

**rijkswaterstaat**


---

**nr. 81.049**

**waterkwaliteitsaspecten van de westerschelde**

## Details

[Verwijder](#)[Wijzig](#)[Kopieren](#) **Printen**

Document ID: 196594  
Document titel: Waterkwaliteitsaspecten van de Westerschelde : een rapportage over de jaren 1972-1977  
(Corporatieve) Auteur: J. Hendriksma ; [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater] (RIZA), Hoofdafdeling Oppervlaktewater  
Uitgever/gepubliceerd in (bron): [Lelystad] : Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RWS, RIZA)  
Publicatiedatum: 1981  
Einddatum:  
Attendering: Nee  
Annotatie: 45, 39 p.  
fig., tab.  
Met een los deel: Bijlagen bij nota 81.049 "Waterkwaliteitsaspecten van de Westerschelde"  
Met lit. opg.  
Taal: Nederlands  
Kennistype: V&W Publicaties  
Documenttype: Rapport  
Publiekstoegankelijk: Nee  
Samenvatting:  
Beleidsthema:  
Taxonomie:  
Thesaurus: WATERKWALITEIT, WATERVERONTREINIGING, WESTERSCHELDE  
Signaturen: C-3351 610 RIKZH (Uitleenbaar) C8554-1/-2 RIZA (Uitleenbaar) Digitaal document RIZA (Digitaal Beschikbaar) K0042 ZL (Uitleenbaar)  
Url's:  
Gekoppelde Bestanden:  
 81.049 bijlagen.pdf (792270 bytes)  
Eigenaar: RIZA  
Invoerder: [CATALOGUS]  
Goedgekeurd: Ja  
Invoerdatum: 1999-10-26  
Mutatiedatum: 2007-05-21

Het (hoofd)rapport  
helemaal scannen  
(alleen het rapport met  
bijlagen is gescand).

[Verwijder](#)[Wijzig](#)[Kopieren](#) **Printen**

C 8554-1

**RIJKSWATERSTAAT**  
**R.I.Z.A.**  
bibliotheek



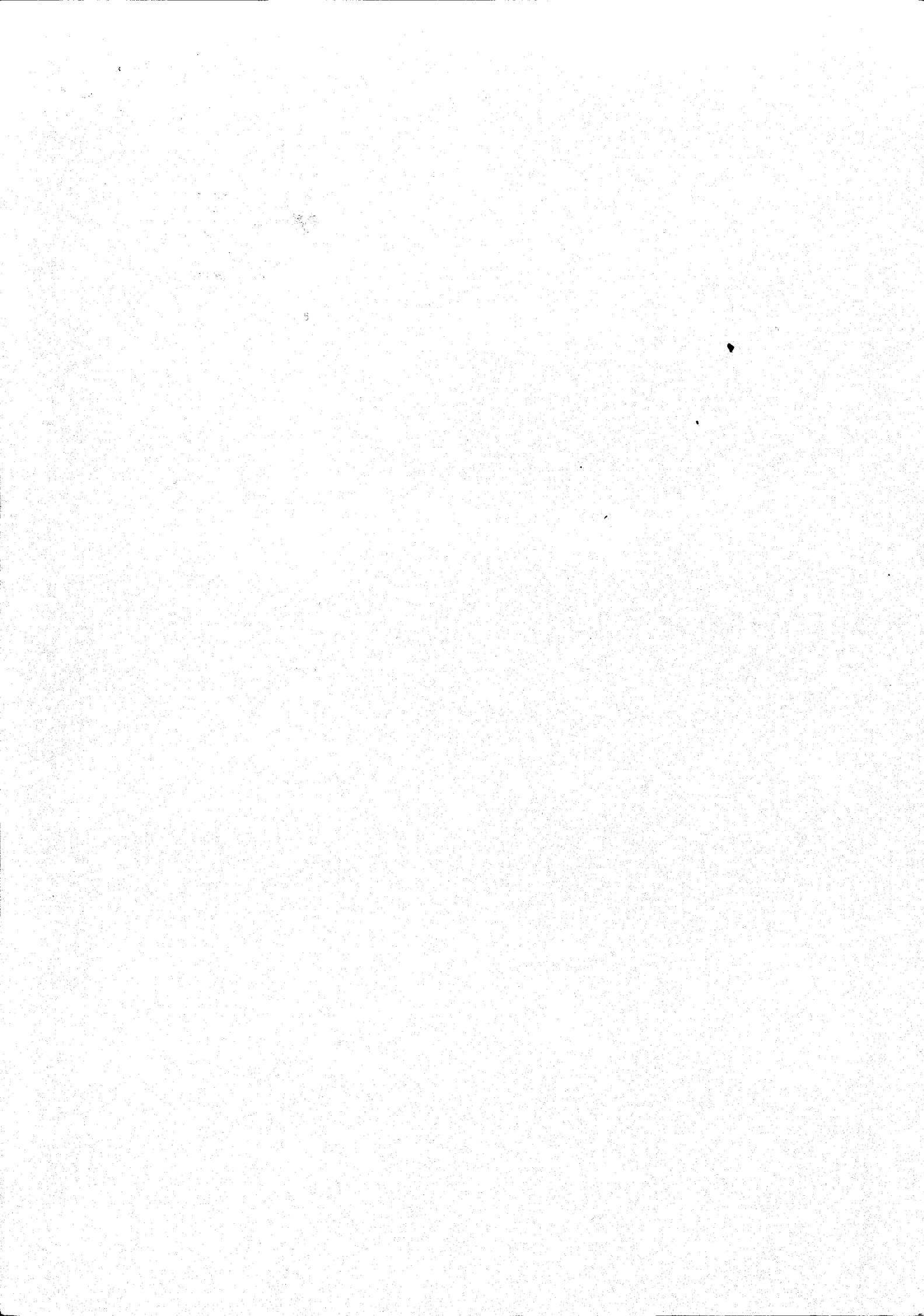
Rijkswaterstaat/RIZA  
Rijksinstituut voor  
Integraal Zoetwaterbeheer en  
Afwalwaterbehandeling  
Documentatie  
Postbus 17  
8200 AA Lelystad

**WATERKWALITEITSASPECTEN VAN DE WESTERSCHELDE**

Een rapportage over de jaren 1972-1977

RIZA  
Hoofdafdeling Oppervlaktewater

oktober 1981  
ing. J. Hendriksma





WATERKWALITEITSASPECTEN VAN DE WESTERSCHELDE



1. INLEIDING

2. KARAKTERISERING VAN HET GEBIED

- 2.1. Algemeen
- 2.2. Geometrie
- 2.3. Hydrodynamische eigenschappen



Rijkswaterstaat/RIZA  
 Rijksinstituut voor  
 Integraal Zoetwaterbeheer en  
 Afvalwaterbehandeling  
 Documentatie  
 Postbus 17  
 8200 AA Leystad

3. INVENTARISATIE VAN DE BELASTINGBRONNEN

- 3.1. Algemeen
- 3.2. Belasting door de Schelde
- 3.3. Belasting door rechtstreekse afvalwaterlozingen
- 3.4. Belasting door stortingen
- 3.5. Belasting door kanalen
- 3.6. Belasting door polderwater
- 3.7. Belasting door neerslag c.q. neerslagoverschot
- 3.8. Totale belasting

4. WATERKWALITEITSKENMERKEN VAN DE WESTERSCHELDE

- 4.1. Algemeen
- 4.2. Concentratiegradiënten
- 4.3. De Waterkwaliteit gedurende de jaren 1972-1977 (tijd-assen)

5. SAMENVATTING

6. LITERATUUROVERZICHT

APPENDICES

- 1. Emissie-immisatie berekeningen m.b.v. een diffusiemodel
- 2. Nitrificatie
- 3. Hydrobiologische kenmerken
- 4. Gedrag zware metalen



De Westerschelde, het Nederlands gedeelte van het Schelde-estuarium neemt in onze samenleving een belangrijke plaats in. Het gebied is naast de natuurwaarde van bijzondere betekenis voor scheepvaart, handel en industrie. Dit is in hoge mate een gevolg van de waterstaatkundige ligging hetgeen onder meer tot uiting komt in de functie van toegangsweg over water naar België.

In het voorliggende rapport wordt in algemene zin ingegaan op voor de Westerschelde relevante waterkwaliteitsaspecten. De nota is geschreven in het kader van het project WAKWA (Waterkwaliteit), dat tot doel heeft het verwerken, interpreteren en rapporteren van routinematig ingewonnen waterkwaliteitsgegevens in het Deltagebied (Westerschelde, Oosterschelde, Grevelingenmeer, Veerse Meer, Benedenrivierengebied, Oostvoornse meer, Brielse meer, polder- en regenwater, kustwater, diepe putten). De rapportages worden door de Deltadienst en het RIZA mede op verzoek van de Directie Zeeland uitgevoerd.

In dit rapport wordt de Westerschelde allereerst gekarakteriseerd qua geometrie en hydrodynamische eigenschappen. Vervolgens komt een inventarisatie van de belastingbronnen aan de orde waaronder de Schelde vanuit België, de kanalen, de directe afvalwaterlozingen, stortingen, neerslag en polderwater.

Tevens wordt aandacht besteed aan de concentratieniveaus van diverse stoffen in de Westerschelde waarbij onderscheid wordt gemaakt in het verloop van de gehalten in de lengterichting van het estuarium (concentratiegradiënten) en het verloop van de gehalten gedurende de onderzoeksjaren (tijdassen). De informatie is vrij algemeen van karakter, sommige aspecten worden nader uitgewerkt in de appendices.

In aansluiting met de reeds afgeronde waterkwaliteitsstudies in de Deltawateren (1,2) is de rapportage beperkt tot de periode 1972-1977. Incidenteel wordt, indien dit informatief is, gebruik gemaakt van recentere gegevens. Het is de bedoeling dat een beschrijving als deze regelmatig wordt geactualiseerd.



## 2. KARAKTERISERING VAN HET GEBIED

### 2.1. Algemeen

De Westerschelde vormt het meest zuidelijke Deltawater in ons land en maakt deel uit van de Schelde en haar estuarium (bijl. 1) met een stroomgebied van 21580 km<sup>2</sup> (3), verspreid over noordwest Frankrijk, westelijk België en zuidwest Nederland. De Schelde is een typische regenrivier. De Westerschelde kenmerkt zich door zandplaten (met daartussen vloed- en ebscharen) en hoofdgeulen. Daarnaast zijn de schorren, het buitendijkse moerasachtige, met hogere planten begroeide land, karakteristiek voor het gebied.

### 2.2. Geometrie

Voor de Westerschelde, het Nederlandse gedeelte van het Schelde-estuarium, met een lengte van ca. 70 km, is het verband vastgesteld tussen diepte t.o.v. NAP, oppervlakte en inhoud (bijl. 2,3). Bij NAP is de natte oppervlakte 24762 ha en het volume 2540 \* 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Uit bijlage 3 blijkt eveneens dat het verschil tussen de oppervlakten van de droogliggende gebieden bij hoog- (NAP + 2 m) en laagwater (NAP - 2m) aanzienlijk is. Bij hoogwater wordt een oppervlakte van 3283 ha berekend, bij laagwater 12265 ha.

Bijlage 4 geeft een nader inzicht in de geometrie van de Westerschelde. Deze is daartoe opgedeeld in een 25-tal segmenten met een lengte van ca. 5 km. Per vak zijn het volume, de wateroppervlakte, de gemiddelde diepte en de oppervlakte van de grensvlakken (dwarsdoorsneden) afleesbaar. Zoals te verwachten is in een estuarium, nemen over het algemeen het volume en het wateroppervlak van de segmenten in zeewaartse richting toe.

### 2.3. Hydrodynamische eigenschappen van het estuarium

In een estuarium treedt menging van zoet en zout water op; in zeewaartse richting bestaat een zoutgradiënt. De mate van menging hangt van een aantal factoren af waaronder:

- de morfologie:

De menging is intensief in ondiepe estuaria met geulen en zandplaten. Daarnaast zijn de bodemruwheid en de "grilligheid" van de oeverlijn mede bepalend voor de mate van menging.

- de verhouding vloedvolume-zoetwaterdebiet (bijlage 5)

Bij kleine waarden hiervan ( $< 10$ ) is sprake van een sterk gelaagde toestand in een estuarium, de verticale zoutgradiënt overheerst sterk. Verhoudingen van 10-1000 zijn karakteristiek voor een gedeeltelijk tot goed gemengd systeem. Verhoudingen  $> 1000$  duiden op een quasi homogeen estuarium, waarin alleen nog een horizontale zoutgradiënt aanwezig is.

Opgemerkt moet worden dat de beide extremen, homogeen en tweelagensysteem zonder opmenging, slechts in theorie bestaan.

Het verloop van niet gemengde naar volledig gemengde estuaria is afgebeeld in bijlage 5. In dezelfde bijlage zijn verschillende eigenschappen opgesomd.

De Westerschelde, en met name het westelijk gedeelte, wordt onder gemiddelde omstandigheden voor wat betreft de zoetwaterafvoer gerekend tot de categorie "goed gemengde estuaria". Dit betekent dat in verticale richting nauwelijks snelheidsgradiënten aanwezig zijn en dat evenmin sprake is van grote dichtheidsverschillen over de verticaal. Over het algemeen is het zoutgehalte in de Westerschelde nabij de bodem iets hoger dan aan de oppervlakte. De verschillen tussen beide lagen zijn, zo blijkt uit metingen van de Studiedienst Vlissingen en De Pauw (23), doorgaans niet groter dan 0,5 g Cl/l. De grootste verschillen worden gemeten in het grensgebied Nederland-België, maximaal 1,5-2 g/l. Gedurende de getijcyclus is de stratificatie het sterkst tijdens de kenteringsperiode waarin de stroomrichting van het oppervlaktewater en het water nabij de bodem tegengesteld kan zijn.

Ook in zijdelingse richting bestaan er door de aanwezigheid van eb- en vloedscharen geringe zoutgradiënten. Deze komen het sterkst naar voren in de kenteringsperiode. Nabij Terneuzen zijn in deze periode verschillen gemeten van 0,5-1 g Cl/l tussen de noordelijke en zuidelijke stroomgeul (3). Gedurende de rest van de getijcyclus zijn de zoutconcentraties nagenoeg gelijk.

Ook zonder de aanwezigheid van eb- en vloedscharen zou de Westerschelde niet tot de lateraal homogene estuaria behoren.

Daarvoor is de verhouding tussen breedte en diepte onvoldoende groot en ontstaan onder invloed van de zgn. Corioliskrachten alleen al laterale verschillen (23).

De Westerschelde draagt in de zomerperiode bij lage afvoeren sterker het karakter van een "goed gemengd" estuarium dan in een natte periode, waarin eerder de kwalificatie "gedeeltelijk gemengd" opgaat. Een en ander wordt geïllustreerd in bijlage 6.





### 3. INVENTARISATIE VAN DE BELASTINGBRONNEN

#### 3.1. Algemeen

Zoals reeds eerder vermeld wordt de Westerschelde in aanzienlijke mate met afvalstoffen belast. Zo wordt bijvoorbeeld de huidige verontreiniging (1980) door de lozingen van de Antwerpse agglomeratie op ca. 2 miljoen inwoner-ekwivalenten (huish. + ind.) geschat. Ook vanaf Zeeuws gebied kan gesproken worden van een aanzienlijke belasting van de Westerschelde door onder meer huishoudelijk en industrieel afvalwater, polderlozingen en kanalen. In grote lijnen zijn de volgende categorieën belastingbronnen op de Westerschelde te onderscheiden:

- de Schelde (belasting vanuit België)
- directe afvalwaterlozingen
- stortingen
- kanalen
- polders, hoge gronden e.d.
- neerslag c.q. neerslagoverschot

Deze worden in het navolgende nader uitgewerkt. Daarbij wordt in eerste instantie onderscheid gemaakt tussen de belasting met zoet water, biochemisch afbreekbaar materiaal, nutriënten en overige stoffen zoals zware metalen en organische microverontreinigingen. Nu reeds wordt er op gewezen dat de resultaten indicatief van aard zijn. In vele gevallen zijn nauwelijks gegevens voorhanden en moet volstaan worden met schattingen.

#### 3.2. De belasting door de Schelde

Sedert 1947 worden door de Antwerpse Zeediensten metingen verricht ter bepaling van de bovendebieten van de Schelde en haar zijrivieren (4). Bij de bepaling van de debieten wordt in principe uitgegaan van de ijkingsgegevens van een stuw dan wel de correlatie-kromme waterstand-debiet in een dwarsdoorsnede.

Voor de benedenstroomse Schelde is deze berekeningswijze gezien de invloed van het getij niet toepasbaar en wordt volstaan met schattingen aan de hand van bovenstroomse debieten, sinds 1959 in de vorm van decadegemiddelde waarden te Schelle (bijlage 1). In bijlage 7 is het resultaat zichtbaar; gemiddeld wordt ca. 100 m<sup>3</sup>/s afgevoerd. In de zomerperiode zijn de debieten doorgaans laag, in de orde van 50 m<sup>3</sup>/s met uitschieters tot 20 m<sup>3</sup>/s. In de winter is gemiddeld een afvoer van ongeveer 150 m<sup>3</sup>/s te verwachten, extreem hoge afvoeren van 500-600 m<sup>3</sup>/s zijn gemeten. Een en ander wordt geïllustreerd in bijlage 8.

Bijlage 9 geeft een inzicht in de afvoer van de Schelde gedurende de onderzoeksjaren. Op basis van de gemiddelde afvoeren blijkt dat 1975 en 1977 beschouwd kunnen worden als gemiddelde jaren; 1972, 1973 en 1976 als jaren met een relatief geringe afvoer en 1974 als een jaar met een relatief hoge afvoer. Dit beeld stemt overeen met de neerslagcijfers.

Onderstaande tabel toont de gemiddelde afvoeren gedurende de onderzoeksjaren.

Tabel 1: afvoer Schelde te Schelle in m<sup>3</sup>/s (1972-1977)

1972	64
1973	56
1974	125
1975	110
1976	55
1977	86
gemiddeld 1972 t/m 1977	83

Ter vergelijking: - Rijn 1972-1977 : 1835 m<sup>3</sup>/s (Lobith)

- Maas 1972-1977 : 170 m<sup>3</sup>/s (Eysden)

Met behulp van de decadegemiddelde afvoergegevens en de waterkwaliteitsgegevens op de grens kan de belasting vanuit België door de Schelde berekend worden. Gekozen is voor de methode met gewogen concentraties. Dit is de meest nauwkeurige en bovendien statistisch gezien, de meest juiste methode om vrachten van stoffen te berekenen. Gezien de naar verwachting relatief grote bijdrage van de Schelde aan de totale belasting van de Westerschelde is een enigermate nauwkeurig inzicht in de Scheldevrachten gewenst.

Bij de berekening van de gewogen concentraties worden de afzonderlijke termen zo goed mogelijk gewaardeerd.

In formulevorm:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{a=1}^n C_a * Q_a}{\sum_{a=1}^n Q_a}$$

waarin:  $\bar{C}$  = gewogen concentratie

$C_a$  = concentratie op dag a

$Q_a$  = afvoer op dag a (in dit geval: afvoer in de bij dag a behorende decade)

n = aantal meetdagen

De jaarvrucht wordt nu berekend door de gewogen concentratie te vermenigvuldigen met de totale jaarafvoer. Bovengenoemde berekening is dan overigens nog niet toepasbaar voor het Schelde-estuarium, aangezien de debietcijfers gelden voor zoet water. Ter plaatse van de grens waar de concentraties gemeten worden speelt de verdunning door zeewater echter een belangrijke rol. Dit betekent dat de gemeten concentraties ( $C_a$ ) ter bepaling van de Scheldevrucht dienen te worden gecorrigeerd voor het zoutgehalte. Dit is gedaan door deze gemeten concentraties te vermenigvuldigen met de term  $\frac{17}{17 - (Cl)}$  waarin

17 = het chloridegehalte van binnenstromend Noordzeewater (g/l)

(Cl) = het chloridegehalte op de grens (g/l)

Hierbij is verondersteld dat het chloridegehalte van het instromend zeewater constant is en dat de gehalten aan de diverse parameters in zeewater m.u.v. chloride verwaarloosbaar zijn ten opzichte van die in de Schelde.

Tabel 2. Vrachtberekeningen Schelde, periode 1975-1977, in ton/j.

Ter illustratie zijn de grensoverschrijdende vrachten voor de Rijn en Maas weergegeven (lit. 5).

	Schelde	Rijn	Maas
tot. Cd	20	150	20
tot. Cu	200	2200	70
tot. Cw	100	1130	65
tot. Pb	100	1480	110
tot. Ni	80	650	30
tot. Zn	400	8000	1200
tot. Hg	2	21	2
fenol	30	900	45
aldrin	n.m.	n.m.	n.m.
dieldrin	n.m.	n.m.	n.m.
endrin	n.m.	n.m.	n.m.
HCB	0,03	5	n.m.
rothaan	n.m.	n.m.	n.m.
pp DDE	n.m.	n.m.	n.m.
op DDT	0,02	n.m.	n.m.
heptachloor	n.m.	n.m.	n.m.
heptachloorepoxide	n.m.	n.m.	n.m.
$\alpha$ -HCH	0,05	2	n.m.
$\gamma$ -HCH	0,2	2	0,15

n.m. = niet meetbaar

zie voor een verklaring van de gebruikte symbolen bijlage 19.

### 3.3. Directe afvalwaterlozingen

Rechtstreekse afvalwaterlozingen op de Westerschelde vinden verspreid over het gehele gebied plaats. Een aantal zwaartepunten kan worden onderscheiden:

- kanaalzône Zeeuws Vlaanderen (agglomeratie Terneuzen)
- persleiding Waarde
- industriegebied Sloe
- Middelburg/Vlissingen

Deze lozingspunten zijn in bijlage 13 met een dikke pijl aangegeven. Daarnaast is een aantal kleine lozingen zichtbaar (dunne pijl). De lozingen zijn zowel van huishoudelijke als industriële aard.

De grootte ervan wordt over het algemeen opgegeven in inwonerekwivalenten (i.e.). Uit een oogpunt van waterkwaliteitsbeheer is deze aanduiding niet zonder meer bruikbaar, aangezien er geen algemeen geldend verband bestaat tussen de begrippen inwonerekwivalent voor industriële lozingen (gebaseerd op onder meer COD) en zuurstofvraag (afhankelijk van de BOD-waarde). Derhalve is, voor zover mogelijk, voor iedere industriële lozing een schatting gemaakt van de COD/BOD-verhouding en zijn vervolgens, rekening houdend met de bijdrage van gereduceerde stikstofverbindingen, BOD-vrachten afgeleid. Terwille van de vergelijkbaarheid met andere belastingsbronnen zoals bijvoorbeeld polderlozingen is gekozen voor de BOD<sub>5</sub>-waarde. Hiermee wordt een indruk gegeven van de zuurstofvraag over een periode van 5 dagen, een overigens voor de Westerschelde niet karakteristiek tijdsinterval (gemiddelde verblijftijd in de orde van weken).

Over het algemeen zijn van de periode 1972-1975 nauwelijks meetgegevens over de directe afvalwaterlozingen voorhanden en moet volstaan worden met ruwe schattingen aan de hand van bijvoorbeeld meetresultaten in meer recente jaren. Aangezien in de periode 1972-1975 al vrij aanzienlijke saneringen van industrieel afvalwater hebben plaatsgevonden, zal duidelijk zijn dat extrapolatie vaak moeilijk is en dat de voor deze periode geschatte vrachten als indicatief beschouwd dienen te worden. Ook na 1975 is het beeld nog dikwijls onvolledig.

Niettemin is uit de voorhanden zijnde gegevens (6,7,8) een overzicht opgesteld van de rechtstreekse afvalwaterlozingen.

Gezien het indicatief karakter van de geloosde hoeveelheden worden de verschillende lozingsbronnen niet expliciet vermeld, maar wordt gerekend met de gesommeerde bijdragen.

Bijlage 14 geeft een overzicht voor de parameters "inwonerekwivalent" en BOD<sub>5</sub>, bijlage 15 voor N en P. De huishoudelijke en industriële bijdragen zijn afzonderlijk afleesbaar. In tabel 3 is e.e.a. samengevat. Voor ongezuiverde huishoudelijke afvalwaterlozingen is aangenomen dat 1 i.e. overeenkomt met: - 54 g BOD/etm, 10 g N/etm en 4 g P/etm.

Tabel 3: Belasting Westerschelde door rechtstreekse afvalwaterlozingen.

		1972	1973	1974	1975	1976	1977
INWONER EKWIVALENTEN	<u>huishoudelijk</u>	177000	222000	267000	267000	267000	277000
	<u>industrieel</u>	1054000	1119000	866000	649000	539000	548000
	totaal	1231000	1341000	1133000	916000	806000	825000
BOD <sub>5</sub> (ton/jr)	<u>huishoudelijk</u>	3480	4370	5280	5280	5280	5480
	<u>industrieel</u>	11900	13000	12600	8160	7620	7670
	totaal	15380	17370	17880	13440	12900	13150
N (ton/jr)	<u>huishoudelijk</u>	650	810	980	980	980	1020
	<u>industrieel</u>	6170	6250	2870	2170	1435	1535
	totaal	6820	7060	3850	3150	2415	2555
P (ton/jr)	<u>huishoudelijk</u>	250	320	380	380	380	400
	<u>industrieel</u>	1620	1640	1520	1460	1420	1440
	totaal	1870	1960	1900	1840	1800	1840

zoetwaterbelasting: ca 35 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/jr.

Na de verhoging in 1973, een gevolg van de ingebruikname van de persleiding Waarde is, afgezien van P, een sterke vermindering van de industriële vuillast zichtbaar. Deze tendens is grotendeels toe te schrijven aan saneringen zoals die hebben plaatsgevonden in de kanaalzône Zeeuws-Vlaanderen, hetgeen bijvoorbeeld blijkt uit het industriële aandeel van de BOD-vracht via de afvalwaterleiding (AWL) van ca. 4000 ton/jr in 1972 naar 1000 ton/jr in 1977. De verwachting is dat de belasting met zuurstofbindende stoffen nog verder zal afnemen, dit gezien de nog te realiseren zuiveringsinrichtingen in onder meer de kanaalzône Zeeuws Vlaanderen, Waarde en Vlissingen.

De P-belasting wordt voor ca. 70% bepaald door de lozing van Hoechst in het Sloegebied en is gedurende de onderzoeksperiode vrij constant gebleven. -

De vrachten aan andere stoffen zijn minder nauwkeurig bekend (tabel 4). Een schatting dient gemaakt te worden aan de hand van meetgegevens - zowel voor industrieel als huishoudelijk afvalwater - en vergunningsvoorschriften. Gezien deze minder nauwkeurige benadering is voor de meeste parameters dan ook geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende jaren. De informatie omtrent (gechloreerde) koolwaterstoffen beperkt zich vaak tot een somparameter. Een inzicht in bijvoorbeeld de fractie persistente of vluchtige stof is in de onderzochte periode over het algemeen niet voorhanden. De in deze nota geschatte hoeveelheden van 60 ton/jr aan gechloreerde koolwaterstoffen en 300 ton/jr aan koolwaterstoffen zijn dan ook globaal. Belangrijke bijdragen leveren Dow Chemical, de afvalwaterpersleiding West-Brabant en de afvalwaterleiding Zeeuws Vlaanderen.

Tabel 4: Indicatieve waarden van de belasting van de Westerschelde door rechtstreekse lozingen (periode 1975-1977).  
Hoeveelheden in ton/jr

Ag	0,2		
Cd	1		
Hg	0,25		
Cr	1		
Cu	3,5		
Pb	0,5		
Ni	15		
Zn	11		
Fluoride	1000		
Cyanide	85		
org. tinverbindingen	1,5		
amines	500		
		<u>1975</u>	<u>1976</u>
			<u>1977</u>
As	17	3	3
elementair P	15	6	3
fenol	135	155	175
sulfide	525	75	28

#### 3.4. Belasting Westerschelde door stortingen

Reeds vele jaren vinden op de Westerschelde stortingen plaats zoals:

1. baggerspecie afkomstig van Schelde/Westerschelde
2. industrieel afval

ad 1. Ten behoeve van de scheepvaart dient de vaargeul in de Schelde en de Westerschelde op diepte te worden gehouden. De vaargeul (ebgeul) slingert zich in de Westerschelde van de linker- naar de rechteroever en omgekeerd. In ieder buigpunt treedt een ondiepte op, drempel genoemd. Het zijn deze drempels die baggeren noodzakelijk maken.



Op de drempels van de Westerschelde wordt hoofdzakelijk zand gebaggerd met een gemiddelde korreldiameter van 150-200  $\mu\text{m}$  (9). In de Schelde, op de drempel van Zandvliet, tussen Antwerpen en de grens, bestaat de specie uit fijn zand vermengd met min of meer grote hoeveelheden slib. De fractie  $< 16 \mu\text{m}$  bedraagt ca. 40% (10). De baggerspecie wordt over het algemeen teruggestort in de vloedscharen. Deze kenmerken zich door vrij grote diepte bij de aftakking en door ondiepte aan het opwaarts uiteinde en zijn in principe niet bevaarbaar.

Vanaf 1970 kan als gemiddelde gebaggerde hoeveelheid in Schelde en Westerschelde  $15 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$  aangehouden worden waarvan gemiddeld  $12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$  op Nederlands en  $3 \times 10^6/\text{jr}$  op Belgisch grondgebied (9).

De baggerspecie wordt grotendeels in de Westerschelde teruggestort; de stort op Belgisch gebied, afkomstig van de Schelde, bedraagt ca.  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Aan de in de Westerschelde teruggestorte specie wordt in dit hoofdstuk geen aandacht besteed, aangezien deze geen extra belasting inhoudt voor het systeem Westerschelde. Dit wil niet zeggen dat de verdeling over waterfase en sediment hetzelfde blijft. Wel van belang voor de belasting is de baggerspecie die gestort wordt op de Westerschelde en afkomstig is van de Schelde. Deze hoeveelheid bedraagt ruwweg  $10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$  (opgave Belgische regering 1978), grotendeels afkomstig van de Belgische baggerplaats Zandvliet.

Een indicatie van de verontreinigingsgraad van de specie ter plaatse van Zandvliet wordt gegeven in tabel 5, gebaseerd op onderzoek in 1974 (10).

Tabel 5: Verontreiniging baggerspecie te Zandvliet in 1974 (gehalten in ppm droge stof).

P	1000	Cd	15
Zn	500	Ni	40
Cu	100	Hg	3
Cr	220	As	60
Pb	150		

Voor N en BOD zijn in Scheldeslib geen gegevens voorhanden. Uitgaand van ca. 400 kg droge stof per m<sup>3</sup> baggerspecie (9) kan aan de hand van bovenstaande tabel de belasting van de Westerschelde met baggerspecie vanuit Belgisch grondgebied berekend worden (tabel 6).

De vrachten zijn aanzienlijk; voor sommige zware metalen (Cu, Cr, Hg, Pb) is de belasting qua orde van grootte vergelijkbaar met de Scheldevrachten (tabel 2).

Tabel 6: Storting Belgische baggerspecie in Westerschelde (belasting in ton/jr)

P	400	Cd	6
Zn	200	Ni	15
Cu	40	Hg	1-2
Cr	90	As	25
Pb	60		

Ad 2: Bij het industrieel afval gaat het om de afvalgipsstortingen in de Westerschelde nabij Terneuzen. Aan de hand van de lozingsvergunningen is een schatting gemaakt van de belasting van de Westerschelde met verschillende stoffen in verontreinigd afvalgips (tabel 7). In verhouding tot de baggerspecie zijn de vrachten aan zware metalen van ondergeschikt belang. De fosfaatvracht, ca. 600 ton/jr is aanmerkelijk. Door het relatief hoge achtergrondgehalte in zeewater (1,3 mg F/l) is de grote fluoridebelasting voor de waterkwaliteit van minder betekenis.

Tabel 7: Gipsstortingen in de Westerschelde (belasting in ton/jr)

P	600	Pb	1
F	1700	Cd	0,5
Zn	6	Ni	0,2
Cu	1	Hg	0,01
Cr	2	As	1

### 3.5. Belasting door kanalen

De Westerschelde staat via sluizen in verbinding met een drietal kanalen, te weten:

1. het kanaal Gent-Terneuzen
2. het kanaal door Walcheren
3. het kanaal door Zuid-Beveland

Ad 1: De belasting van de Westerschelde door het kanaal Gent-Terneuzen wordt grotendeels bepaald door de voorbelasting van het kanaal vanaf Belgisch grondgebied. Daarnaast is nog een aantal lozingen op Nederlands gebied van belang.

Ten behoeve van de vrachtberekeningen is door de directie Zeeland een waterbalans opgesteld voor het kanaal, waarbij voor Terneuzen de volgende posten van belang zijn:

- spuidebiet westsluis Terneuzen
- schutwaterverlies sluizen Terneuzen
- lekverlies sluizen Terneuzen

Van de spuidebieten te Terneuzen zijn eerst vanaf de tweede helft van '72 gegevens voorhanden. De waterbalans wordt vanaf deze datum maandelijks berekend. Zoals te verwachten is de zoetwaterbelasting van de Westerschelde door het kanaal Gent-Terneuzen het grootst in het winterhalfjaar (tot ca. 30 m<sup>3</sup>/s); in de zomerperiode kunnen debieten van minder dan 5 m<sup>3</sup>/s bereikt worden. Gemiddeld kan rekening worden gehouden met een debiet van ca. 11 m<sup>3</sup>/s.

De meeste waterkwaliteitsparameters worden vanaf 1973 gemeten (meetpunt landtong Terneuzen), in 1973 en 1974 met een frequentie van eens per maand, daarna eens per twee weken. Aan de hand van de kwartaalgemiddelde resultaten zijn de vrachten berekend voor BOD, N, P en Si. Tabel 8 geeft hiervan een overzicht. Een trend is niet zichtbaar. De grootte van de vrachten kan evenwel sterk variëren.

Tabel 8: Belasting Westerschelde via kanaal Gent-Terneuzen

	BOD (ton/jr)	N (ton/jr)	P (ton/jr)	Si (ton/jr)	zoetwater- belasting (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /jr)
1972					
1973	2600	6000	1400		250
1974	2700	9000	1700		400
1975	4200	7900	1400	4200	530
1976	2400	4700	900	2400	270
1977	1300	7000	1400	3100	350

Zware metalen en organische microverontreinigingen worden niet gemeten te Terneuzen. Om toch een indruk te krijgen van de belasting van de Westerschelde met deze stoffen wordt gebruik gemaakt van meetpunt Sas van Gent (grens Nederland-België), waarbij aangenomen is dat de concentraties op het traject Sas van Gent-Terneuzen niet veranderen. De berekende vrachten moeten dan ook als indicatief worden beschouwd en worden mede omdat de metingen eerst in '75 gestart zijn, niet nader per jaar uitgesplitst (tabel 9). De gehalten aan organische microverontreinigingen zijn dikwijls lager dan de detectiegrens. Zodoende zijn alleen de vrachten aan  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH en HCB redelijk te kwantificeren.

Tabel 9: Geschatte belasting (ton/jr) van de Westerschelde met overige stoffen vanuit het kanaal Gent-Terneuzen.

tot. Cd	0,3	fluoride	3400
tot. Zn	45	fenol	10
tot. Ni	5,5		
tot. Pb	4,2	$\alpha$ - HCH	0,008
tot. Cr	3,8	$\beta$ - HCH	0,02
tot. Cu	2,1	HCB	0,004
tot. Hg	0,08		

Ad 2: Het gemaal Boreel nabij Middelburg loost op het kanaal door Walcheren. Het teveel aan water moet worden gespuid via de sluizen in Vlissingen. Om die hoeveelheden te kunnen bepalen dient de waterbalans bekend te zijn. Een en ander is nader onderzocht door de directie Zeeland (11). Rekening houdend met het lek- en schutverlies te Veere en Vlissingen, de wateruitslag via gemaal Boreel en kwel via kanaaldijken wordt berekend dat eerst bij wateruitslagen van Boreel van meer dan  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ /decade de noodzaak van spuien te Vlissingen ontstaat. Hoe vaak gespuid dient te worden, is af te leiden uit het rekenmodel Pollozin (Polderlozingen, zie hoofdstuk 3.6), toegepast voor Boreel. Het blijkt dat alleen gedurende de winterperiode incidenteel gespuid dient te worden, in totaal voor een gemiddeld winterhalfjaar ca.  $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Deze hoeveelheid wordt ruimschoots overtroffen door een netto inlaatdebiet in de rest van de winter en het gehele zomerseizoen. Eenzelfde redenering geldt voor de vrachten aan nutriënten en andere stoffen. Derhalve wordt hieraan verder geen aandacht besteed.

Ad 3: De gemalen Schore en De Moer slaan polderwater uit op het kanaal door Zuid-Beveland. Over de stroomrichting in het kanaal is weinig bekend. Een eerste aanname is dat het teveel aan water in het kanaal gelijkmatig afstroomt in zowel noordelijke als zuidelijke richting. Aan de hand van Pollozin berekeningen (zie hoofdstuk 3.6) zou dit voor een gemiddeld jaar een afstroming naar de Westerschelde van ca.  $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ /jr inhouden. Het door schut- en lekverlies binnenkomend zeewater is van groter belang voor de waterhuishouding in het kanaal, hetgeen blijkt uit de zoutgehalten van 10-15 g Cl/l. Het is derhalve moeilijk de netto belasting op de Westerschelde aan te geven. Dit is dan ook achterwege gelaten hetgeen niet bezwaarlijk lijkt te zijn voor deze studie, gezien het feit dat de vrachten aan zuurstofbindende stoffen, nutriënten en andere parameters verwaarloosbaar zijn t.o.v. de belasting vanuit het kanaal Gent-Terneuzen.

3.6. De belasting door polderwater

Op de Westerschelde wordt overtollig polderwater uitgeslagen van gebieden in Walcheren, Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen via een dertigtal sluizen en gemalen. Aangezien slechts weinig informatie voorhanden is omtrent draaiuren etc. van gemalen, zullen de uitgeslagen hoeveelheden polderwater op een andere manier moeten worden bepaald. Hiertoe staat het rekenmodel Pollozin ter beschikking.

Het programma Pollozin berekent aan de hand van meteorologische tijdreeksen (neerslag en verdamping) de uitslag van polderwater per decade. De neerslagcijfers zijn zoveel mogelijk ontleend aan de plaatselijke stations, te weten 's-Heerenhoek, Middelburg, Ovezande, Krabbendijke, Rilland, Hoogerheide, Kloosterzande en Kappellebrug. Van de verdampingscijfers worden voor alle berekeningen die van het stations Vlissingen gebruikt, met uitzondering van het Brabants gebied. Hiervoor wordt uitgegaan van Oudenbosch. Daarnaast wordt rekening gehouden met gewasverdamping, kwel, bodemvochtvoorraad en infiltratie. De gewasverdampingsfactor is voor de zomer op 0,75 gesteld, d.w.z. de verdamping is 75% van de openwaterverdamping; in de winterperiode wordt de waarde 0,90 gehanteerd. De kwel is deels ontleend aan gegevens van het district Zuid-West van de directie Waterhuishouding en Waterbeweging en deels geschat. Onder bodemvochtvoorraad wordt de hoeveelheid water verstaan die het gewas door verdamping aan de ondergrond kan onttrekken voordat verwelking optreedt (geen aanvulling door neerslag, beregening of infiltratie). De bodemvochtvoorraad kan een maximale waarde niet overschrijden. Voor klei wordt 150 mm (als homogene waterschijf) aangehouden. In werkelijkheid is deze schijf over een aantal meters verdeeld. De infiltratiesnelheid is lineair afhankelijk gesteld van de momentaan aanwezige bodemvochtvoorraad. De maximale infiltratiesnelheid (bodemvochtvoorraad is dan nul) is voor klei 7,5 mm per decade. Het programma Pollozin biedt tevens de mogelijkheid om te rekenen met verschillende grondsoorten. In het zuidelijk Deltagebied bestaan de polders grotendeels uit klei.

Derhalve is enkel met deze grondsoort gerekend.

Bovenstaande versie van Pollozin is t.b.v. deze studie toegepast door de directie Zeeland.

Geen rekening is gehouden met eventuele afstroming vanaf Belgisch gebied. Deze is met de huidige kennis niet goed te schatten. Voor alle polders afwaterend op de Westerschelde zijn de hoeveelheden uitgeslagen polderwater over de jaren 1972-1977 berekend. Totaal resulteert dit in een gemiddelde jaarlijkse uitslag van  $210 * 10^6 \text{ m}^3$ . Dit komt overeen met  $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Het aantal voor de vrachtberekeningen onontbeerlijke waterkwaliteitsgegevens is voor de periode 1972-1977 vrijwel nihil. In 1977 is de Technologische Dienst Zeeuwse Waterschappen gestart met een waterkwaliteitsonderzoek op beperkte schaal, waarbij de meetpunten met een frequentie van 4x per jaar zijn bemonsterd. In 1978 is de frequentie aanzienlijk verhoogd, voor een groot aantal punten tot eens per maand. De resultaten van het kwaliteitsonderzoek in '77 en '78 zijn beschreven in lit. 12. Tesamen met de meer recente gegevens vormen deze resultaten de basis voor de vrachtberekeningen. Het zal duidelijk zijn dat de resultaten als indicatief moeten worden gezien, aangezien aangenomen is dat de waterkwaliteit in '78 en '79 niet verschilt van die in de periode '72-'77.

Aan de hand van de meetresultaten in '78 en '79 is derhalve voor ieder uitslagpunt een gemiddelde waarde bepaald voor de parameters Cl, BOD, N en P. Gekozen is voor de mediaanwaarde, aangezien in de zomer door het stagnante karakter van het polderwater in die periode dikwijls bijv. sterk verhoogde BOD-waarden worden gemeten die het rekenkundig gemiddelde aanzienlijk beïnvloeden, hetgeen gezien het feit dat in de zomerperiode niet of nauwelijks uitgeslagen wordt niet terecht is.

Vermenigvuldiging van deze waarden met de Pollozin-resultaten levert de vracht per uitslagpunt op. De totale belasting door BOD, N en P via polderwater is terug te vinden in tabel 10.

Incidenteel zijn tevens enkele zware metalen gemeten. De globaal berekende vrachten zijn eveneens opgenomen in tabel 10.

Tabel 10: belasting Westerschelde door polderwater (ton/jr)

BOD	1900	As	4
N	1150	Pb	< 1
P	330	Zn	4
		Cu	3
		Hg	0,03
wateruitslag		: $2,1 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{jr}$	
zoetwaterfractie		: $1,6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{jr}$	

3.7.

Belasting door neerslag c.q. neerslagoverschot

Neerslag kan voor sommige bekkens een relatief hoge belastingsbron vormen. Het is derhalve van belang deze nader te kwantificeren. Bijlage 16 geeft een overzicht van neerslaghoeveelheden voor een aantal meetstations rondom de Westerschelde voor de periode 1972-1977. Daaronder is de openwaterverdamping voor het station Vlissingen afleesbaar. Uitgaande van het natte oppervlak van de Westerschelde bij NAP ( $2,48 \times 10^8 \text{ m}^2$ ), de droogliggende buitendijkse gebieden bij NAP ( $7,53 \times 10^7 \text{ m}^2$ ) en de gewasverdampingsfactor voor deze gebieden (0,7) kan nu de belasting van de Westerschelde door neerslag worden bepaald volgens:

$$Q_n = (2,48 \times 10^8 + 7,53 \times 10^7) 10^{-3} N \quad (\text{m}^3/\text{jr})$$

$$= 3,23 \times 10^5 N \quad (\text{m}^3/\text{jr})$$

$$Q_n = \text{belasting door neerslag} \quad (\text{m}^3/\text{jr})$$

$$N = \text{neerslag} \quad (\text{mm}/\text{jr})$$

Voor de verdamping geldt:

$$Q_v = (2,48 \times 10^8 + 0,7 \times 7,53 \times 10^7) 10^{-3} v$$

$$= 3,0 \times 10^5 v \quad (\text{m}^3/\text{jr})$$

$$Q_v = \text{verdampingsdebiet} \quad (\text{m}^3/\text{jr})$$

$$v = \text{openwaterverdamping vlgs. Penman} \quad (\text{mm}/\text{jr})$$

In tabel 11 zijn de berekeningsresultaten opgenomen. Gemiddeld bestaat er over de onderzochte periode een neerslagoverschot van ca.  $10^7 \text{ m}^3/\text{jr}$ .



tabel 11: zoetwaterbelasting Westerschelde door neerslag

	neerslag ( $10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$ )	verdamping ( $10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$ )	neerslagoverschot ( $10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$ )
1972	224	212	12
1973	226	222	4
1974	325	233	92
1975	240	237	3
1976	155	238	- 83
1977	246	217	29

Een inzicht in de kwaliteit van regenwater wordt gegeven in lit.13.

Voor 's Heer-Arendskerke worden op grond van ca. 60 waarnemingen (1975-1977) de volgende gewogen gemiddelde concentraties berekend:

$\text{NH}_4\text{-N}$  : 1,31 mg/l

$\text{NO}_3\text{-N}$  : 0,74 mg/l

ortho-P: 0,07 mg/l

tot.P : 0,15 mg/l

De met behulp van deze gehalten berekende belasting van de Westerschelde met nutriënten door neerslag is terug te vinden in tabel 12.

tabel 12: nutriëntenbelasting Westerschelde door neerslag.

	$\text{NH}_4\text{-N}$ (ton/jr)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (ton/jr)	ortho-P (ton/jr)	tot. P (ton/jr)
1972	293	166	16	34
1973	296	167	16	34
1974	426	240	23	49
1975	314	178	17	36
1976	203	115	11	23
1977	322	182	17	37

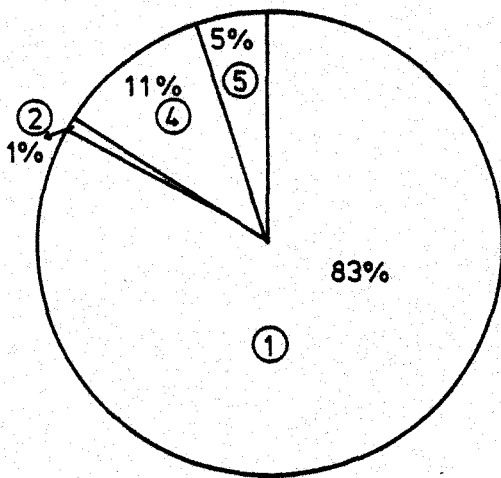
### 3.8. Totale belasting van de Westerschelde

Aan de hand van het vorengaande is de totale belasting van de Westerschelde te berekenen. Dit is in eerste instantie gedaan voor de parameters BOD, N, P en zoetwaterbelasting aangezien hiervan voor zo goed als alle belastingbronnen voldoende gegevens voorhanden zijn. De resultaten zijn tabellarisch samengevat in bijlage 17. Duidelijk is dat de Schelde veruit de belangrijkste belastingbron vormt. Een en ander wordt nog eens geïllustreerd in figuur 1. Van de overige stoffen is de optelsom minder duidelijk. Vaak is de belasting door de Schelde relatief zo groot dat de bijdragen van de andere bronnen binnen de onnauwkeurigheid van de berekende Scheldevrachten liggen. Dit geldt bijvoorbeeld voor de belasting van de Westerschelde met enkele zware metalen afkomstig van polderlozingen, welke relatief zeer gering is en in de optelsom is verwaarloosd.

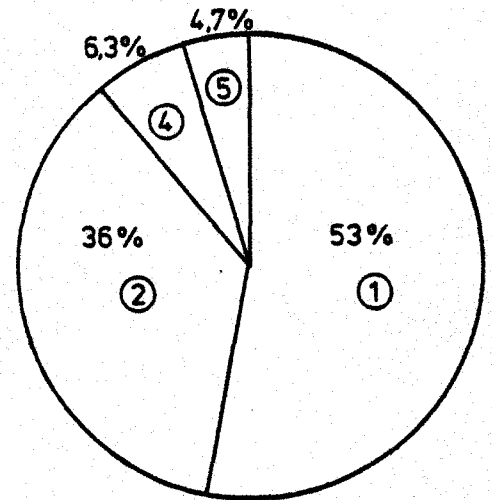
Naast de zware metalen is in bijlage 17 een aantal organische microverontreinigingen gepresenteerd, afkomstig van meerdere belastingbronnen. Het overzicht is niet volledig. Zo wordt bijvoorbeeld voorbijgegaan aan een aantal specifieke verontreinigingen (zoals amines) afkomstig van directe afvalwaterlozingen, aangezien niet bekend is in hoeverre ook andere belastingbronnen een bijdrage aan de vracht leveren.

Gezien het bovenstaande zal duidelijk zijn dat de gepresenteerde vrachten niet beschouwd dienen te worden als absolute waarden. Afgezien van BOD, N en P is de term indicatief beter op zijn plaats.

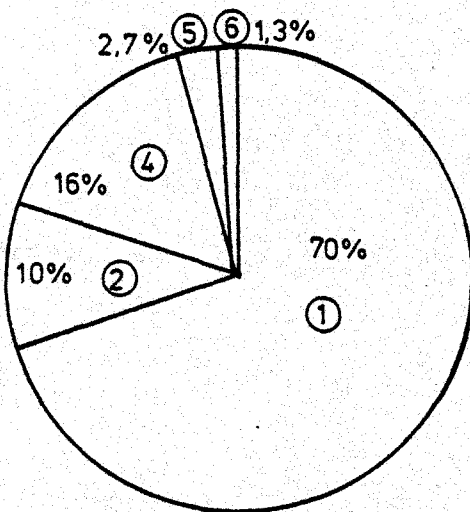
figuur 1 : Belasting Westerschelde (relatieve bedragen) , periode 1972 \_1977



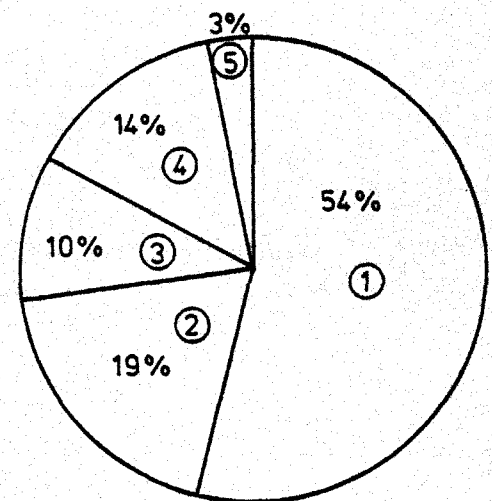
Zoetwaterbelasting: 100,3 m<sup>3</sup>/s



BOD<sub>5</sub>: 41 500 ton/jr.



N: 42 780 ton/jr.



P: 10 165 ton/jr.

- ① Schelde (grens)
- ② rechtstreekse afvalwaterlozingen
- ③ stortingen
- ④ kanalen
- ⑤ polderlozingen
- ⑥ neerslag



#### 4. WATERKWALITEITSKENMERKEN VAN DE WESTERSCHELDE

##### 4.1. Algemeen

In de Westerschelde wordt reeds vanaf 1960 in het kader van het routinematig onderzoeksprogramma in de rijkswateren door het RIZA de waterkwaliteit bepaald. Bijlage 18 geeft een inzicht in de locatie van de bemonsteringspunten, 15 in totaal. In het oostelijk gedeelte van de Westerschelde is de puntendichtheid het grootst. Hier neemt de zee-invloed van oost naar west sterk toe en zijn de sterkste horizontale gradiënten aanwezig. De punten Zuidergat (34) en Schaar van Waarde (35) bezitten nagenoeg dezelfde locatie langs de lengte-as, Schaar van Waarde evenwel ligt in de vloed-schaar, Zuidergat in de ebschaar. Te Schaar van Waarde zullen derhalve in het algemeen hogere chloridegehalten gemeten worden. De meetpunten boei 81A, boei 71 en boei 76 worden vanaf 1973 bemonsterd. Van de overige meetpunten zijn over de gehele periode 1972-1977 waterkwaliteitsgegevens voorhanden. Een overzicht van de gemeten variabelen per monsterpunt wordt getoond in bijlage 19. De algemene parameters zoals pH, temperatuur, zuurstof en nutriënten worden op alle punten eens per 2 weken gemeten. Daarnaast is een aantal "zware punten" te onderscheiden waar het analysepakket uitgebreid is met onder meer zware metalen. Deze punten zijn: Schaar van Ouden Doel, Lamswaarde, Hansweert, Terneuzen en Vlissingen. Voor Lamswaarde en Terneuzen geldt dat de meeste bijzondere parameters eerst vanaf 1977 zijn bepaald. Schaar van Ouden Doel bezit als grensoverschrijdend punt het meest uitgebreide analysepakket. Hier wordt ook een aantal organische microverontreinigingen bepaald.

Aan de hand van de gemeten waarden in de Westerschelde wordt in de volgende paragrafen ingegaan op de waterkwaliteit van de Westerschelde. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in het verloop van de waterkwaliteit langs de lengte-as van het estuarium en de concentratieveranderingen als functie van de tijd (1972-1977). De beschrijving van de waterkwaliteit is vrij algemeen van karakter. Indien voor bepaalde aspecten meer diepgang gewenst is, dan wordt hierop teruggekomen in de appendices.

Opgemerkt dient te worden dat bij de presentatie van de concentratiegradiënten ten behoeve van de vergelijkbaarheid alleen de meetpunten opgenomen zijn waarvan over eenzelfde periode waterkwaliteitsgegevens voorhanden zijn. Dit betekent dat de meetpunten boei 81A, boei 71 en boei 76 in de figuren achterwege zijn gelaten, aangezien de bemonstering hiervan eerst in 1973 is gestart.

Ter illustratie van het concentratieniveau zullen de gemeten waarden te Schaar van Ouden Doel in paragraaf 4.3. (tijdassen) worden vergeleken met die in Rijn en Maas ter plaatse van de grens. Daarbij is het goed te bedenken dat de monsters te Schaar van Ouden Doel reeds voor ca. 40% uit (relatief schoon) zeewater bestaan.

#### 4.2. Concentratiegradiënten langs de lengte-as van de Westerschelde

##### 4.2.1. Temperatuur (bijlage 20)

De gemiddelde temperatuur neemt in de Westerschelde in zeewaartse richting enigszins af. Dit is een gebruikelijk beeld in een estuarium waar de rivierwatertemperatuur, al dan niet beïnvloed door warmtelozingen, dikwijls hoger is dan de temperatuur van zeewater. De thermische belasting van de Westerschelde door lozingen (o.a. Borssele) beïnvloedt het temperatuurverloop op de meetpunten niet merkbaar.

Wel is bij Terneuzen een geringe verhoging te constateren (spui en schutwater afkomstig van Kanaal Gent-Terneuzen).

##### 4.2.2. pH (bijlage 21)

De zuurgraad neemt in zeewaartse richting toe. In de zomerperiode is de toename het sterkst merkbaar. Van de grens tot Vlissingen bedraagt de stijging ca. 0,5 eenheden. Het rivierwater van de Schelde is kennelijk zuurder (afbraak organische afvalstoffen) dan het zeewater, wat het verloop in de winter veroorzaakt.

Daarnaast neemt in westelijke richting het doorzicht toe, hetgeen aanleiding zal zijn voor een hogere algenactiviteit (pH stijging in de zomer). Deze seizoensvariaties komen nader aan de orde in hoofdstuk 4.3. (tijdassen).

#### 4.2.3. Chloride (bijlage 22)

Het chloridegehalte in de Westerschelde wordt bepaald door de zoetwaterbelasting enerzijds en de zee-invloed anderzijds. Veruit de grootste zoetwater belastingbron wordt gevormd door de Schelde (zie hoofdstuk 3). In het oostelijk gedeelte van de Westerschelde zijn door de sterk variërende Schelde-afvoer de grootste fluctuaties in het chloridegehalte merkbaar. Nabij Vlissingen is de invloed van variërende Schelde-afvoeren op het zoutgehalte veel minder aanwezig.

Tijdens relatief hoge afvoeren (winterperiode) wordt de steilste gradiënt gemeten. De toename van het zoutgehalte in zeewaartse richting vertoont bij Terneuzen een "knik" als gevolg van de zoetwaterbelasting vanuit het kanaal Gent-Terneuzen.

#### 4.2.4. Zuurstofhuishouding (bijlage 23, 24, 25)

De Belgische Schelde laat zich beschrijven als een zwaar met organisch materiaal belaste rivier waarin zich in sterke mate mineralisatieprocessen afspelen. Deze processen vragen een aanzienlijke hoeveelheid zuurstof. Bovenstrooms van Antwerpen is de Schelde dan ook nagenoeg zuurstofloos. Ook benedenstrooms van Antwerpen is het zuurstofgehalte nog laag, dikwijls niet veel hoger dan 1 mg O<sub>2</sub>/l.

Nabij de grens wordt de zee-invloed sterk merkbaar en treedt door menging met zuurstofrijk zeewater een snelle verbetering van de slechte zuurstoftoestand op. Ook neemt in dit gebied, vooral als gevolg van periodieke overspoeling van platen, de zuurstofinbreng door reaëratie toe.

In de nabijheid van Hansweert benaderen het zuurstofgehalte en het verzadigingspercentage die van het kustwater. Naar het westen toe treedt er in de zuurstofgehalten en de verzadigingspercentages een groter wordend verschil op tussen zomer en winter, met dien verstande dat de gehalten in de winter het hoogst zijn en de percentages in de zomer. De verklaring moet worden gezocht in het complexe samenspel van een reeks processen. Variatie in de temperatuur zomer-winter beïnvloedt de verzadigingswaarde; algenactiviteit in het heldere water drijft het zuurstofgehalte en het percentage naar hogere waarden; afbraak van organische stoffen in de Schelde-Westerschelde drijft het zuurstofgehalte en het percentage naar lagere waarden; afbraak van algen leidt eveneens tot lagere waarden; verdunning van de met de Schelde meegevoerde organische afvalstoffen in de Westerschelde zorgt voor een gradiënt in de intensiteit van de afbraaksnelheid; variatie in de waterafvoer van de Schelde beïnvloedt de verdunningsgraad van de geloosde afvalstoffen en de verblijftijd van het water, welke weer gevolgen heeft voor het stadium van afbraak op een bepaalde plaats. Voor een algemene indruk is het niet noodzakelijk al deze processen door te rekenen; de resultaten, weergegeven in de figuren, spreken voor zichzelf. Opvallend is evenwel dat het zuurstofverzadigingspercentage in de zône grens-Hansweert nagenoeg gelijk blijft in zomer en winter, blijkbaar een gevolg van het complexe evenwicht in dit gebied. Ook kan worden waargenomen dat in de monding van de Westerschelde in de zomermaanden ten gevolge van algenbloei dikwijls een geringe oververzadiging optreedt.

De invloed van het kanaal Gent-Terneuzen, dat een laag zuurstofgehalte heeft t.a.v. de Westerschelde ter hoogte van Terneuzen, laat zich zien in de verlaagde zuurstofgehalten nabij Terneuzen. De BOD<sub>5</sub>-waarde neemt in zeevaartse richting sterk af.



De merkbarestijging van de BOD<sub>5</sub>-waarde te Vlissingen is vooralsnog niet geheel verklaarbaar. Naast een eventuele invloed van lokale lozingen (Middelburg, Vlissingen) kan gewezen worden op de mogelijke aanwezigheid van verontreinigd kustwater.

#### 4.2.5. Nutriënten (bijlage 26, 27, 28, 29, 30, 31)

Zoals vermeld in hoofdstuk 3 is de nutriëntenbelasting van de Westerschelde grotendeels afkomstig van de Belgische Schelde (P: 54%, N: 70%). Het is derhalve te verwachten dat ook de gehalten aan deze parameters in zeevaartse richting afnemen. Voor orthofosfaat wordt dit getoond in bijlage 26.

De belasting van de Westerschelde via het kanaal Gent-Terneuzen komt naar voren in de relatief hogere orthofosfaatgehalten nabij Terneuzen. De bepaling van totaal fosfaat is op een aantal meetpunten eerst in 1977 gestart. De waarden zijn derhalve niet rechtstreeks vergelijkbaar met de gemeten orthofosfaatgehalten. Niettemin kan globaal aangegeven worden dat de gehalten aan totaal fosfaat een factor 2 à 3 hoger zijn dan de gemeten orthofosfaatconcentraties.

De stikstofhuishouding is complexer. De gehalten aan ammonium en nitraat worden namelijk niet alleen bepaald door verdunning of opname in algen, maar vooral door de microbiële omzetting van ammonium in nitraat: de nitrificatie. Bij voldoende hoge watertemperaturen (> 10°C) en in aanwezigheid van zuurstof start de reactie. Zij neemt in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde zodanige vormen aan dat het nitraatgehalte ondanks de verdunning met zeewater in zeevaartse richting toeneemt. In appendix 2 komt de nitrificatie in het Schelde-estuarium en de daaraan inherente zuurstofvraag uitgebreid aan de orde.

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van balansberekeningen volstaan met een inzicht in de hoeveelheid gevormd nitraat in een gedeelte van het Schelde-estuarium.

Tabel 13: gevormd nitraat door nitrificatie in een gedeelte van het Schelde-estuarium (1975-1977).

traject	gevormd nitraat (ton N/zomerhalfjaar)
Antwerpen (noord)-grens	3060
Grens - Bath	1050
Bath - Lamswaarde	1420

Ter vergelijking: de gevormde hoeveelheid nitraat tussen Antwerpen-N en Lamswaarde bedraagt ca. 85% van de ammoniumvrucht en ca. 60% van de Kjeldahlstikstofvrucht per zomerhalfjaar te Antwerpen.

Het verloop van de silicaatgehalten vertoont het gebruikelijke beeld: een afnemende tendens in zeewaartse richting. 's-Zomers worden door relatief hoge Schelde-afvoeren en opname van silicaat in algen lagere waarden gemeten dan in de winterperiode.

#### 4.2.6. Zware metalen (bijlage 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38)

Zware metalen worden eens per 6 weken gemeten te Schaar van Ouden Doel, Hansweert en Vlissingen. Het gemiddelde verloop van de opgeloste en de totale gehalten langs de lengte-as van het estuarium wordt getoond in de bijlagen.

Ten behoeve van een goede vergelijking van de opgeloste en de totale gehalten is per metaal steeds voor dezelfde verdeling van de verticale as gekozen.

Vooraf in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde is de opgeloste fractie slechts een klein gedeelte van het totale gehalte.

De gehalten aan de meeste opgeloste metalen zoals Pb, Cu, Cd en Cr nemen westwaarts ondanks de verdunning met zeewater nauwelijks af, of vertonen zelfs een stijgende tendens, terwijl de totaalgehalten wel afnemen. Dit wijst op een mobilisatie van de metalen, d.w.z. een gedeelte gaat van de particulier gebonden vorm (d.w.z. gebonden aan zwevend slib) over in de opgeloste vorm. Over het verloop van opgelost Hg kan weinig worden gezegd; bijna altijd zijn de gehalten lager dan de detectiegrens (0,1 ug/l). In appendix 4 wordt nader ingegaan op het gedrag van zware metalen. Daar komen onder meer de gehalten aan zware metalen in zwevend slib aan de orde. Zoals te verwachten is aan de hand van het bovenstaande nemen deze in zeewaartse richting af. Uit balansberekeningen blijkt tevens dat een aanzienlijk gedeelte van de aan zwevend slib gebonden zware metalen reeds in het bovenstroomse gebied sedimenteert, op het traject Schelle-grens 60-80%.

Ook op Nederlands gebied treedt nog sedimentatie op zodat ten slotte slechts een kleine fractie van de oorspronkelijke hoeveelheid de Noordzee bereikt. Een gevolg van de sedimentatieprocessen is de oplading van de onderwaterbodem met (in dit geval) zware metalen. In het gedeelte bovenstrooms van Schaar van Ouden Doel zijn de gehalten het hoogst. Zeewaarts treedt opmenging met relatief schoon zeeslib op. Zo neemt het gehalte aan Cd in sediment van Antwerpen tot Bath af van ca. 11 tot 4 ug/g (1974), Pb loopt terug van 125 tot 70 ug/g. De gehalten in sediment stemmen redelijk overeen met de gehalten aan zwevend slib.

#### 4.2.7. Organische microverontreinigingen

Organische microverontreinigingen worden alleen te Schaar van Ouden Doel gemeten. Het opzetten van lengte-assen is derhalve niet mogelijk. Voor een indruk van de concentratieniveaus wordt dan ook verwezen naar hfd.stk 4.3. (tijdassen).

#### 4.2.8. Hydrobiologische toestand

In de periode 1972-1977 is door het RIZA geen routinematig onderzoek verricht naar de hydrobiologische kenmerken van de Westerschelde (chlorophylgehalte, soortensamenstelling,.....)

Uit andere bronnen (23,24,25,30) is wel enige globale informatie over de hydrobiologische toestand in de Westerschelde voorhanden. Het blijkt onder meer dat de groep der diatomeeën (kiezelwieren) het sterkst vertegenwoordigd is in de Westerschelde. Uit recent RIZA-onderzoek (1978, 1979) blijkt dat in maart de algenontwikkeling start in de monding van de Westerschelde (daar is het doorzicht het grootst en is dus relatief weinig zonlicht nodig). Enige tijd later komt de algenontwikkeling ook in het overig gedeelte van het estuarium op gang. In de zomermaanden worden de hoogste gehalten te Schaar van Ouden Doel gemeten: tot 50 ug chlorophyl/l. In Vlissingen wordt ca. 20 ug/l gemeten. Ter vergelijking: Grevelingenmeer ca. 10 ug/l. De primaire productie in de Westerschelde is laag t.o.v. die in de Noordzee en het Grevelingenmeer, resp. 20, 125 en 100 g C/m<sup>2</sup>.jr (24,2,25). Dit is grotendeels toe te schrijven aan de hogere zwevende stofgehalten in de Westerschelde (bijlage 43).  
Zie verder appendix 3.

#### 4.2.9. Bacteriologische toestand

Voor het bepalen van de bacteriologische gesteldheid wordt als indicator gebruik gemaakt van de thermotolerante bacteriën van de coligroep, ook E-coli genoemd.

Indien deze bacteriën aanwezig zijn, bestaat er een kans dat het water tevens besmet is met pathogene organismen welke van mens en/of warmbloedige dieren afkomstig zijn. Voor het bepalen van het meest waarschijnlijke aantal (MPN) bacteriën wordt in het algemeen gebruik gemaakt van de methode volgens Eijkman.

Berekening van een gemiddelde waarde over de periode 1972-1977 is voor de parameter E-coli weinig zinvol. De spreiding van de resultaten is vanwege de logaritmische bepaling erg groot (voor de meeste meetpunten een factor 100 of meer).

De mediaanwaarde geeft een betere indicatie van de bacteriële verontreiniging. Onderstaande tabel toont deze waarde voor een aantal meetpunten.

Tabel 14: mediaanwaarde E-coli (MPN/ml) over de periode 1972-1977

Vlissingen (3)	0,28
Terneuzen (28)	1,4
Hoedenskerke (14)	2,7
Zuidergat (34)	2,3
Overloop van Valkenisse (18)	4,9
Bath (21)	12
Schaar van Ouden Doel (25)	20

De aanwezigheid van E-coli in de Westerschelde wordt in sterke mate bepaald door de belasting vanuit België (Schelde). Door afsterving en verdunning met zeewater neemt het coligehalte in zeevaartse richting af. Naast de gepresenteerde waarden wordt 's zomers reeds enige jaren op verschillende plaatsen in de oeverzone het E-coligehalte bepaald. Voor de resultaten wordt verwezen naar Schäfer (33).

#### 4.2.10. Radiochemische kwaliteit (bijlage 39,40,41,42)

De bespreking van de radioactieve besmetting van de Westerschelde wordt hier beperkt tot  $^3\text{H}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ , totale  $\alpha$  en resterende  $\beta$  activiteit. Deze parameters zijn gedurende meerdere jaren op verschillende plaatsen in de Westerschelde gemeten (bijlage 39). Het activiteitsniveau van  $^{40}\text{K}$ , wordt in de Westerschelde bepaald door de natuurlijke waarde in zeewater (250-300 pCi/l), het verloop is analoog aan de verdunningslijn.

De resterende  $\beta$  activiteit, dit is de totale  $\beta$  activiteit minus de activiteit van  $^{40}\text{K}$ , neemt vanaf de grens in zeevaartse richting aanvankelijk af. Dit is niet verwonderlijk daar het zwevende stofgehalte, waaraan rest  $\beta$  grotendeels geadsorbeerd is, in dit gebied tevens afneemt (zie bijlage 43). Daarnaast is er verdunning met zeewater. Nabij Terneuzen is een toename te constateren. Dit zou kunnen wijzen op de afvalgipslozingen ter plaatse. Beïnvloeding vanuit het Kanaal Gent-Terneuzen is eveneens mogelijk.

Het verloop van de totale  $\alpha$ -activiteit verschilt van de overige parameters. Het gehalte beweegt zich in de gehele Westerschelde

op ongeveer hetzelfde niveau. Blijkbaar is het gehalte in Noordzeewater ook 10-15 pCi/l. Overigens wordt opgemerkt dat de bepalingsmethode van  $\alpha$ -activiteit in zeewater nog tamelijk onnauwkeurig is.

Tritium( $^3\text{H}$ ) neemt in zeevaartse richting sterk af. Het niveau in de Westerschelde wordt bepaald door de belasting vanuit België, waar het Scheldewater als gevolg van neerslag en nucleaire installaties de laatste jaren een activiteit van ca. 500 pCi/l vertoont. Ter vergelijking: in neerslag bedraagt het gehalte ca. 200 pCi/l (1977). (34). Door de Gezondheidsraad wordt een gemiddelde norm van 5000 pCi/l aanbevolen. Bij overschrijding van deze waarde zouden maatregelen getroffen moeten worden. Ook  $^{226}\text{Ra}$  wordt in belangrijke mate bepaald door de Scheldevracht.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de becquerel (Bq) de nieuwe SI-eenheid van activiteit is. Tussen pCi en Bq bestaat het volgende verband: 1pCi = 37 mBq.

#### 4.2.11. Overige parameters

##### \* zwevende stof (bijlage 43)

Zwevende stof wordt routinematig gemeten t.b.v. het zware metalen onderzoek. De gehalten nemen in zeevaartse richting af.

##### \* fenol (bijlage 44)

Ook het fenolgehalte in de Westerschelde staat sterk onder invloed van de belasting vanuit België. Vanaf de grens neemt het gehalte zeewaarts geleidelijk af van ca. 7 tot 2  $\mu\text{g/l}$ .

##### \* olie

Van deze parameter zijn slechts gegevens van Vlissingen en Schaar van Ouden Doel voorhanden. Hier wordt volstaan met het vermelden van de gemiddelde waarden over de periode 72-77:

- Schaar van Ouden Doel 0,55 mg/kg
- Vlissingen: 0,3 mg/kg

4.3. De waterkwaliteit gedurende de jaren 1972-1977 (tijdassen)

4.3.1. Temperatuur (bijlage 45)

De temperatuur vertoont het gebruikelijke seizoensbeeld. De warme zomer van 1976 komt naar voren in de iets hogere temperaturen in het 2e en 3e kwartaal. Van een af- of toenemende tendens van de watertemperatuur, bijvoorbeeld als gevolg van mogelijke veranderingen in de thermische belasting, is in de zes beschouwde jaren op de meetpunten geen sprake.

4.3.2. pH (bijlage 46)

In het oostelijk gedeelte van de Westerschelde bezit de pH een vrij constante waarde. De verschillen tussen zomer en winter zijn marginaal. Algen groei heeft in dit gedeelte van het estuarium nauwelijks invloed op de pH-waarde. Naar het westen toe worden de gehalten steeds hoger en wordt ook de zomer-winter periodiciteit beter zichtbaar.

4.3.3. Chloride (bijlage 47)

Door de sterk fluctuerende Scheldedebieten is het zoutgehalte, vooral in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde, aan sterke variaties onderhevig. Zo zijn te Schaar van Ouden Doel in de natte winter van 74/75 chloridegehalten van lager dan 1 g/l gemeten. In de droge zomer van 1976 daarentegen steeg het gehalte tot ca. 12 g Cl/l. in hoeverre het aquatisch leven zich op deze variaties heeft ingesteld is niet bekend. Gezien de toekomstige ontwikkelingen in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde (extra zoetwaterlozing door spuumiddel Bath) is nader onderzoek hiernaar voorgesteld.

Meer zeewaarts worden de variaties als gevolg van de steeds groter wordende fractie zeewater geleidelijk uitgedempt, hoewel de rivierinvloed ook in Vlissingen nog merkbaar is.

4.3.4. Zuurstofhuishouding (bijlage 48,49)

De ontwikkeling van de zuurstofhuishouding in de Westerschelde is gedurende de loop der jaren in sterke mate beïnvloed door de zuurstoftoestand van de Belgische Schelde. In het begin der zestiger jaren, aan de vooravond van de industriële expansie, schommelde het zuurstofgehalte te Schaar van Ouden Doel zo rond de 5 mg/ O<sub>2</sub>/l. In de zestiger jaren zette zich een geleidelijke daling van het zuurstofgehalte in, in 72/73 uitmondend in een triest dieptepunt van 0-1 mg O<sub>2</sub>/l. Door enkele saneringen in het Antwerpse gebied lijkt vanaf ongeveer 1975 de zuurstoftoestand zich, hoewel slechts zeer geleidelijk, iets te verbeteren. Overigens zal duidelijk zijn dat een redelijk zuurstofgehalte voorlopig nog niet bereikt is. Daartoe zullen bovenstrooms van Schaar van Ouden Doel aanzienlijk grotere saneringsinspanningen moeten worden verricht.

Vanaf de grens neemt door de sterke verdunning met zeewater het zuurstofgehalte snel toe. Te Hansweert bedraagt de zuurstofverzadiging reeds meer dan 70%. In Terneuzen en Vlissingen is de historische ontwikkeling van het zuurstofgehalte die geldt voor het oostelijk gedeelte niet of nauwelijks op te merken; het zuurstofgehalte is in de loop der jaren vrij constant gebleven. Hier komen veeleer de seizoensschommelingen in de zuurstofverzadigingswaarde naar voren. De ontwikkeling van de BOD<sub>5</sub>-waarde stemt overeen met die van het zuurstofgehalte. De laatste jaren zet zich als gevolg van saneringen bovenstrooms een geleidelijke daling in.

Onderstaande tabel toont de zuurstof- en BOD<sub>5</sub>-gehalten in Rijn, Maas en Westerschelde. Ondanks de verdunning met zuurstofrijk zeewater is het zuurstofgehalte in de Westerschelde duidelijk lager.

Tabel 15: zuurstof- en BOD<sub>5</sub>-gehalte in Rijn, Maas en Westerschelde, gehalten in mg/l, periode 1972-1977.

	Rijn	Maas	Westerschelde
	(grens)	(grens)	(grens)
O <sub>2</sub> -gehalte	6,0	9,2	1,6
BOD <sub>5</sub> -gehalte	8,2	5,1	5,9



4.3.5. Nutriënten (bijlage 50, 51, 52, 53)

Het fosfaatgehalte is over de periode 1972-1977 vrij stabiel, een dalende of stijgende tendens is niet aanwezig. Wel is sprake van een seizoensverloop. Te Schaar van Ouden Doel is dikwijls vanaf het voorjaar een toename van het orthofosfaatgehalte te constateren, in het derde kwartaal worden, ondanks relatief lage Scheldeafvoeren, veelal hoge waarden bereikt, dit in tegenstelling tot het gehalte aan totaal-fosfaat in die periode. Blijkbaar wordt door de mineralisatie van organisch materiaal in de Schelde in de zomermaanden een aanzienlijke hoeveelheid orthofosfaat gevormd. Nalevering van fosfaat uit de bodem lijkt niet waarschijnlijk aangezien het gehalte aan totaal-fosfaat in de zomermaanden niet toeneemt.

In het zoutere gedeelte van de Westerschelde is het beeld juist omgekeerd. In het voorjaar zet zich een daling in die uitmondt in lage orthofosfaatgehalten in de zomermaanden. Hier is de invloed van algengroei merkbaar; mineralisatie van organisch materiaal speelt in dit gedeelte van de Westerschelde geen overwegende rol meer.

Het verloop van de stikstofgehalten is over de periode 72-77 minder constant. Zo is in de laatste jaren in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde een daling van het ammoniumgehalte op te merken. In deze periode is het nitraatgehalte in ongeveer dezelfde mate toegenomen. Dit wijst erop dat de omzetting van ammonium in nitraat, de nitrificatie, vanaf 1975 in versterkte vorm optreedt in de Belgische Schelde. Dit is niet verwonderlijk daar in deze periode in de Antwerpse agglomeratie de BOD belasting van de Schelde enigszins is teruggebracht (21) waardoor in de Schelde meer zuurstof beschikbaar komt voor het nitrificatieproces. Een en ander wordt nader besproken in appendix 2. Ook in het saliene gedeelte van de Westerschelde heeft de versterkte nitrificatie in de Schelde geresulteerd in lagere ammoniumgehalten. Het seizoensverloop van nitraat is in het oostelijk en westelijk gedeelte van de Westerschelde verschillend. Te Schaar van Ouden Doel wordt de periodiciteit vrijwel uitsluitend door de nitrificatie-intensiteit bepaald en worden (na 1975) de hoogste gehalten in de zomerperiode gemeten.

Nabij Vlissingen wordt het nitraatverloop tevens beïnvloed door de algenbloeyicyclus; in de zomer worden hier lage waarden gemeten.

De stikstofbelasting van de Westerschelde is aanzienlijk (zie hoofdstuk 3). Een indruk van de bijdragen van de verschillende stikstofbronnen aan het totaalgehalte in de Westerschelde is mogelijk wanneer gebruik wordt gemaakt van een rekenmodel waarmee het effect van de afzonderlijke lozingen kan worden gesimuleerd. In appendix 1 wordt hierop nader ingegaan. Het blijkt dat het stikstofgehalte in de gehele Westerschelde voor een aanzienlijk deel tot nagenoeg volledig wordt bepaald door de Scheldevracht. Een duidelijke verlaging van het stikstofgehalte is voor een groot gedeelte van de Westerschelde dan ook te bewerkstelligen door sanering van de Schelde. Uiteraard geldt dit resultaat niet alleen voor stikstof. Voor het merendeel van de overige stoffen gaat dezelfde conclusie op.

Onderstaande tabel geeft een inzicht in de nutriëntgehalten in Rijn, Maas en Westerschelde. De gehalten aan fosfaat en gereduceerde stikstofverbindingen zijn in de Westerschelde duidelijk hoger.

Tabel 16: Nutriëntgehalten in Rijn, Maas en Westerschelde.  
Gehalten in mg/l, periode 1972-1977.

	Rijn (grens)	Maas (grens)	Wester- schelde (grens)
orthofosfaat-P	0,34	0,52	0,52
totaalfosfaat-P	0,66	0,89	1,3
ammonium-N	1,8	1,1	4,8
Kjeldahl-N	3,2	2,3	6,3
nitraat-N	3,5	2,5	1,8

Het gehalte aan silicaat wordt sinds 1974 bepaald. Mogelijke trends zijn in de korte meetperiode niet te signaleren. De zomer-winter periodiciteit, ook al aangeduid in 4.2.5., spreekt voor zich.

4.3.6. Zware metalen (bijlage 54, 55, 56, 56, 58, 59, 60)

Bruikbare waarden van de gehalten aan zware metalen zijn van de meetpunten Schaar van Ouden Doel, Hansweert en Vlissingen vanaf 1975 voorhanden. In Terneuzen worden zware metalen vanaf 1977 geanalyseerd. In deze korte meetperiode is het niet mogelijk trends te signaleren. Hooguit kan gezegd worden dat de gehalten aan totaal Zn, Cu, Cr, Pb en mogelijk Hg te Schaar van Ouden Doel naar iets lagere waarden tenderen.

Ook voor de zware metalen is de belasting door de Schelde bepalend voor de gehalten in de Westerschelde. In winter en voorjaar, bij hoge Schelde-afvoeren, zijn de gehalten relatief hoog.

De gehalten op de grens zijn van hetzelfde niveau als of duidelijk hoger (Ni, Cr) dan de concentraties in Rijn en Maas (tabel 17). Een uitzondering vormt het zinkgehalte in de Maas.

Tabel 17: totaal-gehalten aan zware metalen in Rijn, Maas en Westerschelde, gehalten in ug/l, periode 1975-1977.

	Rijn (grens)	Maas (grens)	Westerschelde (grens)
tot. Zn	119	234	102
tot. Cu	19	13	19
tot. Cr	21	11	33
tot. Ni	12	7	21
tot. Pb	20	17	25
tot. Cd	1,9	3,0	2,8
tot. Hg	0,4	0,3	0,5

4.3.7. Organische microverontreinigingen (bijlage 61)

Het onderzoeksprogramma voor organische microverontreinigingen zoals dat te Schaar van Ouden Doel wordt uitgevoerd omvat de parameters  $\alpha$ -HCH,  $\gamma$ -HCH, heptachloorepoxide, heptachloor, endrin, dieldrin, aldrin, op-DDT, pp-DDE en rothaan.

In het algemeen worden alleen  $\alpha$ -HCH en  $\gamma$ -HCH in waarneembare concentraties aangetroffen. Het gehalte aan  $\alpha$ -HCH is vanaf 1975 sterk gedaald;  $\gamma$ -HCH vertoont een fluctuerend verloop.

Tabel 18: Gehalte aan  $\alpha$ -HCH en  $\gamma$ -HCH in Rijn, Maas en Westerschelde. Gehalten in  $\mu\text{g/l}$ , periode 1975-1977.

	Rijn (grens)	Maas (grens)	Westerschelde (grens)
$\alpha$ -HCH	0,04	0,01	0,01
$\gamma$ -HCH	0,03	0,03	0,05

4.3.8. Bacteriologische toestand.

Evenals bij de bespreking van de concentratiegradiënten gedaan is, wordt ook hier gebruik gemaakt van de mediaanwaarde. In onderstaande tabel zijn de meetresultaten samengevat. Gedurende de onderzochte jaren lijkt de bacteriologische kwaliteit weinig te zijn veranderd. Ter illustratie wordt opgemerkt dat toetsing van deze waarden aan de EG-richtlijn voor zwemwater in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde de kwalificatie "ongewenst" oplevert. Zeewaarts van Terneuzen is de kwaliteit in het algemeen "vereist". De kwalificatie "gewenst" wordt nergens gehaald.

Tabel 19: Bacteriologisch kwaliteit van de Westerschelde.  
Mediaanwaarden (MPN/ml)

	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Sch.Ouden Doel	33	33	15	14	17	24
Bath	23	10	8	5	17	13
Valkenisse	3,3	3,3	8	5	5	8
Zuidergat	2,3	1,9	5	5	2,3	2,3
Hoedekenskerke	2,7	2,7	3,3	1,3	3,5	5
Terneuzen	1,3	1,5	0,5	2,3	2,7	3,3
Vlissingen	0,3	0,3	0,06	0,3	0,5	1,1

4.3.9. Radio-activiteit (bijlage 62)

Voor de tijdassen zijn de meetpunten Schaar van Ouden Doel en Hansweert gekozen. Van deze meetpunten zijn in het algemeen vanaf 1972 gegevens voorhanden.

Het verloop van  $^{40}\text{K}$  spreekt voor zich. In de relatief natte jaren '74 en '75 (hoge Schelde-afvoeren) worden lage waarden gemeten; in het droge jaar 1976 is de zee-invloed groot en worden hoge gehalten gemeten.

De resterende  $\beta$ -activiteit neemt in de loop der jaren af. Ook in de totale  $\alpha$ -activiteit is de laatste jaren een verlaging waar te nemen. Dezelfde tendens worden aangetoond door het RIV (34).

Van het tritiumgehalte zijn eerst vanaf 1975 RIZA-metgegevens voorhanden. Het tritiumgehalte beweegt zich vanaf die tijd op een vrij constant niveau. Uit RIV metingen is bekend dat het gehalte te Schaar van Ouden Doel in het begin der zeventiger jaren sterk toegenomen is (nucleaire installatie Mol) tot waarden van 3600 pCi/l in 1973 om vervolgens weer snel af te nemen (afbouw Mol) tot 400-500 pCi/l, gehalten die ook vóór 1970 werden gemeten. De activiteit van  $^{226}\text{Ra}$  vertoont in de onderzochte periode geen dalende of stijgende tendens.

4.3.10. Overige parameters (bijlage 63, 64, 65)

\* Zwevende stof.

In het oostelijk gedeelte van de Westerschelde wordt het gehalte aan zwevende stof in sterke mate beïnvloed door de Schelde-afvoer. In de winter of in het voorjaar worden veelal de hoogste waarden gemeten, dan is de Schelde-afvoer hoog.

\* Fenol.

De concentratie aan fenol is in de periode 1972-1977 enigszins teruggelopen, hetgeen met name in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde tot uitdrukking komt. De gehalten (gemiddeld 1972-1977) zijn lager dan in Rijn en Maas ter plaatse van de grens:

Rijn	13,2 µg/l
Maas	12,5 µg/l
Westerschelde	7,2 µg/l

\* Olie.

De oliegehalten bewegen zich de laatste jaren op een enigszins lager niveau. De concentratie (gemiddeld 1972-1977) is van dezelfde orde grootte als die in Rijn en Maas (grens).

Rijn	0,39 mg/kg
Maas	0,8 mg/kg
Westerschelde	0,6 mg/kg.



## SAMENVATTING

Door het RIZA wordt reeds vanaf 1960 routinematig onderzoek verricht in de Westerschelde, het Nederlands gedeelte van het Schelde-estuarium.

Dit onderzoek beoogt een indruk te geven van de waterkwaliteit. Daarnaast verschaft het inzicht in processen en trendmatige veranderingen.

In deze nota is aan de hand van het bovenstaande onderzoek ingegaan op een aantal voor de Westerschelde relevante waterkwaliteitsaspecten waaronder een inventarisatie van de belastingbronnen en een beschrijving van de waterkwaliteit. Sommige, voor de Westerschelde relevante onderwerpen, komen nader aan de orde in de appendices (gedrag zware metalen, nitrificatie, hydrobiologische kenmerken, modelberekeningen).

De nota beschrijft de periode 1972-1977. Over deze perioden worden door de Deltadienst, eveneens in het kader van het project WAKWA (Waterkwaliteit), ten dienste van de beheerder en verder onderzoek soortgelijke rapportages opgezet van andere deltawateren in zuidwest Nederland.

Voor de belasting van de Westerschelde met diverse stoffen kan onderscheid worden gemaakt in een aantal bronnen zoals de Schelde (vanuit België), diverse afvalwaterlozingen, stortingen, kanalen, polderwater en neerslag.

Veruit de grootste belastingbron vormt de Schelde. De stikstofbelasting bijvoorbeeld is voor ca. 70% (= 30000 ton N/jr) afkomstig van de Schelde, de fosfaatbelasting voor ruim 50% (= 5500 ton P/jr). De vrachten aan stikstof en afbreekbaar organisch materiaal, afkomstig van directe lozingen vanuit Nederland, nemen vanaf 1973 merkbaar af als gevolg van diverse industriële saneringsinspanningen. Zo is de stikstofbelasting door lozingen vanaf Nederlands grondgebied gedaald van ruim 7000 ton/jr in 1973 tot ca. 2500 ton/jr in 1977. Door de bouw van nieuwe zuiveringsinrichtingen zal de vuillast de komende jaren verder afnemen.

Naast de Schelde en in mindere mate de directe lozingen levert het kanaal Gent-Terneuzen (schut- en lekwater) nog een redelijk aandeel in de N en P belasting (ca. 15%).

De belasting van de Westerschelde met stoffen als zware metalen en organische microverontreinigingen is moeilijker te kwantificeren.



Niettemin lijkt ook hier de belasting van de Westerschelde grotendeels bepaald te worden door de Scheldevracht. Daarnaast levert, voor zover het de zware metalen aangaat, de storting van baggerspecie uit de Belgische Schelde (ca.  $10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$ ) een belangrijk aandeel zoals blijkt uit onderstaand overzicht.

Tabel 20: Belasting Westerschelde met zware metalen in ton/jr.

	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg
Schelde	20	200	100	100	80	400	2
Stortingen	6	90	40	60	15	200	1-2

Van de organische microverontreinigingen die op de grens gemeten worden, zijn enkel de vrachten aan HCB (30 kg/jr),  $\alpha$ -HCH (50 kg/jr),  $\gamma$ -HCH (200 kg/jr) en op-DDT (20 kg/jr) redelijk te schatten. De andere stoffen zijn door de lage concentraties in het algemeen niet detecteerbaar. In welke mate directe afvalwaterlozingen een bijdrage leveren, is in de gerapporteerde periode nog onvoldoende bekend.

Aan de hand van het vorengaande zal duidelijk zijn dat de waterkwaliteit van de Westerschelde in belangrijke mate wordt bepaald door de kwaliteit van het Scheldewater. Op de grens bedraagt de fractie (zoet) Scheldewater ca. 40%, het chloridegehalte is ongeveer 6 g/l. In zeevaartse richting neemt het zoutgehalte snel toe. Deze verdunning met relatief schoon zeewater betekent dat de waterkwaliteit in westwaartse richting sterk verbetert.

Zo is de Schelde ter hoogte van de grens nagenoeg zuurstofloos door de enorme belasting met afvalwater stroomopwaarts. Op Nederlands grondgebied zet zich vooral door de intensieve menging met zuurstofrijk zeewater een snelle verbetering van het zuurstofgehalte in. Ondanks enkele saneringsinspanningen welke zich in het midden van de zeventiger jaren in de Antwerpse agglomeratie hebben voltrokken, is het zuurstofgehalte nabij de grens nauwelijks toegenomen. Weliswaar wordt thans voor de afbraak van organisch materiaal minder zuurstof verbruikt; de nitrificatie, de oxydatie van ammonium tot nitraat, daarentegen is door het vrijgekomen zuurstof toegenomen. Hierdoor is het zuurstofgehalte per saldo maar weinig verbeterd.

Zo werd op het traject Antwerpen-grens in 1972-1974 ca. 1000 ton N/zomerhalfjaar geoxydeerd, in 1975-1977 ruim 3000 ton N/zomerhalfjaar. In de Westerschelde is de nitrificatie-intensiteit gedurende de jaren vrij constant gebleven; zuurstof is hier geen beperkende factor.

Zware metalen komen in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde grotendeels geadsorbeerd aan zwevend materiaal voor. In zeevaartse richting neemt met name voor Zn, Cd, Cu en Ni de fractie opgelost materiaal toe, m.a.w. er vindt (zie ook appendix 4) een mobilisatie plaats vanuit het zwevende slib naar de opgeloste fase. De onderwaterbodem is niet routinematig op zware metalen onderzocht. Uit projectmatig onderzoek, uitgevoerd door IB/WL, blijkt evenwel dat de samenstelling van de bodem dikwijls een redelijk beeld geeft van de kwaliteit van het bovenstaande water. In zeevaartse richting nemen de gehalten aan zware metalen in sediment door opmenging met relatief schoon zeeslib af. De gehalten aan de meeste zware metalen (Zn, Cu, Cr, Pb) lijken zowel in de waterfase als in sediment in de loop van de jaren enigszins af te nemen.

Van het pakket organische microverontreinigingen zoals dat op meetpunt Schaar van Ouden Doel (grens) vanaf 1975 wordt onderzocht, zijn slechts enkele parameters detecteerbaar. De gehalten aan  $\alpha$ -HCH en o,p-DDT zijn afgenomen, de waarden liggen aan het eind van de onderzoeksperiode doorgaans beneden de detectiegrens (0,01  $\mu\text{g/l}$ ).  $\gamma$ -HCH beweegt zich op een niveau tot 0,1  $\mu\text{g/l}$ .

Gezien het bovenstaande kan worden gesteld dat de waterkwaliteit van de Westerschelde gedurende de periode 1972-1977 enigszins is verbeterd. Toetsing van de waterkwaliteit aan de IMP-normen is, gezien het feit dat de Westerschelde geen zoet water is, niet mogelijk.

Wel kan gezegd worden dat de waterkwaliteit van de Westerschelde ter plaatse van de grens over het algemeen slechter is dan die van Rijn en Maas. Vooral de zuurstoftoestand is nog steeds erg slecht. Een verbetering van de waterkwaliteit in de Westerschelde is sterk afhankelijk van de saneringsinspanningen bovenstrooms van Schaar van Ouden Doel.

In hoeverre de huidige verontreinigingsgraad van de Westerschelde het aquatisch leven beïnvloedt, is niet bekend. Een onderzoekprogramma in water, bodem en organismen, dat gestalte begint te krijgen, is daarvoor noodzakelijk.

Vooraf voor het oostelijk gedeelte van de Westerschelde verdient dit nadere aandacht. In dit gebied zijn de natuurlijke variaties in het zoutgehalte groot (1-12 g Cl/l) en de vraag is welke en hoe de organismen hier gedijen, mede gezien de toekomstige ontwikkeling in dit deel van de Westerschelde (extra zoetwaterbelasting via spuimiddel Bath).

Tenslotte wordt vermeld dat, gezien het nog niet volledige inzicht in de emissies van bijzondere stoffen zoals organische microverontreinigingen, het onderzoek naar de lozingen van deze afvalstoffen voortdurend de aandacht dient te blijven krijgen.

## APPENDICES

1. Emissie-immissie berekeningen met behulp van een diffusiemodel
2. Nitrificatie
3. Hydrobiologische kenmerken
4. Gedrag zware metalen



## APPENDIX 1

1.1.

### EMISSIE-IMMISSIE BEREKENINGEN MET BEHULP VAN EEN DIFFUSIEMODEL

#### Algemeen

Er bestaat een zekere samenhang tussen de belasting en de waterkwaliteit van de Westerschelde. Een methode om de invloed van diverse belastingsbronnen op de waterkwaliteit te kwantificeren, bestaat uit de toepassing van een rekenmodel.

In het navolgende wordt hierop voor de Westerschelde nader ingegaan. Daarbij staat de vraag "in hoeverre kan de in de Westerschelde gemeten waterkwaliteit met een rekenmodel worden beschreven" centraal. Daarnaast biedt een model, indien sprake is van een goede simulatie van de waterkwaliteit, de mogelijkheid de effecten van saneringsinspanningen te voorspellen. Het beleid inzake sanering van lozingen kan dan steun ondervinden van modelberekeningen.

1.2.

#### Beschrijving van het toegepaste model

In de jaren zestig groeide het besef dat de beschikbaarheid van een rekenmodel om de verspreiding van stoffen in rivieren en estuaria te bestuderen een hulpmiddel zou kunnen zijn bij het waterkwaliteitsbeheer van een dergelijk water.

Een en ander leidde tot de ontwikkeling van een aantal waterkwaliteitsmodellen. Door de Fysische afdeling van de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging werd op verzoek van het RIZA een eendimensionaal model voor het Schelde-estuarium opgezet op grond van de diffusie-advectie vergelijking (35):

$$A(x) \frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ R(x,t)C(x,t) - A(x)K(x) \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} \right\} + \text{bron- of puttermen}$$

waarin: A = dwarsdoorsnede

C = concentratie

R = rivierdebiet

K = diffusiecoëfficiënt

X = lengtecoördinaat

t = tijd

Om de concentratie te kunnen berekenen dienen bovengenoemde grootheden bekend te zijn. De waarden A en R zijn op eenvoudige wijze te bepalen. De diffusiecoëfficiënt is een maat voor de menging die in een bepaald vak van het estuarium optreedt. Deze is afhankelijk van de vormgeving van het vak, de aanwezigheid van platen en geulen, de getijbeweging, e.d. en is dus als zodanig een vergaarbak om er alle waterbewegingsprocessen, die niet exact omschreven kunnen worden, mee te parametriseren (32). De waarden van K dienen door ijking van het model te worden bepaald.

In deze nota wordt niet verder ingegaan op theoretische grondslagen van het model en de vertaling hiervan naar de computer. Hiervoor wordt verwezen naar Suijlen (31).

Met het onderhavige model van het Schelde-estuarium, hier toepasbaar van de uitmonding Rupel (zie bijlage 1) tot ca. 10 km zee- waarts van Vlissingen, kan men zoals uit het bovenstaande blijkt met een betrekkelijk geringe hoeveelheid gegevens een indruk krijgen van de mate waarin stoffen zich in het water verspreiden. Het ééndimensionale model is uiteraard alleen geschikt om die processen te beschrijven, die in hoofdzaak een ééndimensionaal karakter vertonen. Dit is het geval in rivieren, estuaria en andere wateren waarvan de lengte-afmeting groot is t.o.v. breedte en diepte. Concentratiegradiënten over de breedte en diepte doen zich dan nauwelijks voor. In de Westerschelde wordt deze toestand goed benaderd (zie hfd.stk 2.3.: hydrodynamische eigenschappen). Het toegepaste model is in de lengterichting opgedeeld in 22 vakken van ca 5 km. In de afzonderlijke vakken wordt volledige menging verondersteld, d.w.z. bij een lozing wordt aangenomen dat de stof zich homogeen over het vak verdeelt. Dit zal in de praktijk in de vakken nabij het lozingspunt niet het geval zijn. Het model is dan ook beter geschikt om de situatie op enige afstand van het lozingspunt, waar de geloosde stof volledig gemengd is, te beschrijven.

Voor een estuarium berekent het model de getijgemiddelde toestand, in dit geval halftij na hoogwater. Dit impliceert dat het model voor kleine tijdschalen geen bruikbare resultaten levert. Pas na doorrekenen van een aantal getijden kan een betrouwbaar beeld worden verkregen.

Het model bezit de mogelijkheid de verspreiding van zowel conservatieve als niet-conservatieve stoffen te berekenen.

Conservatieve stoffen zijn niet aan chemische reacties of sedimentatie onderhevig zoals chloride en fluoride. Voor niet-conservatieve, bijvoorbeeld afbreekbare stoffen, dienen voor de berekening de reactieconstanten bekend te zijn.

In deze nota wordt vooralsnog alleen gerekend met (nagenoeg) conservatieve stoffen.

Met het model kunnen zowel stationaire als niet-stationaire toestanden worden doorgerekend. In niet-stationaire (= dynamische) toestand varieert de afvoer als functie van de tijd.

Het model is aan de hand van gemeten chloridegehalten in België en Nederland geijkt over de periode 1972-1975 (32). Bij de ijking wordt een willekeurig set K-waarden gekozen en wordt nagegaan of het berekende verloop van het zoutgehalte in het meest zeewaartse punt overeenkomt met de gemeten zoutconcentratie. Indien dit niet het geval is, dan worden de zeewaarts van dit punt gelegen uitwisselingscoëfficiënten zodanig aangepast dat er wel een goede overeenkomst is.

Vervolgens wordt het eerstvolgende stroomopwaarts gelegen punt gefit. Deze opbouw van de K-waarde, vanuit de zeerand in stroomopwaartse richting, komt voort uit het feit dat de concentratie  $C(X)$  in eerste benadering alleen afhankelijk is van wat stroomopwaarts van X gebeurt.

Het uiteindelijke resultaat is een set K-waarden voor de verschillende vakken langs de lengte-as van het estuarium. Opgemerkt moet worden dat de optimalisatie van het model bij de afronding van de nota nog niet geheel voltooid is. De resultaten van de ter sprake komende emissie-immissie toesingen leveren dan ook vooral een bijdrage tot het optimalisatieproces en kunnen beschouwd worden als een vingeroefening. Exacte resultaten zijn in dit stadium nog niet te verkrijgen.



1.3.

### Gekozen stoffen voor de toetsing

Een redelijke voorspelling van het gehalte aan een stof in de Westerschelde aan de hand van emissiegegevens is alleen mogelijk indien aan een aantal voorwaarden wordt voldaan, zoals:

- beschikbaarheid van emissiegegevens
- beschikbaarheid van waterkwaliteitsgegevens
- (nagenoeg) conservatief gedrag òf een goed inzicht in de grootte van de reactieconstanten.

In de Westerschelde wordt door slechts enkele variabelen aan het bovengenoemde voldaan. Voorshands worden de berekeningen voor totaal stikstof het meest zinvol geacht. De belasting van de Westerschelde met deze stof is redelijk nauwkeurig bekend (zie hfd.stk 3). Van de twee grootste bronnen, de Schelde vanuit België en het Kanaal Gent-Terneuzen, is de belasting maandelijks te berekenen. Van de overige, minder belangrijke bronnen zijn redelijke gemiddelde waarden bekend.

In het oostelijk gedeelte van de Westerschelde zijn vanaf 1972 gehalten aan totaal stikstof voorhanden van de meetpunten Schaar van Ouden Doel, Overloop van Valkenisse, Schaar van Waarde en Hansweert. Van de overige meetpunten zijn vanaf 1977 gehalten aan totaal stikstof te berekenen.

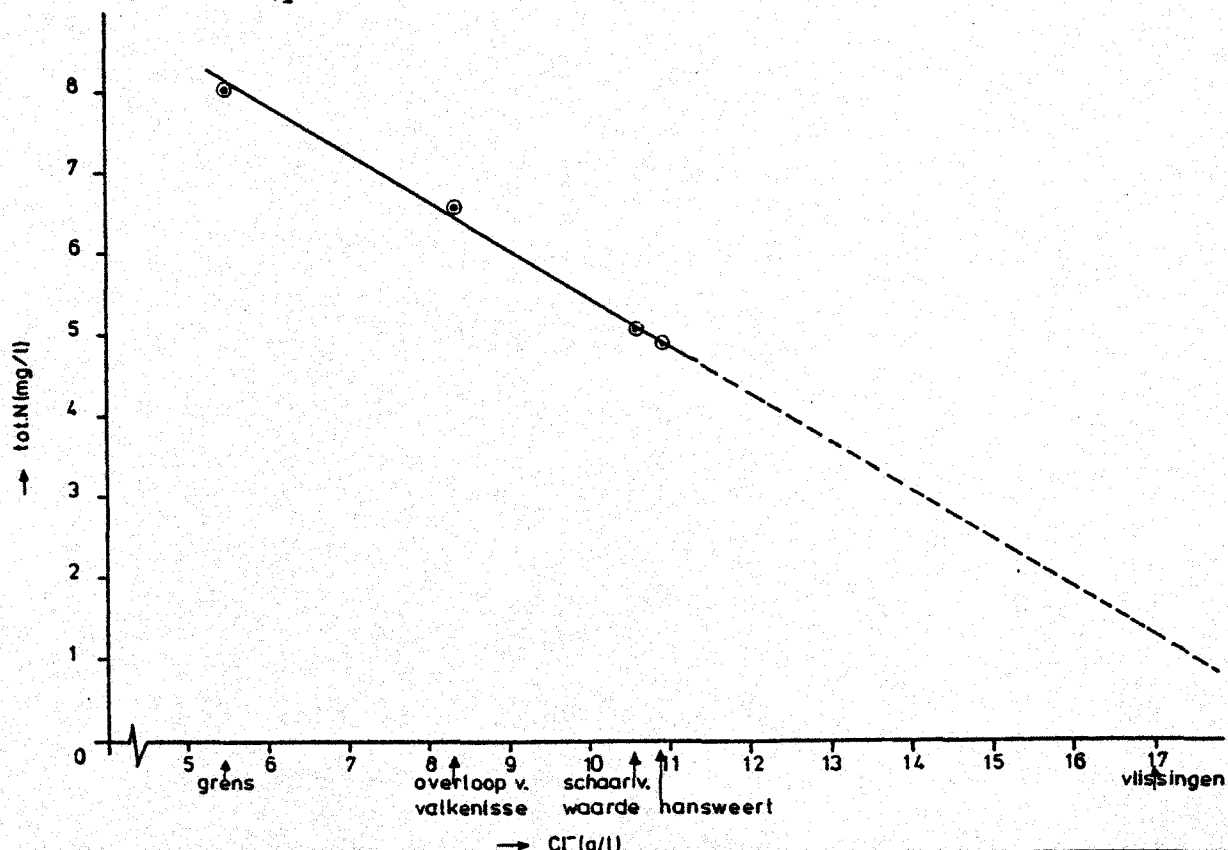
De monsters zijn in het algemeen niet op halftij na hoogwater, van welke situatie het model uitgaat, genomen. Zo wordt meetpunt Schaar van Ouden Doel (grens) doorgaans omstreeks laagwater bemonsterd, dit t.b.v. een goede vergelijkbaarheid met Belgische meetresultaten.

Voor overeenstemming met de modelresultaten dienen de meetwaarden derhalve omgerekend te worden naar de situatie halftij na hoogwater. Deze "manipulatie", verzeiling of synoptisatie genoemd, houdt in dat de meetresultaten, als functie van de stroomsnelheid zodanig stroomop- of stroomafwaarts verplaatst dienen te worden totdat het tijdstip halftij na hoogwater bereikt is. Op deze manier worden aan alle meetresultaten nieuwe lokaties toegekend met dezelfde getijfase, namelijk halftij na hoogwater. De concentratie in deze getijfase op de oorspronkelijke plaats wordt nu berekend door middel van lineaire interpolatie.

De bewerking is vooralsnog alleen uitgevoerd voor de periode aug. 1972-dec. 1975, aangezien voor deze periode de berekening betrekkelijk eenvoudig is (bij de ijking van het model is namelijk reeds een hoeveelheid basismateriaal over deze periode verzameld).

Een inzicht in de mate van conservatief gedrag van totaal stikstof is te verkrijgen m.b.v. meetgegevens in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde. In dit gedeelte wordt de stikstofconcentratie nagenoeg volledig bepaald door de Scheldevracht vanuit België. Afvalwaterlozingen spelen hier nauwelijks een rol. Bij conservatief gedrag dient het stikstofgehalte dan lineair af te nemen bij toenemende chloridegehalten. Zoals uit figuur 2 blijkt, wordt hieraan gemiddeld goed voldaan, hoewel 4 meetpunten ter beoordeling van het gedrag weinig is. Bovenstaande uitspraak omtrent conservatief gedrag wordt echter geruggesteund door het gegeven dat de stikstofconcentratie in kustwater (17-18 g Cl/l) doorgaans 0,5-1 mg N/l bedraagt, een waarde die ook gevonden wordt door extrapolatie van de getekende rechte. Meetresultaten van 1977 over de gehele lengte van de Westerschelde wijzen eveneens op conservatief gedrag. Op de afzonderlijke meetdagen wordt, mits de afvoer niet te sterk varieert, eveneens veelal een lineaire afname t.o.v. het Cl-gehalte waargenomen.

Figuur 2: het gehalte aan totaal stikstof in de Westerschelde (periode 1972-1976).



1.4. Emissie-immissie berekeningen

De vergelijking van de gemeten waarden met de aan de hand van emissiegegevens te berekenen gehalten is uitgevoerd voor de meetpunten Schaar van Ouden Doel, Overloop van Valkenisse en Hansweert (zie bijlage 18). Van deze meetpunten zijn de gehalten aan totaal stikstof over de periode 1972-1975 goed bekend. Na omrekening naar de getijfase "halftij na hoogwater" is het gemeten verloop aangegeven in de bijlagen 66, 67 en 68 (getrokken lijnen). Voor de berekening van de gehalten zijn de volgende belastingbronnen onderscheiden:

- Belgische Schelde
- Kanaal Gent-Terneuzen
- afvalwaterlozingen
- polderlozingen
- Noordzee

Als randvoorwaarde voor het model dient de concentratie in de randvakken, te weten nabij Schelle (zie bijlage 1) en ca. 10 km zeewaarts van Vlissingen, bekend te zijn. Te Schelle is een concentratie 0 aangenomen, aangezien het verloop van het stikstofgehalte op het Belgisch gebied in dit kader niet relevant is en voor de Westerschelde wordt gerekend met de grensoverschrijdende vracht, die nabij de grens als lozing wordt ingevoerd.

Op de Noordzee, 10 km zeewaarts van Vlissingen, is de concentratie 0,7 mg N/l gesteld, een voor dat gebied gemiddelde waarde. Het berekende verloop van de stikstofgehalten te Schaar van Ouden Doel, Overloop van Valkenisse en Hansweert wordt getoond in de bijlagen 66, 67 en 68 (onderbroken lijn).

De berekeningen zijn volgens het programma VEDWAM, gevalnummers 453, 455, 456 en 457.

Indien het gemeten verloop wordt vergeleken met de berekende waarden kan een aantal opmerkingen worden gemaakt.

- Het gemeten verloop vertoont, met name te Schaar van Ouden Doel dikwijls een grilliger beeld dan het berekende concentratieverloop. Dit is niet verwonderlijk, immers, de gemeten waarden zijn steeds een momentopname, de aan het eind van elke maand berekende gehalten zijn echter een resultaat van maandgemiddelde gegevens, waardoor een zekere afvlakking optreedt.

- Het verloop in de tijd van de gemeten waarden wordt door de modelberekeningen goed gesimuleerd. Alleen in de winter en het najaar van '74 is een discrepantie zichtbaar.
- Het berekende concentratieniveau is gelijk of soms hoger dan de gemeten waarden. De indruk bestaat dat het verschil tussen berekende en gemeten gehalten in zeewaartse richting groter wordt. Dit zou kunnen betekenen dat stikstof zich niet geheel conservatief gedraagt ofschoon dan verwacht mag worden dat het concentratieverschil in perioden van hoge afvoeren, dan is de looptijd kleiner, afneemt. Dit is niet het geval. Mogelijk zijn niet geheel juiste modelconstanten (K-waarde) de oorzaak of zijn de verzeilingsberekeningen, die sterk beïnvloed worden door plaatselijke stromingen, de oorzaak. Hierin bestaat thans geen inzicht.

Niettemin geven de resultaten voldoende houvast om de bijdragen van de afzonderlijke belastingbronnen aan het gehalte aan totaal stikstof in de Westerschelde betrouwbaar weer te geven.

De bijlagen 69, 70, 71 en 72 tonen het berekende verloop voor totaal stikstof voor de punten Schaar van Ouden Doel, Overloop van Valkenisse, Hansweert en Hoofdplaat. Voor de ligging wordt verwezen naar bijlage 18.

De gehalten zijn opgebouwd uit verschillende bijdragen. Zichtbaar is dat in het oostelijk gedeelte de stikstofconcentraties nagenoeg volledig worden bepaald door de belasting via de Schelde. De bijdragen van de overige belastingbronnen (het verschil tussen de "totaallijn" en de "Scheldelijn") zijn hier gering. Natte perioden zoals de winter 74/75 komen duidelijk tot uitdrukking, de relatieve invloed van de Schelde is dan nog groter.

De bijdrage van de Noordzee is niet expliciet afleesbaar maar is in de verschillende bijdragen steeds meegeteld. De bijdrage van de Noordzee neemt in inwaartse richting lineair af met het zoutgehalte en kan te Hoofdplaat op ca. 0,5 mg N/l worden gesteld in het oostelijk gedeelte op 0,2-0,3 mg N/l.

Ook in het westelijk gedeelte van de Westerschelde (Hoofdplaat) is de Schelde-invloed nog duidelijk aantoonbaar, bij gemiddelde afvoeren is de bijdrage ca. 1 mg N/l ( $\approx$  50%). De afvalwaterlozingen op Nederlands gebied komen nauwelijks tot uitdrukking.

Zoals uit de bijlagen blijkt, dragen de lozingen (++++), na correctie voor het achtergrondgehalte van zeewater, voor 0,2-0,3 mg N/l bij aan het totale stikstofgehalte. De intensieve menging in de Westerschelde door het pendelend getij komt nog eens naar voren in de verspreiding van stikstof vanuit het Kanaal Gent-Terneuzen. Zelfs te Schaar van Ouden Doel, 35 km stroomopwaarts, is de invloed hiervan merkbaar: ca. 0,5 mg N/l.

In de bijlagen komt duidelijk naar voren dat, indien uit een oogpunt van waterkwaliteit (normstelling) een verlaging van het stikstofgehalte in de Westerschelde gewenst is, vooral de saneringen bovenstrooms van Schaar van Ouden Doel een wezenlijke bijdrage kunnen leveren. Deze uitspraak gaat duidelijk op voor het oostelijk gedeelte van de Westerschelde, doch ook in het mondingsgebied wordt het stikstofgehalte nog voor tientallen procenten door de Scheldevracht bepaald.

## 2.5.

### Samenvatting

De waterkwaliteit van de Westerschelde is onlosmakelijk verbonden met de belasting van dit estuarium met diverse stoffen. Een methode om de invloed van de verschillende belastingbronnen op de waterkwaliteit te kwantificeren of de effecten van saneringen te voorspellen, bestaat uit de toepassing van een rekenmodel. Voor de Westerschelde is, ofschoon de calibratie nog niet geheel afgerond is, een dispersiemodel voorhanden met behulp waarvan, onder de voorwaarde dat de belastingbronnen bekend zijn, de gemeten waterkwaliteit kan worden gesimuleerd. De berekeningen zijn t.b.v. deze nota alleen opgezet voor stikstof. Van deze parameter zijn de gehalten in de Westerschelde goed bekend en bestaat er een redelijk inzicht in de omvang van de belasting. Gebleken is dat het gemeten concentratieverloop van stikstof redelijk nauwkeurig beschreven kan worden door het rekenmodel.

Wat de afzonderlijke bijdragen betreft moet worden opgemerkt dat de belasting via de Belgische Schelde het stikstofgehalte in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde nagenoeg volledig bepaalt. Ook nabij Vlissingen is de Schelde-invloed nog groot.

De overige belastingbronnen zoals het kanaal Gent-Terneuzen, afvalwaterlozingen en polderwaterlozingen zijn van ondergeschikt belang en dragen m.u.v. het kanaal Gent-Terneuzen slechts op lokale schaal bij tot de concentratieniveaus.

Dit betekent dat vooral na sanering bovenstrooms van Schaar van Ouden Doel een merkbare verlaging van de stikstofgehalten in de gehele Westerschelde te verwachten is.

## APPENDIX 2

### 2. NITRIFICATIE

#### 2.1. Algemeen

Het Schelde-estuarium wordt in aanzienlijke mate met stikstofverbindingen belast, grotendeels in de vorm van ammonium.

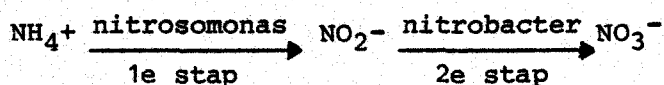
Ammonium kan middels het nitrificatieproces worden geoxydeerd tot nitraat, hetgeen een aanmerkelijke hoeveelheid zuurstof vergt.

In het navolgende zal worden ingegaan op de nitrificatieprocessen in de Schelde en Westerschelde. Aangegeven zal worden op welke trajecten nitrificatie het sterkst optreedt en in hoeverre dit gevolgen heeft voor de zuurstofhuishouding.

Allereerst wordt het nitrificatieproces nader besproken.

#### 2.2. Het nitrificatieproces

Nitrificatie, de microbiële omzetting van ammonium in nitriet en vervolgens in nitraat, kan vereenvoudigd als volgt worden weergegeven:



De beide reactiestappen verlopen over het algemeen simultaan, ofschoon de eerste stap, met name in brakke wateren, in de beginfase sneller kan verlopen dan de tweede. Dit kan aanleiding geven tot een (tijdelijke) concentratieverhoging van nitriet (14,15). Uit studies (15) is naar voren gekomen dat de kinetiek van het nitrificatieproces (1e stap) in de stationaire toestand dikwijls beschreven kan worden met een eerste orde reactievergelijking:

$$\frac{-dc}{dt} = K_n \times c$$

waarin:  $\frac{dc}{dt}$  = concentratieverandering per tijdseenheid ( $\text{kg/m}^3 \cdot \text{s}$ )

$c$  = substraatconcentratie (in dit geval ammonium)  
( $\text{kg/m}^3$ )

$K_n$  = nitrificatiesnelheidsconstante ( $\text{s}^{-1}$ )

Geïntegreerd levert dit:

$$C_1 = C_0 e^{-K_n t} + A$$

$C_1$  = substraatconc. op  $t=1$

$C_0$  = substraatconc. op  $t=0$

$A$  = integratieconstante.

Indien geen nitrificatie optreedt is  $C_1=C_0$  en  $K_n=0$ , waaruit volgt:  $A=0$ .

De mate van nitrificatie in een oppervlaktewater wordt o.a. bepaald door de fysisch-chemische eigenschappen van het water. Hiermee wordt bedoeld dat nitrificatie slechts optreedt onder omstandigheden waarbij geoxydeerde vormen van stikstof thermodynamisch gezien stabiel kunnen voorkomen, anders gezegd, onder omstandigheden waarbij de ammoniumoxydatie energie oplevert (16,17,18).

Dit is wel begrijpelijk gezien het feit dat de nitrificerende bacteriën de benodigde (metabolische) energie uitsluitend putten uit de ammoniumoxydatie. Op grond van een thermodynamisch evenwichtsmodel (16) wordt de stabiliteit van geoxydeerde stikstofverbindingen begrensd door de volgende relatie:

$$E_h \gg 0,897 - 0,079 \text{ pH}$$

waarin:  $E_h$  = redoxpotential (V), te meten in het water  
 $\text{pH}$  = zuurgraad

Bij een hogere gemeten  $E_h$ -waarde dan te berekenen is uit bovenstaande relatie is stikstof in geoxydeerde vorm ( $\text{NO}_2, \text{NO}_3$ ) stabiel, bij lagere waarden is de gereduceerde vorm ( $\text{NH}_4$ ) stabiel. In het Schelde-estuarium is onderzoek verricht naar de toepasbaarheid van de theoretische relatie.

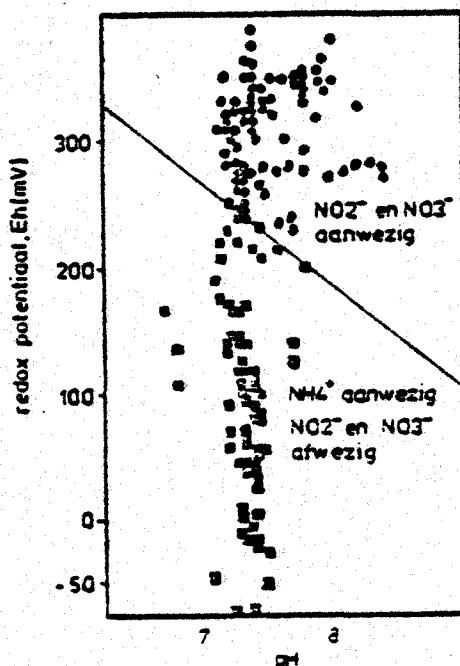
Empirisch werd als "ondergrens" voor de stabiliteit van geoxydeerde N verbindingen gevonden (16):

$$E_h \gg 0,820 - 0,08 \text{ pH}$$

hetgeen goed overeenkomt met de theoretische benadering. Ter illustratie is e.e.a. in de onderstaande figuur zichtbaar.



figuur 3: het voorkomen van ammonium, nitriet en nitraat in het Schelde-estuarium (1973,1974), als functie van redoxpotentiaal en pH (naar Billen, 1975).



- : ammonium aanwezig als enige minerale stikstofverbinding in concentraties > 0,03 mg/N/l
- : geoxydeerde stikstofverbindingen aanwezig.

Op stoichiometrische gronden is voor de oxydatie van 1 mg N 4,57 mg O<sub>2</sub> vereist. Behalve de nitrificatie vinden tevens andere stikstofomzettingen plaats zoals die t.b.v. celsyntheses. Een en ander betekent dat, indien de zuurstofbehoefte voor nitrificatie wordt berekend op basis van NH<sub>4</sub><sup>+</sup> afname, de theoretische waarde 4,57 mg O<sub>2</sub>/mg omgezet N naar verwachting niet gehaald wordt. Experimenten (19,20) wijzen op een direct zuurstofverbruik van ca. 4,3 mg O<sub>2</sub>/mg omgezet N. Met deze waarde zal worden gerekend.

### 2.3. Nitrificatie in het Schelde-estuarium

#### 2.3.1. De beschouwde nitrificatiezône

Bestudering van de waterkwaliteit van het Schelde-estuarium geeft het volgende beeld. Stroomopwaarts van Antwerpen is het Scheldewater nagenoeg zuurstofloos: er treedt geen nitrificatie op. Wel vindt heterotrofe bacteriële activiteit plaats zoals reductie van NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe (OH)<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> etc. Stroomafwaarts van Antwerpen treedt

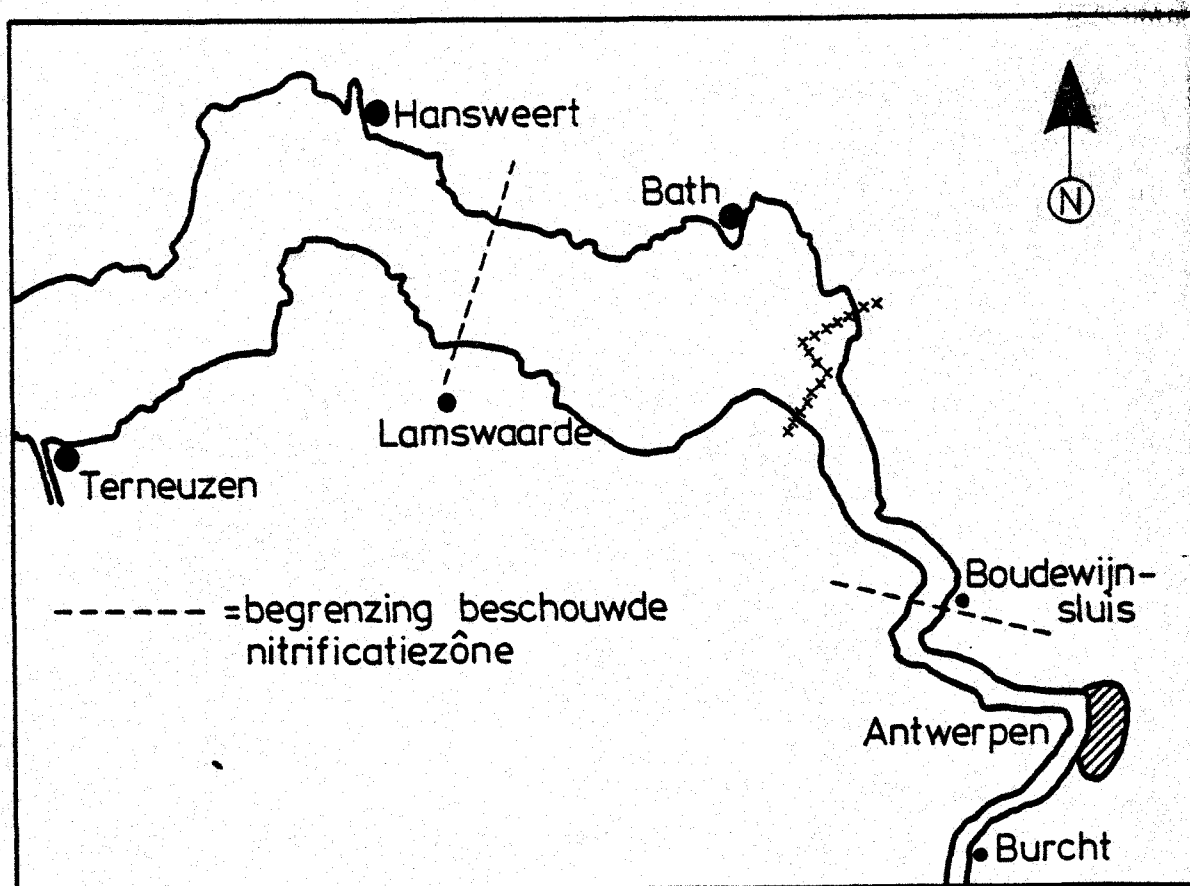
door verdunning met zeewater en toenemende reaëratie een geleidelijk herstel van het zuurstofgehalte op, waardoor de nitrificatie aanvangt.

Dit blijkt teven uit de redoxpotentiaal die van ca. -100 mV ('s-zomers) bij Antwerpen (km 85) snel oploopt tot ongeveer 350 mV nabij de grens (16).

Verder stroomafwaarts neemt het ammoniumgehalte door verdunning en omzetting sterk af. Westelijk van Lamswaarde (km 55) is de verdunning met zeewater zodanig groot geworden dat een redelijke schatting van de nitrificatiesnelheid door de geringe concentratiegradiënten (gecorrigeerd voor de verdunning met zeewater) niet goed mogelijk is.

De voor de berekeningen aangehouden nitrificatiezône is derhalve begrensd en kan globaal worden aangegeven als het traject Antwerpen-Lamswaarde (zie fig.4)

Figuur 4: de beschouwde nitrificatiezône



In deze zône is onderscheid gemaakt in een drietal trajecten:

- I Boudewijnsluis-grens
- II grens-Bath
- III Bath-Lamswaarde

Tabel 21: Afmetingen van de verschillende trajecten

	TRAJECT		
	I	II	III
volume ( $10^6\text{m}^3$ )	63	90	150
oppervlakte ( $10^6\text{m}^2$ )	8,4	13	25

2.3.2. Uitgangspunten voor de berekeningen

Aan de hand van de routinematige meetgegevens op Belgisch en Nederlands gebied over de periode 1972-1977 is vanaf 1975 een aanzienlijke daling van het ammoniumgehalte en een stijging van het nitraatgehalte geconstateerd. Deze ontwikkeling is grotendeels toe te schrijven aan de saneringen welke in de Noord-Antwerpse industrie agglomeratie hebben plaatsgevonden. Bedroeg volgens opgave van de "Vereniging van industriële bedrijven van Noord-Antwerpen" de Kjeldahlstikstofbelasting in '72, '73 en '74 ca. 8000 ton/jr, in 1975 was deze teruggebracht tot ca. 6000 ton/jr en in 1977 tot 1800 ton/jr (21).

Hetzelfde beeld is van toepassing voor de BOD-belasting (1972: 65000 ton, 1977 14000 ton). Gezien deze ontwikkeling is het voor de hand liggend de nitrificatie over 2 tijdsintervallen te beschouwen:

- de periode 1972-1974 (april-september)
- de periode 1975-1977 (april-september)

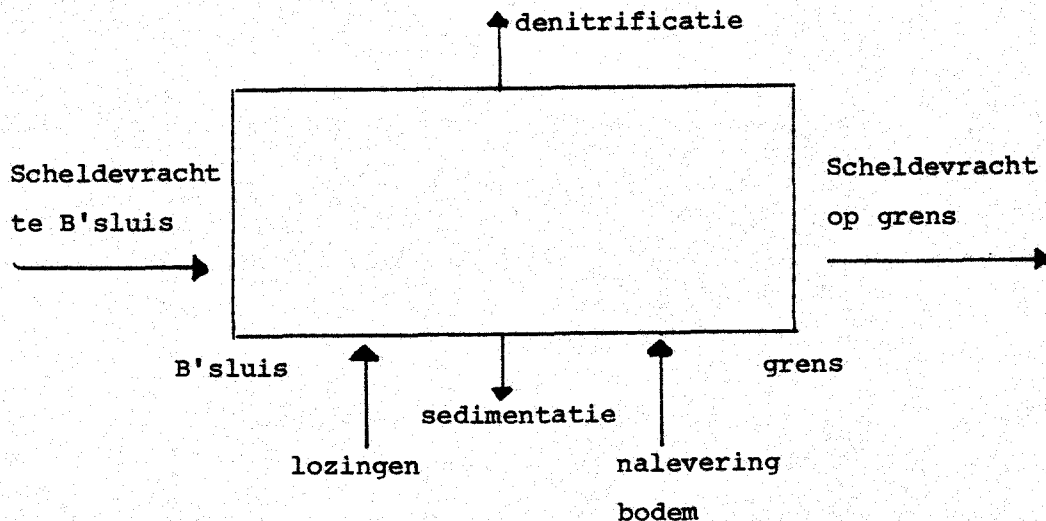
De gemeten zuurstof-, ammonium en nitraat+nitrietgehalten zijn als functie van het chloridegehalte zichtbaar in de bijlagen 73 en 74. De saneringen nabij Antwerpen komen naar voren in het concentratieverloop van ammonium en nitraat.

Opgemerkt wordt dat eerst in 1977 gestart is met de afzonderlijke bepaling van nitriet en nitraat. Vóór 1977 is nitraat + nitriet als somparameter geanalyseerd. Dit heeft tot gevolg dat bij de berekeningen volledige nitrificatie wordt aangenomen; eventuele accumulatie van nitriet kan niet worden opgemerkt.

De berekeningen van de nitrificatie kunnen gebaseerd zijn op een concentratie-afname van ammonium enerzijds en een concentratie-toename van nitraat + nitriet anderzijds over een bepaald traject, rekening houdend met verdunning door zeewater.

In principe dient bij nitrificatie de nitraattoename gelijk te zijn aan de ammoniumafname. Met name over het traject Boudewijnsluis-grens gaat dit niet op: hier wordt gemiddeld een aanmerkelijk grotere nitraattoename berekend dan verwacht mag worden op basis van de ammoniumafname. Een inzicht in de oorzaak van dit verschil is mogelijk wanneer de massabalans wordt opgesteld.

Hiervoor dient, behalve de concentraties aan ammonium en nitraat, tevens het gehalte aan organisch stikstof bekend te zijn. Gegevens hieromtrent zijn alleen voorhanden over het traject Boudewijnsluis-grens over de periode 1975-1977. Schematisch kan de massabalans voor stikstof als volgt worden weergegeven:



De in- en uitgaande stofstromen ter hoogte van resp. Boudewijnsluis en de grens zijn aan de hand van gemeten gehalten en de rivierafvoer eenvoudig te bepalen. De resultaten zijn, uitgedrukt in ton N/zomerhalfjaar, samengevat in onderstaande tabel.

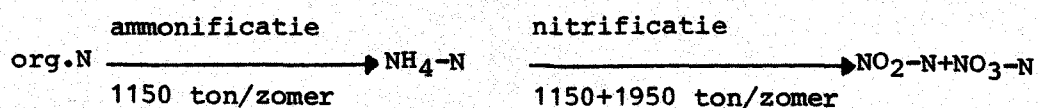
Tabel 22: In- en uitgaande stikstofvrachten voor het traject Boudewijnsluis-grens (gemiddeld over 1975-1977).

	IN Boudewijnsluis (ton N/zomer- halfjr)	UIT grens (ton N/zomer- halfjr)	VERSCHIL grens-B'sluis (ton N/zomer- halfjr)
NH <sub>4</sub> -N	6320	4370	- 1950
NO <sub>3</sub> -N	1580	4650	+ 3070
org. N	2550	1400	- 1150
tot.N	10450	10420	- 30

Op basis van in- en uitgaande stofstromen blijkt de massabalans goed te kloppen. Dit betekent dat de stikstoftoevoer (lozingen, nalevering bodem) binnen het traject in evenwicht is met de stikstofverwijdering (sedimentatie, ontwijken N<sub>2</sub>) òf dat bovengenoemde termen verwaarloosbaar zijn in de massabalans. Hieromtrent bestaat op dit moment geen duidelijkheid. Deze posten kunnen dan ook niet in de nitrificatieberekeningen worden meegenomen, er wordt volstaan met de gegevens in tabel 22. Terugkomend op de doelstelling van de massabalans, het verklaren van de discrepantie tussen nitraattoename en ammoniumafname, kan het volgende worden vermeld.

De afname in de vracht aan organisch stikstof wijst op ammonificatie, de omzetting van organisch stikstof in ammoniumstikstof. De mineralisatie is benedenstrooms van Antwerpen nog niet voltooid. Derhalve is de hoeveelheid geoxydeerd ammonium niet eenvoudigweg af te leiden uit de berekende ammoniumafname, maar dient tevens organisch stikstof bij de berekeningen te worden betrokken.

Uitgaande van de aanname dat de vermindering van de vracht aan organisch stikstof volledig toe te schrijven is aan ammonificatie, ontstaat het volgende beeld:



Totaal is dan 1150+1950=3100 tonN/zomerhalfjaar genitrificeerd.  
Op basis van nitraat werd 3070 ton/zomerhalfjaar berekend.  
Gezien het bovenstaande worden de nitrificatieberekeningen op de  
toename van nitraat, eigenlijk nitriet+nitraat, gebaseerd en niet  
op de ammoniumafname.

Verder is voor de berekening van de nitrificatiesnelheid een  
inzicht in de gemiddelde verblijftijd nodig, voor een bepaald  
traject gedefinieerd als het quotiënt van zoetwatervolume en  
debiet, oftewel:

$$\tau = \frac{\left( \frac{Cl_{kust} - Cl}{Cl_{kust}} \right) * V}{Q}$$

- waarin:  $\tau$  = gemiddelde verblijftijd  
Cl kust= chloridegehalte kustwater  
Cl = gemiddeld chloridegehalte in het beschouwde tra-  
ject  
V = inhoud traject  
Q = debiet Schelde

De gemiddelde Schelde-afvoer over de zomerhalfjaren van 1972-1974  
bedraagt 48 m<sup>3</sup>/s, over 1975-1977 62 m<sup>3</sup>/s.  
Dit leidt tot de volgende gemiddelde verblijftijden:

Tabel 23: gemiddelde verblijftijd in dagen.

	zomerhalfjaren 1972-1974	zomerhalfjaren 1975-1977
B'sluis-grens (I)	11,0	8,3
grens-Bath (II)	13,0	10,0
Bath-Lamswaarde (III)	17,7	14,0

2.3.3. Nitrificatieberekeningen

Aan de hand van de gemeten nitraatconcentraties en de verblijftijd is voor de verschillende trajecten m.b.v. de geïntegreerde nitrificatievergelijking de nitrificatiesnelheid te bepalen. Aangezien de nitraatvrachten voor het traject B'sluis-grens reeds eerder bepaald zijn (zie tabel 22) kan de nitrificatiesnelheidsconstante in dit geval op eenvoudige wijze berekend worden. Herschrijving van de nitrificatievergelijking in vrachttermen levert:

$$Q \cdot C_1 = Q \cdot C_0 e^{K_n t}$$

$$\text{oftewel } K_n = \frac{1}{t} \ln \frac{Q \cdot C_1}{Q \cdot C_0} \rightarrow K_n = \frac{1}{8,3} \ln \frac{4650}{1580} = 0,13 \text{ d}^{-1}$$

Voor de andere trajecten gelden voor de verschillende tijdsperioden de volgende vrachten:

Tabel 24: in- en uitgaande nitraatvrachten (ton/zomer) op verschillende trajecten.

	zomerhalfjaren 1972-1974			zomerhalfjaren 1975-1977		
	Q.C <sub>1</sub>	Q.C <sub>0</sub>	Δ	Q.C <sub>1</sub>	Q.C <sub>0</sub>	Δ
traject I	1110	150	960	4650	1580	3070
traject II	2180	1110	1070	5700	4650	1050
traject III	3670	2180	1490	7120	5700	1420

Na toepassing van de nitrificatievergelijking levert dit:

Tabel 25: Berekende K<sub>n</sub>-waarden (d<sup>-1</sup>) in Schelde en Westerschelde.

		zomerhalfjaren 1972-1974	zomerhalfjaren 1975-1977
B'sluis-grens	(I)	0,18	0,13
grens-Bath	(II)	0,052	0,02
Bath-Lamswaarde	(III)	0,03	0,016

Nogmaals wordt vermeld dat de  $K_n$ -waarden zijn gebaseerd op nitraat. Indien de constante zou worden berekend op basis van een concentratieafname van de gereduceerde stikstofverbindingen ( $NH_4$  en organisch stikstof) verandert deze aanmerkelijk, hoewel het proces hetzelfde is (alleen de verhouding  $Q.C_1/Q.C_0$  verandert!) Een betere indruk van de nitrificatie-intensiteit wordt dan ook verkregen als de hoeveelheid geproduceerd  $NO_3-N$  per tijdseenheid wordt berekend ( $\frac{dc}{dt}$ ). Deze is gelijk aan  $K_n \cdot \bar{C}$  waarbij  $\bar{C}$  de gemiddelde nitraatconcentratie op een traject is.

Een en ander resulteert in onderstaande tabel.

Tabel 26: nitrificatiesnelheid in Schelde en Westerschelde.

		nitrificatiesnelheid (mgN/l.etm)	
		zomerhalfjaren 1972-1974	zomerhalfjaren 1975-1977
B'sluis-grens	(I)	0,10	0,26
grens-Bath	(II)	0,066	0,064
Bath-Lamswaarde	(III)	0,055	0,052

Somville (22) noemt voor het Schelde-estuarium waarden van 0-0,35 mgN/l.etm, welke range goed overstemt met bovengenoemde resultaten.

Zichtbaar is dat de saneringen op Belgisch gebied hebben geresulteerd in een sterke toename van de nitrificatie op de Schelde, door de reductie van de BOD-belasting komt meer zuurstof voor het nitrificatieproces beschikbaar. In het oostelijk gedeelte van de Westerschelde is de nitrificatiesnelheid door de jaren constant gebleven. De snelheid wordt hier niet bepaald door het zuurstofgehalte maar, naar wordt aangenomen, door de concentratie aan nitrificerende bacteriën (16).



2.3.4. Nitrificatie en zuurstofhuishouding

Wat de zuurstofhuishouding betreft, kan worden opgemerkt dat de oxydatie van 1 mgN in de praktijk ca. 4,3 mgO<sub>2</sub> vergt (zie paragraaf 2.2. van deze appendix).

Zuurstoftoevoer geschiedt onder meer door reaëratie. Interessant is het aan te geven in welke mate de zuurstofbehoefte door nitrificatie wordt gecompenseerd door zuurstofinbreng als gevolg van reaëratie.

Reaëratie wordt beschreven door:

$$-\frac{dD}{dt} = K_2 D$$

waarin:  $-\frac{dD}{dt}$  = zuurstofinbreng per tijdseenheid (kg/m<sup>3</sup>.s)  
 $K_2$  = reaëratiecoëfficiënt (s<sup>-1</sup>)  
 $D$  = zuurstofdeficiet (kg/m<sup>3</sup>)

De reaëratiecoëfficiënten zijn overeenkomstig aan die gebruikt zijn in het diffusiemodel voor het Schelde-estuarium (appendix 1) en bedragen:

traject I : 1,8\*10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup>  
 traject II : 2,0\*10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup>  
 traject III : 3,2\*10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup>

De gemiddelde zuurstofgehalten zijn in de periode 1972-1977 nauwelijks veranderd. Gemiddeld kan voor zuurstofdeficiet worden aangehouden:

traject I : 7,5 mgO<sub>2</sub>/l  
 traject II : 7 mgO<sub>2</sub>/l  
 traject III : 5 mgO<sub>2</sub>/l

De berekende zuurstofinbreng door reaëratie is in onderstaande tabel aangegeven. Ter vergelijking is tevens het zuurstofverbruik door nitrificatie vermeld (4,3 maal de waarde uit tabel 24).

Tabel 27: zuurstofinbreng door reaëratie en zuurstofverbruik door nitrificatie (ton O<sub>2</sub>/zomerhalfjaar)

	reaëratie	nitrificatie	
		1972-1974	1975-1977
B'sluis-grens (I)	12800	4130	13200
grens-Bath (II)	19100	4600	4520
Bath-Lamswaarde (III)	36600	6400	6100

Af te lezen is dat in de periode 1975-1977 de nitrificatie op het Belgische gedeelte een hoeveelheid zuurstof vraagt, die qua orde-grootte gelijk is aan de door reaëratie ingebrachte hoeveelheid. Ook door andere processen zoals mineralisatie wordt op dit traject een hoeveelheid zuurstof gebruikt. Dit leidt er kennelijk toe dat het  $O_2$ -gehalte op een niveau van 1 mg/l blijft hangen, dit is een niveau waar beneden nitrificatie nauwelijks of niet optreedt. In de Westerschelde wordt het zuurstofverbruik door nitrificatie en mineralisatie ruimschoots gecompenseerd door reaëratie en menging met zeewater; het zuurstofgehalte neemt snel toe.

#### 2.4. Samenvatting

Door de aanzienlijke stikstofbelasting van het Scheldeestuarium is nitrificatie, de oxydatie van ammonium tot nitriet en vervolgens nitraat, een belangrijk proces dat een aanmerkelijke hoeveelheid zuurstof kan vergen.

Een nadere beschouwing leert dat stroomopwaarts van Antwerpen als gevolg van minimale zuurstofgehalten geen nitrificatie optreedt. Stroomafwaarts van Antwerpen komt door verdunning en toenemende reaëratie zuurstof beschikbaar voor het nitrificatieproces. Door saneringen in het Antwerpse industriegebied, waardoor voor nitrificatie een extra hoeveelheid zuurstof beschikbaar is, is vanaf 1975 de nitrificatie-intensiteit tussen Antwerpen en de grens sterk toegenomen. Het huidige zuurstofverbruik door nitrificatie is qua grootte vergelijkbaar met de zuurstofinbreng door reaëratie en bedraagt tussen Boudewijnsluis en de grens ca. 13000 ton/zomerhalfjaar. Mede door deze aanzienlijke zuurstofvraag laat het zuurstofniveau in de Schelde zowel voor als na 1975 te wensen over; het gehalte bedraagt 1-2  $mgO_2/l$ .

De nitrificatiesnelheid in de Westerschelde is door de sterke verdunning met zeewater lager dan in de Belgische Schelde. Westelijk van Lamswaarde zijn de nitrificatieberekeningen door de kleine concentratiegradiënten niet meer goed uitvoerbaar en derhalve achterwege gelaten.

Het herstel van het zuurstofgehalte wordt in de Westerschelde in mindere mate dan in de Belgische Schelde beïnvloed door het nitrificatieproces; reaëratie en menging met zuurstofrijk zeewater zijn hier vooral bepalend voor het zuurstofgehalte.



### APPENDIX 3

#### HYDROBIOLOGISCHE KENMERKEN

Naar de hydrobiologische toestand van het Schelde-estuarium is van Nederlandse zijde tot op heden relatief weinig studie verricht. Voor zover bekend kan voor de periode 1972-1977 enkel teruggevallen worden op chlorophylmetingen (uitgedrukt in extinc-tiecijfers) van het Delta-instituut voor hydrobiologisch onder-zoek (DIHO) in 1972, 1973 en 1974.

Vóór 1972 is door Belgische onderzoekers aanmerkelijk meer be-langstelling voor hydrobiologisch onderzoek getoond (23). Als reden voor dit onderzoek kan de indertijd stormachtige indus-triële ontwikkeling langs het Schelde-estuarium worden genoemd, die het noodzakelijk maakte gegevens te verzamelen om later als vergelijkingsmateriaal te kunnen gebruiken.

Vanaf 1978 wordt door het RIZA op een vijftal plaatsen in de Westerschelde chlorophyl bepaald.

Aan de hand van bovenstaande informatiebronnen kan een, zij het summier, inzicht worden gegeven in de hydrobiologische toestand van de Westerschelde.

De concentratie aan fytoplankton in de Westerschelde wordt vrij-wel geheel bepaald door de groep der diatomeeën, waarvan de soor-tenrijkdom in '67, '68 en '69 ca. 120 bedroeg. Voor groen- en blauwieren werden respectievelijk ca. 35 en 10 soorten aange-troffen, vrijwel alleen in de Belgische Schelde (23). De grootste soortenrijkdom wordt gevonden in het saliene gedeelte van het es-tuarium, in het brakwatergedeelte is de soortenrijkdom aanmerke-lijk kleiner om vervolgens in de zoetwaterzône weer enigszins toe te nemen.

Dit verschijnsel komt overeen met de gangbare opvattingen over de relatie tussen het aantal soorten en het zoutgehalte (kromme van Remane).

In bijlage 75 is het chlorophylverloop in 1978 zichtbaar van de stations Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Lamswaarde en Schaar van Ouden Doel. Voor de ligging van de meetpunten wordt verwezen naar bijlage 18.

De diatomeeënontwikkelingen start eind maart in de monding van de Westerschelde. Daar is als gevolg van het relatief grote doorzicht (ca. 100 cm) slechts weinig zonlicht nodig om een merkbare bloei te initiëren.

Stroomopwaarts neemt het doorzicht af tot ca. 25 cm in Schaar van Ouden Doel. De algenbloei komt hier enigszins later op gang. Hetzelfde beeld, maar dan geconstateerd op basis van silicaatconcentraties, wordt door Beckers en Wollast (3) in 1973 waargenomen. In de zomer worden in Schaar van Ouden Doel de hoogste chlorophylgehalten gemeten: in 1978 tot ca. 60 ug/l, in 1979 tot 100 ug/l (5). Opvallend is de lange duur van het relatief hoge chlorophylgehalte te Schaar van Ouden Doel, dit in tegenstelling tot de andere meetpunten waar de bloei globaal beperkt is tot juni. Tijdens de bloei in juni neemt het chlorophylgehalte in stroomopwaartse richting toe (bijlage 76). In het voorjaar zijn, zoals eerder gesteld, de gehalten te Vlissingen hoger dan in het overige gedeelte van het estuarium (bijlage 77). In juli en augustus bestaat er in 1978, afgezien van Schaar van Ouden Doel, geen gradiënt (bijlage 77).

De primaire produktie in de Westerschelde wordt door Wollast (3) begroot op ca. 4000 ton C/jr. Voor september wordt een gemiddelde primaire productie van 10 ton C/etm genoemd, voor juni 23 ton C/etm (1975).

Een vergelijking van de primaire produktie in de Westerschelde met die in de Noordzee en Grevelingenmeer is mogelijk aan de hand van gegevens van Gieskes & Kraay (24), V.d. Meulen (2) en Mommaerts (25). Een en ander is samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 28: geschatte primaire produktie in Noordzee, Grevelingen en Westerschelde

	april (mgC/m <sup>2</sup> dag)	juni (mgC/m <sup>2</sup> dag)	september (mgC/m <sup>2</sup> dag)	jaargemiddelde (gC/m <sup>2</sup> jr)
Westerschelde (1975)		90	40	20
Grevelingen (1976, 1977)	160	600	700	100
Noordzee (kust- water) (1974)	600	600		100-150

Uit de tabel kan worden opgemaakt dat de primaire productie in de Westerschelde aanzienlijk lager is dan in de Noordzee en Grevelingenmeer.

De relatief geringe lichtpenetratie in de Westerschelde, een gevolg van de hoge concentratie aan gesuspendeerd materiaal, zal hiervoor grotendeels verantwoordelijk zijn.

Nutriënten zijn in de Westerschelde geen beperkende factor voor algenbloei (zie voor de gehalten hfd.stk.4)



## APPENDIX 4

### GEDRAG VAN ZWARE METALEN IN HET SCHELDE-ESTUARIUM

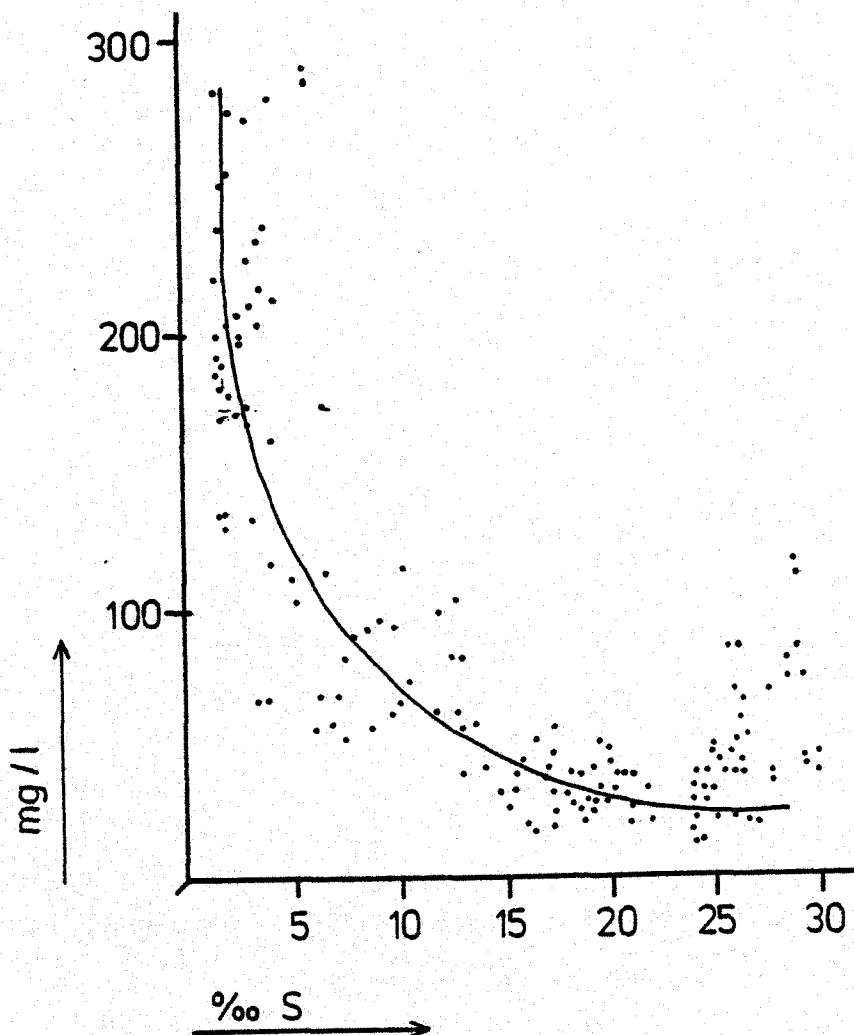
#### 4.1. Processen die het gedrag van zware metalen beïnvloeden

In het watermilieu komen metalen in vele vormen voor: als vrije ionen, als vrij zwevende complexgebonden ionen in diverse graden van complexbinding, als complexgebonden ionen vastzittend aan slibdeeltjes en als chemisch opgenomen ionen in diverse soorten onoplosbare verbindingen (slibdeeltjes) van diverse afmetingen. Een globaal idee van de verdeling van de metalen in opgeloste en onopgeloste vorm kan worden verkregen door het watermonster te filtreren of te centrifugeren, waarna beide fracties worden geanalyseerd. Deze benadering is grof en zegt nog lang niet alles. De verdeling over beide fasen is voor ieder metaal verschillend. Globaal kan voor een rivier worden gesteld dat zink en cadmium voor 30-45% particulier gebonden voorkomen; koper, lood, chroom en kwik worden van 60 tot meer dan 80% gebonden aan zwevend materiaal (26). Het beeld wordt complexer bij lage zuurstofgehalten. Mangaan bijvoorbeeld komt bij lage zuurstofgehalten overwegend in de opgeloste toestand voor, koper daarentegen is onder zuurstofarme omstandigheden zeer slecht oplosbaar (26).

Als in een rivier de getijde-invloed merkbaar wordt, komen uitvlokkingsprocessen op gang. Deze processen zijn een gevolg van de menging met zeewater. Het in de rivier aanwezige, overwegend negatief geladen materiaal, wordt geneutraliseerd waardoor uitvlokking en sedimentatie van de veelal colloïdale deeltjes wordt bevorderd. De verschijnselen zijn het meest intensief in het gebied met saliniteiten van 1-5 ‰, hetgeen bij gemiddelde Schelde-afvoeren ruwweg overeenkomt met het traject uitmonding Rupel-Antwerpen (km 105-85). Bij hoge afvoeren verschuift het afzettingsgebied stroomafwaarts. De sedimentatie komt in onderstaande figuur nog eens naar voren: het gehalte aan zwevend materiaal vertoont bij toenemende saliniteiten een sterke daling.



Figuur 6: Het gehalte aan zwevend materiaal (mg/l) als functie van de saliniteit in het Schelde-estuarium (27)



Naast uitvloeking treden andere processen zoals mobilisatie op. Vanaf het getijdegebied wordt een aantal metalen meer of minder gemobiliseerd en gaat van de particulair gebonden over in opgeloste fase (zie hierbij de aanhef van deze paragraaf).

In bijlage 78 zijn de gehalten van een aantal opgeloste metalen als functie van de saliniteit weergegeven (bron:(27)).

Indien voor opgeloste metalen het enige proces dat de gehalten bepaalt de vermenging van rivier- met zeewater is, dan is het verband tussen metaalgehalte en saliniteit een rechte die bepaald wordt door de begin- en eindconcentraties. Duidelijk blijkt uit figuur 78 linkerdeel dat de theoretische menglijn niet opgaat. Zink, cadmium, koper en nikkel liggen boven de menglijn, m.a.w. de opgeloste gehalten zijn hoger dan verwacht mag worden op grond van verdunningsberekeningen. Er heeft kennelijk een mobilisatie vanuit het zwevend slib plaatsgevonden. Voor mangaan is sprake van een mobilisatie gevolgd door een verwijdering van opgelost mangaan.

De gehalten aan metalen in zwevend slib (onderzoek IB/WL in 1978) in bijlage 78 rechts, vertonen het tegengestelde beeld. Zink, koper, cadmium en nikkel zijn lager dan verwacht mag worden volgens het mengproces. De gehalten van de metalen aan zwevend slib zijn echter niet gerelateerd aan de saliniteit, aangezien slib een ander menggedrag heeft dan chloride. In plaats van de saliniteit is als horizontale as het percentage zeeslib in sediment gebruikt, bepaald m.b.v. de isotopensamenstelling van koolstof.

De resultaten van opgeloste en aan zwevend slib gebonden metalen vullen elkaar optisch aan: een afname t.o.v. de verdunningslijn van de gehalten in zwevend slib gaat gepaard met een toename van de gehalten in opgeloste toestand.

#### 4.2.

##### Balansberekeningen

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat het opzetten van balansberekeningen voor zware metalen in het Schelde-estuarium door optredende uitvloeking, sedimentatie, adsorptie, desorptie en sterk variërende rivierafvoeren een complexe zaak is.

In sterk met zware metalen belaste estuaria geeft de bodem veelal een inzicht in de samenstelling van gesedimenteerd materiaal, in dit geval in de gehalten aan particulier gebonden zware metalen. De onderwaterbodem kan m.a.w. worden beschouwd als het geheugen van het estuarium; de aanvoer tot vele jaren terug wordt door de bodem geïntegreerd en levert bij een ongestoorde bodem bruikbare informatie voor massabalansen.

Aangezien sedimentatie het meest intensief optreedt op Belgisch gebied, is het niet verwonderlijk dat de balansberekeningen met name tot het aandachtsveld van Belgische wetenschappers behoren. Wollast (3) deelt het Schelde-estuarium op in een bovenstrooms (van Rupel tot Doel) en een benedenstrooms gedeelte (van Doel tot Vlissingen) en komt aan de hand van vrachtberekeningen, gebaseerd op metingen in 1971-1975, tot de volgende resultaten.

Tabel 29: Transport van particulier gebonden metalen in het Schelde-estuarium (getallen naar Wollast in ton/jr).

	input	Sedimentatie		belasting Noordzee
		Rupel Doel	Doel-Vlissingen	
Zn	2000	1560	150	120
Cr	670	400	20	7
Cu	495	320	30	12
Pb	450	350	35	16
Hg	1,52	1,20	0,1	0,05

Een aanzienlijk gedeelte (60-80%) van de aan zwevend slib gebonden zware metalen sedimenteert in het bovenstroomse gebied. De belasting van de Noordzee met zware metalen, berekend aan de hand van de gehalten te Vlissingen (3), bedraagt uiteindelijk maar een fractie van de oorspronkelijke hoeveelheid (1-6%). Geen inzicht wordt gegeven in de hoeveelheid gemobiliseerd metaal, waardoor de reductie tot 1-6% niet geheel reëel is: van de oorspronkelijke belasting met particulier gebonden metaal bereikt een gedeelte de Noordzee in de opgeloste fase.

Onderstaande tabel geeft een inzicht in de belasting van de Noordzee met opgeloste metalen afkomstig van de Westerschelde (3).

Tabel 30: Belasting Noordzee (1971-1975) met opgeloste metalen vanuit het Schelde-estuarium. Getallen in ton/jr.

Zn	200
Cu	50
Pb	15
Hg	2
Cd	1,6

In hoofdstuk 3 zijn de grensoverschrijdende vrachten voor zware metalen berekend (zie tabel 2). Tabel 31 geeft een vergelijking van deze waarden met de waarden die door Wollast worden genoemd voor het meetpunt Doel, dat op slechts enkele kilometers afstand van de grens van België ligt.

Tabel 31: vergelijking vracht aan particulair gebonden zware metalen nabij de grens (ton/jr)

	Ned. gegevens (1975-1977)	Belgisch onderzoek (1971-1975)
Zn	300	400
Cr	190	270
Cu	80	175
Pb	95	100
Hg	1,6	1,32

De met de Nederlandse gegevens berekende vrachten zijn, ofschoon de ordegrrootte overeenkomt, lager dan de waarden volgens Wollast. Het verschil is wellicht gedeeltelijk verklaarbaar door de beschouwde tijdsintervallen (1971-1975 vs 1975-1977), aangezien op grond van gemeten concentraties de vrachten aan zware metalen de laatste jaren enigszins af lijken te nemen. Door deze tendens zijn de cijfers niet zonder meer vergelijkbaar. Daarnaast kan het feit dat Doel enige kilometers stroomopwaarts van de grens (in het sedimentatiegebied) ligt van enige invloed zijn. Andere gegevens waarbij geen jaartallen worden genoemd, komen uit de studie van Wollast en Peters (26) voor zink, koper en lood. Ook hier wordt het Schelde-estuarium weer opgedeeld in twee trajecten, te weten:

- saliniteit 0-15‰
- saliniteit > 15‰

Bij gemiddelde afvoeren wordt de 15‰ waarde in de nabijheid van Valkenisse (km 60) gemeten. Dit betekent dat de berekende vrachten niet zonder meer vergelijkbaar zijn met de resultaten in tabel 31. De uitkomsten zijn hieronder samengevat.

Tabel 32: balansberekeningen zware metalen (26), getallen in ton/jr.

	saliniteit 0-15‰/oo			saliniteit > 15‰/oo		
	IN tot.	UIT opg. part.	SEDIMEN- TATIE	IN opg.part.	UIT opg.part.	SEDIMEN- TATIE
Zn	2480	350 320	1810	350 320	220 100	220
Cu	428	54 54	320	54 54	50 13	38
Pb	445	10 85	350	10 85	6 16	40

Voor het zeewaarts gelegen traject is de massabalans niet kloppend. Een oorzaak wordt door Wollast niet genoemd.

#### 4.3. Gehalten in zwevend slib en sediment

Zoals reeds eerder is vermeld, geeft de kwaliteit van het sediment dikwijls een inzicht in de historie van de kwaliteit van het zwevende slib. In het Schelde-estuarium blijkt de relatie minder goed op te gaan. De kwaliteit van het sediment wordt behalve door rivierslib tevens door zeeslib bepaald, dat een ander sedimentatiegedrag bezit. Het rivierslibgehalte in de bodem komt dan ook vaak niet overeen met het rivierslibgehalte in suspensie (28). Bij Bath bijvoorbeeld bedraagt het percentage zeeslib in zwevend slib ca. 25%, in sediment ca. 50%.

Hieronder wordt nader ingegaan op de metaalgehalten in waterfase en sediment. Daarbij wordt gebruik gemaakt van resultaten van onderzoek door het IB/WL in 1974 en 1979, uitgevoerd in opdracht van het RIZA (29,27).

In 1974 is alleen het sediment bemonsterd, in 1979 het sediment, zwevend slib en de opgeloste fase. De metaalgehalten in zwevend slib waren bij de afsluiting van deze studie nog niet voorhanden. Hiervoor wordt derhalve teruggerepen op IB/WL onderzoek in 1978 (28).

\* Gehalten in sediment.

In bijlage 79 zijn de gemiddelde gehalten aan zware metalen als functie van de afstand tot Vlissingen weergegeven voor 1974 en 1979. De gepresenteerde waarden zijn absolute getallen, er is niet gecorrigeerd voor de korrelgrootteverdeling. De voorspelbare afname van de gehalten in zeewaartse richting door opmenging met "schoon" zeeslib komt in de figuur duidelijk naar voren. In 1974 is, in tegenstelling tot 1979, de fractie fijn materiaal te Antwerpen laag, hetgeen verlaagde gehalten aan de diverse verontreinigingen te zien geeft. Een en ander is vermoedelijk een gevolg van de baggerwerkzaamheden in de Schelde ter hoogte van Antwerpen.

Nabij Terneuzen is een verhoging van de fractie fijn materiaal te constateren (1979). De toename wijst op de invloed van het Kanaal Gent-Terneuzen en mogelijk ook de afvalgipslozingen ter plaatse. De invloed doet zich overigens slechts lokaal voor. Een betere vergelijking van de verontreinigingsgraad van het sediment op de diverse lokaties ontstaat wanneer rekening wordt gehouden met de korrelgrootteverdeling, aangezien de verontreinigingen grotendeels geadsorbeerd aan de fijne fractie voorkomen. De berekende gehalten bij 50% <math><16 \mu\text{m}</math>, een veel gebruikte standaarduitdrukking, zijn terug te vinden in bijlage 80. Een aantal lokaties is samengevoegd aangezien het niet mogelijk bleek voor iedere individuele locatie een regressielijn te berekenen die het verband tussen korrelgrootteverdeling en metaalgehalten aangeeft (te weinig gegevens).

Er is sprake van een afname van de metaalgehalten in zeewaartse richting. Voor een drietal gebieden is vervolgens een vergelijking gemaakt tussen de gehalten in 1974 en 1979. In bijlage 81 zijn de gehalten in de sedimenten (bij 50% <math><16 \mu\text{m}</math>) van 1979 uitgedrukt als percentage van de gehalten in 1974. Op het traject uitmonding Rupel-Antwerpen zijn de gehalten aan Zn, Cr en Hg duidelijk afgenomen, Cu, Pb, Cd en Ni tenderen naar iets lagere waarden. As lijkt iets toegenomen.

Dezelfde teneur voor Zn, Cu, Cr, Hg en As wordt gesignaleerd in het grensgebied Nederland-België.

De gehalten aan Pb, Cd en Ni zijn in het grensgebied nagenoeg constant gebleven.

In het saliene gedeelte van de Westerschelde (Sloehaven, Breskens) zijn de gehalten aan Pb en Hg afgenomen. De overige variabelen bewegen zich, uitgezonderd Cd en As, op een min of meer constant niveau. Sterk verhoogde cadmiumgehalten zijn plaatselijk gemeten in de Sloehaven, hetgeen mogelijk op een lokale lozing is terug te voeren.

\* Gehalten in zwevend slib.

Van de zware metalen in zwevend slib zijn vooralsnog alleen gegevens uit 1978 voorhanden (28).

Interessant is het deze gehalten te vergelijken met die in het sediment zoals gemeten in 1974, 1978 en 1979. De vergelijking is mogelijk voor Antwerpen en Doel. De omgeving Bath is eveneens bemonsterd in 1974, 1978 en 1979, echter in 1974 en 1979 op een andere lokatie dan in 1978 (Baalhoek resp. Bath). Dit kan de vergelijking mogelijk beïnvloeden. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten voor Zn, Pb en Cd. De gehalten betreffen absolute waarden, dus niet omgerekend naar 50% <16 um. De tabel moet dus met de nodige reserve worden beschouwd.

Tabel 33: gemeten gehalten aan Zn, Pb en Cd (ug/g) in suspensie en in sediment op verschillende locaties in het Schelde-estuarium bron: (27,28).

	suspensie			sediment		
	Zn	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd
Antwerpen 1974				716	124	11,2
1978	800	240	23,3	213	53	10,0
1979				857	222	29,4
Doel 1974				845	256	19,9
1978	680	213	12,6	640	200	18,0
1979				679	195	20,2
Bath 1974				299	68	4,2
1978	480	160	10,0	200	40	1,2
1979				320	101	5,8

De resultaten wijzen er op dat de gehalten in sediment nabij Antwerpen en Doel min of meer overeenkomen met de gehalten in particulier materiaal, m.a.w. de geheugenfunctie van het sediment is hier aanwezig. Aangezien bij Doel de fractie zeeslib in sediment en zwevend slib van gelijke grootte orde is (ca. 25%), is dit niet verwonderlijk. Ter hoogte van Antwerpen blijken de absolute gehalten in sediment in 1978 aanmerkelijk lager te zijn dan in 1979. Wellicht zijn deze lage waarden, evenals in 1974, toe te schrijven aan baggerwerkzaamheden. Voor Bath zijn de gehalten in suspensie aanzienlijk hoger dan die in het sediment. Het is een feit dat het percentage zeeslib in sediment anders is dan in zwevend slib (resp. 50 en 25%), m.a.w. zeeslib bezit een ander sedimentatiegedrag dan rivierslib, sediment kan dan ook schoner zijn dan zwevend slib.

#### 4.4.

##### Samenvatting.

Het Schelde-estuarium wordt, met name in het bovenstroomse gebied, in aanzienlijke mate met zware metalen belast. Wanneer de getijde-invloed merkbaar wordt komen, bij saliniteiten van  $1-5^0/00$  (nabij Antwerpen), uitvlokkingsprocessen op gang. Een aanzienlijk gedeelte (60-80%) van de aan zwevende stof gebonden metalen bezinkt daar. Ook op Nederlands gebied treedt nog bezinking op zodat tenslotte slechts een fractie van de oorspronkelijke hoeveelheid de Noordzee bereikt.

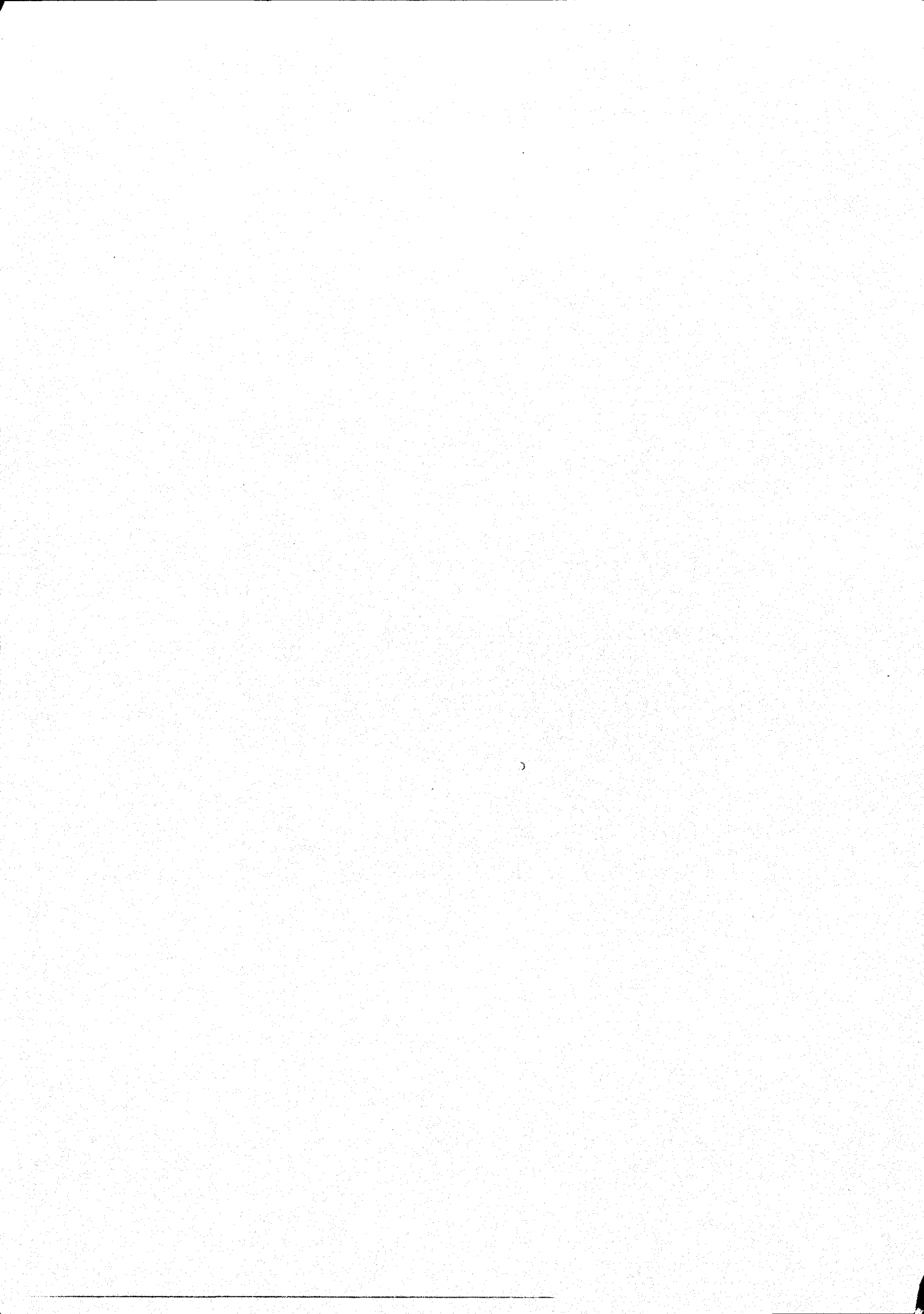
Een ander proces dat optreedt, is mobilisatie; in de Westerschelde gaan particulier gebonden zware metalen kennelijk over in de opgeloste vorm. Voor opgeloste metalen voor particulier gebonden metalen worden lagere waarden gemeten dan op grond van verdunning berekend kan worden. Hier speelt uiteraard ook de bovengenoemde sedimentatie nog een rol.

De kwaliteit van het sediment kan in het algemeen een inzicht geven in de historie van de kwaliteit van het zwevende slib. In het Schelde-estuarium blijkt de relatie vaak minder goed op te gaan.



Het beeld wordt naast baggerwerkzaamheden tevens verstoord door de aanwezigheid van zeeslib dat een ander sedimentatiegedrag bezit: de fractie zeeslib in sediment is dikwijls hoger dan de fractie in zwevend slib. De kwaliteit van het sediment correspondeert dan niet meer met de gehalten in zwevend slib.

De kwaliteit van het sediment is, voor zover het de zware metalen betreft, in de loop van de onderzoekjaren enigszins verbeterd, hetgeen aansluit bij de geleidelijke afname van de gehalten aan sommige zware metalen in zwevend slib (zie hoofdstuk 4.3.6. van deze nota).



## LITERATUURVERZICHT.

1. Deltadienst, milieu en inrichting  
De waterkwaliteit van het Noordelijk Deltabekken 1972-1977  
conceptnota dec. 1979.
2. J.H. v.d. Meulen  
Waterkwaliteitskenmerken en stofbalansen van het Grevelingen-  
meer over de periode 1972-1977.  
Deltadienst, milieu en inrichting, nota 80-16, feb. 80.
3. Diensten van de eerste minister, programmatie van het weten-  
schapsbeleid. Nationaal onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma.  
Boekdeel 10: het Schelde-estuarium.  
Luik, dec. 1976.
4. Antwerpse Zeediensten  
Debieten van het Scheldebekken. Verschillende jaarlijkse en  
meerjaarlijkse rapporten.
5. Rijkswaterstaat, RID, RIV  
Kwaliteitsonderzoek in de rijkswateren.
6. Inventarisatie lozingen op rijkswater.  
Enquêteformulieren t.b.v. het IMP 80-84.
7. Werkgroep sanering Zuidelijk Deltabekken en Westerschelde.  
Waterkwaliteitsplan Zuidelijke Deltawateren.  
Secr. Directie Zeeland, voorjaar 1980.
8. RIZA  
Routinematig onderzoeksprogramma afvalwaterlozingen.
9. Theuns, J.  
De baggerwerken in de Belgische havens en hun maritieme toe-  
gangswegen.  
Symposium "Bergen van havenslib en baggerspeciën".  
Gent, dec. 1979.

10. Waterloopkundig Laboratorium/Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. Voorkomen en gedrag van zware metalen in slib uit de Schelde.  
Rapport R994, mei 1975.
11. Directie Zeeland  
Benaderingsmethode voor het berekenen van de gespuide hoeveelheden van het kanaal door Walcheren op de Westerschelde.  
Notitie AXW-N80 09, juni 1980.
12. Technologische Dienst Zeeuwse Waterschappen.  
Onderzoek kwaliteit oppervlaktewater in beheer bij de Zeeuwse waterschappen in 1977 en 1978.  
Hoek, jan. 1980
13. Pieters, J.  
Regenwateronderzoek 1975-1977  
Deltadienst, milieu en inrichting. Notitie DDMI-80.134, jan. 1980.
14. Tuffey, T.J.  
The detection and study of nitrification in streams and estuaries.  
Rutgers University, New Brunswick (New Jersey), 1973.
15. Berdahl, B.J.  
Estuarine nitrification  
Rutgers University, New Brunswick (New Jersey) 1972.
16. Billen, G.  
Nitrification in the Scheldt estuary.  
Estuarine and coastal marine science 3 (1975), p. 79-89.
17. Billen, G., Smits J.  
Mathematical model of waterquality in a highly polluted estuary.  
Hydrodynamics of estuaries and fjords, Elsevier Amsterdam 1978.

18. Anonymus  
Physical chemistry of the river Scheldt.
19. Ruane, R.J., Krenkel P.A.  
Nitrification and other factors affecting nitrogen in the  
Holston river.  
JWPC 50 (1978) 8.
20. Reimann, K.  
Untersuchungen zur Nitrifikation und Nitrifikationsgeschwin-  
digkeit.  
Wasser- und Abwasserforschung 2 (1973).
21. Vereniging van industriële bedrijven van Noord-Antwerpen  
Evolutie van de kwaliteit van het Scheldewater  
Extern VIII (1979) nr. 3.
22. Somville M.  
A method for the measurement of nitrificationrates in water  
Water Research 12 (1978), p 843-848.
23. De Pauw, N.  
Bijdrage tot de kennis van milieu en plankton in het Wester-  
schelde estuariu.  
Rijksuniversiteit Gent, 1974-1975.
24. Gieskes W.W.C., Kraay G.W.  
The phytoplankton bloom in Dutch costal waters of the North  
Sea Neth. Journ. of Sea Research 2 (1975), p 166-196.
25. Diensten van de eerste minister. Programmatie van het Weten-  
schapsbeleid. Nationaal onderzoeks- en ontwikkelingsprogram-  
ma.  
Boekdeel 8: trofische ketens en cyclus der nutriënten.  
Luik 1977.

26. Wollast R. Peters, J.J.  
Transfer of materials in estuarine zones  
Symposium of transportprocesses in estuarine and near shore-zones. International council for the exploration of the sea, 68th meeting Kopenhagen, okt. 1980.
  
27. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid/Waterloopkundig Laboratorium  
Voorlopige resultaten van onderzoek in 1979 naar de gehalten aan zware metalen in het Schelde-estuarium.  
Haren, nov. 1980.
  
28. Salomons W., Eijsink W.D.  
Pathways of mud and particulate trace metals from rivers to the southern North-Sea.  
International meeting on holocene marine sedimentation in the North-Sea basin.  
Texel 1979.
  
29. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid/Waterloopkundig Laboratorium  
Voorkomen en gedrag van zware metalen in slib van de Schelde.  
rapp. R 994, Haren 1975.
  
30. Bakker C., De Pauw N.  
Comparison of brackish water plankton assemblages of identical salinity ranges in an estuarine tidal and stagnant environment.  
Delta-instituut voor hydrobiologisch onderzoek, comm.nr. 112.
  
31. Suylen J.M.  
Beschrijving van het rekenprogramma DFENST 20  
RWS-WW Fysische Afdeling, nota 05 78-FA
  
32. Louisse C.J.  
IJking en dimensionaal waterkwaliteitsmodel van de Westerschelde.  
RWS-WW Fysische Afdeling, nota 09 80-FA

33. Schäfer A.J.

Bacteriologisch onderzoek in de Zeeuwse stromen in 1977, 1978  
en 1979

RIZA nota's 79.021, 79.022, 80.029

34. CCRX

Algemene radioactieve besmetting van de biosfeer in Neder-  
land, verrichte metingen 1979

Min. van Volksgez. en Milieuhyg., sept. 1980

35. Van Dam G.C.

Enkele formules voor eendimensionale behandeling van de  
zuurstofhuishouding in een rivier of andere waterloop waarin  
oxydebel materiaal geloosd wordt.

Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Fysische Afdeling  
nota 67-01, Den Haag 1967

C 8