

69

BELEIDSPLAN WESTERSCHELDE

Deelrapport 1

Zuurstofhuishouding

en

Nutriëntenhuishouding



W

De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde

BELEIDSPLAN WESTERSCHELDE

De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde

Deelrapport 1

Zuurstofhuishouding

en

Nutriëntenhuishouding

Werkgroep

Waterbeheer Westerschelde

April 1989

VLIZ (vzw)

VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg

Rijkswaterstaat Directie Zeeland
Postbus 5014, 4330 KA Middelburg

INHOUDSOPGAVE

1	Samenvatting	1
2	Inleiding	3
3	De aanvoer van water en nutriënten	
3.1	De waterbelasting	5
3.1.1	De afvoer van de Schelde	5
3.1.2	De overige bronnen	6
3.2	Jaarvrachten van nutriënten en andere stoffen	7
3.2.1	De Schelde	8
3.2.2	Jaarvrachten uit overige bronnen	9
3.3	De belasting vanuit het Zoommeer	11
3.4	Antropogeniteit	12
3.4.1	De antropogene fractie van de fosfor- en stikstofbelasting	12
3.4.2	De antropogene belasting aan inwonersequivalenten	13
4	Ruimtelijke variatie, trends en processen	
4.1	Inleiding	15
4.2	Algemene parameters	16
4.2.1	Chloride	16
4.2.2	Watertemperatuur	16
4.2.3	Zwevend stof	17
4.3	Biochemisch zuurstofverbruik	19
4.4	Stikstofverbindingen	20
4.5	Zuurstof	23
4.6	Fosfaat	25
4.7	Primaire productie in de Westerschelde	26
4.7.1	Het verloop van de fytoplanktonbiomassa	26
4.7.2	Nutriënten	27
4.7.3	De beschikbaarheid van licht	28
4.7.4	Fytoplanktonproductie in de Westerschelde	29
4.8	De waterkwaliteit aan de hand van bacteriologische gegevens	30
4.9	Waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde	33
5	Troebelheid en zout-zoetgradiënt	
5.1	Zout-zoetgradiënt en troebelheidsmaximum	35
5.2	De lozing vanuit het Zoommeer	35
5.2	De verdieping van de Westerschelde naar 43'/48'	36
6	Flora en fauna	
6.1	De invloed van het zoutgehalte op de verspreiding van organismen	37
6.1.1	Fytoplankton	37
6.1.2	Zoöplankton	37
6.1.3	Macrowieren	38

6 Flora en fauna (vervolg)

6.1.4	Schorrevegetaties	39
6.1.5	Bodemfauna	40
6.1.6	Zeekreeft en Noordzeekrab	43
6.1.7	Vissen	43
6.1.8	Vogels	44
6.2	De invloed van het zuurstofgehalte op de fauna	46
6.3	De invloed van het nutriëntenaanbod op het fytoplankton	47
6.3.1	De relatie tussen eutrofiëring en algenbloei	47
6.3.2	De eutrofiëring van de kustzone	48
6.3.3	De eutrofiëring van de Noordzee	48
6.3.4	Effecten van eutrofiëring op bodemdieren	49

7 Sanering van de belasting aan zuurstofbindende stoffen

7.1	Het saneringsprogramma voor de Nederlandse lozingen	51
7.2	Het saneringsprogramma voor de Belgische lozingen	52
7.3	Vergelijking met de saneringsinspanning voor de Rijn	52
7.4	Voorgenomen saneringen en hun betekenis voor de Westerschelde	53
7.4.1	Het Rijn-Actieplan	53
7.4.2	De Noordzee-Ministersconferentie	54
7.4.3	Toelichting op onderdelen die voor de Westerschelde van belang zijn	55
7.4.4	Gewenste ontwikkelingen	55

8 De effecten van verdergaande sanering

8.1	Modellering van de zuurstofhuishouding	57
8.1.1	Globale beschrijving van het model	57
8.1.2	Randvoorwaarden voor het model	58
8.1.3	De resultaten van de modelberekeningen	60
8.1.4	Vergelijking met ontwikkelingen in de Rijn	60
8.2	Effecten van de sanering van zuurstofbindende stoffen	61
8.3	Effecten op de bacteriologische belasting	63
8.4	Effecten op de zwevend-stofgehalten	63
8.5	Effecten op de stikstof- en fosfaatbelasting	63

9 Beleidsontwikkeling

9.1	Het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid	65
9.2	Internationale afspraken	65
9.3	Beleidsuitgangspunten voor de Westerschelde	66
9.3.1	Algemeen	66
9.3.2	Doelen	67
9.3.3	Voorwaarden	67
9.3.4	Maatregelen	68
9.3.5	Nader onderzoek	68

Geciteerde literatuur	69
Overzicht van figuren	73
Overzicht van tabellen	75
Overzicht van bijlagen	77
Colofon	78
Bijlagen en figuren	

1 SAMENVATTING

Van de totale watertoevoer naar de Westerschelde wordt 78% direct aangevoerd door de rivier de Schelde. Deze rivier levert tevens de grootste bijdrage aan de belasting met nutriënten en zuurstofbindende stoffen. De concentraties van deze verbindingen in het Schelde-estuarium worden daarom in grote mate bepaald door de belasting van de Schelderivier en de processen die zich in deze rivier voltrekken.

Als resultaat van een eerste saneringsinspanning zijn de ammonium- en totaal-koolstofgehalten in het oostelijk deel van het estuarium afgenomen in de periode 1975-1986. Dit is gepaard gegaan met een verbetering van het zuurstofgehalte van 0,9 tot 4,6 mg O₂/l.

In de rapportageperiode 1981-1986 voldoet het zuurstofgehalte te Schaar van Ouden Doel echter nog niet aan de in deze nota geformuleerde waterkwaliteitsdoelstelling van $\geq 5,5$ mg O₂/l. Van ammonium en orthofosfaat zijn de concentraties in het gehele estuarium nog te hoog: Aan de waterkwaliteitsdoelstellingen, $\leq 0,2-0,8$ mg N/l voor ammonium en $\leq 0,03-0,08$ mg P/l voor orthofosfaat, wordt in géén van de jaren voldaan.

Ondanks het hoge nutriëntenaanbod is de primaire productie van het fytoplankton laag, door het ongunstige lichtklimaat onder water. De troebelheid wordt vooral veroorzaakt door anorganisch slib en detritus. De zomergemiddelde zichtdiepte varieert van slechts 0,34 m te Schaar van Ouden Doel tot 1,03 m te Vlissingen. In het kustgebied echter, kan de fytoplanktongroei in het voorjaar beperkt worden door de beschikbaarheid van fosfaat. Eutrofiëringseffecten zullen in deze zône kunnen optreden.

De samenstelling van de bodemfauna is afhankelijk van het zoutgehalte. Kokkel, Mossel en Alikruik worden vrijwel uitsluitend in het zoute deel van de Westerschelde gevonden. Nonnetje, Zeeduizendpoot en Slijkgarnaal dringen door in het brakke gedeelte. In dit oostelijk deel hebben de lage zuurstofgehalten, in combinatie met de belasting aan microverontreinigingen en een geleidelijke verzanding van de slikken, geleid tot een verarming van de bodemfauna, zowel in soortenaantal als in biomassa. Volwassen exemplaren van Strandgaper lijken volledig te ontbreken. Vermoedelijk is de achteruitgang van de bodemfaunabiomassa verantwoordelijk voor de afname van het aantal overwinterende steltlopers (Bonte strandloper, Scholekster, Tureluur) in het oostelijk deel; in het westelijk deel zijn de aantallen vrijwel gelijk gebleven.

Een verdergaande sanering van de belasting aan zuurstofbindende stoffen en nutriënten zal de zuurstofhuishouding in het oostelijk deel van de Westerschelde moeten verbeteren. Met de beoogde handhaving van de bestaande zout-zoetgradiënt is dit een voorwaarde voor het herstel van de estuariene soortenrijkdom van de bodemfauna, voor een versterking van de kinderkamerfunctie voor platvis en garnalen en voor de terugkeer van anadrome vissoorten als Elft, Fint, Houting en Zalm. Door reductie van de nutriëntenbelasting zal de kans op het optreden van eutrofiëringseffecten in de kustzône verminderd moeten worden. De jaargemiddelde nutriëntengehalten in het kustgebied zullen op middellange termijn de referentiewaarden moeten benaderen.

2 INLEIDING

Deze nota is opgesteld ter onderbouwing van het beleid voor de Westerschelde met betrekking tot de belasting aan zoetwater, nutriënten en zuurstofbindende stoffen. Dit beleid is verwoord in het integrale beleidsplan Westerschelde.

In tegenstelling tot de andere Zeeuwse rijkswateren wordt de Westerschelde sterk beïnvloed door lozingen van gemeentelijk en industrieel afvalwater. Deze lozingen vinden plaats op zowel het Belgische als het Nederlandse deel van het hydrografische bekken. Tot in de zeventiger jaren ging het in vrijwel alle gevallen om de emissie van ongezuiverd afvalwater, wat resulteerde in een hoge belasting met afbreekbare organische stof, nutriënten, zware metalen en organische microverontreinigingen. Een eerste planmatige sanering van de Nederlandse lozingen werd uitgewerkt in het in 1979 verschenen "Waterkwaliteitsplan Zuidelijke Deltawateren 1979, periode 1980-1984". Een belangrijke sanering werd in 1983 gerealiseerd door de ingebruikname van de rwzi te Bath. Hiermee werd een omvangrijke bron van zuurstofbindende stoffen geëlimineerd. In hoofdstuk 3 van deze nota wordt de belasting met zoetwater, nutriënten en zuurstofbindende stoffen in de periode 1981-1987 gerapporteerd. Hiermee wordt aangesloten op een eerdere rapportage, over de periode 1964-1981 [26]. Onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende categorieën belastingsbronnen. Alleen de vrachten vanuit de Schelde zijn over de gehele periode bekend.

In hoofdstuk 4 wordt de ruimtelijke variatie en de ontwikkeling van de waterkwaliteit beschreven, met betrekking tot de genoemde parameters. De beschrijving is gebaseerd op tweewekelijkse waarnemingen op vier meetpunten langs de lengteas van het estuarium.

Tijdens de rapportageperiode is de laatste fase van de Deltawerken afgesloten: de bouw van de compartimenteringsdammen in de Oosterschelde, waardoor het zoete Zoommeer is ontstaan. In hoofdstuk 5 wordt aandacht besteed aan de consequenties hiervan voor de troebelheid en de zout-zoetgradiënt in de Westerschelde. Zo'n grootschalige zout-zoetgradiënt wordt in Nederland verder alleen nog gevonden in het Eems-Dollard estuarium, waar zij de oorzaak is van een geleidelijke verschuiving in de samenstelling van plankton en bodemfauna. Met de ontwikkeling van de systeembenadering in de komende Derde Nota Waterhuishouding, is het eens te meer van belang om inzicht te hebben in het functioneren van dergelijke ecosystemen. In het bijzonder vormt de beïnvloeding van het mariene fytoplankton in het kustgebied van het estuarium een actueel probleem, sinds de rampzalige gevolgen van algenbloei in Scandinavische kustwateren. In hoofdstuk 6 wordt een beeld geschetst van de flora en fauna van de Westerschelde en aandacht besteed aan de ecologische gevolgen van verontreiniging.

In de hoofdstukken 7 en 8 worden de geplande en voorgestelde saneringen met hun effecten op de waterkwaliteit besproken. In hoofdstuk 9 tenslotte, worden voorstellen geformuleerd voor het toekomstig waterkwaliteitsbeleid in de Westerschelde.

Verantwoording van de rapportage

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

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

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

Samenstelling van de Werkgroep Waterbeheer Westerschelde

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

3 DE AANVOER VAN WATER EN NUTRIENTEN

3.1 De waterbelasting

Van de totale watertoevoer naar de Westerschelde, tussen de Nederlands-Belgische grens en de lijn Vlissingen-Breskens, wordt ongeveer 80% direct via de Schelde aangevoerd. Neerslag, kanalen en poldergemalen dragen bij aan de resterende belasting. Het overgrote deel van het aangevoerde water is zoet. Brak water wordt alleen via sommige sluizen op de Westerschelde gebracht. De afvoer van de Schelde en de bijdrage van de overige bronnen worden in deze paragraaf gekwantificeerd in termen van debieten.

3.1.1 De afvoer van de Schelde

Op grond van de herkomst van het afgevoerde water moeten de Schelde en haar bijrivieren tot de zogenaamde regenrivieren gerekend worden. Het afwateringsgebied is aangegeven in figuur 1. De totale oppervlakte hiervan bedraagt ongeveer 1.900.000 ha.

Sinds 1947 verrichten de Antwerpse Zeediensten metingen om de afvoer van de Schelde te bepalen. Figuur 2 geeft het jaargemiddelde debiet ter hoogte van Schelle over de periode 1950-1987. De gehanteerde berekeningsmethodiek [3] is in dit tijdvak vrijwel gelijk gebleven. Wel zijn werken uitgevoerd die verdere wijzigingen van het rivierregiem teweeg hebben gebracht, zoals de dijkwerken in de Kleine Nete in 1986, maar deze hebben niet geleid tot veranderingen in de afvoer.

De jaarafvoer te Schelle, gemiddeld over het tijdvak 1950-1987, bedraagt $3.4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. De laagste afvoer, $1.7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, werd gemeten in 1976, de hoogste, $6.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, in 1966.

De periode 1980-1987 wordt gekenmerkt door relatief-hoge debieten (tabel 1). Deze kunnen toegeschreven worden aan het eveneens relatief-hoge neerslagoverschot. Figuur 3 toont het seizoensverloop in de afvoer, gemiddeld over deze periode.

Ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel overschrijdt de Beneden-Zeeschelde de grens met Nederland. Vanaf dat punt wordt de rivier over het algemeen Westerschelde genoemd. Deze grensovergang heeft geen directe betekenis voor het estuarium, maar is van essentieel belang door verschillen in beleid die tussen België en Nederland met betrekking tot oppervlaktewater bestaan.

Voor de bepaling van grensoverschrijdende vrachten uit gemeten concentraties te Schaar van Ouden Doel, moet de afvoer van de Schelde op dit punt berekend worden uit de afvoer te Schelle. Tot en met 1987 verhoogden zijdelingse belastingen op het traject Schelle-Schaar van Ouden Doel deze afvoer met gemiddeld 12%. Hierin zijn de waterverliezen in het sluizensysteem van het Albertkanaal begrepen, waardoor ongeveer $8 \text{ m}^3/\text{s}$ aan Maaswater wordt afgevoerd naar het Scheldebekken. De afvoer te Schaar van Ouden Doel is dan ook berekend door die te Schelle met een factor 1,12 te vermenigvuldigen (tabel 1). Sinds medio 1988 wordt indirect uit het Zoommeer ongeveer $6 \text{ m}^3/\text{s}$ zoetwater (Rijnwater) op de Schelde gebracht

via het systeem Kreekraksluizen-Antwerps Havenbekken-Zandvlietssluizen. Hierdoor kan deze factor toenemen tot maximaal 1,32. Het water dat bij Doel de grens overschrijdt bestaat door deze belastingen voor $\pm 85\%$ uit Scheldewater (tabel 2), 8% uit Maaswater en 6% uit Rijnwater. Door het Kanaal Gent-Terneuzen en het Afleidingskanaal van de Leie wordt water aan de Bovenschelde onttrokken.

TABEL 1 *De afvoer van de Schelde te Schelle en Schaar van Ouden Doel, in de periode 1980 - 1987.*

Locatie	Jaargemiddelde afvoer in m ³ /s							
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Schelle	120	141	111	107	131	107	113	149
Schaar van Ouden Doel	134	158	124	120	147	120	127	167

Bron: Antwerpse Zeediensten; de afvoer te Schaar van Ouden Doel is berekend door de afvoer te Schelle met een factor 1,12 te vermenigvuldigen (zie tekst).

3.1.2 De overige bronnen

Op diverse punten langs de Westerschelde wordt water op het estuarium gebracht via poldergemalen en afvalwaterleidingen en via de sluizen bij Vlissingen, Terneuzen en Hansweert (bij Hansweert en Vlissingen wordt ook water aan het estuarium onttrokken om het peil in de kanalen door Zuid-Beveland en Walcheren te handhaven). Daarnaast levert de neerslag een bijdrage aan de waterbelasting. De jaargemiddelde debieten van deze bronnen zijn berekend over de periode 1981-1986 en worden gepresenteerd in tabel 2. Uit deze tabel kan het relatieve belang van elk worden afgelezen. Hieronder wordt per bron aangegeven hoe deze debieten zijn berekend.

Polderuitslag

Polderwater wordt via gemalen of uitwateringssluizen op de Westerschelde geloosd. Alleen van gemalen zijn de uitgeslagen hoeveelheden bekend. Deze uitslagen zijn gebruikt om de afwatering per hectare te berekenen. Vervolgens is dit gegeven toegepast op het polderoppervlak dat via een uitwateringssluus loost. De totale polderuitslag is opgenomen in tabel 2.

Neerslag

De hoeveelheid zoetwater die als gevolg van neerslag direct op de Westerschelde terecht komt, is van vergelijkbare grootte als de polderuitslag (tabel 2). Op een aantal stations langs de Westerschelde wordt de neerslag geregistreerd. De verschillen tussen deze stations zijn klein, zodat de gegevens van Vlissingen als maat voor het gehele gebied zijn gekozen.

Kanalen

De Westerschelde is door sluizen verbonden met het Kanaal Gent-Terneuzen, het Kanaal door Zuid-Beveland en het Kanaal door Walcheren. De debieten vanuit de kanalen kunnen berekend worden uit de waterbalansen die voor deze sluizen worden bijgehouden. De bijdrage van de kanalen is voor zo'n 92% afkomstig uit het Kanaal Gent-Terneuzen (tabel 2); voor een deel betreft dit Scheldewater.

Industriële lozingen

De hoeveelheden bedrijfsafvalwater die in 1985 direct op de Westerschelde zijn geloosd, zijn als uitgangspunt voor de berekeningen genomen. Het totale, jaargemiddelde debiet van zowel gezuiverd als ongezuiverd water komt op 2,5 m³/s. Er is verondersteld dat dit debiet gedurende het tijdvak 1981-1986 gelijk is gebleven (tabel 2).

TABEL 2 De wateraanvoer naar de Westerschelde in de periode 1981 - 1986.

Belastingsbron	Jaargemiddelde debiet in m ³ /s					
	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Schelde-afvoer ¹⁾	158	124	120	147	120	127
Polderuitslag	12,9	8,5	8,5	11,9	10,1	10,1
Neerslag	8,8	7,7	7,3	7,9	7,4	7,6
Kanaal door Z-Beveland ²⁾	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Kanaal door Walcheren ²⁾	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	1,2
Kanaal Gent-Terneuzen ³⁾	19,0	15,8	16,7	15,9	13,6	14,8
Industriële lozingen	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Totale zoetwateraanvoer	202,5	159,7	156,0	186,5	154,7	163,5

1) Bepaald voor het grenspunt Schaar van Ouden Doel;

2) De wateronttrekking voor het peilbeheer in de kanalen is niet in de berekening betrokken;

3) Grotendeels Scheldewater.

3.2 Jaarvrachten van nutriënten en andere stoffen.

Wanneer de debieten en de concentraties van nutriënten en andere stoffen bekend zijn, kunnen jaarvrachten berekend worden. De jaarvrachten aangevoerd door de Schelde zijn berekend over de periode 1981-1987. De jaarvrachten vanuit andere belastingsbronnen zijn alleen berekend voor 1985, omdat dit jaar als peiljaar gebruikt is.

3.2.1 De Schelde

Tabel 3 geeft een overzicht van de grensoverschrijdende jaarvrachten over de verslagperiode. Hieronder wordt uiteengezet hoe deze vrachten berekend zijn. In tabel 4 worden de vrachten van stikstof, fosfaat en zuurstofbindende stoffen uit de Schelde vergeleken met die uit de overige belastingsbronnen.

De waterkwaliteitsparameters worden gemeten op het meetpunt Schaar van Ouden Doel (boei 87). De metingen vinden plaats tijdens laagwater, met een gemiddelde frequentie van éénmaal per twee weken.

TABEL 3 *Grensoverschrijdende jaarvrachten te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981 -1987.*

Stof	Jaarvracht in 10 ³ kg						
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Zuurstof	18400	16500	18300	22881	19835	22568	24471
BZV ₅ ¹⁾	25670	17964	11800	21896	17449	15625	21930
Zwevend-stof ²⁾	-	262800	315840	429968	436016	461412	412139
Zwevend-stof _{zm} ^{2.5)}	275408	328048	204400	392672	375648	351128	432659
Gloeirest ²⁾	-	215600	105800	339808	347424	385078	331453
Organisch-C _{totaal} ²⁾	73300	58856	34900	66024	54432	-	-
Ammonium-N	13742	13148	9142	15332	13988	12575	12841
Nitriet-N	1400	1206	800	1173	1101	1006	1034
Nitriet+nitraat-N	26857	19555	21683	22915	19420	22407	27293
Kjeldahl-N ³⁾	22400	18745	16486	24684	22960	20790	23885
Orthofosfaat-P ⁴⁾	3920	2824	2615	3007	2452	2530	2508
Fosfaat-P _{totaal}	7229	5202	4529	5853	5101	5168	5437
Silicium _{opgelost}	28235	16700	20529	28817	23184	23348	27944
Natrium _{totaal}	301420	43370	54431	84389	91621	120700	77082
Kalium _{totaal}	-	39723	42445	56373	86062	86860	83812
Sulfaat	-	1994824	1756007	2085488	1604767	1796535	167807
Fluor	5779	4376	3992	4589	6673	4100	3665
Chlorofyl-a	222	72	86	72	52	15	60

1) Biochemisch Zuurstofverbruik, bepaald via een vijfdaagse incubatie bij 20°C.

2) Bij particuliere stoffen moet rekening gehouden worden met een overschatting van de vracht.

3) De Kjeldahl-bepaling geeft de concentratie van totaal stikstof, exclusief nitriet en nitraat.

4) Orthofosfaat bepaald door analyse van de fractie oplosbaar reactief fosfaat (SRP).

5) Zwevend-stofgehalte bepaald door filtratie over 0,45 µm. ten behoeve van de analyse van zware metalen.

De cursief gedrukte waarden zijn berekend uit jaargemiddelde concentraties en debieten

- = niet geanalyseerd.

De berekening van de grensoverschrijdende jaarvrachten vindt in drie stappen plaats.

Ter hoogte van Schaar van Ouden Doel is het Scheldewater al verdund met zeewater. Het berekenen van de jaarvrachten van de Schelde door vermenigvuldiging van gemeten concentraties met het debiet is daarom niet toepasbaar. Van stoffen die in zeewater in hogere concentraties voorkomen dan in het rivierwater zouden op deze wijze te hoge vrachten berekend worden. Van stoffen die gekenmerkt zijn door lagere concentraties in zeewater zouden de vrachten onderschat worden. Met deze effecten is rekening gehouden door te veronderstellen dat de concentraties in de zijdelingse belasting op het traject Schelle-Schaar van Ouden Doel, gelijk zijn aan de concentraties in het rivierwater dat Schelle passeert. Op basis van deze veronderstelling worden de waargenomen gehalten te Schaar van Ouden Doel gecorrigeerd.

Als tweede stap zijn de gemiddelde concentraties te Schaar van Ouden Doel per decade bepaald. Hiertoe wordt een grafiek gemaakt met op de y-as de concentratie en op de x-as de 36 decaden. In deze grafiek worden de gecorrigeerde waarnemingen op de juiste datum uitgezet en de punten met elkaar verbonden. De decadegemiddelden kunnen vervolgens afgelezen worden.

De derde stap is het berekenen van de jaarvracht, V . Deze wordt per decade berekend volgens de formule :

$$V = D \cdot t \cdot C_K$$

waarin D de decadegemiddelde afvoer te Schaar van Ouden Doel is in m^3/s , t de tijdsduur van een decade in seconden en C_K de decadegemiddelde, gecorrigeerde concentratie van de betreffende stof.

Bij deze benadering moet het volgende opgemerkt worden. De correctie voor verdunning veronderstelt dat de stoffen zich conservatief gedragen. Dit betekent dat de concentratie van deze stoffen omgekeerd evenredig is met het chloridegehalte, waarvan het verloop in het estuarium is aangegeven door de verdunningslijn in figuur 4. Bij de berekeningen is aangenomen dat de correctie van toepassing is op zowel opgeloste als particuliere stoffen geldt. Welke stoffen zich anders verspreiden is niet precies bekend. De jaarvrachten van deze zullen een beperkte nauwkeurigheid hebben, ofschoon de grootte-orde correct zal zijn.

3.2.2 Jaarvrachten uit overige bronnen

Voor het jaar 1985 zijn de vrachten aan Kjeldahl-stikstof, totaal-fosfaat en biochemisch-zuurstofverbruik samengevat in tabel 4. Hieronder wordt per bron een verantwoording gegeven van de gebruikte meetresultaten.

Polderlozingen

Bepalingen van het biochemisch zuurstofverbruik en van de concentraties Kjeldahl-stikstof en totaal-fosfaat zijn uitgevoerd door de Technologische Dienst voor de Waterschappen, als onderdeel van een breder bemonsterings-

programma. De berekende jaarvrachten door polderlozingen op de Westerschelde staan in tabel 4.

Neerslag

Op het meetstation Braakman zijn het Kjeldahl-stikstof- en het totaal-fosfaatgehalte van regenwater bepaald in de periode 1978-1982 [31].

Bij de berekening van de resulterende jaarvrachten (tabel 4) is uitgegaan van de hoeveelheid neerslag die direct op het buitendijkse gebied van de Westerschelde terecht komt, tussen de Belgisch-Nederlandse grens en de lijn Vlissingen-Breskens. Door verdamping wordt weliswaar eenzelfde hoeveelheid water weer aan het bekken onttrokken, maar de aan regenwater gebonden stoffen kunnen in principe niet verdampen.

Kanalen

Het Kanaal van Gent naar Terneuzen is verantwoordelijk voor ruim 90% van de zoetwaterbelasting vanuit de gezamenlijke kanalen. Ook de concentraties van stikstof, fosfaat en zuurstofbindende stoffen zijn in dit kanaal het hoogst. Daarom wordt volstaan met het geven van de jaarvracht van deze stoffen door het Kanaal Gent-Terneuzen (tabel 4). De gehalten zijn bepaald op het meetpunt Sas van Gent, als onderdeel van de routinemetingen van de waterkwaliteit. Tussen Sas van Gent en Terneuzen vinden minimale lozingen van deze stoffen plaats.

TABEL 4 De belasting van de Westerschelde door nutriënten en zuurstofbindende stoffen in 1985.

Bron	Stikstof Kjeldahl 10 ³ kg N	Fosfaat Totaal 10 ³ kg P	BZV ₅ 10 ³ kg O ₂	i.e. 10 ⁶
Schelde	22960	5101	17449	2,2
Polderlozingen	970	272	2070	0,15
Neerslag	602	80	nihil	0,04
Kanaal Gent-Terneuzen	2598	596	1072	0,22
Directe lozingen	1840	1520	1390	0,18
Totaal	28970	7569	20591	2,8
Tessenderlo (proef 1988)	138-850 ¹⁾	36-51	75-288	0,01-0,07

1) Als ammonium-stikstof; bron gegevens Tessenderlo : [1].

Directe lozingen

De belangrijkste bijdragen worden geleverd door de persleiding bij Waarde, de afvalwaterleiding van de kanaalzone bij Terneuzen, het industriegebied Sloe en de plaatsen Middelburg, Vlissingen en Goes. In de nabije toekomst komt hier wellicht nog de afvalwatercollector van Tessenderlo-Chemie bij. De bijdrage van deze leiding, een schatting op basis van een proefneming in 1988 [1], is apart vermeld in tabel 4.

Ook de grensoverschrijdende baggerspeciéstortingen moeten tot de categorie directe lozingen gerekend worden. De vrachten hiervan zijn echter alleen op een aantal zware metalen onderzocht, waarover gerapporteerd wordt in deelrapport 2 "Microverontreinigingen".

3.3 De belasting vanuit het Zoommeer

In april 1987 werd de Philipsdam voltooid, waardoor het Volkerak/Zoommeer-systeem definitief gescheiden werd van het mariene Oosterscheldebekken. Overeenkomstig het beheersplan Zoommeer [42] is tussen mei 1987 en februari 1988 een snelle ontzilting van dit systeem bewerkstelligd. In deze periode is een relatief grote hoeveelheid water op de Westerschelde gebracht, via de Bathse Spuisluis (zie figuur 5). Een aantal malen is de kwaliteit van het gespuide water onderzocht. Uit de resultaten zijn vrachten aan totaal-stikstof en orthofosfaat berekend, die samengevat zijn in tabel 5. Deze belasting aan stikstof en fosfaat bedraagt ongeveer 10% van de bijdrage van de Schelde.

TABEL 5 *De belasting van de Westerschelde vanuit het Bathse Spuikanaal in 1987.*

Tijdvak in 1987 maand	Debiet m ³ /s	Totaal-stikstof 10 ³ kg N	Orthofosfaat 10 ³ kg P
mei	29	164	7
juni	39	230	2
juli	52	356	34
augustus	59	268	54
september	38	137	34
oktober	40	153	33
november	42	170	29
december	32	143	20

Na de ontziltingsfase zal het spuidebiet te Bath gemiddeld 14 m³/s bedragen. Daarbij komen nog de lozingen via de Kreekrak- en Zandvlietssluisen van gemiddeld 6 m³/s. De afvoer vanuit het Zoommeer verhoogt de totale zoetwaterbelasting op de Westerschelde met 8%, uitgaande van de belastings-

situatie in 1985. De resulterende belasting op de Westerschelde aan stikstof en fosfaat, zal dan naar schatting 5, respectievelijk 3% van de belasting via de Schelde bedragen.

3.4 Antropogeniteit

3.4.1 De antropogene fractie van de fosfor- en stikstofbelasting.

De belasting van de Westerschelde met fosfor en stikstof is hierboven gekwantificeerd. In deze paragraaf wordt onderzocht welk deel van deze belasting antropogeen is en welk deel "natuurlijk". Hiertoe is de referentieconcentratie in de Westerschelde berekend op basis van de "natuurlijke" concentraties van het water dat instroomt vanuit de Schelde en het Kanaal. Tabel 6 geeft een overzicht van deze gehalten. Daarnaast is de nutriëntenverspreiding voor de belastingssituatie in het jaar 1985 berekend.

TABEL 6 *De natuurlijke concentraties van fosfor en stikstof.*

	Totaal-fosfor mg/l	Totaal-stikstof mg/l
Noordzee	0,025	0,2
Schelde	0,15	1,0
Kanaal Gent-Terneuzen en polderuitslag	0,13	1,9
Vlissingen-Breskens	0,025	0,2

Gegevens afkomstig of afgeleid uit [23, 43].

De berekeningen zijn uitgevoerd met het model VEDWAM. Bij het vergelijken van berekende en gemeten concentraties zijn een aantal eigenschappen van dit model van belang. Op de eerste plaats is bij de berekeningen aangenomen dat de stoffen zich conservatief gedragen. Hierdoor mag verwacht worden dat in het algemeen een te hoge concentratie zal worden berekend. Op de tweede plaats berekent VEDWAM de gehalten voor de getijgemiddelde situatie, terwijl de metingen meestal worden uitgevoerd rond de hoog- of laagwaterkentering. Op de derde plaats geeft het model de concentraties gemiddeld over de verticaal; de metingen daarentegen, zijn representatief voor de bovenste halve meter van de waterkolom. Uit onderzoek is gebleken dat de slibconcentratie gemiddeld over de verticaal een factor één tot drie maal groter kan zijn dan die van de bovenste halve meter. Voor locaties buiten het hoofdwater kan dit verschil zelfs oplopen tot een factor tien.

Bij een vergelijking met de meetgegevens blijken de ranges van de jaargemiddelden elkaar redelijk te overlappen (zie tabel 7), al zullen de berekende concentraties gemiddeld 30 à 50% hoger kunnen zijn dan de waargenomen.

De antropogene fractie, A , is bepaald met behulp van de relatie :

$$A = \frac{C_{85} - C_{\text{ref}}}{C_{85}}$$

waarin C_{ref} de met VEDWAM berekende referentieconcentratie voorstelt en C_{85} het berekende gehalte voor de belastingssituatie in het jaar 1985.

De antropogene fractie is bepaald voor de punten Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Lamswaarde en voor het Belgisch-Nederlandse grenspunt. De berekeningen geven aan dat 80 à 90% van de waargenomen concentraties van totaal-fosfor en totaal-stikstof in de Westerschelde, door menselijke activiteiten tot stand komt.

De bijdrage van de diverse belastingsbronnen aan de antropogene fractie is nader geanalyseerd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 6. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de invloed van de Schelde overheersend is. Ook de bijdrage van het Kanaal Gent-Terneuzen is voor beide nutriënten van belang.

TABEL 7 *De ranges van waargenomen en berekende, jaargemiddelde concentraties van fosfor en stikstof in de Westerschelde.*

	Totaal-fosfor mg/l	Totaal-stikstof mg/l
Waargenomen (1985)	0,2 - 0,9	1,0 - 3,2
Berekend (VEDWAM)	0,4 - 1,1	1,7 - 4,8

3.4.2 De antropogene belasting aan inwoners-equivalenten

De belasting aan zuurstofbindende stoffen in inwoners-equivalenten (i.e.), is berekend uit de vrachten van de parameters BZV₅ en Kjeldahl-stikstof (zie tabel 4). De omvang van de natuurlijke, grensoverschrijdende jaarvrucht is geschat op $0,6 \cdot 10^6$ i.e. De antropogene fractie van de huidige belasting bedraagt dan 73%.

4 RUIMTELIJKE VARIATIE, TRENDS EN PROCESSEN

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling in de waterkwaliteit van de Westerschelde beschreven over de periode 1981-1986. Hiermee wordt aangesloten op een eerdere rapportage [26], die het tijdvak 1964-1981 behandelde. Het jaar 1987 is buiten beschouwing gelaten in verband met de invloed van de geforceerde doorspoeling van het Zoommeer. Waar nodig wordt wel ingegaan op de effecten hiervan.

De beschrijving van de waterkwaliteit is gebaseerd op het WAKWAL-bestand. In deze dataset worden de routinematig ingewonnen waterkwaliteitsgegevens van de Nederlandse oppervlaktewateren verwerkt. De parameters die in dit meetprogramma zijn opgenomen staan in bijlage 1. Voor de Westerschelde zijn de monsterpunten Schaar van Ouden Doel, Hansweert, Terneuzen en Vlissingen gebruikt.

Van de gemeten parameters wordt de variatie in ruimte en tijd beschreven. Het meerjarig verloop van een aantal parameters, zoals het zuurstofgehalte en het biochemisch zuurstofverbruik, is nader onderzocht door middel van een trendanalyse. De methode van trendanalyse wordt hieronder besproken. Hier en daar wordt aandacht besteed aan onderliggende processen, om inzicht te geven in het ontstaan van de beschreven variatie. Een proces als nitrificatie bijvoorbeeld, beïnvloedt het concentratieverloop van stikstofverbindingen.

Trendanalyse

De dataset van de onderzochte parameters is onderworpen aan een trendanalyse met behulp van het rekenmodel TREND [12]. Met dit model kan een lineaire trend worden bepaald, waarbij zo nodig gecorrigeerd wordt voor afhankelijkheden binnen een meetreeks (via correctievariabelen) en voor seizoenseffecten (via Fouriertransformatie). In bijlage 1 is aangegeven bij welke parameters deze correcties zijn toegepast.

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

De trendanalyse is uitgevoerd met de gegevens voor de monsterpunten Schaar van Ouden Doel, Hansweert, Terneuzen en Vlissingen. De berekende trends zijn al of niet rekenkundig significant. Alleen de significante trendlijnen worden gepresenteerd. Een aparte categorie vormen de trends die weliswaar significant zijn, maar niet realistisch. Dit kan optreden bij een te korte trendperiode, of bij parameters waarvan de metingen regelmatig op de detectiegrens uitkomen, terwijl de detectielimieten in de loop van de periode zijn aangepast. Ook deze resultaten worden buiten beschouwing gelaten.

Tenslotte moet men zich realiseren dat de gepresenteerde trends alleen een uitspraak rechtvaardigen over de beschouwde trendperiode. Extrapolatie

naar aansluitende perioden is in principe ongeoorloofd, omdat buigpunten in het langjarig verloop van de meetwaarden worden versluierd door de lineaire trendbenadering.

4.2 Algemene parameters

4.2.1 Chloride

Het verloop van de chloridegehalten in de Westerschelde vertoont een duidelijk seizoensafhankelijk patroon (zie figuur 7). Dit patroon ontstaat door de wisselende rivierafvoer, die het gevolg is van de seizoensmatige variatie in de neerslaghoeveelheden en mate van verdamping. In de winter zijn de chlorideconcentraties relatief laag door de hoge afvoer van de rivier de Schelde. Dit effect van een wisselende zoetwaterbelasting is tot op het meetpunt Vlissingen merkbaar.

De jaargemiddelde chloridegehalten op de vier meetpunten zijn weergegeven in tabel 8.

Om een indruk te krijgen van de zoutgradiënt in het estuarium zijn in figuur 4 drie lengteprofielen van het jaargemiddelde chloridegehalte weergegeven voor, respectievelijk, een nat, een "gemiddeld" en een relatief droog jaar. De chloriniteit neemt af van 16 g Cl⁻/l bij Vlissingen tot rond de 4 g Cl⁻/l bij Doel. De afname is het sterkst op het traject Kruiningen-Doel.

TABEL 8 *Chloride in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1981 - 1986.*

Meetpunt	Jaargemiddelde gehalte in mg Cl ⁻ /l					
	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Schaar van Ouden Doel	2981	4125	4470	3837	4376	4230
Hansweert	8300	9593	9732	9485	9560	10144
Terneuzen	12280	13270	13284	13192	12981	13645
Vlissingen	15774	16203	16371	16552	16378	16625

4.2.2 Watertemperatuur

Figuur 8 toont het tijdsverloop van de watertemperatuur over de verslagperiode. De absolute norm voor de basiskwaliteit van 25 °C is in deze periode op géén van de vier meetpunten overschreden. De jaargemiddelden staan in tabel 9. In het oostelijk deel van de Westerschelde is de jaargemiddelde watertemperatuur hoger dan in het westelijk deel. Vooral de zomerwaarden dragen bij aan het ontstaan van dit verschil. Het temperatuursverloop is

het grootst tussen Schaar van Ouden Doel en Hansweert, wat veroorzaakt wordt door het mengproces van rivierwater met het relatief koudere zeewater. Daarnaast is de warmtecapaciteit van het water op het traject Ouden Doel-Hansweert waarschijnlijk lager dan tussen Hansweert en Vlissingen, waardoor het oostelijk deel in de zomer (bij een lage afvoer) sneller opwarmt.

De watertemperatuur is van invloed op de snelheid van allerlei biologische en chemische processen. Processen die zelf het concentratieverloop van diverse stoffen beïnvloeden. De mineralisatiesnelheid bijvoorbeeld, neemt toe met de temperatuur waardoor de verbruikssnelheid van zuurstof stijgt. Omdat de oplosbaarheid van zuurstof in water bij toenemende temperatuur juist lager wordt, kan het zuurstofgehalte vervolgens sterk afnemen.

TABEL 9 *Watertemperatuur in de Westerschelde; jaargemiddelden in de periode 1981 - 1986.*

Meetpunt	Jaargemiddelde watertemperatuur in °C					
	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Schaar van Ouden Doel	12,7	13,0	12,2	12,6	11,6	11,9
Hansweert	11,2	11,3	10,9	11,4	9,8	10,2
Terneuzen	10,8	11,0	10,6	11,1	9,6	9,8
Vlissingen	10,5	10,7	10,3	10,7	9,5	9,5

4.2.3 Zwevend stof

Het zwevend-stofgehalte van water is een belangrijke parameter. Op de eerste plaats is dit gehalte mede bepalend voor het lichtklimaat onder water. Op de tweede plaats bestaat er een sterke relatie tussen het zwevend-stofgehalte en de verspreiding van microverontreinigingen, die voornamelijk aan de fijne slibfractie gebonden zijn. Het zwevend stof bestaat bijna uitsluitend uit fijn-particulair materiaal, dat als slib kan worden aangemerkt. Zwevend stof, *i.c.* slib, speelt op de derde plaats een rol in de ophoging van sedimentatiegebieden en het verondiepen van geulen. Bij de baggerwerkzaamheden, die om nautische redenen worden uitgevoerd, doen zich problemen voor omdat het slib zo verontreinigd blijkt dat er speciale maatregelen nodig zijn om de baggerspecie te bergen. Deze problematiek is dermate belangrijk voor de beleidsnota dat er een apart deelrapport, 3, aan wordt gewijd. In deze paragraaf zal alleen aandacht worden besteed aan het verloop van de zwevend-stofgehalten in de Westerschelde.

Bepaling van het zwevend-stofgehalte

Aanvankelijk is het zwevend-stofgehalte uitsluitend bepaald als onderdeel van de analyse van het totaalgehalte en de opgeloste fractie van zware metalen. Hierbij wordt een watermonster van één liter gefiltreerd over een cellulosenitraatfilter met een poriewijde van $0,45\ \mu\text{m}$. Vervolgens wordt dit filter met het afgefilterde materiaal gedroogd bij een temperatuur van $105\ ^\circ\text{C}$, waarna het drooggewicht van het zwevend stof gemeten wordt. Sinds 1982 wordt het zwevend-stofgehalte tevens als zelfstandige parameter bepaald. Alleen wordt bij deze analyse gebruik gemaakt van een glasfiberfilter met een poriewijde van $1,0\ \mu\text{m}$.

Bij de trendberekeningen is gebruik gemaakt van de zwevend-stofgehalten voor de zware-metalenanalyse, omdat deze bepaling over een langere periode is uitgevoerd. Bovendien kunnen deze gegevens vergeleken worden met de zwevend-stofgehalten uit de periode 1964-1981 [26]. In het algemeen verschillen de resultaten van beide analysemethoden niet opvallend, zoals mag blijken uit figuur 11 en uit een vergelijking van de tabellen 10 en 11.

Verloop van het zwevend-stofgehalte

Figuur 9 laat het concentratieverloop op de vier meetpunten in de Westerschelde zien. Het patroon is grillig wat een gevolg is van de invloed van stroming en golven op de gehalten. Windsnelheid en -richting en het tijdstip van bemonstering ten opzichte van de getijfase veroorzaken een belangrijk deel van de variatie. Ook door baggerwerkzaamheden wordt particulier materiaal gesuspendeerd. De berekende jaargemiddelden staan in tabel 10 en zijn grafisch weergegeven in figuur 10. Ter vergelijking geeft tabel 11 de corresponderende gehalten bepaald via de $1,0\ \mu\text{m}$ filtratiemethode.

De zwevend-stofgehalten zijn het hoogst te Schaar van Ouden Doel, maar tussen de overige meetpunten is geen duidelijke gradiënt te onderscheiden, zoals bij het chloridegehalte wel het geval is. Vergeleken met Hansweert zijn de jaargemiddelden bij Terneuzen steeds hoger.

TABEL 10 *Zwevend stof ($0,45\ \mu\text{m}$)¹⁾ in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1981 - 1986.*

Meetpunt	Jaargemiddelde gehalte in mg/l					
	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Schaar van Ouden Doel	72,4	62,3	54,1	65,3	77,5	61,8
Hansweert	47,1	42,4	37,4	39,4	50,2	55,5
Terneuzen	73,6	90,7	48,2	53,7	58,5	55,8
Vlissingen	64,4	66,8	47,2	50,9	39,4	41,8

1) Bepaald via filtratie over $0,45\ \mu\text{m}$, voor de analyse van zware metalen.

TABEL 11 *Zwevend stof ($1,0 \mu\text{m}$)¹⁾ in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1982 - 1986.*

Meetpunt	Jaargemiddelde gehalte in mg/l				
	1982	1983	1984	1985	1986
Schaar van Ouden Doel	67,0	58,9	73,2	90,6	84,5
Hansweert	46,4	40,4	44,1	57,0	33,3
Terneuzen	73,5	48,3	59,8	66,9	35,5
Vlissingen	56,0	46,7	47,5	35,2	26,7

1) Bepaald via filtratie over $1,0 \mu\text{m}$.

4.3 Biochemisch zuurstofverbruik

De bepaling en achtergrond van het biochemisch zuurstofverbruik

Het biochemisch zuurstofverbruik van water wordt bepaald door het meten van de afname van het zuurstofgehalte in een afgesloten en met zuurstof verrijkt watermonster, dat vijf dagen in het donker wordt bewaard bij een constante temperatuur van 20°C . De aldus bepaalde parameter wordt aangeduid als BZV_5 (Eng. BOD_5), met de dimensie $\text{mg O}_2/\text{l}$. Gesproken wordt van BZV_5 -vrachten, of -gehalten, als maat voor de vracht of het gehalte aan zuurstofbindende stoffen. Hoe hoger de concentratie van zuurstofbindende stoffen, hoe groter het BZV_5 . Zuurstofbindende stoffen die in de Westerschelde van belang zijn, zijn organische verbindingen als eiwitten, aminozuren en suikers en diverse gereduceerde, anorganische stoffen, zoals ammonium, ijzer(II)zouten en zwavelwaterstof. Het overgrote deel van deze verbindingen komt in het estuarium door de lozing van ongezuiverd afvalwater in de Schelde.

De variatie in het biochemisch zuurstofverbruik

De maandelijks bepaalde BZV_5 -gehalten fluctueren als gevolg van seizoensvariatiën van uiteenlopende aard; figuur 12 toont het tijdsverloop op de vier meetpunten. De pieken die 's zomers vooral te Vlissingen worden geconstateerd, worden veroorzaakt door ontbinding van plankton, dat zich in de voorjaars- en zomermaanden in het mondingsgebied en de Noordzee ontwikkelt.

Te Schaar van Ouden Doel zijn de BZV_5 -jaarvrachten in de periode 1976-1986 niet duidelijk verbeterd, zoals tabel 12 laat zien. Wel lijkt het jaargemiddelde BZV_5 -gehalte hier te zijn afgenomen in de periode 1975-1980 en wel van 6 tot een niveau van 3 à $4 \text{ mg O}_2/\text{l}$ [26]. In de daaropvolgende jaren blijven de gemiddelden op dit niveau schommelen (tabel 13). Vergelijkt men de gehalten uit de periode 1981-1986 met de corresponderende zuurstofconcentraties in tabel 15, dan blijken deze sterk negatief-gerelateerd: In de jaren dat het BZV_5 -gehalte relatief laag is, is het zuurstofge-

halte relatief hoog. In deze periode is tevens sprake van een duidelijker, positief verband tussen zowel vracht als gehalte van zuurstofbindende stoffen en de Schelde-afvoer.

TABEL 12 *BZV₅-jaarvrachten en jaargemiddelde Schelde-afvoeren te Schaar van Ouden Doel, in de periode 1976 - 1986.*

	Jaar in de periode 1976-1986										
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Afvoer m ³ /s	67	110	97	116	134	158	124	120	147	120	127
Vracht 10 ⁶ kg O ₂ /jaar	22	17	14	23	16	26	18	15	22	17	16

Alleen voor het meetpunt Vlissingen kan een significante trend over de periode 1975-1985 worden afgeleid: het BZV₅-gehalte stijgt hier van 1,7 naar 2,2 mg O₂/l (zie figuur 13). Deze stijging is vermoedelijk veroorzaakt door een toename van de fytoplanktonbiomassa in het mondingsgebied (een tendens die zich voordoet in kustwateren van de Noordzee; zie bijv. [26] en hoofdstuk 6 van dit rapport), of door een toename van de belasting via de afvalwaterlozingen bij Ritthem.

TABEL 13 *Biochemisch zuurstofverbruik (BZV₅) in de Westerschelde; jaargemiddelden in de periode 1980 - 1986.*

Meetpunt	Jaargemiddeld verbruik in mg O ₂ /l						
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Schaar van Ouden Doel	3,3	4,0	3,6	3,1	3,7	3,4	3,0
Hansweert		1,9	1,7	2,1	1,7	2,0	
Terneuzen		1,8	1,7	1,9	1,6	1,6	
Vlissingen	1,7	2,2	2,4	2,4	2,0	2,1	

4.4 Stikstofverbindingen

Nitrificatie

Sterk gerelateerd aan het biochemisch zuurstofverbruik zijn de stikstofverbindingen ammonium (NH₄), nitriet (NO₂) en nitraat (NO₃). Ammonium is een belangrijk tussenproduct bij de afbraak van organische stof. In wateren

die belast worden met rioolwater of detritus is de concentratie relatief hoog. Bepaalde bacteriën zijn in staat om ammonium in de aanwezigheid van zuurstof om te zetten in nitriet. Dit nitriet kan door andere bacteriën verder geoxideerd worden tot nitraat. Het gehele proces wordt nitrificatie genoemd en is voor de Westerschelde uitvoerig beschreven [24]. De vergelijkingen van de twee stappen zien er als volgt uit :



De tweede stap verloopt in het algemeen zeer snel, waardoor het nitrietgehalte altijd laag is ten opzichte van het nitraatgehalte. De concentratie van beide wordt doorgaans als somparameter, $\text{NO}_2/\text{NO}_3\text{-N}$, opgegeven. De zuurstof benodigd voor de nitrificatie, wordt onttrokken aan het water. Experimenteel is vastgesteld dat voor de omzetting van 1 mg stikstof 4.3 mg zuurstof nodig is. Daarmee levert het nitrificatieproces de belangrijkste bijdrage aan het biochemisch zuurstofverbruik.

In afwezigheid van zuurstof kan nitraat door denitrificerende bacteriën worden omgezet in gasvormige stikstofverbindingen (N_2 , N_2O), waardoor stikstof uit het systeem kan ontsnappen.

Gedrag en concentratie van stikstofverbindingen

De belasting van de Schelde met stikstof is hoog en daarmee ook de vracht die bij Schaar van Ouden Doel het Westerschelde-estuarium binnenstroomt. In tabel 14 is een overzicht gegeven van deze vrachten in de periode 1976-1986.

TABEL 14 *Jaarvrachten van stikstofverbindingen en jaargemiddelde Schelde-afvoeren te Schaar van Ouden Doel, in de periode 1976 - 1986.*

	Jaar in de periode 1976-1986										
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Afvoer m ³ /s	67	110	97	116	134	158	124	120	147	120	127
Vracht 10 ⁶ kg N/jaar											
NH ₄	14	18	13	20	14	14	13	9	15	14	13
NO ₂ /NO ₃	8,6	9,8	21,5	25,1	19,2	26,9	19,6	21,7	22,9	19,4	22,4
Totaal-N	22,6	27,8	34,5	45,1	33,2	40,9	32,6	30,7	37,9	33,4	35,4

Er bestaat een positief verband tussen de afvoer en de totale vracht aan stikstof in de vorm van nitriet + nitraat en ammonium. Enerzijds is dit een

gevolg van de stikstofbelasting op de rivier; door neerslag neemt zowel de afvoer als de uitloging van landbouwgebieden toe. Anderzijds is dit een gevolg van de rol van denitrificatie; bij een lagere afvoer kent het water een langere verblijftijd waardoor de hoeveelheid stikstof die via dit proces uit het systeem verdwijnt groter wordt.

Het verloop van de concentratie van deze stikstofverbindingen in de periode 1981-1986 is weergegeven in de figuren 14 (ammonium) en 16 (nitriet + nitraat). Uit een vergelijking van de corresponderende tijdgrafieken blijkt dat een daling van de ammoniumconcentratie in de zomerperiode gepaard gaat met een evenredige stijging van het nitriet+nitraatgehalte. Dit is een gevolg van nitrificatie. Te Schaar van Ouden Doel zijn de verschillen in de ammoniumconcentratie over een jaar het grootst. De seizoensmatige variatie van het zuurstofgehalte in het aangevoerde Scheldewater speelt hierbij een rol. In de richting van de monding nemen zowel de seizoensverschillen als de concentratie van ammonium af. Het nitriet+nitraatgehalte neemt eveneens af in de richting van de Westerscheldemonding, maar deze afname is minder sterk dan bij ammonium. Ook uit de jaargemiddelden blijkt dat nitrificatie het meest belangrijk is tussen Schaar van Ouden Doel en Hansweert (zie figuur 15 en 17). Op dit traject is zowel de afname van ammonium-stikstof, als de toename van nitriet+nitraat-stikstof het grootst.

Als de concentratie van een stof in een estuarium evenredig is met het chloridegehalte, dan spreekt men van een stof die zich conservatief gedraagt. Wordt de concentratie van deze stof op een aantal punten in het estuarium gemeten en uitgezet tegen het chloridegehalte, dan ontstaat een rechte lijn. Een dergelijk verloop kan men verwachten wanneer de concentratie uitsluitend verandert als gevolg van het mengproces van rivierwater en zeewater (verduunning van de afvoer). Het ontstaan van een rechte lijn kan echter ook betekenen dat er evenveel van de stof bijkomt als verdwijnt, tijdens het transport door het estuarium.

Wat de Westerschelde betreft ontstaat zo'n rechte lijn wanneer de concentraties ammonium-stikstof en nitriet+nitraat-stikstof, gemiddeld over de periode 1981-1986, worden opgeteld en uitgezet (zie figuur 18); deze combinatie gedraagt zich hier conservatief. Uit dezelfde figuur blijkt dat ammonium-stikstof op zich niet conservatief is, want de concentratie ligt lager dan uit verduunning alléén verklaard kan worden. Nitraat-stikstof is evenmin conservatief, want het gehalte daarvan komt hoger uit dan op grond van verduunning verwacht mag worden. Ammonium wordt omgezet in nitraat (nitrificatie) en opgeteld geven beide stikstofverbindingen blijkbaar een concentratieverloop dat door verduunning wel verklaard wordt.

Naast ammonium, nitriet en nitraat komt stikstof nog organisch gebonden voor, in opgeloste en particuliere vorm. Organisch-stikstof gedraagt zich niet conservatief; de concentratie is lager dan men zou verwachten op grond van verduunning met zeewater. Een deel van het organisch-stikstof zal door mineralisatieprocessen worden omgezet in ammonium en vervolgens in nitriet en nitraat.

Denitrificatie, de omzetting van nitraat of nitriet in gasvormige stikstofverbindingen, verloopt onder anaerobe omstandigheden, meestal uitsluitend in de bodem. Momenteel wordt verondersteld dat de stikstofaanvoer via de zijdelingse belastingen en de mineralisatie van organisch-stikstof, ongeveer

gecompenseerd wordt door denitrificatie. Deze zijdelingse stikstofbelasting bedraagt ongeveer 24% van de stikstofbelasting via de Schelde.

In de toekomst zal de belasting met zuurstofbindende stoffen op de Schelde afnemen. Het directe gevolg daarvan is een afname van de ammoniumconcentratie en een toename van het nitraatgehalte. Verwacht wordt dat er een hogere nitraatflux naar de bodem van de Schelde zal ontstaan. Daar vindt denitrificatie plaats, waardoor de stikstof als gas naar de atmosfeer verdwijnt. Als gevolg hiervan zal de nitraatvrucht die het estuarium opkomt voorlopig niet toenemen. Op den duur echter, zal de denitrificerende capaciteit van de bodem kunnen afnemen, wanneer een verhoging van de zuurstofflux naar de bodem gepaard gaat met een afname van het bodemzuurstofverbruik. Het is niet ondenkbaar dat het nitraatgehalte in de Westerschelde hierdoor zal toenemen.

Significante trends

Het ammoniumgehalte vertoont op alle vier de meetpunten een significante afname over de periode 1975-1984/1985 :

Schaar van Ouden Doel	: Van 4,1 naar 1,5 mg N/l over 1975-1985 (figuur 19).
Hansweert	: Van 1,4 naar 0,5 mg N/l over 1975-1984 (figuur 20).
Terneuzen	: Van 0,6 naar 0,3 mg N/l over 1975-1984 (figuur 21).
Vlissingen	: Van 0,3 naar 0,1 mg N/l over 1975-1984 (figuur 22).

De trend van het nitriet/nitraat-gehalte over de periode 1975-1985 kan alleen te Schaar van Ouden Doel berekend worden; de concentratie neemt toe van 2,8 naar 4,3 mg N/l (figuur 23).

Het gehalte Kjeldahl-stikstof (totaal-stikstof excl. nitriet/nitraat) vertoont een dalende trend, voor zover kon worden berekend :

Schaar van Ouden Doel	: Van 5,0 naar 3,5 mg N/l over 1975-1985 (figuur 24).
Hansweert	: Van 1,9 naar 1,4 mg N/l over 1975-1984 (figuur 25).

4.5 Zuurstof

De totstandkoming van het zuurstofgehalte

In het water en het sediment wordt zuurstof verbruikt bij de chemische oxidatie van gereduceerde verbindingen en bij biologische processen als mineralisatie en ademhaling. Aan het wateroppervlak wordt zuurstof aan het systeem toegevoerd via reëratie en in de waterkolom door primaire productie [58]. Door menging en diffusie vindt transport van zuurstof uit het water naar de bodem plaats. Het zuurstofgehalte in oppervlaktewater wordt bepaald door de oplosbaarheid van zuurstof en door de snelheid waarmee zuurstof door genoemde processen wordt toegevoerd c.q. onttrokken.

De snelheid waarmee deze processen verlopen is afhankelijk van de concentratie van de procesvariabelen, zoals zuurstofbindende stof en fytoplankton en van de procesomstandigheden. De invloed van de watertemperatuur werd hiervoor al aangestipt. Om de rol van enkele andere condities te

belichten: Dichtheidsverschillen in de waterkolom, een gevolg van zoutgradiënten, veroorzaken een vertraging in de uitwisseling tussen de zuurstofrijke bovenlaag en de zuurstofarme onderlaag. De zuurstoftoevoer door reëratie is afhankelijk van de windkracht, de strijklengte van de wind over het oppervlak en van de watertemperatuur. De zuurstoftoevoer door primaire productie is vooral afhankelijk van de concentratie fytoplankton en van de hoeveelheid licht die doordringt.

De variatie van het zuurstofgehalte

Het water dat door de Schelde wordt aangevoerd heeft een laag zuurstofgehalte. Dat is een gevolg van de grote belasting met zuurstofbindende stoffen op deze rivier. Het jaargemiddelde gehalte te Schaar van Ouden Doel is lager dan 5 mg O₂/l (zie figuur 28), terwijl de absolute norm voor de basiskwaliteit van zoetwater is vastgesteld op 5 mg/l.

In figuur 27 is het tijdsverloop van de zuurstofconcentratie op de vier meetpunten weergegeven. De duidelijke seizoensfluctuaties worden veroorzaakt door de variatie in watertemperatuur en Schelde-afvoer. 's Zomers is de verbruikssnelheid van zuurstof hoger en het verzadigingsgehalte lager. Ook de afvoer van de Schelde is 's zomers lager, waardoor de concentratie zuurstofbindende stoffen hoger kan zijn. Voor de periode 1964-1980 geeft Van der Kooij [26] een verband tussen de afvoer en het zuurstofgehalte, gebaseerd op jaargemiddelde concentraties en belastingscijfers. De toename van het zuurstofgehalte in deze periode wordt gedeeltelijk toegeschreven aan de verhoging van de Schelde-afvoer.

TABEL 15 *Jaargemiddelde zuurstofgehalten en Schelde-afvoeren te Schaar van Ouden Doel, in de periode 1973 - 1986.*

		Jaar in de periode 1973-1986													
		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Afvoer	m ³ /s	76	156	112	67	110	97	116	134	158	124	120	147	120	127
Zuurstof	mg/l	1,0	1,8	1,2	1,8	1,6	1,8	2,3	2,1	3,6	4,2	4,9	3,8	4,3	4,5

87 88

4,2 2,9

Bron: Gegevens over de periode 1973 t/m 1980 uit [26].

Vergelijkt men de jaargemiddelde zuurstofgehalten te Schaar van Ouden Doel uit de periode 1973-1986 (zie tabel 15), dan blijken deze vanaf 1981 aanmerkelijk hoger te zijn, zonder dat dit kan worden toegeschreven aan de hoogte van de Schelde-afvoer.

Tabel 16 geeft de jaargemiddelde zuurstofgehalten op de vier meetstations, in de periode 1980-1986. De grootste verbetering in de waterkwaliteit door een verhoging van het zuurstofgehalte treedt op te Schaar van Ouden Doel en Hansweert. Voor beide punten geeft de trendanalyse een significante toename van het zuurstofgehalte : Te Schaar van Ouden Doel van 0,9 tot

4,6 mg O₂/l over het tijdvak 1975-1985 (figuur 26), te Hansweert van 7,4 tot 8,3 mg O₂/l over de periode 1975-1984 (figuur 33). Deze stijging van het zuurstofgehalte is zeer waarschijnlijk het gevolg van een verminderde nitrificatie, door een afname van de organisch-stofbelasting. Op de eerste plaats neemt het gehalte totaal-organische koolstof te Schaar van Ouden Doel af met 4,9 mg/l over de periode 1978-1985. Op de tweede plaats vertoont het ammoniumgehalte op dit punt een trendmatige afname van 2,6 mg N/l over 1975-1985, waarbij zich in 1980 een plotselinge daling van het jaargemiddelde concentratieniveau voordoet (zie figuur 19).

Een mogelijk effect van een verhoging van het zuurstofgehalte is een toename van de vracht aan opgeloste metalen. Wanneer de zuurstofflux naar het sediment toeneemt kan dit leiden tot een afname van de hoeveelheid sulfide, die beschikbaar is voor immobilisatie van zware metalen. Een verbetering van het zuurstofgehalte door een verminderde organisch-stofbelasting gaat echter meestal samen met een verhoging van de zuurgraad. Bij een hogere pH is een kleinere fractie van de metalen in oplossing. Onzeker is welk van beide processen in de Schelde een overheersende invloed zal hebben op de beschikbaarheid van metalen.

TABEL 16 *Zuurstof in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1980 - 1986.*

Meetpunt	Jaargemiddeld gehalte in mg O ₂ /l						
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Schaar van Ouden Doel	2,1	3,6	4,2	4,9	3,8	4,3	4,5
Hansweert		7,9	8,3	8,5	8,1	8,8	8,6
Terneuzen		8,7	8,8	8,8	8,6	9,2	8,9
Vlissingen	9,2	9,3	9,2	9,2	9,0	9,4	9,2

4.6 Fosfaat

Het verloop van de concentratie orthofosfaat is weergegeven in figuur 34. Door verdunning van de Schelde-afvoer met zeewater zijn de gehalten bij Vlissingen lager dan bij Schaar van Ouden Doel. Interessant is het verschil tussen deze stations wat betreft het seizoensverloop van de orthofosfaatconcentratie. Bij Vlissingen is het gehalte in de zomermaanden lager dan 's winters, door de opname van fosfaat door fytoplankton. Te Schaar van Ouden Doel daarentegen, nemen de concentraties 's zomers toe. Dit is vermoedelijk een gevolg van fosfaatafgifte door de bodem; onder invloed van de lage zuurstofgehalten wordt het fosfaat in de bodem mobiel, waardoor het naar de waterkolom kan diffunderen. Tussen 1972 en 1981 is het jaargemiddelde orthofosfaatgehalte toegenomen van 0,39 tot 0,60 mg P/l [26]. Uit tabel 17 blijkt dat er sinds 1981 sprake is van een geleidelijke daling.

TABEL 17 *Jaargemiddelde orthofosfaatgehalten te Schaar van Ouden Doel, in de periode 1981 - 1986.*

Meetpunt	Jaargemiddelde gehalte in mg P/l					
	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Schaar van Ouden Doel	0,60	0,59	0,50	0,52	0,53	0,48

Trendberekeningen aan de orthofosfaatgehalten over de periode 1975-1984/1985, laten op alle punten nog een toename zien :

Schaar van Ouden Doel : Van 0,48 naar 0,59 mg P/l over 1975-1985 (fig. 29).
Hansweert : Van 0,35 naar 0,45 mg P/l over 1975-1984 (fig. 30).
Terneuzen : Van 0,21 naar 0,28 mg P/l over 1975-1984 (fig. 31).
Vlissingen : Van 0,10 naar 0,12 mg P/l over 1975-1984 (fig. 32).

Het afwijkende beeld van deze trendberekeningen kan worden veroorzaakt door het feit dat bij de analyse rekening wordt gehouden met de afvoer en het zwevend-stofgehalte. Eventuele trendbreuken worden echter niet signaleerd, waardoor een nadere analyse in sommige gevallen gewenst is.

4.7 Primaire productie in de Westerschelde

Het seizoensverloop van de nutriënten stikstof en fosfaat kwam hiervoor al even aan de orde. In deze paragraaf wordt een verband gelegd met de primaire productie van het fytoplankton. Onder primaire productie verstaat men de productie van organische stof uit anorganische koolstofverbindingen en voedingsstoffen (stikstof, fosfaat, silicium) onder invloed van zonlicht. Deze productie wordt uitgedrukt in de hoeveelheid geassimileerde koolstof per tijdseenheid en oppervlakte-eenheid.

Op basis van de routinematige waterkwaliteitsmetingen wordt het seizoensverloop van de fytoplanktonbiomassa, de nutriënten en de uitdoving van licht in de waterkolom besproken.

4.7.1 Het verloop van de fytoplanktonbiomassa

Chlorofyl-a

De fytoplanktonbiomassa wordt routinematig gemeten door het bepalen van het gehalte chlorofyl-a in watermonsters. Chlorofyl-a is een fotosynthesepigment, dat een zekere kwantitatieve relatie vertoont met de fytoplanktonbiomassa uitgedrukt in koolstof.

In het voorjaar neemt het chlorofylgehalte toe als gevolg van een stijging van de lichtinstraling (zie figuur 35). Bij Vlissingen vindt deze toename van

de chlorofylconcentratie eerder plaats dan bij Schaar van Ouden Doel. Dit wordt verklaard door een snellere toename van het doorzicht bij Vlissingen en door de aanvoer van fytoplankton vanuit de Noordzee. Maximale chlorofylgehalten worden gevonden in de maanden mei-juli. Bij Vlissingen worden pieken geconstateerd tot 25 µg/l, bij Schaar van Ouden Doel en Hansweert tot 110 µg/l. In de jaren 1981-1984 is een tweede piek aangetroffen in augustus-september.

De ruimtelijke variatie in het chlorofylgehalte is niet van jaar tot jaar gelijk. In 1982, 1983 en 1984 zijn de concentraties te Schaar van Ouden Doel hoger dan op de overige meetpunten. In 1986 echter, komt de waargenomen maximale concentratie hier niet boven 25 µg/l, zonder duidelijke oorzaak. Opgemerkt moet worden dat een piek in het chlorofylgehalte over het algemeen slechts korte tijd voorkomt, zodat de reële, maximale concentratie bij de veertiendaagse bemonstering niet altijd wordt gedetecteerd.

De zomergemiddelde chlorofylgehalten, gemiddeld over de periode 1981-1986, staan in tabel 18. In mei 1987 werd bij Vlissingen een opvallend hoog chlorofylgehalte van 61 µg/l gemeten, tijdens een bloei van *Rhizosolenia delicatula* en *Phaeocystis pouchetii*.

4.7.2 Nutriënten

Stikstof

Voor de groei van het fytoplankton zijn minerale stikstofverbindingen nodig (NH_4 , NO_2 , NO_3). De concentratie anorganische stikstof is weergegeven in figuur 36. Uit deze grafiek blijkt dat de concentratie tijdens de zomermaanden afneemt. Dit is een gevolg van de opname door het fytoplankton, maar ook van het denitrificatieproces, dat 's zomers vooral in het oostelijk deel van de Westerschelde optreedt wanneer de watertemperatuur hoog is en het zuurstofgehalte laag. De zomergemiddelden (tabel 18) vertonen een afname in westelijke richting, door de verdunning van de Schelde-afvoer met zeewater (zie paragraaf 4.6). De laagste concentraties, ongeveer 0,3 mg N/l, worden aangetroffen in het mondingsgebied, in de maanden juli-augustus.

Fosfaat

Naast anorganische stikstofverbindingen is orthofosfaat een belangrijk en potentiëel-groeibeperkend nutriënt voor fytoplankton. Uit het seizoensverloop van de orthofosfaatconcentratie blijkt dat minimale concentraties in het algemeen eerder in het jaar bereikt worden dan bij stikstof het geval is. Te Schaar van Ouden Doel neemt de orthofosfaatconcentratie in de loop van de voorjaars- en zomermaanden alweer aanzienlijk toe, vermoedelijk als gevolg van fosfaataflevering door de bodem. Op de overige meetpunten stijgt de concentratie pas in de tweede helft van het jaar en veel geleidelijker. Evenals bij stikstof nemen de zomergemiddelde orthofosfaatconcentraties in het estuarium af van oost naar west (zie tabel 18).

TABEL 18 *Zichtdiepte en concentratie van chlorofyl-a, anorganische stikstof, orthofosfaat en silicium in de Westerschelde; zomerwaarden, gemiddeld over de periode 1981-1986.*

Meetpunt	Chl-a $\mu\text{g/l}$	$\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3$ mg N/l	Orthofosfaat mg P/l	Silicium mg/l	Doorzicht dm
Schaar van OD	22	5,7	0,56	3,44	3,4
Hansweert	14	3,7	0,35	1,62	6,1
Terneuzen	12	2,3	0,23	0,83	7,1
Vlissingen	12	1,0	0,09	0,30	10,3

Silicium

Silicium, in de vorm van opgeloste SiO_2 (silicaat), is een essentiële voedingsstof voor diatomeeën (kiezelwieren). Silicium wordt aangevoerd met het zoete water dat het estuarium bereikt; de zomergemiddelde concentratie neemt af van oost naar west (zie tabel 18). Figuur 37 toont het seizoensverloop van de silicaatconcentraties op de vier meetpunten in de periode 1981-1986. In de zomermaanden dalen de gehalten tot minimale waarden, die bij Terneuzen en Vlissingen ongeveer 0,03 mg/l bedragen. Net als bij fosfaat stijgen de concentraties weer in de tweede helft van het jaar. Over de genoemde jaren treedt geen duidelijke verandering op in de jaargemiddelde concentratie.

4.7.3 De beschikbaarheid van licht

De bepaling van de daglichtverzwakking

Het zonlicht dat op het wateroppervlak valt wordt met toenemende diepte in de waterkolom zwakker als gevolg van verstrooiing en adsorptie door opgeloste en particuliere stof, van zowel organische als anorganische aard. De mate van uitdoving langs de verticaal bepaalt de gemiddelde beschikbaarheid van licht voor primaire productie in de waterkolom. Een maat voor deze daglichtverzwakking is de extinctie-coëfficiënt, k_d in m^{-1} , die met behulp van een quantumsensor op verschillende diepten bepaald wordt.

Een traditionele en eenvoudige manier om een indruk te krijgen van deze mate van uitdoving, is de bepaling van het doorzicht. Hiertoe laat men een zogenaamde Secchi-schijf in het water zakken, een witte schijf met een diameter van 20 à 25 cm en meet de diepte waarop deze juist uit het zicht verdwijnt.

Variatie in het doorzicht

Zoals tabel 18 laat zien neemt het zomergemiddelde doorzicht af in de richting van Schaar van Ouden Doel. Op dit punt bedraagt de zichtdiepte

gemiddeld slechts 3,4 dm. Uit het tijdsverloop in figuur 38 blijkt duidelijk dat het doorzicht in de Westerschelde het grootst is in de zomermaanden, maar dat de seizoensverschillen te Schaar van Ouden Doel relatief gering zijn. Ook in het moment waarop het doorzicht toeneemt verschilt dit station. Op de meetpunten Vlissingen, Terneuzen en Hansweert neemt het doorzicht toe vanaf april. Te Schaar van Ouden Doel is pas vanaf juli sprake van een (lichte) stijging.

Oorzaken van daglichtverzwakking in de Westerschelde

De bijdrage van de belangrijkste veroorzakers van daglichtverzwakking, te weten anorganisch slib, detritus, chlorofyl en opgeloste kleurstoffen als humuszuren, kan onderzocht worden volgens een methode beschreven door Stronkhorst [48]. Figuur 39 toont de resultaten van een dergelijke analyse voor de punten Vlissingen en Schaar van Ouden Doel, over het jaar 1984. In dit jaar bedraagt de jaargemiddelde extinctie-coëfficiënt bij Vlissingen $2,7 \text{ m}^{-1}$ en te Schaar van Ouden Doel $5,2 \text{ m}^{-1}$. 's Winters zijn de extinctie-coëfficiënten hoog door resuspensie van eerder bezonken detritus en anorganisch slib. Het chlorofyl-a zorgt alleen in de zomer voor een geringe bijdrage van maximaal 15% van de totale uitdoving. De opgeloste kleurstoffen, afkomstig van rivier- en polderwater, leveren door het jaar heen een vrij constante bijdrage. Bij Doel is deze bijdrage groter dan bij Vlissingen: respectievelijk circa 1,4 en $0,2 \text{ m}^{-1}$.

4.7.4 Fytoplanktonproductie in de Westerschelde

Over de primaire productie in de Westerschelde is weinig bekend. De indruk bestaat dat de productie in het westelijk deel hoger is dan in het oostelijk.

De primaire productie van het fytoplankton vindt in de Westerschelde grotendeels plaats in de maanden juni, juli en augustus [11]. De productiviteit van de Westerschelde is niet hoog en vergelijkbaar met die van het Eems-Dollard estuarium (zie tabel 19). Bij deze vergelijking moet echter bedacht worden dat de productieschattingen gebaseerd zijn op verschillende methoden van berekening en betrekking hebben op verschillende perioden.

Het zeer lage doorzicht in de Westerschelde maakt het aannemelijk dat de primaire productie in het estuarium in het algemeen beperkt zal worden door de factor licht. Mogelijk kan in het mondingsgebied een nutriëntenlimitatie optreden tijdens de voorjaarsbloei. Op 27 april 1987 werd bij Vlissingen een relatief hoog chlorofyl-a-gehalte gemeten van $60,5 \mu\text{g/l}$. De concentratie orthofosfaat was lager dan de detectielimiet ($< 0,01 \text{ mg P/l}$), terwijl het doorzicht 1,6 m bedroeg. Dergelijke lage orthofosfaatconcentraties zijn vaker waargenomen voor de Zeeuwse en Zuidhollandse kust, op het hoogtepunt van de bloei van de flagellaat *Phaeocystis pouchetii* [54].

TABEL 19 *Schattingen van de jaargemiddelde primaire productie van fytoplankton in enkele zoutwatersystemen.*

Gebied	Periode	Primaire productie (g C m ⁻² jaar ⁻¹)	Bron
Oosterschelde <i>middendeel</i>	1980-1984	220-340	DGW Middelburg
<i>westelijk deel</i>	1982-1984	240-450	DGW Middelburg
Eems-Dollard <i>troebel deel</i>	1976-1980	40-80	[4]
<i>zeewaarts deel</i>	1976-1980	400-500	[4]
Noordzeekust	1974	100-150	[5]
Grevelingenmeer (<i>stagnant zout</i>)	1976-1977	100	[48]
Veerse Meer (<i>stagnant brak</i>)	1982-1983	300-310	[11]
Westerschelde <i>oostelijk deel</i>	1983	100	DGW Middelburg
<i>westelijk deel</i>	1983	220	DGW Middelburg

4.8 De waterkwaliteit aan de hand van bacteriologische gegevens

De bacteriologische analyses

Voor een beoordeling van de bacteriologische kwaliteit van water worden de volgende parameters bepaald :

- Bacteriën van de coligroep (t-Coli in aantal per ml);
- Thermotolerante bacteriën van de coligroep (th-Coli in aantal per ml);
- Faecale streptococci (groep D-streptococci; FaecStr in aantal per ml).

De bacteriën van de coligroep, met *Escherichia coli* als belangrijkste vertegenwoordiger, zijn normale bewoners van het darmkanaal van warmbloedige dieren, inclusief de mens. Op zich zijn deze colibacteriën niet ziekteverwekkend. Ziekteverwekkend zijn wel de faecale streptococci, die eveneens afkomstig zijn uit het darmkanaal. Het gehalte aan bacteriën van de coligroep, inclusief de thermotolerante, wordt als maat gebruikt voor de concentratie faecale streptococci in het oppervlaktewater. De schatting van dit gehalte, een indirecte bepaling van het meest-waarschijnlijke aantal (MPN) per ml, is weinig nauwkeurig, zeker in zoutwater. Een zoutwaternorm ontbreekt. Geen van de genoemde parameters is over de gehele rapportageperiode op alle monsterpunten in de Westerschelde bepaald.

Thermotolerante coli's

Figuur 40 geeft het verloop van het gehalte thermotolerante bacteriën van de coligroep op de vier meetpunten, over het tijdvak 1981-1984. Te Vlissingen en Terneuzen zijn de waargenomen concentraties over het algemeen lager dan bij Hansweert en Schaar van Ouden Doel. Blijkbaar heeft de afvoer van de Schelde een belangrijke invloed op de verdeling van thermotolerante coli's in het estuarium; door verdunning daalt de concentratie in de richting van de Westerscheldemonding.

De kwartaalgemiddelden te Schaar van Ouden Doel en Vlissingen staan in tabel 20 en 21. Sinds 1981 maken zogenaamde bevestigingsreacties deel uit van de bepaling van th-Coli [26]. Het is niet onwaarschijnlijk dat daardoor de gehalten sinds 1981 lager zijn.

Trendberekeningen laten een daling zien van het gehalte thermotolerante bacteriën :

Schaar van Ouden Doel : Van 64 naar 14 ml⁻¹ over 1975-1984 (figuur 41).

Hansweert : Van 9 naar 2,5 ml⁻¹ over 1982-1984 (figuur 43).

TABEL 20 *Thermotolerante bacteriën van de coligroep; kwartaalgemiddelde gehalten te Schaar van Ouden Doel.*

Jaar	Gemiddeld aantal per kwartaal in ml ⁻¹			
	1 ^e kwartaal	2 ^e kwartaal	3 ^e kwartaal	4 ^e kwartaal
1978	47	39	23	43
1979	60	58	74	29
1980	52	88	24	26
1981	31	28	5	7
1982	4	10	172	5
1983	3	7	11	13
1984	3	42	18	13

TABEL 21 *Thermotolerante bacteriën van de coligroep; kwartaalgemiddelde gehalten te Vlissingen.*

Jaar	Gemiddeld aantal per kwartaal in ml ⁻¹			
	1 ^e kwartaal	2 ^e kwartaal	3 ^e kwartaal	4 ^e kwartaal
1981	3,5	19,7	0,1	3,1
1982	0,9	0,1	0,1	0,8
1983	2,6	8,5	0,1	3,8
1984	1,5	0,5	1,1	0,6

Faecale streptococcen

Het beeld van de verspreiding van faecale streptococcen in de Westerschelde is vergelijkbaar met dat van de thermotolerante coli's; de gehalten nemen af van oost naar west. Anders dan bij de coli's vertoont het verloop te Schaar van Ouden Doel en Hansweert een seizoensvariatie, met minimale concentraties in de zomermaanden (zie figuur 42). Tabel 22 geeft de kwartaalgemiddelden te Schaar van Ouden Doel.

TABEL 22 *Faecale streptococcen; kwartaalgemiddelde gehalten te Schaar van Ouden Doel.*

Jaar	Gemiddeld aantal per kwartaal in ml ⁻¹			
	1 ^e kwartaal	2 ^e kwartaal	3 ^e kwartaal	4 ^e kwartaal
1981	8,0	3,4	0,5	7,1
1982	4,5	3,2	0,2	4,8
1983	7,7	1,8	0,8	6,1
1984	10,5	3,1	2,4	4,1
1985	16,8	1,5	0,7	4,9
1986	6,9	0,6	2,9	2,7

De beoordeling van de waterkwaliteit

Het bacteriologisch onderzoek van oppervlaktewater is op de eerste plaats van belang voor het beoordelen van de geschiktheid als zwemwater en schelpdierwater. De bacteriologische normen die voor zwem- en schelpdierwater worden gehanteerd zijn aangegeven in tabel 23.

Ter hoogte van Schaar van Ouden Doel en Hansweert wordt soms aan de zwemwaterkwaliteit voldaan, bij Terneuzen wat vaker en bij Vlissingen in de meeste gevallen. Doorgaans wordt de Westerschelde niet als zwemwater verboden wanneer de norm wordt overschreden; wel wordt in zo'n geval het zwemmen ontraden. Infecties, opgelopen tijdens het zwemmen in de Westerschelde, zijn volgens de Provinciale Waterstaat Zeeland in de rapportageperiode nooit gemeld.

Aan de schelpdierwaterkwaliteit wordt alleen te Vlissingen voldaan, maar slechts voor een deel van het jaar. Vis en visproducten uit de Westerschelde worden aan dezelfde kwaliteitsbeoordeling onderworpen als die uit andere wateren. De bacteriologische norm voor vis en visproducten is afhankelijk van de methode van verwerking, conservering en opslag. Hierdoor kan de schelpdierkwaliteit ook aan het schelpdiervlees of het vocht uit de schelp worden beoordeeld.

TABEL 23 *De bacteriologische normering voor zwem- en schelpdierwater.*

Parameter	Voor zwemwater		Voor schelpdierwater	
th-Coli	absoluut	10 ml ⁻¹	absoluut ¹⁾	0,3 ml ⁻¹
	mediaan	3 ml ⁻¹		
t-Coli	absoluut	50 ml ⁻¹		
	mediaan	15 ml ⁻¹		
FaecStr	absoluut	10 ml ⁻¹		
	mediaan	3 ml ⁻¹		
Salmonella's	niet aantoonbaar			

1) Deze norm heeft betrekking op het oppervlaktewater; de norm voor schelpdier vlees en de vloeistof binnen de schelp is 3 ml⁻¹.

4.9 Waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde

De basiskwaliteitsnormen die gepresenteerd zijn in het Indicatief Meerjaren Programma (IMP) Water 1985-1989 [40] en het Rijks Waterkwaliteitsplan (RWKP) [41] zijn ontwikkeld voor zoetwater, als toetsingskader voor een reductie van de antropogene belasting. Om de kwaliteit van de zoetwater-fractie in een estuarium te kunnen toetsen is een aparte benadering nodig, die is uitgewerkt in deelrapport 2. De werkwijze wordt hieronder kort toegelicht.

Bij de afvoer naar zee zullen de antropogene fracties geleidelijk afnemen door de verdunning met zeewater. De formulering van een basiskwaliteit voor zoutwater in het algemeen, volgens de benadering voor zoetwater, is daarom zinloos. Een beoordeling van de kwaliteit van zoutwater kan alleen refereren aan de natuurlijke concentraties in zee. Voor een intermediair systeem als het Schelde-estuarium kunnen normen worden afgeleid die het midden houden tussen de basiskwaliteitsnormen voor zoetwater en de referentiewaarden voor zoutwater. Deze normen zijn locatie-afhankelijk, omdat de invloed van de zee landinwaarts afneemt. Door een relatie te leggen met het chloridegehalte kan voor elke locatie en voor elke relevante parameter een norm worden berekend. Deze normen zullen worden beschouwd als waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde, afgeleid van het IMP Water 1985-1989 en het RWKP.

In tabel 24 zijn de waterkwaliteitsdoelstellingen voor zuurstof en nutriënten gepresenteerd. Hieraan zijn de absolute gehalten in de jaren 1981-1986 getoetst (tabel 25). Van de parameter nitriet+ nitraat zijn alleen de gehalten in het zomerhalfjaar bestudeerd. Voor ammonium en faecale coli's is de toetsing uitgevoerd op basis van jaargemiddelden en voor orthofosfaat op basis van zomergemiddelden. Met deze toetsing wordt niet méér beoogd dan het controleren van veranderingen gedurende de onderzoeksperiode.

TABEL 24 *Waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde, met de gebruikte referentiewaarden "zout" en basiskwaliteitsnormen "zoet".*

locatie		"zout"	"zoet"	Terneuzen	Ouden Doel
chloride	g Cl ⁻ /l	19,37	0	13,11	4,00
parameter	mg/l				
zuurstof		7,6	5	6,8	5,5
ammonium - N		0,003	1	0,3	0,8
nitriet+nitraat - N		0,105	10	3,3	8,0
orthofosfaat - P		0,017	0,1	0,04	0,08
parameter	MPN/ml				
faecale coli's		3	20	8	16

TABEL 25 *Toetsing van de waterkwaliteit over de periode 1981-1986¹⁾.*

Parameter	Terneuzen						Ouden Doel					
	81	82	83	84	85	86	81	82	83	84	85	86
zuurstof	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
ammonium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nitriet+nitraat	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+
orthofosfaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
faecale coli's	+	+	+	+			+	-	+	-		

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

- = aan de waterkwaliteitsdoelstelling werd niet voldaan; De meetfrequentie bedroeg 26/jaar.

5 TROEBELHEID EN ZOUT-ZOETGRADIËNT

5.1 Zout-zoetgradiënt en troebelheidsmaximum

De zout-zoetgradiënt in de Westerschelde wordt direct beïnvloed door de verdieping van de vaargeul en de zoetwateraanvoer vanuit het Zoommeer. De troebelheid, die afhankelijk is van de hydraulische processen en weersomstandigheden, wordt indirect beïnvloed door het chloridegehalte. Daarnaast beïnvloedt de chloriniteit het zuurstofgehalte in het water.

In een riviermonding is een troebelheidsmaximum aanwezig in een zone met een chloridegehalte van 0,5-3 g Cl⁻/l. Dit maximum ontstaat door de flocculatie van het slib dat aangevoerd wordt door de rivier en de zee. Het sedimentierend materiaal wordt stroomopwaarts verplaatst door de dichtheidsstroming. In zeewaartse richting neemt het zwevend-stofgehalte vervolgens geleidelijk af.

Ook in de Westerschelde neemt de troebelheid sterk toe beneden een chloridegehalte van circa 3 g Cl⁻/l (zie figuur 44). Een verschuiving in de zout-zoetgradiënt kan dan ook leiden tot een verschuiving van de zone met het troebelheidsmaximum.

5.2 De lozing vanuit het Zoommeer

De geforceerde doorspoeling van het Zoommeer via het Bathse Spuikanaal is in 1987 van invloed geweest op de zout-zoetgradiënt, de troebelheid en het zuurstofgehalte in het oostelijk deel van de Westerschelde. De spuidebieten zijn gerapporteerd in hoofdstuk 3. Het verloop van het chloridegehalte in het spuikanaal en in de Westerschelde te Schaar van Ouden Doel is weergegeven in figuur 45.

In een onderzoek van de Dienst Getijdewateren naar de effecten van de geforceerde doorspoeling op de Westerschelde, wordt het volgende geconcludeerd :

- Het zoete water uit het Bathse Spuikanaal wordt in de Westerschelde volledig gemengd.
- Bij Lamswaarde is in de periode augustus-november 1987 een verlaging van het chloridegehalte opgetreden van ongeveer 2 g Cl⁻/l; figuur 46 geeft de resultaten van de berekeningen waarop deze conclusie is gebaseerd.
- Tijdens het hoge spuidebiet is het zwevend-stofgehalte nabij de Belgisch-Nederlandse grens vermoedelijk toegenomen, door het opschuiven van het troebelheidsmaximum; stroomafwaarts is het gehalte verlaagd door verdunning.
- Wanneer de zuurstofconcentratie in de Schelde laag is treedt er in de omgeving van de Bathse Spuisluis een verbetering op van het zuurstofgehalte.

Sinds februari 1988 wordt er gemiddeld 6 m^3 water/s uit het Zoommeer geloosd via Kreekrak- en Zandvlietsluizen. Het jaargemiddeld debiet uit het Bathse Spuikanaal zal naar verwachting $14 \text{ m}^3/\text{s}$ bedragen, voor doorspoeling en peilbeheer. Uit modelberekeningen volgt dat deze lozingen zullen leiden tot een daling van het chloridegehalte in de Westerschelde. De verlaging bij Lamswaarde wordt geschat op $1 \text{ g Cl}^-/\text{l}$, die bij Vlissingen op $0,4 \text{ g Cl}^-/\text{l}$ [47]. In de winter zal de veroorzaakte daling in absolute zin hoger zijn dan in de zomermaanden, omdat de lozing via de Bathse Spuisluis 's zomers wordt beperkt. De lozing via de Kreekraksluizen zal daarentegen het gehele jaar continu blijven.

5.3 De verdieping van de Westerschelde naar 43'/48'

De effecten van het verdiepingsprogramma 43'/48' op het chloridegehalte in de Westerschelde, zijn moeilijk te kwantificeren. Modelberekeningen hebben aannemelijk gemaakt dat er uiteindelijk een geringe verzilting van de Westerschelde kan optreden [28]. Deze toename van het chloridegehalte wordt geschat op $1,5 \text{ g Cl}^-/\text{l}$ te Schaar van Ouden Doel en op $0,4 \text{ g Cl}^-/\text{l}$ bij Hansweert.

6 FLORA EN FAUNA

In dit hoofdstuk wordt de verspreiding van organismen in de Westerschelde besproken. Achtereenvolgens wordt aandacht besteed aan fyto- en zoöplankton, macrowieren, schorrevegetaties, bodemfauna, vissen en vogels. In een estuarium is het zoutgehalte van nature één van de belangrijkste factoren, die de verspreiding van organismen bepalen. Zoetwaterorganismen vertonen echter een zekere mate van tolerantie voor zout en ook het omgekeerde is het geval. Voor de fauna van de Westerschelde is daarnaast de zuurstofconcentratie en het voedselaanbod van belang. Door eutrofiëring kan een belangrijke voedselbron, fytoplankton, toenemen.

6.1 De invloed van het zoutgehalte op de verspreiding van organismen

6.1.1 Fytoplankton

Het aantal fytoplanktonsoorten neemt van west naar oost sterk af als gevolg van de gradiënt in het zoutgehalte [4, 5] (zie tabel 26). Tussen Vlissingen en Hansweert bestaat het fytoplankton voornamelijk uit mariene soorten, zoals *Rhizosolenia* spp. en *Chaetoceros* spp. Verder landinwaarts, tussen Hansweert en Schaar van Ouden Doel, domineren autochtone brakwatersoorten, zoals *Coscinodiscus commutatis*. In het brakwatertraject vindt afsterving plaats van het mariene en het zoetwaterplankton. Enkele zoetwateralgen, zoals *Scenedesmus* en *Pediastrum* kunnen nog ter hoogte van Vlissingen gevonden worden.

6.1.2 Zoöplankton

In de Westerschelde vormen de roeipootkreeftjes (copepoden) de belangrijkste groep in het zoöplankton, gemeten naar biomassa. Van deze groep is *Eurytemora affinis* de meest karakteristieke brakwatersoort. Het dier bezit een zeer brede zouttolerantie. Het trilhaardiertje *Tintinnopsis fimbriata* is een kensoort voor het mesohaliene overgangsgebied. Meroplanktische larven van bodemdieren worden vooral in de mond van de Westerschelde aangetroffen.

De diversiteit van het zoöplankton neemt af in oostelijke richting. Dit hangt niet alleen met het zoutgehalte samen, maar ook met het afnemende zuurstofgehalte. Voor een aantal zoöplanktonsoorten in de Westerschelde is de aanwezigheid van gebieden beschut tegen golven en turbulentie, van essentieel belang. In het mondingsgebied vormt fytoplankton het belangrijkste voedsel voor roeipootkreeftjes; de ontwikkeling van zoöplankton en fytoplankton loopt hier parallel. Daarentegen is in het oostelijk deel detritus met aanhangende bacteriën een belangrijker voedselbron dan het fytoplankton. Dit blijkt onder andere uit het feit dat *Eurytemora affinis* hier gedurende het gehele jaar, dus ook in de winter, in grote aantallen voorkomt. De biomassa van de copepode-populatie bedraagt in het oostelijk deel ongeveer 0,850 mg natgewicht/l [6]. Van het westelijk deel zijn geen biomassagegevens beschikbaar.

TABEL 26 Globale samenstelling van het fytoplankton in de Westerschelde in 1987.

Taxon	Frequentie op monsterpunt		
	Doel	Hansweert	Vlissingen
Diatomeeën			
<i>Coscinodiscus commutatis</i>	+++	+++	++
<i>Melosira sulcata</i>	+	++	+++
<i>Skeletonema costatum</i>	+	++	+++
<i>Dytilum brightwelli</i>	+	+	++
<i>Rhizosolenia setigera</i>	+	+	++
<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>		+	+
<i>Chaetoceros</i> spp.		++	+++
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		++	+++
<i>Biddulphia aurita</i>		+	++
<i>Thalassiosira</i> spp.		+	+++
<i>Biddulphia sinensis</i>		+	+++
<i>Plagiogramma brockmanni</i>		+	+++
<i>Eucampia zoodiacus</i>			++
<i>Rhizosolenia delicatula</i>			++
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>			++
<i>Coscinodiscus concinnus</i>			++
Groenwieren			
<i>Scenedesmus</i> sp.	+++	+++	+
<i>Pediastrum</i> sp.	+++	++	+
Dinoflagellaten			
<i>Exuviaella</i> sp.	+	+	+
<i>Prorocentrum micans</i>		+	+
<i>Dinophysis acuminata</i>			+
Haptoflagellaten			
<i>Phaeocystis pouchetii</i>			++

Frequentie uitgedrukt als het aantal maandelijks bemonsteringen in 1987 waarbij het taxon werd waargenomen: + = 1-2, ++ = 3-5, +++ = 6-12.

Bron: DGW Middelburg: de incidenteel waargenomen taxa zijn niet in deze tabel opgenomen.

6.1.3 Macrowieren

De verspreiding van macrowieren wordt vooral bepaald door de aanwezigheid van geschikt substraat. In Nederland vormen dijkglouingen kunstmatige rotskusten, die potentiële groeiplaatsen zijn voor deze wieren. Andere verspreidingsfactoren zijn het zoutgehalte en de expositie aan golfslag. Van west naar oost neemt de soortenrijkdom af [34]. Op dijkglouingen in het mariene gebied vind men, vanaf de hoogwaterlijn naar de laagwater-

lijn, Klein Darmwier (*Blidingia minima*), Plat Darmwier (*Enteromorpha compressa*), Blaaswier (*Fucus vesiculosus*) en Hoorntjeswier (*Ceramium rubrum*). Verder oostelijk overheersen in het litoraal Knotswier (*Ascophyllum nodosum*) en Gezaagde Zeeëik (*Fucus serratus*). Ook onder de laagwaterlijn treft men een uitgebreide wiervegetatie aan, met onder andere Viltwier (*Codium fragile*).

In het middengebied van de Westerschelde is de wiervegetatie sterk verarmd. Ten opzichte van het mondingsgebied is het aantal soorten met meer dan de helft afgenomen. De wieren onder de laagwaterlijn zijn nagenoeg afwezig, als gevolg van de hoge troebelheid.

In het brakke gebied zijn de grote bruinwieren verdwenen, met uitzondering van Blaaswier. Hier nemen cyanobacteriën ("blauwwieren") een dominante positie in. Zij groeien ook op het slik dat in dit gebied grotendeels de harde substraten bedekt.

Een heel ander wier is het Nopjeswier (*Vaucheria compacta*), dat in brakwatergebieden zoals het verdronken land van Saeftinge, grote oppervlakten bedekt als glanzende, donkergroene kussens. Dit wier hecht zich met fijne draadjes in de modder vast, maar kan zich snel boven gesedimenteerd slib uitwerken.

De bijdrage van de macrowieren in de totale primaire productie in de Westerschelde is gering. Anders dan in de Oosterschelde worden op de droogvallende slikken en zandplaten geen uitgestrekte darmwiervegetaties (*Enteromorpha* spp.) gevonden. Vermoedelijk ligt de oorzaak in het hoge slibgehalte van het Westerscheldewater.

6.1.4 Schorvegetaties

Zoutwaterschorren

Gebieden van dit type worden gekenmerkt door een karakteristieke begroeiing van zoutplanten. Op de laagste gedeelten vindt men pioniersvegetaties van Engels Slijkgras en Zeekraal. Op de oeverwallen langs de kreken treft men onder andere Gewone Zoutmelde en Zeeaster aan. Op de hoger gelegen schorren zijn de kreken duidelijker gedimensioneerd en is er sprake van een meer gedifferentieerd systeem van oeverwallen en kommen. De vegetaties zijn hier soortenrijker en behoren voornamelijk tot het Kweldergrasverbond. In botanisch opzicht zijn deze zoutwaterschorren te vergelijken met de schorren van de Oosterschelde. Dit schortype beslaat in de Westerschelde ongeveer 100 ha.

Brakwaterschorren

In botanisch opzicht wijken deze schorren af van de zoutwaterschorren door de aanwezigheid van onder andere Riet- en Zeebiesvegetaties. Verder komen planten voor als Echt Lepelblad en Heemst.

De brakwaterschorren liggen in het oostelijk deel van de Westerschelde (Saeftinge). Met een oppervlakte van ongeveer 2500 ha vormen zij het voornaamste schortype in het estuarium. Dergelijke brakwaterschorren treft men in Nederland alleen nog aan in het Eems-Dollard-estuarium (ca. 900 ha).

6.1.5 Bodemfauna

Bodemfauna van zachte substraten

De verspreiding van deze bodemdieren wordt in estuaria voornamelijk bepaald door twee variabelen: Het zoutgehalte en de sedimentsamenstelling. De relatie tussen het chloridegehalte en het aantal soorten bodemdieren in de Deltawateren is onderzocht door Smidt-Van Dorp [44]. Zij constateerde dat bij een chloriniteit van ongeveer 4 tot 9 g Cl⁻/l het aantal soorten op een relatief laag, maar constant niveau ligt; bij chloridegehalten tussen 9 en 20 g Cl⁻/l neemt het aantal soorten lineair toe.

In het voormalige Biesbosch-Hollandsch-Diep-Volkerak-estuarium was een rijk geschakeerde bodemfauna aanwezig, waarbij de gradiënten in bodemtype en zoutgehalte, alsmede de fluctuaties in het zoutgehalte, voor een geleidelijk verloop in soortensamenstelling zorgden [57] (zie bijlage 2). Ook in het Eems-Dollard-estuarium is een duidelijke gradiënt in soortenaantal geconstateerd [20] (zie bijlage 3). In de Westerschelde is van een dergelijke faunistische overgang slechts een zwakke afspiegeling te vinden: Vooral het brakke en zoetere deel (de Zeeschelde) bezitten een sterk verarmde bodemfauna.

In de bodemfauna van de Westerschelde domineren de detritus-eters, zoals blijkt uit een inventarisatie in de intergetijdenzone, uitgevoerd in september 1987 (zie figuur 47; [32]). Wormen zijn veruit het meest algemeen met dichtheden tot 7 à 12000 per m². De gemiddelde biomassa van de bodemfauna is bepaald op 10 g asvrij drooggewicht (adw) per m². Alleen op de slikken bij het Paulinaschor is een hogere waarde van 50 g adw per m² geconstateerd. Onder de tweekleppigen, voor een groot deel suspensie-eters, worden opvallend weinig volwassen dieren gevonden. De populaties van Strandgaper (*Mya arenaria*), Nonnetje (*Macoma balthica*) en Kokkel (*Cerastoderma edule*), bereiken daardoor geen hoge biomassa's.

Het aantal macrofaunasoorten (bodemdieren groter dan 1 mm) neemt af van west naar oost, maar varieert toch sterk langs de gradiënt. De slikken van Saeftinghe en die ten noorden en ten oosten van Terneuzen zijn het armst, de slikken in het westelijk deel het rijkst.

Ook het aantal meiofaunasoorten (bodemdieren kleiner dan 1 mm) neemt af in oostelijke richting.

De biomassa per oppervlakte-eenheid van de macrofauna, is eveneens het hoogst in het mariene gebied. Het ecosysteem in dit gedeelte lijkt op dat van de Oosterschelde. De diversiteit en de gemiddelde dichtheid van de meiofauna zijn er hoger dan in de rest van het estuarium.

In het middengebied neemt het aantal macrofaunasoorten af; Kokkel, Schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) en Alikruik (*Littorina* sp.) komen niet, of nog slechts sporadisch voor.

In het brakke deel van het estuarium, waar de chloriniteit varieert tussen 1 en 10 ‰ Cl⁻/l, daalt het aantal soorten tot een minimum. Nonnetje, Zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*) en Slijkgarnaal (*Corophium* sp.) komen veel voor. Volwassen individuen van de Strandgaper lijken volledig te ontbreken in het oostelijk deel van de Westerschelde. Wel komen kleine exemplaren van gemiddeld 2,5 mm lengte voor, in dichtheden van 60 tot 300 per m². Toch is de Strandgaper een karakteristieke soort voor modderige substraten, die ook in brakke wateren doordringt, zoals het voormalige

Volkerak. In het brakke deel van de Westerschelde komen harpacticoïde copepoden slechts zeer sporadisch of in vrijwel monotypische associaties voor; in het meso- en oligohaliene gebied, vanaf Valkenisse, is de harpacticoïde fauna volkomen verdwenen [53].

De beschikbare gegevens voor het meest oostelijke deel, ter hoogte van de Belgische grens, wijzen op een laag soortenaantal in de jaren vijftig [29] en tachtig [21, 52]. Tabel 27 geeft een overzicht van soorten en dichtheden.

TABEL 27 *Dichtheden van bodemdieren rond de Belgisch-Nederlandse grens, in aantal individuen per m².*

Species	Galgeschoor en Groot Buitenschoor			Slikken van Appelzak	Soort
	1952-53	1982-84	1987	1987	
borstelwormen					
<i>Nereis diversicolor</i>	700	2300-3500	230	63	Zeeduizendpoot
<i>Capitella capitata</i>	100	-	280	70	
<i>Spio filicornis</i>	600	-	-	-	
<i>Pygospio elegans</i>	100	-	140	130-210	
<i>Heteromastus filiformis</i>	100	-	-	1750-3580	
<i>Polydora ligni</i>	3000	-	460-9800	210-570	
oligochaete wormen					
<i>Tubifex costatus</i>	500-100000	?	400-13600	140-1320	
schelpdieren					
<i>Macoma balthica</i>	250	0-400	550	380-490	Nonnetje
<i>Hydrobia ulvae</i>	?	40-200	-	-	Wadslakje
kreeftachtigen					
<i>Corophium volutator</i>	100-600	1600-7900	-	230	Slijkgarnaal Strandkrab
<i>Carcinus maenas</i>	?	+	+	-	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	?	-	+	+	

+ = aanwezig; ? = vermoedelijk aanwezig; - = niet waargenomen.

Bronnen: 1952-53 : [29]; 1982-84 : [52]; 1987 Galgeschoor : [21]; 1987 Appelzak : [32].

Wat de algemene soorten betreft komt de bodemfauna overeen met die van het brakke gedeelte van het Eems-Dollard-estuarium (zie bijlage 3, sectie III en IV). Daarentegen ontbreken in de Westerschelde een groot aantal minder-algemene soorten. Uit de waarnemingen van Leloup en Konietzko [29] blijkt dat deze situatie al in de vijftiger jaren bestond. Uit dit overzicht kan men concluderen dat de bodemfauna in de oostelijke

Westerschelde maar ten dele overeenkomt met wat men zou verwachten op grond van het beeld in andere estuaria, met een vergelijkbare zoutgradient. Op de mogelijke oorzaken van deze afwijking wordt nader ingegaan in paragraaf 6.2.1 en in deelrapport 2.

Bodemfauna van harde substraten

Over de bodemfauna van harde substraten (dijkglooingen, palen, stenen), zijn voornamelijk gegevens uit de getijdezone beschikbaar. Braber en Borghouts [14] geven de verspreidingsgrenzen van een tiental soorten zee-anemonen en verwanten (Anthozoa) in de Westerschelde. Dodemansduim (*Alcyonium digitatum*) en Viltkokeranemoon (*Cerianthus lloydii*) komen voor in het mondingsgebied tot de lijn Vlissingen-Breskens. De Weduwoos (*Sagartiogeton undatus*) komt iets verder landinwaarts voor, tot 15 ‰ Cl⁻. De Zeedahlia (*Tealia felina*) en de Zeeanjelier (*Metridium senile*) dringen door tot 11 ‰ Cl⁻, terwijl de Golfbrekeranemoon (*Diadumene cincta*) wordt aangetroffen tot 8 à 10 ‰ Cl⁻.

In 1972 is door medewerkers van het Delta Instituut een kwalitatieve inventarisatie van een aantal diersoorten uitgevoerd in Zeeuwse wateren, waarbij vijf plaatsen in het sublitoraal van de Westerschelde-monding waren betrokken [13]. De resultaten staan in tabel 28.

De monding van de Westerschelde staat vanouds bekend als een goede vindplaats van allerlei diersoorten die hard substraat bewonen (zie diverse excursieverslagen in *Het Zeepaard*). Veranderingen in het vóórkomen van soorten zijn in veel gevallen te relateren aan veranderingen in het substraat, of aan de verzanding van nollen.

TABEL 28 *Vóórkomen van enkele diersoorten op hard substraat in het sublitoraal van de Westerschelde-monding in de zomer van 1972.*

Species	Locatie					Soort
	1	2	3	4	5	
<i>Alcyonium digitatum</i>	+	+	+			Dodemansduim Viltkokeranemoon Zeedahlia
<i>Cerianthus lloydii</i>	+					
<i>Tealia felina</i>	+	+	+	+	+	
<i>Acanthodoris pilosa</i>			+			Egelslak Boompjesslak
<i>Dendronotus frondosus</i>	+					
<i>Facelina coronata</i>			+			Blauwtipje Rose sterslak
<i>Janolus cristatus</i>					+	
<i>Onchidoris bilamellata</i>					+	
<i>Patella vulgata</i>		+				Schaalhoorn

Aanduiding locaties :

1 = Westkapelle (Walch.)

2 = Nieuwesluis (Z-Vl.)

3 = Vlissingen (Walch.)

4 = Nummer Eén (Z-Vl.)

5 = Fort Zoutman (Z-Bev.)

Bron : [13].

6.1.6 Zeekreeft en Noordzeekrab

Bij het bovengenoemde inventarisatie-onderzoek zijn tevens waarnemingen aan hogere kreeftachtigen verzameld (tabel 29). Opvallend is dat de Zeekreeft (*Homarus gammarus*) op de locaties in de Westerschelde niet werd aangetroffen; in de Oosterschelde en de Grevelingen werd het dier wel gevonden [13].

TABEL 29 *Vóórkomen van enkele kreeftachtigen in het sublitoraal van de Westerschelde-monding in de zomer van 1972.*

Species	Locatie					Soort
	1	2	3	4	5	
<i>Homarus gammarus</i>						Zeekreeft
<i>Cancer pagurus</i>	+	+	+	+	+	Noordzeekrab
<i>Liocarcinus puber</i>	+				+	Fluwelen zwemkrab
<i>Hyas araneus</i>	+		+	+	+	Gewone spinkrab

Aanduiding locaties :

1 = Westkapelle (Walch.)

2 = Nieuwesluis (Z-Vl.)

3 = Vlissingen (Walch.)

4 = Nummer Eén (Z-Vl.)

5 = Fort Zoutman (Z-Bev.)

Bron : [13].

In de vijftiger jaren was het voor beroepsvissers commercieel aantrekkelijk om als nevenactiviteit deze krabben en kreeften te vangen. Door de strenge winter van 1962/1963 werd het bestand van beide soorten echter sterk gereduceerd, waardoor de vangsten wegvielen. Inmiddels komen deze dieren wel weer voor. De omvang van het bestand werd vroeger geschat op basis van de beroepsmatige vangsten, maar tegenwoordig is er nauwelijks aanvoer van Noordzeekrab op de vismijn te Breskens. Waarschijnlijk is de vangst als nevenactiviteit minder lonend dan voorheen. Binnen het Rijks Instituut voor Visserij Onderzoek bestaat echter de indruk dat het huidige bestand van de Noordzeekrab (*Cancer pagurus*) en de Zeekreeft in het mondingsgebied van de Westerschelde kleiner is dan in de jaren vóór 1963.

6.1.7 Vissen

Rond 1945 waren ruim 70 vissoorten uit de Westerschelde gemeld. Over de ontwikkeling van de visfauna sindsdien is vrijwel niets bekend. Een vergelijking met soortenlijsten uit de vorige eeuw toont dat een aantal soorten ook in 1945 al niet meer voorkwam. Afgezien van de Schelvis zijn dit allemaal anadrome soorten, die om te paaien van zee naar het zoete water trekken. Voorbeelden zijn Steur, Elft en Houting. Ook de Zeeprik is waarschijnlijk sterk achteruitgegaan. Overigens zijn de genoemde soorten ook uit de Oosterschelde verdwenen, door het afsnijden van de verbinding met de grote rivieren. Het blokkeren van de toegang tot rivieren door de aanleg van dammen is voor vis vergelijkbaar met een blokkade in de vorm van een slechte waterkwaliteit, door met name een laag zuurstofgehalte.

Standvissoorten als Zeedonderpad, Botervis en Puitaal zijn in de Westerschelde minder talrijk dan in de Oosterschelde [7]. In beide gebieden lijkt de stand van Zeedonderpad en Puitaal toe te nemen, terwijl de aantallen van Pitvis, Harnasmannetje, Slakdolf en Bot in de afgelopen twintig jaar niet duidelijk veranderd zijn. Op grond van hun tolerantie voor zoetwater zouden van Puitaal en Bot hogere aantallen verwacht mogen worden in het oostelijk deel van de Westerschelde. Het Dikkopje, een kortlevende trekvis, is sinds de zeventiger jaren talrijker geworden in de Westerschelde.

Het oostelijk deel van de Westerschelde vervult een belangrijke rol als kinderkamer, in het bijzonder voor Tong. In mei/juni paaien de volwassen Tongen in kustgebieden en ondiepe gedeelten van de Noordzee. Een klein deel paait in het estuarium zelf. De larven trekken vooral naar het oostelijk deel van de Westerschelde, waar beschutte, slibrijke gebieden gevonden worden. In het voorjaar vindt men hier de hoogste dichtheden. In het najaar verlaten de jonge Tongen het estuarium om het daaropvolgende voorjaar weer terug te keren. Gemiddeld over de periode 1969-1978 verbleef 22% van alle jonge Tong in het Nederlandse kinderkamergebied, in het voorjaar in de Zeeuwse wateren, met name in de Westerschelde. De spreiding in dit gemiddelde is echter groot: 3 tot 62%.

Vergeleken met de Oosterschelde heeft de Westerschelde een grotere betekenis als kinderkamer voor garnalen; vergeleken met de Waddenzee is deze echter kleiner. Er is in het algemeen sprake van een positieve relatie tussen de kraamkamerfunctie en de oppervlakte aan ondiepe, slibrijke gebieden.

6.1.8 Vogels

De vogelstand in de Westerschelde wordt niet direct beïnvloed door het zoutgehalte of de zuurstofconcentratie van het water. Het voedselaanbod voor vogels is wel van deze parameters afhankelijk. Steltlopers en eenden fourageren op de droogvallende platen en slikken, op schelpdieren, wormen en kleine kreeftachtigen.

In een reeks van jaren zijn vogeltellingen uitgevoerd in het Westerscheldegebied, waardoor er een goed beeld is ontstaan van het gebruik dat de verschillende vogelsoorten van het estuarium maken. Het aantal aanwezige vogels neemt tijdens de zomer en de herfst toe en bereikt een maximum in de maand januari (zie figuur 48). Naar schatting zijn dan 112.000 vogels in het gebied aanwezig, waarna dit aantal afneemt. In mei, tijdens de voorjaars trek, doet zich een tweede aantalspiek voor van naar schatting 96.000 vogels.

Maandelijkse tellingen tijdens laagwater, uitgevoerd op het Groot Buitenschoor (aan de Belgische kant van de grens op de oostelijke Schelde-oever), wijzen op een afname van de aantallen van Bonte strandloper, Scholekster en Tureluur in de tachtiger jaren [49]. Deze achteruitgang is vermoedelijk het gevolg van een afname van de bodemfaunabiomassa, met name van Slijkgarnaal, door een geleidelijke verzanding van de slikken. Het westelijk deel van het estuarium vertoont een ander beeld; de aantallen van Bonte strandloper zijn hier minder sterk gedaald. De Scholekster, waarvan de aantallen na de strenge winter van 1978/1979 sterk waren afgenomen, heeft zich in het westelijk deel hersteld, maar in het oostelijk deel niet. Voorkeur voor bepaalde gebiedsdelen speelt mogelijk een rol.

Bij soorten als de Bonte strandloper en de Tureluur zijn cultuurtechnische ingrepen in de broedgebieden oorzaak van teruglopende aantallen van de Noordwesteuropese populaties [19]. De in het Westerscheldegebied overwinterende strandlopers broeden echter vooral in het noorden van Scandinavië en het noordwesten van de Sovjet-Unie, waar dergelijke ingrepen vermoedelijk niet van belang zijn.

De internationale betekenis van de Westerschelde voor watervogels

Om de ornithologische betekenis van waterrijke gebieden aan te geven zijn criteria ontwikkeld in het kader van de Wetlands-Conventie en de EEG-richtlijn inzake het behoud van de vogelstand [35, 36]. Voor doortrekkers en overwinteraars wordt de 1%-norm gehanteerd. Volgens deze norm is een gebied van internationaal belang wanneer het regelmatig 1% of meer van een populatie van een soort herbergt. Naast dit percentage is een aantalsnorm van toepassing, die voor steltlopers op 20.000 is gesteld en voor zwanen, ganzen en eenden op 10.000 individuen [45].

TABEL 30 *Belangrijkste pleistermaanden en gemiddelde, maximale aantallen van niet-broedende watervogels in de Westerschelde.*

Soort	Pleistermaanden											Aantallen			
	j	a	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j	Gemidd.	maximum	Norm
Fuut								+	+				2.000		1.000
Rietgans								+	+	+			≥ 5.000		1.200
Kolgans								+	+	+			≥ 20.000		2.000
Grauwe gans								+	+	+			9.000		400
Bergeend	+	+	+									+	3.500		1.250
Smient					+	+	+	+	+	+			17.700		5.000
Wintertaling					+	+	+	+	+	+			2.600		2.000
Pijlstaart						+	+	+	+	+			4.500		750
Wilde eend					+	+	+	+	+	+			11.000		10.000
Scholekster					+	+	+	+	+	+			15.000		7.500
Kluut	+	+	+	+	+	+					+	+	700		260
Bontbekplevier		+	+										2.000		1.000
Strandplevier	+	+											1.200		250
Zilverplevier		+	+	+								+	3.600/5.200 ¹⁾		800
Kanoetstrandloper			+	+				+				+	3.600/5.000		3.500
Bonte strandloper							+	+	+	+			35.000		20.000
Drieteenstrandloper		+										+	2.000/3.000		500
Rosse grutto	+	+										+	3.500/5.600		5.500
Regenwulp												+	1.500		1.500
Wulp		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4.500/2.000		3.000
Zwarte ruiter	+	+											1.100		(500)
Tureluur	+	+											2.000		2.000
Steenloper							+	+	+	+	+		650		500

1) Gemiddelde maxima tijdens voorjaars- en najaarstrek, of tijdens trek en overwintering: bron : [16].

Volgens de huidige inzichten is de Westerschelde voor 21 à 23 vogelsoorten van internationale betekenis. Van deze soorten geeft tabel 30 de gemiddelde, maximale aantallen en de periode van vóórkomen in de Westerschelde.

Zoals deze tabel laat zien doen veel vogelsoorten het Westerscheldegebied aan in de perioden april-mei en augustus-oktober, op hun trek van de noordelijke broedgronden naar de zuidelijke overwinteringsgebieden en vice versa. Vooral het mariene deel van de Westerschelde is van belang voor deze doortrekkers, wat samenhangt met het relatief hoge voedselaanbod in de vorm van macrobenthos. Enkele tienduizenden vogels overwinteren in de Westerschelde. In strenge winters functioneert het estuarium tevens als overloopgebied voor steltlopers uit de Waddenzee.

Wilde eend en Bergeend ruien in het gebied. Tijdens de rui is het vliegvermogen van de vogels beperkt, zodat de fourageer- en rustgebieden dicht bij elkaar moeten liggen. Het Land van Saeftinghe en de Hooge Platen voldoen aan deze eis. De Hooge Platen is één van de weinige locaties in West-Europa waar Bergeenden hun slagpenrui volbrengen [10].

De platen en schorren worden verder als slaappleats gebruikt door ganzen en eenden, die overdag voedsel zoeken in de polders van Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen.

6.2 De invloed van het zuurstofgehalte op de fauna

In het oostelijk deel van de Westerschelde leidt een hoge organische belasting in combinatie met eutrofiëring, tot een verhoogd zuurstofverbruik. Als gevolg hiervan treden lage tot zeer lage zuurstofgehalten op, die negatieve effecten zullen hebben op de ontwikkeling en het functioneren van de aquatische levensgemeenschap. Vanaf Rupelmonde, waar het rioolwater van de agglomeratie Brussel in de rivier de Schelde stroomt, tot over de Belgisch-Nederlandsche grens is de rivier nagenoeg zuurstofloos (zie hoofdstuk 4). Verder zeewaarts stijgt het zuurstofgehalte weer; bij Hansweert wordt een zuurstofverzadiging van 70-80% gemeten.

Bodemfauna

De soortenarmoede onder de bodemfauna in het oostelijk deel van de Westerschelde werd al in de vijftiger jaren geconstateerd [29]. Deze kan veroorzaakt zijn door een geleidelijke verslechtering van de zuurstofhuishouding, maar microverontreinigingen kunnen evenzeer aan een achteruitgang hebben bijgedragen. De kwaliteit van het zwevend stof was in dit deel van het estuarium al in de vijftiger jaren slecht, door de adsorptie van zware metalen. Ook de oplading van de bodem met zware metalen had al een aanvang genomen (zie deelrapport 3). In de deelrapporten 2 en 3 wordt aandacht besteed aan de effecten van microverontreinigingen.

Zuurstof is voor deze bodemdieren echter een primaire levensbehoefte. Bij lage zuurstofgehalten of nog erger, anaërobie, worden zij in hun voortbestaan bedreigd. De kans op overleving is afhankelijk van hun tolerantie voor lage zuurstofgehalten en van de duur van de periode waarover deze zich voordoen.

Onder de ongewervelde dieren zijn er een aantal dat een relatief hoge tolerantie heeft voor zuurstoftekort en de daarmee gepaard gaande hoge

sulfidegehalten (H_2S , HS^-) [50, 51]. Deze dieren treft men aan in verschillende systematische groepen, zoals Nematoda, Polychaeta, Gastropoda, en Crustacea. Van enkele bodemorganismen die in de Westerschelde voorkomen geeft figuur 49 een indicatie van hun tolerantie voor zuurstofarm en sulfiderijk water. Garnalen zijn zeer gevoelig voor lage zuurstofgehalten en sterven al na korte tijd, bij een experimentele temperatuur van 10 °C. Mossel, Slijkgaper en Strandgaper blijven het langst in leven; 50% van de Strandgapers bijvoorbeeld, sterft pas na ongeveer 600 uur. De afwezigheid van volwassen Strandgapers in het oostelijk deel (o.a. Saeftinghe) kan dus het gevolg zijn van langdurige periodes van anaërobie. Volwassen Strandgapers leven ingegraven op een diepte van 20 à 40 cm. Anders dan volwassen Slijkgapers en Nonnetjes zijn zij niet meer in staat zich te verplaatsen. De Zeeduizendpoot is minder tolerant voor lage zuurstofgehalten, maar zal zich als relatief mobiele bewoner van slikken nooit gedurende langere tijd laten blootstellen aan zuurstofloosheid. Bovendien is dit dier zeer tolerant voor zware metalen. De Zeeduizendpoot is aanwezig op de slikken van het Groot Buitenschoor, het Galgenschoor en Saeftinghe.

Vissen

Bodemgebonden vissen als Tong, Bot en Schol zijn gevoelig voor lange periodes van zuurstofloosheid. Weliswaar kunnen zij actief uit gebieden met lage zuurstofconcentraties ontsnappen, maar als die gebieden het hele voedselareaal beslaan, is een negatief effect onvermijdelijk.

Een lage zuurstofconcentratie in het water vermindert de weerstand van vissen voor allerlei ziekten. Bovendien zijn de groeimogelijkheden voor ziekteverwekkende organismen in geëutrofiëerd en organisch belast water gunstig, waardoor de infectiekans zal toenemen [30, 55]. In het oostelijk deel van de Westerschelde geeft de hoge prevalentie van huidinfecties bij Bot een indicatie van vervuilingsschade [30].

6.3 De invloed van het nutriëntenaanbod op het fytoplankton

6.3.1 De relatie tussen eutrofiëring en algenbloei

Voor de productie van fytoplankton zijn voedingsstoffen nodig, met als belangrijkste stikstof, fosfor en silicium. Wanneer de beschikbaarheid van nutriënten in oppervlaktewater toeneemt als gevolg van menselijke activiteiten, spreekt men van eutrofiëring. In geëutrofiëerd water zal de primaire productie van het fytoplankton hoger kunnen zijn dan in de natuurlijke situatie. Daarnaast zal de soortensamenstelling van het fytoplankton verschillen. Een in het oog lopend gevolg van eutrofiëring is de overmatige groei van één of enkele soorten.

Algenbloei is niet persé een gevolg van eutrofiëring. Evenmin leidt eutrofiëring in alle gevallen tot een sterke toename van de primaire productie en algenbiomassa. In troebel water kan de beperkte hoeveelheid licht die doordringt in de waterkolom de productie limiteren. In een andere situatie is de productie weliswaar hoog, maar kan een toename van de graasdruk de algenbiomassa op een laag niveau houden.

De biomassa, maar ook de soortensamenstelling van de algengemeenschap

worden mede bepaald door de verhouding waarin nutriënten beschikbaar zijn. Als de factor "licht" geen rol speelt kan fosfor-, stikstof-, of silicium-limitatie optreden tijdens een algenbloei, afhankelijk van de aanvoer van voedingsstoffen en de behoeften van de algen in kwestie. In de loop van het jaar kunnen verschillende nutriënten afwisselend de algengroei beperken.

In de Westerschelde is het onderwaterlichtklimaat door de hoge troebelheid zodanig dat er sprake is van lichtlimitatie. Daardoor treden er geen excessieve algenbloeien op, ondanks de eutrofiëring. Dit betekent echter niet dat de biomassa en soortensamenstelling van het fytoplankton overeen zal komen met die van een onbelast Schelde-estuarium. In het kustgebied van de Westerschelde, waar het doorzicht toeneemt, kunnen de aangevoerde nutriënten alsnog worden omgezet in algenbiomassa.

6.3.2 De eutrofiëring van de kustzone

In het kustgebied dat tot het plangebied behoort van het beleidsplan Westerschelde, hebben zich tot dusverre geen excessieve algenbloeien met rampzalige gevolgen ontwikkeld, zoals in de Noorse en Zweedse kustwateren in mei 1988. De kans dat dergelijke verschijnselen in het mondingsgebied zullen optreden is echter wel aanwezig. Het gehalte aan nutriënten in het kustwater van de Westerschelde is immers 10 tot 30 maal hoger dan de natuurlijke achtergrondsconcentratie van het Kanaalwater, als gevolg van de belasting vanuit het estuarium. In het mondingsgebied zullen mariene algen als een wolk heen en weer pendelen met de getijbeweging. Voorjaarsmetingen in een dergelijke watermassa tonen hoge chlorofyl-a-gehalten, in combinatie met lage nutriëntengehalten (vgl. 4.7.4). Deze hoge biomassa's kunnen het gevolg zijn van een zuiver fysische accumulatie langs de grens tussen water met een hogere en water met een lagere dichtheid. Toevoer van nutriënten echter, zal in principe kunnen leiden tot een (verdere) biomassa-toename door groei, van algen die aangevoerd worden door de Noordzee.

6.3.3 De eutrofiëring van de Noordzee

De nutriënten die via de Westerschelde naar zee worden afgevoerd, worden door de overheersende reststroom noordwaarts getransporteerd, in een smalle strook langs de kust. Effecten van rivierafvoeren kunnen dan ook ver van de bron optreden. Ter illustratie toont figuur 53 de verspreiding van nitraat in de Zuidelijke Bocht. Tabel 31 geeft een overzicht van de nutriëntenafvoer van enkele Westeuropese wateren.

Delen van de Noordzee waar de zuurstoftoevoer beperkend kan zijn, zoals de diepere (Oestergronden) en de periodiek gestratificeerde delen (Duitse Bocht), zijn speciaal gevoelig voor de aanvoer van grote hoeveelheden organisch materiaal, bijvoorbeeld in de vorm van een dichte algenbloei [8]. Met name in de Duitse Bocht zijn de gevolgen van eutrofiëring verstrekkend geweest. Tijdens een bloei van de dinoflagellaat *Ceratium* sp. trad hier in de zomers van 1981, 1982 en 1983, in de periode van stratificatie, over grote gebieden zuurstofloosheid in de onderste waterlaag op. Dode vissen en bodemdieren waren het directe resultaat [56]. Over langere termijn is een verarming van de lokale fauna vastgesteld [38, 39]. In de

gebieden eromheen is de productie van de bodemfauna toegenomen, als gevolg van de gestegen primaire productie.

TABEL 31 *De gemiddelde afvoer van zoetwater en nutriënten door enkele Westeuropese wateren naar het Kanaal en de Zuidelijke Bocht.*

Rivier/Meer	Zoetwater m ³ /s	Silicium 10 ⁶ kg/jaar	Stikstof 10 ⁶ kg/jaar	Fosfor 10 ⁶ kg/jaar
Yser	5		4	
Somme	60		12	
Scheldt	105	42	35	2,2
Ems	120		42	3
Weser	500		42	8,5
IJsselmeer	450		66	4
Seine	440		90	
Elbe	1150		250	14
Rijn	2500	410	408	50

Bron: [18].

In de Nederlandse kustzone van de Noordzee heeft in de afgelopen 10 tot 20 jaar, kort samengevat, het volgende plaatsgevonden [9] :

- De concentraties van fosfor- en stikstofverbindingen zijn toegenomen met een factor drie tot vijf.
- De primaire productie is toegenomen met een factor twee tot drie. Wat de fytoplanktongemeenschap betreft zijn de gemiddelde aantallen diatomeeën per liter zeewater nauwelijks veranderd, terwijl die van andere vertegenwoordigers, met name flagellaten, is vertienvoudigd.

De toename van flagellaten komt tot uiting in de voorjaarsbloei van *Phaeocystis pouchetii*. De duur van de bloei is in het Marsdiep (het zeegat tussen Texel en Noord-Holland) sinds 1973 verviervoudigd en bedroeg in 1985 drie maanden (onder bloei wordt hier een concentratie van meer dan 10⁶ cellen per liter verstaan) [17]. De laatste jaren gaat de bloei van deze flagellaat gepaard met de opeenhoping van dikke lagen schuim op Nederlandse en Duitse stranden. Door de overmatige groei van *Phaeocystis* komen andere algensoorten niet tot ontwikkeling en wordt het zoöplankton geconfronteerd met een éézijdig, moeilijk opneembaar voedselpakket. Vermoed wordt dat de bloei van deze alg een negatief effect heeft op de Mosselpopulatie in de westelijke Waddenzee [37].

6.3.4 Effecten van eutrofiëring op bodemdieren

Eutrofiëring heeft positieve en negatieve kanten. Door een hogere primaire productie kan de biomassa van bodemdieren in eerste instantie toenemen. Ondanks de aanwezigheid van hoge concentraties van microverontreinigingen

is het bodemdierenbestand in de Waddenzee sterk toegenomen; de productie en biomassa van de macrofauna is verdubbeld. De groeisnelheid van het Nonnetje is gestegen. Ook de garnalenstand in de Waddenzee is toegenomen [9]. Tijdens het afsterven van de algenbloei en mineralisatie van de vrijkomende organische stof, kan het zuurstofgehalte in systemen waar onvoldoende menging plaatsvindt zo laag worden, dat vele organismen sterven.

In een verontreinigd maar niet eutroof systeem, accumuleren bodemdieren meer metalen dan soortgenoten in een verontreinigd en eutroof systeem. In het algemeen gaat eutrofiëring gepaard met een verlaging van de biologische beschikbaarheid van metalen in de waterfase.

7 SANERING VAN DE BELASTING AAN ZUURSTOFBINDENDE STOFFEN

7.1 Het saneringsprogramma voor de Nederlandse lozingen

De sanering van de Nederlandse lozingen van zuurstofbindende stoffen op de Westerschelde gaat nog steeds door. In tabel 32 is de saneringsplanning voor de Westerschelde geschematiseerd, zoals deze is opgenomen in het Rijks Waterkwaliteitsplan 1986 [41]. De sanering in de periode 1985-1990 wordt gerealiseerd door onder andere een uitbreiding van de zuiveringscapaciteit van communale installaties. Tabel 33 geeft een overzicht van deze uitbreiding.

TABEL 32 *Saneringsplanning voor de lozing van zuurstofbindende stoffen op het Nederlandse deel van de Westerschelde.*

Jaar	Omschrijving	Hoeveelheid 10 ³ i.e.
1980	ongezuiverd gemeentelijk afvalwater	785
	gezuiverd gemeentelijk afvalwater	2
	rechtstreekse industriële lozingen	147
1985	ongezuiverd gemeentelijk afvalwater	325
	gezuiverd gemeentelijk afvalwater	25
	rechtstreekse industriële lozingen	145
1990	ongezuiverd gemeentelijk afvalwater	0
	gezuiverd gemeentelijk afvalwater	41
	rechtstreekse industriële lozingen	57

TABEL 33 *Uitbreiding van de zuiveringscapaciteit van communale installaties in de periode na 1985.*

Naam installatie	Gesaneerd gebied	Capaciteit 10 ³ i.e.	Realisatie jaartal
Ritthem	Walcheren	140	1988
Willem Annapolder	Goes en omstreken	76	1988
Breskens	Breskens/Hoofdplaat/IJzendijke	23	1988
Terneuzen	Terneuzen en omstreken		1990

7.2 Het saneringsprogramma voor de Belgische lozingen

Het overgrote deel van de Belgische lozingen van zuurstofbindende stoffen en fosfaat, kan gesaneerd worden via de ingebruikstelling van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). Uit een verkenning van Sibbles en Verduin [46] blijkt dat sommige gemeenten in de beginjaren tachtig weliswaar een rwzi gereed hadden, maar hun rioleringsstelsel hier nog niet op hadden aangesloten.

Inmiddels is de Vlaamse Waterzuiverings Maatschappij sinds 1984 bezig om de gemeentelijke installaties over te nemen en is door het Vlaamse Gewest een Algemeen Waterzuiveringsprogramma (AWP) opgesteld. Dit AWP kwam in 1984 gereed. Het dient als beleidsinstrument om prioriteiten te kunnen stellen en nieuwe investeringen in de waterzuivering zo efficiënt mogelijk te laten zijn. In het AWP zijn de volgende prioriteiten gesteld :

- De gemeentelijke rioleringsplannen worden versneld uitgevoerd en de bestaande rwzi's rendabeler gemaakt;
- In grote bevolkingsconcentraties worden rwzi's aangelegd;
- Voor landelijke gebieden wordt gezocht naar kleinschalige oplossingen;
- De waterwingebieden worden beschermd.

In 1986 waren grote, stedelijke projecten (Gent, Brugge, Kortrijk en Dendermonde) voltooid of in uitvoering. Voor het uitvoeren van de nog openstaande plannen ontbreekt een tijdsschema.

Daarnaast heeft de Vlaamse overheid kwaliteitsdoelstellingen vastgesteld voor alle oppervlaktewateren van het openbare, hydrografische net. Besloten is om de bestemming vast te leggen van oppervlaktewateren met de functies drinkwater, zwemwater, viswater en/of schelpdierwater. Op basis van een inventarisatie werden de Belgische waterlopen geklassificeerd. Deze klassificatie loopt van 0-2 (zwaar verontreinigd), tot 9-10 (weinig tot niet verontreinigd). De Vlaamse waterlopen zouden binnen tien jaar in de klasse 7-8 (weinig verontreinigd) moeten komen. Geaccepteerd is de basiskwaliteitsnormering. De daarin opgenomen normen voor de gehalten van zuurstof en nutriënten komen overeen met de Nederlandse basiskwaliteitsnormen.

7.3 Vergelijking met de saneringsinspanning voor de Rijn

Aan de hand van de tabellen 32 en 34 kan de saneringsinspanning voor de Westerschelde vergeleken worden met die voor de Nederlandse Rijnakken, wat de belasting met zuurstofbindende stoffen betreft. Uit de tijdschema's blijkt dat de sanering van gemeentelijk afvalwater in het Nederlandse deel van de Westerschelde, sneller afgerond zal zijn dan in het Nederlandse deel van de Rijn. Dit komt door het verschil in omvang, van de te saneren afvalstromen. In 1980 werd op de Rijn bijna driemaal zoveel ongezuiverd, gemeentelijk afvalwater geloosd. De hoeveelheid directe, industriële lozingen was zelfs negenmaal groter dan die op de Westerschelde. De oorspronkelijke streefdatum voor de sanering van de Nederlandse Rijnakken, 1987, is niet gehaald en wordt vooruitgeschoven. Een aantal projecten, met name in het Benedenrivierengebied, zal pas na 1990 gerealiseerd kunnen worden.

TABEL 34 *Saneringsplanning voor de lozing van zuurstofbindende stoffen op de Nederlandse Rijntakken.*

Jaar	Omschrijving	Hoeveelheid 10 ³ i.e.		
		Boven rivieren	Beneden rivieren	Totaal
1980	ongezuiverd gem. afvalwater	610	1640	2250
	gezuiverd gem. afvalwater	60	100	160
	rechtstreekse ind. lozingen	190	1200	1390
1985	ongezuiverd gem. afvalwater	120	960	1080
	gezuiverd gem. afvalwater	160	140	300
	rechtstreekse ind. lozingen	70	470	540
1990	ongezuiverd gem. afvalwater	80	110	190
	gezuiverd gem. afvalwater	160	210	370
	rechtstreekse ind. lozingen	60	290	350

Het Bovenrivierengebied omvat: Boven-Rijn, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn, Lek en IJssel

Het Benedenrivierengebied omvat: Stroomafwaartse takken van Waal en Lek.

7.4 Voorgenomen saneringen en hun betekenis voor de Westerschelde

7.4.1 Het Rijn-Actieplan

De Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn tegen Verontreiniging (ICR) heeft in 1987 voorstellen gedaan voor het "Actieprogramma Rijn". De uitvoering van dit programma zal omstreeks het jaar 2000 tot de volgende resultaten moeten leiden [25] :

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

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

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

Het feitelijke Actieprogramma omvat drie fasen :

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

7.4.2 De Noordzee-Ministersconferentie

Op 24 en 25 november 1987 is in Londen de tweede internationale ministersconferentie inzake de bescherming van de Noordzee gehouden. De deelnemende landen hebben afspraken gemaakt over vraagstukken waarover in het ambtelijk overleg geen overeenstemming kon worden bereikt. In de slotverklaring wordt, wat deze vragen betreft, het volgende opgemerkt [33] :

Verbranding van afval op zee

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

Dumping van afval in zee

De landen die op dit moment nog industrieel afval in zee dumpen, zullen hiermee stoppen per 31 december 1989. Een uitzondering zal gemaakt worden voor afval dat geen schade toebrengt aan het zeemilieu; zulks mede ter beoordeling van de Oslo-Commissie.

Het Verenigd Koninkrijk zal actie ondernemen om de hoeveelheid schadelijke stoffen in zuiveringsslib te reduceren; na 1987 zal er geen toename van de dumping van zuiveringsslib plaatsvinden.

Oorzaken van de verontreiniging van baggerspecie zullen door de Noordzeelanden aangepakt worden; in de praktijk betekent dit een vermindering van de belasting aan verontreinigingen op rivieren en estuaria.

Met onmiddellijke ingang zullen de richtlijnen worden toegepast van de Oslo-Commissie voor baggerspecie.

Radio-actieve lozingen

De Noordzeelanden zullen de verontreiniging door nucleaire installaties minimaliseren door het toepassen van de "best-available technology".

Overige belangrijke punten

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

Er is overeengekomen de verontreiniging van de Noordzee via rivierlozingen terug te dringen; zowel de vrachten van schadelijke stoffen als die van nutriënten zullen gehalveerd worden in de periode 1985-1995.

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

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

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

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

Volgens het "voorzorgprincipe" ("the principle of precautionary action") zijn stoffen schadelijk wanneer kan worden aangenomen dat ze nadelige effecten hebben op organismen, ook al is er geen wetenschappelijk bewijs geleverd van de relatie tussen emissies en effecten. De aanname wordt gebaseerd op de mate van giftigheid, persistentie en accumulatie. Tussen 1985 en 1995 moet de lozing van de totale hoeveelheid van deze stoffen met 50% gereduceerd zijn. Daarnaast moet getracht worden om de belasting door fosfor en stikstof te halveren in die gebieden waar het aannemelijk is dat deze belasting direct of indirect tot verontreiniging leidt.

7.4.4 Gewenste ontwikkelingen

De 50% reductie van de nutriëntenbelasting is een richtlijn voor de korte termijn (1995). In de periode daarna moet een verdere reductie worden nagestreefd, zodanig dat het natuurlijke niveau benaderd wordt. Bij de berekening van de antropogeniteitsfactoren (paragraaf 3.3) is een bepaald referentieniveau verondersteld. Onderzoek zal op korte termijn moeten leiden tot een nadere vaststelling van de achtergrondniveau's voor het gehele estuarium. Op basis van deze gegevens kan een planning gemaakt worden voor de gewenste saneringen. Deze saneringsinspanningen zullen moeten leiden tot een verminderde kans op eutrofiëringseffecten in de kustzone en tot een verdere verbetering van de zuurstofhuishouding in het oostelijk deel van de Westerschelde. Anadrome vissoorten zoals Zalm, Fint en Elft zullen terug moeten kunnen keren in het estuarium en de Schelde-rivier.

8 DE EFFECTEN VAN VERDERGAANDE SANERING

De effecten van sanering in termen van concentraties, vrachten en milieu-effecten, zijn afhankelijk van de omvang van de antropogene fracties van de belasting. Onder antropogene fractie verstaat men dat deel van de belasting dat direct kan worden toegeschreven aan menselijke activiteiten. Bij de synthetische microverontreinigingen is deze fractie dus altijd 100%, zodat een volledige sanering de concentraties van deze stoffen uiteindelijk tot nul zou kunnen reduceren.

Er zijn ook effecten die als zodanig niet direct opvallen, maar toch heel belangrijk zijn. Dat zijn effecten op het functioneren van het ecosysteem. In paragraaf 8.2 wordt aandacht besteed aan de mogelijke veranderingen in de stikstofhuishouding. Een ander effect van sanering, dat zich pas op langere termijn kan openbaren, is de geleidelijke toename van de soortenrijkdom binnen planktische en benthische gemeenschappen.

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de effecten van sanering. Vooral de invloed op de zuurstofconcentratie krijgt aandacht. Ten behoeve van het onderzoeksproject SAWES (Systeem Analyse Westerschelde) is de zuurstofhuishouding van de Westerschelde gemodelleerd door het Waterloopkundig Laboratorium, in samenwerking met de Dienst Getijdewateren van Rijkswaterstaat.

8.1 Modelleren van de zuurstofhuishouding

8.1.1 Globale beschrijving van het model

In het SAWES-zuurstofmodel is het gebied tussen Rupelmonde en Vlissingen verdeeld in 19 segmenten (zie figuur 54). De debieten van de waterbelasting zijn als volgt geschematiseerd :

1	Scheldewater	Stroomt binnen via het 1 ^e segment; Stroomt uit via het 19 ^e segment;
2	Polderwater	Stroomt binnen in de segmenten 5, 8, 11, 16 en 19;
3	Kanaal Gent-Terneuzen	Loost in segment 16;
4	Neerslag/verdamping	De neerslag/verdampingsoverschotten op het vrije wateroppervlak zijn gebundeld in de segmenten 8, 11, 16 en 19;
5	Afvalwaterlozingen	De lozingen in België op segment 3 en gespreid over het traject Antwerpen-Doel, de segmenten 4 t/m 8 (zie figuur 54).

Het model houdt rekening met processen die van invloed zijn op de zuurstofhuishouding. Deze processen zijn temperatuurafhankelijk, waardoor een seizoensdynamiek ontstaat.

De processen die zuurstof verbruiken zijn :

- De afbraak van organische koolstofverbindingen;
- De oxidatie van ammonium (nitrificatie);
- De oxidatie van overige gereduceerde, anorganische verbindingen.

Zuurstof wordt aangevoerd door :

- Reëratie aan het wateroppervlak; deze aanvoer is afhankelijk van de turbulentie, stroming, windkracht en temperatuur;
- Primaire productie in de waterkolom.

In het model zijn deze processen geformuleerd, met uitzondering van de primaire productie. Het model is vervolgens gecalibreerd op de gegevens uit het jaar 1983. Met dit model kunnen verschillende saneringsscenario's worden doorgerekend. Een gegeven scenario wordt vertaald in randvoorwaarden voor het model. Op basis van deze condities berekent het model de waarde van een groot aantal variabelen voor elk segment van de Westerschelde, gedurende een modeljaar. Deze variabelen met de gebruikte afkortingen zijn opgesomd in tabel 35.

TABEL 35 *Overzicht van variabelen in het zuurstofmodel van de Westerschelde.*

Afkorting	Omschrijving
pH	Zuurgraad
O ₂	Zuurstofgehalte
Cl ⁻	Chloridegehalte
Alk.	Alkaliteit (concentratie HCO ₃ ⁻)
NO ₃	Concentratie van nitraat-stikstof
NH ₄	Concentratie van ammonium-stikstof
Ntot	Concentratie van totaal-stikstof
ANOX	Concentratie van anorganische, oxideerbare verbindingen
DOC	Concentratie opgeloste organische koolstof
BZV1	Biologisch zuurstofverbruik
BZVN	Biologisch zuurstofverbruik bij nitrificatie

Figuur 50 geeft een voorbeeld van de resultaten van een modelberekening, waarbij de concentratieverdeling van zuurstof in het estuarium berekend is. Door verschillende scenario's dóór te rekenen kan het effect op de concentratieverdeling van zuurstof, voor elk afzonderlijk onderzocht worden. De gesimuleerde verdelingen van het jaar 1983 dienen hierbij als referentie.

8.1.2 Randvoorwaarden voor het model

Door de Dienst Getijdewateren zijn de keuzemogelijkheden voor de modelrandvoorwaarden uitgewerkt. Hieronder worden deze beknopt weergegeven.

Gezien de ontwikkelingen met betrekking tot de geïnstalleerde zuiveringscapaciteit elders in Nederland en in het Duitse en Nederlandse deel van de Rijn, is het reëel om ook voor het stroomgebied van de Schelde uit te gaan van een bereikbare capaciteit van 60 à 80%. Zou een dergelijke zuiveringscapaciteit operationeel zijn, dan zou de belasting met zuurstofbindende stoffen op de Schelde anno 1983, met 40 à 70% gereduceerd worden.

Bij het doorrekenen van de scenario's zijn deze reductiepercentages als uitgangspunt gekozen en als volgt geïmplementeerd. Het toegepaste zuurstofmodel heeft een bovenstroomse rand te Schelle. Bij de berekeningen is aangenomen dat de instromende vracht aan zuurstofbindende stoffen (BZV, NH_4 , N-Kjeldahl) met achtereenvolgens, 40 en 70% afneemt ten opzichte van de vracht in 1983. De nitraatvracht wordt verondersteld gelijk te blijven. Voorts is aangenomen dat bij een vrachtreductie van 40% het zuurstofverzadigingspercentage van het instromende water 20 of 60% zal bedragen. Bij de vrachtreductie van 70% is een zuurstofverzadigingspercentage van 40 of 80% verondersteld. Dit levert dus al vier verschillende situaties op.

Tenslotte is de invloed van de Schelde-afvoer op de concentratieverdelingen voor elk van deze vier situaties onderzocht. Er is gerekend met een lage afvoer (1976: jaargemiddelde afvoer $55 \text{ m}^3/\text{s}$), een mediane (1983: $107 \text{ m}^3/\text{s}$) en een hoge (1966: $206 \text{ m}^3/\text{s}$). Met dit aspect erbij zijn in totaal 12 scenario's vastgesteld. Tabel 36 vat het onderscheid tussen deze samen.

TABEL 36 *Schematisch overzicht van de onderzochte scenario's met betrekking tot de zuurstofhuishouding in de Westerschelde.*

Scenario	Vrachtreductie te Schelle		Zuurstofverzadigingspercentage te Schelle				Schelde-afvoer		
	40%	70%	20%	40%	60%	80%	laag	mediaan	hoog
A1	+		+				+		
A2	+		+					+	
A3	+		+						+
A4	+				+		+		
A5	+				+			+	
A6	+				+				+
B1		+		+			+		
B2		+		+				+	
B3		+		+					+
B4		+				+	+		
B5		+				+		+	
B6		+				+			+

8.1.3 De resultaten van de modelberekeningen

Figuur 50 geeft de zuurstofgehalten die berekend zijn op basis van het referentiescenario en de scenario's A2 en B2 (mediane afvoer; vrachtreductie zuurstofbindende stoffen, respectievelijk 40 en 70%; zuurstofverzadigingspercentage te Schelle, respectievelijk 20 en 40%). De zuurstofgehalten zijn uitgezet in de vorm van Bose en Whisker plots, waarin de resultaten zijn verdeeld in kwartielen voor een aantal geselecteerde plaatsen in de Westerschelde, te weten Schelle, Schaar van Ouden Doel, Lamswaarde, Hansweert, Terneuzen en Vlissingen.

De scenario's A2 en B2 geven tot en met Terneuzen een verbetering van het zuurstofgehalte ten opzichte van de referentiesituatie. Deze verbetering is het grootst voor B2, met de hoogste reductie van de vracht aan zuurstofbindende stoffen (70%). In dit scenario wordt al te Schaar van Ouden Doel voldaan aan de absolute norm voor de basiskwaliteit van zoetwater (zuurstofgehalte $\geq 5 \text{ mg O}_2/\text{l}$).

De scenario's A5 en B5 (mediane afvoer; vrachtreductie, respectievelijk 40 en 70%; zuurstofverzadigingspercentage, respectievelijk 60 en 80%) geven met name bij Schelle een aanzienlijke verbetering van het zuurstofgehalte (de gehalten zijn niet in figuurvorm gepresenteerd). In het scenario met de grootste vrachtreductie (70%), wordt vanaf Schaar van Ouden Doel voldaan aan de absolute norm.

Variaties in de jaargemiddelde Schelde-afvoer blijken nauwelijks van invloed op de zuurstofgehalten in het Nederlands deel van het estuarium. Wel heeft deze variatie een duidelijk effect in de compartimenten tussen Schelle en Schaar van Ouden Doel.

Geconcludeerd kan worden dat een reductie van de vracht aan zuurstofbindende stoffen met 70% te Schelle, voor de Westerschelde zal resulteren in zuurstofgehalten die gedurende het gehele jaar boven de norm voor de basiskwaliteit liggen. De verbetering van het zuurstofgehalte zal zich het sterkst manifesteren in het oostelijk deel van de Westerschelde, tussen Schaar van Ouden Doel en Hansweert.

8.1.4 Vergelijking met ontwikkelingen in de Rijn.

De modelberekeningen van het zuurstofgehalte kunnen vergeleken worden met ontwikkelingen die zich hebben voorgedaan in de Rijn.

Voor de Rijn bovenstrooms van Lobith werd in 1973 ongeveer 30% van het afvalwater gezuiverd. In 1981 was dit percentage gestegen tot 80 à 90%.

In het Nederlandse deel van de Rijn tot aan Kampen, Vreeswijk en Gorkum, werd in 1981 ongeveer 80% van het afvalwater gezuiverd; voor de Rijn tot aan Kampen, Maassluis en de Haringvlietsluizen ongeveer 55% [22]. Figuur 55, overgenomen uit [15], geeft het verloop van de jaargemiddelde zuurstofgehalten op de Nederlandse Rijntakken in de periode 1970-1986. Te Lobith neemt het zuurstofgehalte toe van $4 \text{ mg O}_2/\text{l}$ in 1971 tot $8 \text{ mg O}_2/\text{l}$ in 1986; een toename van $4 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Te Schaar van Ouden Doel mag een vergelijkbare toename worden verwacht als scenario B2 wordt gerealiseerd (zie figuur 50). Dit scenario impliceert 70% reductie van de BZV-vracht en 40% zuurstofverzadiging te Schelle.

Overigens ontwikkelt het zuurstofgehalte in de Westerschelde zich de

laatste jaren al in positieve richting (zie paragraaf 4.5 van dit deelrapport). De situatie in de Westerschelde is echter niet geheel vergelijkbaar. Het jaargemiddelde zuurstofgehalte te Schaar van Ouden Doel was in de eerste helft van de zeventiger jaren veel lager dan dat te Lobith (respectievelijk, 1 mg O₂/l en 4 mg O₂/l in 1973). Dit komt omdat het gehalte in de Westerschelde veel sterker door de afvoer wordt bepaald. De saneringen in de Rijn, die te Lobith in 1985 tot een jaargemiddeld gehalte van 8 mg O₂/l leidden, moeten dan ook anders beoordeeld worden dan de saneringen in de Schelde, waar te Schaar van Ouden Doel in 1985 een jaargemiddeld zuurstofgehalte van 4,3 mg O₂/l werd bepaald.

In 1985 bedroeg de belasting op de Rijn bij Lobith $1430 \cdot 10^3$ inwonersequivalenten aan ongezuiverd gemeentelijk en industrieel afvalwater, bij een jaargemiddelde afvoer van 2200 m³/s. De Schelde kreeg in ditzelfde jaar nog $470 \cdot 10^3$ inwonersequivalenten aan dergelijk afvalwater te verwerken, bij een jaargemiddelde afvoer van 100 m³/s.

8.2 Effecten van de sanering van zuurstofbindende stoffen

Zuurstof

In de vorige paragraaf is geconcludeerd dat het zuurstofgehalte in de Westerschelde zal toenemen wanneer de belasting aan zuurstofverbruikende stoffen afneemt. Verbetering van de zuurstofhuishouding is een voorwaarde voor het terugkeren van een bodemfauna die qua zoutgehalte en morfologie bij het gebied past. Of daarmee alle oorzaken zijn weggenomen van de éénzijdig-opgebouwde, huidige gemeenschap, is zeer de vraag. De effecten van een langs deze weg verhoogd zuurstofgehalte, op de samenstelling en biomassa van de bodemfauna, zijn daarom alleen in globale termen aan te geven.

- In het oostelijk deel van de Westerschelde zal de diversiteit van de bodemdiergemeenschap toenemen en meer gaan lijken op de situatie in het Hollands Diep/Haringvliet in de zestiger jaren.
- Grotere individuen van het Nonnetje en de Strandgaper krijgen betere overlevingskansen.
- Vooral voor garnalen zullen de oostelijke laagwatergebieden aantrekkelijker worden als kinderkamer.
- Voor vissen zullen de maatregelen resulteren in een verminderde kans op infectieziekten en sterfte.

Vooral op het traject Schelle-Lamswaarde kan een belangrijke toename van het aantal bodemdiersoorten en -individuen worden verwacht, indien het scenario met 70% reductie wordt doorgevoerd.

Naar verwachting zal ook het aantal roeipootkreeftjes in het plankton op dit traject toenemen. Hoewel de brakwaterzoöplanktonsoorten bestand zijn tegen lage zuurstofgehalten en een hoge troebelheidsgraad, is het waarschijnlijk dat de huidige, lage aantallen copepoden stroomopwaarts van Zandvliet, het gevolg zijn van het sterk verlaagde zuurstofgehalte [4].

Vissen zijn door hun grotere mobiliteit in staat om minimale zuurstofgehalten te ontwijken. Een verhoging van de minimumconcentraties zal een positieve invloed hebben op het vóórkomen, de ontwikkeling en de conditie van vis.

Juist de jonge platvis, die in het brakke deel van estuaria over het algemeen massaal voorkomt, heeft baat bij een milieu met een goede zuurstofhuishouding, onder andere omdat hun voedsel vooral bestaat uit kleine kreeftachtigen. Verwacht mag worden dat de sanering tot een gunstige ontwikkeling van de kinderkamerfunctie van de Westerschelde leidt.

Een heel ander, mogelijk effect van een verhoging van het zuurstofgehalte is een toename van de vracht aan opgeloste metalen (bij een hogere oxidatiegraad van water en bodem gaan meer metalen in oplossing). Met betrekking tot microverontreinigingen zou dit een verslechtering van de waterkwaliteit betekenen. Microverontreinigingen mogen in een saneringsprogramma dus niet ontbreken (zie deelrapport 2).

Biochemisch zuurstofverbruik

Een hoog biochemisch zuurstofverbruik (BZV₅) leidt in het algemeen tot lage zuurstofgehalten. De ecologische effecten van een verbeterd zuurstofgehalte zijn hierboven aangegeven. Daarnaast is het BZV₅ gerelateerd aan het gedrag van stikstofverbindingen. De hoogte van het BZV₅ wordt voor een belangrijk deel bepaald door de omvang van het nitrificatieproces, waarbij ammonium via nitriet wordt omgezet in nitraat (zie paragraaf 4.4). Lager in de waterkolom en in het sediment waar de zuurstofconcentratie nihil is, wordt nitraat door denitrificatie omgezet in moleculaire stikstof, dat uit het systeem kan ontsnappen. Wanneer het BZV₅ afneemt is er weliswaar sprake van een geringere productie van nitraat door nitrificatie, maar zal het optreden van denitrificatie beperkt blijven tot de anaerobe delen van het sediment.

Stikstofverbindingen

De afname van de belasting aan stikstofverbindingen door een sanering van de vracht aan zuurstofbindende stoffen wordt geschat op 30%. Het is nog onduidelijk in hoeverre de omvang van het denitrificatieproces in de Schelde dusdanig zal afnemen, dat er per saldo een toename van de nitraatbelasting op de Westerschelde moet worden verwacht. De zienswijzen lopen uiteen van een toename van de stikstofbelasting tot 250% (G. Billen in [11]), tot een afname tot 30% (SAWES). Wanneer de primaire productie beperkt blijft door de factor licht (zie paragraaf 8.4), zullen deze verschillen in stikstofbelasting in het Schelde-estuarium vermoedelijk geen effect hebben op deze productie.

Wel verwacht men eutrofiëringseffecten in de kustzone, indien de stikstofbelasting op de Westerschelde stijgt. Op meetpunten vanaf 2 km uit de kust wordt 's zomers vaak een lage troebelheid gemeten, zodat hier van lichtlimitatie geen sprake zal zijn. Vooralsnog gaat Rijkswaterstaat er vanuit dat een vermindering van de vracht aan zuurstofbindende stoffen te Schelle, de kans op eutrofiëringseffecten in deze kustzone doet afnemen.

Figuur 52b geeft de berekende concentratieverdeling van totaal-stikstof, voor een vrachtreductie van 70%, een zuurstofverzadigingspercentage te Schelle van 80% en een hoge jaargemiddelde afvoer (scenario B6). In vergelijking met de referentieverdeling (Figuur 52a) veranderen de concentraties totaal-stikstof aan de Noordzeerand van het model niet noemenswaard.

8.3 Effecten op de bacteriologische belasting

Met het in gebruik nemen van rioolwaterzuiveringsinstallaties binnen de grote agglomeraties in het stroomgebied van de Schelde zal de belasting aan bacteriologische verontreinigingen teruglopen. Verwacht wordt dat de bacteriologische norm voor de zwemwaterkwaliteit te Schaar van Ouden Doel en verder stroomopwaarts niet langer overschreden zal worden.

8.4 Effecten op de zwevend-stofgehalten

De sanering van de belasting aan zuurstofverbruikende stoffen en bacteriologische verontreinigingen, zal een verlaging van de gemiddelde zwevend-stofgehalten tot gevolg hebben. De lichte verbetering van het doorzicht die hierdoor optreedt, zal in principe resulteren in een toename van de primaire productie van slechts enkele procenten.

8.5 Effecten op de stikstof- en fosfaatbelasting

In paragraaf 3.3 werd de antropogene fractie in de belasting aan stikstof en fosfor berekend. In figuur 51 is het effect van sanering op deze fracties weergegeven. In de Rijn zijn de concentraties van stikstof en fosfor tussen 1975 en 1985 gedaald met 60 à 90%. Als dergelijke percentages ook voor de Westerschelde gehaald kunnen worden, komt wat deze nutriënten betreft, de natuurlijke toestand binnen handbereik.

9 BELEIDSONTWIKKELING

In dit hoofdstuk worden voorstellen gedaan voor het toekomstig waterbeheer in de Westerschelde, toegespitst op de troebelheid, de zout-zoetgradiënt en op de systeemeigen stoffen die bepalend zijn voor de zuurstof- en nutriëntenhuishouding. Deze voorstellen hangen samen met reeds geformuleerde beleidsuitgangspunten van het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid en reeds gemaakte internationale afspraken. Tegelijkertijd echter, wordt met deze voorstellen vooruitgelopen op het waterbeleid zoals dat in de Derde Nota Waterhuishouding (NW3) zal worden verwoord.

9.1 Het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid

Het Nederlandse waterkwaliteitsbeleid is in hoofdlijnen weergegeven in het Indicatief Meerjaren Programma (IMP) Water 1985-1989 [40]. Hierin zijn twee belangrijke beleidsuitgangspunten geformuleerd :

- Het stand-still beginsel;
- Het verminderen van de verontreinigingen.

Wat het tweede uitgangspunt betreft stelt het IMP dat de vermindering van de belasting aan relatief-onschadelijke stoffen, zoals chloride, nutriënten en zuurstofbindende stoffen, moet worden afgestemd op de waterkwaliteitsdoelstellingen die aan het watersysteem zijn toegekend. Uitgaande van dit IMP en het Rijks Waterkwaliteitsplan [41] zijn waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde afgeleid, die rekening houden met de verdunning door zeewater in het estuarium (paragraaf 4.9). Getoetst aan deze doelstellingen blijken zowel het zuurstof- als het nitriet+nitraatgehalte, in de periode 1981-1986 niet te voldoen in een deel van de Westerschelde. De concentraties van orthofosfaat en ammonium zijn in het gehele estuarium te hoog.

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

9.2 Internationale afspraken

Voor de Westerschelde zijn van belang de Noordzee-Ministersconferentie en het Actieprogramma Rijn. Daarnaast aanvaardt de Nederlandse overheid de verantwoordelijkheid om de ecologische waarden met internationale betekenis te beschermen en waar mogelijk te verhogen. Wat de Westerschelde betreft gaat het hierbij om de kinderkamerfunctie voor de Noordzee, de pleisterfunctie voor vogels uit arctische en subarctische broedgebieden en

om het Land van Saeftinge als grootste aanéengesloten brakwaterschorgebied van West-Europa.

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

Wat de belasting van de Noordzee aan nutriënten betreft, is het volgende overeengekomen [2] :

- Neem effectieve, nationale maatregelen ter vermindering van de nutriëntenbelasting naar die gebieden, waarvan mag worden aangenomen dat deze belasting direct of indirect verontreiniging veroorzaakt;
- Probeer een aanzienlijke reductie te bereiken van de belasting aan stikstof en fosfor op deze gebieden, in de orde van 50% tussen 1985 en 1995;
- Stel met spoed actieplannen op om de hierboven gestelde doelen te bereiken. Werk maatregelen die de nutriëntenbelasting zouden kunnen verminderen gedetailleerd uit, volgens de uitgangspunten opgesteld door de Sectie Nutriënten van de Commissie van Parijs en neem de benodigde maatregelen op in de nationale beleidsplannen.

In Nederland zijn deze afspraken nader uitgewerkt in het Actieprogramma Noordzee. Het Actieprogramma Rijn heeft ten grondslag gelegen aan de saneringsinspanning die reeds in het stroomgebied van de Rijn heeft plaatsgevonden (zie paragraaf 7.4) en kan derhalve dienen als maat voor de relatieve achterstand in de saneringsinspanning in het stroomgebied van de Schelde anno 1985, het peiljaar voor de afspraken van de Noordzeeconferentie.

9.3 Beleidsuitgangspunten voor de Westerschelde

9.3.1 Algemeen

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

De doelen zijn vastgelegd in doelstellingen voor de korte termijn (het jaar 1995) en doelstellingen voor de middellange termijn (het jaar 2000).

De doelstellingen voor de korte termijn zijn in eerste instantie geënt op het functioneren van het Nederlandse deel van het estuarium. Voor de doelstellingen op middellange termijn zijn aanvullende eisen gesteld aan het functioneren van de Schelde zelf.

Het is nog niet mogelijk om voor alle doelstellingen de voorwaarden te kwantificeren waaraan voldaan moet worden om de doelen te bereiken. In

de meeste gevallen zijn deze voorwaarden dan ook richtinggevend geformuleerd. De te nemen maatregelen vloeien slechts ten dele voort uit reeds vastgesteld beleid. Aanvullende maatregelen zijn geformuleerd, gericht op de gestelde doelen.

9.3.2 Doelen

Korte termijn (1995)

- Handhaving van de bestaande zout-zoetgradiënten in het water en op de schorren van de Westerschelde;
- Herstel van de bodemfauna die past bij de bestaande zout-zoetgradiënt;
- Terugdringing van de kans op visziekten;
- Versterking van de kinderkamerfunctie van het oostelijk deel, voor garnalen en platvis;
- Herstel van de populaties van Noordzeekrab en Zeekreeft in het mariene deel;
- Vermindering van de troebelheid;
- Vermindering van de eutrofiëring van de kustzone;
- Bereiken van de zwemwaterkwaliteit in het gehele estuarium.

Middellange termijn (2000)

- Terugkeer van anadrome vissoorten, zoals Elft, Fint, Houting en Zalm;
- Prevalentie van visziekten die niet hoger is dan van nature voor de Westerschelde verwacht mag worden;
- De belasting van de Westerschelde met nutriënten moet zodanig gereduceerd worden, dat door verdunning alléén, de concentraties in de kustzone in het groeiseizoen het referentieniveau benaderen.

9.3.3 Voorwaarden

Korte termijn (1995)

- Absolute ondergrens voor het zuurstofgehalte te Schaar van Ouden Doel van 5 mg O₂/l;
- Reductie van het zwevend-stofgehalte en biochemisch zuurstofverbruik;
- Reductie van stikstof- en fosfaatgehalten;
- Vermindering van de bacteriologische verontreiniging.

Middellange termijn (2000)

- Zuurstofgehalten in de Schelde die de natuurlijke referentiewaarden van de rivier benaderen;
- Verdere reductie van zwevend-stofgehalte en biochemisch zuurstofverbruik, voor zover nodig om de gestelde doelen te bereiken;
- Eventuele verdere reductie van stikstof- en fosfaatgehalten;
- Eventuele verdere vermindering van de bacteriologische verontreiniging.

9.3.4 Maatregelen

Korte termijn (1995)

- Afronding van het Nederlandse zuiveringsprogramma voor het Westerscheldegebied;
- Toepassing van het 70%-reductiescenario met betrekking tot de belasting aan zuurstofbindende stoffen in het stroomgebied van de Schelde;
- Een reductie van fosfaat- en stikstoflozingen met 50%, conform de afspraken van de Noordzee-Ministersconferentie. Voor zuiveringsinstallaties in het Scheldegebied betekent dit het aanbrengen van een tweede en derde trap. Deze verdergaande reductie is nodig omdat bij de conventionele zuivering van afvalwater slechts een beperkt deel van deze nutriënten wordt achtergehouden. Ook voor enkele industriële lozingen zal een 50%-reductie van nutriëntenlozingen doorgevoerd moeten worden;
- Inventarisatie van de Belgische industriële lozingen en het opstellen van een reductieschema voor fosfaat en stikstof;
- Doorspoeling van het Zoommeer op een zodanige wijze, dat de fluctuaties in de chloridegradiënt binnen een aanvaard traject blijven; Dit geldt ook voor de zoetwaterbelasting via de Antwerpse havens, vanuit het Zoommeer en het Albertkanaal;
- Beperking van het storten van materiaal afkomstig van ontgrondingen ten behoeve van de verbreding van kanalen, aanleg van havens, e.d. De berging van deze grond moet zodanig plaatsvinden dat de verspreiding van slib wordt geminimaliseerd;

Middellange termijn (2000)

- Het toekennen van een hogere ecologische doelstelling aan de rivier de Schelde, afgestemd op het belang voor het estuarium en de kustzone in de situatie na 1995;
- Het opstellen van een actieplan voor het gehele afwateringsgebied van Schelde en Westerschelde om de ecologische doelstellingen te realiseren.

9.3.5 Nader onderzoek

Modellen moeten ontwikkeld worden om de effecten van verschillende saneringsscenario's op de nutriëntenbelasting van de Noordzee te onderzoeken.

Op de tweede plaats is onderzoek gewenst naar de oorzaak van visziekten in het estuarium.

Op de derde plaats is onderzoek nodig om een zo gedetailleerd mogelijke beschrijving te kunnen maken van de referentiesituatie van het Schelde-estuarium. Deze beschrijving moet gericht zijn op zowel de natuurlijke gehalten c.q. vrachten aan nutriënten en zuurstofbindende stoffen, als op de potentiële samenstelling van levensgemeenschappen.

GECITEERDE LITERATUUR

- 1 ANONYMUS (1988) Evaluatierapport lozing afvalwater NV Tessenderlo Chemie. Vlaamse Waterzuiveringsmaatschappij, Herentals.
- 2 ANONYMUS (1988) Een gegist bestek. Hoofdpijnen van beleid Derde Nota Waterhuishouding. Eerste concept, 30 mei 1988.
- 3 ANTWERPSE ZEEDIENSTEN (ongedateerd) Debieten van het Scheldebekken, periode 1959-1972. Antwerpse Zeediendiensten.
- 4 BAKKER C (1982) Het plankton van de brakwaterzone. *Zeeuws Nieuws* over natuur, landschap en milieu 8(2) : 29-33.
- 5 BAKKER C en PAUW N DE (1974) Comparison of brackish water plankton assemblages of identical salinity ranges in an estuarine tidal (Westerschelde) and stagnant (Lake Veere) environment (SW-Netherlands). I. Phytoplankton. *Hydrobiol Bull* 8 : 179-189.
- 6 BAKKER C, PHAFF WJ, EWIJK-ROSIER M VAN en PAUW N DE (1977) Copepod biomass in an estuarine and a stagnant brackish environment of the SW Netherlands. *Hydrobiologia* 52 : 3-13.
- 7 BEEK SA en RINK GJ (1987) Aantalsfluctuatie en verspreiding van enkele vissoorten in het Schelde-estuarium. RIVO-rapport 2F87-103.
- 8 BEUKEMA JJ (1987) Eutrophication of the North Sea. p 27-36 in : *Proceedings of the 2nd North Sea Seminar*, Rotterdam, October 1-3, 1986. Volume 2. Peet G (red). Werkgroep Noordzee, Amsterdam.
- 9 BEUKEMA JJ en CADÉE GC (1987) De eutrofiëring van ons kustwater: Genoeg of al te veel? *Vakbl Biol* 67(9) : 153-157.
- 10 BEYERSBERGEN R, ZWART J DE en LANGEVELD B (1979) De Hooge Platen - Refugium voor watervogels in ons laatste open estuarium. *Watervogels* 4(5) : 192-201.
- 11 BILLEN G *et al.* (1983) Etablissement d'un modèle prédictif de la qualité de l'eau de l'estuaire de L'Escaut. Université Libre de Bruxelles.
- 12 BITTER G (1988) Trendanalyse waterkwaliteit Westerschelde over de periode 1975 t/m 1985. Nota GWWS-88.405, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren.
- 13 BOGAARDS RH, KOEYER P DE, SANDEE AJJ, BORGHOUTS CH en WOLFF WJ (1973) Inventarisatie van enkele macrobenthossoorten in het Oosterscheldegebied in 1972. *Rapporten en Verslagen* nr 1973-7, Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke.
- 14 BRABER L en BORGHOUTS CH (1977) Distribution and ecology of Anthozoa in the estuarine region of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. *Hydrobiologia* 52 : 15-21.

- 15 BROEKHOVEN ALM VAN (1987) De Rijn in Nederland, toestand en ontwikkelingen anno 1987. Nota 87.061, Rijkswaterstaat Dienst Binnenwateren/RIZA.
- 16 BUISE MA en TOMBEUR KLL (red) (1988) Vogels tussen Zwin en Saeftinghe - De avifauna van Zeeuws-Vlaanderen. Stichting Natuur- en Recreatie-informatie, Middelburg. 360 p.
- 17 CADÉE GC en HEGEMAN J (1986) Seasonal and annual variation in *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae) in the westernmost inlet of the Wadden Sea during the 1973 to 1985 period. *Neth J Sea Res* 20 : 29-36.
- 18 Consultation meeting on nutrients in the eastern and southern North Sea, Skagerrak and Kattegat under article 9 of the Paris Convention, Copenhagen, November 28-29, 1985.
- 19 CRAMP S en SIMMONS KEL (red) (1983) *The Birds of the Western Palearctic*, Volume III, Waders to Gulls. Oxford University Press, Oxford. 913 p.
- 20 DANKERS N, KUHL H en WOLFF WJ (red) (1981) Invertebrates of the Wadden Sea. *Report 4 of the Wadden Sea Working Group*. AA Balkema, Rotterdam.
- 21 DEVELTER D en KUIJKEN E (1987) De inplanting van een containerkaai op de slikken van het natuurgebied "Galgenschoor" te Antwerpen. Instituut voor Natuurbehoud, Gent.
- 22 DIJKZEUL A (1982) De waterkwaliteit van de Rijn in Nederland in de periode 1970-1981. Nota 82.061, Rijkswaterstaat/RIZA.
- 23 ECK B VAN, TURKSTRA E, SANT H VAN 'T (1983) Voorstel referentiewaarden Nederlandse zoute wateren. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Leidschendam.
- 24 HENDRIKSMA J (1981) Waterkwaliteitsaspecten van de Westerschelde. Nota 81.049, Rijkswaterstaat/RIZA.
- 25 ICR (1987) Actieprogramma "Rijn". Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn tegen Verontreiniging. (Verkorte Nederlandse editie van: Das Aktionsprogramm "Rhein" des ICR).
- 26 KOOIJ LA VAN DER (1982) De kwaliteit van de Westerschelde in de periode 1964-1981. Nota 82.063, Rijkswaterstaat/RIZA.
- 27 LANCELOT C, BILLEN G, SOURNIA A, WEISSE T, COLIJN F, VELDHUIS MJW, DAVIES A en WASSMAN P (1987) *Phaeocystis* blooms and nutrient enrichment in the continental coastal zones of the North Sea. *Ambio* 16 : 38-46.
- 28 LEFÈVRE F (1984) Het effect van lozingen van het Zoommeer op de chloridegehalten in de Westerschelde (voorlopige lozingsscenario's). Nota WWKZ-84.009, Rijkswaterstaat Adviesdienst Vlissingen.
- 29 LELOUP E en KONIETZKO B (1956) Recherches biologiques sur les eaux saumâtres du Bas-Escaut. *Verh Kon Belg Inst Natuurwetenschappen* 132 : 1-99.

- 30 MARQUENIE JM en VETHAAK AD (in druk) Effecten in zoutwaterecosystemen. Aangeboden aan H_2O .
- 31 MEENT D VAN DE, OOSTERWIJK J en ALDENBERG T (1984) Meetnet regenwater 1978-1982. RIVM-rapport *Ecowad-84-01*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- 32 MEIRE P en DEVELTER D (1988) Macrozoöbenthos van de Westerschelde: Een eerste overzicht van de resultaten van de bemonsteringen, najaar 1987. Project SAWES.
- 33 Ministerial Declaration of the Second International Conference on the Protection of the North Sea, London, November 24-25, 1987.
- 34 NIENHUIS PH (1980) The epilithic algal vegetation of the SW Netherlands. *Nova Hedwigia* 23 : 1-94.
- 35 OSIECK ER (1982) Belangrijke waterrijke vogelgebieden in Nederland. *Limosa* 55 : 43-55.
- 36 OSIECK ER en BRAAKHEKKE WG (1986) Aanvullingen en verbeteringen op de lijst van belangrijke waterrijke vogelgebieden in Nederland. *Limosa* 59 : 75-81.
- 37 PIETERS H, KLUYTMANS JH, ZANDEE DI en CADEE GC (1980) Tissue composition and reproduction of *Mytilus edulis* in relation to food availability. *Neth J Sea Res* 14 : 349-361.
- 38 RACHOR E (1980) The inner German Bight - an ecologically sensitive area as indicated by the bottom fauna. *Helgol Meeresunters* 33 : 522-530.
- 39 RACHOR E (1985) Eutrophierung in der Nordsee. Bedrohung durch Sauerstoffmangel. *Abh Naturwiss Verein Bremen* 40 : 283-292.
- 40 RIJKSWATERSTAAT (1986a) De waterkwaliteit van Nederland - Indicatief meerjarenprogramma water 1985-1989. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Staatsuitgeverij.
- 41 RIJKSWATERSTAAT (1986b) Rijks Waterkwaliteitsplan. Ministerie van Verkeer en Waterstaat/Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. 136 p.
- 42 RIJKSWATERSTAAT (1988) Het waterbeheer in het Zoommeer na 1987. Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg.
- 43 RIJKSWATERSTAAT en WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM (1985) Harmonisatie Noordzeebeleid - Waterkwaliteitsplan Noordzee. Verslag van Onderzoek. Deel 2. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- 44 SCHMIDT-VAN DORP AD (1979) Literatuuronderzoek naar soortenrijkdom van het macrozoöbenthos in relatie tot het zoutgehalte. *Rapporten en Verslagen* nr 1979-55, Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke.

- 45 SCOTT DA (1980) A preliminary inventory of wetlands of international importance for waterfowl in West Europe and Northwest Africa. IWRB Special Publication 2, International Waterfowl Research Bureau, Slimbridge.
- 46 SIBBLES PL en VERDUIN JA (1988) Een verkenning van het waterkwaliteitsvraagstuk in België. *Westerschelde Studies* nr 10, Geografisch Instituut, Rijksuniversiteit, Utrecht.
- 47 STOUTEN P (1987) Beheersplan Zoommeer. Nota AX-87235, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg.
- 48 STRONKHORST J (1988) Lichtuitdoving in de Oosterschelde. BALANS-Nota 35, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- 49 STUART JJ, MEIRE P en MEININGER P (1988) Watervogels in de Westerschelde. Rijksuniversiteit, Gent/Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Middelburg.
- 50 THEEDE H, PONAT A, HIROKI K en SCHLIEPER C (1969) Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen-deficiency and hydrogen sulphide. *Mar Biol* 2 : 325-337.
- 51 THEEDE H (1973) Comparative studies on the influence of oxygen deficiency and hydrogen sulphide on marine bottom invertebrates. *Neth J Sea Res* 7 : 244-252.
- 52 VAN IMPE J (1985) Estuarine pollution as a probable cause of increase of estuarine birds. *Mar Pollut Bull* 16 : 271-276.
- 53 VAN DAMME D (1984) Benthic studies of the Southern Bight of the North Sea. X. Changes in Harpacticoid copepod communities in the Westerschelde estuary from 1978 till 1982. In : *Ecological and ecotoxicological studies of benthos of the Southern Bight of the North Sea*. Sectie Mariene Biologie, Rijksuniversiteit Gent.
- 54 VELDHUIS MJW, VENKAMP LAH en IETSWAART T (1987) Availability of phosphorus sources for blooms of *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae) in the North Sea: impact of the river Rhine. *Neth J Sea Res* 21 : 219-229.
- 55 VETHAAK AD (1987) Fish diseases, signals for a diseased environment? p 43-59 in : *Proceedings of the 2nd North Sea Seminar*, Rotterdam, October 1-3, 1986. Volume 2. Peet G (red). Werkgroep Noordzee, Amsterdam.
- 56 WESTERNHAGEN H VAN en DETHLEFSEN V (1983) North Sea oxygen deficiency in 1982 and its effects on the bottom fauna. *Ambio* 12 : 264-267.
- 57 WOLFF WJ (1973) The estuary as a habitat. *Zoölogische Verhandelingen* 126 : 1-242, Rijksmuseum voor Natuurlijke Historie, Leiden.
- 58 WOLLAST R (1973) Origine et mecanismes de l'envasement de l'estuaire de l'Escaut. Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées, Institut de Chimie Industrielle, Ministère des Travaux Publics.

OVERZICHT VAN FIGUREN

- 1 Afwateringsgebied van de Schelde.
- 2 Jaargemiddelde debiet van de Schelde ter hoogte van Schelle, in de periode 1950-1987.
- 3 Seizoensverloop in de Schelde-afvoer te Schelle, gemiddeld over de periode 1980-1987.
- 4 Lengteprofielen van het chloridegehalte in de Westerschelde.
- 5 Het debiet door de Bathse Spuisluis.
- 6 Procentuele bijdrage van de diverse belastingbronnen aan de antropogene fracties van de stikstofbelasting (A) en de fosforbelasting (B).
- 7 Tijdsverloop van het chloridegehalte, 1981-1986.
- 8 Tijdsverloop van de watertemperatuur, 1981-1986.
- 9 Tijdsverloop van het zwevend-stofgehalte ($0,45 \mu\text{m}$), 1981-1986.
- 10 Jaargemiddelden van het zwevend-stofgehalte ($0,45 \mu\text{m}$), 1981-1986.
- 11 Vergelijking van zwevend-stofgehalten bepaald via twee filtratiemethoden: over $0,45 \mu\text{m}$ (z/s zw. met.) en over $1,0 \mu\text{m}$.
- 12 Tijdsverloop van het biochemisch zuurstofverbruik (BZV₅), 1981-1986.
- 13 Trend van het biochemisch zuurstofverbruik te Vlissingen, 1975-1985.
- 14 Tijdsverloop van het ammoniumgehalte, 1981-1986.
- 15 Jaargemiddelden van het ammoniumgehalte, 1981-1986.
- 16 Tijdsverloop van het nitriet+nitraatgehalte, 1981-1986.
- 17 Jaargemiddelden van het nitriet+nitraatgehalte,
- 18 Relaties tussen chloridegehalte en de concentratie van stikstofverbindingen.
- 19 Trend van ammonium te Schaar van Ouden Doel, 1975-1985.
- 20 Trend van ammonium te Hansweert, 1975-1984.
- 21 Trend van ammonium te Terneuzen, 1975-1984.
- 22 Trend van ammonium te Vlissingen, 1975-1984.
- 23 Trend van nitriet/nitraat te Schaar van Ouden Doel, 1975-1985.
- 24 Trend van Kjeldahl-stikstof te Schaar van Ouden Doel, 1975-1985.
- 25 Trend van Kjeldahl-stikstof te Hansweert, 1975-1984.
- 26 Trend van zuurstof te Schaar van Ouden Doel, 1975-1985.
- 27 Tijdsverloop van het zuurstofgehalte, 1981-1986.
- 28 Jaargemiddelden van het zuurstofgehalte, 1981-1986.
- 29 Trend van orthofosfaat te Schaar van Ouden Doel, 1975-1985.
- 30 Trend van orthofosfaat te Hansweert, 1975-1984.
- 31 Trend van orthofosfaat te Terneuzen, 1975-1984.
- 32 Trend van orthofosfaat te Vlissingen, 1975-1984.
- 33 Trend van zuurstof te Hansweert, 1975-1984.
- 34 Tijdsverloop van het orthofosfaatgehalte, 1981-1986.
- 35 Tijdsverloop van het chlorofyl-a-gehalte, 1981-1986.
- 36 Concentratie anorganische stikstofverbindingen .
- 37 Tijdsverloop van de concentratie opgelost silicium, 1981-1986.
- 38 Tijdsverloop van het doorzicht, 1982-1986.
- 39 Opbouw van de extinctie-coëfficiënt te Vlissingen en Schaar van Ouden Doel.
- 40 Tijdsverloop van het gehalte thermotolerante colibacteriën, 1981-1984.
- 41 Trend van thermotolerante bacteriën uit de coligroep te Schaar van Ouden Doel, 1975-1984.
- 42 Tijdsverloop van het gehalte, faecale streptococci, 1981/1984-1986.
- 43 Trend van thermotolerante bacteriën uit de coligroep te Hansweert, 1982-1984.

- 44 Relatie tussen chloridegehalte en concentratie zwevend stof; de ligging van het troebelheidsmaximum.
- 45 Tijdsverloop van het chloridegehalte in het Bathse Spuikanaal en te Schaar van Ouden Doel, tijdens de ontziltling van het Zoommeer in 1987.
- 46 Chloridegehalten te Lamswaarde; vergelijking van gemeten en berekende waarden, voor een situatie zonder ontziltling van het Zoommeer.
- 47 Dichtheden van bodemdieren op een aantal locaties in het intergetijdegebied van de Westerschelde, september 1987.
- 48 Gemiddeld aantal watervogels per maand in de Westerschelde, 1975-1980.
- 49 Tolerantie van enkele bodemdiersoorten voor verlaagde zuurstof- en verhoogde sulfidegehalten (tolerantie uitgedrukt als de blootstellingstijd die leidde tot sterfte van 50% van het aantal proefdieren).
- 50 Verdeling van de zuurstofgehalten over de Westerschelde, berekend voor de scenario's A2, B2 en het referentiescenario.
- 51 Het effect van sanering op de antropogene fracties van de stikstof- en fosforbelasting.
- 52 Verdeling van de totaal-stikstofconcentratie over de Westerschelde, berekend voor de referentiesituatie anno 1983 (A) en het scenario B6 (B).
- 53 De gemiddelde winterconcentraties van nitraat in het Kanaal en de Zuidelijke Bocht van de Noordzee.
- 54 Segmentering van het Westerschelde-estuarium in het SAWES-zuurstofmodel.
- 55 Verloop van het jaargemiddelde zuurstofgehalte in de Nederlandse Rijntakken, over de periode 1970-1986.

OVERZICHT VAN TABELLEN

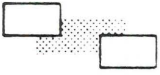
- 1 De afvoer van de Schelde te Schelle en Schaar van Ouden Doel, in de periode 1980-1987.
- 2 De zoetwataanvoer naar de Westerschelde in de periode 1981-1986.
- 3 Grensoverschrijdende jaarvrachten te Schaar van Ouden Doel in de periode 1981-1987.
- 4 De belasting van de Westerschelde door nutriënten en zuurstofbindende stoffen in 1985.
- 5 De natuurlijke concentraties van fosfor en stikstof.
- 6 Vergelijking van waargenomen en berekende concentraties van fosfor en stikstof in de Westerschelde.
- 7 De belasting van de Westerschelde vanuit het Bathse Spuikanaal in 1987.
- 8 Chloride in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1981-1986.
- 9 Watertemperatuur in de Westerschelde; jaargemiddelden in de periode 1981-1986.
- 10 Zwevend stof ($0,45 \mu\text{m}$) in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1981-1986.
- 11 Zwevend stof ($1,0 \mu\text{m}$) in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1981-1986.
- 12 BZV₅-jaarvrachten en jaargemiddelde Schelde-afvoeren te Schaar van Ouden Doel, in de periode 1976-1986.
- 13 Biochemisch zuurstofverbruik (BZV₅) in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1980-1986.
- 14 Jaarvrachten van stikstofverbindingen en jaargemiddelde Schelde-afvoeren te Schaar van Ouden Doel, in de periode 1976-1986.
- 15 Jaargemiddelde zuurstofgehalten en Schelde-afvoeren te Schaar van Ouden Doel, in de periode 1973-1986.
- 16 Zuurstof in de Westerschelde; jaargemiddelde gehalten in de periode 1980-1986.
- 17 Jaargemiddelde orthofosfaatgehalten te Schaar van Ouden Doel, in de periode 1981-1986.
- 18 Zichtdiepte en concentratie van chlorofyl-a, anorganische stikstof, orthofosfaat en silicium in de Westerschelde; zomerwaarden, gemiddeld over de periode 1981-1986.
- 19 Schattingen van de jaargemiddelde primaire productie van fytoplankton in enkele zoutwatersystemen.
- 20 Thermotolerante bacteriën van de coli-groep; kwartaalgemiddelde gehalten te Schaar van Ouden Doel.
- 21 Thermotolerante bacteriën van de coli-groep; kwartaalgemiddelde gehalten te Vlissingen.
- 22 Faecale streptococci; kwartaalgemiddelde gehalten te Schaar van Ouden Doel.
- 23 De bacteriologische normering voor zwem- en schelpdierwater.
- 24 Waterkwaliteitsdoelstellingen voor de Westerschelde.
- 25 Toetsing van de waterkwaliteit over de periode 1981-1986.
- 26 Globale samenstelling van het fytoplankton in de Westerschelde in 1987.
- 27 Dichtheden van bodemdieren rond de Belgisch-Nederlandse grens.
- 28 Waarnemingen van enkele diersoorten op hard substraat in het sublitoraal van de Westerschelde-monding in de zomer van 1972.

- 29 Kwalitatieve inventarisatie van enkele diersoorten in het sublitoraal van de Westerschelde-monding in de zomer van 1972.
- 30 Belangrijkste pleistermaanden en gemiddelde maximale aantallen van niet-broedende watervogels, waarvoor de Westerschelde van internationaal belang is.
- 31 De gemiddelde afvoer van zoetwater en nutriënten door enkele Westeuropese wateren naar het Kanaal en de Zuidelijke Bocht.
- 32 Saneringsplanning voor de lozing van zuurstofbindende stoffen op het Nederlandse deel van de Westerschelde.
- 33 Uitbreiding van de zuiveringscapaciteit van communale installaties in de periode na 1985.
- 34 Saneringsplanning voor de lozing van zuurstofbindende stoffen op de Nederlandse Rijntakken.
- 35 Overzicht van variabelen in het zuurstofmodel van de Westerschelde.
- 36 Schematisch overzicht van de onderzochte scenario's met betrekking tot de zuurstofhuishouding in de Westerschelde.

OVERZICHT VAN BIJLAGEN

- 1 Overzicht van onderzochte parameters met de correcties voor de trendanalyse.
- 2 Verspreiding van bodemdieren langs de voormalige zout-zoetgradiënt: Noordzee-Oosterschelde-Volkerak/Haringvliet-Hollandsch Diep-Biesbosch.
- 3 Verloop van de samenstelling van bodemdiergemeenschappen langs de zout-zoetgradiënt in het Eems-Dollard estuarium.

COLOFON

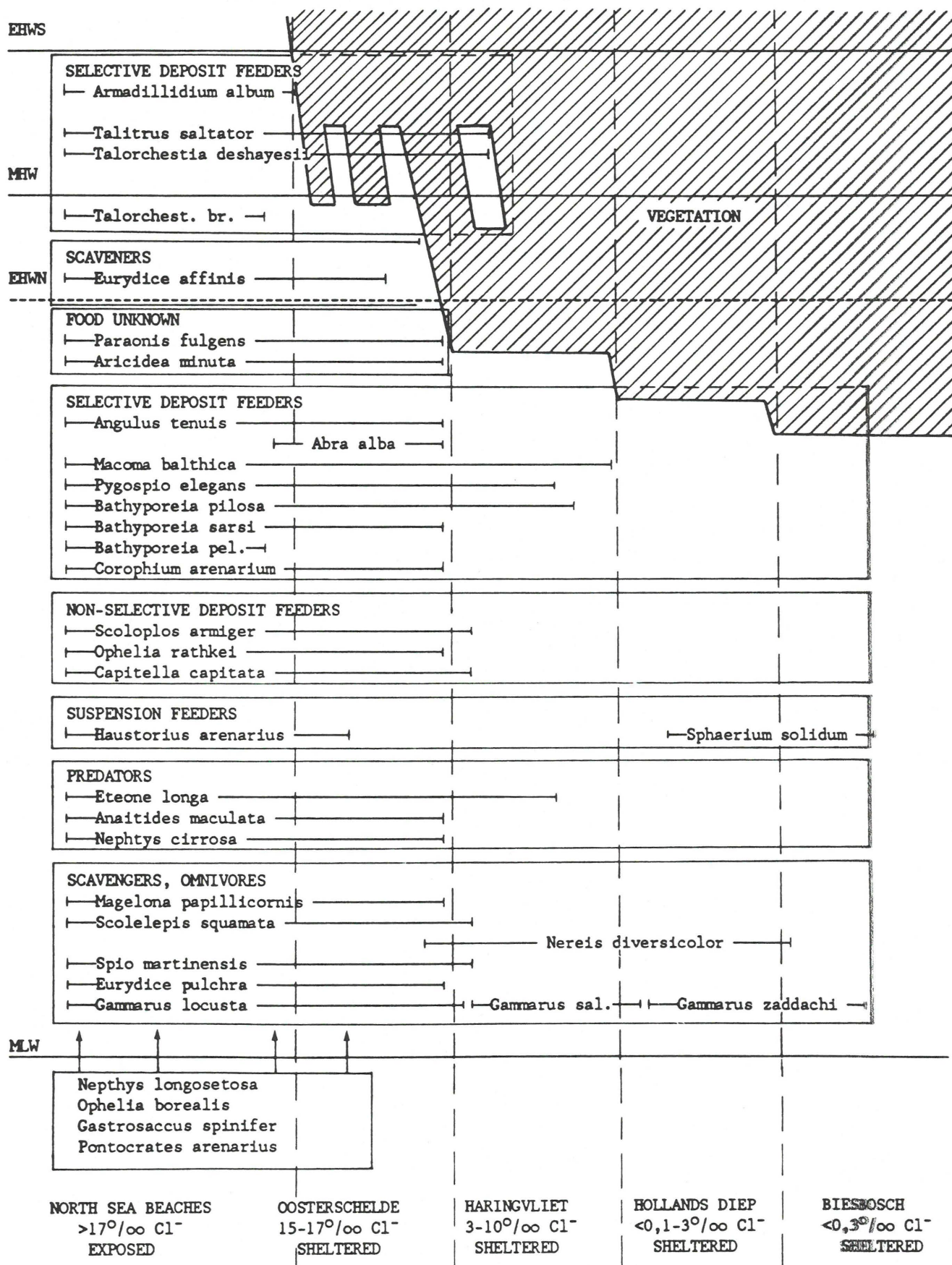
omslagfoto	LANDSAT
tekenwerk	A. de Buck
drukwerk	Pitman BV, Goes
redactionele ondersteuning en lay-out	Bureau RDD <i>Aquatic Ecosystems</i> , Groningen 

BIJLAGE 1 Overzicht van onderzochte parameters met hun correcties

Parameter		Correctievariabelen			Seizoenscorrectie
Nummer	Naam	Temperatuur (10)	Afvoer (58)	Zwevend stof met. (500)	
500	Zwevend stof zw.m.	-	+	-	+
310	BZV ₅	-	+	+	+
300	Zuurstof	+	+	-	+
680	TOC	-	+	+	+
681	DOC	-	+	-	+
608	NH ₄ -N	-	+	-	+
630	NO ₂ +NO ₃	-	+	-	+
625	Kjeldahl-N	-	+	+	+
671	o-PO ₄ -P	-	+	-	+
70505	t-PO ₄ -P	-	+	+	+
940	Chloride	-	+	-	-
31617	Thermotoler. coli	-	+	-	-
31690	Totaal-coli	-	+	-	-

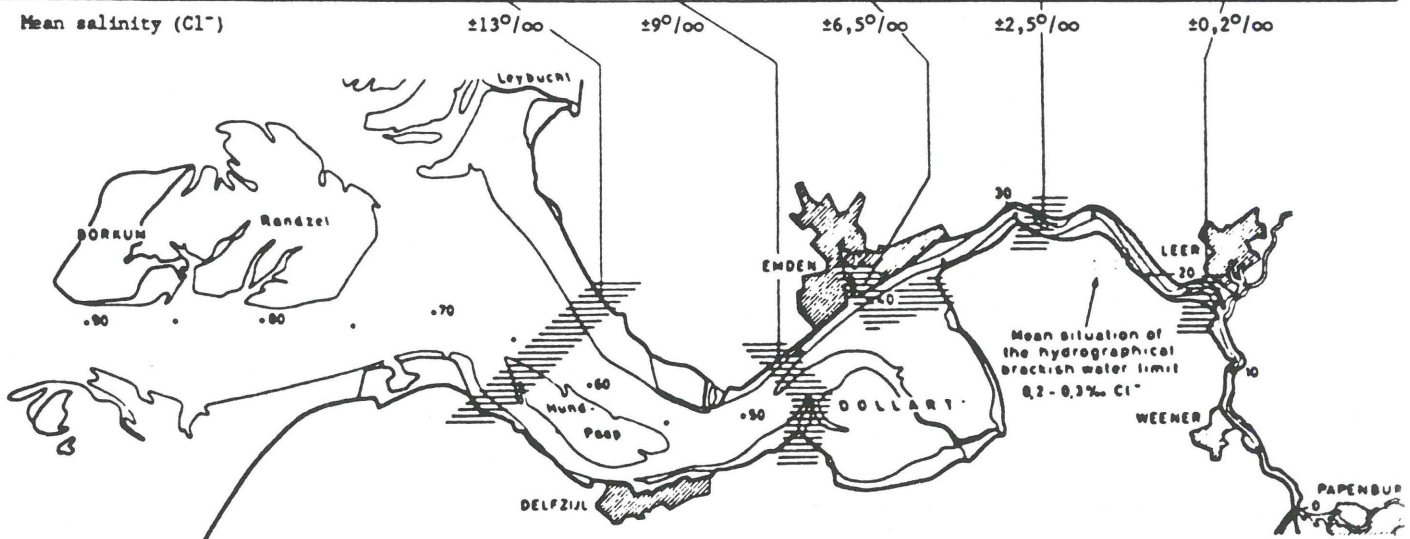
- + Betekent dat de betreffende correctie aan het model is opgegeven. De correctievariabele wordt in het model opgenomen wanneer deze factor een deel van de variatie in de trendanalyse verklaart.

BIJLAGE 2 Verspreiding van bodemdieren langs de voormalige zout-zoetgradiënt: Noordzee-Oosterschelde-Volkerak/Haringvliet-Hollandsch Diep-Biesbosch.



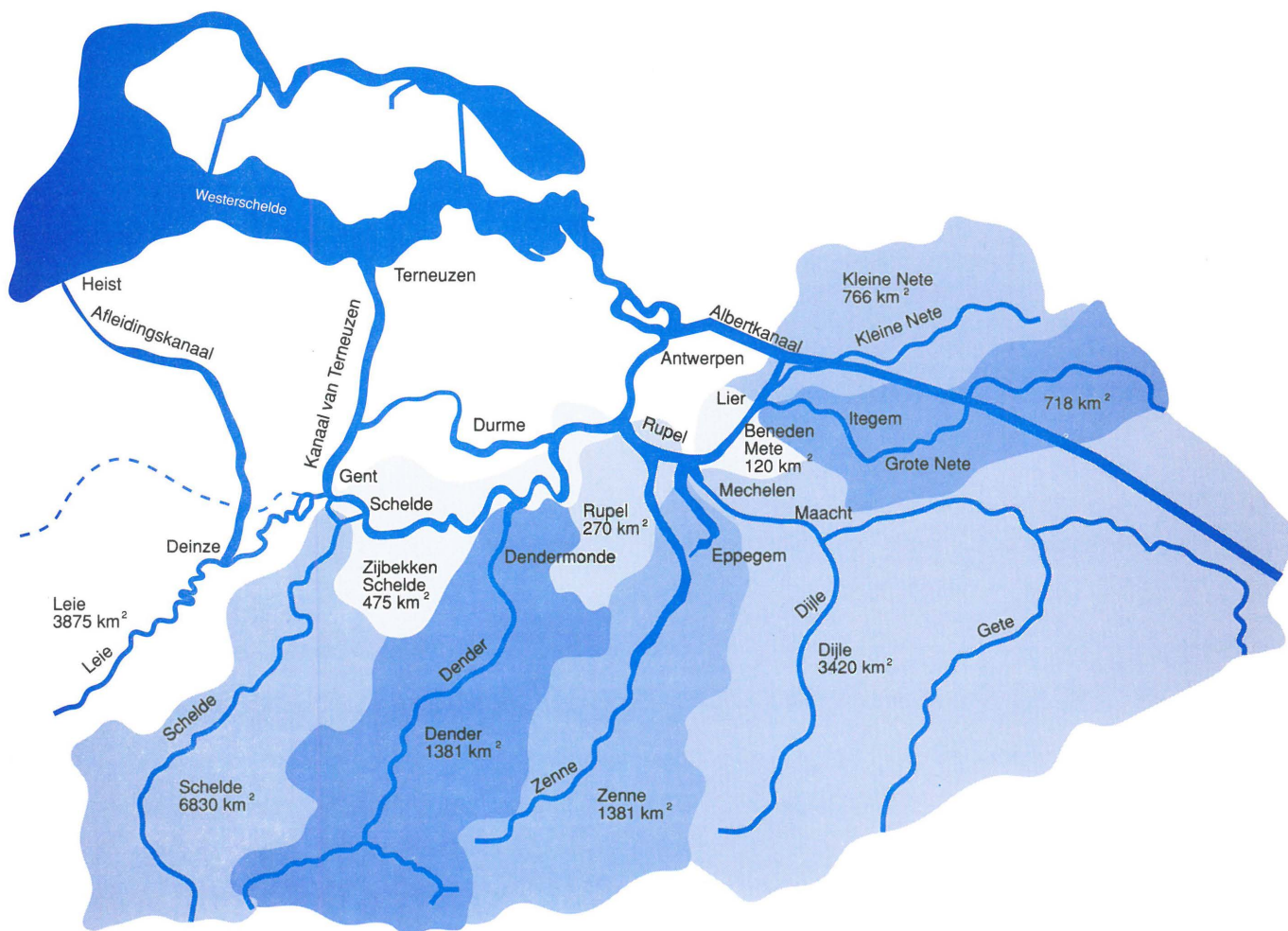
BIJLAGE 3 Verloop van de samenstelling van bodemdiergemeenschappen langs de zout-zoetgradiënt in het Eems-Dollard estuarium.

	Section I Lower reaches	II Lower part of middle reaches	III Upper part of middle reaches	IV Lower part of upper reaches	V Upper part of upper reaches	VI Limnic tidal area
	Intertidal variety of <i>Macoma-baltica</i> community with various sub-communities	Impoverished <i>Macoma-baltica</i> community	Mixed community of marine and brackish-water species	Community dominated by brackish-water species	Mixed community of fresh water and brackish-water species	Impoverished limnic community
Total species number	c.80 species recorded (insufficiently investigated)	30 species	39 species	9 species	12 species	6 species
Mean species number per station	insufficient data	4,6 species	4,8 without <i>Oligochaeta</i> 6,2 incl. <i>Oligochaeta</i> (only few stations examined)	3,6 species	2,7 species	2,5 species
Mean biomass (g/m ³) ashfree dry weight	insufficiently investigated. Special sandy flats 2,7 g Leybucht c.22g (recalculated)	13,6 g	5,2 g without <i>Oligochaeta</i> 8,8 g incl. <i>Oligochaeta</i> (only few stations examined)	2,5 g	1,3 g	1,0 g

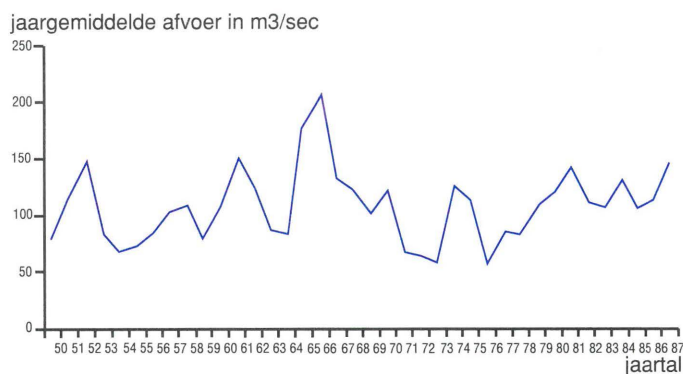


20 DANKERS N, KUHLE H en WOLFF WJ (red) (1981) Invertebrates of the Wadden Sea. Report 4 of the Wadden Sea Working Group. AA Balkema, Rotterdam.

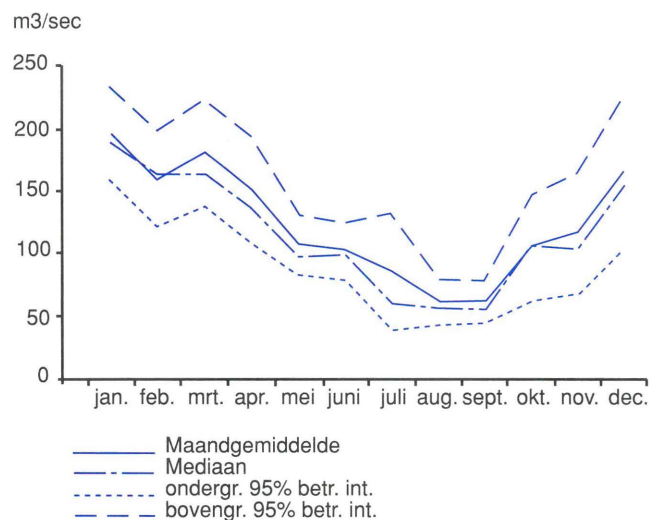
figuur 1 :
Afwateringsgebied van de Schelde



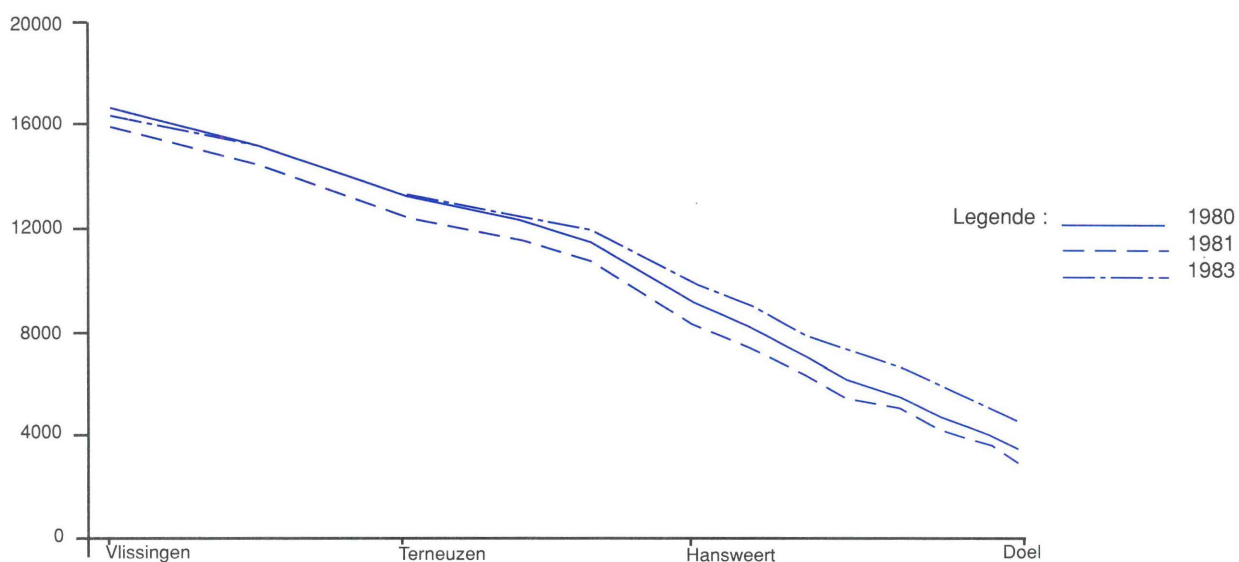
figuur 2 :
Jaargemiddelde debiet van de Schelde ter hoogte van Schelle, in de periode 1950-1987



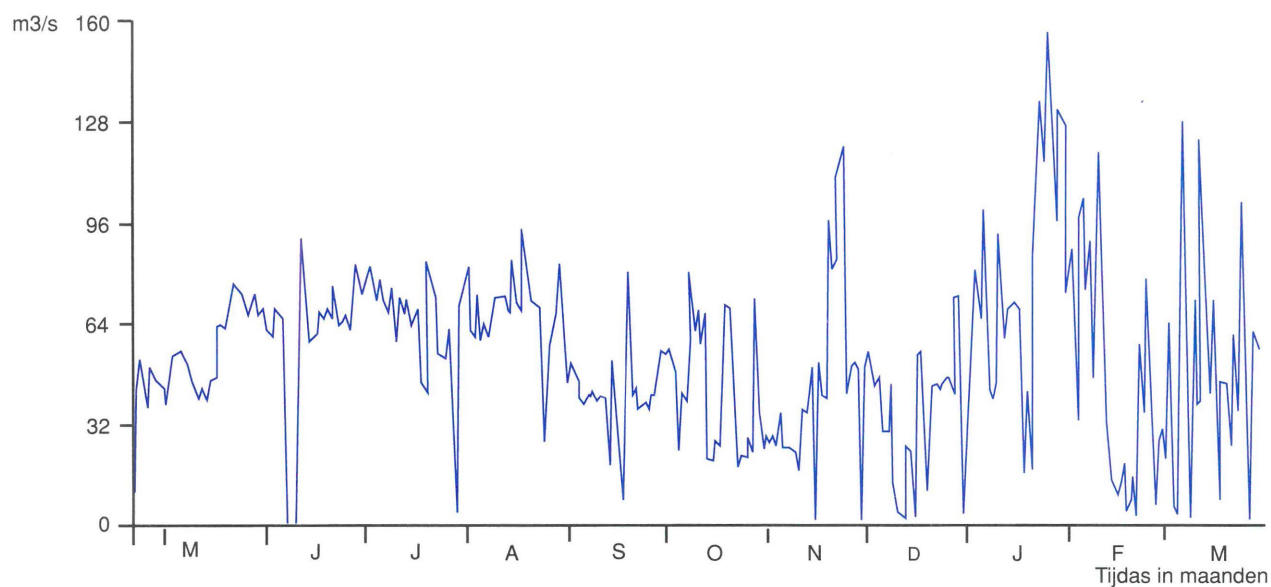
figuur 3 :
Seizoenverloop in de Schelde-afvoer te Schelle, gemiddeld over de periode 1980-1987.



figuur 4 :
Lengteprofielen van het chloridegehalte in de Westerschelde

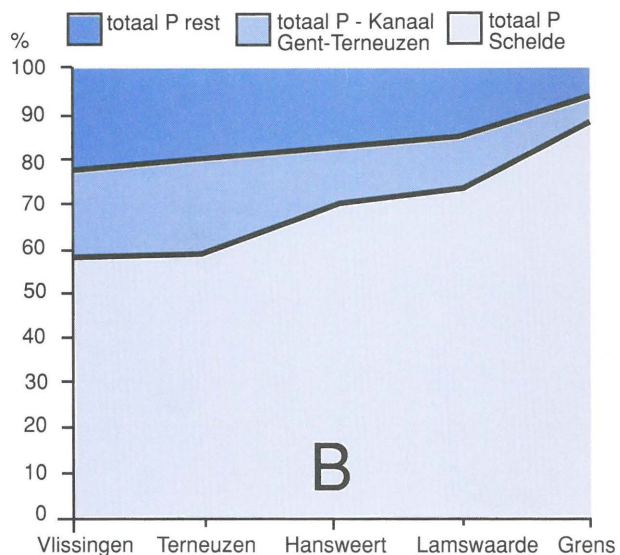
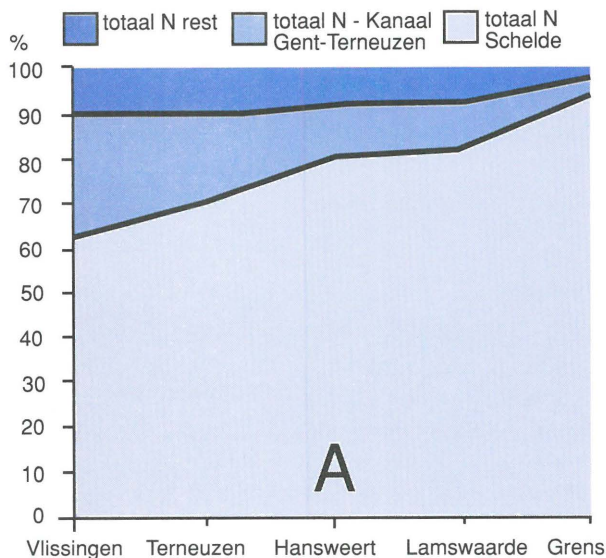


figuur 5 :
Het debiet door de Bathse Spuissluis



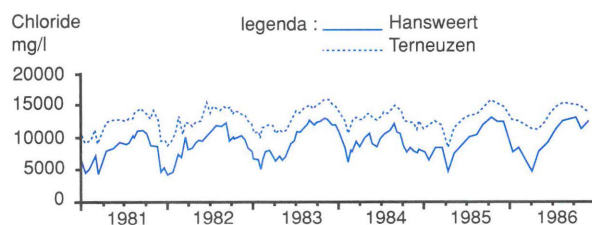
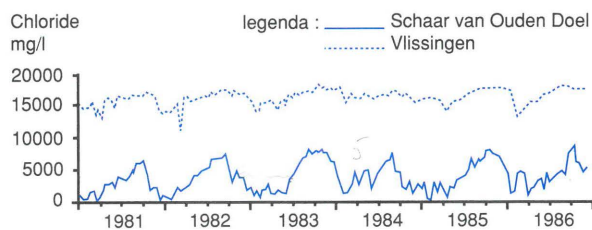
figuur 6 :

Procentuele bijdragen van de diverse belastingbronnen aan de antropogene fracties van de stikstofbelasting (A) en de fosforbelasting (B)



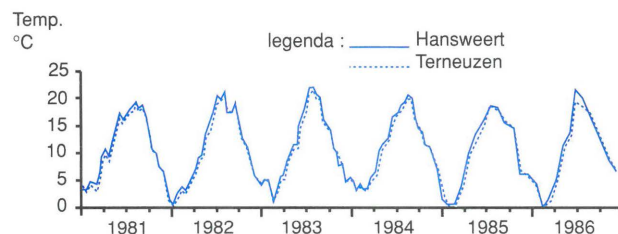
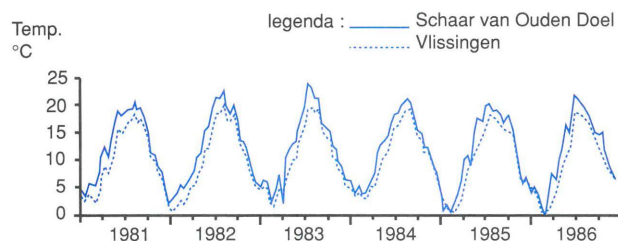
figuur 7 :

Tijdsverloop van het chloridegehalte, 1981 - 1986



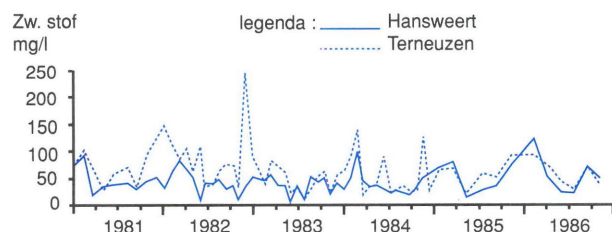
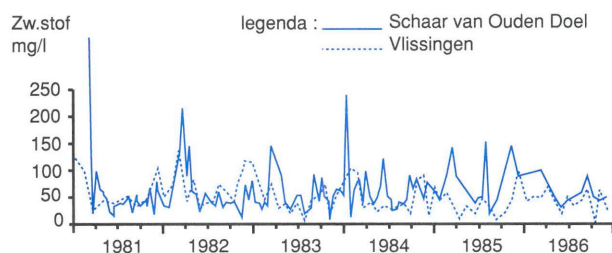
figuur 8 :

Tijdsverloop van de watertemperatuur, 1981 - 1986



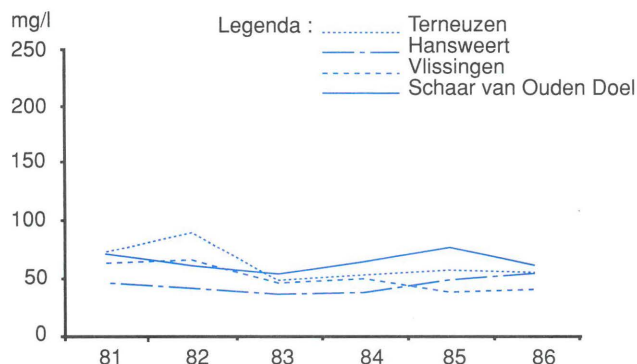
figuur 9 :

Tijdsverloop van het zwevend-stofgehalte ($0,45 \mu\text{m}$), 1981 - 1986



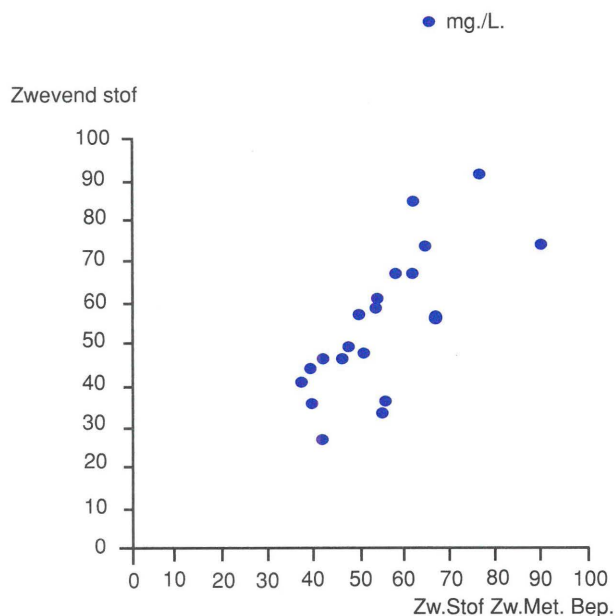
figuur 10 :

Jaargemiddelden van het zwevend-stofgehalte ($0,45 \mu\text{m}$), 1981 - 1986



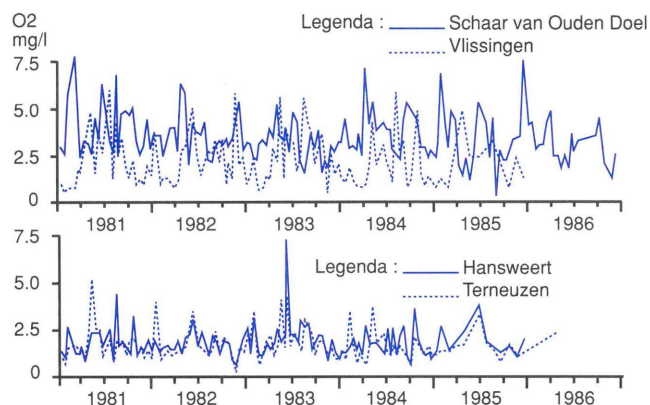
figuur 11 :

Vergelijking van zwevend-stofgehalte bepaald via twee filtratiemethoden : over 0,45 μm (z/s zw. met.) en over 1,0 μm .



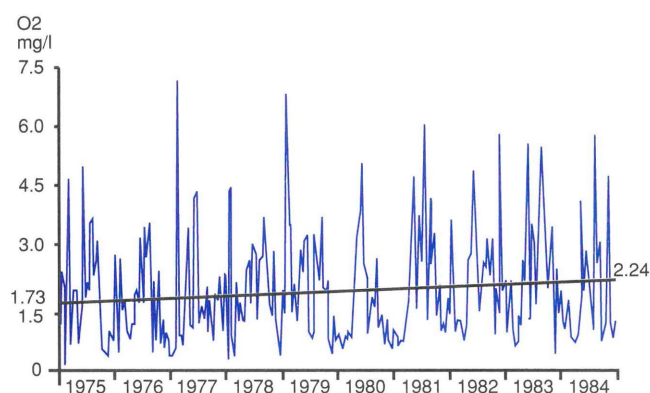
figuur 12 :

Tijdsverloop van het biochemisch zuurstofverbruik (BZV5), 1981 - 1986



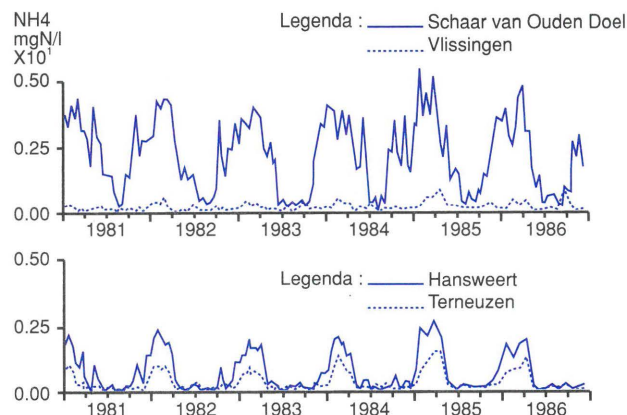
figuur 13 :

Trend van het biochemisch zuurstofverbruik te Vlissingen, 1975 - 1985



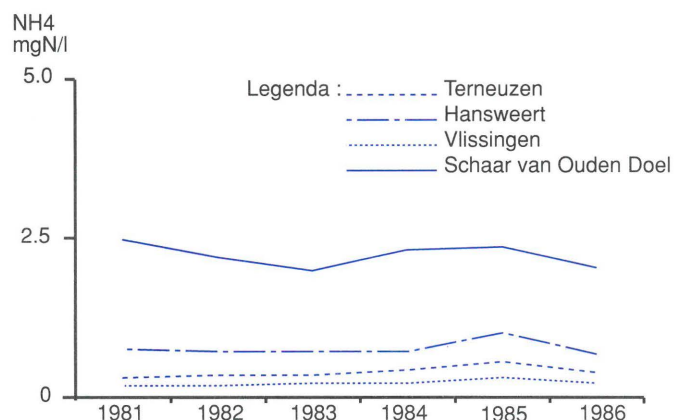
figuur 14 :

Tijdsverloop van het ammoniumgehalte, 1981 - 1986



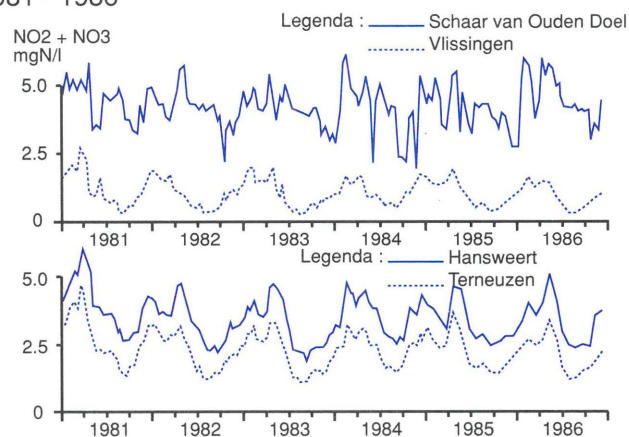
figuur 15 :

Jaargemiddelden van het ammoniumgehalte, 1981 - 1986



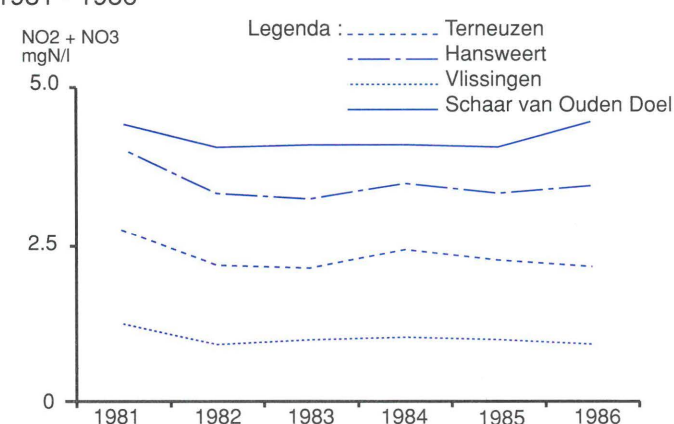
figuur 16 :

Tijdsverloop van het nitriet+nitraatgehalte, 1981 - 1986



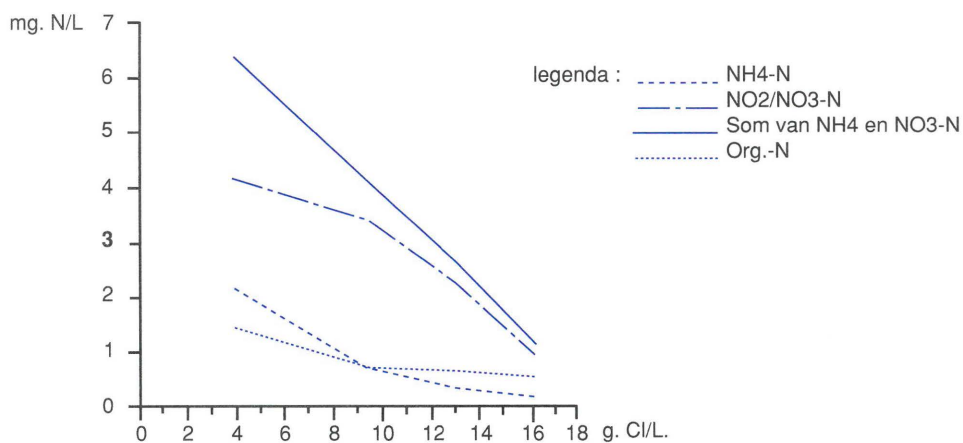
figuur 17 :

Jaargemiddelden van het nitriet+nitraatgehalte, 1981 - 1986



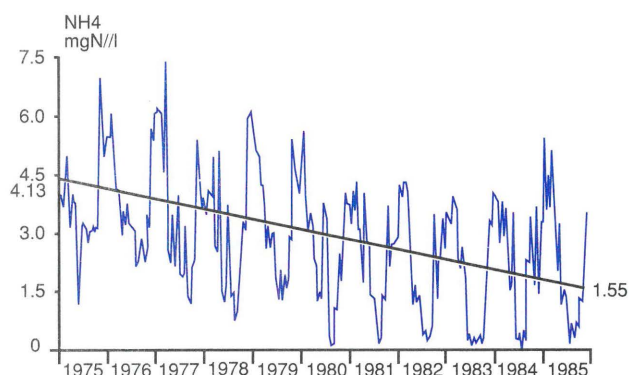
figuur 18 :

Relaties tussen chloridegehalte en de concentratie van stikstofverbindingen, Westerschelde 1981 - 1986



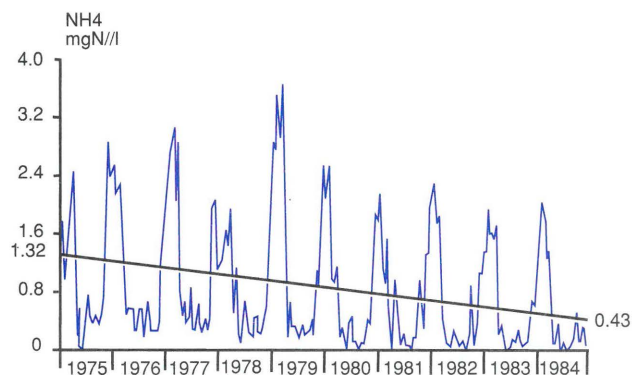
figuur 19 :

Trend van ammonium te Schaar van Ouden Doel, 1975 - 1985



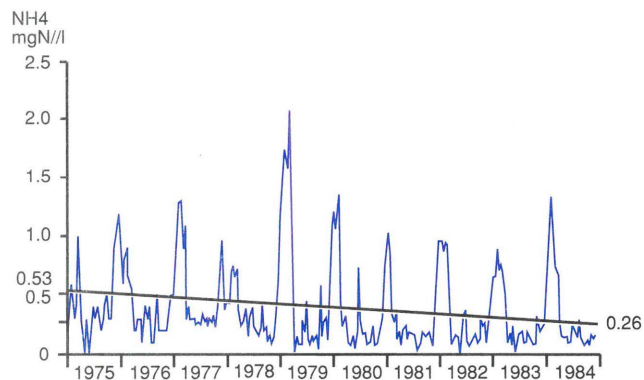
figuur 20 :

Trend van ammonium te Hansweert, 1975 - 1984



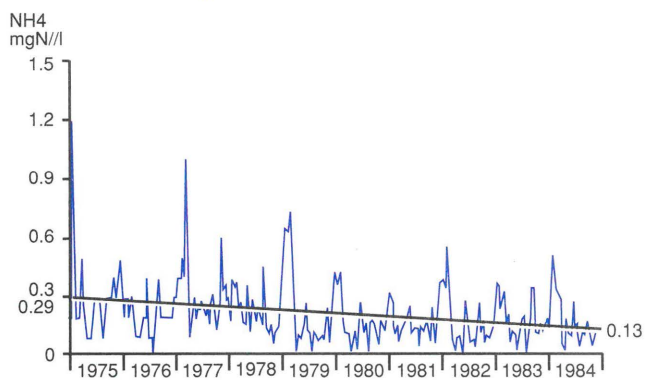
figuur 21 :

Trend van ammonium te Terneuzen, 1975 - 1984



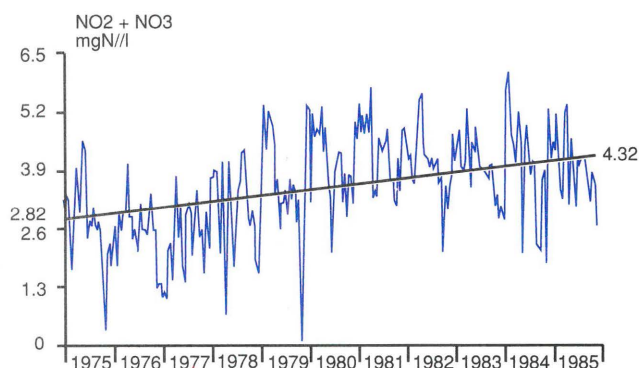
figuur 22 :

Trend van ammonium te Vlissingen, 1975 - 1984



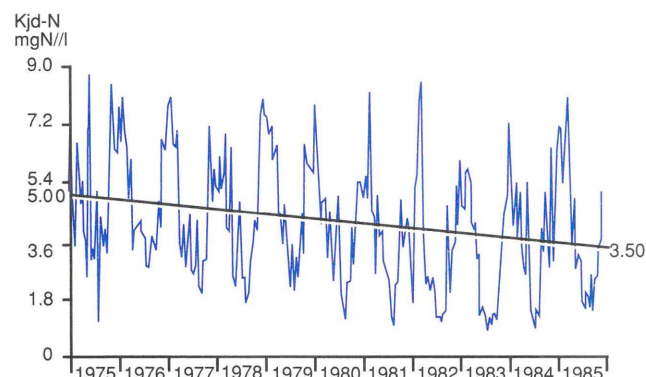
figuur 23 :

Trend van nitriet/nitraat te Schaar van Ouden Doel, 1975 - 1985



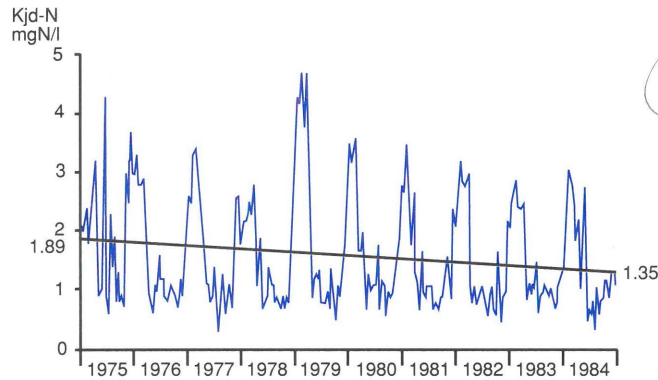
figuur 24 :

Trend van Kjeldahl te Schaar van Ouden Doel, 1975 - 1985



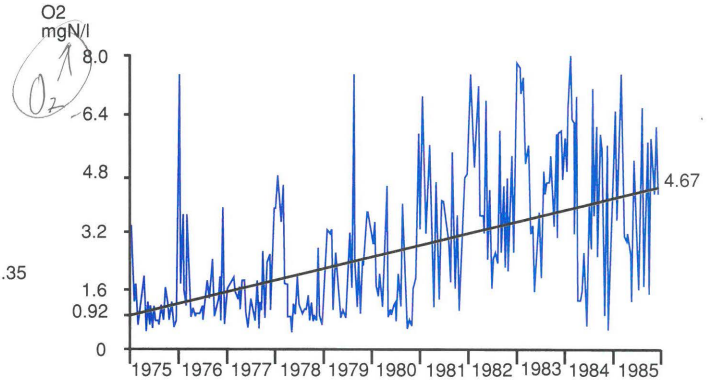
figuur 25 :

Trend van Kjeldahl-stikstof te Hansweert, 1975 - 1984



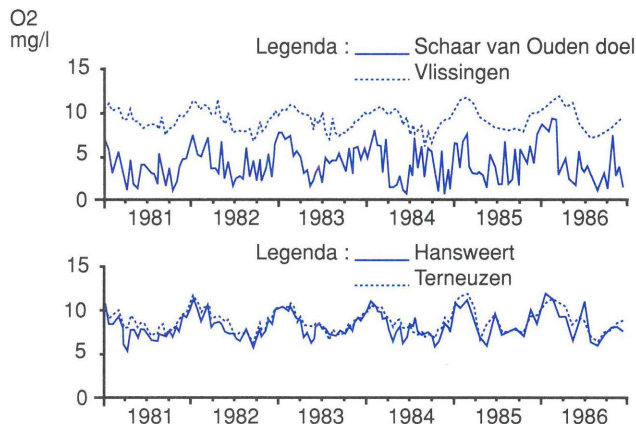
figuur 26 :

Trend van zuurstof te Schaar van Ouden Doel, 1975 - 1985



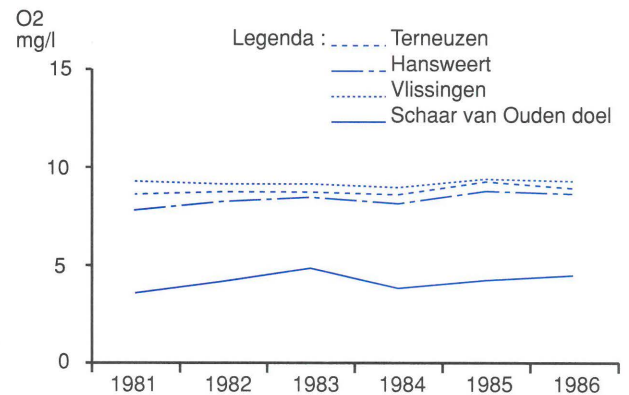
figuur 27 :

Tijdsverloop van het zuurstofgehalte, 1981 - 1986



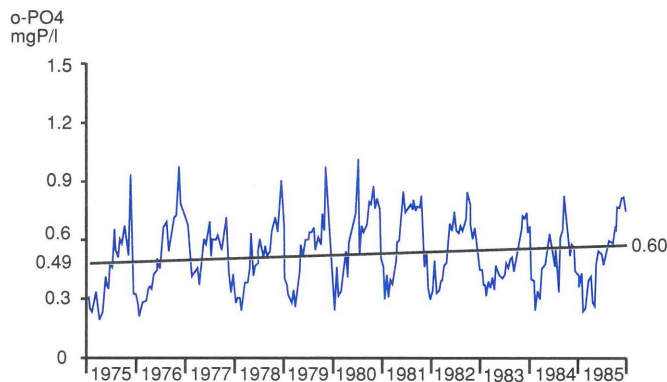
figuur 28 :

Jaargemiddelden van het zuurstofgehalte, 1981 - 1986



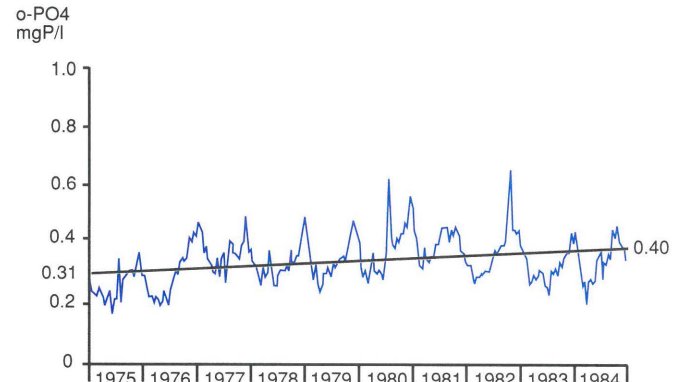
figuur 29 :

Trend van orthofosfaat te Schaar van Ouden Doel, 1975 - 1985



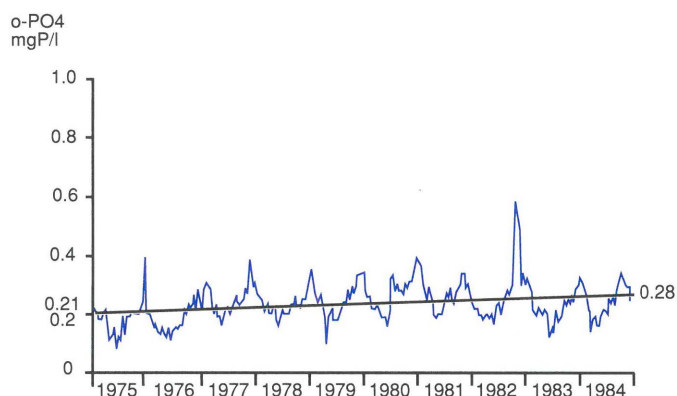
figuur 30 :

Trend van orthofosfaat te Hansweert, 1975 - 1984



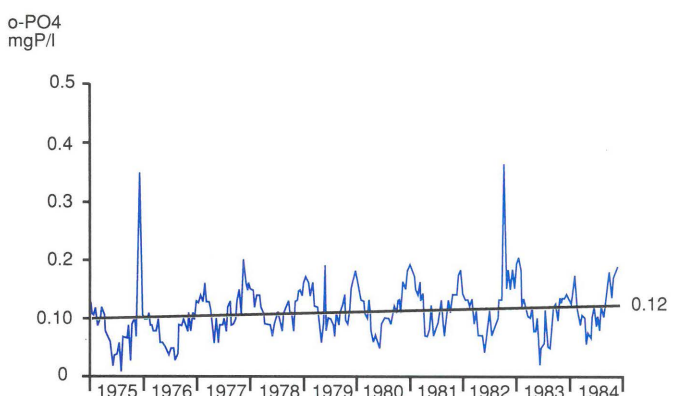
figuur 31 :

Trend van orthofosfaat te Terneuzen, 1975 - 1984

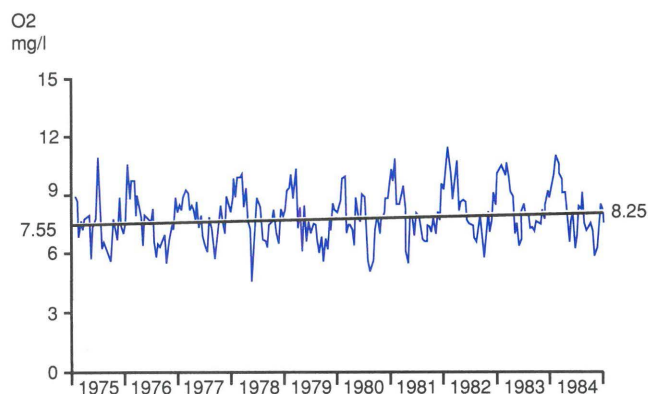


figuur 32 :

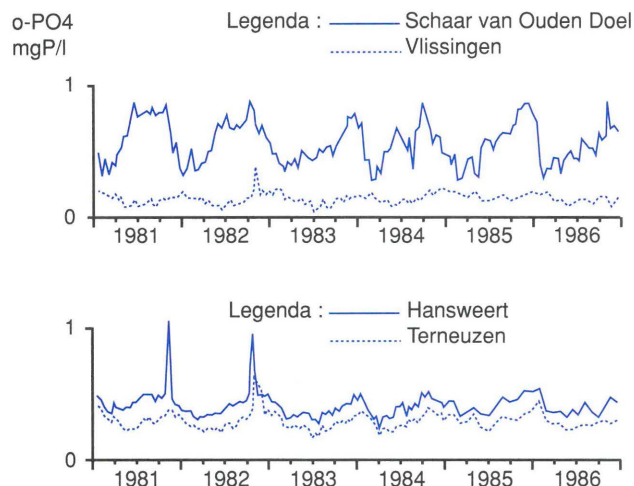
Trend van orthofosfaat te Vlissingen, 1975 - 1984



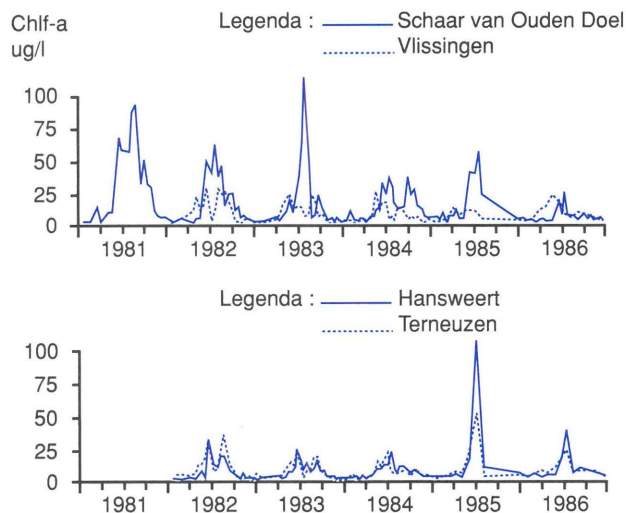
figuur 33 :
Trend van zuurstof te Hansweert, 1975 - 1984



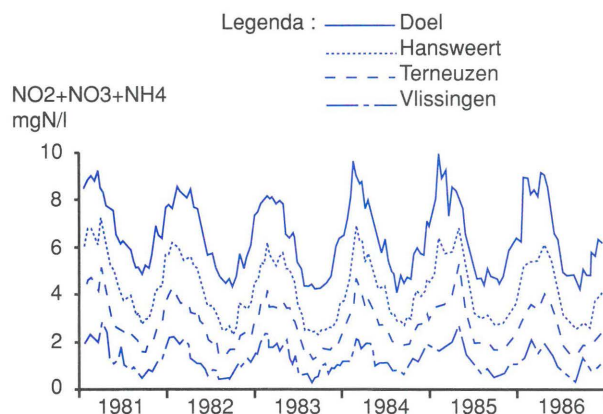
figuur 34 :
Tijdsverloop van het orthofosfaatgehalte, 1981 - 1986



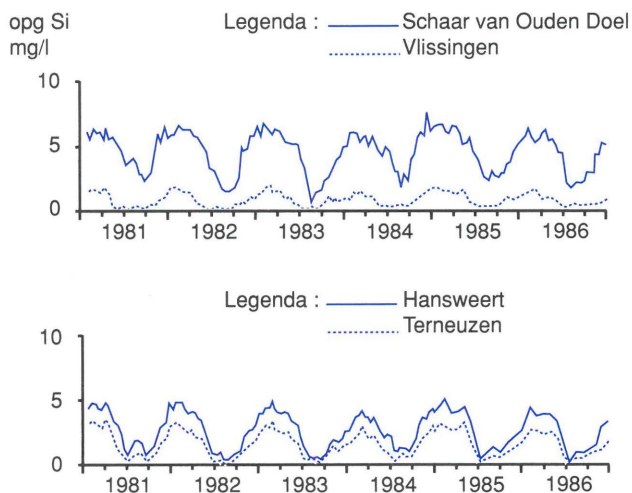
figuur 35 :
Tijdsverloop van het chlorofyl-a-gehalte, 1981 - 1986



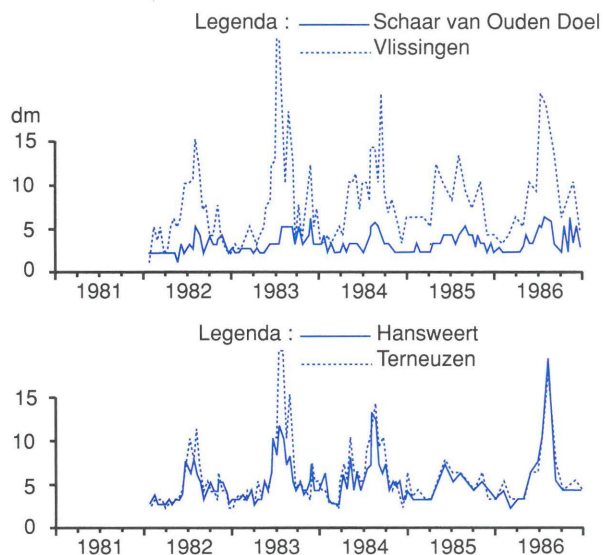
figuur 36 :
Concentratie anorganische stikstofverbindingen, 1981 - 1986



figuur 37 :
Tijdsverloop van de concentratie opgelost silicium, 1981 - 1986

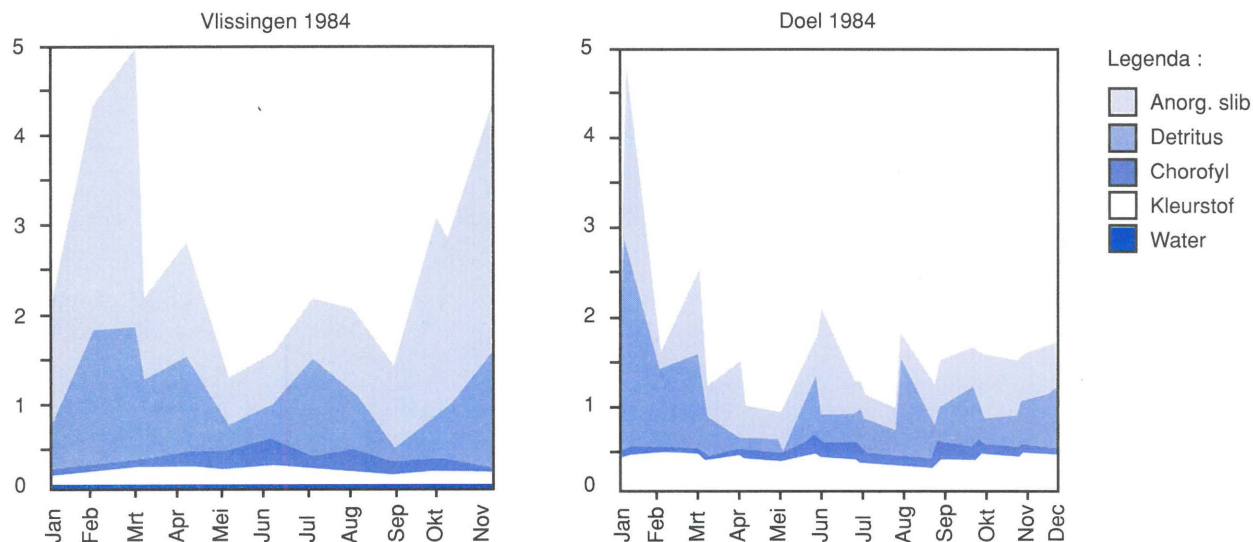


figuur 38 :
Tijdsverloop van het doorzicht, 1982 - 1986



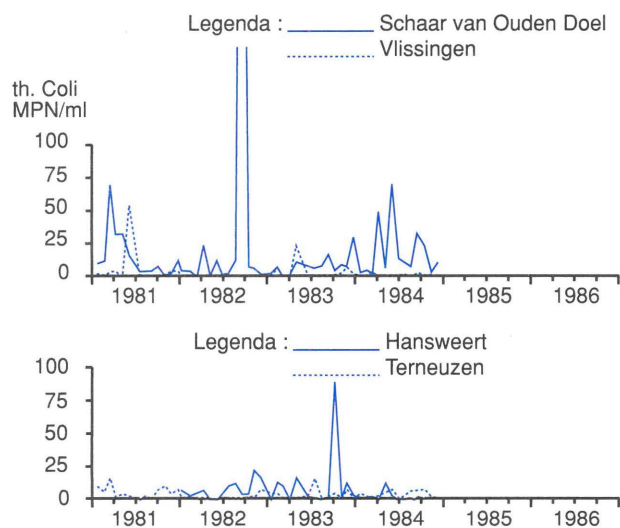
figuur 39 :

Opbouw van de extinctie-coëfficiënt te Vlissingen en Schaar van Ouden Doel



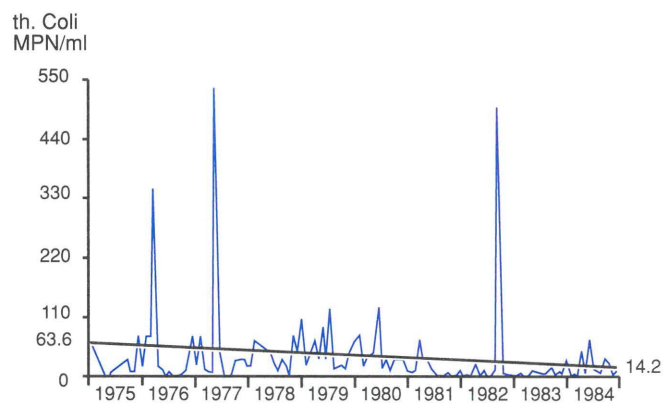
figuur 40 :

Tijdsverloop van het gehalte thermotolerante colibacteriën, 1981 - 1984



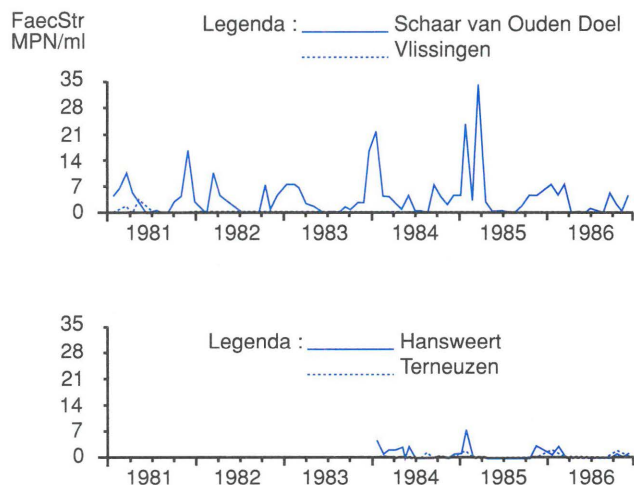
figuur 41 :

Trend van thermotolerante bacteriën uit de coligroep te Schaar van Ouden Doel, 1975 - 1984



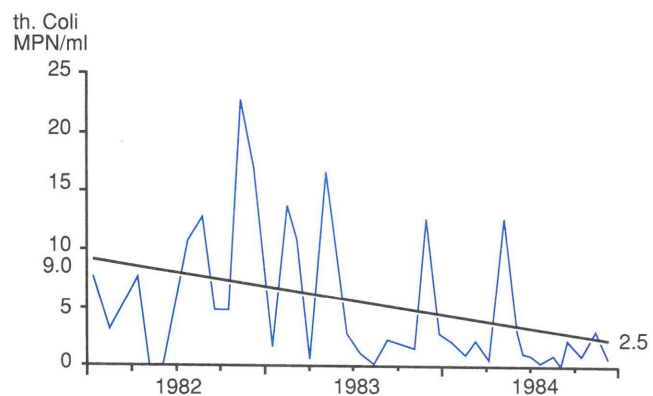
figuur 42 :

Tijdsverloop van het gehalte, faecale streptococci, 1981/1984 - 1986



figuur 43 :

Trend van thermotolerante bacteriën uit de coligroep te Hansweert, 1982 - 1984

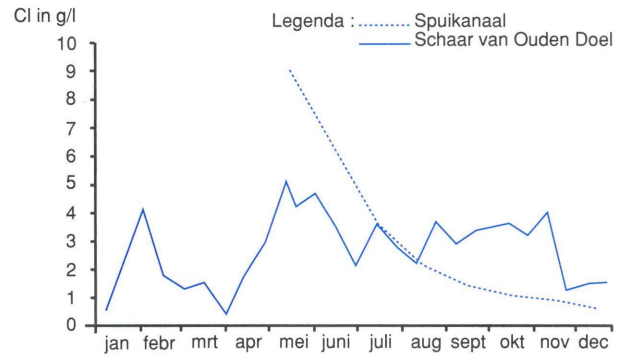
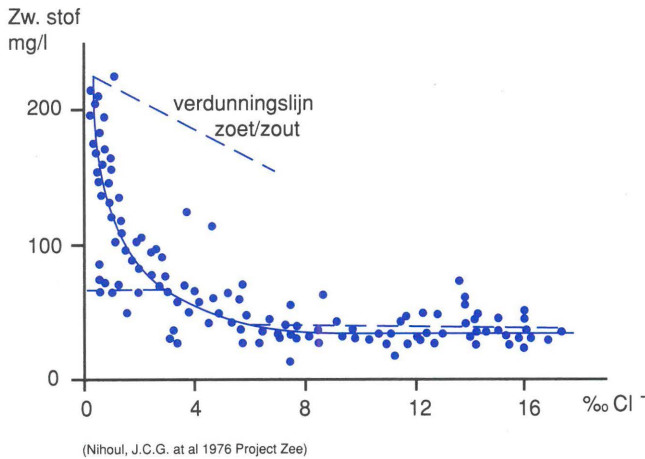


figuur 45 :

Tijdsverloop van het chloridegehalte in het Bathse Spuikanaal en te Schaar van Ouden Doel, tijdens de ontzilting van het Zoommeer in 1987

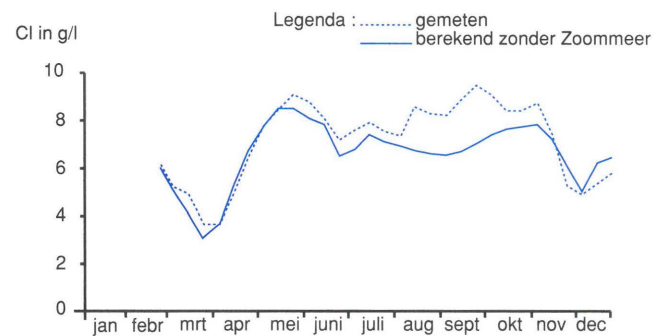
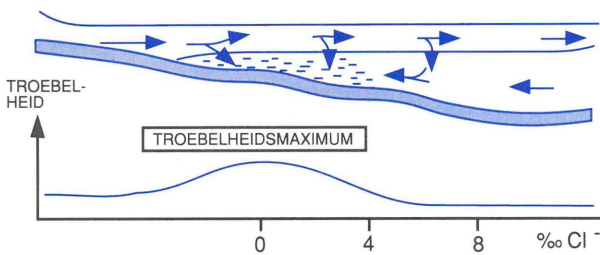
figuur 44 :

Relatie tussen chloridegehalte en concentratie zwevend stof ; de ligging van het troebelheidsmaximum



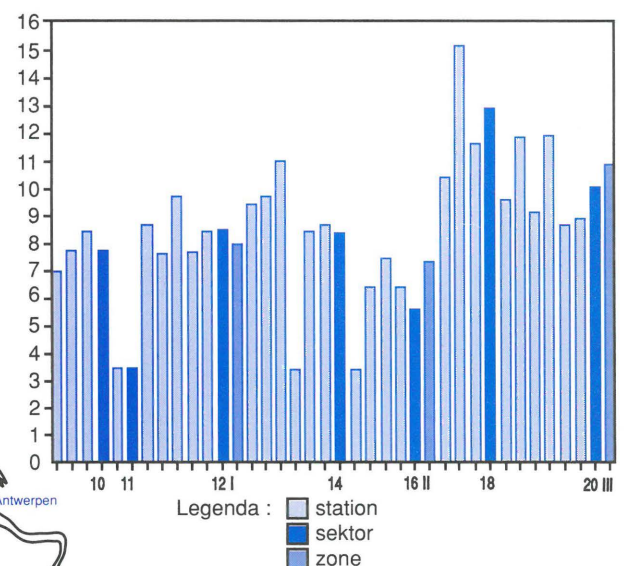
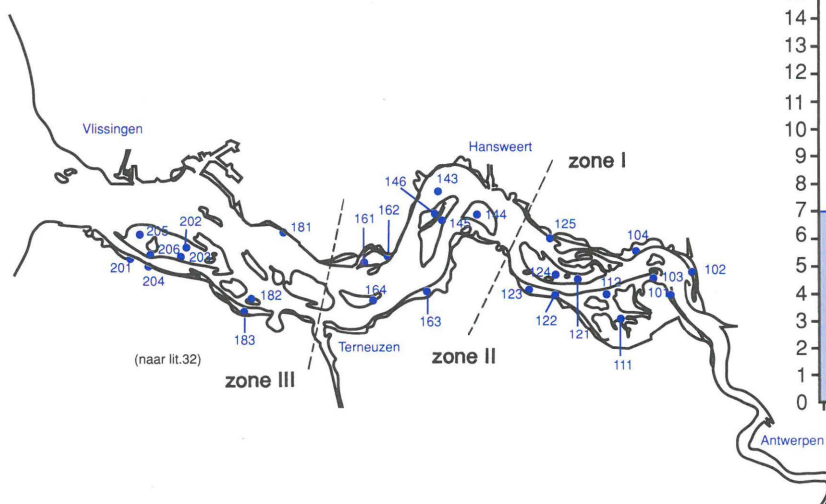
figuur 46 :

Chloridegehalte te Lamswaarde ; vergelijking van gemeten en berekende waarden, voor een situatie zonder ontzilting van het Zoommeer

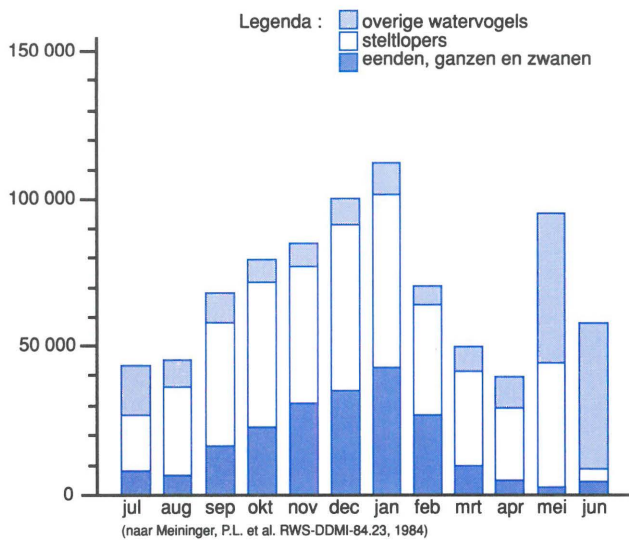


figuur 47 :

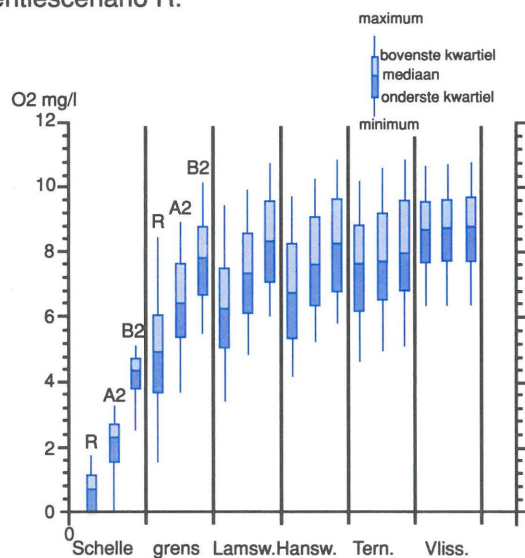
Dichtheden van bodemdieren op een aantal locaties in het intergetijdegebied van de Westerschelde, september 1987



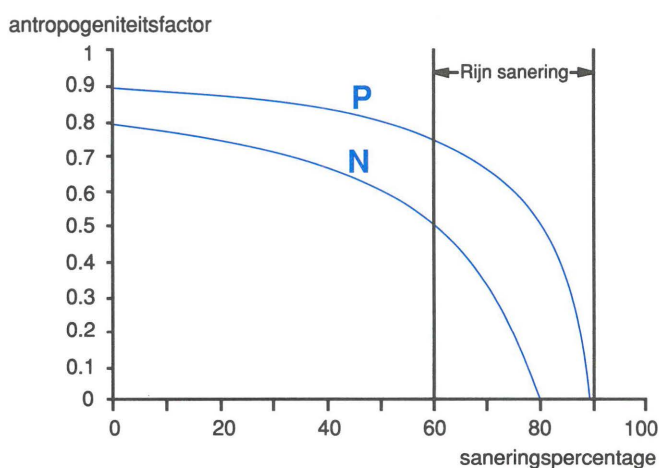
figuur 48 :
Gemiddeld aantal watervogels per maand in de Westerschelde, 1975 - 1980



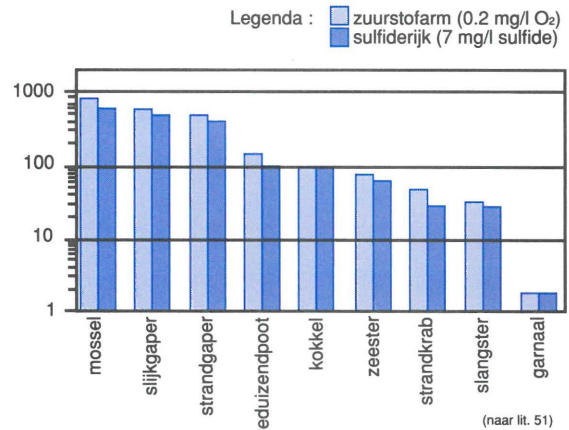
figuur 50 :
Verdeling van de zuurstofgehalten over de Westerschelde, berekend voor de scenario's A2, B2 en het referentiescenario R.



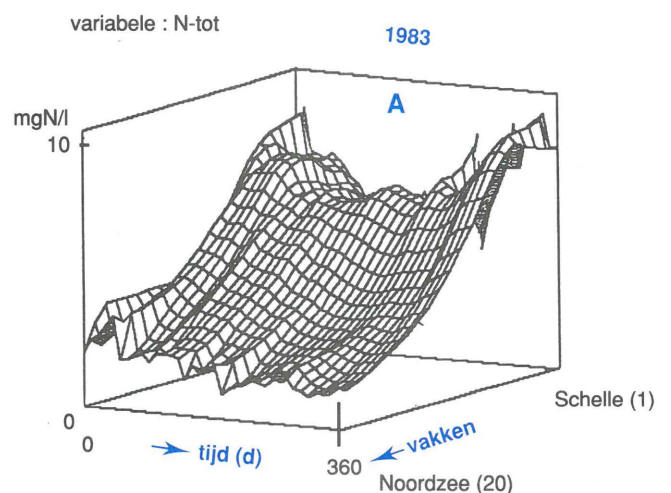
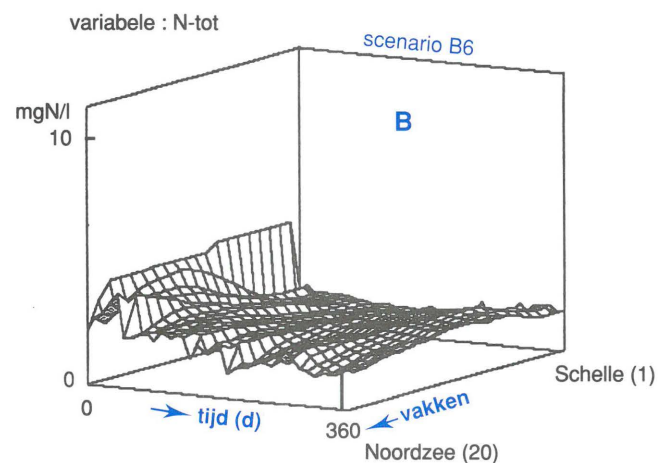
figuur 51 :
Het effect van sanering op de antropogene fracties van de stikstof- en fosforbelasting



figuur 49 :
Tolerantie van enkele bodemdiersoorten voor verlaagde zuurstof- en verhoogde sulfidegehalten (tolerantie uitgedrukt als de blootstellingstijd die leidde tot sterfte van 50% van het aantal proefdiersoorten).

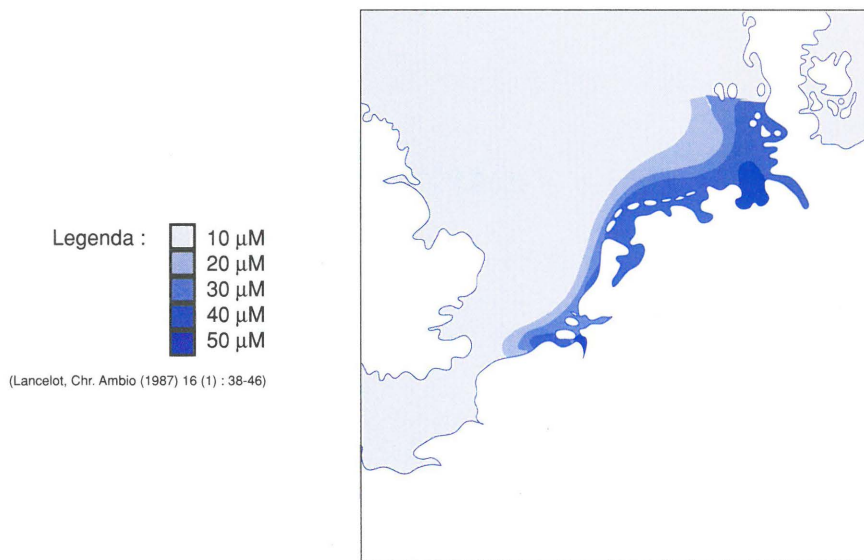


figuur 52 :
Verdeling van de totaal-stikstofconcentratie over de Westerschelde, berekend voor de referentiesituatie anno 1983 (A) en het scenario B6 (B)



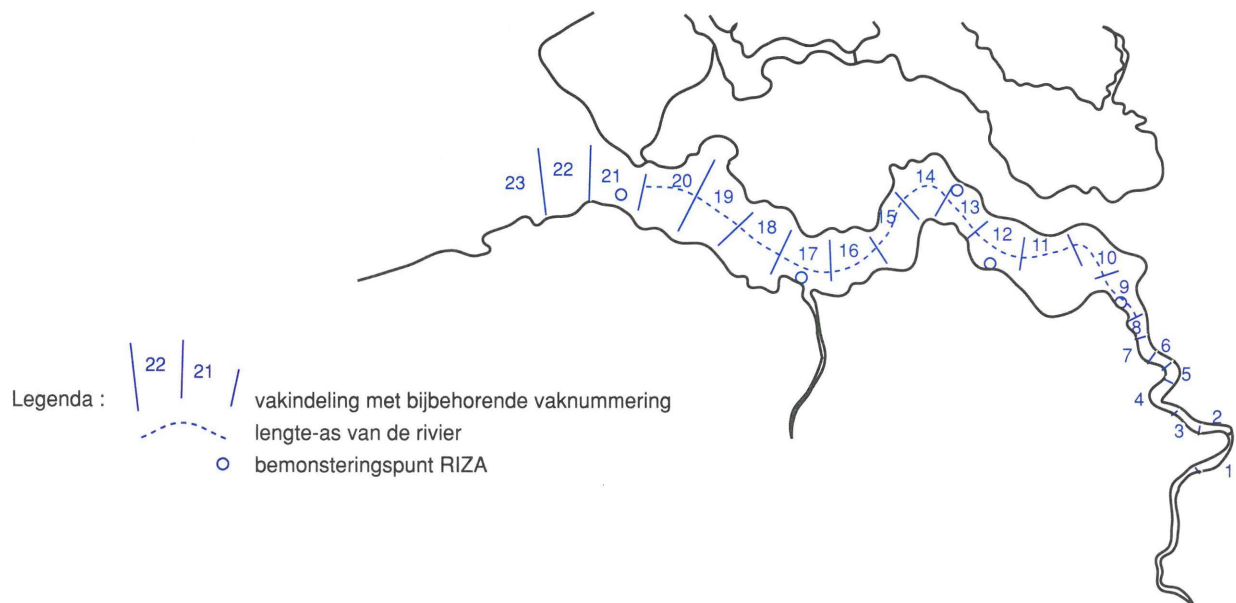
figuur 53 :

De gemiddelde winterconcentraties van Nitraat in het kanaal en de Noordzee in $\mu\text{Mol/l}$



figuur 54 :

Segmentering van het Westerschelde-estuarium in het SAWES-zuurstofmodel.



figuur 55 :

Verloop van het jaargemiddelde zuurstofgehalte in de Nederlandse Rijntakken, over de periode 1970 - 1986

