

2^e CONCEPT

notitie

GWWS- 88.536

aan : CWOB
van : A.M.B. Holland
datum : 4 mei 1988
onderwerp : Processen en effecten in het Westerschelde-estuarium
II-2. De zuurstofhuishouding

1. INLEIDING

2. SAMENVATTING

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 2

3. ZUURSTOFHUISHOUDING

Dierlijke organismen hebben voor hun ademhaling zuurstof nodig. Slechts een klein aantal soorten komt voor in water met een laag zuurstofgehalte. Veel meer soorten zijn te vinden in water met een hoog zuurstofgehalte.

Het zuurstofgehalte in oppervlaktewater wordt bepaald door de oplosbaarheid van zuurstof, door de snelheid waarmee processen de zuurstof onttrekken aan het water en de snelheid waarmee door andere processen zuurstof wordt toegevoerd.

In het water en de bodem wordt zuurstof verbruikt door mineralisatie, oxidatie en ademhaling. Aan het wateroppervlak wordt zuurstof aan het systeem toegevoerd door reëratie en in de waterkolom door primaire produktie. Door menging en diffusie vindt transport van zuurstof uit het water naar de bodem plaats.

De onderliggende processen zijn afhankelijk van de concentraties van de procesvariabelen en van de procesomstandigheden die vrijwel altijd weer temperatuurafhankelijk zijn.

Dat komt in het kort op het volgende neer:

- Bij lage watertemperatuur lost bij verzadiging meer zuurstof in het water op dan bij hogere temperatuur.
- Bij hogere temperatuur is de zuurstofverbruikssnelheid groter.
- Dichtheidsverschillen t.g.v. zoutgradiënten veroorzaken een vertraging in de uitwisseling tussen zuurstofrijkere (boven)laag en zuurstofarmere laag.
- Een hogere concentratie aan zuurstofbindende stoffen geeft een hoger zuurstofverbruik.
- Een hogere concentratie zuurstofleverende stoffen (algen) of helderder water (meer lichtdoordringing) geeft een grotere zuurstoftoevoer.
- De reëratie aan het wateroppervlak is afhankelijk van de temperatuur (gaat beter bij lagere temp.), van de strijklengte van de wind over het wateroppervlak en van de windkracht.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 3

Door hun wisselwerking veroorzaken deze processen plaatselijk een verlaging van het zuurstofgehalte in een estuarium. In estuaria met een hoge antropogene belasting (BOD) komt dat altijd voor. In onbelaste estuaria soms, en dan alleen in de zomer. Op de overgang van zoet naar zout, bij een saliniteit van 10‰ (500 mg Cl⁻/l), sterven dan zowel zoet- als zoutgebonden planktonorganismen af. De aanvoer van biologisch afbreekbaar materiaal is daardoor zo groot, dat het zuurstofgehalte ter plaatse sterk daalt. Deze verlaging kan tot hogere saliniteiten nog merkbaar zijn. Het Tamar-estuarium (GB) is daar een voorbeeld van. Het is voorgekomen dat in de zomer het zuurstofgehalte tot 6 ppm daalde bij een saliniteit van 10‰. Tot een saliniteit van 10‰ (5500 mg Cl⁻/l) bleef het zuurstofgehalte laag, om daarna pas te stijgen, lit. 1.

De procesvariabelen die direct verband houden met de zuurstofhuishouding van de Westerschelde worden in deze notitie besproken, waarbij ook per variabele wordt ingegaan op effecten die optreden als de variabele wordt beïnvloed.

In bijlage 1 zijn de jaarvrachten van onder andere deze variabelen gegeven. Deze vrachten zijn berekend voor het grenspunt Schaar van Ouden Doel en worden uitgedrukt in Kg per jaar.

Met het rekenmodel TREND zijn trendanalyses uitgevoerd voor de jaren 1975 t/m 1985. Trends die significant bleken te zijn zullen bij de beschrijving van de variabelen in dit rapport worden aangehaald. Lit. 2 bevat de volledige rapportage van het trendonderzoek en in hoofdstuk II-3 "Toxische Stoffen" wordt uitgelegd hoe de resultaten van het trendonderzoek in deze rapportage zijn toegepast.

3.1. Zuurstof

3.1.1. Gedrag en concentratie zuurstof

Het water dat het Westerschelde-estuarium binnenstroomt heeft een laag zuurstofgehalte. Dat is een gevolg van de grote belasting op de Schel-

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 4

de met stoffen die zuurstof verbruiken, zowel chemisch als biologisch.
 . Het jaargemiddelde gehalte te Schaar van Ouden Doel is minder dan 5 mg/l (5 mg zuurstof per liter is de absolute norm voor de basiskwaliteit van zoet water).

Uit het overzicht van de jaargemiddelde zuurstofgehalten in mg/l en de Schelde afvoeren (m³/s) bij Schaar van Ouden Doel in tabel 1 blijkt in de jaren 1981 t/m '86 een verbetering ten opzichte van de daarvoorliggende periode te zijn opgetreden.

Tabel 1. Jaargemiddelde zuurstofgehalten en Schelde-afvoeren bij Schaar van Ouden Doel (gegevens 73 t/m 80 naar lit. 2).

	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
gehalte 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
afvoer m ³ /s	68	139	100	60	98	87	104	129	141	111	107	131	107	113

In het Westerschelde-estuarium treedt, gaande van oost naar west, een verhoging van het zuurstofgehalte op als gevolg van menging met zuurstofrijk zeewater, maar vooral door het aflopen van zuurstofverbruikende processen door verdunning en door afname van substraat.

In bijlage 2 is het verloop van het zuurstofgehalte in de periode 1981 t/m 1986 gegeven voor de locaties Schaar van Ouden Doel, Vlissingen, Hansweert en Terneuzen.

De seizoensvariaties die optreden worden veroorzaakt door hogere temperaturen in de zomer. Zo is 's zomers het zuurstofverzadigingsgehalte lager en zijn de verbruikssnelheden van zuurstof hoger. Ook is de afvoer van de Schelde lager in de zomer.

• Een verband tussen afvoer en zuurstofgehalte werd in lit. 3 aangegeven,

uitgaande van jaargemiddelde concentraties en belastingscijfers voor de periode 1964 t/m 1980. De verhoging van het zuurstofgehalte in die periode wordt deels toegeschreven aan de verhoging van de afvoer. In de periode 1981 t/m 1986 treedt te Schaar van Ouden Doel een nog verdere verhoging van het zuurstofgehalte op en gelet op de afvoer in

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 5

die periode moet geconcludeerd worden dat alleen de verlaging in . belasting daarvoor heeft gezorgd. Het biochemisch zuurstofverbruik blijkt op jaargemiddelde basis te zijn afgenomen in twee perioden: '81 t/m '83 en '84 t/m '86 (zie het betreffende hoofdstuk). Het zuurstofgehalte neemt in diezelfde perioden toe, zonder verband met de afvoer.

De grootste verbetering in de waterkwaliteit door verhoging van het zuurstofgehalte treedt op over het eerste traject: Schaar van Ouden Doel/Hansweert.

Bijlage 2 geeft dat al aan en in bijlage 3, waarin de jaargemiddelde gehalten staan uitgezet voor vier locaties, is dat nog duidelijker te zien.

Deze jaargemiddelde zuurstofgehalten zijn cijfermatig weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Zuurstof in de Westerschelde: mg/l jaargemiddelde gehalte.

Jaar	Schaar v. Ouden Doel	Hansweert	Terneuzen	Vlissingen
1981	3,64	7,86	8,66	9,30
1982	4,20	8,26	8,76	9,16
1983	4,85	8,47	8,76	9,15
1984	3,84	8,11	8,58	8,95
1985	4,25	8,73	9,23	9,36
1986	4,46	8,57	8,88	9,24

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 6

De trend van het zuurstofgehalte:

- . Schaar van O.D.; 1975 t/m '85, stijgt van 0,9 naar 4,6 mg/l, fig. 1
- Hansweert ; 1975 t/m '84, stijgt van 7,4 naar 8,3 mg/l, fig. 2

fig 1 Schaar van Ouden Doel
Periode: 1975-1985 Parameter: 02

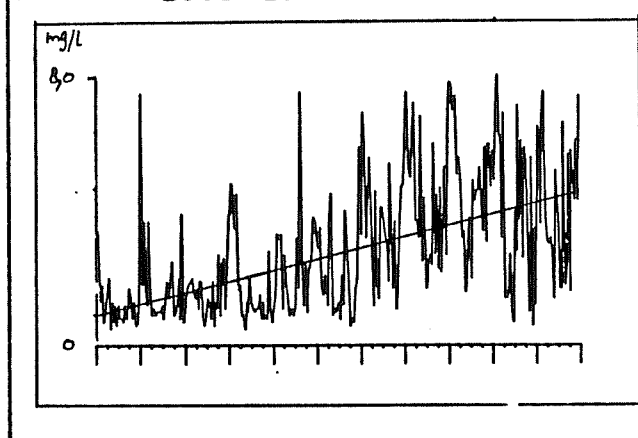
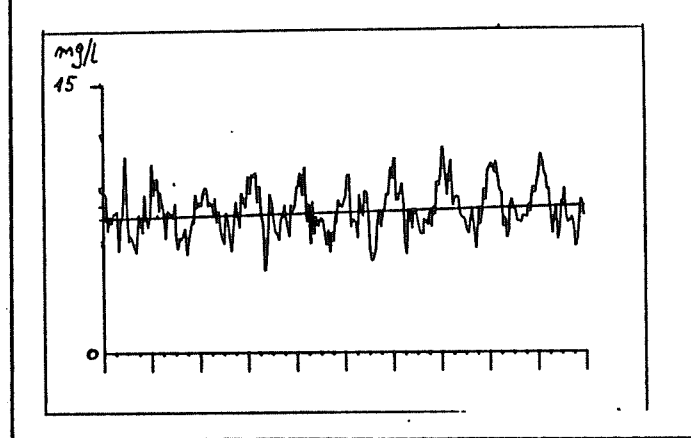


fig 2 Hansweert
Periode: 1975-1984 Parameter: 02



3.1.2. Effecten zuurstof

Als de belasting aan zuurstofverbruikende stoffen daalt, dan zal het zuurstofgehalte toenemen. Het riviergedeelte dat zuurstofloos is zal dan kleiner in oppervlak worden.

Lit. 4 geeft de modelberekende zuurstofgehalten over de Westerschelde bij verschillende scenario's in vrachtreductie aan zuurstofverbruikende stoffen. Over de daarbij gebruikte randvoorwaarden bestaat nog enige onzekerheid, omdat er te weinig onderbouwende onderzoeksresultaten beschikbaar zijn. Het project SAWES van de Dienst Getijdewateren is nu nog bezig dat onderzoek uit te voeren: het is daarom nog niet uitgesloten dat een verlaging in belasting met zuurstofverbruikende stoffen resulteert in een toename van de nitraatbelasting en daarmee kans op eutrofiëring. Zie hoofdstuk 5.

Voor twee scenario's zijn de modelbenaderingen gegeven in figuur 3, ten opzichte van de referentie: 1983, aangeduid met R.

behoort bij: notitie

GWWS-

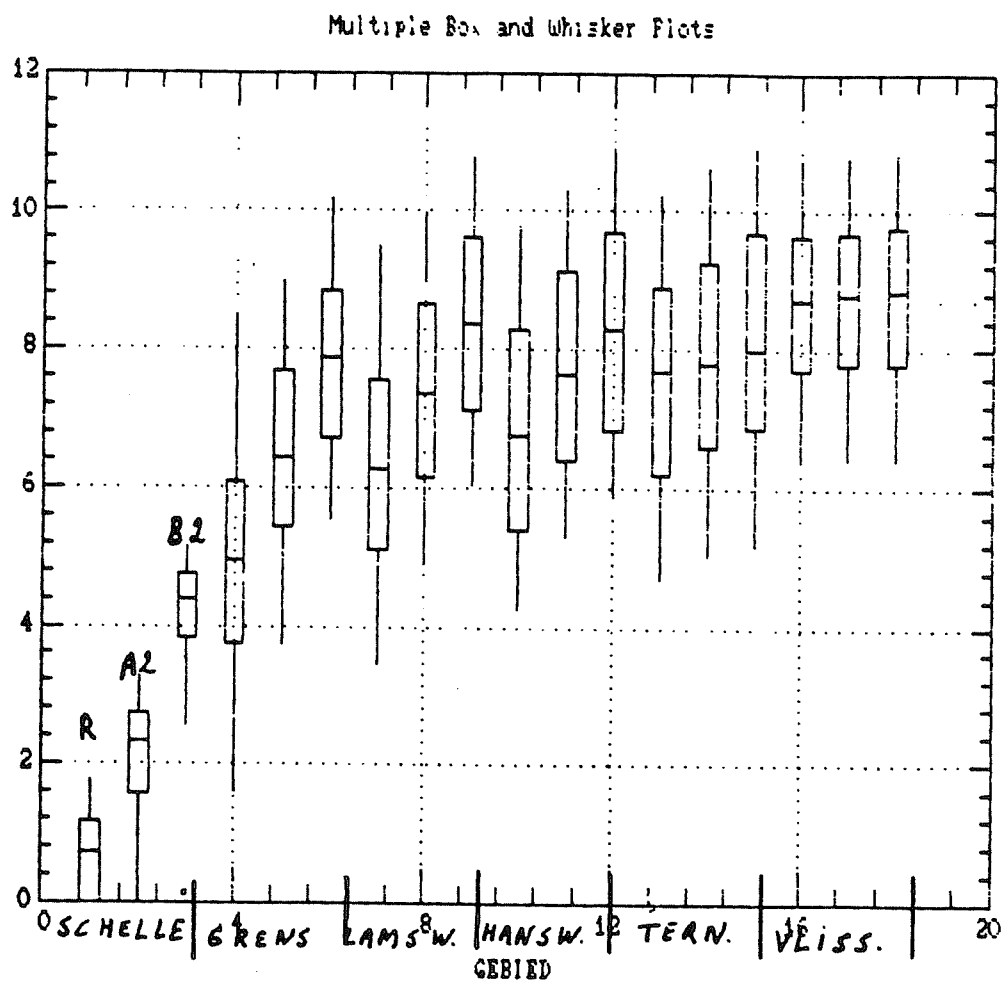
datum: 4 mei 1988

bladnr: 7

Scenario A2 betekent een vrachtreductie zuurstofbindende stoffen van 40% en een zuurstofverzadigingspercentage bij Schelle van 20%.

Scenario B2 betekent een vrachtreductie zuurstofbindende stoffen van 70% en een zuurstofverzadigingspercentage bij Schelle van 40%. Alles onder gemiddelde afvoercondities (1983 = 107 m³/s).

O₂
mg/l



Figuur 3. Box and Whisker Plots van het zuurstofgehalte op de Westerschelde in de referentiesituatie (R) en bij twee sanerings-scenario's (A2 en B2).

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 8

Bij hoger wordende zuurstofgehalten zullen bodemgebonden organismen terugkeren op die plaatsen waar ze nu verdwenen zijn door te lage zuurstofgehalten. Vooral de vakken Schelle-grens en Grens-Lamswaarde geven naar verwachting zulke grote verhogingen, in met name de minimale zuurstofgehalten, dat er belangrijke uitbreiding van aantallen soorten en individuen verwacht mag worden. Tabel 3, naar lit. 5, geeft aan hoe de soortenrijkdom is afgenomen als gevolg van de vervuiling. Het betreft bodemdieren, geteld op de Slikken van Lillo-Rilland, in het Scheldedeel aan de Belgische kant van de grensovergang.

De BOD-belasting, waarvan de lage zuurstofgehalten het gevolg zijn, is een belangrijk onderdeel van de totale vervuiling. Verhoging van het zuurstofgehalte zal het in de tabel genoemde aantal soorten in de huidige situatie zeker doen toenemen.

Tabel 3. Rijkdom van macrobenthossoorten in de Schelde te Lillo-Rilland, voor en na de vervuiling, naar lit. 4.

Taxa (soorten)	sept. 52- aug. 53	april 82- okt. 84
Polychaeta (borstelwormen)	5	1: Zeeduizendpoot
Amphipoda (vlokreeftjes)	6	1: Slijkgarnaal
Decapoda (krabben, garnalen)	4	1: Strandkrab
Mollusca (schelpdieren)	9	2: Wadslak en Nonnetje

Hoewel de brakwaterzoöplanktonsoorten bestand zijn tegen lage zuurstofgehalten en een hoge troebelheidsgraad, bestaat het sterke vermoeden dat de kleine aantallen waarin met name roeipootkreeftjes voorkomen, stroomopwaarts van Zandvliet, hun oorzaak vinden in het sterk verlaagde zuurstofgehalte (lit. 6). Toename van het zuurstofgehalte zal dan ook de aantallen van deze soort doen toenemen.

Hoewel vissen door hun mobiliteit minder last hebben van optredende minimumgehalten in zuurstof zal een verhoging van het gemiddelde zuurstofgehalte toch een positief effect hebben op de ontwikkeling en het voorkomen van vis.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 9

Juist de jonge platvis die in het brakke deel van estuaria over het algemeen massaal voorkomt, heeft baat bij een milieu dat in voldoende mate zuurstof bevat. Een gunstige ontwikkeling van de kinderkamerfunctie bij door te voeren saneringen is dan ook te verwachten.

Een ander effect van de verlaging in de belasting zuurstofbindende stoffen en de daarmee gepaard gaande verhoging van het zuurstofgehalte is waarschijnlijk de verhoging in de vracht aan opgeloste metalen, omdat er bij een hogere oxidatiegraad van water en bodem meer metalen in oplossing gaan. Theoretisch betekent dat, dat de waterkwaliteit m.b.t. de belasting met microverontreinigingen tijdelijk kan verslechteren bij een verbetering van de waterkwaliteit m.b.t. de belasting met zuurstofbindende stoffen. Het verloop van deze processen zal zich over tientallen jaren uitstrekken en de effecten zullen moeilijk te herkennen zijn, omdat er als gevolg van de verminderde belasting ook veranderingen in gehalte zullen optreden.

3.2. Biochemisch Zuurstof Verbruik (BZV₅)

3.2.1. Gedrag en concentratie BZV₅

Het BZV₅ wordt bepaald door het meten van de afname van het zuurstofgehalte in een afgesloten en met zuurstof verrijkt watermonster dat 5 dagen bij constante temperatuur in het donker is bewaard. Hoe hoger de concentratie aan zuurstofverbruikende stoffen in het water, hoe groter het BZV₅.

Zuurstofverbruikende stoffen, van belang voor de Westerschelde, zijn: ammonium, organische stof (waarin oxideerbaar koolstof en stikstof) en gereduceerde anorganische verbindingen (ijzer II en zwavelwaterstof bijv.).

De zuurstofverbruikende stoffen worden door de Schelde aangevoerd en zijn grotendeels afkomstig van lozingen van onbehandeld afvalwater.

De BZV₅-vrachten te Schaar van Ouden Doel (lit. 3 en 7) in de periode 1976 t/m 1986 (tabel 3) laten geen duidelijke verbeteringen zien. De relatie tussen afvoer en vracht is niet eenduidig.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 10

Tabel 3. BZV₅-vrachten in kiloton per jaar en de jaargemiddelde afvoer in m³/s te Schaar van Ouden Doel.

	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Vracht	22	17	14	23	16	26	18	15	22	17	16
Afvoer	60	98	87	104	129	141	111	107	131	107	113

Het gemeten jaargemiddelde BZV te Schaar van Ouden Doel geeft wel de indruk dat er de laatste jaren verbeteringen zijn opgetreden. Een eerste afname van het BZV valt waar te nemen in de periode 1981 t/m 1983. In '84 is de concentratie dan weer op het niveau van '82 om dan weer t/m 1986 af te nemen. In bijlage 4 is het jaargemiddelde zuurstofverbruik gegeven. Wordt het jaargemiddelde verloop van het BZV₅ in de periode '81 t/m '86 vergeleken met het verloop van het zuurstofgehalte (bijlage 3), dan valt de overeenkomst op: in de perioden dat het BZV₅ daalt, stijgt het jaargemiddelde zuurstofgehalte te Schaar van Ouden Doel.

In de gehele periode 1981 t/m 1986 wordt voldaan aan de basiskwaliteit, zoals die voor zoet water is opgesteld. De norm is dat een jaargemiddeld BZV-gehalte niet hoger mag zijn dan 5,0 mg/l. De in tabel 4 gegeven jaargemiddelde gehalten geven aan dat aan de norm is voldaan.

Tabel 4. BZV₅ in de Westerschelde in mg/l jaargemiddelde gehalte.

Jaar	Schaar v. Ouden Doel	Hansweert	Terneuzen	Vlissingen
1981	3,96	1,85	1,75	2,24
1982	3,60	1,74	1,70	2,39
1983	3,11	2,12	1,94	2,37
1984	3,68	1,72	1,55	1,96
1985	3,35	2,02	1,62	2,13
1986	3,02			

Door seizoensfluctuaties treden er regelmatig grote verschillen op in

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

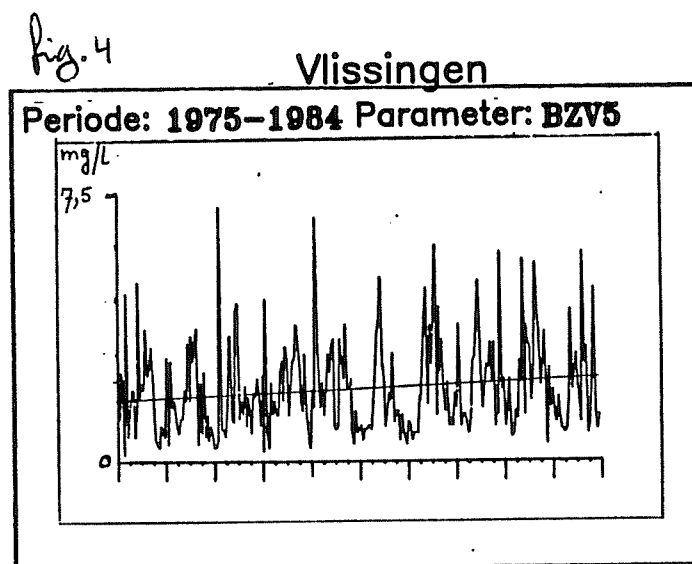
bladnr: 11

de maandelijkse resultaten, zoals te zien is in bijlage 5: de tijdgrafiek van de BZV₅-gehalten voor de meetpunten Schaar van Ouden Doel, Vlissingen, Hansweert en Terneuzen. De hoge BZV₅-gehalten die 's zomers voor komen zijn het gevolg van het afsterven van plankton dat tijdens voorjaar en zomer in de monding van het Schelde-estuarium en op de Noordzee is ontstaan. De mineralisatieprodukten die daarbij ontstaan geven een verhoging van het BZV₅-gehalte.

De trend van het BZV₅:

Hansweert ;1985, wel significant, niet acceptabel door tekorte periode
Terneuzen ;1985, idem

Vlissingen;1975 t/m '85, stijgt van 1,7 naar 2,2 mg/l, zie fig. 4



3.2. Effecten biochemisch zuurstofverbruik

De effecten die optreden bij een hoog biochemisch zuurstofverbruik zijn deels vergelijkbaar met die van een laag zuurstofgehalte (zie hfdst. 3.1.2.). Dat komt omdat het zuurstofgehalte een resultante is van het biochemisch proces.

Bij verlaging van de belasting met zuurstofbindende stoffen zal het organische stofgehalte afnemen hetgeen in een lager BZV₅ wordt weer-

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 12

spiegeld. Het effect van een lager (particulair) organisch stofgehalte is een afname van de complexeringscapaciteit voor met name hogere ge-chloreerde PCB's, waardoor een grotere PCB-vracht als opgeloste fase op het estuarium terecht komt. In lit. 8 is de relatie tussen PCB-gehalten en sediment (organische stof) aangetoond, gebruik makend van onderzoek op 10 locaties in Nederland: Rijn, Maas, Schelde.

Ook speelt het BZV₅ een belangrijke rol in de denitrificerende capaciteit van de waterkolom. Bij afname van het BZV₅ van het water zal de bodem meer stikstof moeten denitrificeren bij gelijkblijvende nitraat-belasting in stroomafwaartse richting.

Een te hoge nitraatbelasting kan eutrofiëring tot gevolg hebben. Zie hoofdstuk 5.

3.3. Stikstofverbindingen

3.3.1. Gedrag en concentraties stikstofverbindingen

De stikstofverbindingen ammonium (NH₄), nitraat (NO₃) en nitriet (NO₂) zijn sterk gerelateerd aan het biochemisch zuurstofverbruik en daarmee ook aan het zuurstofgehalte.

Het nitrificatieproces is uitvoerig beschreven in lit. 9.

Bepaalde bacteriën zijn in staat ammonium om te zetten in nitriet en weer andere bacteriën zetten dat om in nitraat. Deze laatste stap verloopt over het algemeen zeer snel, waardoor het nitriet gehalte altijd laag is t.o.v. het nitraatgehalte en de twee verbindingen doorgaans als somparameter NO₃/NO₂-N wordt opgegeven.

De benodigde zuurstof (O₂) bij deze omzetting van NH₄⁺ → NO₂⁻ → NO₃⁻ wordt aan het water onttrokken. Voor iedere mg N is zodoende 4,3 mg O₂ nodig. de omzetting is het belangrijkste onderdeel van het proces dat het BZV₅, biochemisch zuurstofverbruik bepaalt.

De belasting van de Schelde met stikstof is hoog en daarmee ook de vracht die bij Schaar van Ouden Doel het Westerschelde-estuarium binnen stroomt. In tabel 5 is een overzicht gegeven van afvoer en stikstof vrachten.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 13

Tabel 5. Jaarvracht in kiloton/j. en waterafvoer in m³/sec. te Schaar van Ouden Doel.

Jaar	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Ammonium-N	14	18	13	20	14	14	13	9	15	14	13
Nitraat/nitriet-N	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
Afvoer m ³ /s	60	98	87	104	129	141	111	107	131	107	113

De totale vracht aan stikstof in de vorm van nitraat + nitriet en ammonium is hoger bij hogere afvoer. Deze afhankelijkheid wordt enerzijds veroorzaakt door een verhoogde stikstofbelasting op de rivier door uitloging van landbouwgebieden als gevolg van de verhoogde neerslag.

Anderzijds heeft bij een lagere afvoer het water een langere verblijftijd, waardoor er meer denitrificatie optreedt, waardoor stikstof uit het watersysteem verdwijnt.

Uit de vergelijking van het verloop van de concentratie ammonium en nitriet + nitraat in de tijd blijkt dat het nitrificatieproces van grote invloed is op deze concentraties. Door de omzetting van ammonium in nitraat in de zomerperiode vindt er een daling van het ammoniumgehalte plaats en stijgt het nitraatgehalte met dezelfde periodiciteit. Bij Schaar van Ouden Doel zijn de verschillen in ammoniumconcentratie door de seizoenen het grootst. Richting de Westerschelde-monding nemen de concentraties zelf en de seizoensverschillen van ammonium af. Bijlage 6 geeft dat te zien.

De afname in nitraat (bijlage 7) doet zich van Schelde tot Westerscheldemonding ook voor maar is minder sterk dan de ammoniumafname. Blijkbaar is er minder dénitrificatie (nitraat naar elementair stikstof dan nitrificatie (ammonium stikstof naar nitraat)).

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 14

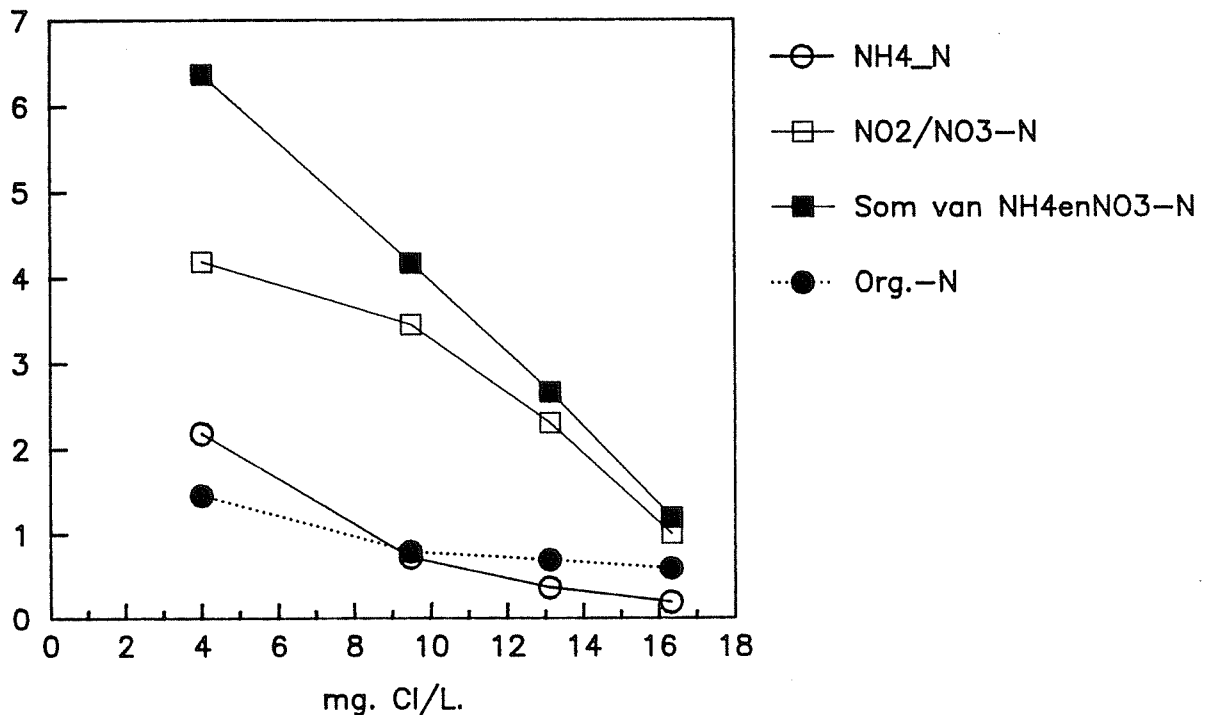
Als de concentratie van een stof in een estuarium recht evenredig is met het chloridegehalte, dan gedraagt die stof zich conservatief.

Ofwel: wordt de concentratie van de conservatieve stof op een aantal punten in het estuarium gemeten en uitgezet tegen het chloridegehalte, dan ontstaat er een rechte lijn. Dat kan twee dingen betekenen: er komt van de betreffende stof niets bij, maar er verdwijnt ook niets, of er komt evenveel bij als er verdwijnt.

In de Westerschelde zijn ammonium-stikstof en nitraat-stikstof met elkaar in evenwicht en gedragen zich daardoor in combinatie (opgeteld) conservatief.

Figuur 5 geeft de relatie tussen stikstofgehalten en de bijbehorende chloridegehalten op de Westerschelde (gemiddelde waarden 1981 t/m 1986).

Fig. 5 Relatie N-componenten/Chloride
Westerschelde 1981-1986
mg. N/L.



behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 15

Ammonium-stikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$) is op zich niet conservatief, want de concentratie ligt lager dan met verdunning alleen kan worden verklaard. Nitraat-stikstof ($\text{NO}_3\text{-N}$) is ook niet conservatief, want de concentratie daarvan komt hoger uit dan op basis van verdunning verwacht mag worden. Ammonium gaat over in nitraat en opgeteld geven deze twee stikstofverbindingen blijkbaar een concentratieverloop dat door verdunning wel verklaard wordt.

Naast ammonium en nitraat komt stikstof nog organisch-gebonden en particulair gebonden voor. In dit stuk wordt met organisch gebonden het totaal van deze twee stikstofcomponenten bedoeld. Dat betekent, dat de som van ammonium-N, nitraat-N en organisch-N gelijk is aan de totale hoeveelheid stikstof die bepaald kan worden.

Organisch-N is niet conservatief, de concentratie is lager dan op basis van verdunning met zeewater voor kan komen. Er verdwijnt organisch-stikstof door denitrificatie, een omzetting die echter via ammonium en nitraat verloopt. De daarvoor benodigde fluxen zijn blijkbaar verder niet van invloed op de evenwichtsinstelling van ammonium en nitraat. Daardoor komt de denitrificatie niet tot uitdrukking in het verloop van die variabelen.

In het door SAWES ontwikkelde model wordt een denitrificatie gehanteerd die ca. 25% van de stikstofbelasting op het Westerschelde-estuarium verklaart. Uit figuur 5 is dat niet af te leiden, hetgeen alleen verklaard kan worden als de zijdelingse belastingen aan stikstof op het estuarium ongeveer door de denitrificatie worden gecompenseerd. Die zijdelingse belastingen bedragen ongeveer 24% van de stikstofbelasting door de Schelde.

In de toekomst zal de belasting van zuurstofbindende stoffen op de Schelderivier afnemen. Het directe gevolg daarvan is een afname van de ammoniumconcentratie en een toename van de nitraatconcentratie. De SAWES-model projectgroep verwacht dan op de Schelde-rivier een hogere nitraatflux de bodem in. Daar wordt de stikstof gedenitrificeerd en verdwijnt als stikstofgas naar de atmosfeer. Als gevolg daarvan zal de stikstofvracht die het estuarium opkomt, niet toenemen.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 16

De nitrificatie is het grootste tussen Schaar van Ouden Doel en Hansweert want op dat traject is de afname van ammonium stikstof het grootste, evenals de toename van nitraatstikstof (zie bijl. 9 en 10).

De trend van ammonium, $\text{NH}_4\text{-N}$:

Schaar v. O.D.; 1975 t/m '85, daalt van 4,1 naar 1,5 mg N/l, fig. 6

Hansweert ; 1975 t/m '84, daalt van 1,4 naar 0,5 mg N/l, fig. 7

Hansweert ; 1985, niet acceptabel, periode te kort.

Terneuzen ; 1975 t/m '84, daalt van 0,6 naar 0,3 mg N/l, fig. 8

Vlissingen ; 1975 t/m '84, daalt van 0,3 naar 0,1 mg N/l, fig. 9

fig. 6 Schaar van Ouden Doel

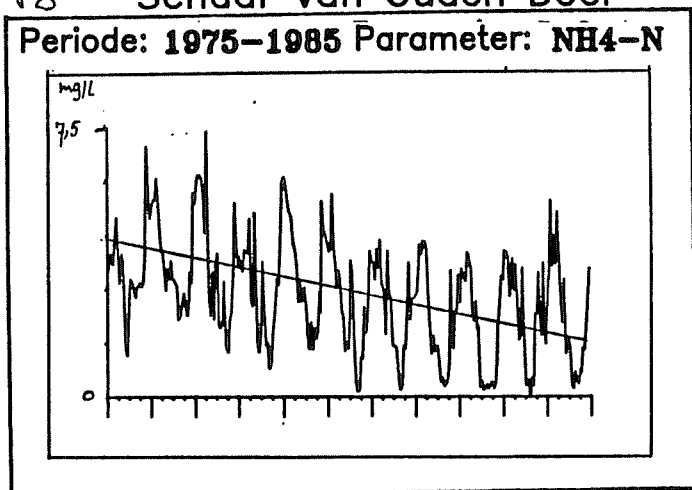


fig. 7 Hansweert

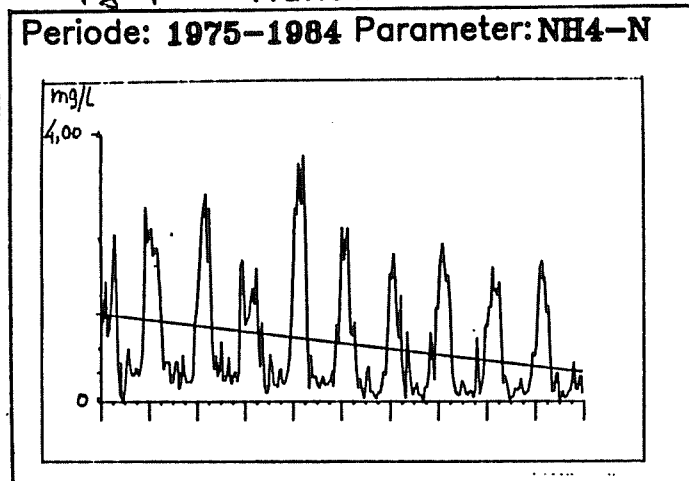


fig. 8 Terneuzen

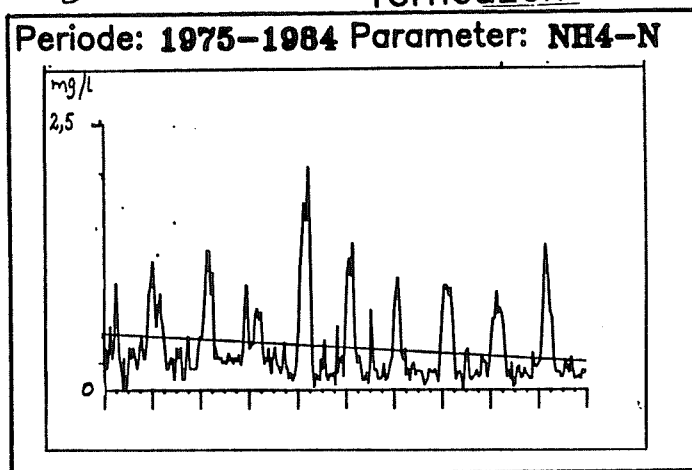
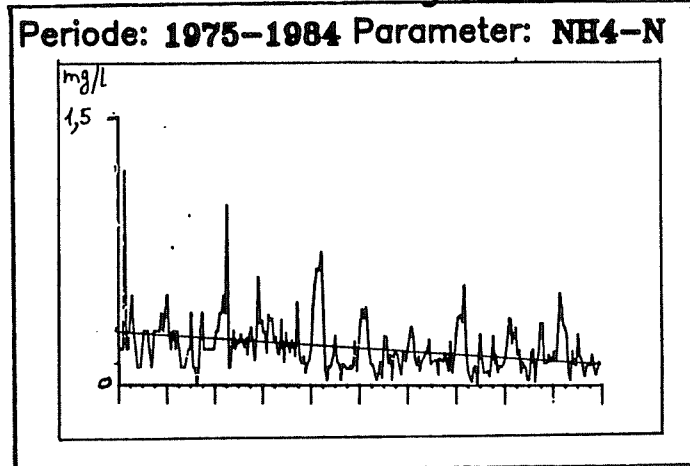


fig. 9 Vlissingen



behoort bij: notitie

GWWS-

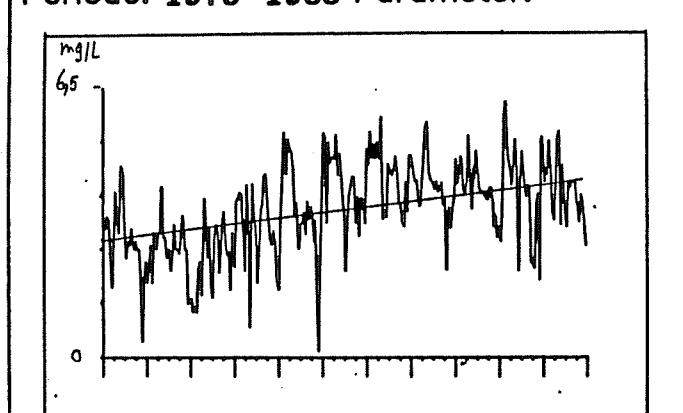
datum: 4 mei 1988

bladnr: 17

De trend van nitraat/nitriet, $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$:

- Schaar v. O.D.; 1975 t/m '85, stijgt van 2,8 naar 4,3 mg N/l, fig. 10
- ✕ Hansweert ; ^{1985, niet acceptabel, periode tekort} ~~1975 t/m '84, stijgt van 3,1 naar 3,5 mg N/l, fig. 11~~
- Terneuzen ; 1985, niet acceptabel, periode tekort.
- Vlissingen ; 1985, niet acceptabel, periode tekort.

Schaar van Ouden Doel

Periode: 1975-1985 Parameter: $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ De trend van Kjeldahl stikstof, KJD-N:

- ✕ Schaar v. O.D.; 1975 t/m '85, daalt van 5,0 naar 3,5 mg N/l, fig. 11
- ✕ Hansweert ; 1975 t/m '84, daalt van 1,9 naar 1,4 mg N/l, fig. 12
- Hansweert ; 1985, niet acceptabel, periode tekort.
- Terneuzen ; 1985, niet acceptabel, periode tekort.
- Vlissingen ; 1985, niet acceptabel, periode tekort.

fig. 11

Schaar van Ouden Doel

Periode: 1975-1985 Parameter: KJD-N

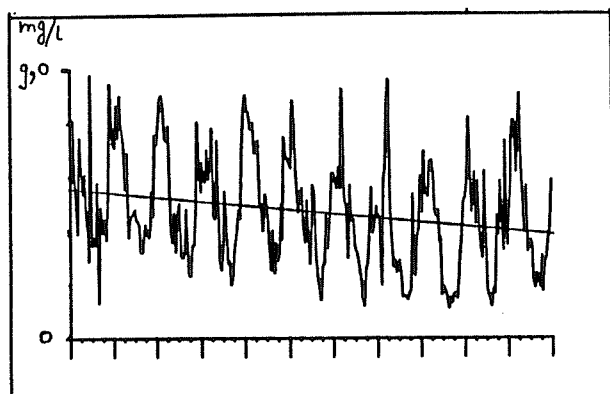
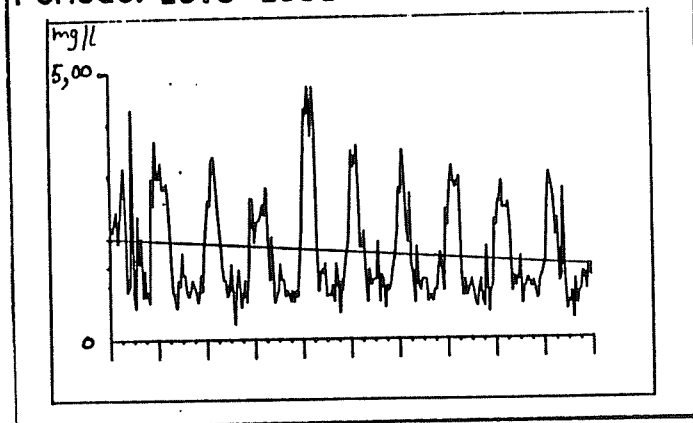


fig. 12

Hansweert

Periode: 1975-1984 Parameter: KJD-N



behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 18

3.3.2. Effecten stikstofverbindingen

- Bij verlaging van de belasting zuurstofbindende stoffen neemt de belasting met stikstofcomponenten aan de bron wel af (30%) maar het is nog onduidelijk of het denitrificerend vermogen van de Schelde-rivier niet dermate vermindert, dat er netto een verhoging van de stikstofbelasting op het Westerschelde-estuarium moet worden verwacht. De zienswijzen variëren van een toename in stikstofbelasting tot 250% (G. Billen) zie lit. 10, tot een afname in stikstofbelasting tot 30% (schatting).

In hoeverre deze verschillen in concentratie effect hebben op de primaire produktie en de maximale planktonbiomassa van het Schelde-estuarium is moeilijk te zeggen omdat deze onder de huidige omstandigheden door licht gelimiteerd worden. Effecten worden ook verwacht in de kustzone, waar bij drastische verhogingen van de stikstofbelasting eutrofiëring op kan treden.

Op meetpunten tot 2 km uit de kust wordt 's zomers vaak een lage troebelheid gemeten, zodat daar van lichtlimitering geen sprake meer is. De effecten van eutrofiëring kunnen zich dan in volle omvang openbaren.

De effecten kunnen zijn: de massale algenbloei van algensoorten die, vooral bij de afsterving, stoffen in het water brengen die toxisch zijn. De grote biomassa's die dan in rustig water kunnen bezinken zijn reactief en vragen voor de mineralisatie zoveel zuurstof dat er problemen ten aanzien van de zuurstofhuishouding in de waterkolom kunnen ontstaan (Duitse Bocht, Oestergronden), zie hoofdstuk 3.4.

3.4. Eutrofiëring

3.4.1. De betekenis van de nutriëntenbelasting voor het Westerschelde-estuarium

Als er op oppervlaktewater een belasting van nutriënten als fosfor, stof en silicium bestaat die groter is dan de natuurlijke belasting, dan is dat oppervlaktewater eutroof. In eutroof oppervlaktewater is de hoeveelheid algen (biomassa primaire producenten) en desoortensamenstelling anders dan van nature zou voorkomen.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 19

Niet altijd is bij een verhoogde nutriëntenbelastingen automatisch de biomassa anders. Er kunnen zich omstandigheden voordoen, waardoor het licht dat voor de groei nodig is, onvoldoende doordringt in de waterkolom. Er is dan sprake van lichtlimitering. In troebel oppervlaktewater is dat het geval.

De verhouding waarin nutriënten voorkomen is mede bepalend voor de biomassa en soortensamenstelling van algen. De algenbloei kan dan (soms afwisselend) silicium-, fosfor-, of stikstofgelimiteerd zijn.

Ook kan een belasting aan microverontreinigingen er de oorzaak van zijn dat de biomassa en soortensamenstelling niet overeenkomen met de natuurlijke situatie.

In het Westerschelde-estuarium en een deel van de kustzone is het onderwaterlichtklimaat door de hoge troebelheid zodanig dat daar van lichtlimitering sprake is. Excessieve algenbloei komt daardoor niet voor. Dat betekent echter niet dat de algenbiomassa en -soortensamenstelling overeenkomt met die van een onbelaste Westerschelde.

In hoofdstuk 3.3. is het gedrag van stikstofverbindingen beschreven in verband met de zuurstofhuishouding van het Westerscheldesysteem. Voor eutrofiëring is stikstof ook van belang. Na het licht(klimaat) is het stikstof in zoute wateren de limiterende factor voor de omvang van de algenbloei. Anders dan voor zoete wateren tellen fosforverbindingen veel minder zwaar mee. Hoofdstuk ... gaat in op het gedrag van alle nutriënten in relatie tot de primaire produktie.

3.4.2. De effecten van eutrofiëring door de (Wester) Schelde

De door de rivier aangevoerde nutriëntenbelasting wordt door de op de Noordzee overheersende reststroom in een strook langs de kust noordwaarts gevoerd. Effecten treden daardoor ver van de bron op.

Wat verder uit de kust is de helderheid van het water groter, waardoor de primaire produktie groter en de soortensamenstelling van algen anders is. Dit heeft ook een verschuiving bij organismen hoger in de voedselketen tot gevolg, lit. 11.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 20

Tabel 6.

.

.

✓ Figuur . 13

.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 21

- X Tabel 6 en figuur ¹³14 geven het overzicht van de belasting van de Noordzee en de verspreiding van nitraat, naar lit. 12.

Samengevat is er de afgelopen tien tot twintig jaar het volgende gebeurt in de Nederlandse kustzone van de Noordzee, naar lit. 11.

Concentraties fosfaten en stikstofverbindingen zijn met een factor 3 tot 5 toegenomen.

De primaire produktie is met een factor 2 tot 3 toegenomen. De concentraties kiezelwieren zijn nauwelijks toegenomen, terwijl die van de overige planktonsoorten vertienvoudigden (vooral flagellaten).

De duur van de voorjaarsbloei van de flagellaat Phaeocystis pouchetii nu 100 dagen en was vroeger enige tientallen dagen. De explosieve Phaeocystis-bloei manifesteert zich de laatste jaren steeds duidelijker met de vorming van slijm en slijmachtige afbraakprodukten (schuim) op de stranden. Door de overmatige Phaeocystis-bloei komen andere algensoorten niet tot ontwikkeling en is de beschikbaarheid en variëteit van voedsel voor zoöplankton gereduceerd (eenzijdig). Na afsterven vindt er accumulatie van organisch materiaal op de bodem plaats, waar bij mineralisatie een hoge zuurstofbehoefte ontstaat en er afbraakprodukten (sulfides) ontstaan die voor het ecosysteem negatief moeten worden beoordeeld, lit¹³. Het effect van een verhoogde primaire produktie is duidelijk van invloed gebleken op ontwikkelingen in de voedselketen.

Het bodemdierenbestand in de Waddenzee is sterk toegenomen. Van grotere bodemdieren is de biomassa en de produktie verdubbeld.

Er is een toename van de garnalenstand waargenomen. De groeisnelheid van het nonnetje Macoma balthica is toegenomen.

In het oostelijk deel van de Duitse Bocht is de laatste jaren enige keren zuurstofloosheid opgetreden.

De zuurstofloosheid werd veroorzaakt door de grote zuurstofbehoefte die ontstond na het afsterven van de flagellaten-bloei van het geslacht Ceratium. Als gevolg hiervan gingen bodemdieren en vissen dood. De achterliggende oorzaak was de opgetreden gelaagdheid van het water (stratificatie) door het soortelijk lichtere Elbe-water. Deze terugke-

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 22

rende omstandigheden hebben de bodemfauna in het zuurstofarme gebied verarmd en in de daaromheenliggende gebieden de bodemfauna verrijkt door de toegenomen primaire produktie. Dit is vaker waargenomen in vergelijkbare omstandigheden.

Eutrofiëring heeft positieve en negatieve kanten. Door hogere primaire produktie neemt in eerste instantie de (bodem) fauna in biomassa toe. Na sterving van de geproduceerde grote hoeveelheden algenbiomassa kan de zuurstofbehoefte plaatselijk zo groot worden dat alle organismen afsterven.

Geconcludeerd moet worden dat eutrofiëring het risico meebrengt dat een enigszins positieve ontwikkeling plotseling omslaat naar een totaal negatieve situatie, die moeilijk omkeerbaar is.

behoort bij: notitie

GWWS-

datum: 4 mei 1988

bladnr: 23

Literatuur bij notitie GWWS-87.658

1. Mantoura, R.F.C. & S.V. Mann: "Dissolved organic carbon in estuaries".
Uit: Tidal Power and Estuary Management, edited by R.T. Severn. Colston Papers no. 30.
2. Bitter, G.: "Trendanalyse waterkwaliteit Westerschelde over de periode 1975 t/m 1985". RWS-Dienst Getijdewateren, notitie GWWS-88.500.
3. Kooij, L.A. van der: "De kwaliteit van de Westerschelde in de periode 1964-1981" RWS-RIZA, nota 82.063.
4. Meulen, J. van der: "Effecten van sanering m.b.t. zuurstofbindende stoffen". RWS - Dienst Getijdewateren, notitie GWWS-87.567.
5. Impe, J. van: "Estuarine Pollution as a Probable Cause of Increase of Estuarine Birds".
Marine Pollution Bulletin. Vol. 16, no. 7, pp. 271-276, 1985.
6. Zeeuws Nieuws, 8^e jaargang nr. 2 - sept. 1982, Westerschelde Thema-nummer.
7. Wattel, G.: "Grensoverschrijdende vrachten bij Schaar van Ouden Doel van het jaar 1986", RWS-Dienst Getijdewateren, notitie GWWS-87.568.
8. Werkgroep PCB's in het Nederlands aquatisch milieu: "Interim-verslag mei 1984" DBW/RIZA.
9. Hendriksma, J.: "Waterkwaliteitsaspecten van de Westerschelde, een rapportage over de jaren 1972-1977". RWS - RIZA, oktober 1981.
10. Holland, A.M.B.: "Discussiestuk eutrofiëring Belgisch kustwater a.g.v. saneringen Schelde". RWS - Dienst Getijdewateren, notitie GWWS-87.653.
11. Beukema, J. & G.C. Cadée: "De eutrofiëring van ons kustwater: genoeg of al te veel?". Vakbl. Biol. 67(9), 1987; 153-157.
12. Lancelot, Chr. et al.: "Phaeocystis Blooms and Nutrient Enrichment in the Continental Coastal Zones of the North Sea". Ambio (1987) 16(1): 38-46.
13. Kinne, O.: Marine Ecology. Vol. I Part 3, pp. 1498.

Vergelijking grensoverschrijdende jaarvrachten te Schaar van Ouden
Doel in kg.

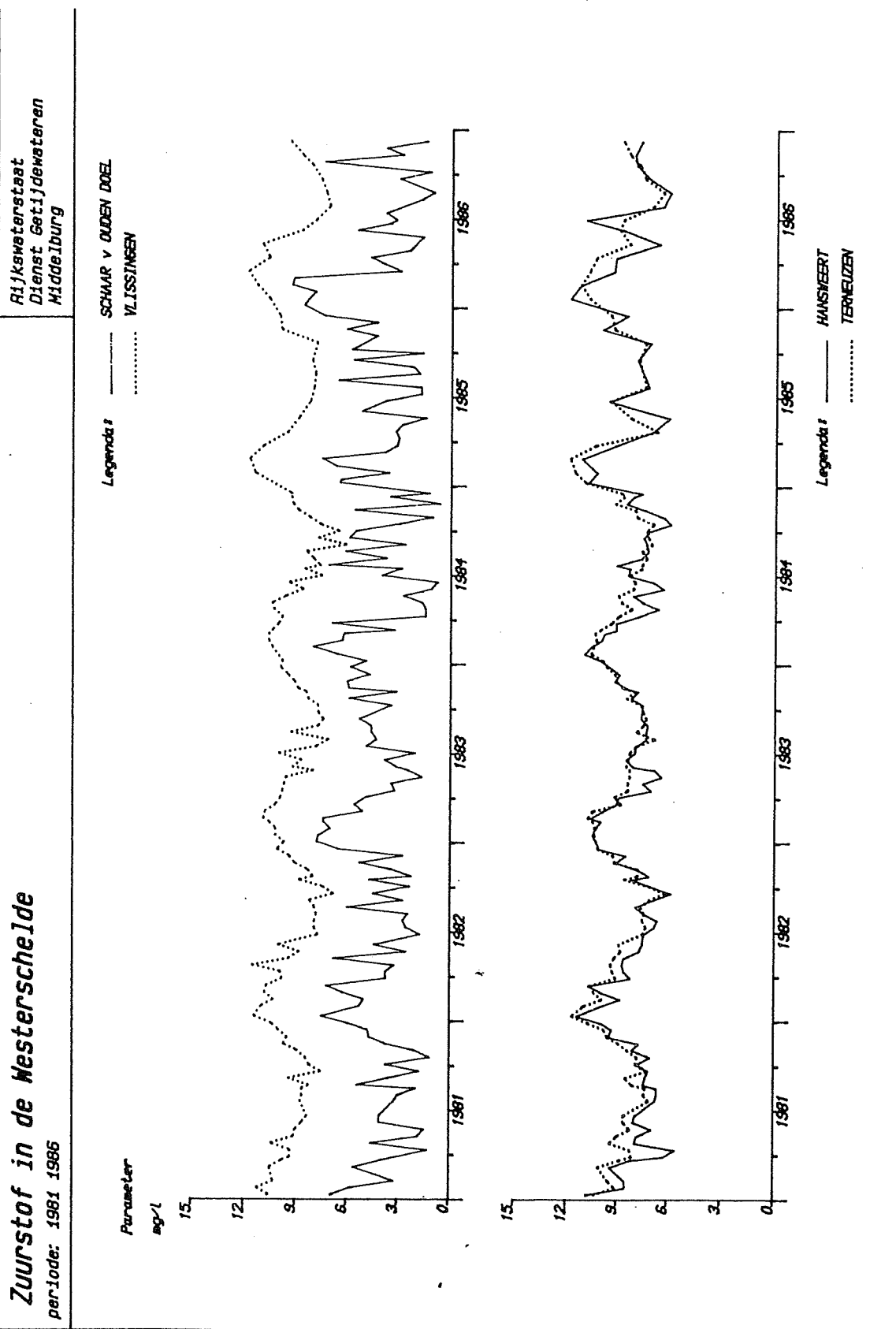
STOF	1981	1982	1983	1984	1985	1986
O2				22881600	19835200	22568552
BOD5	25670400	17964800		21896000	17449600	15625351
ZW MET	275408000	328048000		392672000	375648000	351128010
ZW STOF			315840000	429968000	436016000	461412661
GL REST				339808000	347424000	385078579
NH4-N	13742400	13148800	9142560	15332800	13988800	12575369
NO2-N		1206240		1173760	1101856	1006575
KJD-N	22400000	19745600	16486400	24684800	22960000	20790459
NO3+NO2-N	26857600	19555200	21683200	22915200	19420800	22407753
O-P04-P	3920000	2824640	2615200	3007200	2452800	2530976
T-P04-P	7229600	5202400	4529280	5853120	5101600	5168989
TOC		58856000		66024000	54432000	
TOT NA				9910880000	8832320000	11635540000
TOT K				412944000	498736000	439466481
SO4				3305120000	2339680000	3294083360
F	8945440	6473600		6678560	8092000	7095481

behoort bij: notitie

GWWS-87.658

datum: 14 december 1987

bladnr:

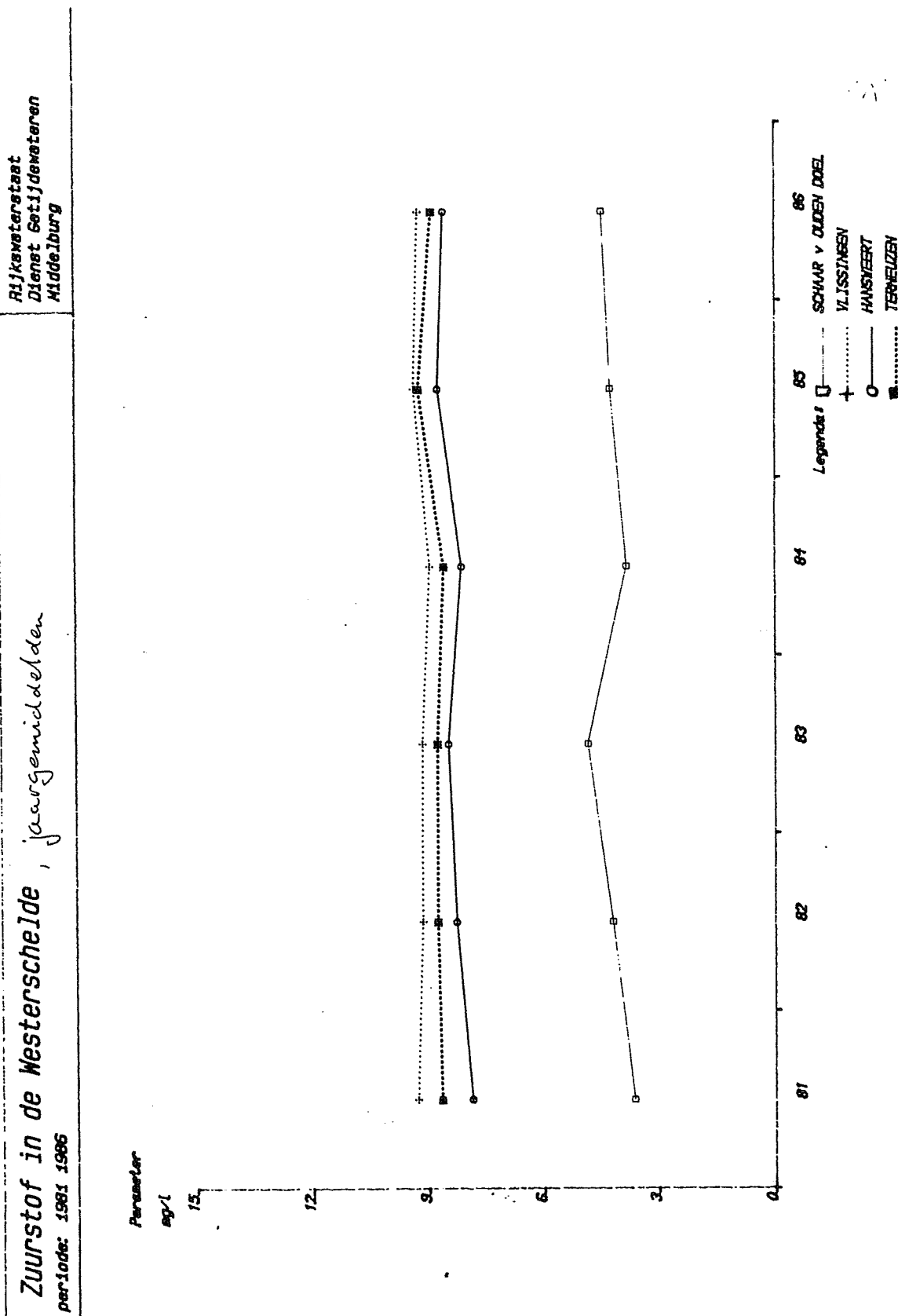


behoort bij: notitie

GWWS-87.658

datum: 14 december 1987

bladnr:



behoort bij: notitie

GWWS-87.658

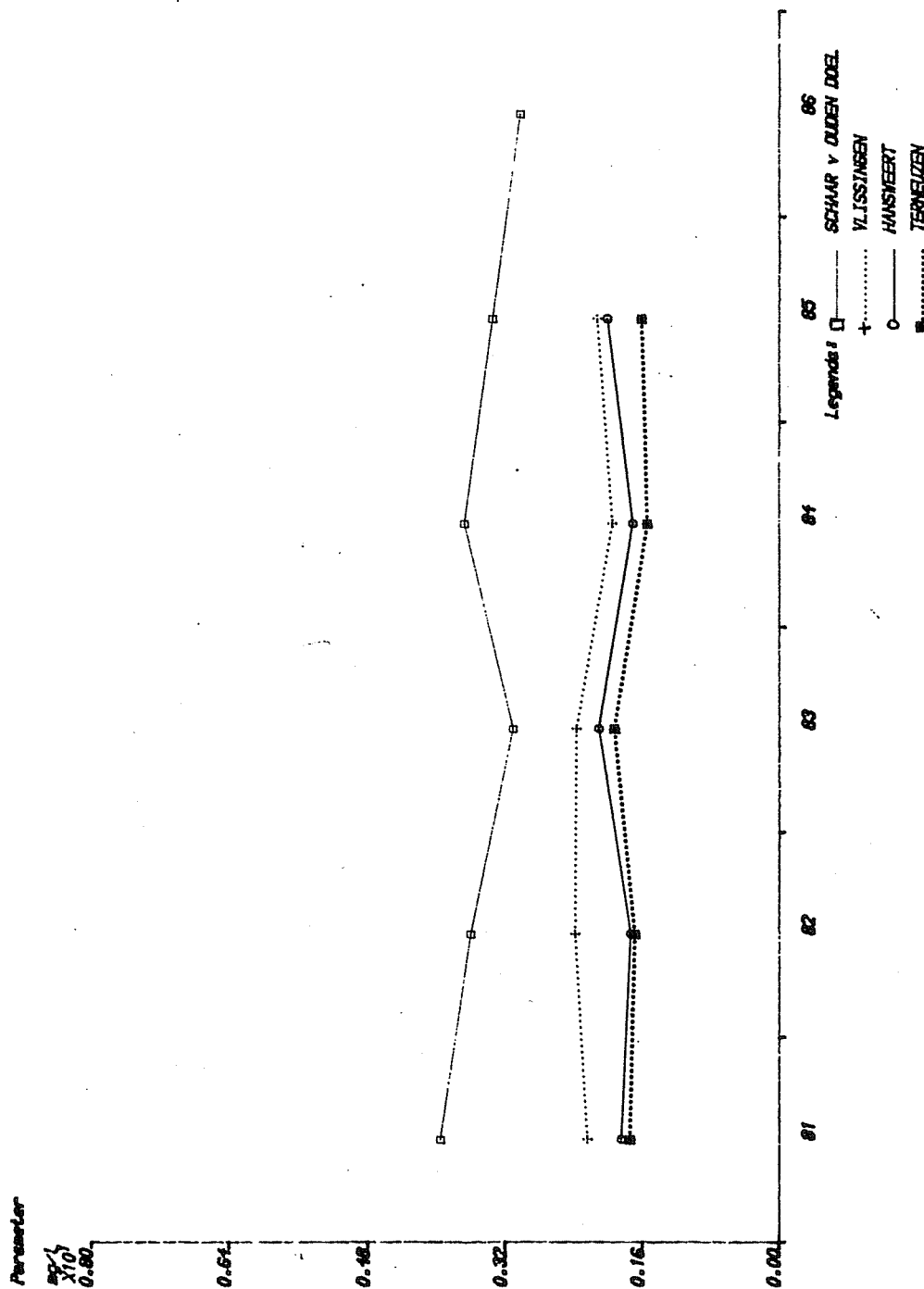
datum: 14 december 1987

bladnr:

Biochem. zuurstofverbruik; 5 dagen 20 gr.C in de Westerschelde

periode: 1981-1986

Rijkswaterstaat
Dienst Getijdewateren
Middelburg

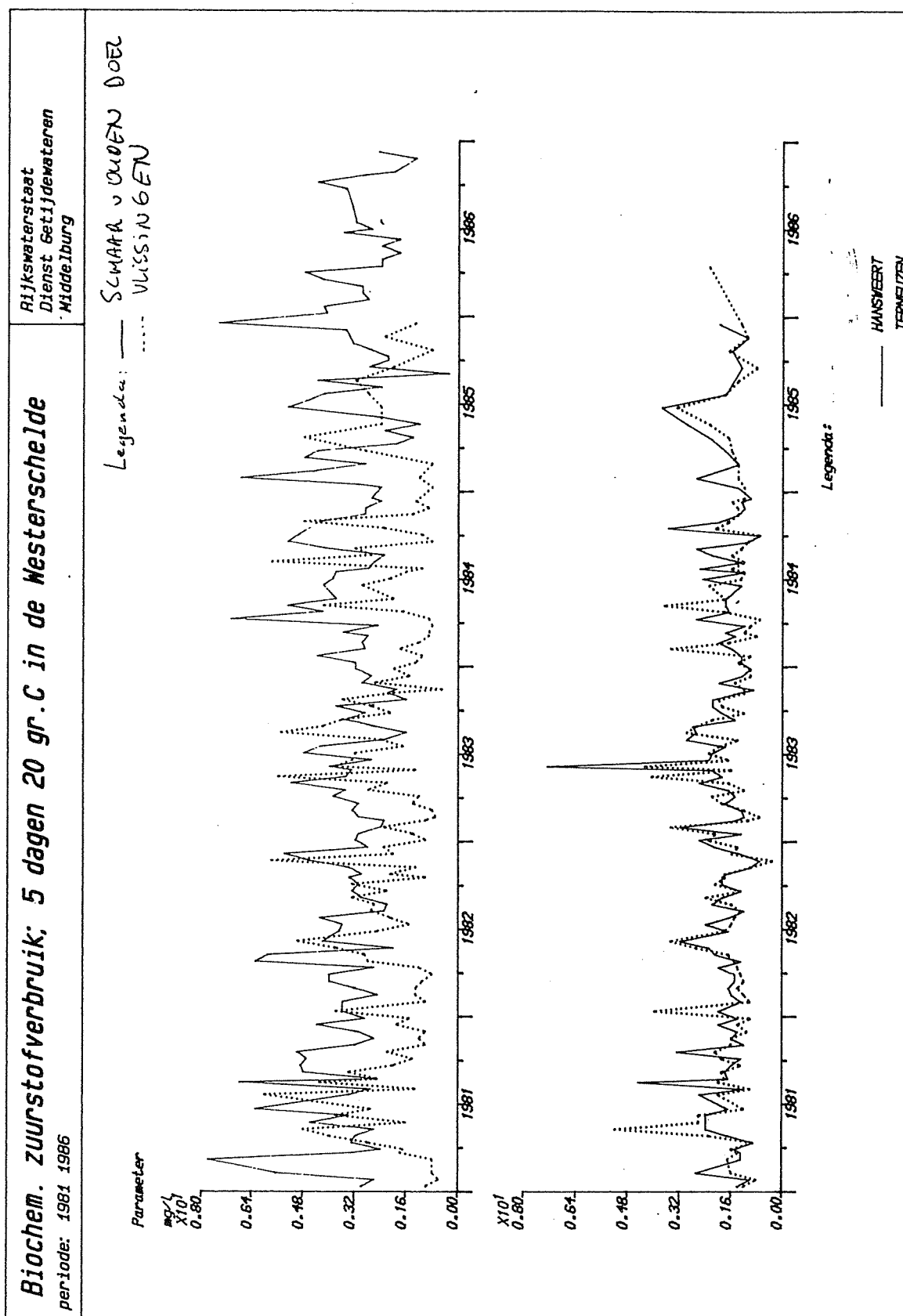


behoort bij: notitie

GWWS-87.658

datum: 14 december 1987

bladnr:



behoort bij: notitie

GWWS-87.658

datum: 14 december 1987

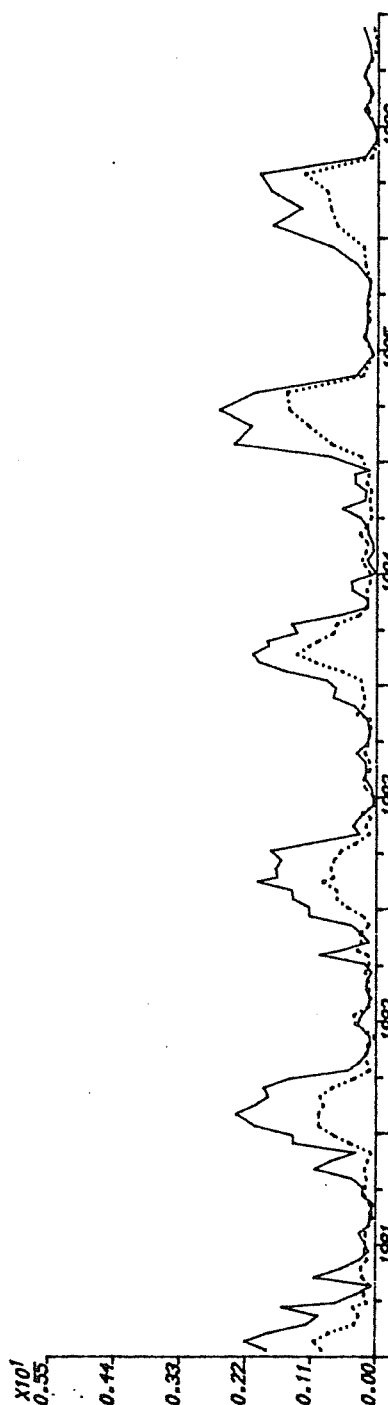
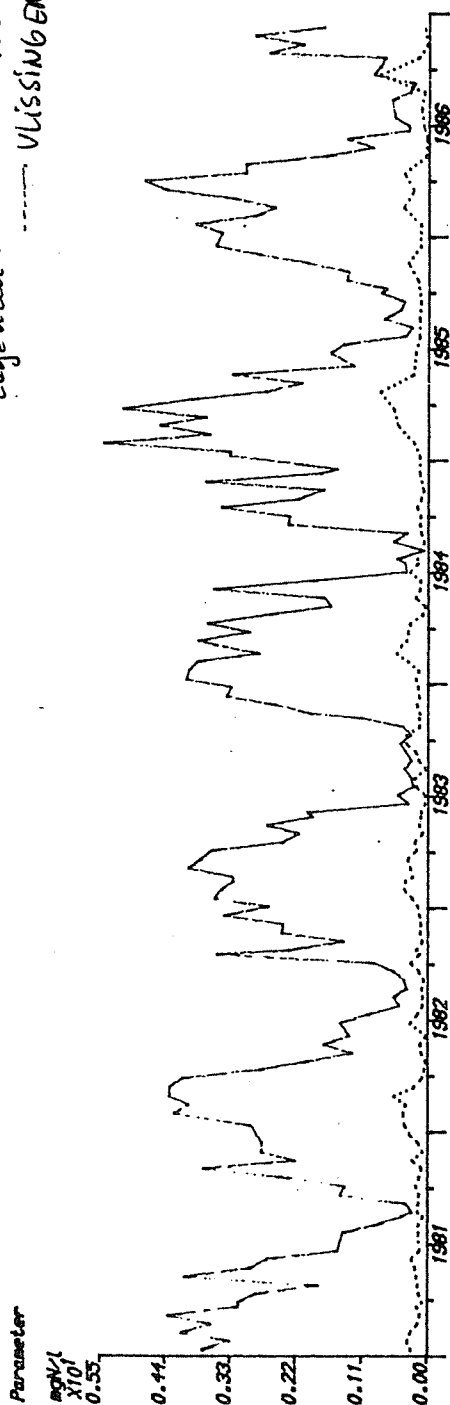
bladnr:

Ammonium in de Westerschelde

periode: 1981-1986

Rijkswaterstaat
Dienst Getijdewateren
Middelburg

Legenda: — SCHAAK v OUDEN
 - - - - - VLISSINGEN DOEL



Legenda:

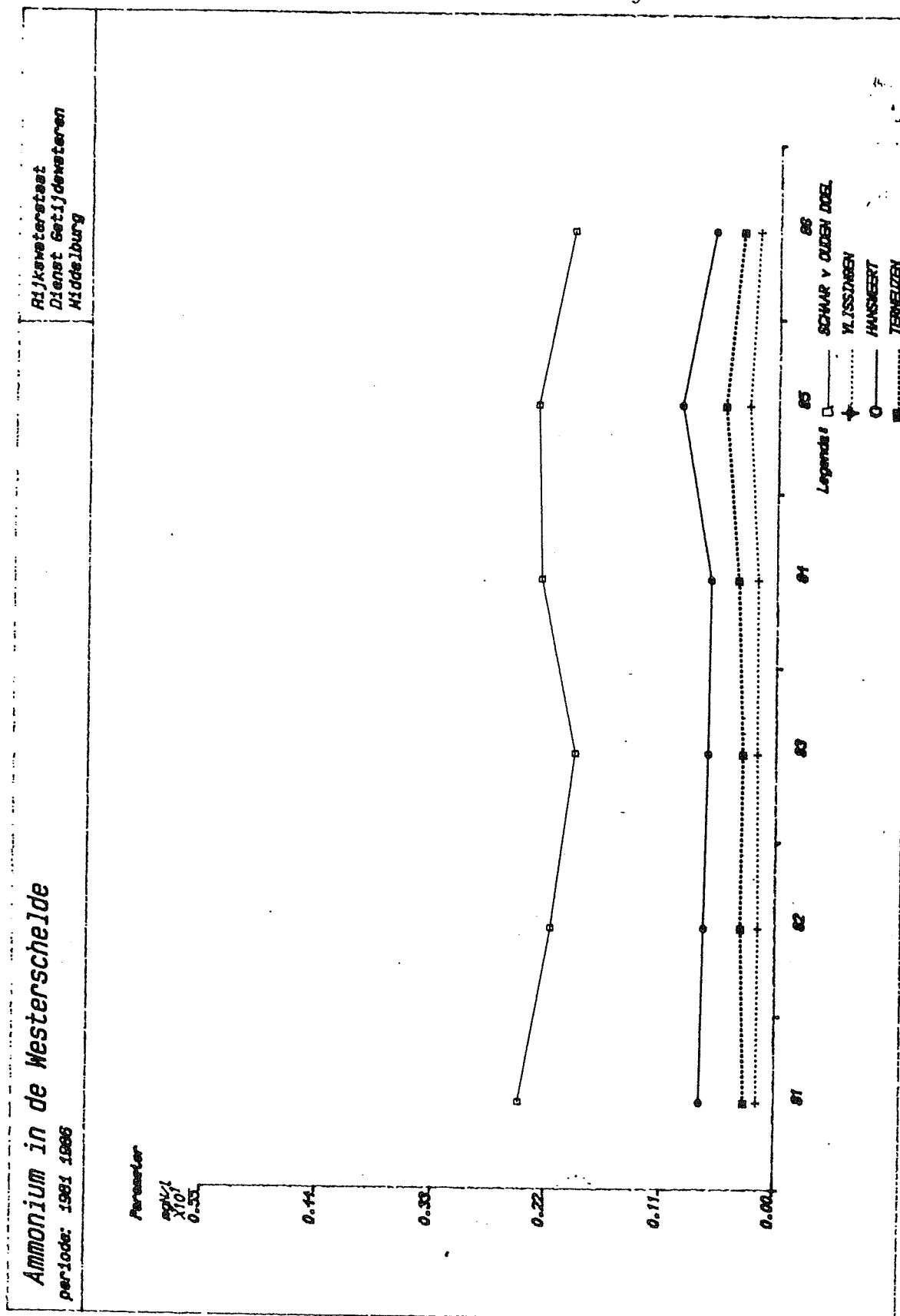
— HANSWEERT
- - - - - TERNEUZEN

behoort bij: notitie

GWWS-87.658

datum: 14 december 1987

bladnr:

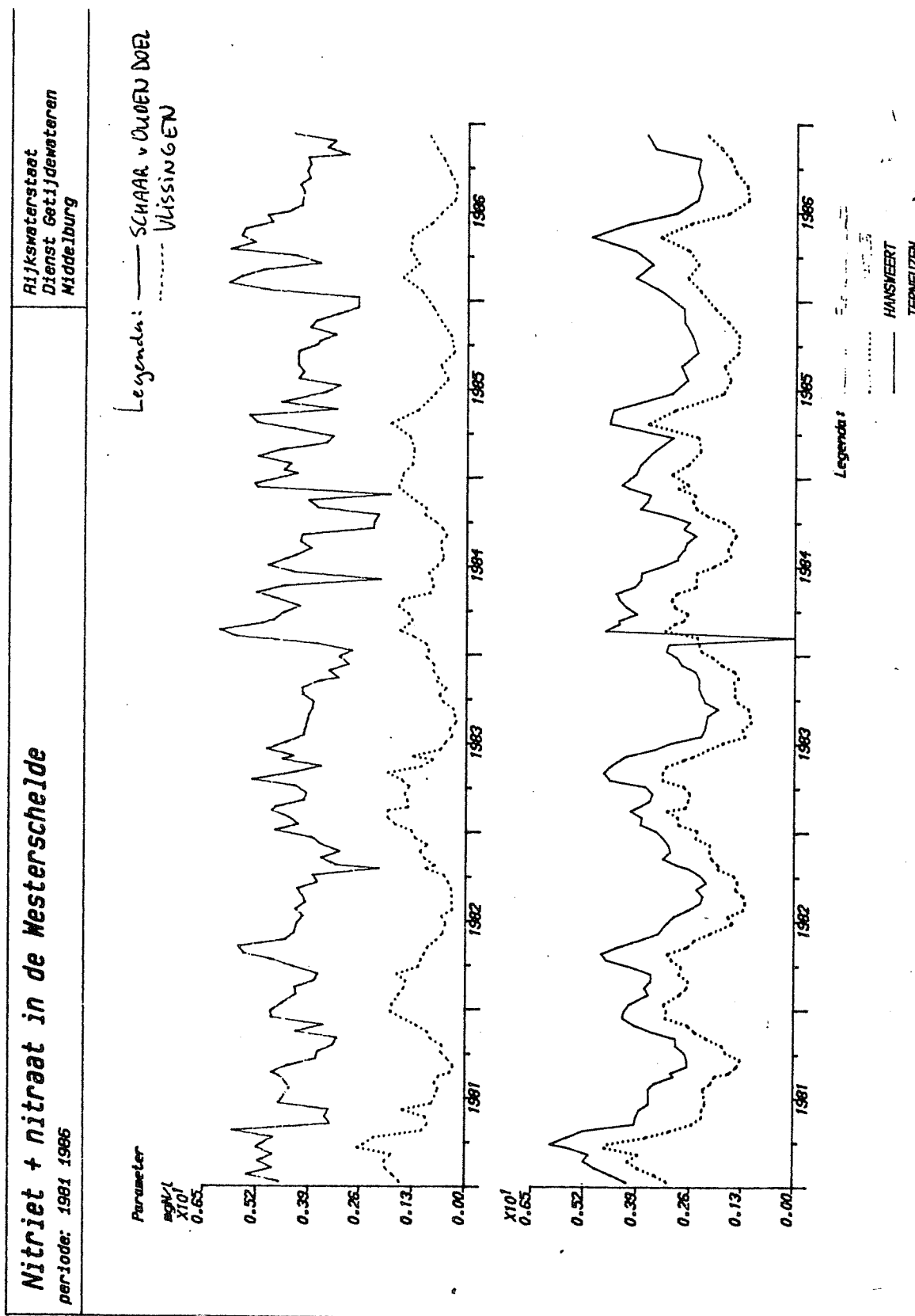


behoort bij: notitie

GWWS-87.658

datum: 14 december 1987

bladnr:



behoort bij: notitie

GWWS-87.658

datum: 14 december 1987

bladnr:

