de MARPOL-Convention 73/78 Annex II van 1973.
- 22 Schatting van het jaarlijks vervoer van vloeibare toxische stoffen door zeeschepen over de Westerschelde.
- 23 Schatting van de kans op het optreden van chemicaliënlozingen van een bepaalde omvang, als gevolg van ongevallen met zeeschepen.
- 24 Informatie over de lading van de schepen die in de periode 1966-1978 betrokken waren bij een ongeval op de Westerschelde.
- 25 Schatting van de letale concentratie van enkele oliesoorten op basis van SAD-gehalten, voor larvale en adulte bodemdieren bij een expositieduur van enkele uren.
- 26 Gehalten van PCB-138 en PCB-153 in enkele bodemdiersoorten uit drie gebieden van de Westerschelde, zomer 1987.
- 27 Gehalten van twee polyaromatische koolwaterstoffen in enkele bodemdiersoorten uit drie gebieden van de Westerschelde, zomer 1987.

- 28 Gehalte van cadmium in enkele bodemdiersoorten uit drie gebieden van de Westerschelde, zomer 1987.
- 29 PCB-gehalten in mosselen uit de omgeving van Terneuzen in de periode 1985-1987, berekend op basis van drooggewicht en vetgehalte.
- 30 Het PAK-gehalte (zes van Borneff) in mosselen bij Terneuzen, in de periode 1985-1987.
- 31 Schatting van de concentratiefactor Visdiefje/Garnaal, voor enkele contaminanten.
- 32 Planning van saneringsmaatregelen bij de industrie langs de zuidelijke deltawateren.
- 33 Directe lozingen van microverontreinigingen op het Nederlands deel van de Westerschelde in 1980 en 1985, met een voorspelling voor 1990.
- 34 Directe lozingen van microverontreinigingen op de Nederlandse Rijntakken in 1980 en 1985, met een voorspelling voor 1990.
- 35 Referentiegehalten en geactualiseerde Waterkwaliteits Doelstellingen Westerschelde, vergeleken met de gehalten in 1985 en de gehalten na 50% reductie van de belasting.

## **OVERZICHT VAN BIJLAGEN**

- 1 Grensoverschrijdende jaarvrachten van zware metalen en organische microverontreinigingen te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986.**
- 2 Overzicht van microverontreinigingen waarop trendanalyse is toegepast, met vermelding van de gebruikte correcties.**



## COLOFON

|                                             |                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| omslagfoto                                  | LANDSAT                                                                                                                                                                                                                     |
| tekenwerk                                   | A. de Buck                                                                                                                                                                                                                  |
| drukwerk                                    | Pitman BV, Goes                                                                                                                                                                                                             |
| redactionele<br>ondersteuning<br>en lay-out | Bureau RDD <i>Aquatic Ecosystems</i> , Groningen<br>  |

**BIJLAGE 1      Overzicht van grensoverschrijdende jaarvrachten te Schaar van Ouden Doel over de periode 1981-1986**

| Stof             | Jaarvracht in kg |          |          |          |          |          |
|------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                  | 1981             | 1982     | 1983     | 1984     | 1985     | 1986     |
| As opgelost      | -                | -        | 38730    | 39301    | 33902    | 31100    |
| As totaal        | -                | -        | 52674    | 60939    | 53917    | 42508    |
| Cd opgelost      | 4103             | 1714     | 1728     | 958      | 1436     | 1981     |
| Cd totaal        | 10330            | 8137     | 5840     | 8117     | 7921     | 5843     |
| Cr opgelost      | 10342            | 7612     | 6391     | 7781     | 5013     | 2378     |
| Cr totaal        | 87987            | 121856   | 83138    | 118272   | 85680    | 86760    |
| Cu opgelost      | 30834            | 9398     | 12230    | 20317    | 13507    | 8223     |
| Cu totaal        | 61835            | 52651    | 45494    | 94181    | 64266    | 49991    |
| Fe opgelost      | -                | 392055*  | 83798    | 62227    | -        | -        |
| Fe totaal        | -                | 20977600 | 14033600 | 22176000 | 16273600 | 21152101 |
| Pb opgelost      | 8977             | 4956     | 1951     | 1643     | 1299     | 1226     |
| Pb totaal        | 83518            | 78333    | 64120    | 96387    | 86218    | 61474    |
| Ni opgelost      | 187488           | -        | 55630    | 82723    | 56045    | 46630    |
| Ni totaal        | 191968           | -        | 68880    | 106501   | 77918    | 64456    |
| Zn opgelost      | 123424           | 84896    | 60379    | 95782    | 64534    | 52885    |
| Zn totaal        | 367920           | 416752   | 252896   | 390880   | 380016   | 270804   |
| Hg opgelost      | 149              | 105      | 72       | 91       | 99       | 56       |
| Hg totaal        | 699              | 957      | 770      | 1111     | 1005     | 719      |
| Fenol            | 24998            | 21190    | 19589    | 29445    | -        | -        |
| Wv. fenolen      | -                | -        | -        | -        | 9986     | 5747     |
| Benzo(b)fluor.   | 358*             | 242*     | 139*     | 311      | 254      | 240      |
| Benzo(k)fluor.   | -                | -        | 53*      | 141      | 131      | 104      |
| Benzo(a)pyreen   | 274*             | 189*     | 91*      | 255      | 257      | 213      |
| Fluorantheen     | -                | -        | 232*     | 293      | 449      | 420      |
| Indeno pyreen    | -                | -        | 105*     | 286      | 549      | 218      |
| Benzo(ghi)peryl. | -                | -        | 34*      | 108      | 202      | 187      |
| PAK 6 Borneff    | 1730*            | 1639*    | 892*     | 1112*    | 1172*    | 1415     |
| a-Endosulfan     | -                | -        | 5        | 12       | 4        | 9        |
| HClButa          | 5*               | 4*       | 3*       | 1        | 3        | 3        |
| 12 DCB           | -                | -        | -        | -        | 5217     | 458      |
| 13 DCB           | -                | -        | -        | -        | 118      | 490      |
| 14 DCB           | -                | -        | -        | -        | 294      | 103      |
| 246 TCP          | -                | 314*     | -        | -        | 171      | 157      |
| 245 TCP          | -                | -        | -        | -        | 8        | 9        |

- = niet gemeten, of geen kwaliteitsgegevens bekend.

\* = berekend als het product van jaargemiddeld debiet en jaargemiddelde concentratie

**BIJLAGE 1**  
(vervolg)

**Overzicht van grensoverschrijdende jaarvrachten te Schaar van Ouden Doel over de periode 1981-1986**

| Stof           | Jaarvracht in kg |       |       |       |       |       |
|----------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | 1981             | 1982  | 1983  | 1984  | 1985  | 1986  |
| PCP            | -                | 157*  | 514   | 531   | 324   | 412   |
| p.p'-DDT       | 0*               | 0*    | 3*    | 2     | 2     | 4     |
| p.p'-DDD       | 0*               | 0*    | 4*    | 10    | 7     | 2     |
| p.p'-DDE       | 0*               | 0*    | 4*    | 4     | 6     | 6     |
| HCH-a          | 5                | 7     | 14    | 18    | 12    | 9     |
| HCH-b          | -                | -     | 2     | -     | 5     | 3     |
| HCH-c          | 202*             | 216   | 155   | 250   | 272   | 136   |
| Dieldrin       | -                | 2     | 4     | 7     | 9     | 3     |
| Endrin         | 13               | -     | -     | -     | -     | -     |
| Cholin.remmers | -                | 3960* | 5745* | 8905  | 14426 | 7418  |
| HCB            | 4                | 3     | 2     | 4     | 7     | 4     |
| EOCL           | -                | -     | 7557  | 16610 | 10830 | 9885  |
| VOCL           | -                | -     | 23733 | 40600 | 37912 | 19484 |
| PCB-28         | -                | -     | 5     | 3     | 4     | 9     |
| PCB-52         | -                | -     | 10    | 14    | 7     | 9     |
| PCB-101        | -                | -     | 13    | 14    | 11    | 16    |
| PCB-138        | -                | -     | 13    | 14    | 14    | 10    |
| PCB-153        | -                | -     | -     | 14    | 13    | 23    |
| PCB-180        | -                | -     | 11    | 15    | 13    | 12    |
| P-CNB          | -                | -     | -     | -     | 40    | 27    |
| DCB            | 343*             | 529*  | 408*  | -     | 5678  | 786   |
| TCB            | -                | -     | -     | -     | 1248  | 216   |

- = niet gemeten, of geen kwaliteitsgegevens bekend.

\* = berekend als het product van jaargemiddeld debiet en jaargemiddelde concentratie



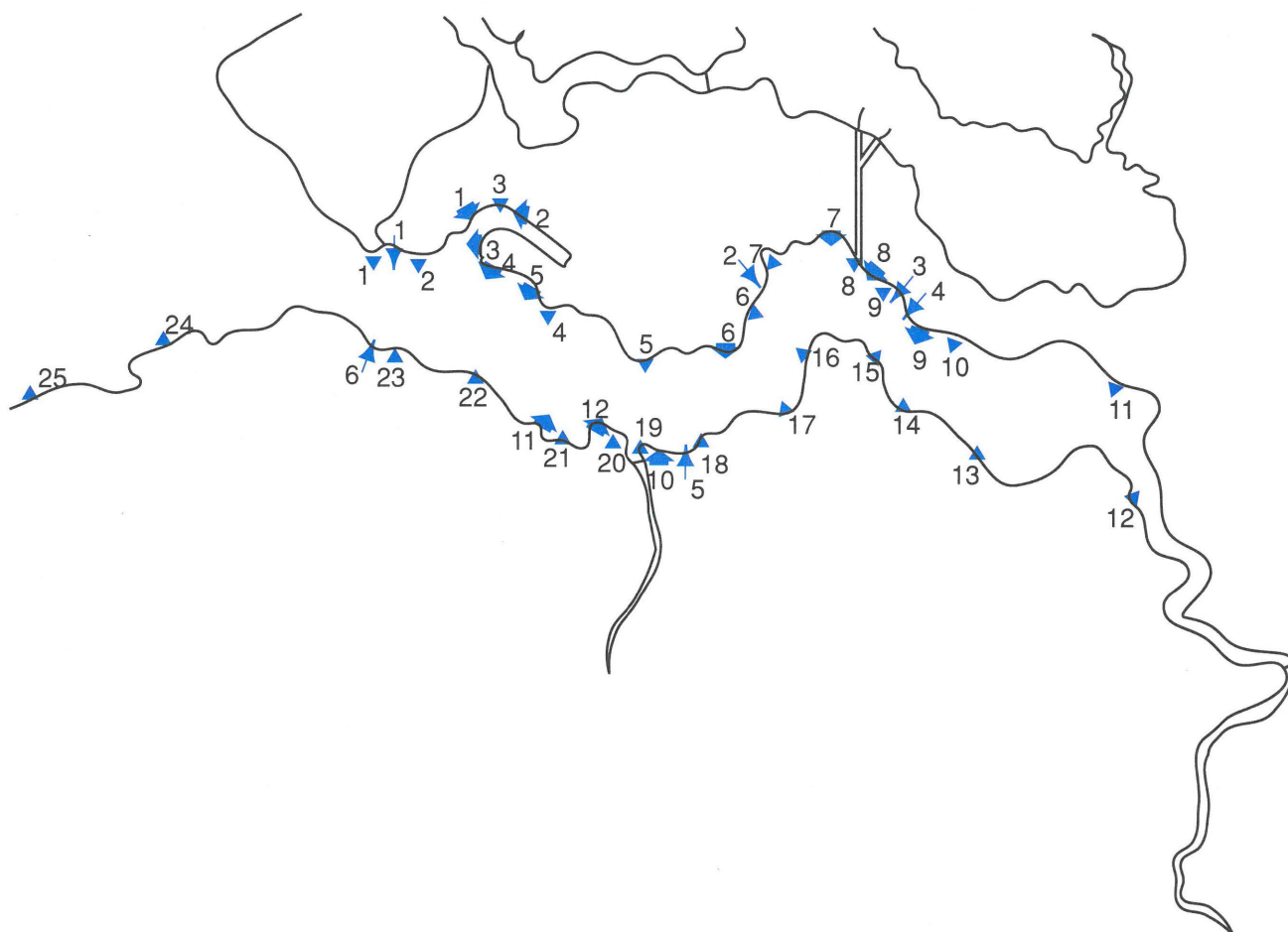
**BIJLAGE 2      Overzicht van onderzochte parameters met hun correcties**

| Parameter |                   | Correctievariabelen |                |                            | Seizoenscorrectie |
|-----------|-------------------|---------------------|----------------|----------------------------|-------------------|
| Nummer    | Naam              | Temperatuur<br>(10) | Afvoer<br>(58) | Zwevend stof met.<br>(500) |                   |
| 1051      | Lood              | -                   | +              | +                          | -                 |
| 1034      | Chroom            | -                   | +              | +                          | -                 |
| 1067      | Nikkel            | -                   | +              | +                          | -                 |
| 71900     | Kwik              | -                   | +              | +                          | -                 |
| 1027      | Cadmium           | -                   | +              | +                          | -                 |
| 1092      | Zink              | -                   | +              | +                          | -                 |
| 1042      | Koper             | -                   | +              | +                          | -                 |
| 75049     | Rest-bèta         | -                   | +              | +                          | -                 |
| 7020      | Tritium           | -                   | +              | +                          | -                 |
| 9521      | Radium-226        | -                   | +              | +                          | -                 |
| 13511     | Strontium-90      | -                   | +              | +                          | -                 |
| 1511      | Totaal-alpha      | -                   | +              | +                          | -                 |
| 32028     | PAK               | -                   | +              | +                          | -                 |
| 31617     | Thermotoler. coli | -                   | +              | -                          | -                 |
| 31690     | Totaal-coli       | -                   | +              | -                          | -                 |
| 32735     | Wv. fenol         | -                   | +              | +                          | -                 |
| 39340     | C-HCH             | -                   | +              | +                          | -                 |
| 39700     | HCB               | -                   | +              | +                          | -                 |

+ Betekent dat de betreffende correctie aan het model is opgegeven. De correctievariabele wordt in het model opgenomen wanneer deze factor een deel van de variatie in de trendanalyse verklaart.

**figuur 1 :**

Ligging van lozingspunten in het Westerschelde bekken.



▼ Polderlozingen en kanalen:

- 1 Kan. door Walcheren
- 2 Ritthem
- 3 Quarlespolder
- 4 Borssele
- 5 Hellewout
- 6 Groenewege
- 7 Maelstede
- 8 Kan. door Zuid-Beveland
- 9 Glerum
- 10 Waarde
- 11 Uitwateringssluys
- 12 Uitwateringssluys Hedwigepolder
- 13 Paal
- 14 Kruispolder
- 15 Walsoorden
- 16 Uitwateringssluys Nijspolder
- 17 Campen
- 18 Uitwateringssluys Otheense kreek
- 19 Kan. Gent-Terneuzen
- 20 Uitwateringssluys Westelijke Rijkswaterleiding
- 21 Uitwateringssluys Braakman
- 22 Uitwateringssluys Hoofdplaat
- 23 Nummer een
- 24 Nieuwe sluis
- 25 Cadzand Bad



Bedrijfsafvalwaterlozingen:

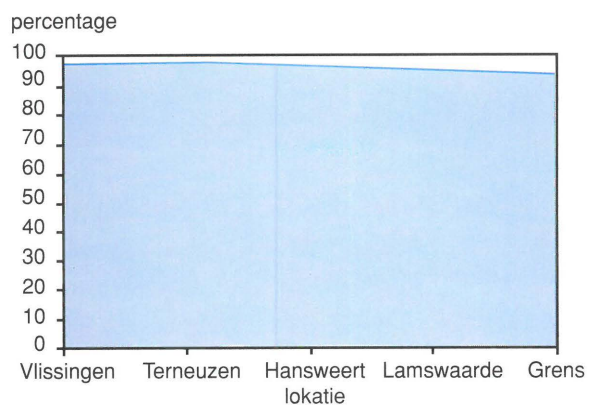
- 1 Aantal kleinere bedrijven
- 2 Pechiney Nederland N.V.
- 3 M. en T. Chemicals B.V.
- 4 Hoechst Holland N.V.
- 5 Total Raffinaderij Nederland N.V.
- 6 Spyer van de Vijver en Zwanenburg B.V.
- 7 C. Oostrom's Concervenfabriek B.V.
- 8 C. Meijer
- 9 General Electric Plastics B.V.
- 10 AWL (diverse chemische bedrijven)
- 11 PZEM
- 12 Dow Chemicals B.V.



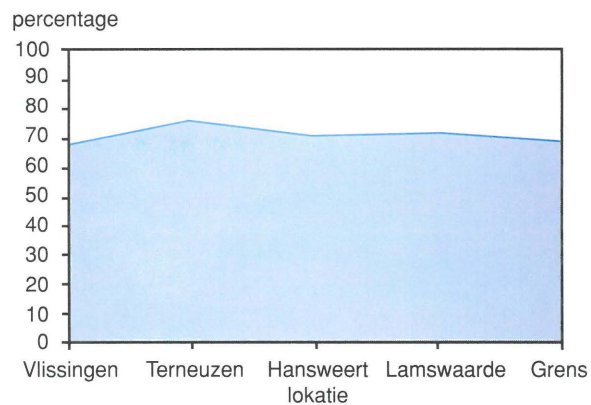
Communale lozingen:

- 1 Ritthem
- 2 Willem Annapolder
- 3 Waarde
- 4 Bath
- 5 Terneuzen
- 6 Breskens

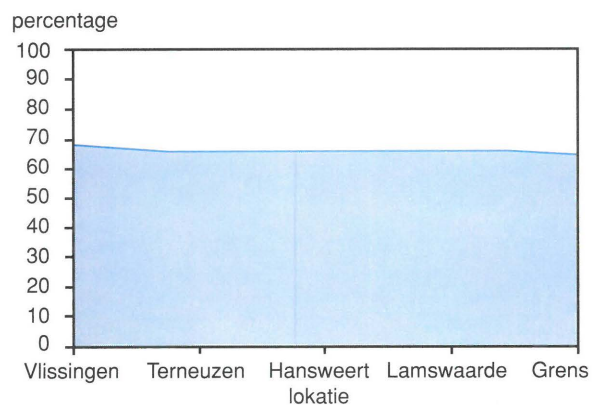
**Figuur 2 :**  
Antropogene fractie van de cadmiumbelasting



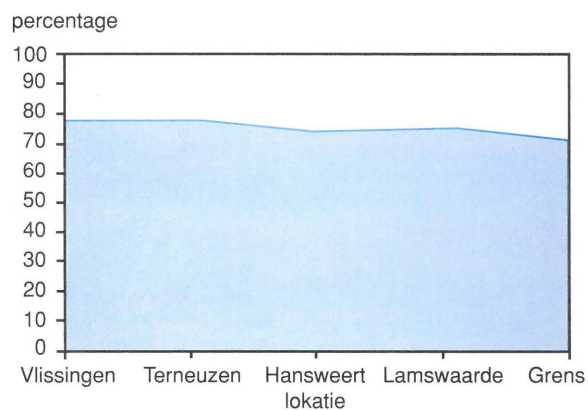
**Figuur 3 :**  
Antropogene fractie van de kwikbelasting



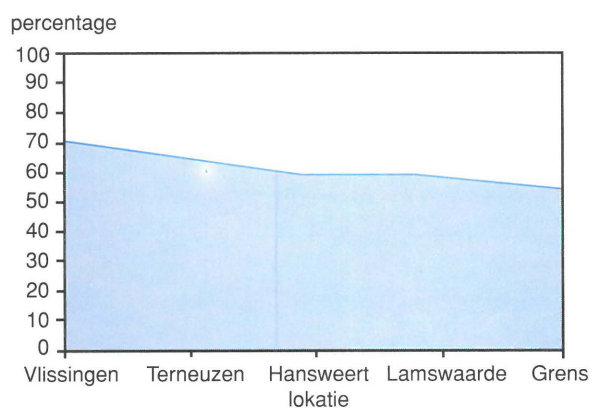
**Figuur 4 :**  
Antropogene fractie van de chroombelasting



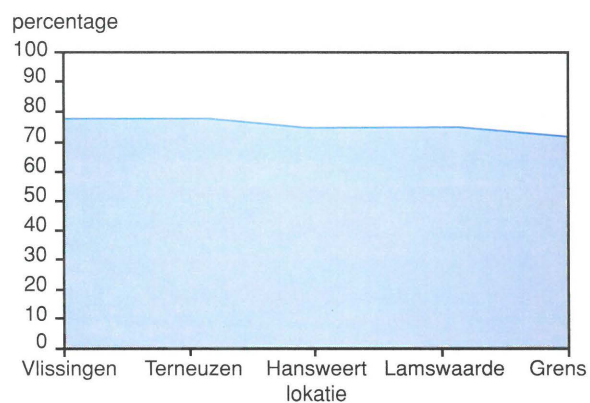
**Figuur 5 :**  
Antropogene fractie van de koperbelasting



**Figuur 6 :**  
Antropogene fractie van de loodbelasting

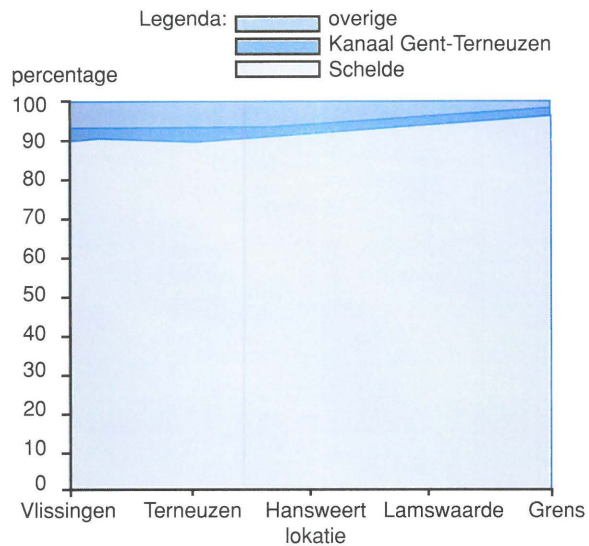


**Figuur 7 :**  
Antropogene fractie van de zinkbelasting

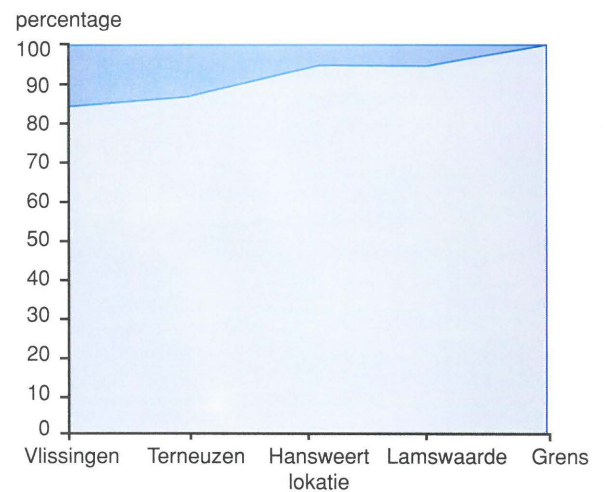




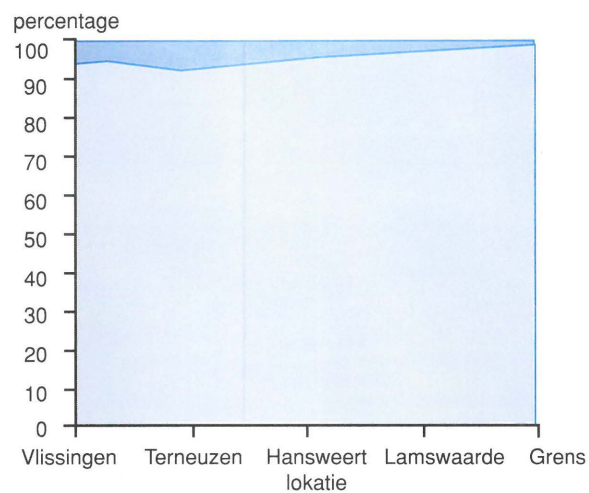
**Figuur 8 :**  
Opbouw van de antropogene fractie van  
cadmiumbelasting



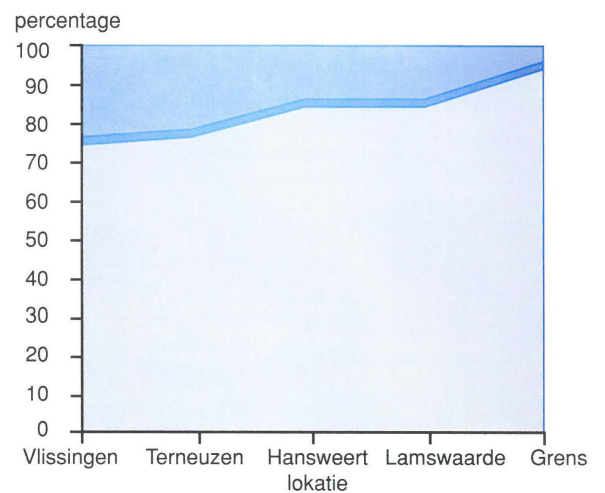
**Figuur 9 :**  
Opbouw van de antropogene fractie van  
kwikbelasting



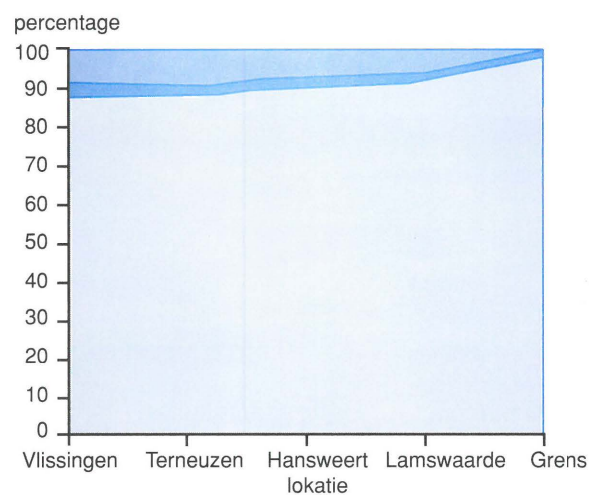
**Figuur 10 :**  
Opbouw van de antropogene fractie van  
chromiumbelasting



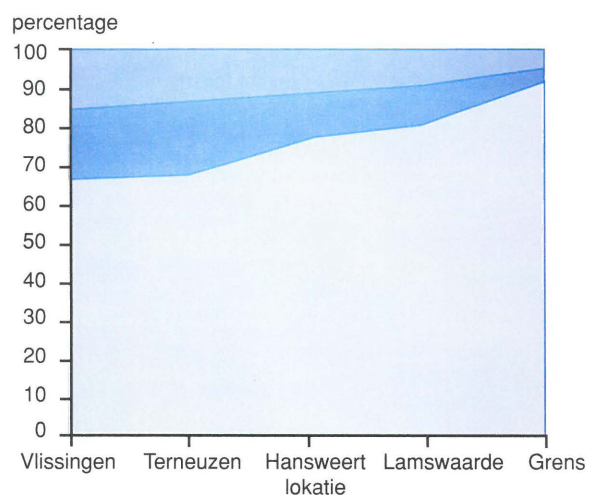
**Figuur 11 :**  
Opbouw van de antropogene fractie van  
koperbelasting



**Figuur 12 :**  
Opbouw van de antropogene fractie van  
loodbelasting

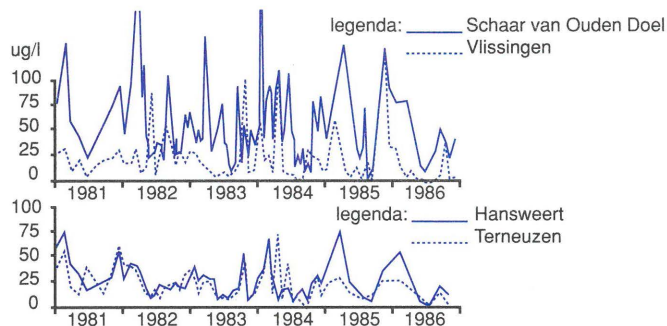


**Figuur 13 :**  
Opbouw van de antropogene fractie van  
zinkbelasting



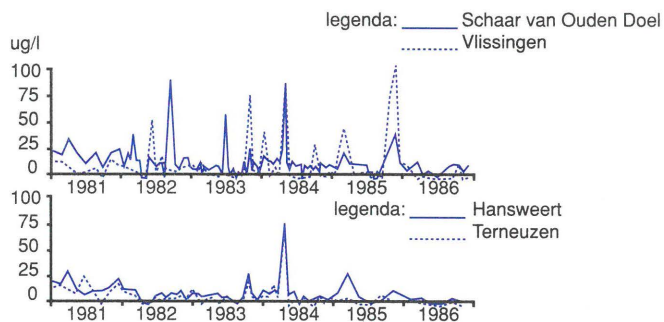
**Figuur 14 :**

Verloop van het gehalte totaal-zink op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986



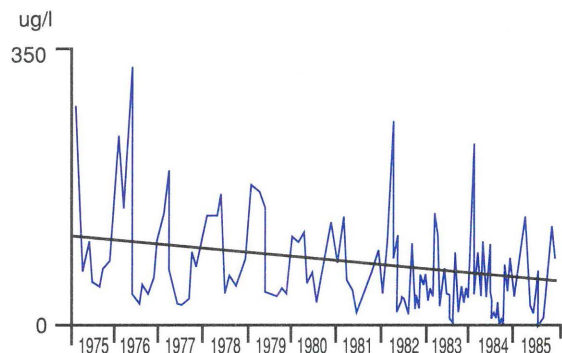
**Figuur 15 :**

Verloop van het gehalte opgelost zink op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986



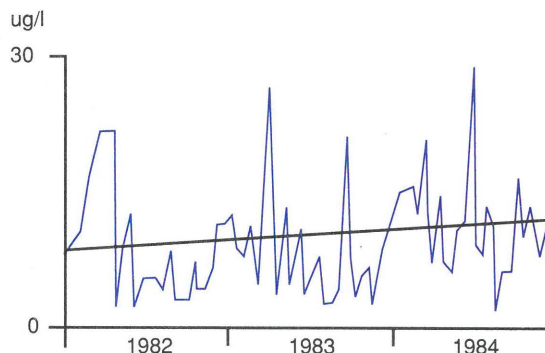
**Figuur 16 :**

Trend van totaal-zink te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1985



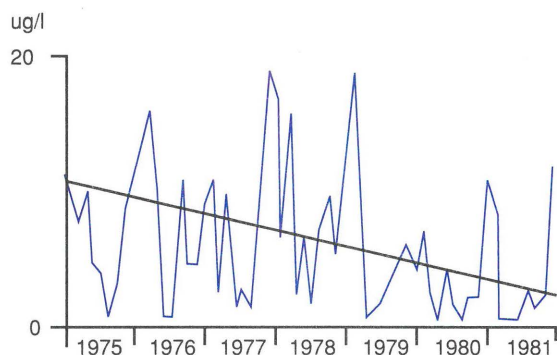
**Figuur 17 :**

Trend van totaal-koper te Schaar van Ouden Doel over de periode 1982-1984



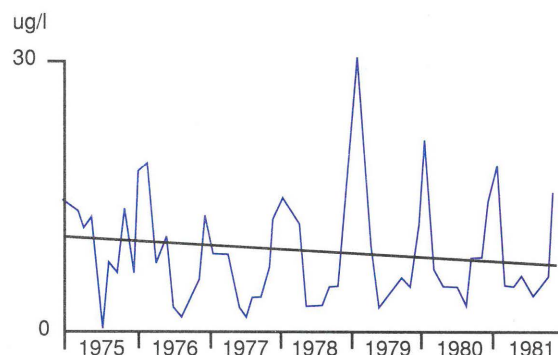
**Figuur 18 :**

Trend van totaal-chroom te Vlissingen over de periode 1975-1981



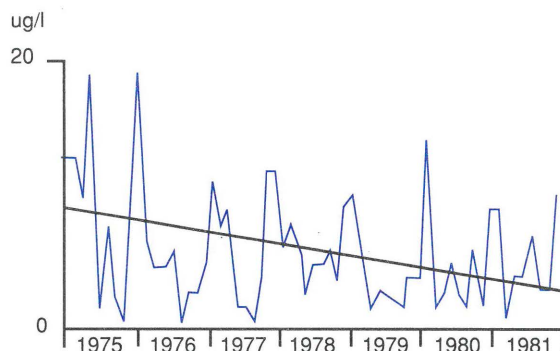
**Figuur 19 :**

Trend van totaal-lood te Hansweert over de periode 1975-1981



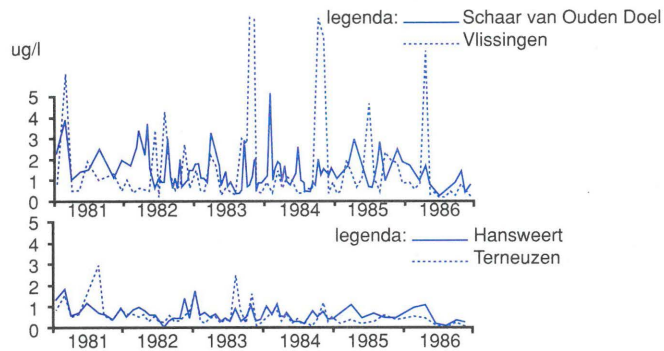
**Figuur 20 :**

Trend van totaal-lood te Vlissingen over de periode 1975-1981



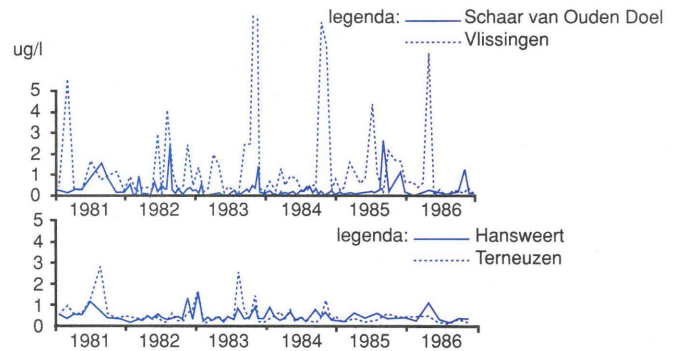
**Figuur 21 :**

Verloop van het gehalte totaal-cadmium op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986



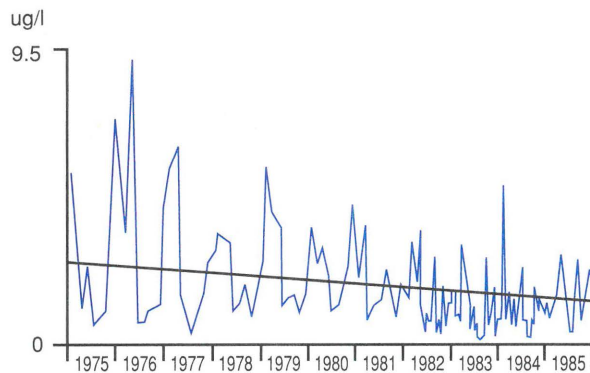
**Figuur 22 :**

Verloop van het opgelost cadmium op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986



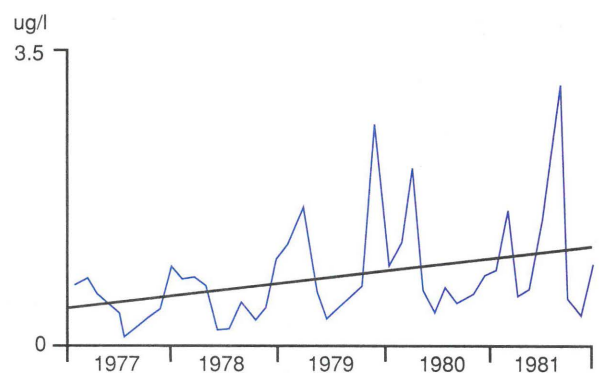
**Figuur 23 :**

Trend van totaal-cadmium te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1985



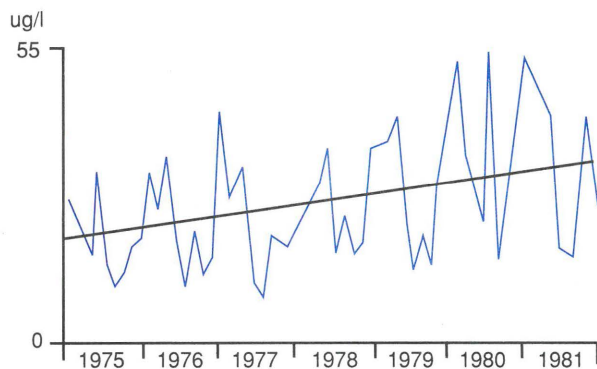
**Figuur 24 :**

Trend van totaal-cadmium te Terneuzen over de periode 1977-1981



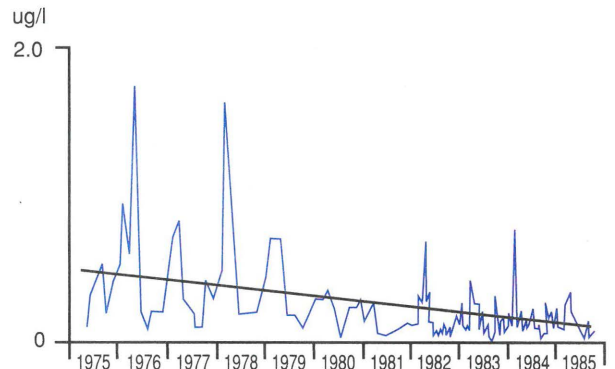
**Figuur 25 :**

Trend van totaal-nikkel te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1981



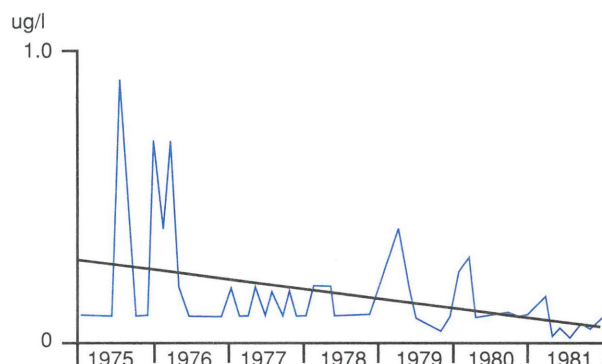
**Figuur 26 :**

Trend van totaal-kwik te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1985



**Figuur 27 :**

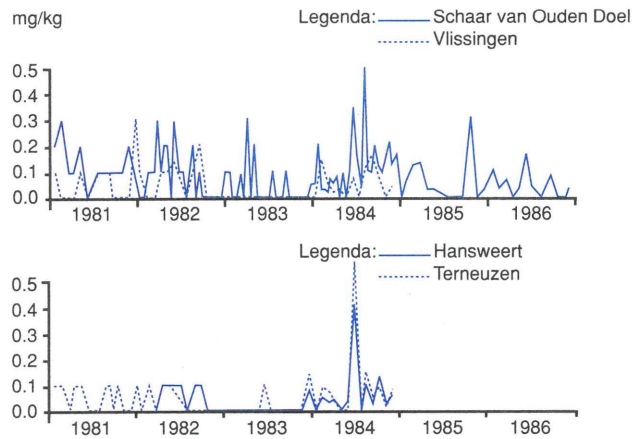
Trend van totaal-kwik te Hansweert over de periode 1975-1981



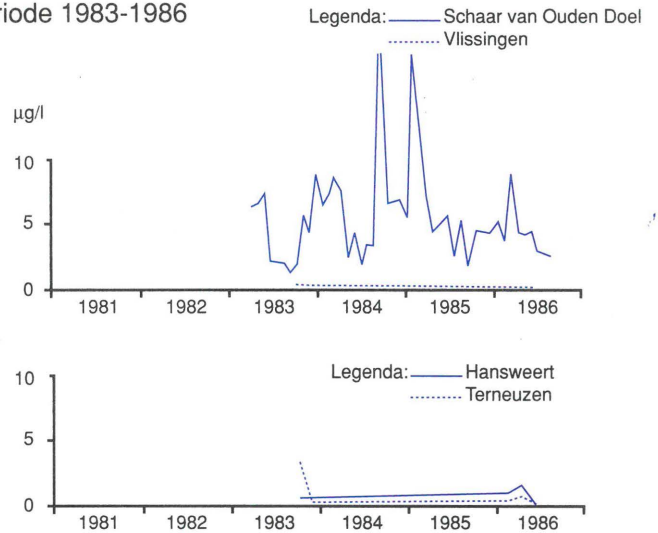


**Figuur 28 :**

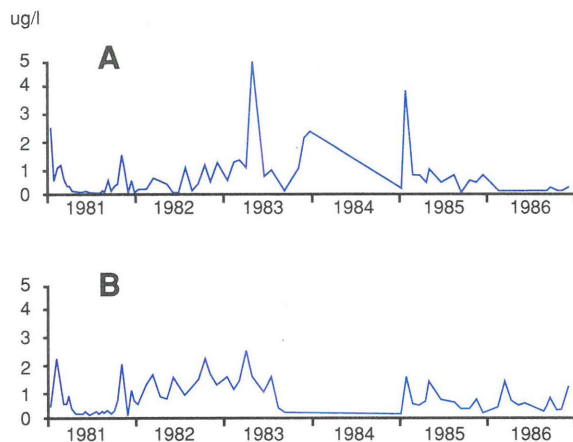
Verloop van het oliegehalte in water, bepaald via infrarood spectrofotometrie, op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1981-1986

**Figuur 29 :**

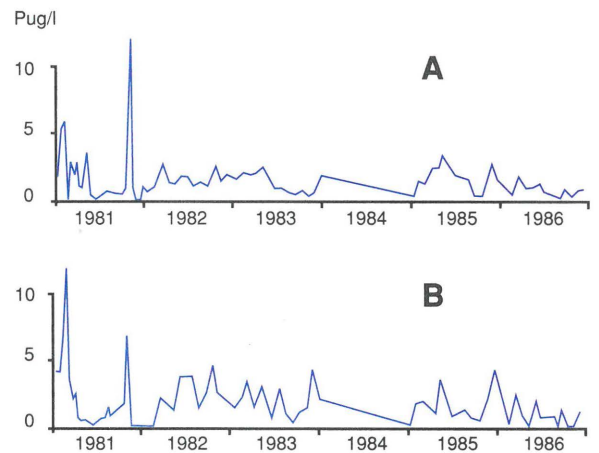
Het gehalte van vluchtige organische chloorverbindingen op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1983-1986

**Figuur 30 :**

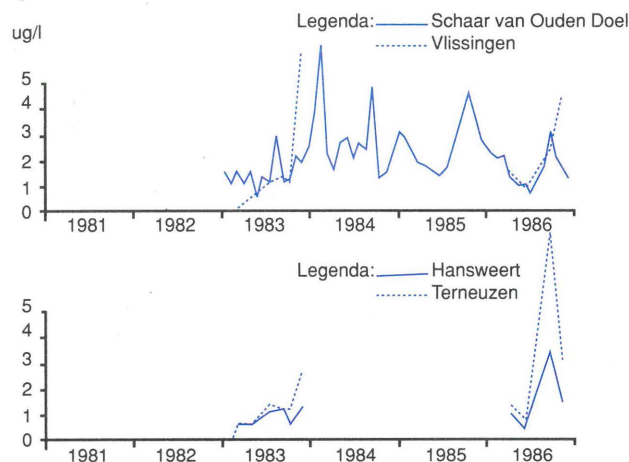
Verloop van de gehalten A)chloroform en B)trichloorethyleen te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986

**Figuur 31 :**

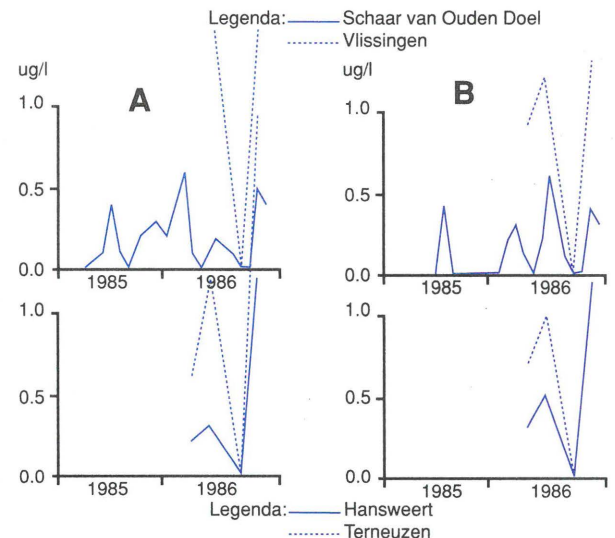
Verloop van de gehalten van A)tetrachlooretheen en B)1,1,1-trichloorethaan te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986

**Figuur 32 :**

Het gehalte van extraheerbare organische chloorverbindingen op vier meetpunten in de Westerschelde in de periode 1983-1986

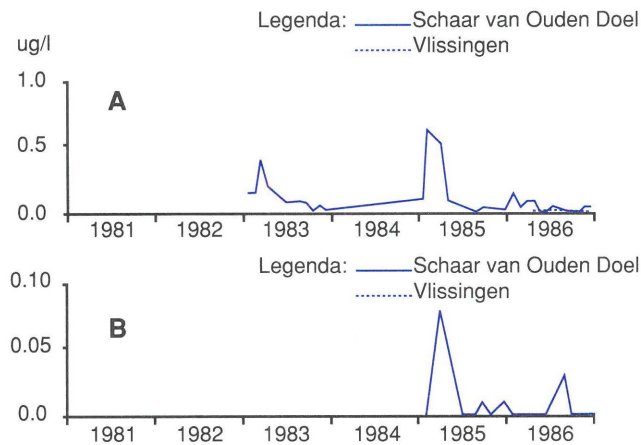
**Figuur 33 :**

Gehalten van 1,2 en 1,4 dichloorbenzeen (A) en 1,3 dichloorbenzeen (B) in de Westerschelde in 1985 en 1986

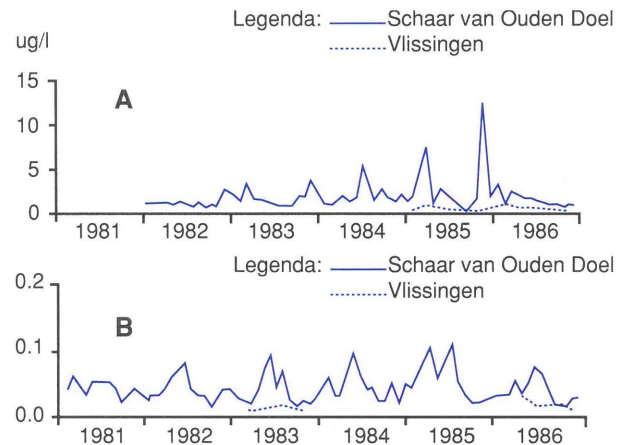


**Figuur 34 :**

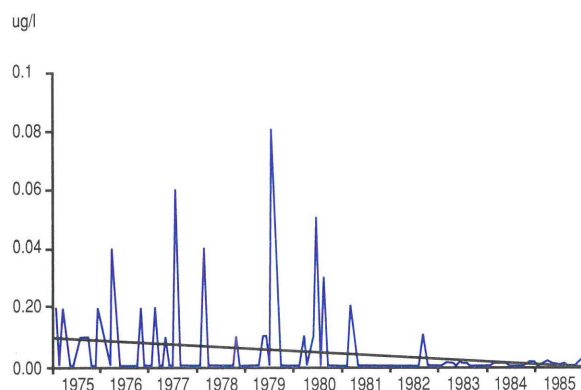
Gehalten van A) trichloorbenzenen en B) 1-chloor-2-nitro-benzeen te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1983-1986, respectievelijk 1985-1986

**Figuur 35 :**

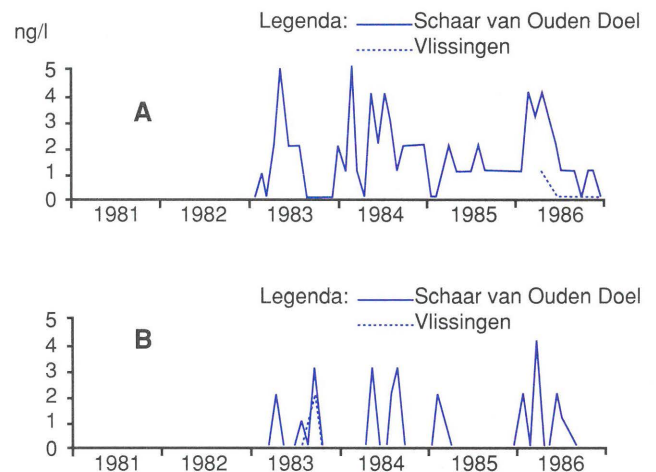
Verloop van de gehalten van A) cholinesteraseremmers en B) hexachloorcyclohexaan te Schaar van Ouden Doel in de periode 1982-1986, respectievelijk 1981-1986, met enkele waarnemingen te Vlissingen

**Figuur 36 :**

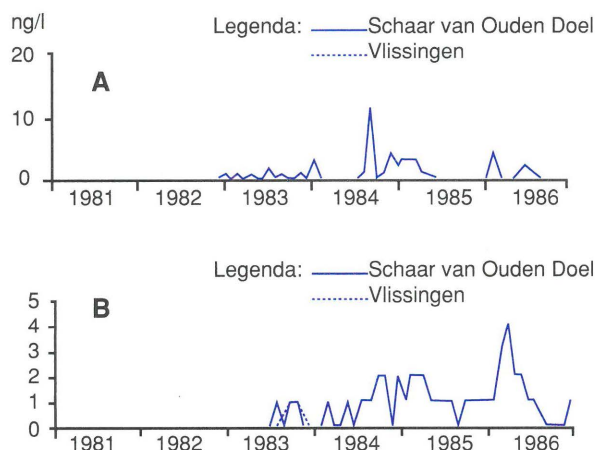
Trend van hexachloorbenzeen (HCB) te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1985

**Figuur 37 :**

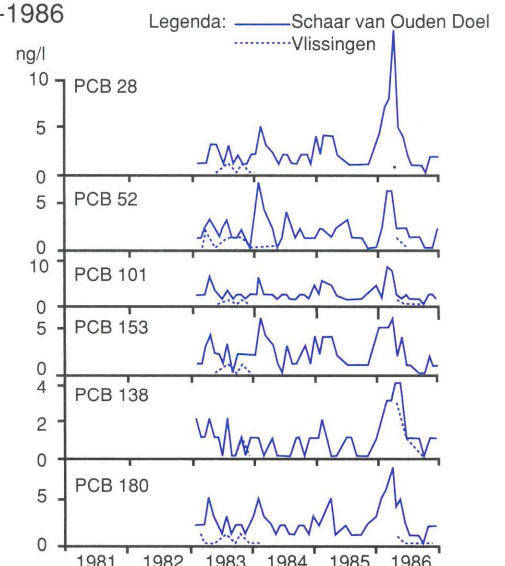
Verloop van de gehalten van A) endosulfan-alpha en B) di-chloordifenyiltrichloorethaan te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1983-1986

**Figuur 38 :**

Verloop van de gehalten van A) dichloordifenyldichloorethaan en B) dichloordifenyldichlooretheen te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1983-1986

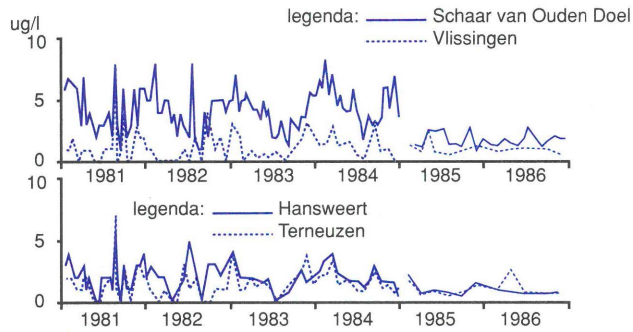
**Figuur 39 :**

Verloop van de gehalten van zes PCB-congeneren te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1983-1986

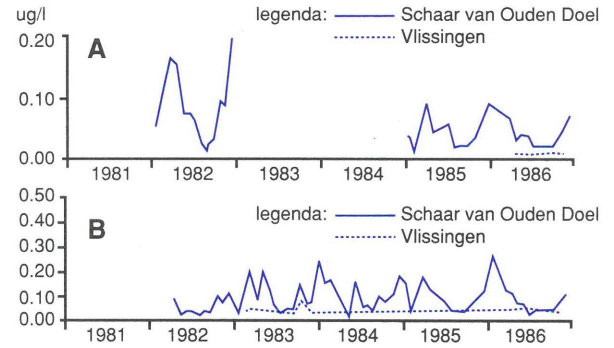


**Figuur 40 :**

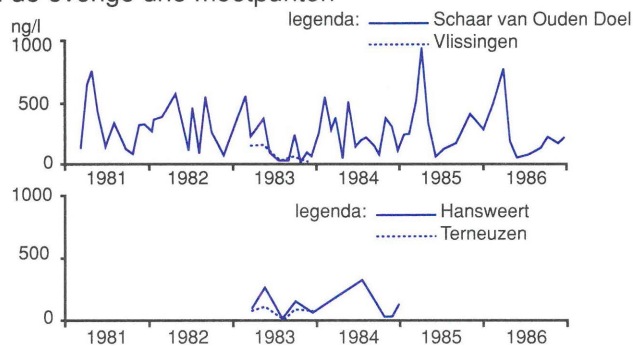
Verloop van de gehalten van fenol-totaal (1981-1984) en waterdampvluchtige fenolen (1985-1986) op vier meetpunten in de Westerschelde

**Figuur 41 :**

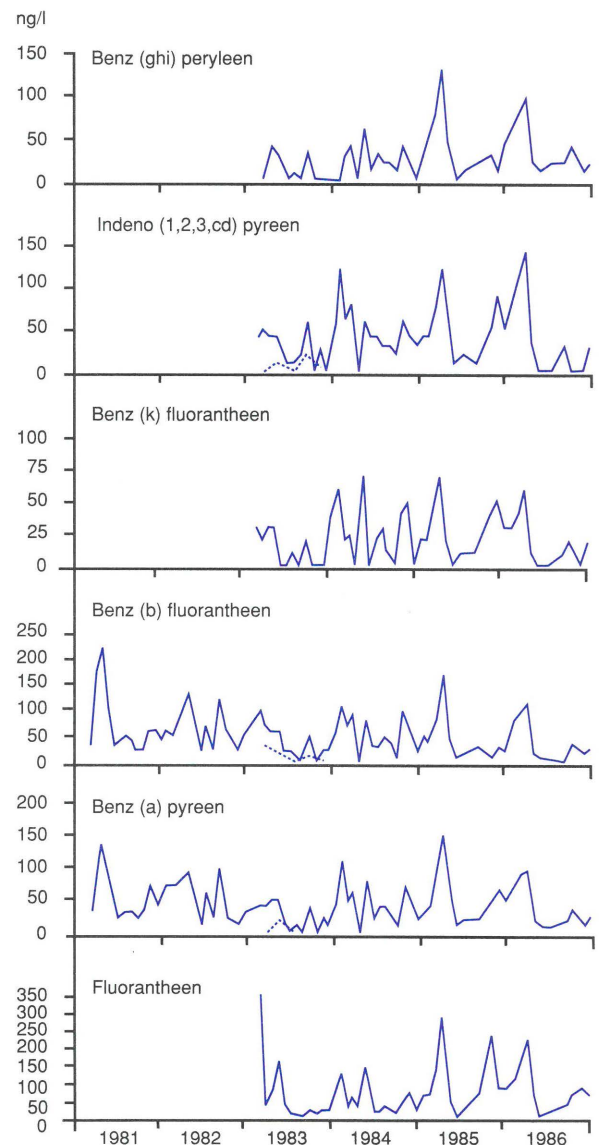
Gehalten van A) 2,4,6-trichloorfenol en B) pentachloorfenol te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen in de periode 1982-1986

**Figuur 42 :**

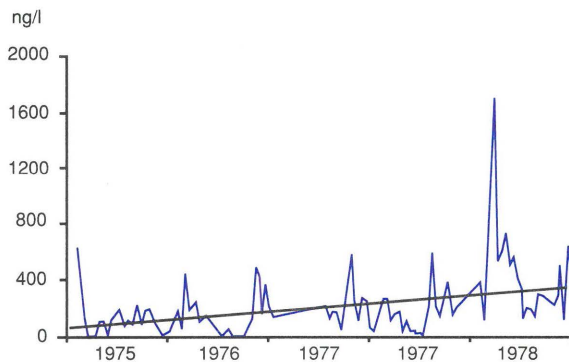
Verloop van de gehalten van poly-aromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986, met incidentele waarnemingen van de overige drie meetpunten

**Figuur 43 :**

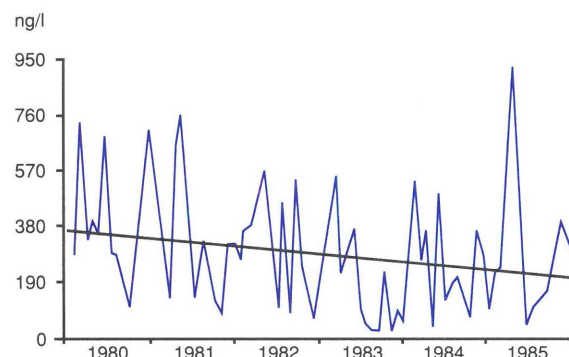
Verloop van de gehalten van zes individuele poly-aromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1986

**Figuur 44 :**

Trend van polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1979

**Figuur 45 :**

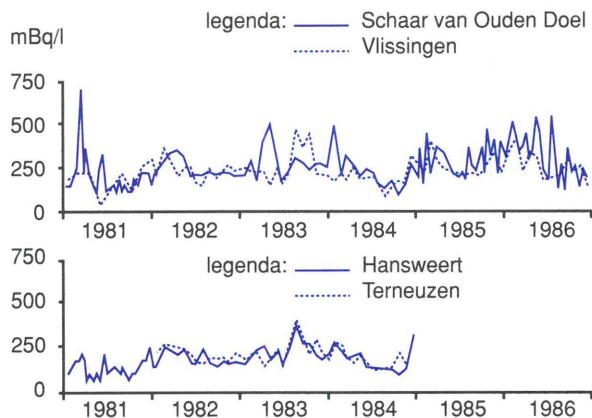
Trend van polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) te Schaar van Ouden Doel over de periode 1980-1985





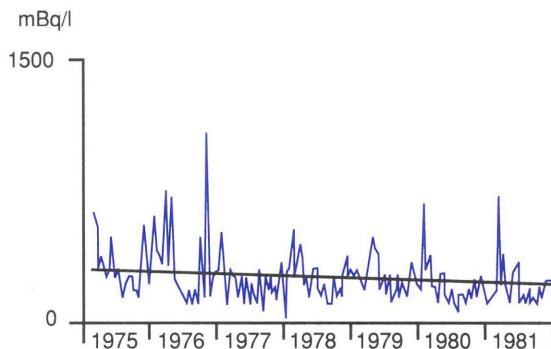
**Figuur 46 :**

Resterende bèta-activiteit in de Westerschelde over de periode 1981-1986



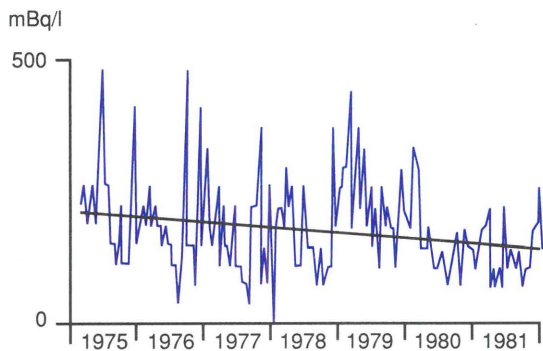
**Figuur 47 :**

Trend van resterende bèta-activiteit te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1981



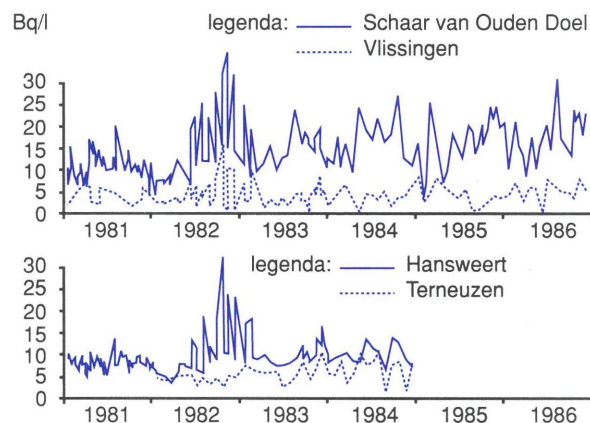
**Figuur 48 :**

Trend van resterende bèta-activiteit te Hansweert over de periode 1975-1981



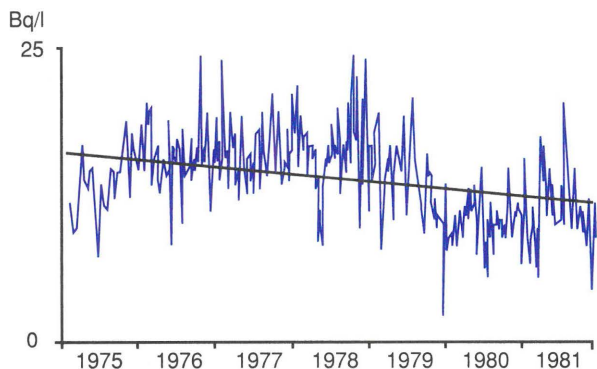
**Figuur 49 :**

Bèta-activiteit van tritium in de Westerschelde in de periode 1981-1986



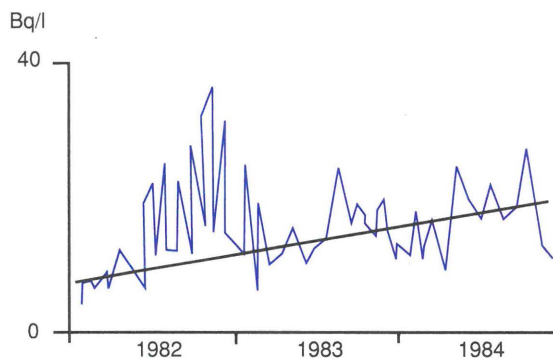
**Figuur 50 :**

Trend van tritium te Schaar van Ouden Doel over de periode 1975-1981



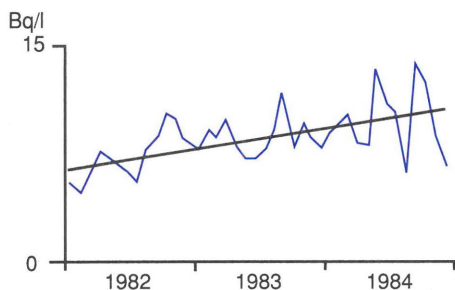
**Figuur 51 :**

Trend van tritium te Schaar van Ouden Doel over de periode 1982-1984

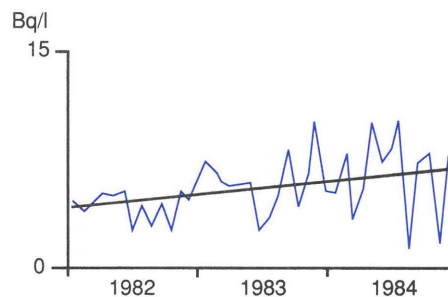


**Figuur 52 :**

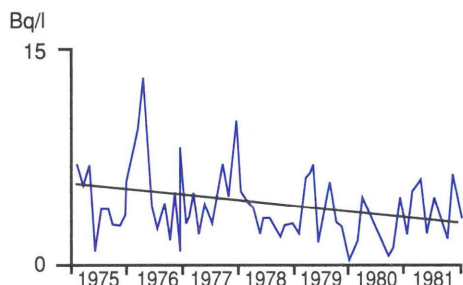
Trend van tritium te Schaar van Hansweert over de periode 1982-1984

**Figuur 53 :**

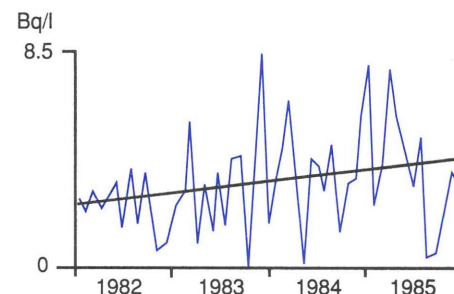
Trend van tritium te Terneuzen over de periode 1982-1984

**Figuur 54 :**

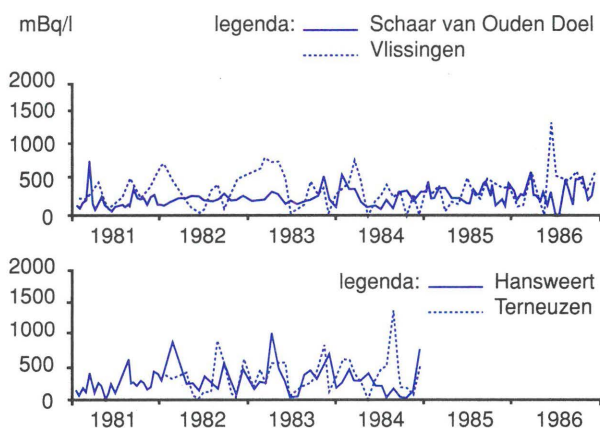
Trend van tritium te Vlissingen over de periode 1975-1981

**Figuur 55 :**

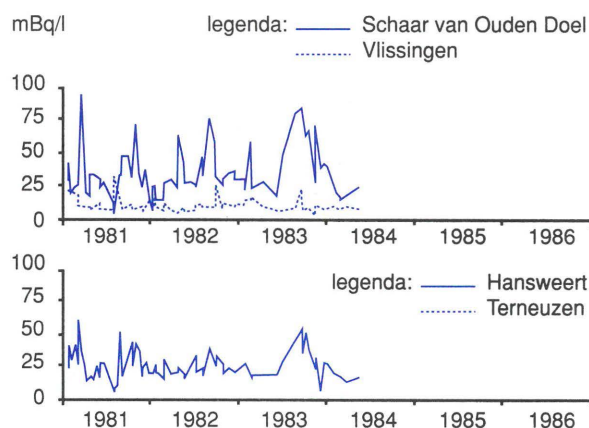
Trend van tritium te Vlissingen over de periode 1982-1985

**Figuur 56 :**

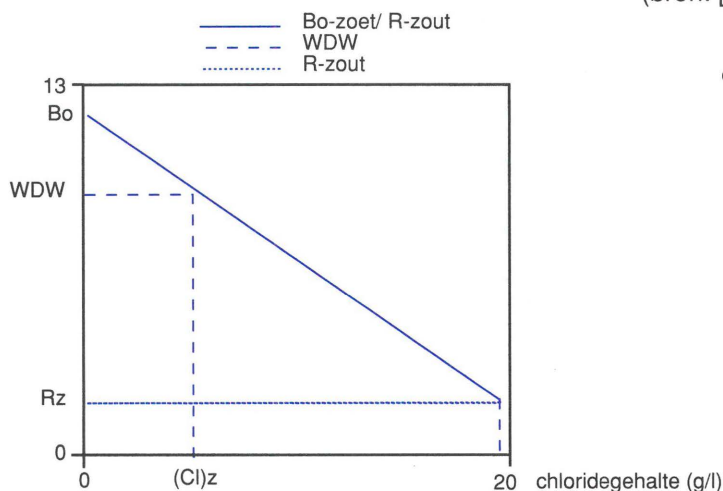
Totaal-alfa-activiteit in de Westerschelde in de periode 1981-1986

**Figuur 57 :**

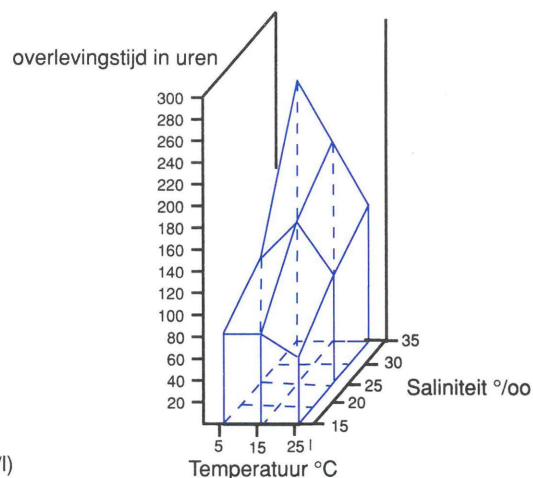
Alpha-activiteit van radium-226 in de Westerschelde in de periode 1981-1986

**figuur 58 :**

Grafische bepaling van de Westerschelde-waterkwaliteitsdoelstelling WDW

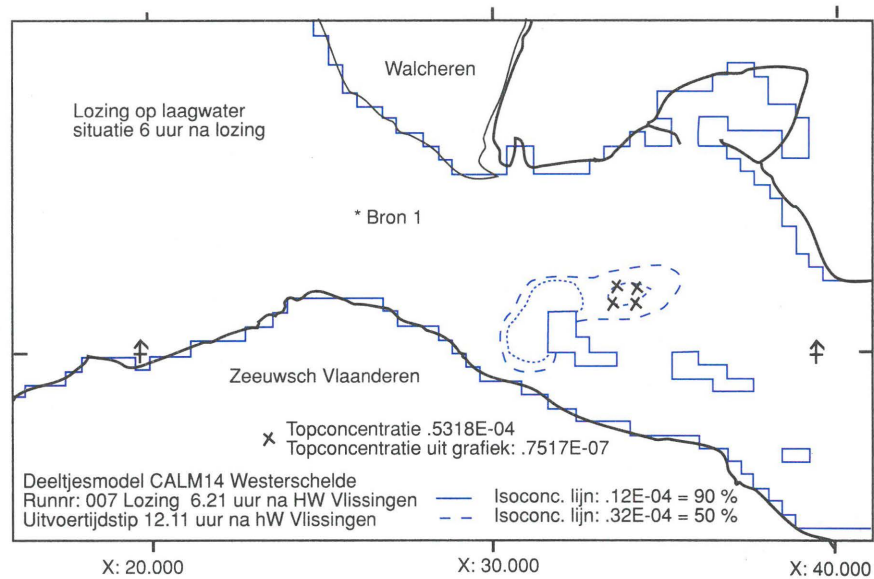
**figuur 60 :**

Effecten van temperatuur en zoutgehalte op de toxiciteit van zink (250 ppm) voor het nonnetje (bron: [39])



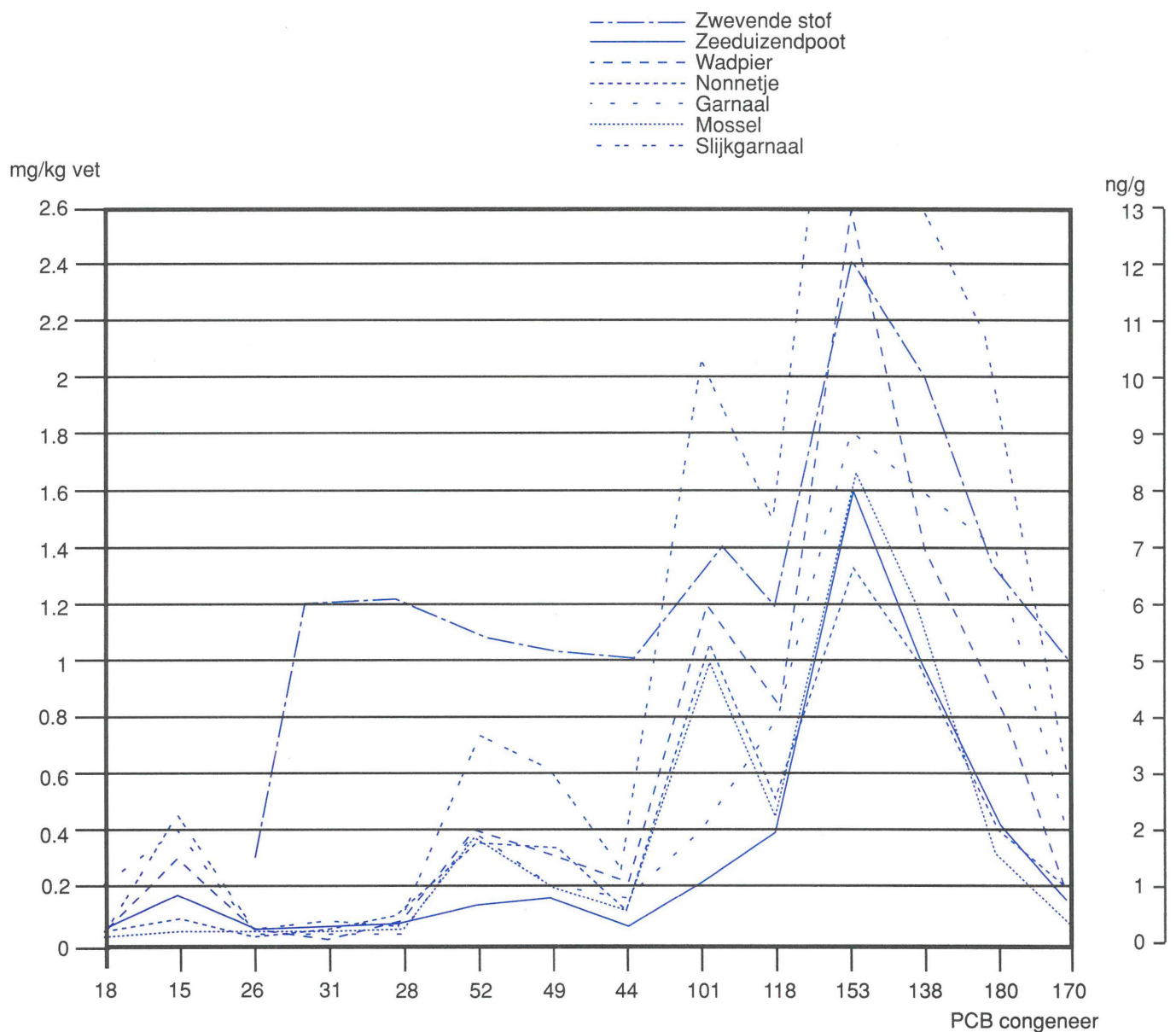
**figuur 59:**

Verspreiding van een lozing op de Westerschelde, berekend met het model CALM0D



**figuur 61 :**

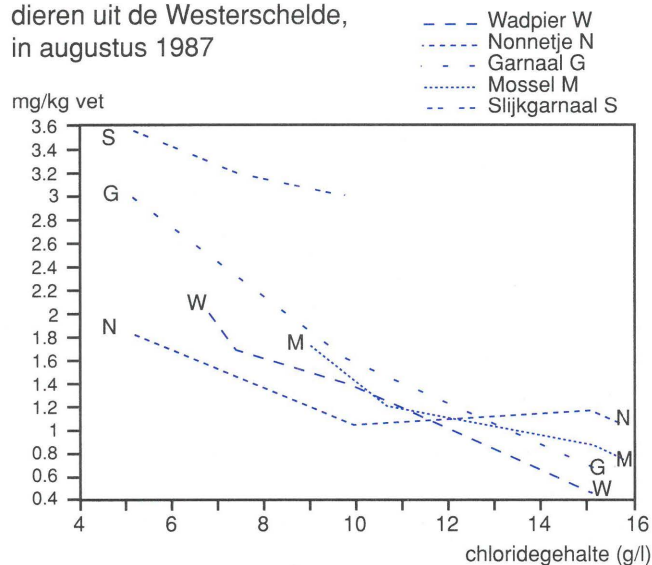
Gehalte van PCB's in bodemdieren (mg/kg vet) en zwevend stof (ng/g) uit het overgangsgebied van de Westerschelde, in augustus 1987





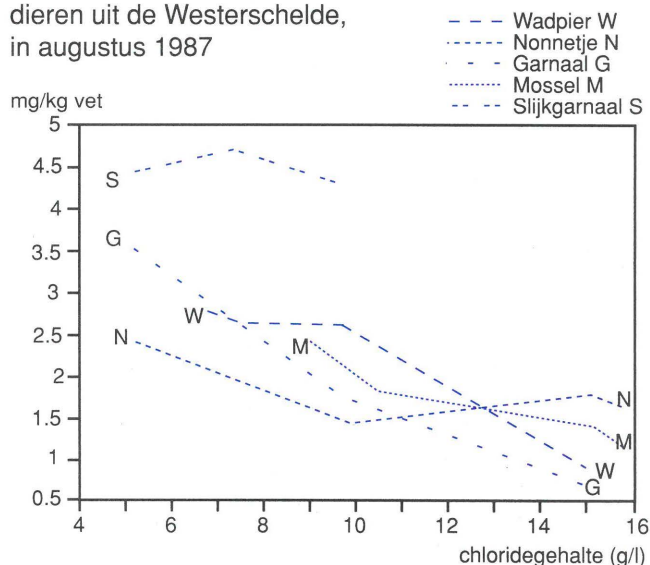
**figuur 62 :**

Ruimtelijke variatie van het PCB-138-gehalte in bodemdieren uit de Westerschelde, in augustus 1987



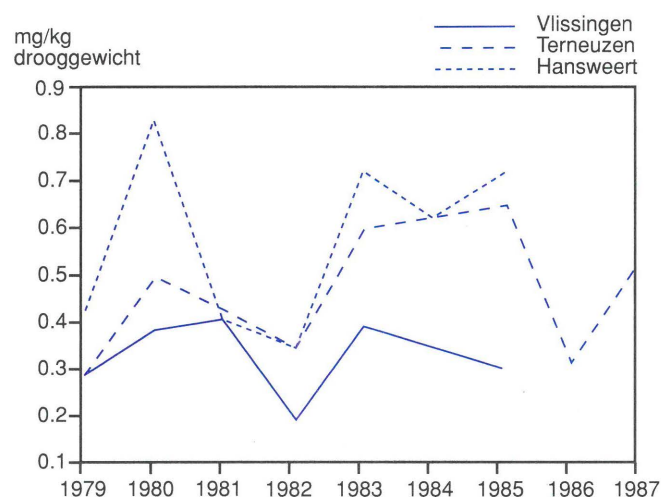
**figuur 63 :**

Ruimtelijke variatie van het PCB-153-gehalte in bodemdieren uit de Westerschelde, in augustus 1987



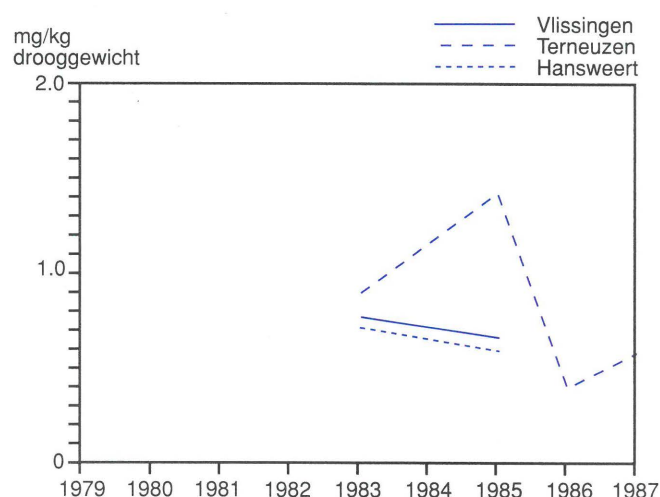
**figuur 64 :**

Gehalte van PCB's (som 7) in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987



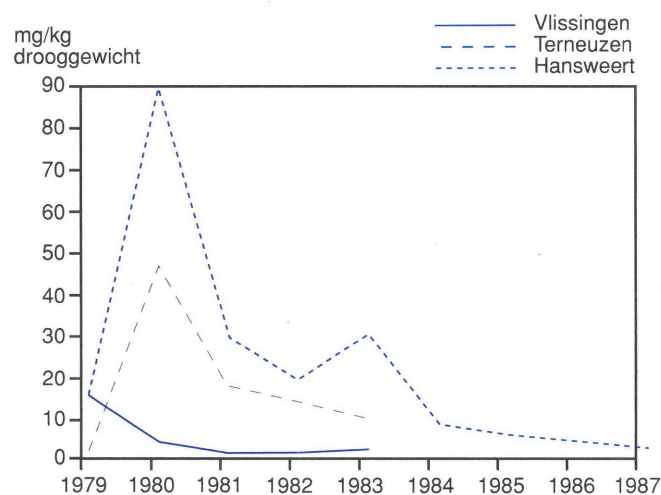
**figuur 65 :**

Gehalte van PAK's (som 6) in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1983 tot en met 1987



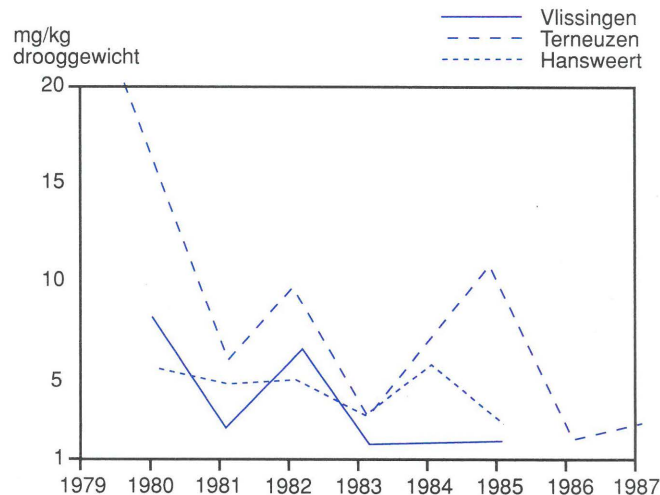
**figuur 66 :**

Cadmiumgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987



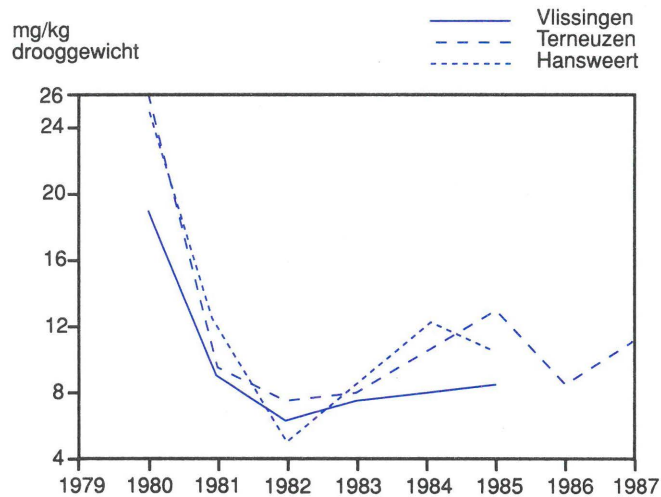
**figuur 67 :**

Chroomgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987



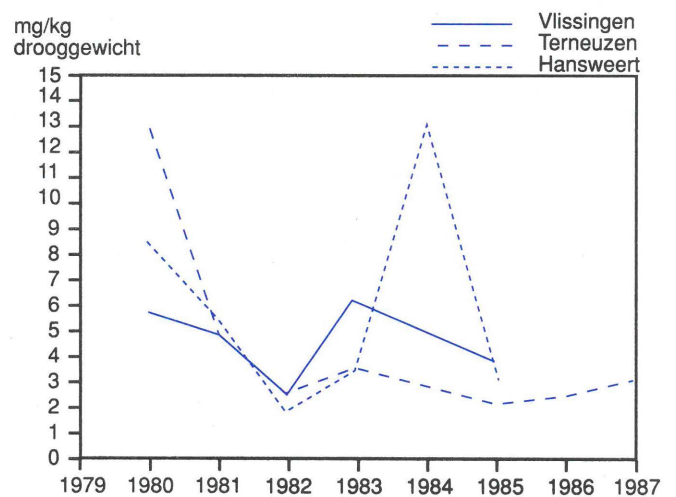
**figuur 68 :**

Kopergehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1980 tot en met 1987



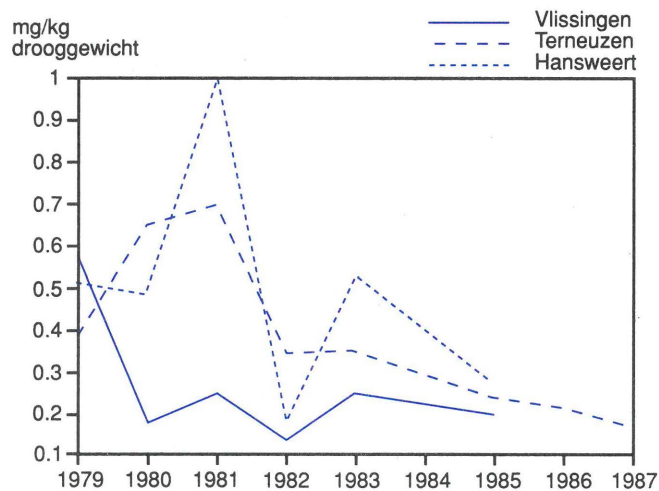
**figuur 69 :**

Loodgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1980 tot en met 1987



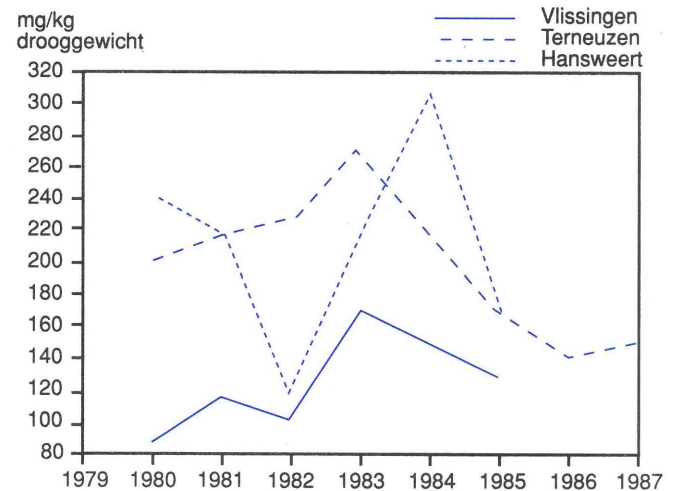
**figuur 70 :**

Kwikgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1979 tot en met 1987



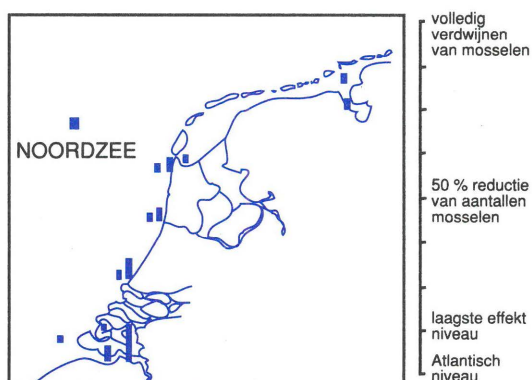
**figuur 71 :**

Zinkgehalte in mosselen uit de Westerschelde in de jaren 1980 tot en met 1987



**figuur 72 :**

Vergelijking van de cadmiumgehalten in mosselen uit Nederlandse kustwateren met de effect-indicatieve waarden



**figuur 73 :**

Effect van sanering op de antropogene fractie A van de zware-metalenbelasting

