

AFGEHANDELD

opdrachtgever:

Rijkswaterstaat Directie Zeeland

Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren

ontwikkeling en toepassing VEERWAQ t.b.v. beleidsanalyse Veerse Meer

simulatie van beheervarianten

eindrapportage

maart 1990

1	geheim
2	niet ter inzage derden
☒	niet ter inzage derden gedurende 10 jaar
4	openbaar

ontwikkeling en toepassing VEERWAQ t.b.v. beleidsanalyse Veerse Meer

simulatie van beheervarianten

I. de Vries, M. de Vries, H. Goossens



INHOUD

1. Inleiding	1
2. Van GREWAQ naar VEERWAQ	2
2.1. Schematisatie en koppeling aan STRESS	2
2.2. Zuurstof module	4
2.2.1. Toestandsvariabelen voor de zuurstofsituatie	4
2.2.2. Processen en zuurstof	5
2.2.3. Invloeden van zuurstof	5
2.3. De Ulva module	6
2.4. Overige forcing functions: zooplankton en bodemfauna	9
2.4.1. Zooplankton	9
2.4.2. Bodemfauna	10
3. Beschrijving huidige situatie	12
3.1. Belasting van het systeem	12
3.1.1. Fosfaat-balans	12
3.1.2. Silicium-balans	13
3.1.3. Stikstof-balans	13
3.1.4. Periode van belasting	14
3.2. Waterkwaliteits parameters	15
3.2.1. Zuurstof	16
3.2.2. Concentraties van nutriënten	16
3.2.3. Chlorofyl concentraties	17
3.2.4. Sulfide	18
3.2.5. Waterkwaliteit en stratificatie	18
3.3. Biologische kenmerken	18
3.3.1. Ulva	18
3.3.2. Fytoplankton	19
3.3.3. Microfytobenthos	19
3.3.4. Zooplankton	20
3.3.5. Zoobenthos	20
3.3.6. Primaire Productie	21
3.3.7. Bodem zuurstof verbruik	22
4. Simulatie van de huidige situatie	23
4.1. Resultaten van de voorlopige calibratie	23
4.2. Resultaten van de definitieve calibratie	24
4.2.1. De primaire producenten	26
4.2.2. De invloed van consumenten: zooplankton en bodemfauna	28
4.2.3. Zuurstofhuishouding en koolstofkringloop	29
4.2.4. Nutrientenconcentraties en -huishouding	30
5. Beheervarianten	35
5.1. Overzicht doorgerekende varianten	35
5.2. Variant 1.1: peilvariatie, uitwisseling 5 m ³ /s in winter	37
5.3. Variant 1.2: peilvariatie, uitwisseling 8 m ³ /s in winter	38
5.4. Variant 2: geen peilvariatie zomer/winter	39
5.5. Variant 3: uitwisseling 20 m ³ /s in winter	40
5.6. Varianten 3.1 - 3.3: reductie van nutrient belastingen	41
5.7. Variant 4: uitwisseling 20 m ³ /s, 25% polderdebietreductie	42
5.8. Variant 5: uitwisseling 5 m ³ /s, 75% polderdebietreductie	43
5.9. Variant 6: uitwisseling 5 m ³ /s, 25% polderdebietreductie	44
5.10. Variant 7: uitwisseling 20 m ³ /s gedurende het hele jaar	45
5.11. Variant 7.1-7.4: uitwisseling 5-10 m ³ /s, hele jaar	46
5.12. Variant 8: uitwisseling 40 m ³ /s gedurende het hele jaar	47
5.13. Variant 9: geen uitwisseling, 25% polderdebietreductie	48

5.14. Variant 10: uitwisseling 20 m ³ /s van 1 dec tot 1 april	49
6. Samenvatting en vergelijking van beheervarianten	50
6.1. Samenvatting van beheervarianten	50
6.2. Vergelijking van beheervarianten	53
6.2.1. Nutrientenbelasting	53
6.2.2. Watervverblijftijd en peilvariatie	54
6.2.3. Stratificatie	55
6.3. Evaluatie van potentiële beheermaatregelen	56
6.3.1. Groep I (beheervarianten 2 en 9)	57
6.3.2. Groep II (beheervarianten 1, 1.1, 1.2 en 6)	58
6.3.3. Groep III (beheervarianten 3, 3.1, 4 en 10)	59
6.3.4. Groep IV (beheervarianten 7.1, 7.2, 7.3 en 7.4)	60
6.3.5. Groep V (beheervarianten 3.3, 5, 7 en 8)	61
7. Conclusies	63
7.1. Conclusies huidige situatie	63
7.2. Conclusies beheervarianten	65
Literatuur	66
Addendum: Aanvullende beheervarianten	69
Figuren	72
Legenda's van de kleurenfiguren	81

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 2.1	Waterbalans huidige situatie	3
Tabel 2.2	Aanpassing Ulva aan lage instraling	7
Tabel 2.3	Maximale zeesla-biomassa per segment (ton ADG)	9
Tabel 2.4	Biomassa van bodemfauna per segment in VEERWAQ . . .	10
Tabel 3.1	Stikstofbelasting Veerse Meer	13
Tabel 3.2	N-mineraal belasting in tonnen N per maand	14
Tabel 3.3	Gemeten chlorofyl concentraties ($\mu\text{g/l}$)	17
Tabel 3.4	Waargenomen biomassa bodemfauna in het Veerse Meer	21
Tabel 3.5	Jaarproduktie van fytoplankton in 1983	21
Tabel 4.1	Gemeten en berekende maximale chlorofylconcentraties	26
Tabel 4.2	Berekende soortensamenstelling van fytoplankton .	28
Tabel 4.3	Stikstofbalansen Veerse Meer en Grevelingenmeer .	32
Tabel 5.1	Overzicht van gesimuleerde beheervarianten	35
Tabel 6.1	Vergelijking van beheervarianten: balansen	52
Tabel 6.2	Vergelijking van beheervarianten: systeemkenmerken	52
Tabel 6.3	N-belasting en kenmerken van enkele zoute wateren	53
Tabel A.1	Vergelijking extra beheervarianten: balansen	69
Tabel A.2	Vergelijking extra beheervarianten: kenmerken . . .	70

1. INLEIDING

De besluitvorming aangaande een duurzame regeling van het waterbeheer van het Veerse Meer wordt voorbereid middels een beleidsanalytische studie. Als onderdeel van deze studie worden de effecten van verschillende peilbeheers- en waterkwaliteitsmaatregelen bekeken. Hiertoe is het ecologisch model GREWAQ geschikt gemaakt voor toepassing op het Veerse Meer (VEERWAQ) en zijn verschillende beheervarianten doorgerekend. De werkzaamheden vormden onderdeel van drie opdrachten, verleend door Rijkswaterstaat, dienst Getijdewateren en door Rijkswaterstaat, directie Zeeland (Kenmerken 8030, 27-7-1987; 4193, 14-4-1988).

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd. Na de inleiding zijn er zes hoofdstukken en een addendum:

- Hoofdstuk 2: Aanpassingen van het GREWAQ model die GREWAQ tot VEERWAQ hebben gemaakt.
- Hoofdstuk 3: Beschrijving van de huidige toestand van het Veerse Meer, aan de hand van de gebruikte gegevens voor de invoerbestanden en voor de calibratie van VEERWAQ.
- Hoofdstuk 4: Resultaten van de simulaties van de huidige situatie
- Hoofdstuk 5: Resultaten van de simulaties van de beheervarianten
- Hoofdstuk 6: Samenvatting, vergelijking en evaluatie van de beheervarianten
- Hoofdstuk 7: Conclusies
- Addendum: Aanvullende beheermaatregelen

De betrokken projectgroep bestond uit de volgende personen:

- Drs. W. Iedema (directie Zeeland)
- Drs J. Coosen (DGW)
- Ir. J.P.G. van de Kamer (DGW)
- Ing. G.P. Bollebakker (DGW)
- Ing. T. Walhout (DGW)
- Drs. I. de Vries (WL)
- Drs. H. Goossens (WL)
- Drs. M. de Vries (WL)

Een substantiele bijdrage aan het werk werd geleverd door Drs. A. van der Giessen (DGW), Ing. R.R. Jansen (DGW), Ing. M. Sileon (WL), F. de Graaf (WL), en R. van Buren (WL).

2. VAN GREWAQ NAAR VEERWAQ

Om het model GREWAQ (de Vries et al., 1988) te kunnen toepassen op het Veerse Meer waren diverse aanpassingen noodzakelijk, namelijk:

- een nieuwe ruimtelijke schematisatie (horizontaal en verticaal)
- koppeling aan het stratificatiemodel STRESS voor de waterbeweging in de huidige situatie en voor de verschillende varianten (RWS, 1984, v.d.Giessen et al, 1986, Bollebakker en v.d.Kamer, 1989)
- inbouwen van een zuurstofmodule
- vervangen van de zeegrasmodule door een zeesla (Ulva) module.

Daarnaast moesten de forcing functions die voor enkele functionele groepen in GREWAQ zijn opgenomen, aangepast worden voor de situatie in het Veerse Meer.

2.1. SCHEMATISATIE EN KOPPELING AAN STRESS

De schematisatie van VEERWAQ is gebaseerd op een aantal overwegingen:

- de beschikbaarheid van meetgegevens op drie lokaties (V1, V2 en V3) (zie figuur 2.1) waar meestal op drie dieptes werd gemeten (oppervlakte, halve waterdiepte en nabij de bodem)
- de aanmerkelijke verschillen tussen het oostelijk, midden en (noord-)westelijk deel van het meer in een aantal waterkwaliteitsparameters, vooral de chlorofyl concentratie en andere biologische kenmerken zoals de bodemfauna dichtheid
- de in sommige delen van het meer (vooral het oostelijk gedeelte) vrijwel permanente stratificatie met bijbehorende zuurstofloosheid van het hypolimnion (de onderste waterlaag) en van het oppervlak van diepe bodems

Het Veerse Meer is in VEERWAQ verdeeld in negen watersegmenten, d.w.z. drie kolommen met elk een boven-, midden- en onderlaag. Elk watersegment heeft een aangrenzend bodemsegment. Een en ander is verduidelijkt in figuur 2.2.

De waterverversing en nutriëntenbelasting in het Veerse Meer wordt sterk bepaald door de grote hoeveelheden zoet (polderwaterlozingen) en zout (peilopzet en aflat) water die jaarlijks in het meer terecht komen. De waterverdeling in het meer en de verticale chloride concentratiegradienten in de diverse putten van het meer, worden beschreven door het stratificatiemodel STRESS, aan de hand van in- en uitlaten van water en van de dispersie, entrainment en advectieve debieten in het meer. De waterbeweging die VEERWAQ (of beter het DELWAQ frame) nodig heeft als input, is ontleend aan STRESS berekeningen.

De schematisatie van STRESS is echter niet overeenkomstig de VEERWAQ schematisatie. De verticale segmentatie van STRESS is veel gedetailleerder (laagdikte 1 m); daarentegen is de bovenlaag (boven de zadels) niet horizontaal gesegmenteerd. Voor de koppeling

moesten dus de debietgegevens over verschillende lagen worden samengenomen. Dit resulteerde in 7 STRESS sectoren, zoals weergegeven in figuur 2.3. De ten behoeve van de koppeling aangepaste STRESS-uitvoer bestond uit tijdreeksen met dagwaarden voor:

- de ingaande en uitgaande debieten (polders, kanaal door Walcheren, Oosterschelde) en gegevens over neerslag en verdamping
- de advectieve debieten tussen de 7 sectoren
- de entrainment debieten tussen de 7 sectoren
- het gemiddelde chloride gehalte in elk van de sectoren. Met dit gegeven wordt in VEERWAQ de verticale dispersie berekend (zie voor de formulering de Vries et al, 1988, paragraaf 8.2.2).

Uit deze gegevens werden de totale uitwisselingsdebieten met en tussen de 9 VEERWAQ segmenten afgeleid, alsmede de verticale dispersie.

Debieten van en naar de STRESS sectoren 1 en 3 werden naar rato van oppervlakte toebedeeld aan VEERWAQ segmenten 1,2 en 3, respectievelijk 5 en 6, na correctie ter vereffening van peilverschillen (tussen 1,2 en 3) cq volumeveranderingen (van 5 en 6).

Ter controle en interpretatie van de gegevens werden de eventuele volumeveranderingen van de VEERWAQ segmenten bijgehouden, en werden de verblijftijden berekend (som van ingaande of uitgaande debieten gedeeld door het volume). Ter illustratie is dit in tabel 2.1 voor de huidige situatie weergegeven.

Tabel 2.1

Waterbalans huidige situatie (situatie 1983)
(exclusief neerslag en verdamping)

Waterbalans Veerse Meer, huidige situatie (o.b.v. STRESS uitvoer)		
Totale import Oosterschelde water ($\text{m}^3 \cdot 10^6$)		674
Totale import zoet (brak) water ($\text{m}^3 \cdot 10^6$)		1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)		180
jaargemiddelde verblijftijd per segment (dagen)		
1+2+3: 79		
4: 18	5: 21	6: 5
7: 12	8: 12	9: 4

Opvallend zijn de korte berekende verblijftijden in de middelste en vooral de onderste segmenten, dat wil zeggen onder de spronglaag. In de meeste beheervarianten (uitwisseling met de Oosterschelde) nemen deze verblijftijden nog verder af, tot minder dan een week in de middenlaag en slechts enkele dagen in de onderlaag. Deze korte verblijftijden worden niet rechtstreeks veroorzaakt door import van O'schelde water, maar door de berekende entrainment debieten, vooral ten gevolge van uitslag en spui van polderwater.

Het is met een vereenvoudigde vertikale schematisatie in drie lagen met vaste segmentgrenzen, zoals in VEERWAQ gehanteerd, niet goed mogelijk om de gereduceerde vertikale uitwisseling en de daardoor lange verblijftijden in de onderlaag ten gevolge van de spronglaag te reproduceren uit de STRESS uitvoer. Daarom zijn voor de simulatie van de huidige situatie twee verschillende VEERWAQ berekeningen uitgevoerd:

1. op basis van de waterbeweging volgens STRESS, zoals hierboven weergegeven,
2. zonder advection en entrainmentdebieten tussen de 9 watersegmenten, dus alleen verticale uitwisseling op basis van dispersie coëfficiënten. Deze coëfficiënten zijn in dit geval berekend aan de hand van de VTSO chloride-gegevens, en niet met door STRESS berekende chloride concentraties.

De gedachte achter de gekombineerde weergave van deze twee berekeningen is dat de aan STRESS gekoppelde berekening te gunstig uitpakt voor de onderste waterlagen: minder lage zuurstofgehalten dan gemeten. De berekening zonder de waterbeweging uit STRESS geeft daarentegen een te pessimistische beeld en kan dus als een 'worst case' berekening worden opgevat. De werkelijkheid houdt het midden tussen de twee berekeningen.

De resultaten zijn weergegeven in hoofdstuk 4.

2.2. ZUURSTOF MODULE

In dit rapport worden de procesformuleringen en bijbehorende coëfficiënten van de zuurstofmodule, die ten behoeve van de toepassing op het Veerse Meer moest worden ontwikkeld, niet gerapporteerd. Daarvoor wordt verwezen naar het aparte dokumentatierapport van de zuurstofmodule in GREWAQ (de Vries et al, 1989). In deze paragraaf wordt de zuurstofmodule alleen verbaal beschreven.

2.2.1. Toestandsvariabelen voor de zuurstofsituatie

Voor het weergeven van de zuurstofsituatie wordt in het gehele model slechts een variabele onderscheiden, die onder verschillende omstandigheden verschillende stoffen vertegenwoordigt:

- De vrije zuurstofconcentratie in het water.
- De concentratie zuurstofequivalenten in de bodem. Wanneer deze 'bodemzuurstofpool' een positieve waarde heeft wordt verondersteld dat alle zuurstofequivalenten aanwezig zijn als vaste stof, bijvoorbeeld metaaloxiden. Deze zijn niet onderhevig aan dispersief transport.
- De concentratie zuurstofequivalenten in de bodem bij negatieve waarden. Er is dan sprake van een 'zuurstofschuld', in de vorm van de aanwezigheid van opgeloste gereduceerde verbindingen als H_2S en CH_4 . Voor deze zuurstofschuld wordt wel dispersieve uitwisseling naar het bovenstaande water berekend.

Ook de zuurstofconcentratie in de onderste waterlaag kan onder extreme omstandigheden negatief worden. De zuurstofschuld beperkt zich dan niet meer tot de bodem, maar breidt zich uit naar de waterfase door bijvoorbeeld het ontwijken van H_2S . Bij het weergeven van deze verschillende stoffen als zuurstofequivalenten in een variabele wordt verondersteld dat de onderlinge omzettingen heel snel (momentaan) verlopen.

2.2.2. Processen en zuurstof

De concentratie van zuurstof cq zuurstofequivalenten wordt in het model beïnvloed door uitwisselingsprocessen (tussen water en lucht en tussen water en bodem) en door produktie- en verbruiksprocessen:

- reaeratie,
- uitwisseling tussen water en bodemoppervlak (complex),
- uitwisseling tussen water en bodem,
- produktie bij primaire produktie van fytoplankton, bentische diatomeeën en zeesla,
- produktie bij denitrificatie,
- verbruik (of vorming van negatieve zuurstofequivalenten) bij mineralisatie van organisch materiaal,
- verbruik bij nitrificatie van ammonium.

2.2.3. Invloeden van zuurstof

Tenslotte oefent de zuurstofconcentratie invloed uit op de snelheid waarmee een aantal processen verlopen. Invloeden op de volgende processen zijn in het model opgenomen:

- de reaeratie, afhankelijk van de afwijking van de zuurstofconcentratie ten opzichte van de verzadigingsconcentratie bij de heersende temperatuur en het chloridegehalte,
- de uitwisseling tussen water en bodemoppervlak, afhankelijk van de concentratiegradient over de diffusieve grenslaag,
- de uitwisseling tussen water en bodem, afhankelijk van het concentratieverschil tussen water en bodem (de opgeloste concentratie in de bodem is 0 of negatief),
- de mineralisatiesnelheid in het water; bij de anaerobe mineralisatie is ook nog een afhankelijkheid van de nitraatconcentratie geformuleerd,
- de mineralisatiesnelheid aan het bodemoppervlak (complex); omdat in het complex zuurstof niet als toestendsvariabele wordt onderscheiden, is de mineralisatiesnelheid afhankelijk gemaakt van de som van de diffusiefluxen van en naar het complex en de produktie- en verbruiksfluxen in het complex,
- de mineralisatiesnelheid in de bodem,
- de nitrificatiesnelheid in het water (afnemend bij lage O_2 -concentratie),
- de denitrificatiesnelheid in het water (toenemend bij lage O_2 -concentratie),
- de nitrificatiesnelheid in het complex (hoog bij een positieve som van de O_2 -fluxen),
- de nitrificatiesnelheid in het complex (hoog bij een positieve som van de O_2 -fluxen),

- de denitrificatiesnelheid in het complex (hoog bij een negatieve som van de O₂-fluxen),
- de nitrificatiesnelheid in de bodem (afhankelijk van de O₂-flux naar de bodem).

2.3. DE ULVA MODULE

De mogelijkheden tot simulatie van Ulva in het Veerse Meer zijn bekeken middels een uitgebreid literatuur onderzoek naar de fysiologische eigenschappen die hierna kort zijn weergegeven. De groei van Ulva en de biochemische samenstelling is tamelijk uitvoerig onderzocht. De afhankelijkheid van licht, temperatuur, nutriëntentoevoer en stroomsnelheid van het omringende water is bekeken. Ulva blijkt goed te kunnen gedijen onder zeer verschillende omstandigheden. Voor de opname van nutriënten en de groei geldt dat een hoge snelheid kan worden bereikt over een breed gebied van milieucondities. Bovendien is Ulva zeer resistent tegen ongunstige omstandigheden.

Saliniteit

Ulva komt voor in een breed saliniteitsgebied getuige het vaak massaal voorkomen in havens. Een gemeenschappelijke punt bij Ulva-problemen is een eutrofe (brak-)mariene situatie met zoetwater invloed. Omdat het streven er voor het Veerse Meer op gericht is de saliniteit te verhogen, is de afhankelijkheid van saliniteit niet uitgezocht. Enige invloed is erg onwaarschijnlijk omdat Ulva ook heel goed groeit bij hogere saliniteiten (b.v. in rock pools in noord Joegoslavië, saliniteit 35-38 promille, Zavodnik, 1987).

Licht

De relatie instraling-groei is door een aantal onderzoekers bekeken (Fortes and Luening, 1980; Rosenberg and Ramus, 1982; Duke et al., 1986; Vermaat en Sand-Jensen, 1987). Fortes en Luening vonden een breed gebied van maximale groei bij instralingen boven ongeveer 70 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ (gemeten tot 250 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$). De groei bleek niet terug te lopen bij hogere instraling. Uit de andere studies blijkt dat de respons van Ulva op licht afhankelijk is van de nutriënten status en de biochemische samenstelling. Er kunnen, afhankelijk van de condities, zowel interne voorraden van N als voorraden C worden aangelegd die bepalen hoe snel de plant kan groeien als er voldoende licht is. Bovendien blijkt de fotosynthetische efficiëntie variabel. Vermaat en Sand-Jensen hebben onderzocht hoe Ulva zich gedraagt onder extreme condities. Als er heel weinig licht is verschuift het 'light compensation point' (LCP) naar lagere intensiteiten en gaat de fotosynthetische efficiëntie omhoog (tabel 2.2).

Tabel 2.2
Aanpassing Ulva aan lage instraling

Instraling ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	LCP ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	Efficiency* (mol C/E)	gem.groeisnelh. (mgC/gC/d)
1.7	0.9	0.024	7.05
7.5	2.4	0.011	18.01
56.3	6.3	0.005	85.50
* Efficiency in mol koolstof per eenheid ingestraald licht			

Ulva schijnt geen schade te ondervinden van hoge instralingsniveaus. Een blootstelling van 1 a 2 uur aan 2000 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ gaf geen cytomorfologische schade (Fortes en Luening, 1980). Gezien de instralingsniveaus in het Veerse Meer zal er van groeiremming tengevolge van teveel licht waarschijnlijk geen sprake zijn. Ook het verlengen van de lichtperiode leidt niet tot verzadiging van de produktie. Integendeel, met toenemende daglengte stijgt de groeisnelheid (per dag) mee (Fortes en Luening, 1980) tot een maximum dat bereikt wordt bij 16 uur licht.

Temperatuur

Ulva heeft een breed temperatuur optimum. Een in het voorjaar bemonsterde plant bereikte al bij ongeveer 10 °C de maximale groeisnelheid. Deze blijft behouden tot ongeveer 20 °C (Fortes en Luening, 1980). Waarschijnlijk is dit brede optimum naar hogere temperaturen verschoven als een zomermonster wordt genomen.

Bij lage temperaturen was de groeisnelheid heel laag maar de groeicapaciteit bleef behouden. Bevriezing bleek de enige behandeling te zijn die werkelijke vernietiging van groeipotentieel tot gevolg had (Vermaat en Sand-Jensen, 1987).

De temperatuur van 10 °C wordt in het Veerse Meer doorgaans bereikt rond dag 120 (1 mei) terwijl de temperatuur bij het opzetten van het peil (1 april) meestal ongeveer 6-8 °C is. Op grond hiervan kan gesteld worden dat voor het opzetten van het peil waarschijnlijk geen substantiele groei van Ulva plaatsvindt en dat de groei in de maand april begint.

Stikstof-opname

De N-opname van Ulva is gekoppeld aan de opname van de andere nutriënten (en licht). Afhankelijk van de omstandigheden worden C voorraden (in de vorm van stijfsel) of N-voorraden (in de vorm van eiwit en ander organisch-N) aangelegd. Deze ontstaan als er een groeilimitatie optreedt. Bijvoorbeeld, als er weinig licht is en overvloedig N zal er een N-voorraad worden gevormd terwijl bij overvloedig licht en N-limitatie een C-voorraad wordt opgebouwd. Met deze voorraden kan de plant een hoge groeisnelheid handhaven als er meer licht komt, ook als de N-concentratie in het water laag is. De interne voorraad kan voldoende zijn voor ongeveer 9 dagen groei in N-loos medium (Fujita, 1985). Door de grote oppervlakte/inhoud verhouding van de plant (ratio is ca. 165; Rosenberg en Ramus, 1984) kan de plant heel snel deze voorraad opnemen. Fujita (1985) berekende dat Ulva uit een puls N van 0.3 mg N/l in 10 uur voldoende N kan opnemen om 9 dagen met dezelfde snelheid door te groeien.

Als gevolg van deze voorraadvorming is de N-inhoud variabel. In de literatuur worden waarden tussen 0.5 en 5 % DW (Dry Weight) ge-

vonden (Fujita, 1985; Zavodnik, 1987; Rosenberg en Ramus 1982; Atkinson en Smith, 1983; Duke et al., 1986; Faganeli et al., 1986). Uitgaande van een C-inhoud van 30% van het DW betekent dit een C/N verhouding van 6 tot 60.

Fosfaat-opname

Aangezien er in het Veerse Meer altijd voldoende P aanwezig is is de P-huishouding niet uitgebreid bekeken. Ook de P-inhoud varieert. In de literatuur worden waarden tussen 0.03 en 0.3 % DW (C/P = 100-1000) vermeld (Atkinson en Smith, 1983; Faganeli et al., 1986)

Koolstof-inhoud

De C-inhoud kan variëren (literatuur: 12-48 % DW) maar 30 % DW wordt als een gemiddelde waarde beschouwd en als zodanig gebruikt in berekeningen (Vermaat en Sand-Jensen, 1987).

Stroomsnelheid

Met toename van de stroomsnelheid van het water neemt de groeisnelheid toe. De grootte van de toename hangt af van hoe optimaal de condities zijn. Bij optimale groeiomstandigheden (veel licht, hoge N-concentratie) is het effect het sterkst (Parker, 1981).

De Ulva-module

Gezien de onzekerheden over de groei en samenstelling van Ulva in het Veerse meer is een zo algemeen mogelijke, geheel empirische module geschreven waarvan de belangrijke parameters via de invoerfile kunnen worden gewijzigd. Als uitgangspunt is de biomassa inventarisatie door Hannewijk (1987) (zie Hoofdstuk 3) genomen alsmede de waarneming dat rond 1 april en rond 1 december geen biomassa aanwezig is. De module is verder gebaseerd op een geschatte biomassaontwikkeling en een geschatte mortaliteit. In de invoerfile is de cumulatieve biomassa en de cumulatieve afgestorven biomassa als een tijdreeks gegeven. Deze getallen zijn zo genormaliseerd dat de netto biomassa (netto biomassa = bruto biomassa - afgestorven biomassa) maximaal 1 wordt. Deze genormaliseerde getallen (die de biomassaontwikkeling weergeven) worden voor ieder segment vermenigvuldigd met een schaalfactor die de maximale netto biomassa (in grammen drooggewicht per segment) in het segment vertegenwoordigt. Verder wordt in de invoerfile opgegeven welke fractie van het drooggewicht aan C aanwezig is (default 0.3) en welke C/N verhouding (default 15) en C/P verhouding (default 200) worden aangenomen. Met deze gegevens (max.biomassa per segment, C/N verhouding en C/P verhouding) kan het programma draaien.

De mortaliteit loopt wat achter de groei aan, dwz dat de hoogste groeisnelheid in een eerdere periode valt dan de hoogste mortaliteit. De hoogste biomassa wordt bereikt in juli en de hoogste afsterfsnelheid in augustus. De genormaliseerde netto produktie is 2,5/j en de hoogste actuele biomassa 1 zodat een P/B (produktie/biomassa) verhouding van 2,5/j gehanteerd is. Mocht (uit toekomstig onderzoek) blijken dat deze P/B ratio niet overeenkomt met gemeten waarden dan kan deze door het veranderen van de invoerfile worden aangepast.

Gezien het ontbreken van structuurelementen in Ulva wordt de afgestorven biomassa direct aan het complex detritus toegevoegd waar het met de daar geldende kinetiek wordt afgebroken. Het wordt dus gelijk gesteld aan afgestorven fytoplankton.

Tabel 2.3

Maximale zeesla-biomassa per segment (ton ADG)

west:	185	midden:	340	oost:	112
-------	-----	---------	-----	-------	-----

2.4. OVERIGE FORCING FUNCTIONS: ZOOPLANKTON EN BODEMFAUNA

2.4.1. Zooplankton

De forcing function voor zooplankton is gebaseerd op het onderzoek van Revis en Bakker (1988) in het Veerse Meer.

Uit de resultaten van dit onderzoek zijn maximale en minimale waarden voor de biomassa afgeleid. Hieronder worden enkele gegevens voor station V1 als voorbeeld gegeven:

0-4 m :	maximum 2850 mg NW/m ³ (op 02/06)
0-4 m :	minimum ca. 25 mg NW/m ³
4-6 m :	maximum 2200-2500 mg NW/m ³ (op 07/05-02/06)
4-6 m :	minimum ca. 25 mg NW/m ³
8-10 m :	maximum 125 mg NW/m ³ (op 19/05)
8-10 m :	minimum ca. 1 mg NW/m ³

De gemeten biomassa's (in natgewicht per m³) moeten vermenigvuldigd worden met een onzekere factor om te compenseren voor de onderschatting die het gevolg is van de bemonsteringstechniek. Door het gebruik van een pomp met een relatief lage capaciteit bleven de grote soorten buiten de monsters (Revis en Bakker, 1988). Om dezelfde reden is de conversie van natgewicht naar koolstof ook onzeker. Voor de zooplankton functie in VEERWAQ is er vanuit gegaan dat de gemeten maximum biomassawaarden met 2 vermenigvuldigd moeten worden. Voor de conversie van natgewicht naar koolstof is een factor 0.045 gebruikt (Bakker en Nieuwenhuize, 1979). Hiermee worden maxima berekend van ongeveer 1 g C/m²; dit is bijna een factor 2 hoger dan in het Grevelingenmeer. Verder heeft de biomassa-functie dezelfde vorm als in GREWAQ, d.w.z. de functie (ZP) is symmetrisch over het jaar met het maximum op dag 180

$$ZP = 2 + 200 * \sqrt{1 - \tanh((\text{time} - 180)/40)^2} \quad (\text{in mgC/m}^3)$$

Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen oost, midden en west. Er wordt echter wel een onderscheid gemaakt tussen de boven en tussenlaag enerzijds en de onderlaag anderzijds: Voor de onderlaag wordt $0,05 * ZP$ gebruikt.

Met een pompsnelheid van 1,0-1,5 m³/gC/d filtreert de maximale biomassa ($ZP = 200 \text{ mg C/m}^3$) het gehele watervolume van het meer in 3-5 dagen door. Er is echter ook een saturatie-voedselconcentratie geformuleerd van 0,5 g C/m³ (ca. 10 µg Chl/l), waarboven de voedselopname (de filtratie) constant blijft, en de pompsnelheid dus

afneemt. De maximale filtratie komt daarmee op 0.15 g C/m^3 (ca. $3 \text{ } \mu\text{g Chl/l/d}$). Dit komt overeen met een dagelijks rantsoen van 75% van het lichaamsgewicht per dag, een maximale waarde die door Tackx (1987) is gevonden voor de Oosterschelde.

2.4.2. Bodemfauna

De forcing functions voor de bodemfauna zijn op dezelfde manier geformuleerd als in GREWAQ voor het Grevelingenmeer:

- aparte functies voor suspensie-eters en sediment-eters voor elk segment, en per functionele groep
- een sinusvormig verloop van de biomassa over het jaar, met een minimum op 1 april en een maximum op 1 september, en een amplitude van 0,67. De maximale biomassa is dus twee maal zo groot als de minimale biomassa. De variatie in stikstof-inhoud is minder groot, omdat de biomassa toename gedurende de zomer deels wordt veroorzaakt door glycogeen opslag. De specifieke pompsnelheid varieert minder dan proportioneel met de biomassa (dus minder dan een factor 2).

Tabel 2.4

Biomassa van bodemfauna, per segment per functionele groep, in gC/m^2 , zoals ingevoerd in VEERWAQ

	bovenlaag	middenlaag	onderlaag	gemiddeld
suspensie-eters:				
west	13.5	13.5	-	
midden	6.7	2.7	-	
oost	2.5	2.9	-	
totaal			-	7.7
sediment-eters:				
west	1.2	0.7	-	
midden	1.1	0.4	-	
oost	2.6	0.7	-	
totaal			-	0.85

De gemiddelde biomassa per segment per functionele groep, zoals ingevoerd in VEERWAQ, staat weergegeven in tabel 2.4. Deze tabel is gebaseerd op gemeten gegevens (zie hoofdstuk 3), en de volgende bewerkingen daarvan:

- interpretatie van de gemeten najaarsgegevens als jaargemiddelde biomassa's
- verhoging van de suspensie-eters biomassa in vooral de bovenlaag van west en midden, op grond van pers. med. van J. Coosen. De reden is dat door de monsternamen methode (van Veenhapper) diepgravende soorten zoals volwassen strandgapers niet werden waargenomen, en de biomassa suspensie-eters in de meetgegevens dus is onderschat.
- de toedeling van de in de onderlaag gemeten biomassa's aan de middenlaag, omdat de grenzen van de dieptestrata die bij de

verwerking van de gegevens zijn gehanteerd niet overeenkomen met de grenzen van de VEERWAQ segmenten

- een conversie van asvrij drooggewicht (ADG) naar koolstof (C) van $C/ADG=0,4$.

3. BESCHRIJVING HUIDIGE SITUATIE

Het Veerse meer (figuur 2.1) is een zout/brak water meer dat kampt met de problemen van eutrofiering. De problemen worden veroorzaakt door de hoge belasting van het meer, enerzijds met zoet water waardoor stratificatie ontstaat en anderzijds met nutriënten waardoor een hoge primaire productie in het meer plaatsvindt. De combinatie van deze twee factoren heeft anaërobie op grote schaal in de diepere waterlagen ten gevolge. Een ander gevolg van de voedselrijke situatie is de uitbundige aanwezigheid van zeesla (*Ulva*) in de ondiepe gebieden (tot ca. 1,5 m).

Naast de uitgebreide waterkwaliteits dataset is er relatief weinig informatie over andere parameters en over processnelheden. Er is in het verleden aandacht besteed aan de grootte van de primaire productie en in 1986-1988 zijn een aantal metingen uitgevoerd om ontbrekende informatie aan te vullen. Helaas zijn in de periode van aanvullende metingen de waterkwaliteitsparameters alleen in de toplaag gemeten. Omdat de onzekerheden in de aanvullende informatie door de aard van de parameters veel groter zijn dan in de waterkwaliteitsparameters zijn gegevens van 1983-1984 gebruikt voor de calibratie aangevuld met de informatie die in 1986-1988 verkregen is.

Voor een goede interpretatie van de meetgegevens is inzicht in het functioneren van het systeem noodzakelijk. Deze analyse richt zich vooral op de N-huishouding omdat die van doorslaggevend belang wordt geacht voor het functioneren van het ecosysteem. Door van der Meulen en Havermans zijn stofbalansen voor het meer opgesteld voor de jaren 1972 tot 1981.

3.1. BELASTING VAN HET SYSTEEM

Het Veerse meer wordt zwaar belast. Er is een grote zoetwaterlast vanuit de polders met vaak hoge N-gehalten. De stofbalansen van het meer (1972-1981) (v/d Meulen en Havermans 1982; Havermans 1982) geven interessante informatie:

3.1.1. Fosfaat-balans

De jaarlijkse belasting van het Veerse Meer met fosfaat varieert in de periode 1972-1981 tussen 3 en 7 gP/m²/j. De balans voor P-totaal is ongeveer in evenwicht op jaarbasis. Aangezien er over het algemeen meer ortho-fosfaat uitgaat dan er in komt functioneert het meer als een afbraaksysteem van organisch-P.

3.1.2. Silicium-balans

De jaarlijkse belasting van het Veerse Meer met silicium varieert in de periode 1972-1981 tussen 20 en 55 gSi/m²/j. De silicium balans is niet in evenwicht. Er komt over het algemeen veel meer binnen dan er uitgaat. Omdat echter alleen SiO₂ wordt gemeten is het zowel mogelijk dat Si accumuleert in het meer als dat er export van particulier gebonden Si plaatsvindt.

3.1.3. Stikstof-balans

De jaarlijkse belasting van het Veerse Meer met stikstof varieert in de periode 1972 - 1981 tussen 20 en 50 gN/m²/j. De bijdrage van het polderwater en het kanaal door Walcheren aan de belasting zijn het grootst (samen ≥ 75%). De import vanuit de Oosterschelde via de Zandkreeksluis draagt 10-20% bij. De bijdrage via de neerslag is gering, ≤ 5%. (zie ook figuur 4.6).

De balans voor totaal-N is ver uit evenwicht: Van de hoeveelheid stikstof die het meer binnenkomt is op jaarbasis 40% of meer niet terug te vinden als uitgaande stofstroom. Dit percentage stijgt gedurende de jaren 1976 - 1982 (zie tabel 3.1). Het is niet bekend of dit retentie percentage na 1981 hoog blijft of zelfs doorstijgt. Waarschijnlijk is dit N-verlies grotendeels een gevolg van denitrificatie maar de mogelijkheid van accumulatie in het meer door ophoping in het sediment kan niet worden uitgesloten. De balans van organisch-N is ongeveer in evenwicht.

Tabel 3.1

De stikstof-belasting en de niet in de export teruggevonden hoeveelheid N (de 'retentie' als % van de input)

	Retentie-percentages		Input N-totaal (g/m ² /j)
	N-totaal (%)	N-mineraal (%)	
1972	42	74	24
1973	41	56	30
1974	39	42	52
1975	40	53	34
1976	37	53	20
1977	54	69	38
1978	54	77	30
1979	58	80	40
1980	60	80	37
1981	65	83	39

De N-input lijkt wat te stijgen met de tijd maar dit is een effect van de hoeveelheid neerslag. Tot 1981 zijn er geen aanwijzingen in de massabalansen dat er een toenemende belasting met N is. De onzekerheid in de belastinggegevens is echter groot (v/d Meulen en Havermans, 1982)

3.1.4. Periode van belasting

Voor het functioneren van het systeem is het van belang in welke periode van het jaar de belasting van het meer plaatsvindt. Door het verlagen van het peil in de winter en het weer opzetten in het voorjaar (ca. 15% van het volume) ontstaat een aanzienlijke uitwisseling met de Oosterschelde. Als de polderbelasting voornamelijk plaatsvindt vlak voor of tijdens het aflaten van het water is de feitelijke belasting van het systeem lager dan berekend. In figuur 3.1 staan de belastingen door de diverse gemalen gegeven in tonnen mineraal N ($\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$) per maand. Deze getallen zijn simpelweg berekend door de debieten te vermenigvuldigen met de maandelijks gemeten concentraties. Waar metingen ontbraken werden deze aangevuld op grond van de concentraties voor andere gemalen in vergelijking met de concentraties op de voorgaande en volgende meetdag. De onzekerheid in deze polderwaterconcentraties is groot, en er is geen duidelijk verschil tussen bijvoorbeeld zomer en winterconcentraties. De variatie van de belastingen wordt dus vooral bepaald door de variatie in de debieten.

Uit figuur 3.1 komt duidelijk naar voren dat belasting voornamelijk optreedt tijdens winter en voorjaar, van november tot mei. Tijdens de zomer (augustus 1987) vindt ook enige belasting plaats maar dit moet worden toegeschreven aan de extreem slechte zomer van 1987 en is waarschijnlijk geen normale situatie. De grootste belastingen komen van de gemalen de Piet en Oostwatering. Een andere belangrijke belastingsbron is het lek van de sluis van Veere. Hoewel de debieten van dit lek drastisch zijn afgenomen sinds de reparatie van de sluis blijft de belasting relatief belangrijk omdat de lekstroom altijd aanwezig is, ook tijdens droge periodes in de zomer als er niet geloosd wordt door de polders. Het lekdebiet dat aanvankelijk was geschat op $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$, blijkt bij meting maximaal $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ te zijn (Iedema, pers. med.). Het relatieve belang van deze N-bron is af te lezen uit tabel 3.2.

Tabel 3.2

N-mineraal belasting in tonnen N per maand

	dec86	jan	febr	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt
pold.	68	41	34	37	3.4	3.2	12				
lek	3.2	6	3	4.5	2.2	0.6	1.9	0.7	0.7	0.6	2.5

Het lek heeft dus een substantieel aandeel in de belasting met name in de zomer als de belasting met polderwater erg laag is.

Figuur 3.1, en tabel 3.2 laten zien dat het voorjaar een kritische periode is voor het meer. Gedurende en voorafgaande aan die periode is de N-belasting hoog en begint het groeiseizoen van de primaire producenten. Deze leggen de in het meer geloosde hoeveelheid N vast in organisch materiaal waardoor deze in het systeem blijft. Bovendien wordt in deze periode het zomerpeil opgezet, waardoor minder netto afvoer naar de Oosterschelde optreedt. De periode van N-belasting, de begintijd van het groeiseizoen en de 'timing' van peilopzetten en aflaten kan vergaande consequenties hebben voor het gedrag van het ecosysteem gedurende de rest van het seizoen.

De N-belasting is grotendeels in de vorm van nitraat. Hoewel de organische N belasting slechts enkele keren is gemeten (via N-totaal) lijkt deze fractie niet zo groot en op jaarbasis is de stofbalans voor deze fractie in evenwicht (v/d Meulen en Havermans 1982; Havermans 1982). Mogelijk gaat het hier om gedeeltelijk refractair materiaal.

Door inlaten van Oosterscheldewater tijdens het opzetten van het peil neemt het volume ca. 15% toe. Omdat het Oosterschelde water minder mineraal-N bevat (in 1984: maart V1: 2,2 mg N/l; ZM15: 1,8 mg N/l) komt dit neer op een verdunning. Door volume toename neemt de N-inhoud van het meer echter wel toe met 1.5 g/m².

3.2. WATERKWALITEITS PARAMETERS

Voor de ontwikkeling van het ecologisch model VEERWAQ staat een grote dataset ter beschikking. Gedurende lange tijd zijn er waterkwaliteitsmetingen gedaan (1972 - heden) op de drie meetpunten V1, V2 en V3 (zie figuren 3.2 - 3.4) (de WAKWAL dataset).

Tot en met 1984 is er op ieder meetpunt op drie dieptes (oppervlakte = 1m, halve diepte, 1m boven de bodem) gemeten met een frequentie van eens per maand. Na 1985 zijn de metingen alleen voor de top laag voortgezet. In 1985 en 1986 zijn nog enkele metingen in diepere lagen beschikbaar. Dit geldt niet voor Temperatuur, Zuurstof en Saliniteit die in het kader van de toepassing van STRESS op veel plaatsen (17) en frequent gemeten zijn (de zgn VTSS metingen).

In figuren 3.2 - 3.4 zijn de variaties in een aantal waterkwaliteits parameters weergegeven voor de periode januari 1980 tot en met september 1987. De nadruk is gelegd op de 'respons'-parameters chlorofyl en zuurstof en de belangrijkste conditionerende parameters: ammonium, nitraat, silicium en ortho-fosfaat. Waardes voor metingen op drie dieptes zijn gegeven nl. 1 m, halve diepte en 1 m boven de bodem. Na 1984 zijn er echter nog maar enkele gegevens voor de diepere lagen.

De drie meetpunten gedragen zich niet identiek. Ruwweg lijken V1 en V2 (oost en midden) veel op elkaar en wijkt V3 (west) af. Het belangrijkste verschil is dat op V1 en V2 stratificatie optreedt terwijl dit op V3 slechts in geringe mate gebeurt. Dit is zichtbaar in alle plaatjes. Zowel de temperatuurcurves als de O₂ curves geven aan dat de stratificatie al begin april tot stand komt wanneer door het opzetten van het zomerpeil de putten gevuld worden met zouter Oosterschelde water. In het oostelijk deel (V1) loopt de temperatuur van de onderlaag gedurende het jaar langzaam op totdat er menging optreedt eind oktober. In het midden (V2) loopt de temperatuur nauwelijks op zodat de temperatuur van de onderlaag nauwelijks boven de 8 graden komt. De stratificatie is op dit punt kennelijk zeer stabiel. In het westen (V3) treedt soms midden in de zomer een gering temperatuur verschil tussen onder en bovenlaag op. Er kan zelfs een temperatuurdaling in de zomer optreden in de onderlaag, waarschijnlijk door opmenging met kouder water uit aangrenzende diepere lagen.

3.2.1. Zuurstof

De zuurstof curves tonen dat de stratificatie tot grote zuurstofproblemen leidt. In het oosten (V1) is de onderlaag anaeroob van mei tot november en soms zelfs tot maart van het volgende jaar. Ook de middenlaag volgt dit patroon maar de anaerobie treedt ongeveer een maand later op en deze laag wordt in de winter weer aeroob. De plotseling toenemende zuurstofconcentratie in de onderlaag na dag 80 (eind maart - begin april) wordt veroorzaakt door het opzetten van het zomerpeil: zout (dus zwaar) en zuurstofrijk Oosterschelde water stroomt dan door de diepere delen van het Veerse meer. Dit effect is ook nog zichtbaar in het midden (V2) en op het westelijk meetpunt (V3).

In het oostelijk deel van het meer bereiken zowel de onder- als de middenlaag zelden de zuurstofconcentraties van de toplaag. Hetzelfde geldt in grote lijnen voor het middendeel (V2), maar de anaerobe periode is in het algemeen iets korter en de zuurstofconcentratie van de toplaag wordt wel bereikt gedurende de winter.

In het westelijk deel (V3) wordt de onderlaag in de zomer ook anaeroob maar gedurende een kortere periode. Bovendien blijkt deze anaerobie niet stabiel.

3.2.2. Concentraties van nutriënten

Stratificatie en het optreden van anaerobe omstandigheden wordt ook aangegeven door het verloop van de NH_4 concentratie. Er is een heel duidelijk verband tussen het optreden van stratificatie en de NH_4 concentratie. De NH_4 concentratie curves weerspiegelen dat in het oostelijk deel de spronglaag hoger ligt omdat in de middenlaag ook als regel verhoogde NH_4 concentraties voorkomen. Dit is in het midden (V2) alleen in 1983 en 1984 en in het oosten (V3) nooit het geval.

Voor nitraat + nitriet treden er ook verschillen op tussen de drie meetpunten. In het westen (V3) is de concentratie op alle dieptes gedurende nagenoeg het hele jaar gelijk. In het midden (V2) kunnen kleine verschillen optreden terwijl in het oosten (V1) de concentratie in de onderlaag altijd lager is in de winter dan in de hogere waterlagen.

De ammonium en nitraat + nitriet concentraties zijn in de bovenlaag op alledrie de monsterpunten (nagenoeg) uitgeput gedurende de zomer. Dit indiceert een overheersende stikstoflimitatie gedurende het gehele groeiseizoen, en dus het belang van de stikstofbelasting op het meer en de stikstofhuishouding.

De silicium concentratie in de onderlaag neemt net als de ammonium concentratie sterk toe onder gestratificeerde omstandigheden. Dit illustreert het belang van de bodemflux voor deze twee nutriënten. In tegenstelling tot anorganisch stikstof raakt de silicium concentratie in de bovenlaag (nagenoeg) nooit uitgeput. Alleen in het oostelijk deel van het meer (V1) lijkt er tijdens de voorjaarspiek silicium limitatie op te treden.

Het gedrag van orthofosfaat lijkt sterk op dat van silicium: toenemende concentraties in de onderlaag onder gestratificeerde omstandigheden; niet limiterende en gedurende het groeiseizoen zelfs

toenemende concentraties in de bovenlaag; alleen in het oosten (V1) en alleen tijdens de voorjaarspiek mogelijk enige fosfaatlimitatie.

3.2.3. Chlorofyl concentraties

De gemeten chlorofyl concentraties vertonen zomerniveaus onder de 20 µg/l op de drie meetpunten; De hoogte van de voorjaarspiek vertoont grote verschillen zowel tussen de jaren als tussen de meetpunten (tabel 3.3). De voorjaarspiek kan bijzonder hoog zijn; Een niveau van ca 100 µg/l wordt regelmatig gehaald, terwijl in 1985 zelfs 200 µg/l is gemeten. Deze hoge concentraties worden steeds in het oosten gemeten. De meetfrequentie (1x per maand) is laag t.o.v. de variaties in chlorofyl concentratie zoals die zich in dergelijke systemen voordoen. Dit is de meest waarschijnlijke verklaring voor de verschillen in de metingen tussen de jaren. Zo zijn in 1982-1983 frequenter metingen gedaan ten behoeve van het primaire productie onderzoek (Stronkhorst, Duin en Haas, 1985). De door hen gevonden hoogste concentraties tijdens de voorjaarspiek zijn veel hoger dan de hoogste gemeten concentraties volgens de WAKWAL dataset (zie tabel 3.3). Het is ook mogelijk dat de hoogte van de voorjaarspiek sterk varieert afhankelijk van de omstandigheden (bijv. de timing van belasting, de hoogte van de spronglaag ten gevolge van het opzetten van het peil en weersomstandigheden). Uit de aanwezige gegevens valt dit niet af te leiden.

Tabel 3.3
Gemeten chlorofyl concentraties (µg/l)

jaar	hoogste concentratie				zomerniveau		
	V1	V2	V3	*	V1	V2	V3
1977	29	55	37	100	29	55	37
1978	81	34	15	115	18	24	15
1979	159	25	26	221	8	7	6
1980	46	19	36	185	7	3	3
1981	105	31	47		5	7	4
1982	32	12	28	70	6	4	7
1983	94	68	13	190	8	3	5
1984	81	87	77		8	6	4
1985	199	203	168		11	8	4
1986	29	14	13		10	3	3
1987	18	16	20		-	-	-
* : v.d. Meulen en Havermans, 1982; Stronkhorst et al., 1985							

3.2.4. Sulfide

In de periode 1978 tot 1985 zijn er sulfidemetingen gedaan in de waterlagen bij de bodem op de punten V1, V2, VM4 en VM7 (RWS-DGW ongepubliceerde gegevens). In het derde kwartaal van het jaar kunnen hoge sulfideconcentraties boven de bodem worden bereikt, regelmatig tot 15 mg/l en in 1983 tot 30 mg/l in het oostelijk deel (V1). Gezien het zuurstofverbruik bij de oxidatie van sulfide komt 30 mg S/l overeen met -60 mg O₂/l.

3.2.5. Waterkwaliteit en stratificatie

De hierboven beschreven fenomenen t.g.v. stratificatie komen ook duidelijk naar voren in de analyse van de stratificatie in het Veerse Meer door Stronkhorst (1983) voor de jaren 1980, 1981 en 1982. De stratificatie bouwt zich op vanuit het oosten met het ingelaten Oosterschelde water. Een andere herkenbare bron van zout water is het kanaal door Walcheren. Op grond van de chloride isopleten voor de zomer van 1981 kan worden geconcludeerd dat de invloed van zout Oosterschelde water gedurende de zomer doorwerkt tot de oostkant van de Middelpalen. Analyse van de VTSD dataset van 1986-1987 geeft aan dat de diepte (t.o.v. wateroppervlak) waaronder < 5 mg O₂/l aanwezig is en de diepte waaronder < 2 mg O₂/l aanwezig is gedurende het seizoen opschuiven naar boven tot en met augustus. De 2 mg/l grens komt gedurende het seizoen in het oosten tot 6 a 7 meter, in het middensegment tot 7 a 8 meter en in het westelijk segment tot 7 a 9 meter. Alleen in het westen varieert deze grens gedurende het seizoen aanzienlijk; in de andere segmenten blijkt deze diepte redelijk stabiel te zijn. De spronglaag blijkt in het gehele meer gedurende het groeiseizoen (in 1986 en 1987) in hoogste positie op ongeveer 4 tot 5 meter te liggen.

Als de grens van 2 mg O₂/l op 1 meter boven de bodem wordt genomen als indicator van anaeroob bodemoppervlak dan is de grootte van het anaerobe bodemoppervlak in de zomer tussen 196 en 458 ha (resp. 9 en 22 % van het bodemoppervlak). Dit komt redelijk overeen met de berekeningen en schattingen van Stronkhorst voor 1980-1983 (Daemen, 1985).

3.3. BIOLOGISCHE KENMERKEN

3.3.1. Ulva

In de zomer van 1986 is de biomassa en de verspreiding van Ulva (zeesla) in het Veerse Meer bekeken (Hannewijk, 1988). Ulva komt vooral voor tot 1,5 m waterdiepte. Dit diepte stratum is grotendeels voor meer dan 50% bedekt met macrofyten waarvan Ulva verreweg de belangrijkste is (gemiddeld 89%). Voor de monsterpunten waar 100 % van de bodem bedekt was met uitsluitend Ulva (> 95%) was de gemiddelde biomassa 166 g/m² asvrij drooggewicht (ADG)

(standaard deviatie ca. 74 g/m², uitersten 63 en 321 g/m² bij n=34).

De totale biomassa in het meer werd berekend op 615 ton ADG, hetgeen als de maximale biomassa kan worden beschouwd. Dit komt overeen met 750 ton drooggewicht of 3590 ton natgewicht. In het oosten van het meer komt meer *Ulva* voor dan in het westen. De biomassa's kunnen op nabijgelegen locaties aanmerkelijk verschillen. Belangrijke hoeveelheden zeesla bevinden zich in het ondiepe gebied ten oosten van de Middelplaten tot en met de Schelphoek, aan de Noord-oostkant van de Haringvleter en rond de punt van de Goudplaat. Recente metingen door het DIHO (Nienhuis, 1988) geven aan dat de C/N verhouding oploopt van 8 in april tot 33 in september.

Gemiddeld over het gehele oppervlak van het meer is de maximale biomassa in koolstofeenheden bijna 10 gC/m² (C/ADG=0.3, zie paragraaf 2.3). De zeesla biomassa per oppervlakte-eenheid in het Veerse Meer is daarmee vergelijkbaar met of zelfs wat lager dan de zee gras biomassa in het Grevelingenmeer, althans tot 1986 (15 gC/m², de Vries et al, 1988). De hoeveelheid stikstof opgeslagen in zeesla bedraagt daarmee maximaal 0.7 gN/m² (gemiddelde C/N-ratio=15, vergelijk paragraaf 2.3). Dit is een zeer gering deel van de totale hoeveelheid stikstof in de stofkringloop van het Veerse Meer, naar schatting minder dan 5%.

3.3.2. Fytoplankton

De fytoplankton biomassa kan worden geschat op grond van chlorofyl concentraties en POC-concentraties.

In het onderzoek naar de primaire productie in het Veerse Meer (Stronkhorst, Duin en Haas, 1985) is gekeken naar de relatie tussen POC en chlorofyl concentraties. In 1982 waren de concentraties van beide parameters veel lager dan in 1983. Bovendien blijkt er een sterke gradient te bestaan over het meer van west naar oost. In het oosten (V1) werd in 1983 een maximum POC concentratie gemeten van 7 mg/l (chl > 150 µg/l) terwijl het maximum in het westen (V3) niet boven 1,5 mg/l (chl < 25 µg/l) uitkwam. De POC/Chl verhouding is constant voor chl concentraties boven 30 µg/l namelijk POC/chl = 45. De POC/PON verhouding (bij chl > 30 µg/l) varieert van 3.5-7.3 en de POC/POP van 18-43.

3.3.3. Microfytobenthos

In het voorjaar en in de zomer (25-26 maart en 9 juli) van 1987 is op een groot aantal monsterpunten het chlorofylgehalte van de top-laag van de bodem bepaald (ongeplubiceerde gegevens van het chemisch laboratorium van DGW). De gehalten zijn weergegeven in µg Chl per gram sediment (drooggewicht), terwijl ook het bodemvocht percentage is gemeten. De gegevens zijn onder de volgende aannamen omgerekend naar microfytobenthos biomassa in mg Chl/m² en gC/m²:

- soortelijke massa droog sediment: 2680 kg/m³
- laagdikte van het bodemonster: 1 cm
- C/Chl-ratio van microfytobenthos: 40

In het voorjaar variëren de gehalten tussen 65-700 mg Chl/m² en 2,5-28 gC/m². In de zomer variëren de gehalten tussen 60-500 mg Chl/m² en 2,5-20 gC/m². De gevonden waarden zijn zeker een factor

2 hoger dan in het Grevelingenmeer. Ook lijkt er duidelijker dan in het Grevelingenmeer sprake te zijn van een hoge voorjaarspiek en lagere zomerwaarden.

3.3.4. Zooplankton

De biomassa van zooplankton is gemeten in 1987 (Revis en Bakker, 1988). Onzekerheden met betrekking tot het invangen van grotere soorten met de gebruikte bemonsteringspomp maken dat de biomassa gegevens onderschattingen zijn. De gemeten concentraties liggen tussen ca. 25 mg Natgewicht/l (NW/l) en 2850 mg NW/l in de bovenlaag en tussen 1 mg NW/l en 125 mg NW/l onder de spronglaag (8-10m). Met correctie voor de monsterfout met een factor 2 en met een conversiefactor van 0.045 voor de omrekening van natgewicht naar koolstof wordt een maximale biomassa van 250 mgC/m³, dus ruim 1 gC/m² berekend. Dit is bijna twee keer de maximale biomassa in het Grevelingenmeer.

3.3.5. Zoobenthos

In het najaar van 1987 (oktober) is op vijftig punten verspreid over het meer de bodemfauna bemonsterd (Seys en Meire, 1988). De soorten samenstelling en de biomassa werden bepaald. Ten behoeve van de vertaling van de inventarisatie gegevens naar de twee functionele groepen bodemfauna die in VEERWAQ worden onderscheiden, en de ruimtelijke schematisatie van het model, zijn de resultaten van de bemonstering samengevat als gemiddelde biomassagetallen voor:

- suspensie-eters (vooral de strandgaper en de kokkel) en alle overige soorten (grazers zoals het wadslakje, sediment-eters en predatoren, beide vooral polychaete wormen)
- het oostelijk deel, het middendeel en het westelijk deel van het meer
- drie diepte-strata: ondiepe bodems (tot 4 a 5 m diep), diepere bodems (tot 7 a 11 m) en diepe bodems (dieper dan 7 a 11 m)

De aldus samengevatte gegevens zijn weergegeven in tabel 3.4.

Tabel 3.4

Gemeten biomassa van bodemfauna per dieptestratum, in het westelijk, midden en oostelijk deel van het Veerse Meer in het najaar van 1987 (in g ADG/m²)

	bovenlaag	middenlaag	onderlaag
suspensie-eters:			
west	11.5	35.1	-
midden	8.5	1.6	-
oost	6.0	7.1	-
overige soorten:			
west	3.5	5.5	-
midden	5.6	0.9	2.6
oost	8.6	2.3	-

De spreiding rond de in tabel 3.4 gegeven gemiddelde biomassa's is groot, meestal van 0 tot 3 a 5 keer het gemiddelde. Dit wijst op een sterk geclusterde verspreiding van de bodemfauna, veroorzaakt door de heterogeniteit van de samenstelling van het sediment, van de bodemligging e.d. Hierdoor wordt de betrouwbaarheid van biomassa schattingen in hoge mate negatief beïnvloed, en kunnen er moeilijk algemene conclusies over de verspreiding worden getrokken. Aan de hand van tabel 3.4 kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de biomassa van suspensie-eters in het westelijk deel van het meer hoger is dan in het midden en het oostelijk deel. Voor de overige soorten is zo'n gradient niet aanwezig. Er is eerder sprake van een tegengestelde gradient, hogere biomassa's in het oosten, althans in de bovenlaag. Vergeleken met het Grevelingenmeer is de biomassa van suspensie-eters in het westen duidelijk hoger, in het midden en oosten enigszins lager en gemiddeld over het gehele meer vergelijkbaar; de biomassa van de overige soorten is lager dan in het Grevelingenmeer.

3.3.6. Primaire Produktie

De primaire produktie in het Veerse Meer in 1982-1983 is beschreven in de nota DDMI 85-10 (Stronkhorst, Duin en Haas, 1985). Gemiddeld over het meer bedroeg de produktie in 1982-1983 ca. 300 gC/m². De verschillen in geschatte produktie voor het oostelijk en het westelijk gedeelte zijn echter groot (zie tabel 3.5).

Tabel 3.5

Geschatte jaarproduktie van fytoplankton in 1983

V1 (oost)	550 gC/m ²
V2 (midden)	168 gC/m ²
V3 (west)	171 gC/m ²
gemiddeld	296 gC/m ²

Deze verschillen worden onder andere toegeschreven aan verschillen in mengdiepte (V1: 5 a 6 m; V3: 21 m) (Stronkhorst, Duin en Haas,

1985), maar ook de grotere biomassa suspensie eters in het westen kan een belangrijke factor zijn. De produktie is N-gelimiteerd en bij hoge chlorofyl concentraties lichtgelimiteerd. Zowel Si als P₀₄ worden niet of slechts een enkel moment (mogelijk) limiterend. Chlorofyl concentraties en N-mineraal concentraties verlopen tegengesteld.

3.3.7. Bodem zuurstof verbruik

In het Veerse meer zijn een aantal metingen van het bodem zuurstof verbruik gedaan. Deze metingen zijn echter weinig frequent zowel in de tijd als naar plaats. Ondanks de zeer grote verschillen in bodemfauna biomassa op de meetpunten (1-100 gC/m²) werden op 1 m diepte bij 18-25 °C overeenkomstige en zeer lage zuurstofconsumptiesnelheden gemeten (ca. 10 mg/m²/d). Alleen al het zuurstofverbruik ten gevolge van de onderhoudsrespiratie van de genoemde bodemfauna biomassa is enkele ordes van grootte hoger.

4. SIMULATIE VAN DE HUIDIGE SITUATIE

In de eerste paragraaf 4.1 van dit hoofdstuk worden de voorlopige calibratieresultaten voor de huidige situatie kort weergegeven. Deze paragraaf is in de eindrapportage opgenomen omdat met deze versie van het model, en de bijbehorende setting van de coëfficiënten, ook de beheervarianten zijn doorgerekend. De resultaten van de simulaties van de beheervarianten moeten dus, terwille van de onderlinge vergelijkbaarheid, worden vergeleken met de voorlopige calibratieresultaten. Dit gebeurt in de hoofdstukken 5 en 6.

Daaraan voorafgaand wordt in paragraaf 4.2 meer gedetailleerd ingegaan op de huidige situatie in het Veerse Meer, aan de hand van de gehercalibreerde versie van het model.

Voor alle gepresenteerde resultaten geldt dat ze zijn verkregen door het model over drie jaar door te starten. Voor nagenoeg alle toestandsvariabelen blijkt dit voldoende te zijn om een steady state op jaarbasis te verkrijgen. Alleen enkele variabelen met lange tijdsconstanten (bijv. bodem-Si) vertonen nog enig verloop in het derde jaar.

Voor een volledige voorbereiding van een modelsimulatie moet naast de calibratie een verificatie plaatsvinden op een onafhankelijke set gegevens. Een dergelijke onafhankelijke verificatie is in het kader van deze studie niet mogelijk geweest. De reden is dat een volledige set gegevens die de huidige situatie van het Veerse Meer weergeven slechts kon worden samengesteld door metingen uit verschillende jaren te combineren (zie hoofdstuk 3).

4.1. RESULTATEN VAN DE VOORLOPIGE CALIBRATIE

In de huidige situatie, met verhoogd zomerpeil, heeft het Veerse Meer een verblijftijd van 180 dagen. De input van polderwater en kanaalwater is bijna 2 keer groter dan de import van O'schelde water (zie Tabel 2.1 op pagina 3).

In de resultaten van de voorlopige calibratie werd ten aanzien van het gedrag van de nutriënten de sterke stikstoflimitatie goed gereproduceerd, evenals de afwezigheid van siliciumlimitatie. Het verloop van de Si-concentratie werd niet zo goed gesimuleerd.

De gemiddelde concentratie niveaus van chlorofyl en POC gedurende de zomer werden redelijk goed gereproduceerd. Het concentratieverloop gedurende het seizoen, zoals de hoge voorjaarspiek van chlorofyl gevolgd door een veel lagere zomerpiek, werden niet goed gesimuleerd. Dit gold ook voor de sterke horizontale gradient (west laag, midden hoog) in de gemeten concentraties van deze twee variabelen (vergelijk de figuren 3.2, 3.3 en 3.4).

Deze twee afwijkingen zijn sterk verminderd in de resultaten van de gehercalibreerde versie (zie paragraaf 4.2).

De berekende opeenvolging van diatomeeën en niet-diatomeeën (flagellaten) vertoonde in de voorlopige calibratie een redelijke overeenkomst met kwalitatieve waarnemingen aan de soortensamenstelling (ongepubliceerde gegevens DGW, de Vos, 1988):

- een vroege voorjaarspiek van diatomeeën

- gecombineerde aanwezigheid van diatomeeën en flagellaten, overgaand in een dominantie van flagellaten in de vroege zomerpiek
- gedurende de zomer diatomeeën en flagellaten in wisselende verhoudingen, met weer een dominantie van diatomeeën in het najaar

In het Veerse meer wordt de successie van diatomeeën naar flagellaten wellicht niet alleen veroorzaakt door Si-limitatie, maar ook door hogere groeisnelheden van flagellaten in de zomer. In de resultaten van de voorlopige calibratie was deze verschuiving nog niet sterk genoeg aanwezig: diatomeeën werden in het vroege voorjaar ondervoorspeld, en flagellaten in de zomer. Ook dit is verbeterd bij de gehercalibreerde versie.

De zuurstof concentratie in de bovenlaag werd redelijk gereproduceerd, afgezien van het feit dat de oververzadiging in het voorjaar in het model later optrad dan volgens de metingen. Dit hangt samen met de berekende primaire produktie en het resulterende concentratieverloop van chlorofyl. Ook deze afwijkingen zijn sterk verminderd bij de gehercalibreerde versie.

De berekende verticale zuurstofgradient en zuurstofuitputting in de onderlaag worden vooral bepaald de verticale uitwisseling en dus door de wijze van koppeling aan de STRESS-uitvoer. De resultaten van de voorlopige calibratie weken daardoor nauwelijks af van de resultaten van de definitieve calibratie.

4.2. RESULTATEN VAN DE DEFINITIEVE CALIBRATIE

In deze paragraaf wordt de huidige situatie in het Veerse Meer beschreven aan de hand van de definitieve calibratie resultaten van VEERWAQ. In verband met de te grote verticale uitwisseling en dus te sterke verversing van de onderste waterlagen bij het gebruik van de STRESS-uitvoer in de vereenvoudigde verticale schematisatie van VEERWAQ, zijn naast elkaar twee verschillende VEERWAQ berekeningen uitgevoerd (zie ook hoofdstuk 2):

1. De 'nominale run':
op basis van de waterbeweging volgens STRESS, zoals weergegeven in hoofdstuk 2.
2. De 'worst case run':
Zonder de waterbeweging tussen de 9 watersegmenten van VEERWAQ ten gevolge van advectie en entrainment volgens STRESS. In deze berekening is alleen dispersieve uitwisseling tussen de 9 watersegmenten meegenomen, waarbij de dispersie coëfficiënten voor de verticale uitwisseling zijn berekend aan de hand van de VTSO chloride-metingen.

De gedachte achter de gekombineerde weergave van deze twee berekeningen is dat de aan STRESS gekoppelde berekening te gunstig uitpakt voor de onderste waterlagen: minder lage zuurstofgehaltes dan gemeten. De berekening zonder de waterbeweging uit STRESS geeft daarentegen een te pessimistisch beeld en kan dus als een 'worst case' berekening worden opgevat. De werkelijkheid houdt het midden tussen de twee berekeningen.

Om de invloed van de bodemfauna te onderzoeken is een derde simulatie uitgevoerd met een verhoogde bodemfauna biomassa in het midden en het oostelijk deel:

3. De 'bodemfauna run':
conform de huidige situatie wat betreft de waterbeweging, de peilvariatie (volgens STRESS) en de belastingen; met een biomassa suspensie-eters van 12 gC/m^2 in boven- en middenlaag van west, midden en oost, in plaats van variërend van $2.5\text{--}13.5 \text{ gC/m}^2$; en een biomassa sediment-eters van 2.5 gC/m^2 in de gehele boven- en middenlaag, in plaats van variërend van $0.4\text{--}2.6 \text{ gC/m}^2$ (vergelijk Tabel 2.4 op pagina 10).
Hiermee is de totale bodemfauna biomassa gemiddeld over het gehele bodemoppervlak van het meer in slechts geringe mate verhoogd, namelijk van 8.5 gC/m^2 naar 11.7 gC/m^2

De resultaten van de drie berekeningen zijn, veelal vergelijkenderwijs, weergegeven in de vorm van figuren en tabellen.
De figuren betreffen:

- figuur 4.1. - resultaten nominale run
 - de nitraat- en siliciumconcentraties in de drie waterlagen in het middendeel van het meer, vergeleken met de gemeten concentraties aan het oppervlak op V2 (middendeel)
 - de biomassa van het microfytobenthos op ondiepe bodems (0-4m diep) in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer
 - de concentratie partikulair organisch koolstof (POC) in de bovenste waterlaag in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer, vergeleken met de gemeten concentratie aan het oppervlak op V2 (middendeel)
 - de concentratie detritus op het oppervlak van ondiepe (0-4m), diepere (4-8m) en diepe (8-24m) bodems in het middendeel van het meer
 - de zuurstofsituatie in ondiepe (0-4m), diepere (4-8m) en diepe (8-24m) bodems in het middendeel van het meer
- figuur 4.2. - resultaten nominale run, vervolg
 - de zuurstofconcentratie in de drie waterlagen in het middendeel van het meer, driemaal weergegeven en achtereenvolgens vergeleken met de gemeten concentraties aan het oppervlak, op halve waterdiepte en bij de bodem op V2 (middendeel)
 - de ammoniumconcentratie in de drie waterlagen in het middendeel van het meer, driemaal weergegeven en achtereenvolgens vergeleken met de gemeten concentraties aan het oppervlak, op halve waterdiepte en bij de bodem op V2 (middendeel)
- figuur 4.3. - vergelijking van resultaten van de nominale (rechts), de worst case (midden) en de bodemfauna run (links)
 - de chlorofylconcentratie in de bovenste waterlaag in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer, vergeleken met de gemeten concentratie aan het oppervlak op V2 (middendeel)
 - de zuurstofconcentratie in de drie waterlagen in het middendeel van het meer, vergeleken met de gemeten concentratie aan het oppervlak op V2 (middendeel)
- figuur 4.4. - vergelijking van resultaten van de nominale (rechts), de worst case (midden) en de bodemfauna run (links), vervolg
 - de concentratie niet-diatomeeen in de bovenste waterlaag in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer

- de concentratie diatomeeen in de bovenste waterlaag in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer
- figuur 4.5. - de koolstofkringloop op jaarbasis, gemiddeld voor het hele Veerse Meer, volgens de nominale run (boven) en de bodemfauna run (midden). Ter vergelijking is de koolstofkringloop van het Grevelingenmeer weergegeven (onder). De massa's staan weergegeven in gC/m^2 , de fluxen in $\text{gC/m}^2/\text{j}$
- figuur 4.6. - de stikstofbalans op jaarbasis, gemiddeld voor het hele Veerse Meer, volgens de nominale run.

4.2.1. De primaire producenten

Biomassa van fytoplankton (figuur 4.3)

In tabel 4.1 worden gemeten en berekende maximale chlorofylconcentraties tijdens de voorjaarspiek vergeleken.

Tabel 4.1

Gemeten en berekende maximale chlorofylconcentraties (mg/m^3) situatie 1983 (vergelijk tabel 3.3)

	gemeten	berekend		
		nominaal	worst case	bodemfauna
westelijk deel (V3)	25	50	100	50
midden deel (V2)	100	100	175	45
oostelijk deel (V1)	180	150	130	50

De maximale chlorofyl niveaus, en vooral de gemeten gradient van west (laag) naar oost (hoog) worden het best beschreven in de nominale run.

In de worst case run wordt de hoogste concentratie in het midden-deel berekend. Dit wordt veroorzaakt doordat door de loskoppeling van STRESS alle waterbeweging, en dus de stoftransporten in het meer, zowel horizontaal als vertikaal, veel geringer zijn dan in de nominale run. Zowel de drie waterlagen als de drie kolommen gedragen zich daardoor grotendeels onafhankelijk van elkaar. De hoge berekende concentratie in het middendeel van het meer wordt daarbij veroorzaakt doordat hier de meeste nutriëntenlozingen plaatsvinden. De relatief lage berekende concentratie in het oosten wordt veroorzaakt door de invloed van de Oosterschelde: de export van nutriënten en chlorofyl vanuit het oostelijk deel naar de Oosterschelde wordt niet geheel gekompenseerd door uitwisseling met het middendeel.

Productie van fytoplankton

De berekende jaarproductie van fytoplankton, gemiddeld over het hele meer in de nominale run en de worst case run (300-320 $\text{gC/m}^2/\text{j}$) komt goed overeen met de door Stronkhorst et al (1985) gemeten jaarproductie voor 1983 (296 $\text{gC/m}^2/\text{j}$). In de berekeningen is de productie tamelijk gelijkmatig verdeeld over het meer, variërend van 270-340 $\text{gC/m}^2/\text{j}$. Stronkhorst et al (1985) meten op het oostelijk meetpunt echter een drie keer zo hoge productie als in het midden en het westelijk deel (zie Tabel 3.5 op pagina 21). Vooral de kleine mengdiepte in het oostelijk deel door stratificatie (5-6m) zou daar een hoge productie veroorzaken. De grote mengdiepte in het westelijk deel (21m) zou samen met de hoge biomassa suspensie-eters verantwoordelijk zijn voor de lage productie aldaar. De net zo lage gemeten productie in het middendeel is op deze wijze echter moeilijk verklaarbaar. De mengdiepte is daar gedurende de zomer net zo gering als in het oostelijk deel, en de biomassa suspensie-eters is er nauwelijks hoger dan in het oosten (zie Tabel 3.4 op pagina 21).

Een andere aanwijzing voor het feit dat het verschil in mengdiepte wellicht niet de belangrijkste oorzaak is voor de ruimtelijke variatie in fytoplanktonproductie en -concentratie betreft het tijdstip van de voorjaarspiek. De hoogste chlorofylconcentratie wordt in de metingen zowel als in de berekeningen al eind maart bereikt, dat wil zeggen voor of tijdens het instellen van het hogere zomerpeil. De stratificatie waardoor verkleining van de mengdiepte optreedt, stelt zich echter pas in vanaf begin april (na dag 90, zie figuur 3.3).

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat de grote ruimtelijke variatie van een factor 3 in de gemeten productie vooral wordt veroorzaakt door specifieke plaatselijke verschillen tussen de drie meetpunten. Meer globaal gezien is de fytoplankton productie in het oostelijk deel per oppervlakte-eenheid waarschijnlijk slechts weinig hoger dan in het middendeel en het westelijk deel, volgens de berekeningen ongeveer 20%.

Soortensamenstelling van fytoplankton (figuur 4.4)

Evenals bij de voorlopige calibratie vertoont de berekende soortensamenstelling van fytoplankton van zowel de nominale run als de worst case run een goede overeenkomst met de waarnemingen:

- een vroege voorjaarspiek van diatomeeen
- een dominantie van flagellaten in de tweede biomassapiek in de vroege zomer
- diatomeeen en flagellaten in wisselende verhoudingen gedurende de zomer bij hele lage concentraties
- dominantie van diatomeeen in het najaar

Tabel 4.2

Berekende jaargemiddelde concentraties van diatomeeen en niet-diatomeeen (gC/m^3) en de verhouding tussen de twee groepen

	nominaal	worst case	bodemfauna
diatomeeen	0.44	0.72	0.26
niet-diatomeeen	0.23	0.07	0.19
abundantie verhouding	1.9	10.2	1.4

In kwantitatief opzicht vertonen de simulatie resultaten echter opmerkelijke onderlinge verschillen. In de worst case run wordt een veel sterkere dominantie van diatomeeen berekend dan in de nominale run (zie tabel 4.2). De kwalitatieve waarnemingen aan de soortensamenstelling (de Vos, 1988) suggereren een veel minder sterke dominantie van diatomeeen.

De resultaten van de nominale run komen dus beter met de werkelijke situatie overeen.

Biomassa van het microfytobenthos (figuur 4.1)

De berekende maximale biomassa van het microfytobenthos in het voorjaar, gemiddeld over het gehele bodemoppervlak van 0-4m diep, is $10\text{--}12 \text{ gC/m}^2$. Het biomassa niveau is hier in de zomer $5\text{--}6 \text{ gC/m}^2$. Er worden nauwelijks verschillen berekend tussen het oostelijk, het midden en het westelijk deel. Ook de resultaten van de nominale en de worst case run lijken sterk op elkaar.

Omerekend naar chlorofyl-eenheden is de berekende biomassa $250\text{--}300 \text{ mg Chl/m}^2$ in het voorjaar en $125\text{--}150 \text{ mg Chl/m}^2$ in de zomer. Deze waarden komen goed overeen met gemeten gehalten, zij het dat in de meetgegevens sprake is van grote en onsystematische verschillen tussen de monsterpunten ($65\text{--}700 \text{ mg/m}^2$ in het voorjaar en $60\text{--}500 \text{ mg/m}^2$ in de zomer, vergelijk paragraaf 3.3.3).

4.2.2. De invloed van consumenten: zooplankton en bodemfauna

De invloed van de bodemfauna en het zooplankton op de stofkringloop in het meer is af te leiden uit de koolstofkringloopschema's in figuur 4.5; de invloed op bijvoorbeeld de chlorofylconcentratie uit de vergelijking van de bodemfauna run en de nominale run in figuur 4.3.

De invloed van vooral de suspensie-etende bodemfauna (schelpdieren) is groot. De berekende filtratie van fytoplankton bedraagt gemiddeld over het gehele meer ruim 45% van de netto primaire productie. In het westelijk deel wordt volgens de berekening 60% van het daar geproduceerde fytoplankton geconsumeerd, in het midden-deel 35% en in het oostelijk deel ruim 15%. Deze percentages gelden voor de nominale run, maar zijn niet wezenlijk anders in de worst case run.

Bij 25% meer suspensie-eters, waarvan de biomassa gelijkmatig over het meer is verdeeld, zoals gesimuleerd in de bodemfauna run,

wordt gemiddeld over het meer nauwelijks meer fytoplankton gefiltreerd dan in de huidige situatie. De netto produktie is enigzins lager, zodat nu 55% in plaats van 45% van de primaire produktie wordt gefiltreerd. Het sterkste effect is de verlaging van de fytoplanktonconcentratie, jaargemiddeld en gemiddeld over het hele meer met 30%. Dit effect is vooral goed zichtbaar in de maximum concentratie van chlorofyl (figuur 4.3 en Tabel 4.1 op pagina 26). De concentratie gradient van west (laag) naar oost (hoog) is geheel verdwenen; de maximum concentratie in het voorjaar komt nergens boven de 50 mg/m³. Volgens deze simulatie is niet het verschil in mengdiepte tussen oost en west verantwoordelijk voor het verschil in chlorofylconcentratie, maar de aanwezige biomassa suspensie-eters (zie ook paragraaf 4.2.1). Geconcludeerd kan worden dat de belangrijkste invloed van de aanwezigheid van suspensie-etende bodemfauna de verlaging van de chlorofylconcentratie en totale sestonconcentratie is. De fytoplanktonproduktie wordt niet sterk beïnvloed. Dit betekent dat de turnover van het fytoplankton toeneemt onder invloed van de suspensie-etende bodemfauna.

De invloed van het zooplankton op de fytoplanktonconcentratie en de stofkringlopen in het meer is gering in vergelijking met de invloed van de suspensie-etende bodemfauna. De zooplankton graas bedraagt volgens de berekeningen jaargemiddeld slechts ongeveer 10% van de fytoplanktonproduktie. Door de grote variatie van de zooplanktonbiomassa over het jaar (een factor 100 verschil tussen minimum en maximum, tegenover een factor 2 voor de bodemfauna) is de invloed echter sterk geconcentreerd in de zomer. Hierdoor is graas door zooplankton toch mede verantwoordelijk voor de lage berekende chlorofylconcentratie gedurende de zomer.

4.2.3. Zuurstofhuishouding en koolstofkringloop

Zuurstofhuishouding (figuren 4.1, 4.2 en 4.3)

De berekende zuurstofconcentratie volgens de nominale run in de boven-, midden- en onderlaag van het middendeel van het meer is weergegeven in figuur 4.2, samen met de meetgegevens van V2 voor 1983. De meting op halve waterdiepte is op dit meetpunt op 12m, terwijl de middenlaag in de VEERWAQ schematisatie 4-8m betreft. Zowel de metingen op halve waterdiepte als bij de bodem vallen dus binnen de onderlaag van de VEERWAQ schematisatie. Zowel de gemeten als de berekende zuurstofconcentratie in de bovenlaag (en de middenlaag) volgen ongeveer de temperatuurafhankelijke verzadigingsconcentratie. Alleen tijdens de voorjaarsbloei van het fytoplankton treedt oververzadiging op, die zowel qua timing als qua hoogte goed wordt beschreven in de nominale run. In de worst case run wordt de oververzadiging overvoorspeld (zie figuur 4.3).

De timing en de duur van de zuurstofloosheid in de onderlaag worden zowel in de nominale run als de worst case run volgens de metingen beschreven. De zuurstofuitputting is uiteraard sterker in de worst case run, wat meer conform de metingen lijkt (vergelijk figuur 4.3 met metingen weergegeven in figuur 3.3 en 4.2).

De zuurstofsituatie in de bodem (zie figuur 4.1) is de resultante van de organische stofbelasting (zuurstofvraag) en het aanbod van zuurstof vanuit het bovenstaande water. In diepe bodems is er sprake van een permanente 'zuurstofschuld' (ophoping van gereduceerde verbindingen zoals methaan en H_2S), vooral in het oosten waar de organische belasting het grootst is. De berekende zuurstofschuld ($20-30 \text{ gO}_2/\text{m}^3$) in diepe bodems in het oostelijk deel komt goed overeen met de sulfideconcentraties die vlak boven de bodem zijn gemeten (tot $15 \text{ gS}/\text{m}^3$ met uitschieters tot $30 \text{ gS}/\text{m}^3$, oftewel een zuurstofvraag tot $30 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ met uitschieters tot $60 \text{ gO}_2/\text{m}^3$, zie paragraaf 3.2.5).

Ook in ondiepe bodems ontstaat een zuurstofschuld in het najaar (vooral in het westen door de organische belasting door biodepositie), die echter in de winter weer verdwijnt.

Koolstofkringloop (figuren 4.1 en 4.5)

Het detritus op het bodemoppervlak (zie figuur 4.1) geeft de beste indicatie van de belasting van bodem en bodemoppervlak met organisch materiaal. Deze organische belasting van de bodem is groot bij diepe bodems door het gecombineerde effect van herhaalde sedimentatie en resuspensie. Op ondiepe bodems kan een grote organische belasting optreden door biodepositie van de suspensie etende bodemfauna.

In figuur 4.5 zijn de berekende koolstofkringlopen van het Veerse Meer volgens de nominale run en de bodemfauna run weergegeven. De koolstofkringloop volgens de worst case run wijkt nauwelijks af van die van de nominale run. Ter vergelijking is de berekende koolstofkringloop van het Grevelingenmeer erbij gezet (de Vries et al, 1988).

De berekende kringlopen van beide meren vertonen een opmerkelijk grote mate van overeenkomst, zowel wat betreft de biomassa niveaus van een aantal functionele groepen, als de grootte van een aantal fluxen.

De belangrijkste verschillen ten opzichte van het Grevelingenmeer, en dus de specifieke eigenschappen van het Veerse Meer die haar eutrofe karakter illustreren zijn:

- de hoge biomassa en produktie van het fytoplankton, en de hoge sestonconcentratie; in het Veerse Meer is sprake van een sterkere dominantie van fytoplankton ten opzichte van de andere primaire producenten;
- de ophoping van een grotere hoeveelheid organisch materiaal op het bodemoppervlak en in het sediment; die vooral door de aanwezige stratificatie tot zuurstofproblemen leidt.

4.2.4. Nutrientenconcentraties en -huishouding

Nutrientenconcentraties (figuren 4.1 en 4.2)

Het gemeten concentratieverloop in de bovenlaag van de drie nutriënten nitraat, ammonium en silicium wordt redelijk tot goed

gereproduceerd in de berekeningen. In de metingen zijn zowel de nitraat- als de siliciumconcentratie aan het eind van 1983 veel lager dan aan het begin. Dit alleen in 1983 optredende verschijnsel (vergelijk figuur 3.2-3.4) wordt niet gereproduceerd in de berekeningen, omdat uitgegaan wordt van evenwicht op jaarbasis. De belangrijkste afwijkingen in het berekende concentratieverloop in de bovenlaag zijn:

- een wat hogere winterconcentratie van nitraat dan gemeten
- de siliciumconcentratie in het voorjaar die limiterende waarden bereikt, terwijl dat in de metingen in de bovenlaag niet het geval is.

Op halve waterdiepte en bij de bodem worden tijdens de voorjaarspiek overigens wel limiterende siliciumconcentraties gemeten (zie figuur 3.3). Dat dit in de bovenlaag niet optreedt wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de goede horizontale menging van de bovenlaag, en daardoor transport van silicium vanuit het westelijk deel, waar in het geheel geen siliciumlimitatie optreedt (zie figuur 3.2).

In het midden en het oostelijk deel van het meer wordt de voorjaarsbloei van diatomeeën conform de berekeningen waarschijnlijk toch door siliciumlimitatie beëindigd, tussen dag 90-100 (begin april), en niet door de competitie met flagellaten. De daarop volgende bloei van flagellaten in de vroege zomer, die door het model wordt ondervoorspeld, wordt vanaf dag 120 (eind april) gelimiteerd door stikstof (zie ook de figuren 3.3 en 3.4).

In het westelijk deel is in het geheel geen sprake van siliciumlimitatie, en treedt pas in de loop van de zomer (juni/juli) stikstoflimitatie op (zie ook figuur 3.2). Vooral de voorjaarsbloei van diatomeeën wordt hier onderdrukt door de graas van suspensie-etende bodemfauna.

Op halve waterdiepte en vooral bij de bodem worden voor ammonium en voor silicium gedurende de zomer veel hogere concentraties gemeten dan aan het oppervlak, met name in het midden en het oostelijk deel (figuren 3.3, 3.4). In de nominale run worden deze hogere concentraties in de onderlaag voor silicium (figuur 4.1) in het geheel niet en voor ammonium (figuur 4.2) slechts zeer ten dele gereproduceerd. In de worst case run komen de berekende concentraties van de twee nutriënten in de onderlaag beter overeen met de metingen (niet weergegeven in de figuren). De gemeten hoge concentraties op halve waterdiepte en bij de bodem zijn representatief voor een klein watervolume onderin de geulen (ongeveer 5% van het totale volume). Met een grove verticale segmentatie zoals gehanteerd voor VEERWAQ kunnen verhoogde concentraties in zo'n klein volume niet goed zichtbaar worden gemaakt (het volume van de onderlaag in de VEERWAQ schematisatie is 13% van het totaal volume, zie figuur 2.2).

Nutriëntenhuishouding (figuur 4.6)

In tabel 4.3 zijn de stikstofbalansen weergegeven, zoals ze zijn berekend in de drie modelruns. Ter vergelijking is ook de berekende stikstofbalans van het Grevelingenmeer weergegeven (de Vries et al, 1988). De balansen volgens de drie modelruns vertonen slechts kleine verschillen, waarop in deze paragraaf niet verder wordt ingegaan.

Tabel 4.3

De stikstofbalansen van het Veerse Meer volgens de drie modelruns vergeleken met de balans van het Grevelingenmeer. Alle fluxen zijn uitgedrukt in gN/m²/j, gemiddeld over het gehele oppervlak

a. de stikstofbalans van het Veerse Meer volgens de 'nominale' run						
	water	bodemopp.		bodem		totaal
		0-4 m	> 4 m	0-4 m	> 4 m	
netto belasting	35					35
import Oosterschelde	5					5
export Oosterschelde	23					23
primaire produktie	57	9				66
NH ₄ mineralisatie	13	21	12	1	1	48
NH ₄ excretie	20			1		21
nitrificatie	7	11	6	2	1	27
refraktair stikstof					2	2
denitrificatie	1	6	4	2	2	15
denitr. als % van NH ₄ regeneratie	3%	29%	33%	100%	>100%	22%

b. de stikstofbalans van het Veerse Meer volgens de 'worst case' run						
	water	bodemopp.		bodem		totaal
		0-4 m	> 4 m	0-4 m	> 4 m	
netto belasting	35					35
import Oosterschelde	5					5
export Oosterschelde	20					20
primaire produktie	60	9				69
NH ₄ mineralisatie	11	24	13	1	1	50
NH ₄ excretie	18			1		19
nitrificatie	8	12	6	2	1	29
refraktair stikstof					3	3
denitrificatie	1	7	4	3	2	17
denitr. als % van NH ₄ regeneratie	4%	29%	31%	>100%	>100%	25%

c. de stikstofbalans van het Veerse Meer volgens de 'bodemfauna' run						
	water	bodemopp.		bodem		totaal
		0-4 m	> 4 m	0-4 m	> 4 m	
netto belasting	35					35
import Oosterschelde	5					5
export Oosterschelde	22					22
primaire produktie	50	10				60
NH ₄ mineralisatie	10	19	10	1		40
NH ₄ excretie	18			1		19
nitrificatie	7	9	5	2	1	24
refraktair stikstof					3	3
denitrificatie	1	6	3	3	2	15
denitr. als % van NH ₄ regeneratie	4%	32%	30%	>100%	>100%	25%

d. de stikstofbalans van het Grevelingenmeer (de Vries et al. 1988)						
	water	bodemopp.		bodem		totaal
		0-5 m	> 5 m			
netto belasting	3.5					3.5
uitwisseling met de Noordzee	0.3					0.3
primaire produktie	22.2	8.3				30.5
NH ₄ mineralisatie	4.6	11.2	3.1	1.4		20.3
NH ₄ excretie	8.9			1.5		10.4
nitrificatie	5.1	5.4	0.7	0.0		11.2
refraktair stikstof				0.8		0.8
denitrificatie	0.5	2.2	0.3	0.0		3.0
denitr. als % van NH ₄ regeneratie	4%	20%	10%	0%		10%

Het enige gegeven van de stikstofbalans dat met metingen kan worden vergeleken is het retentie-percentage, oftewel het deel van de belasting dat niet als export terug te vinden is. In het model resultaat is de retentie gelijk aan de som van denitrificatie en ophoping in refractair materiaal in het sediment van de geulbodem (dit is gelijk aan de totale stikstof belasting minus de export). In de nominale run is de stikstofretentie 43% van de belasting (zie tabel 4.3.a). Dit berekende percentage komt redelijk goed overeen met de range van retentie-percentages, weergegeven in Tabel 3.1 op pagina 13 (40-65%).

Volgens de berekening wordt het overgrote deel van de retentie veroorzaakt door denitrificatie, namelijk bijna 90%, dit is 37% van de belasting. Voor het Grevelingenmeer ligt dit percentage veel hoger. De retentie is daar 100%, waarvan ongeveer 80% door denitrificatie wordt veroorzaakt (vergelijk tabel 4.3.d).

Bij de vergelijking van de balansen van Veerse Meer en Grevelingenmeer valt verder op dat de stikstofflux door de kringloop van opname, omzetting en regeneratie in het Veerse Meer slechts 2 keer zo groot is als in het Grevelingenmeer (66 tegenover 30 gN/m²/j), bij een 10 keer zo hoge belasting. De turnoversnelheid van de totale aanwezige hoeveelheid stikstof is in het Veerse Meer dan ook lager, naar schatting 3 keer per jaar, tegenover 5 keer per jaar in het Grevelingenmeer.

De denitrificatie intensiteit en -efficiëntie laten veel grotere verschillen zien. De berekende denitrificatie intensiteit is in het Veerse Meer 5 keer zo hoog als in het Grevelingenmeer (15 ten opzichte van 3 gN/m²/j). De berekende overall efficiëntie is ruim 2 keer zo groot (22% tegenover 10%). De berekende ophoping van stikstof in refractair materiaal in het sediment is zowel voor het Veerse Meer als het Grevelingenmeer laag. Deze schatting is echter onzeker en sterk afhankelijk van aannamen. Bijvoorbeeld voor de N/C verhouding van refractair materiaal, waarover geen gegevens beschikbaar zijn, is een waarde aangenomen van ≤ 0.04 , dus een heel laag stikstofgehalte (Blackburn, 1986; Hopkinson, 1987). Vooral in het Veerse Meer kan door de onvolledige afbraak onder anaerobe omstandigheden het detritus in de geulbodem een hoger stikstofgehalte hebben. De ophoping van stikstof in het sediment zou daarmee zeker een factor 2-3 groter kunnen zijn. Een dergelijk verband tussen stikstofophoping in het sediment en anaerobe omstandigheden vormt tevens een mogelijke verklaring voor de stijging van de stikstofretentie vanaf 1977 zoals weergegeven in Tabel 3.1 op pagina 13.

Alleen de totale retentie kan met metingen worden vergeleken (en komt daar voor beide meren goed mee overeen), de verdeling over de twee retentie-processen is echter puur hypothetisch. Toch kan voorzichtig worden geconcludeerd dat het op ruime schaal voorkomen van anaerobe plaatsen in het meer ook een hogere denitrificatie-intensiteit en een hogere -efficiëntie veroorzaken:

- Voor het bodemoppervlak van diepe bodems wordt in het Veerse Meer een efficiëntie van 33% berekend, tegenover 10% in het Grevelingenmeer
- De bodem zelf draagt in het Veerse Meer significant bij aan de denitrificatie, en in het Grevelingenmeer niet. Ook dit verschil is echter hypothetisch en kan niet met metingen worden vergeleken. Tevens speelt hier een verschil tussen de twee modelversies mee: in VEERWAQ is de afhankelijkheid van de zuurstofconcentratie expliciet geformuleerd, in GREWAQ gebeurde dat nog met correctie-factoren.

Een van de oorzaken voor de hogere berekende denitrificatie onder de anaerobe condities in het Veerse Meer is een grotere diffusieflux van nitraat de bodem in, en de rechtstreekse denitrificatie hiervan. De winterconcentratie is immers 4 keer zo hoog als in het Grevelingenmeer. In het Veerse Meer vindt dus denitrificatie plaats langs twee routes:

- Rechtstreekse denitrificatie van in de waterkolom aanwezig nitraat, al of niet na diffusie de bodem in. Deze denitrificatie snelheid is gerelateerd aan de nitraatconcentratie, en wordt bevorderd door anaerobe condities.
- Denitrificatie gerelateerd aan de turnover cyclus van opname, omzetting, regeneratie en nitrificatie. Deze denitrificatie snelheid is gerelateerd aan de turnover snelheid van stikstof. Omdat de nitrificatie de beperkende stap is in de cyclus, wordt denitrificatie langs deze route juist bevorderd door aerobe condities aan het bodemoppervlak.

De denitrificatie-efficiëntie, zoals weergegeven in de balansen in tabel 4.3, en gedefinieerd als de ratio van denitrificatie en NH_4 -regeneratie, is onder zulke omstandigheden eigenlijk geen goede maat. Een deel van de denitrificatie vindt immers plaats buiten de turnovercyclus om.

Bovenstaande bevindingen sluiten goed aan op de hypothesen geformuleerd in het GREWAQ rapport (de Vries et al, 1988) en in de Vries et al (1988b):

- In ondiepe, niet gestratificeerde, en N-gelimiteerde wateren is de denitrificatie afhankelijk van de turnover van de produktie - regeneratiecyclus via de aerobe top laag van het sediment. De denitrificatie-potentie onder deze omstandigheden wordt geschat op $10 \text{ gN/m}^2/\text{j}$, of wellicht zelfs minder.
- In andere wateren (diep, gestratificeerd) en/of onder andere omstandigheden (geen N-limitatie) is de denitrificatie in toenemende mate afhankelijk van de nitraatflux naar de bodem, en wordt juist bevorderd door de aanwezigheid van anaerobe condities. Er kunnen veel hogere denitrificatie snelheden optreden, tot meer dan $100 \text{ gN/m}^2/\text{j}$. Een voorbeeld is de Westerschelde. Er is dan echter geen sprake meer van gunstige systeemeigenschappen als een hoge produktiviteit gekombineerd met een ontwikkelde consumenten-voedselketen.

Tenslotte, de (directe) invloed van het zeesla op de nutriëntenhuishouding is gering. Van de totale opname van stikstof door primaire producenten ($66 \text{ gN/m}^2/\text{j}$) wordt slechts 3% (ongeveer $2 \text{ gN/m}^2/\text{j}$) door zeesla veroorzaakt. Dit komt doordat de weliswaar aanzienlijke biomassa (ongeveer 10 gC/m^2) volgens gemiddelde literatuurwaarden een lage produktie/biomassa verhouding kent ($P/B=2.5/\text{j}$, tegenover $100/\text{j}$ zoals berekend voor fytoplankton) en een laag stikstofgehalte heeft ($N/C=0.07$ tegenover 0.17 voor fytoplankton).

Ook de maximale opslag van stikstof in zeesla biomassa is gering, minder dan 5% van de totale hoeveelheid stikstof in de stofkringloop van het Veerse Meer (zie paragraaf 3.3.1).

5. BEHEERVARIANTEN

Bij de toepassing van VEERWAQ ten behoeve van de beleidsanalyse zijn in eerste instantie 18 verschillende beheervarianten doorerekend, namelijk 10 hoofdvarianten en 8 subvarianten. De resultaten hiervan zijn weergegeven in de hoofdstukken 5, 6 en 7. Mede naar aanleiding van deze resultaten zijn vervolgens aanvullende beheervarianten geformuleerd, die eveneens met VEERWAQ zijn doorerekend. De resultaten hiervan zijn niet in de hoofdtekst en de conclusies van dit rapport verwerkt, maar in een addendum opgenomen.

5.1. OVERZICHT DOORGEREKENDE VARIANTEN

De volgende beheervarianten zijn doorerekend met VEERWAQ:

Tabel 5.1

Overzicht van gesimuleerde beheervarianten

1.	huidige situatie, zomerpeil op NAP en winterpeil NAP -70cm
1.1	idem 1, uitwisseling Oosterschelde in de winter met 5 m ³ /s
1.2	idem 1, uitwisseling Oosterschelde in de winter met 8 m ³ /s
2.	conform huidige situatie, zonder peilverschil zomer/winter
3.	idem 2, uitwisseling Oosterschelde in de winter met 20 m ³ /s
3.1	idem 3, 25% reductie van de nutriëntenvracht uit de polders
3.3	idem 3, 75% reductie van de nutriëntenvracht uit de polders
4.	idem 3, 25% reductie polderwaterdebieten (en dus N-vrachten)
5.	idem 2, uitwisseling 5 m ³ /s; 75% polderdebietreductie
6.	idem 2, uitwisseling 5 m ³ /s; 25% polderdebietreductie
7.	idem 2, uitwisseling 20 m ³ /s gedurende hele jaar
7.1	idem 7, uitwisseling 5 m ³ /s, vast peil
7.2	idem 7, uitwisseling 5 m ³ /s, peilverschil zomer/winter
7.3	idem 7, uitwisseling 10 m ³ /s, vast peil
7.4	idem 7, uitwisseling 10 m ³ /s, peilverschil zomer/winter
8.	idem 2, uitwisseling 40 m ³ /s gedurende hele jaar
9.	idem 2, geen uitwisseling; 25% polderdebietreductie
10.	idem 2, uitwisseling 20 m ³ /s gedurende 01/12-01/04

Opmerkingen:

- De peilvariatie bij de varianten 1.1 en 1.2 is niet geheel identiek aan de huidige situatie variant 1). Het aflaten van het peil gebeurt een maand later, bovendien is in variant 1.2 het winterpeil niet op NAP-70cm, maar op NAP-30cm gezet.
- Uitwisseling met Oosterschelde vindt normaliter alleen gedurende de winter plaats (1 oktober - 1 april), uitzonderingen zijn 7, 7.1-7.4, 8 (gehele jaar uitwisseling) en 10 (uitwisseling vanaf 1 december).
- Bij vrachtreducties (3.1-3.3) blijft dezelfde zoetwaterlast aanwezig.
- De vracht- en debietreducties zijn evenredig verdeeld over alle polderuitslagen. Debiet en vracht van het Kanaal door Walcheren is onveranderd gehouden.

In de volgende deelparagrafen worden de resultaten per variant kort besproken. Deze bespreking baseert zich op de situatie in het middendeel. Dit geldt ook voor hoofdstuk 6. Het middendeel kan om een aantal redenen het meest representatief worden geacht voor het gehele meer en voor haar eutrofieringsproblemen:

- Het grootste deel van de nutriënten belasting vanuit polderwater en kanaal door Walcheren komt in het meer via het middendeel.
- Het middendeel is, in tegenstelling tot het Westelijk deel, in de huidige situatie sterk gestratificeerd. Mede daardoor treden in het middendeel zuurstofproblemen op en worden er hoge chlorofyl concentraties gemeten (zie Tabel 3.3 op pagina 17 en figuur 3.3). Dit alles is in nog sterkere mate het geval in het Oostelijk deel van het meer. In de modelschematisatie betreft het Oostelijk deel echter een relatief klein bodemoppervlak en een klein watervolume (beide ongeveer 10% van het totaal). Hierdoor zijn in de modelberekeningen de randeffecten (invloed Oosterschelde) in het Oostelijk deel relatief groot.

In dit hoofdstuk wordt variant 1, de huidige situatie, niet besproken. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

Net als voor de huidige situatie zijn voor een van de varianten, namelijk variant 7, twee verschillende berekeningen uitgevoerd, namelijk met en zonder de waterbeweging tussen de 9 watersegmenten gebaseerd op de uitvoer van STRESS. De verschillen tussen deze berekeningen worden in de betreffende paragraaf (5.10) besproken.

5.2. VARIANT 1.1: PEILVARIATIE, UITWISSELING 5 M³/S IN WINTER

Waterbalans Veerse Meer, variant 1.1	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	788
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	169

Deze beheervariant vertoont een sterke gelijkenis met de huidige situatie. De uitwisseling met de Oosterschelde is iets groter, en daarmee ook de input en export van nutriënten (vergelijk Tabel 2.1 op pagina 3). Door de combinatie van een grote zoetwaterlast en een slechts geringe vergroting van de uitwisseling blijft de spronglaag hoog liggen en de stratificatie stabiel. Ondanks de wat lagere primaire produktie, en dus organische stof belasting van de bodem, zal volgens de modelberekening het zuurstofloze bodemoppervlak niet of nauwelijks afnemen.

5.3. VARIANT 1.2: PEILVARIATIE, UITWISSELING 8 M³/S IN WINTER

Waterbalans Veerse Meer, variant 1.2	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	1281
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	135

Ook bij deze variant blijft de stratificatie stabiel en blijft de spronglaag vrij hoog liggen. Door de kleinere peilverlaging in de winter (30 in plaats van 70 cm), en dus minder verdunning met Oosterschelde water bij het opzetten van het zomerpeil, is aan het begin van het groeiseizoen een hogere concentratie nutriënten in het meer aanwezig. Hierdoor wordt een hogere chlorofylconcentratie tijdens de voorjaarspiek berekend dan in de huidige situatie. Het kleinere peilverschil tussen zomer en winter en de ondiepe spronglaag zijn ook de oorzaak voor het feit dat de zuurstofsituatie bij deze variant niet gunstiger is dan in de huidige situatie.

5.4. VARIANT 2: GEEN PEILVARIATIE ZOMER/WINTER

Waterbalans Veerse Meer, variant 2	
Totale import Oosterschelde water ($m^3 \cdot 10^5$)	95
Totale import zoet (brak) water ($m^3 \cdot 10^5$)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	262

Door de minimale import van Oosterschelde water neemt de verblijftijd aanmerkelijk toe. Dit is de belangrijkste oorzaak van de volgende verschuivingen in de toestandsvariabelen:

- iets hogere chlorofyl en nutriënten concentraties en primaire productie
- langduriger anaërobie in de onderlaag
- een grotere zuurstofschuld in de diepe bodems
- een groter zuurstofloos bodemoppervlak

5.5. VARIANT 3: UITWISSELING 20 M³/S IN WINTER

Waterbalans Veerse Meer, variant 3	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	3130
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	77

Uitwisseling met de Oosterschelde in de winter veroorzaakt een sterke verkorting van de jaargemiddelde verblijftijd. Door de uitwisseling worden de nutriënten concentraties in de winter afgevlakt; de concentraties zijn in de O'schelde aanmerkelijk lager, vooral van silicium. Omdat silicium sterker wordt uitgespoeld dan nitraat, voorspelt het model een sterke reductie van de voorjaarspiek van de diatomeeën. Dit is waarschijnlijk een overreactie (ook voor de huidige situatie wordt de voorjaarspiek van diatomeeën ondervoorspeld); wel kan worden verwacht dat de hoogte van de voorjaarspiek zal afnemen.

De zuurstof situatie in de onderste laag verslechtert vergeleken met de huidige situatie. Dit betreft vooral de duur van de anaerobe periode en niet de zuurstofschuld in de diepere bodems en de omvang van het anaerobe bodemoppervlak. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de stabiliteit van de stratificatie en door het kleinere hypolimnion volume doordat de spronglaag wat dieper ligt dan in de huidige situatie. De zuurstofvoorraad in het hypolimnion is dan eerder uitgeput.

Samenvattend zijn de belangrijkste verschuivingen ten opzichte van de huidige situatie:

- lagere nutriënten concentraties in de winter
- een kleiner aandeel van de diatomeeën in de fytoplankton biomassa
- een iets lagere jaarproductie van fytoplankton, en dus een wat lagere organische stof belasting van de bodem
- langduriger anaerobie in de onderlaag

5.6. VARIANTEN 3.1 - 3.3: REDUCTIE VAN NUTRIENT BELASTINGEN

De waterbalans van deze varianten is gelijk aan die van variant -3-, omdat niet het polderwaterdebiet is gereduceerd, maar de nutriënten concentraties in het polderwater.

Vermindering van de nutriëntenbelasting vanuit de polders, in combinatie met uitwisseling met de Oosterschelde gedurende de winter, veroorzaakt in de eerste plaats verlaging van de fytoplankton productie, en dus van de organische stof belasting van de bodem. Hierdoor wordt de zuurstofschuld van de diepe bodems lager. De zuurstofsituatie in de onderlaag (lengte van de anaerobe periode) blijft echter slechter dan in de huidige situatie door de meer stabiele stratificatie (de zoet waterlast is niet verminderd in deze varianten). De maximum chlorofyl concentratie neemt geleidelijk af met de afname van de nutriënteninput.

De schating van het anaerobe bodemoppervlak valt gunstig uit, vooral bij 75% belasting reductie.

Samenvattend zijn de effecten van reductie van de nutriëntenlast en uitwisseling gedurende de winter:

- lagere waarden voor de fytoplanktonproductie, de organische stofbelasting en de zuurstofschuld van de bodem
- lagere maximale chlorofyl concentraties
- blijvende langdurige anaerobie in de onderlaag
- een kleiner anaeroob bodemoppervlak

5.7. VARIANT 4: UITWISSELING 20 M³/S, 25% POLDERDEBIETREDUCTIE

Waterbalans Veerse Meer, variant 4	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	3130
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	940
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	80

Het verschil met de voorgaande varianten is dat nu ook de zoetwaterlast wordt verminderd. De verblijftijd is daardoor weer een beetje langer dan in de voorgaande varianten. Er is nauwelijks sprake van verschillen met variant 3.1, waarin alleen de nutriëntenvracht met 25% was gereduceerd.

5.8. VARIANT 5: UITWISSELING 5 M³/S, 75% POLDERDEBIETREDUCTIE

Waterbalans Veerse Meer, variant 5	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	780
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	630
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	223

Dit is een interessante variant omdat enerzijds productie en zuurstofloosheid worden bevorderd door de lange verblijftijd en anderzijds worden gedrukt door de lage belasting en het nagenoeg afwezig zijn van stratificatie. De berekeningen indiceren inderdaad slechts een geringe afname van de chlorofyl concentratie en van de fytoplankton productie vergeleken met de huidige situatie. De zuurstofsituatie is wel sterk verbeterd: gemiddeld nauwelijks of geen anaërobie in de onderlaag, een lage zuurstofschuld in de bodem en een klein anaëroob bodemoppervlak.

5.9. VARIANT 6: UITWISSELING 5 M³/S, 25% POLDERDEBIETREDUCTIE

Waterbalans Veerse Meer, variant 6	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	780
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	940
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	223

De resultaten voor deze variant lijken sterk op de huidige situatie. Door het vaste peil vindt geen verdunning met Oosterschelde water plaats voorafgaande aan het begin van het groeiseizoen. Hierdoor wordt een wat hogere chlorofylconcentratie tijdens de voorjaarsbloei berekend vergeleken met de huidige situatie.

5.10. VARIANT 7: UITWISSELING 20 M³/S GEDURENDE HET HELE JAAR

Waterbalans Veerse Meer, variant 7	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	6290
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	44

De resultaten voor deze variant laten een reductie zien van de maximum chlorofylconcentratie en de fytoplankton produktie. Ook treedt een sterke verbetering op van de zuurstofsituatie in de onderlaag en in de bodem. Een belangrijke oorzaak is dat naast de uitspoeling van nutriënten (in de winter) nu ook (levend en dood) organisch materiaal wordt geëxporteerd (in de zomer), en groeilimitatie van het fytoplankton begint op te treden. Een aanwijzing voor dit laatste is dat het microfytobenthos in de bovenlaag veel minder sterk reageert. De zuurstofschuld van de diepe bodem is volgens de berekening veel kleiner geworden, door de lage organische belasting en de minder stabiele stratificatie.

Voor deze variant is, net als voor de huidige situatie, een zogenaamde 'worst case' berekening uitgevoerd. In deze berekening is niet meegenomen de waterbeweging tussen de 9 segmenten van VEERWAQ ten gevolge van advectie en entrainment volgens STRESS. Alleen de dispersieve uitwisseling tussen de watersegmenten is meegenomen, waarbij de dispersie coëfficiënten voor de verticale uitwisseling zijn afgeleid uit de door STRESS berekende verticale chloride gradienten (zie paragraaf 2.1 en 4.2).

De resultaten van deze worst case berekening zijn voor kenmerken als de maximale chlorofylconcentratie, de stikstofconcentratie en de jaarproduktie van fytoplankton nagenoeg gelijk aan de gewone berekening voor deze variant.

Door de minimale verticale uitwisseling worden voor de zuurstofkenmerken veel 'slechtere' waarden berekend. Voor het middengebied (vergelijk Tabel 6.2 op pagina 52): duur van de zuurstofloze periode (permanent in plaats van 35 dagen), zuurstofloos bodemoppervlak (130 in plaats van 40 ha) en de zuurstofschuld in de bodem (120 in plaats van 40 gO₂/m³)

5.11. VARIANT 7.1-7.4: UITWISSELING 5-10 M³/S, HELE JAAR

Waterbalans Veerse Meer, variant 7.1	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁶)	1570
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁶)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	121

Waterbalans Veerse Meer, variant 7.2	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁶)	1740
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁶)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	114

Waterbalans Veerse Meer, variant 7.3	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁶)	3145
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁶)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	77

Waterbalans Veerse Meer, variant 7.4	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁶)	3220
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁶)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	75

De resultaten voor deze varianten vertonen slechts weinig onderlinge verschillen, ondanks de factor 2 verschil in uitwisselingsdebieten, en het al of niet aanwezig zijn van peilvariatie. De maximum chlorofylconcentratie en de fytoplanktonproductie veranderen nauwelijks vergeleken met de huidige situatie. Het effect van het instellen van een vast peil op de maximum chlorofylconcentratie (vergelijk de varianten 1.2 en 6) lijkt te verdwijnen wanneer de uitwisseling wordt uitgebreid tot het gehele jaar. Het gedrag van de zuurstofkenmerken, namelijk

- geen duidelijke verandering van het anaerobe bodemoppervlak,
- een kortere zuurstofloze periode in de onderlaag,
- een duidelijk lagere zuurstofschuld in diepe bodems,

wordt in belangrijke mate bepaald door de gedurende de zomer zeer ondiep liggende spronglaag (zie verder paragraaf 6.2).

5.12. VARIANT 8: UITWISSELING 40 M³/S GEDURENDE HET HELE JAAR

Waterbalans Veerse Meer, variant 8	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	12580
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	24

De resultaten van deze variant laten zien dat een nog grotere uitwisseling met de Oosterschelde dan in variant 7 het geval is (van 20 naar 40 m³/s gedurende het gehele jaar), een verdere reductie oplevert van de maximum chlorofylconcentratie en fytoplankton jaarproductie. Dit wordt veroorzaakt door de nog weer grotere uitspoeling van nutriënten in de winter, resulterend in lage concentraties voor de aanvang van het groeiseizoen. Daarnaast veroorzaakt de grote export van levend en dood organisch materiaal in de zomer een verdere reductie van de chlorofyl- en sestonconcentraties, en een versterking van de groeilimitatie van fytoplankton.

Ook de zuurstofschuld van diepe bodems neemt verder af door de lage organische belasting. Dit betekent dat de aangroei van de sliblaag in de geulen minder snel verloopt naarmate de uitwisseling groter is.

De andere twee zuurstofkenmerken (duur van de zuurstofloze periode in de onderlaag en de grootte van het anaerobe bodemoppervlak worden volgens de berekeningen niet positief beïnvloed door een vergroting van de uitwisseling van 20 naar 40 m³/s. De onveranderde zoetwaterlast op het meer zorgt ervoor dat de stratificatie niet verdwijnt, of zelfs wellicht weer iets stabiel wordt vergeleken met variant 7.

5.13. VARIANT 9: GEEN UITWISSELING, 25% POLDERDEBIETREDUCTIE

Waterbalans Veerse Meer, variant 9	
Totale import Oosterschelde water ($m^3 \cdot 10^5$)	0
Totale import zoet (brak) water ($m^3 \cdot 10^5$)	940
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	328

Deze variant vertoont voor een aantal toestandsvariabelen een verslechtering vergeleken met de andere varianten, en (zelfs) vergeleken met de huidige situatie. De hoofdoorzaak is de zeer lange verblijftijd (weinig export van nutriënten, hoge productie, hoge organische stofbelasting) in combinatie met een stabiele stratificatie en een ondiep liggende spronglaag (permanente anaërobie in de onderlaag, grote zuurstofschuld)

5.14. VARIANT 10: UITWISSELING 20 M³/S VAN 1 DEC TOT 1 APRIL

Waterbalans Veerse Meer, variant 10	
Totale import Oosterschelde water (m ³ *10 ⁵)	2140
Totale import zoet (brak) water (m ³ *10 ⁵)	1100
jaargemiddelde verblijftijd (dagen)	100

Deze 'visserij-variant' vertoont enkele verslechtingen vergeleken met de huidige situatie, met name een hoger maximaal chlorofyl gehalte en een langere duur van de zuurstofloze periode in de onderlaag.

6. SAMENVATTING EN VERGELIJKING VAN BEHEERVARIANTEN

6.1. SAMENVATTING VAN BEHEERVARIANTEN

In dit hoofdstuk worden de beheervarianten vergeleken aan de hand van tabellen waarin de simulatie resultaten van VEERWAQ zijn samengevat met betrekking tot de balansen van stikstof en silicium (tabel 6.1) en 8 overige systeemkenmerken (tabel 6.2).

Zoals al opgemerkt in hoofdstuk 5 worden ook in dit hoofdstuk alleen de oorspronkelijk doorgerekende beheervarianten samengevat. Voor de resultaten van de VEERWAQ simulaties voor de aanvullende varianten wordt verwezen naar de addendum van dit rapport.

Voor stikstof is de totale bruto belasting gegeven (nitraat, ammonium en particulier organisch), uitgesplitst naar belasting via polderuitslagen en het kanaal door Walcheren, en de belasting door uitwisseling met de Oosterschelde via de sluis in de zandkreekdijk. Vergeleken met de belastingen vanuit polders, kanaal en Oosterschelde is de belasting via atmosferische depositie zeer gering (orde 1 gN/m²/j, zie figuur 4.6) en daarom niet apart gekwantificeerd.

Verwijdering van stikstof uit het meer vindt plaats via export naar de Oosterschelde en door denitrificatie. Deze verwijdering is niet geheel gelijk aan de belasting. Het verschil is de ophoping van stikstof in de vorm van refractair organisch materiaal in het sediment van de geulen. De grootte van deze ophoping varieert, gekoppeld aan de intensiteit van de produktie en de stabiliteit van de stratificatie, van 1 gN/m²/j (varianten 3.3, 7, en 8) tot 3 gN/m²/j (varianten 2, 7.1, 7.2 en 9). Zoals aangegeven in hoofdstuk 4 (paragraaf 4.2.4.2) is de berekende grootte van deze ophoping sterk afhankelijk van onzekere aannamen, en zou in de praktijk wel eens belangrijk groter kunnen zijn, vooral onder anaerobe omstandigheden.

Voor silicium wordt in de tabel alleen de belasting gegeven, eveneens uitgesplitst naar belasting via polderuitslagen en het kanaal door Walcheren, en de belasting door uitwisseling met de Oosterschelde. De export van silicium naar de Oosterschelde is bijna gelijk aan de totale belasting, afgezien van de relatief geringe opslag in de vorm van refractair organisch materiaal. Deze berekende vorming van refractair silicium varieert van 1 gSi/m²/j (varianten 7 en 8) tot 5 gSi/m²/j (variant 2)

De in tabel 6.2 gepresenteerde gegevens over systeemkenmerken betreffen vooral het middendeel van het meer. De kenmerken zijn:

1. de jaargemiddelde verblijftijd (in dagen) van het meer als geheel (volgens STRESS)
2. de maximale chlorofylconcentratie (in mg/m³) in het middendeel van het meer (lente of vroege zomer)
3. de maximale concentratie NO₃ + NH₄ (in gN/m³) in het middendeel van het meer (aan het eind van de winter, februari)

4. de duur van de periode (in dagen per jaar) dat de O_2 -concentratie in de onderlaag van het middendeel (dieper dan 8m) lager is dan 2 g/m^3
5. Een schatting voor de grootte van het zuurstofloze bodemoppervlak in het middendeel van het meer gedurende september-oktober, in hectares en als percentage van het totaal oppervlak van het middendeel. De schatting is gebaseerd op de berekende 'zuurstofschuld' van de bodem en de zuurstofconcentratie in het bovenstaande water in de middenlaag (4-8 m. diep) en de onderlaag (dieper dan 8 m.).
6. de 'zuurstofschuld' van de diepe bodems ($>8\text{m}$) in het middendeel van het meer. De zuurstofschuld is maximaal in oktober/november en indiceert de ophoping van gereduceerde verbindingen als zwavelwaterstof (H_2S), ten gevolge van mineralisatie van organisch materiaal onder anaerobe omstandigheden. De zuurstofschuld is uitgedrukt in gO_2/m^3 , en geeft dus aan hoeveel zuurstof of andere oxidatoren (bijv. nitraat) nodig is om de opgehoopte gereduceerde verbindingen te oxideren.
7. de jaarproductie van fytoplankton (in $gC/m^2/j$), gemiddeld over het gehele meer.

Tabel 6.1

Overzichtstabel van de resultaten van VEERWAQ berekeningen.
I. balansen van stikstof en silicium in gN,Si/m²/j

		N- input polder	N- input O'sch.	N- export	deni- trifi- catie	Si- input polder	Si- input O'sch.
1	huidige situatie	35	5	23	15	46	3
1.1	als 1, 5 m3/s	35	6	24	15	46	5
1.2	als 1, 8 m3/s	35	9	27	16	46	8
2	geen peilvariatie	35	1	17	16	46	2
3	als 2, 20 m3/s	35	23	41	15	46	20
3.1	+ 25% N-reduktie	30	23	38	13	39	20
3.3	+ 75% N-reduktie	20	23	31	11	26	20
4	20 m3/s, 25% d-red.	30	23	38	13	39	20
5	5 m3/s, 75% d-red.	20	6	11	13	26	5
6	5 m3/s, 25% d-red.	30	6	19	15	39	5
7	20 m3/s, hele jaar	35	33	54	13	46	27
7.1	5 m3/s, vast peil	35	8	24	16	46	7
7.2	5 m3/s, peilvar.	35	9	25	16	46	7
7.3	10 m3/s, vast peil	35	16	34	15	46	13
7.4	10 m3/s, peilvar.	35	16	34	15	46	14
8	40 m3/s, hele jaar	35	64	87	11	46	53
9	0 m3/s, 25% d-red.	30	0	11	16	39	0
10	20 m3/s, 1/12-1/04	35	18	37	14	46	15

Tabel 6.2

Overzichtstabel van de resultaten van VEERWAQ berekeningen.
II. overige systeemkenmerken (zie tekst voor toelichting)

	ver- blijf- tijd	max. chloro fyl	max. NO3 + NH4	period O2 < 2 mg/l	O2loos opp. in ha.	O2loos opp. als %	O2 - schuld bodem	fytopl jaar- prod.
1	180	80	3.0	130	150	19	100	380
1.1	169	80	2.9	120	140	17	95	325
1.2	135	105	3.3	135	140	17	95	350
2	262	95	3.5	190	180	22	140	415
3	77	95	2.1	210	130	16	110	335
3.1	77	95	2.0	210	120	15	110	280
3.3	77	50	1.5	195	60	7	60	245
4	80	100	2.0	210	110	14	100	295
5	223	70	1.9	0	50	6	30	325
6	184	105	2.7	170	150	19	100	370
7	44	65	2.2	35	40	5	40	285
7.1	121	85	2.6	60	150	19	50	344
7.2	114	95	2.3	110	160	20	65	373
7.3	77	70	2.3	90	120	15	40	321
7.4	75	75	2.2	80	120	15	40	359
8	24	35	1.5	60	50	6	10	210
9	328	70	3.1	295	180	22	140	410
10	100	100	2.3	245	120	15	100	360

6.2. VERGELIJKING VAN BEHEERVARIANTEN

De belangrijkste sturende en conditionerende factoren voor de waterkwaliteit en andere systeemkenmerken van het Veerse Meer zijn:

1. de belasting met de nutriënten stikstof (en silicium)
2. de verblijftijd van het water in het meer en de peilvariatie, oftewel de mate en wijze van verversing door uitwisseling met de Oosterschelde (en doorspoeling met polderwater)
3. de stabiliteit van de stratificatie en de hoogte van de spronglaag, met name gedurende voorjaar/vroege zomer en najaar

De simulatie resultaten van VEERWAQ voor de beheervarianten worden hieronder vergelijkenderwijs besproken aan de hand van de bovenstaande drie sturende of conditionerende factoren.

6.2.1. Nutriëntenbelasting

De huidige belasting van het Veerse Meer met nutriënten is hoog, zeker voor een ondiep en stagnant watersysteem met een lange jaargemiddelde verblijftijd van ongeveer een half jaar (zie Tabel 2.1 op pagina 3). Dit wordt geïllustreerd in tabel 6.3 waarin de stikstofbelasting van het Veerse Meer wordt vergeleken met die van andere zoute wateren (de Vries et al, 1988b).

Tabel 6.3
Stikstofbelasting en systeemeigenschappen
van enkele zoute wateren

	belasting (gN/m ² /j)	max.conc.NO ₃ + NH ₄ (gN/m ³)	max.chlorofyl conc. (mg/m ³)
Noordzee gemiddeld	15	0.1	2
Noordzee kustwater	40	0.5	15
Duitse Bocht	24	0.4	15
Waddenzee	50	1.2	30
Westerschelde	235	4.6	30
Grevelingenmeer	4	0.7	5
Veerse Meer	40	3.0	100

Het overgrote deel van de belasting is afkomstig van de uitslag van polderwater op het meer (20 gN/m²/j), en uit het kanaal door Walcheren (15 gN/m²/j). De bijdrage van de Oosterschelde aan de belasting is gering (5 gN/m²/j). De oorzaak is de hoge concentratie nutriënten in het polderwater en het kanaal: de nutriëntenvracht vanuit de polders + kanaal is 7 keer zo groot als de vracht vanuit de Oosterschelde, het polder + kanaal waterdebiet is minder dan 2 keer zo groot.

Vergroting van de bruto belasting met nutriënten door meer uitwisseling met de Oosterschelde heeft op zich eerder gunstige dan ongunstige gevolgen. De concentraties zijn in de Oosterschelde immers bijna altijd lager dan in het Veerse Meer.

In een aantal doorgerekende beheervarianten is sprake van verminderde belasting met nutriënten vanuit de polders, namelijk 3.1, 4,

6 en 9 (30 in plaats van 35 gN/m²/j vanuit polders + kanaal) en 3.3 en 5 (20 gN/m²/j vanuit polders + kanaal). De resultaten van VEERWAQ suggereren dat alleen een sterke reductie van de belasting een merkbaar effect zal hebben op de maximum chlorofyl concentratie. Bij een totale belasting van 20 gN/m²/j vanuit polders + kanaal, oftewel een vrachtreductie voor de polders van 75% bij een gelijkblijvende vracht vanuit het kanaal, zal volgens de berekeningen de maximale chlorofyl concentratie met minder dan een factor 2 afnemen. Dit betekent dat in het oostelijk deel van het meer chlorofyl concentraties van meer dan 100 mg/m³ mogelijk blijven.

Ook de kenmerken van de zuurstofsituatie, zoals de duur van de zuurstofloze periode in de onderlaag, de zuurstofschuld van diepe bodems (H₂S) en het percentage anaeroob bodemoppervlak, zullen door het uitsluitend reduceren van de nutriëntenbelasting niet aanmerkelijk verbeteren.

6.2.2. Waterverblijftijd en peilvariatie

Voor uitwisseling met de Oosterschelde lijkt te gelden dat een aanzienlijk uitwisselingsdebiet nodig is om een duidelijke verbetering van de waterkwaliteit te bewerkstelligen. Een aantal varianten met korte verblijftijden ten gevolge van uitwisseling met 20 m³/s, laten nauwelijks of geen verbetering zien in chlorofylniveau en zuurstofkenmerken vergeleken met de huidige situatie (bijv. 3, 3.1 en 4). De effectiviteit van uitwisseling gedurende de winter lijkt gering.

In zes doorgerekende varianten, 7-7.4 en 8, is sprake van uitwisseling gedurende het gehele jaar, variërend van 5 tot 40 m³/s. Er was in deze varianten geen sprake van aanvullende maatregelen ten aanzien van de nutriëntenbelasting.

Uitbreiding van de uitwisseling met een aanzienlijk debiet (20-40 m³/s) tot voorjaar, zomer en najaar heeft volgens het model een zeer gunstige uitwerking op zowel het chlorofylniveau als op alle zuurstofkenmerken (varianten 7 en 8). Dit wordt veroorzaakt door de relatief lage produktie en dus organische stof belasting van de bodem ten gevolge van uitspoeling van algen gedurende het groeiseizoen. Bovendien ligt de spronglaag in de nazomer diep (zie paragraaf 6.2.3).

Bij kleinere uitwisselingsdebieten is er nauwelijks meer sprake van een gunstige uitwerking. Zelfs bij 10 m³/s is de fytoplankton produktie niet veel lager dan in de huidige situatie. Het belangrijkste is echter dat bij deze varianten de spronglaag in zomer en nazomer heel hoog komt te liggen, waardoor de kwetsbaarheid voor het optreden van zuurstofloosheid enorm toeneemt (zie verder paragraaf 6.2.3).

Peilvariatie, oftewel een verlaagd winterpeil, heeft volgens de modelberekeningen een gunstig effect op de nutriëntenhuishouding en het chlorofylniveau. Dit wordt geïllustreerd door de verslechtingen in de varianten 1.2 en 2 ten opzichte van de huidige situatie. Deze worden niet veroorzaakt door de invloed van peilopzetten en -aflaten op de verblijftijd (deze invloed is gering). De verklaring is dat de import van Oosterscheldewater (met lage nutriëntenconcentraties) voor het opzetten van het zomerpeil voor de

aanvang van het groeiseizoen zorgt voor verdunning en dus voor lagere concentraties dan zonder peilvariatie het geval zou zijn. Overigens lijkt bij het uitbreiden van de uitwisseling tot het gehele jaar het gunstig effect van peilvariatie geheel weg te vallen (varianten 7.2 en 7.4 tegenover 7.1 en 7.3).

6.2.3. Stratificatie

De stabiliteit van de stratificatie en de hoogte van de spronglaag lijken de belangrijkste conditionerende factoren voor de waterkwaliteit. Hoe stabielere de stratificatie, desto langer de duur van de anaerobe periode in de onderlaag. De hoogte van de spronglaag is in voorjaar/vroege zomer en in het najaar van belang. In voorjaar/vroege zomer leidt een ondiepe spronglaag tot een verkleining van de eufotische zone en daardoor tot hoge chlorofylconcentraties in de bovenlaag. In het najaar leidt een ondiepe spronglaag, althans bij 'voldoende' organische stofbelasting, tot een potentiële uitbreiding van het anaerobe bodemoppervlak naar ondiepe bodems. Daarbij moet worden bedacht dat naarmate de spronglaag ondieper ligt, het watervolume en de daarin aanwezige zuurstofvoorraad onder de spronglaag sterker toeneemt dan het bodemoppervlak onder de spronglaag. Bij een ondiepe spronglaag is er dus meer organische stofbelasting per oppervlakte eenheid nodig om een zuurstofloos bodemoppervlak te veroorzaken dan bij een diepe spronglaag. Anders gezegd, het bufferend vermogen van de zuurstofvoorraad in het hypolimnion is per eenheid bodemoppervlak groter naarmate de spronglaag ondieper ligt.

Alleen in de varianten 3.3, 5, 7 en 8 is er duidelijk sprake van een zodanige combinatie van organische stofbelasting, en diepte en stabiliteit van de spronglaag dat zowel het chlorofylniveau als de zuurstofkenmerken aanmerkelijk zijn verbeterd.

De hiervoor meest bepalende factor verschilt voor de vier varianten:

- bij beheervariant 3.3 is de stratificatie weliswaar stabiel (met daardoor een lange O₂-loze periode in de onderlaag), maar ligt de spronglaag in zomer en nazomer diep, en is de organische stofbelasting sterk gereduceerd door de aanzienlijke vermindering van de nutriënten belasting,
- bij beheervariant 5 is de stratificatie nagenoeg verdwenen ten gevolge van een sterk gereduceerde zoetwaterlast,
- bij beheervarianten 7 en 8 is de stratificatie minder stabiel door de uitwisseling met een aanzienlijk debiet gedurende de zomer, en is bovendien de organische stofbelasting gereduceerd door een lagere produktie en export naar de Oosterschelde.

De varianten 7.1-7.4 nemen met betrekking tot de stratificatie kenmerken een aparte plaats in, doordat de spronglaag gedurende de zomer erg hoog ligt (6-8 m). Hierdoor is, zoals al opgemerkt in paragraaf 6.2.2, de kwetsbaarheid voor het optreden van zuurstofloosheid groot. Door het bovengenoemde bufferend vermogen van het grote hypolimnion volume is het geschatte zuurstofloze bodemoppervlak voor deze varianten niet groter dan voor de huidige situatie, en is de berekende zuurstofschuld van diepe bodems relatief laag. Dit geldt echter de gemiddelde situatie (zie verder paragraaf 6.3.4).

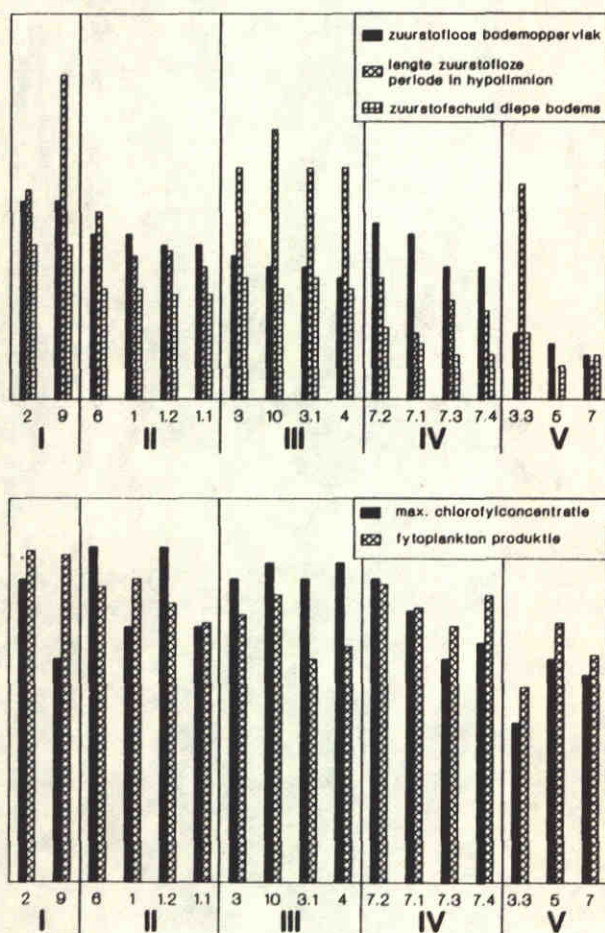
6.3. EVALUATIE VAN POTENTIELE BEHEERMAATREGELEN

In de gesimuleerde beheervarianten voor het Veerse Meer zijn vaak verschillende maatregelen in allerlei combinaties met wisselende intensiteit gekombineerd. Dit bemoeilijkt de beoordeling van het effect van afzonderlijke maatregelen als uitwisseling, peilvariatie en het afleiden van de nutriëntenlast of zoetwaterlast op het meer.

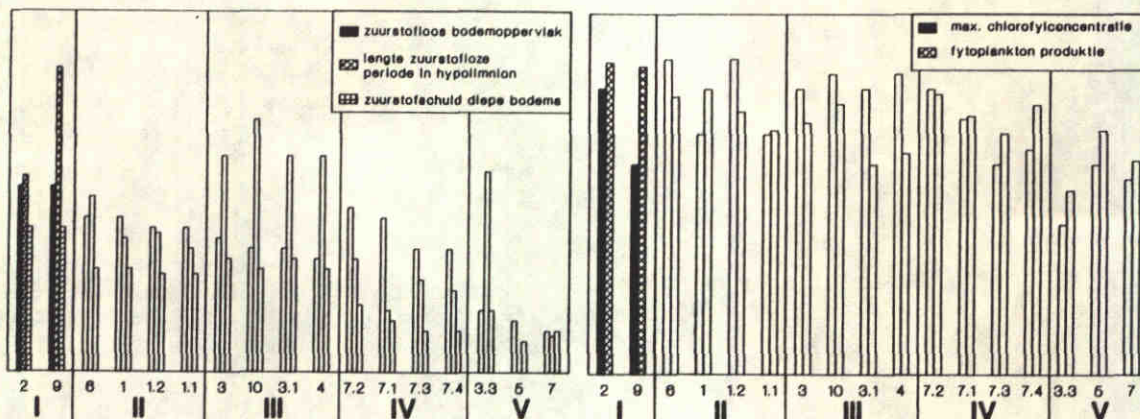
Daarom zijn in deze paragraaf de 18 gesimuleerde beheervarianten (inclusief de huidige situatie) gerangschikt in 5 groepen. Voor 4 van de 5 groepen kon een afzonderlijke beheermaatregel worden geïdentificeerd, die het meest bepalend was voor de berekende zuurstofsituatie en fytoplankton kenmerken (zie 6.3.1-6.3.5).

In de onderstaande figuur zijn de 3 kenmerken voor de zuurstofsituatie en de 2 fytoplankton kenmerken grafisch weergegeven. De getalswaarden van de betreffende kenmerken zijn niet in de figuur opgenomen. Daarvoor wordt verwezen naar tabel 6.2. De varianten zijn in de figuur ingedeeld in de 5 groepen, en binnen de groepen gerangschikt naar afnemend oppervlak zuurstofloze bodems.

Variant 8 (40 m³/s uitwisseling gedurende het gehele jaar) is niet opgenomen in de figuren, maar hoort thuis in groep V.



6.3.1 Groep I (beheervarianten 2 en 9)



Deze varianten geven over de hele linie een verslechtering te zien ten opzichte van de huidige situatie.

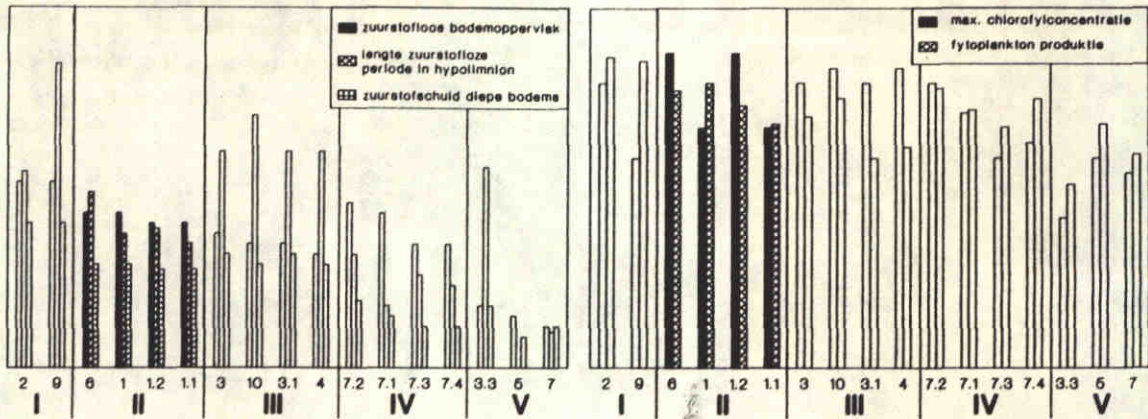
Het verschil tussen deze twee en alle andere varianten is

- de uiterst geringe of afwezige uitwisseling met de Oosterschelde.

De uitwisseling is bij deze varianten 0-9.5 miljoen m³/j, tegenover bijna 70 miljoen m³/j in de huidige situatie. Mede door de afwezigheid van peilwisseling tussen zomer en winter ligt de spronglaag hoog en is de stratificatie stabiel. Door het afleiden van 25% van de zoetwaterlast uit de polders wordt de verslechtering niet gecompenseerd.

Konklusie: vermindering van de uitwisseling met de Oosterschelde, bijvoorbeeld door het instellen van een vast peil, zal leiden tot een verslechtering van de waterkwaliteit ten opzichte van de huidige situatie, met name wat betreft de zuurstofsituatie.

6.3.2. Groep II (beheervarianten 1, 1.1, 1.2 en 6)



De resultaten voor deze varianten zijn over de hele linie vergelijkbaar met de huidige situatie. Ook de berekening voor de huidige situatie (variant 1) is in deze groep ingedeeld.

Deze varianten onderscheiden zich van alle overige door

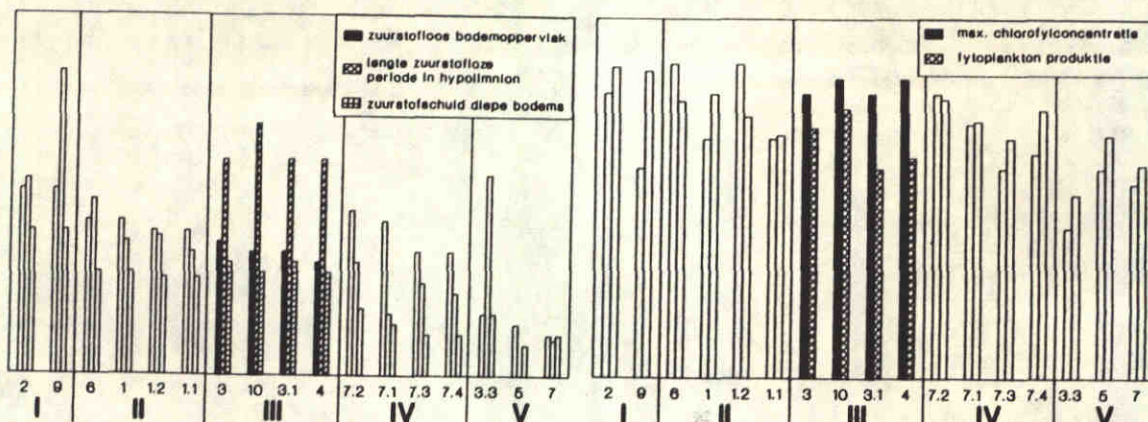
- uitwisseling met de Oosterschelde gedurende de winter met een gering debiet (5-8 m³/s).

Een dergelijke beheermaatregel leidt niet tot verbetering ten opzichte van de huidige situatie, zelfs niet in combinatie met het afleiden van 25% van de zoetwaterlast uit de polders (variant 6). Het achterwege laten of reduceren van de peilwisseling tussen zomer en winter (variant 6, respectievelijk 1.2) heeft bij een gering uitwisselingsdebiet een averechts effect op de fytoplankton bloei in het voorjaar: de maximum chlorofylconcentratie wordt dan hoger.

Conclusie: geringe uitwisseling met de Oosterschelde (5-8 m³/s) gedurende de winter en het afleiden van 25% van de zoetwaterlast uit de polders geven, afzonderlijk en in combinatie, geen verbetering ten opzichte van de huidige situatie.

In combinatie met deze maatregelen veroorzaakt het instellen van een vast peil, of een kleinere peilvariatie tussen zomer en winter (30 in plaats van 70 cm), een verhoging van de chlorofylconcentratie in het voorjaar ten opzichte van de huidige situatie.

6.3.3. Groep III (beheervarianten 3, 3.1, 4 en 10)



Deze varianten geven een lichte verbetering te zien ten opzichte van de huidige situatie in de geschatte omvang van het anaerobe bodemoppervlak gedurende de nazomer. Andere kenmerken vertonen geen verbetering (zuurstofschuld in diepe bodems) of zelfs een verslechtering (lengte van de zuurstofloze periode in het hypolimnion en de chlorofylconcentratie in het voorjaar) ten opzichte van de huidige situatie.

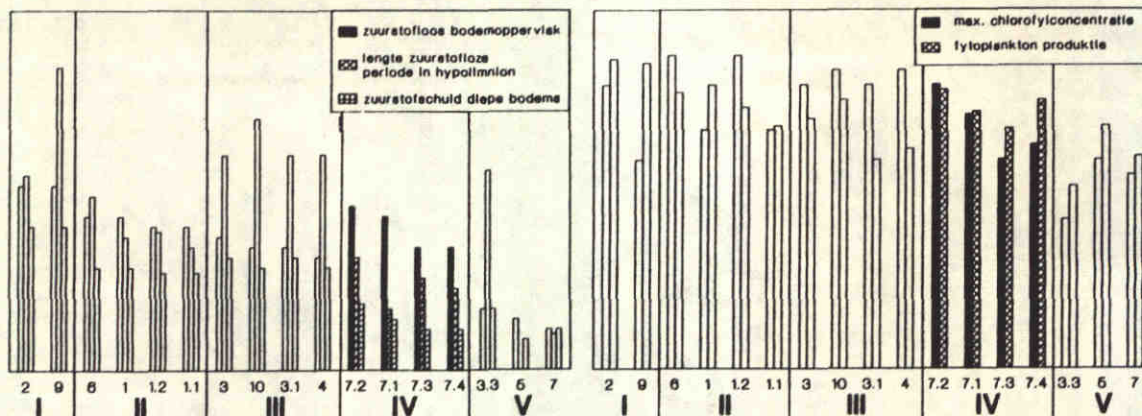
Gemeenschappelijk kenmerk van deze vier beheervarianten is de

- uitwisseling gedurende de winter met een aanzienlijk debiet ($20 \text{ m}^3/\text{s}$).

Aanvullende maatregelen als een geringe vermindering (25%) van de zoetwaterlast en/of nutriëntenlast uit de polders (variant 4, respectievelijk 3.1) en uitstel van het aflaten van het zomerpeil (variant 10) hebben niet of nauwelijks invloed. De genoemde verslechtingen worden veroorzaakt door de stabiliteit van de overigens diepliggende spronglaag (lengte zuurstofloze periode in het hypolimnion) en de afwezigheid van peilwisseling tussen zomer en winter (maximale chlorofylconcentratie).

Conclusie: uitwisseling gedurende de winter met een fors debiet ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) geeft een lichte verbetering in de geschatte omvang van het anaerobe bodemoppervlak. De andere zuurstofkenmerken worden niet positief beïnvloed. Aanvullende maatregelen als het in geringe mate (25%) afleiden van nutriënten- en/of zoetwaterlast uit de polders hebben geen effect. Wanneer daarnaast een vast peil wordt ingesteld zal de chlorofylconcentratie in het voorjaar ten opzichte van de huidige situatie toenemen.

6.3.4. Groep IV (beheervarianten 7.1, 7.2, 7.3 en 7.4)



De varianten in deze groep vertonen voor de beschouwde kenmerken het spiegelbeeld van de varianten in groep III: een verkleining van de zuurstofschuld in diepe bodems en van de lengte van de zuurstofloze periode in het hypolimnion; de andere kenmerken vertonen geen duidelijke verbetering ten opzichte van de huidige situatie.

Deze varianten onderscheiden zich van alle overige door

- uitwisseling met de Oosterschelde met een gering debiet (5-10 m³/s) gedurende het gehele jaar.

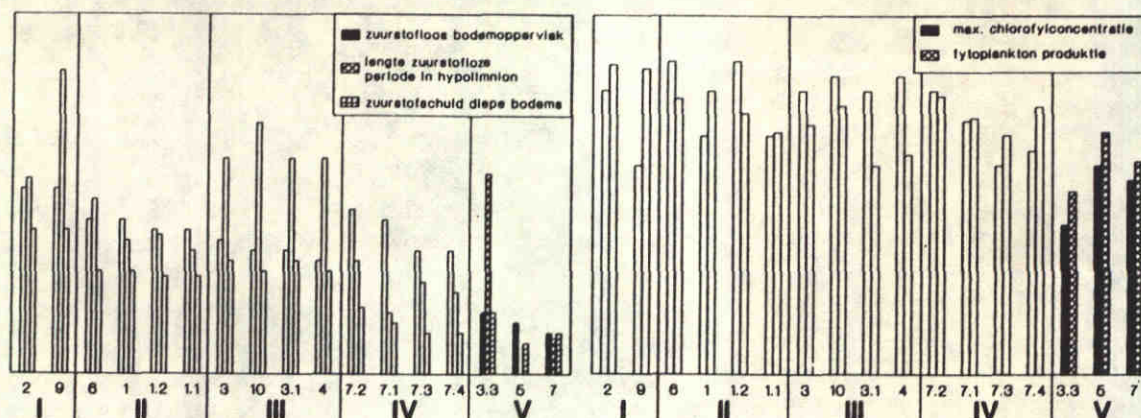
Dit resulteert in een spronglaag die weliswaar niet erg stabiel is en in de herfst geheel verdwijnt, maar wel extreem hoog ligt gedurende de zomer, tussen 6 en 8 m diep. Door het bufferend vermogen van het grote hypolimnion volume (zie paragraaf 6.2.3) en de ten opzichte van de huidige situatie eerder lagere dan hogere fytoplanktonproductie, neemt de geschatte omvang van het anaerobe bodemoppervlak niet toe. Ook wordt er geen grote zuurstofschuld opgebouwd. Dit betreft echter slechts een gemiddelde verwachting. Het risico dat onder uitzonderlijke weersomstandigheden (lange windstille periodes) een uitbreiding van het zuurstofloze bodemoppervlak naar ondiepere delen zal optreden, is bij deze varianten veel groter dan bij alle andere vormen van beheer.

De berekende maximale chlorofylconcentraties zijn bij deze varianten vergelijkbaar met of zelfs hoger dan de concentratie in de huidige situatie. Ook dit wordt waarschijnlijk (mede) veroorzaakt door de hoog liggende spronglaag en dus kleine, ondiepe, eufotische zone.

Conclusie: uitwisseling met de Oosterschelde met een gering debiet (5-10 m³/s) gedurende het gehele jaar kan worden gekenschetst als riskant beheer. Gemiddeld zal de zuurstofschuld in diepe bodems afnemen, evenals de lengte van de zuurstofloze periode in het hypolimnion. Het risico van een forse uitbreiding van het zuurstofloze bodemoppervlak naar de ondiepere delen van het meer onder uitzonderlijke weersomstandigheden (lange windstille periodes) is echter veel groter dan bij alle andere gesimuleerde vormen van beheer.

De chlorofylconcentratie in het voorjaar zal ten opzichte van de huidige situatie eerder toenemen dan afnemen.

6.3.5. Groep V (beheervarianten 3.3, 5, 7 en 8)



De vier varianten in deze groep vertonen voor alle beschouwde kenmerken een duidelijke verbetering ten opzichte van de huidige situatie.

De gesimuleerde beheermaatregelen die deze verbeteringen veroorzaken zijn geheel verschillend:

- forse uitwisseling gedurende de winter ($20 \text{ m}^3/\text{s}$), gekombineerd met een aanzienlijke reductie (75%) van de nutriëntenbelasting vanuit de polders; variant 3.3;
- geringe uitwisseling gedurende de winter ($5 \text{ m}^3/\text{s}$), gekombineerd met een aanzienlijke reductie (75%) van de zoetwaterlast, en dus nutriëntenlast, vanuit de polders; variant 5;
- forse uitwisseling gedurende het gehele jaar ($20\text{--}40 \text{ m}^3/\text{s}$); varianten 7 en 8.

Vooraf voor deze vormen van beheer kan worden verwacht dat de resulterende situatie in werkelijkheid nog gunstiger zal uitvallen dan de modelresultaten suggereren. Deze verwachting is gebaseerd op een mogelijke respons van de suspensie-etende bodemfauna (schelpdieren) op een verbeterde zuurstofsituatie bij de bodem.

In de huidige situatie komen alleen in het oostelijk deel en het middendeel van het meer hoge chlorofylconcentraties voor, en niet in het westelijk deel. Deze gradient over de lengte-as van het meer kan grotendeels, zometeen geheel, worden verklaard uit de lage bodemfauna biomassa in het midden (op dieptes $>5\text{m}$) en het oostelijk deel (zie Tabel 3.4 op pagina 21). Dit blijkt uit de modelresultaten van de run met vergelijkbare bodemfauna biomassa's in west, midden en oost (zie paragraaf 4.2.2).

Vooraf de huidige zeer lage bodemfauna biomassa in het middendeel van het meer op dieptes $>5\text{m}$ (tabel 3.4) kan worden toegeschreven aan zuurstofloosheid ten gevolge van stratificatie en een hoge organische stofbelasting van het hypolimnion. Wanneer door gericht beheer de zuurstofsituatie aan het bodemoppervlak verbetert, kan een natuurlijke uitbreiding van de bodemfauna worden verwacht, omdat de huidige biomassa niveaus in het midden en het oostelijk deel niet voedselgelimiteerd zijn. Hierdoor kan een positieve terugkoppeling in gang worden gezet van vermindering van fytoplanktonbiomassa en -productie ten gevolge van verhoogde graas, waardoor de organische stofbelasting van de bodem afneemt en de zuurstofsituatie verder kan verbeteren.

Conclusie: uitwisseling gedurende de winter, in combinatie met een aanzienlijke reductie (75%) van de zoetwaterlast en/of nutriëntenlast vanuit de polders, of forse uitwisseling (20-40 m³/s) gedurende het gehele jaar, geeft een duidelijke verbetering van zowel de zuurstofsituatie als de fytoplankton kenmerken.

Door een natuurlijke uitbreiding van de bodemfauna in het midden en oostelijk deel van het meer ten gevolge van een verbeterde zuurstofsituatie, kan de resulterende situatie in werkelijkheid nog gunstiger uitvallen dan de modelresultaten suggereren.

7. CONCLUSIES

7.1. CONCLUSIES HUIDIGE SITUATIE

De conclusies ten aanzien van de huidige situatie zijn gebaseerd op drie modelberekeningen:

- De nominale run, waarvoor de waterbeweging is ontleend aan het stratificatiemodel STRESS. Door de grove verticale segmentatie in VEERWAQ wordt de verticale uitwisseling overschat.
- De worst case run, met een sterk gereduceerde verticale uitwisseling.
- De bodemfauna run. Om de invloed van de bodemfauna te onderzoeken is een derde berekening uitgevoerd, gelijk aan de nominale run, alleen met een wat hogere biomassa bodemfauna (25% meer), die gelijkmatig over het oppervlak is verdeeld (in de huidige situatie is er een sterke gradient van een hoge biomassa in het westen en een lage in het oosten).

1. Een aantal kenmerken van het Veerse Meer worden redelijk tot goed overeenkomstig de metingen beschreven in zowel de nominale als de worst case run. Deze kenmerken zijn:

- het concentratieverloop van ammonium, nitraat en silicium in de bovenste waterlagen (0-10m diep),
- de jaarproduktie van het fytoplankton, gemiddeld over het meer,
- het biomassa niveau van benthische diatomeeën,
- de retentie van stikstof in het meer.

De volgende kenmerken worden wel goed conform de metingen beschreven in de nominale run, maar minder goed of slecht in de worst case run:

- de gradient in de chlorofylconcentratie van west (laag) naar oost (hoog),
- de successie van diatomeeën en flagellaten gedurende het groeiseizoen,
- het zuurstofconcentratieverloop in de bovenste waterlagen (0-10m diep).

Enkele kenmerken die sterk worden beïnvloed door de stratificatie, worden beter beschreven in de worst case run:

- de zuurstofloosheid in het hypolimnion gedurende de zomer,
- de concentratieverhoging van ammonium en silicium in het hypolimnion gedurende de zomer.

Deze kenmerken betreffen slechts een klein gedeelte van het totale volume van het meer, en hebben daardoor weinig invloed op het gedrag van de andere kenmerken.

Een kenmerk waarvoor metingen beschikbaar zijn wordt in beide berekeningen minder goed beschreven:

- de concentratie partikulair organisch koolstof (POC) die vooral in de winter en tijdens de voorjaarspiek van fytoplankton wordt overschat.

2. De grote ruimtelijke variatie van een factor 3 in de gemeten produktie wordt wellicht vooral veroorzaakt door specifieke plaatselijke verschillen tussen de drie meetpunten (V1, V2 en V3). Meer globaal gezien is de fytoplankton produktie in het oostelijk deel per oppervlakte-eenheid waarschijnlijk slechts weinig hoger dan in het middendeel en het westelijk deel, volgens de berekeningen ongeveer 20%.

3. Uit de resultaten van de bodemfauna run volgt dat een 25% hogere biomassa suspensie-eters in het meer en een gelijkmatige verdeling over het oppervlak nauwelijks effect heeft op de produktie van fytoplankton, weinig effect heeft op de filtratie van fytoplankton (10% meer) en een ongeveer proportioneel effect heeft op de jaargemiddelde fytoplanktonconcentratie (30%).
Het sterkste effect treedt op in de concentratie gradient van chlorofyl van west (laag) naar oost (hoog). Deze zou geheel verdwijnen met een maximum concentratie van 50 mg/m^3 . Volgens deze simulatie is niet het verschil in stratificatie tussen oost en west verantwoordelijk voor het verschil in chlorofylconcentratie, maar de aanwezige biomassa suspensie-eters.
4. De invloed van het zooplankton op de fytoplanktonconcentratie en de stofkringlopen in het meer is gering in vergelijking met de invloed van de suspensie-etende bodemfauna. De zooplankton graas bedraagt volgens de berekeningen jaargemiddeld slechts ongeveer 10% van de fytoplanktonproduktie. Door de sterke concentratie van de zooplanktonbiomassa in de zomer is graas door zooplankton toch mede verantwoordelijk voor de lage berekende chlorofylconcentratie gedurende de zomer.
5. De berekende koolstofkringlopen van het Veerse Meer en het Grevelingenmeer vertonen een opmerkelijk grote mate van overeenkomst, zowel wat betreft de biomassa niveaus van een aantal functionele groepen, als de grootte van een aantal fluxen. De belangrijkste verschillen ten opzichte van het Grevelingenmeer, en dus de specifieke eigenschappen van het Veerse Meer die haar eutrofe karakter illustreren zijn:
 - de hoge biomassa en produktie van het fytoplankton, en de hoge sestonconcentratie; in het Veerse Meer is sprake van een sterkere dominantie van fytoplankton ten opzichte van de andere primaire producenten;
 - de ophoping van een grotere hoeveelheid organisch materiaal op het bodemoppervlak en in het sediment; die vooral door de aanwezige stratificatie tot zuurstofproblemen leidt.
6. De totale retentie van stikstof in het Veerse Meer is volgens de berekeningen 55%, volgens metingen 60% van de belasting. In het Grevelingen is de retentie 100% van een evenwel 10 keer zo kleine belasting. Volgens de berekening wordt het grootste deel van de retentie in zowel het Veerse Meer als het Grevelingenmeer veroorzaakt door denitrificatie (70-80%).
De totale retentie kan met metingen worden vergeleken (en komt daar voor beide meren goed mee overeen), de verdeling over de twee retentie-processen (denitrificatie en refractair stikstof) is echter puur hypothetisch. Toch kan voorzichtig worden geconcludeerd dat het op ruime schaal voorkomen van anaerobe plaatsen in het Veerse Meer een hogere denitrificatie-intensiteit veroorzaakt.
7. De (direkte) invloed van het zeesla op de nutriëntenhuishouding is gering. Van de totale opname van stikstof door primaire producenten wordt slechts 3% door zeesla veroorzaakt. Ook de maximale opslag van stikstof in zeesla biomassa is gering, minder dan 5% van de totale hoeveelheid stikstof.

7.2. CONCLUSIES BEHEERVARIANTEN

1. Vermindering van de uitwisseling met de Oosterschelde, bijvoorbeeld door het instellen van een vast peil, zal leiden tot een verslechtering van de waterkwaliteit ten opzichte van de huidige situatie, met name wat betreft de zuurstofsituatie.
2. Geringe uitwisseling met de Oosterschelde ($5-8 \text{ m}^3/\text{s}$) gedurende de winter en het afleiden van 25% van de zoetwaterlast uit de polders geven, afzonderlijk en in combinatie, geen verbetering ten opzichte van de huidige situatie.
In combinatie met deze maatregelen veroorzaakt het instellen van een vast peil, of een kleinere peilvariatie tussen zomer en winter (30 in plaats van 70 cm), een verhoging van de chlorofylconcentratie in het voorjaar ten opzichte van de huidige situatie.
3. Uitwisseling gedurende de winter met een fors debiet ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) geeft een lichte verbetering in de geschatte omvang van het anaerobe bodemoppervlak. De andere zuurstofkenmerken worden niet positief beïnvloed. Aanvullende maatregelen als het in geringe mate (25%) afleiden van nutriënten- en/of zoetwaterlast uit de polders hebben geen effect. Wanneer daarnaast een vast peil wordt ingesteld zal de chlorofylconcentratie in het voorjaar ten opzichte van de huidige situatie toenemen.
4. Uitwisseling met de Oosterschelde met een gering debiet ($5-10 \text{ m}^3/\text{s}$) gedurende het gehele jaar kan worden gekenschetst als riskant beheer. Gemiddeld zal de zuurstofschuld in diepe bodems afnemen, evenals de lengte van de zuurstofloze periode in het hypolimnion. Het risico van een forse uitbreiding van het zuurstofloze bodemoppervlak naar de ondiepere delen van het meer onder uitzonderlijke weersomstandigheden (lange windstille periodes) is echter veel groter dan bij alle andere gesimuleerde vormen van beheer.
De chlorofylconcentratie in het voorjaar zal ten opzichte van de huidige situatie eerder toenemen dan afnemen.
5. Uitwisseling gedurende de winter, in combinatie met een aanzienlijke reductie (75%) van de zoetwaterlast en/of nutriëntenlast vanuit de polders, of forse uitwisseling ($20-40 \text{ m}^3/\text{s}$) gedurende het gehele jaar, geeft een duidelijke verbetering van zowel de zuurstofsituatie als de fytoplankton kenmerken.
Door een natuurlijke uitbreiding van de bodemfauna in het midden en oostelijk deel van het meer ten gevolge van een verbeterde zuurstofsituatie, kan de resulterende situatie in werkelijkheid nog gunstiger uitvallen dan de modelresultaten suggereren.

LITERATUUR

Atkinson M.J. en Smith S.V. 1983
C/N/P ratios of benthic marine plants. *Limnol. Oceanogr.* 28(3), 568-574

Bakker C. en Nieuwenhuize J. 1979
Particulate Organic Carbon (POC) in the watercolumn of Lake Grevelingen in relation to plankton concentrations. *DIHO Progress Report* 1978, 156-159

Blackburn, T.H. 1986.
Nitrogen cycle in marine sediments. *Ophelia* 26, 65-76.

Bollebakker, G.P. en J.P.G. van de Kamer. 1989
Ijking en validatie van eht stratificatiemodel STRESS-Veerse Meer en toepassing van het model voor de beleidsanalyse Veerse Meer. RWS-DGW, Nota GWWS-88.411.

Daemen E.A.M.J. 1985
Literatuur onderzoek met betrekking tot de ecologie van het Veerse Meer. B.v. Delta Consult.

Duke C.S., Lapointe B.E. and Ramus J. 1986
Effects of light on growth, RuBPCase activity and chemical composition of *Ulva* species (Chlorophyta). *J. Phycol.* 22, 362-370

Faganelli j., Vukovic A., Saleh F.I. en Pezdic J. 1986
C/N/P ratios and stable carbon and hydrogen isotopes in the benthic marine algae, *Ulva rigida* C.Ag. and *Fucus virsoides* J.Ag.. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 102, 153-166

Fortes M.D. en Luening K. 1980
Growth rates of North Sea macroalgae in relation to temperature, irradiance and photoperiod. *Helgol. MeeresUnters.* 34, 15-29

Fujita R.M. 1985
The role of nitrogen status in regulating transient ammonium uptake and nitrogen storage by macroalgae. *J.Exp. Mar. Biol. Ecol.* 92, 283-301

Giessen, A. van der, G.P. Bollebakker en R.R. Jansen. 1986
Fysische uitbreidingen van het stratificatiemodel STRESS. RWS-DGW, Nota GWA0-86.007.

Hannewijk A. 1988
De verspreiding en biomassa van macrofyten in het Veerse Meer. *DIHO Rapporten en Verslagen* 1988-

Hopkinson Jr., C.S. 1987.
Nutrient regeneration in shallow-water sediments of the estuarine plume region of the nearshore Georgia Bight, USA. *Marine Biology* 94, 127-142.

Van de Meulen J. en Havermans P. 1982
Waterkwaliteitskenmerken en stofbalansen van het Veerse Meer over de periode 1972-1977 Nota DDMI-81.24

Nienhuis P.H. 1988

Hoeveelheid C en N in Ulva in het Veerse Meer. Rapport DIHO 7-11-1988

Parker H.S. 1981

Influence of relative water motion on the growth, Ammonium uptake and Carbon and Nitrogen composition of *Ulva lactuca* (Chlorophyta). Mar. Biol. 63, 309-318

Revis N. en Bakker C. 1988

Zooplankton van het Veerse Meer in 1987. DIHO rapporten en verslagen 1988 -

Rosenberg G. en Ramus J. 1982

Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): Soluble nitrogen and reserve carbohydrates. Mar. Biol. 66, 251-259

Rosenberg G. en Ramus J. 1984

Uptake of inorganic nitrogen and seaweed surface area/volume ratios. Aquatic Botany 19, 65-72

RWS. 1984

Stratificatiemodel Σ STRESS Σ , achtergronden (+ bijlagen). RWS-WWZW, Nota 21.001.10.

Seys, J. en T. Meire. 1988

Macrozoobenthos van het Veerse Meer. Rapport RU-Gent/DGW.

Stronkhorst J. 1983

Stratificatie onderzoek in het Veerse Meer: Verslag over de periode 1980-1982. Nota DDMI-83.08

Stronkhorst J., Duin R. en Haas H. 1985

Primaire productie onderzoek in het Veerse Meer (1982-1983). Nota DDMI-85.10

Tackx M., 1987

Grazing door zooplankton in de Oosterschelde. Proefschrift Vrije Universiteit Brussel.

Tackx M., Francke J., Bakker C., Weststrate J., van Rijswijk P. en Vink M. 1986

Consumptie door zooplankton in de Oosterschelde. Balans-3 eindrapport; BALANS 1986-23

Vermaat J.E. en Sand-Jensen K. 1987

Survival, metabolism and growth of *Ulva lactuca* under winter conditions: a laboratory study of bottlenecks in the life cycle. Mar. Biol. 95, 55-61

de Vos, W.J., 1988

Resultaten fytoplankton Veerse Meer. RWS-DGW, notitie 880318

de Vries I., Hopstaken F. Goossens H., de Vries M., de Vries H., en Heringa J. 1988

GREWAQ: An ecological model for Lake Grevelingen. Delft Hydraulics, documentation report T0215-03

de Vries I., W., van Raaphorst en N. Dankers 1988b

Extra voedingsstoffen in zee: gevolgen, voordelen, nadelen. Landschap 5(4), 269-285.

de Vries I. en M. de Vries, 1989 (in voorbereiding)
Oxygen in GREWAQ. Delft Hydraulics, documentation report T0476

Zavodnik N. 1987

Seasonal variations in the rate of photosynthetic activity and chemical composition of the littoral seaweeds *Ulva rigida* and *Porphyra leucostica* from the North Adriatic. Botanica Marina 30, 71-82

ADDENDUM: AANVULLENDE BEHEERVARIANTEN

In dit addendum worden de resultaten gerapporteerd van de simulatie van aanvullende beheervarianten.

De weergave in tabelvorm van de balansen van stikstof en silicium (tabel 1) en 8 overige systeemkenmerken is overeenkomstig de in hoofdstuk 6 gepresenteerde samenvattende vergelijking van beheervarianten.

De volgende aanvullende simulaties zijn uitgevoerd:

- variant 11: 20 mexp3./s uitwisseling met de Oosterschelde, jaarrond bij een vast peil; en 25% reductie van de polderbelasting, inclusief reductie van de zoetwaterlast
- variant 12: 5 m³/s uitwisseling met de Oosterschelde, jaarrond bij een vast peil; en 75% reductie van de polderbelasting, inclusief reductie van de zoetwaterlast
- variant 13: gelijk aan de huidige situatie, inclusief peilwisseling tussen zomer en winter; met een extra stikstofbelasting vanuit de polders van 3 gN/m³/j
- variant 14: gelijk aan variant 13, met een extra stikstofbelasting van 7 gN/m³/j
- variant 15: gelijk aan variant 13, met een extra stikstofbelasting van 13 gN/m³/j
- variant 16: gelijk aan de huidige situatie, inclusief peilwisseling tussen zomer en winter; met een reductie van de stikstofbelasting vanuit de polders met 50% (10 gN/m³/j minder).
- variant 17: 40 mexp3./s uitwisseling met de Oosterschelde, jaarrond bij een vast peil; en 50% reductie van de polderbelasting.
- variant 18: 40 mexp3./s uitwisseling met de Oosterschelde, jaarrond bij een vast peil; en het compleet afleiden van alle nutriënten- en zoetwater belasting vanuit de polders en het kanaal door Walcheren.

Tabel A.1

Overzichtstabel van de resultaten van extra VEERWAQ berekeningen.
I. Balansen van stikstof en silicium in gN,Si/m²/j

		N- input polder	N- input O'sch.	N- export	deni- trifi- catie	Si- input polder	Si- input O'sch.
1	huidige situatie	35	5	23	15	46	3
11	20 m ³ /s, 25% d-red.	30	33	49	12	39	27
12	5 m ³ /s, 75% d-red.	20	8	14	12	26	7
13	als 1, + 3 gN/m ² /j	38	5	25	15	46	3
14	als 1, + 7 gN/m ² /j	42	5	27	16	46	3
15	als 1, +13 gN/m ² /j	48	5	32	16	46	3
16	als 1, -10 gN/m ² /j	25	5	16	12	33	3
17	40 m ³ /s, 50% N-red.	25	64	76	11	33	53
18	40 m ³ /s, 100% d-red.	0	64	56	9	0	53

Tabel A.2

Overzichtstabel van de resultaten van extra VEERWAQ berekeningen.
II. Overige systeemkenmerken

	ver- blijf- tijd	max. chloro- fyl	max. NO ₃ + NH ₄	period O ₂ < 2 mg/l	O ₂ loos opp. in ha	O ₂ loos opp. als %	O ₂ - schuld bodem	fytopl jaar- prod.
1	180	80	3.0	130	150	19	100	380
11	45	60	2.0	30	< 40	< 5	30	260
12	140	55	2.3	20	< 40	< 5	30	250
13	180	85	3.0	130	150	19	100	380
14	180	100	3.1	150	170	21	110	400
15	180	120	3.4	160	180	22	130	410
16	180	70	2.5	130	140	17	80	300
17	24	35	1.5	20	< 40	< 5	10	200
18	26	30	1.0	< 10	< 40	< 5	10	190

De varianten 11 en 12 vormen een bevestiging van de conclusie die in paragraaf 6.3.5 is getrokken ten aanzien van beheervarianten waarbij het jaarrond uitwisselen met de Oosterschelde wordt gecombineerd met een reductie van de nutriënten- en zoetwaterbelasting vanuit de polders. Vooral de zuurstofkenmerken vertonen een duidelijke verbetering ten opzichte van de huidige situatie, maar ook de fytoplanktonkenmerken reageren gunstig op deze combinaties van maatregelen.

Verhoging (varianten 13, 14, 15) of verlaging (variant 16) van de belasting heeft in de berekeningsresultaten bijna uitsluitend effect op de nutriëntenconcentratie, de fytoplanktonkenmerken (chlorofyl en produktie) en de denitrificatie. De zuurstofkenmerken 'reageren' slechts weinig. Voor deze kenmerken blijkt de hydraulische situatie (peilopzet, verblijftijd, stratificatie), althans binnen de range van nu beschouwde belastingvariatie, doorslaggevend.

De varianten 17 en 18 illustreren de beste omstandigheden die in het Veerse Meer kunnen worden verwezenlijkt ten aanzien van de kenmerken die in deze modeltoepassing worden gesimuleerd: het (nagenoeg) afwezig zijn van zuurstofloosheid en een lage chlorofylconcentratie, vergelijkbaar met de situatie in de Oosterschelde. Het extra effect van een forse reductie van de nutriëntenbelasting en de zoetwaterlast zijn echter betrekkelijk gering. Een bijna vergelijkbare verbetering ten opzichte van de huidige situatie kan ook worden bereikt door uitsluitend met 40 m³/s door te spoelen (variant 8 in tabel 6.2).

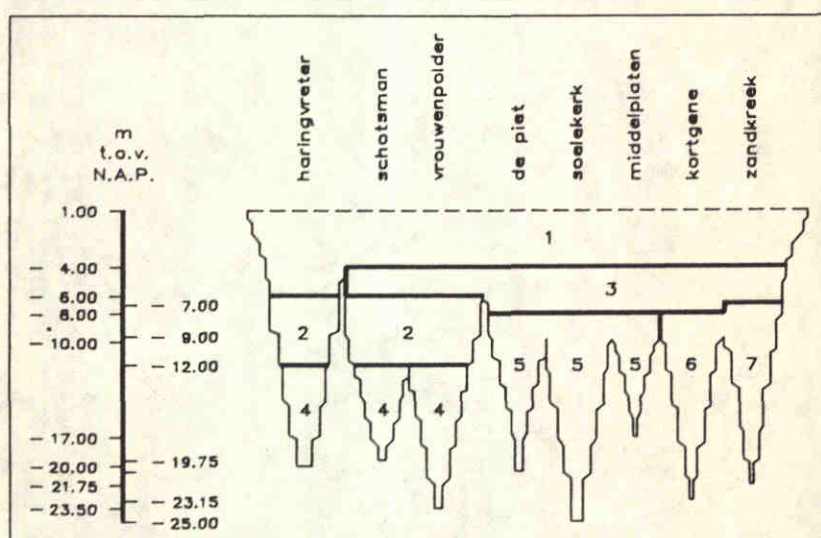
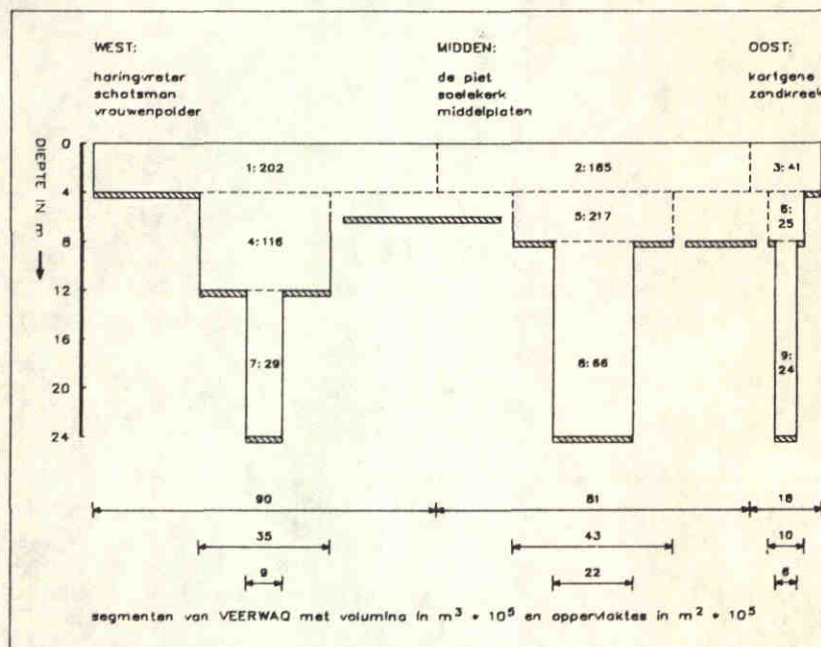
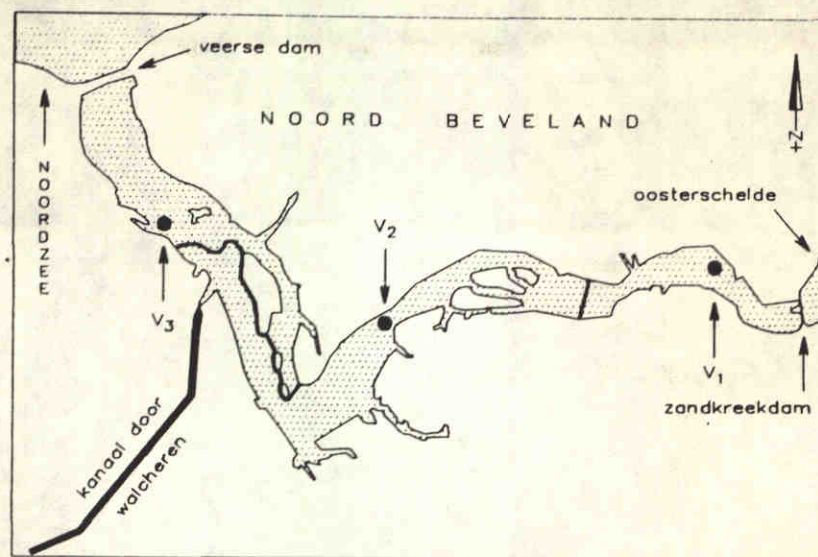
Naast deze simulaties van nieuwe beheervarianten is voor een van de oude varianten een zogenaamde 'worst case' berekening uitgevoerd. Dit betrof de 0+-variant uit de beleidsanalyse, welke overeenkomt met variant 7.1. volgens de nummering in dit rapport. In deze berekening is alleen de dispersieve uitwisseling tussen de watersegmenten meegenomen, waarbij de dispersie coëfficiënten voor de verticale uitwisseling zijn afgeleid uit de door STRESS berekende verticale chloride gradienten. Deze 'worst case' berekening is daarmee vergelijkbaar met die voor de huidige situatie (zie paragraaf 4.2) en met die voor variant 7 (zie paragraaf 5.10).

De resultaten zijn voor kenmerken als de maximale chlorofylconcentratie, de stikstofconcentratie en de jaarproduktie van fytoplankton vergelijkbaar met de resultaten van de gewone berekening voor deze variant. Net als bij de andere worst case berekeningen worden, door de veel kleinere verticale uitwisseling, voor de zuurstofkenmerken veel slechtere waarden berekend. Voor het middegebied:

- duur van de zuurstofloze periode: 220 dagen in plaats van 60 dagen volgens de gewone berekening,
- zuurstofloos bodemoppervlak: 200 ha of meer in plaats van 150 ha
- zuurstofschuld in diepe bodems: 95 in plaats van 50 gO₂/mexp₃.

Zoals al opgemerkt in paragraaf 6.2.3 is bij deze variant de kwetsbaarheid voor het op grote schaal optreden van zuurstofloosheid groot doordat de spronglaag gedurende de zomer erg hoog ligt. In paragraaf 6.3.4 is deze beheervariant (uitwisseling met de Oosterschelde met een gering debiet gedurende het gehele jaar) daarom gekenschetst als 'riskant beheer'. Dit wordt geïllustreerd met deze worst case simulatie.

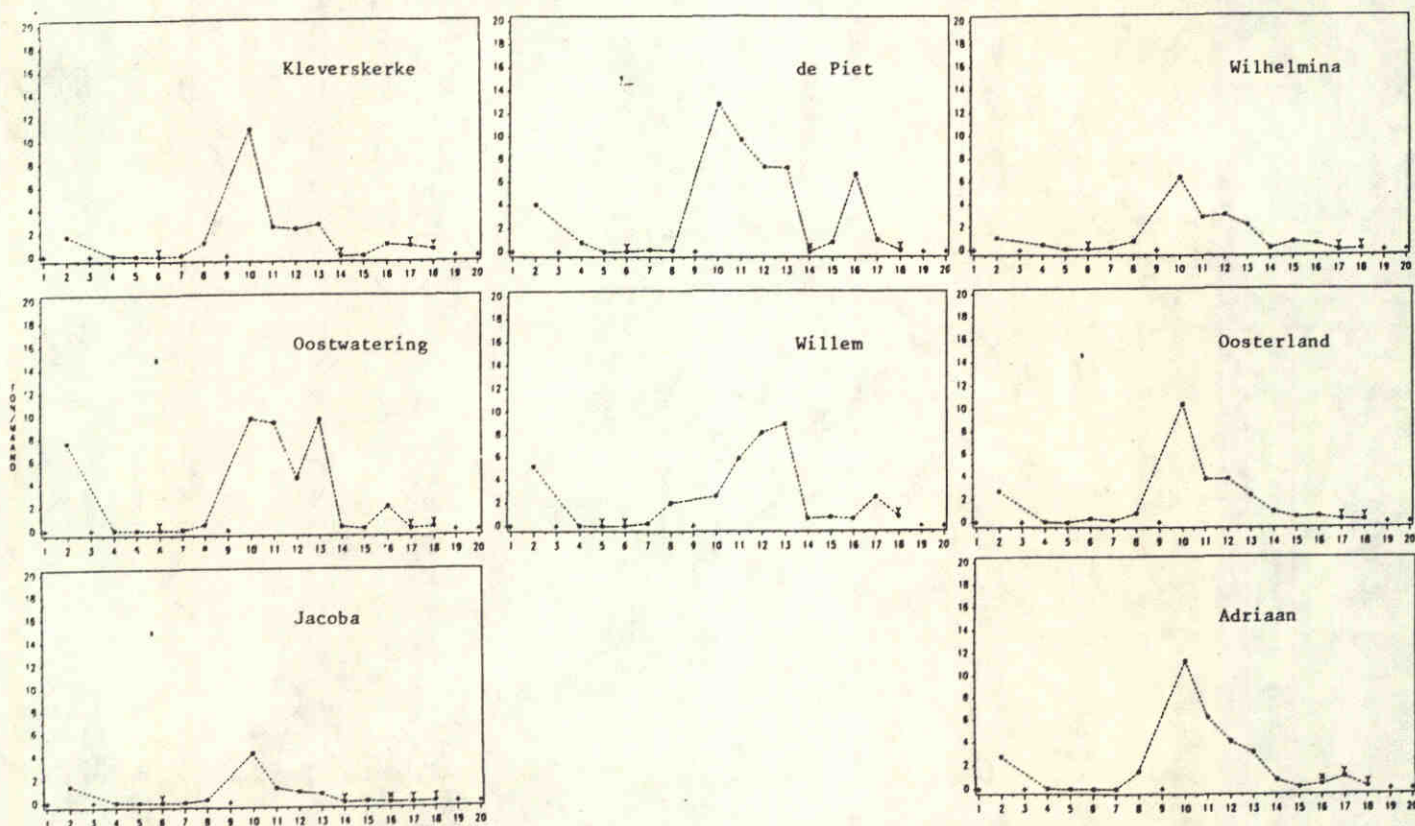
FIGUREN



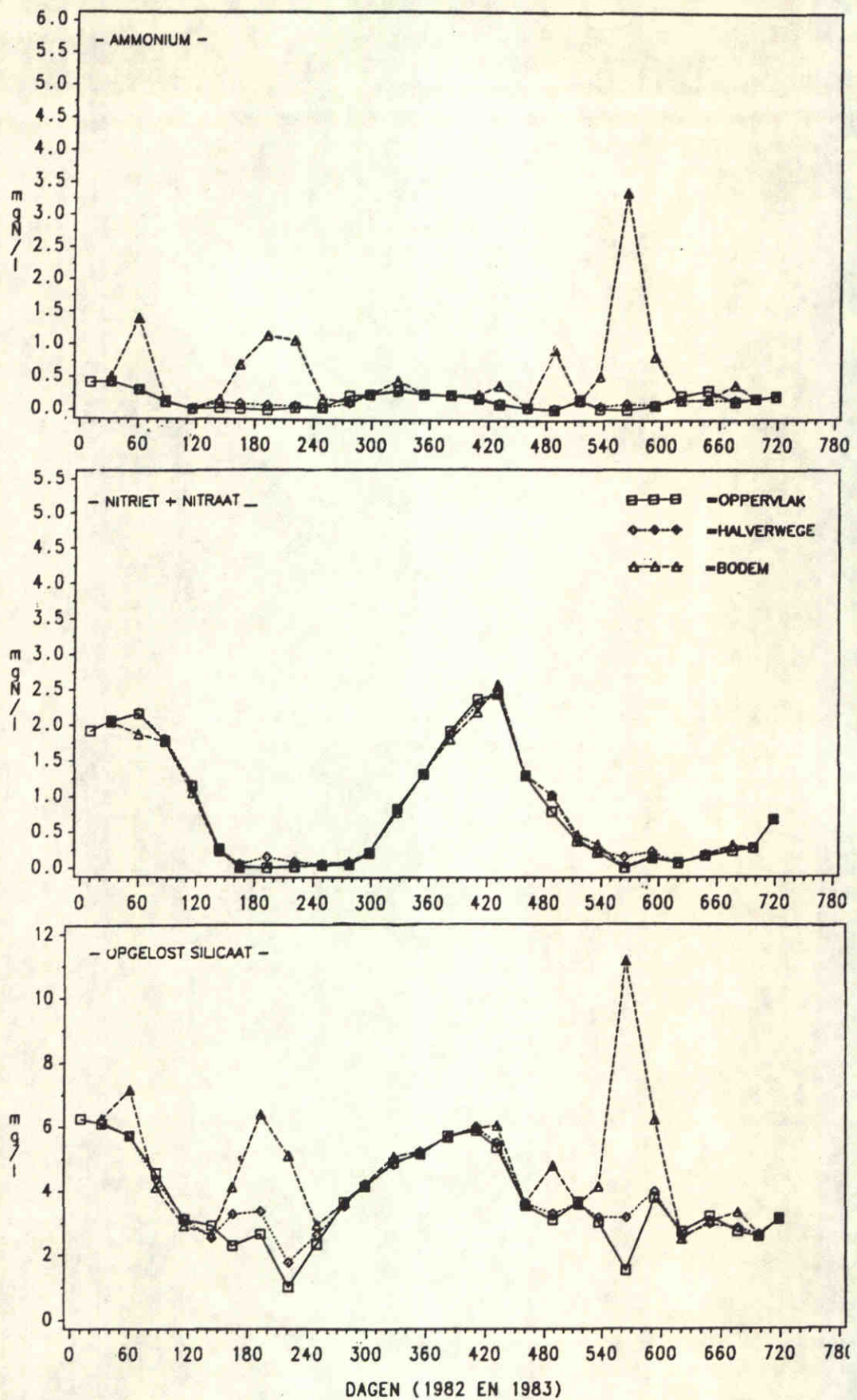
Figuur 2.1. (boven) Het Veerse Meer met de meetpunten V1, V2 en V3, en de grenzen tussen het oostelijk, midden en westelijk deel

Figuur 2.2. (midden) Schematisatie van het Veerse Meer in VEERWAQ

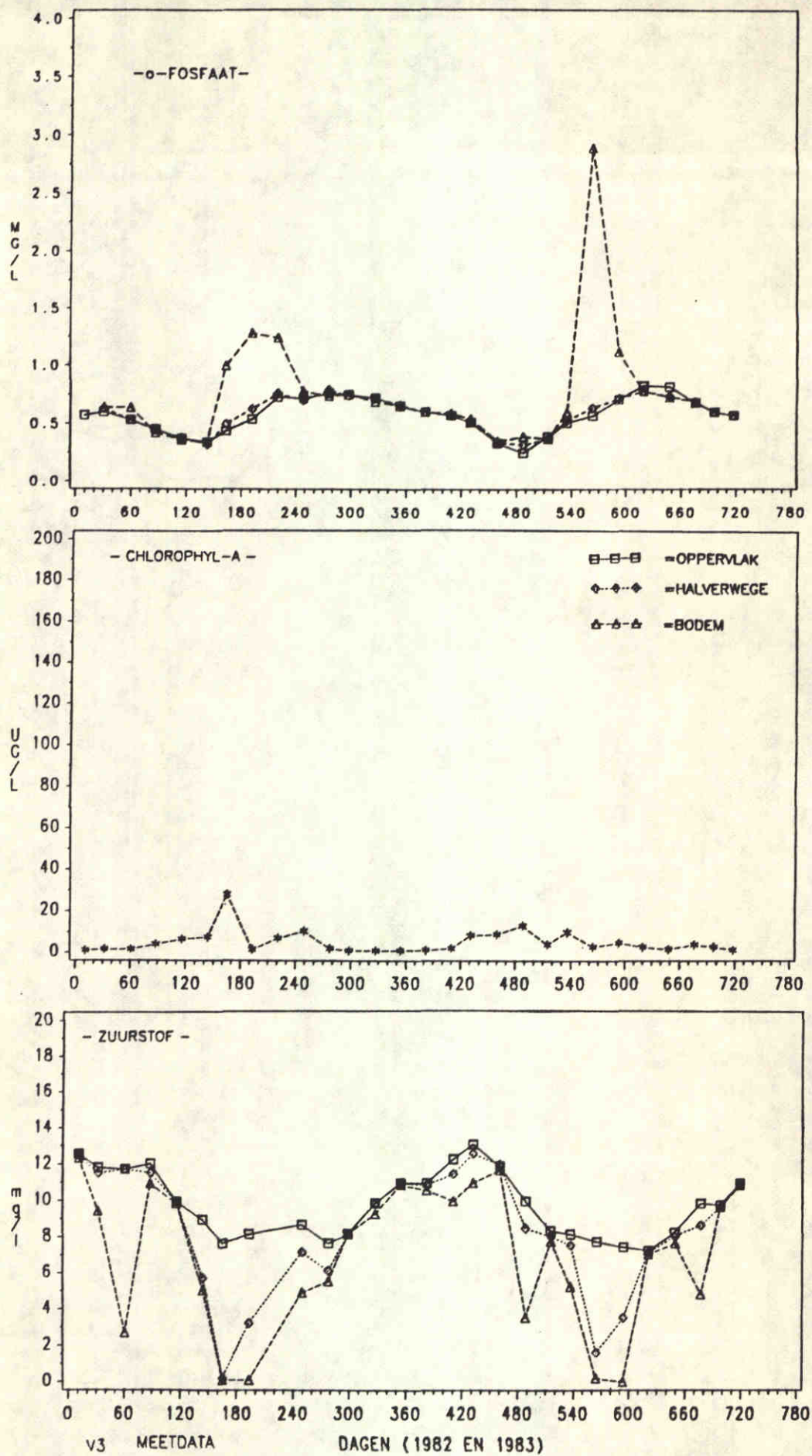
Figuur 2.3. (onder) De vereenvoudigde STRESS schematisatie met 7 sectoren



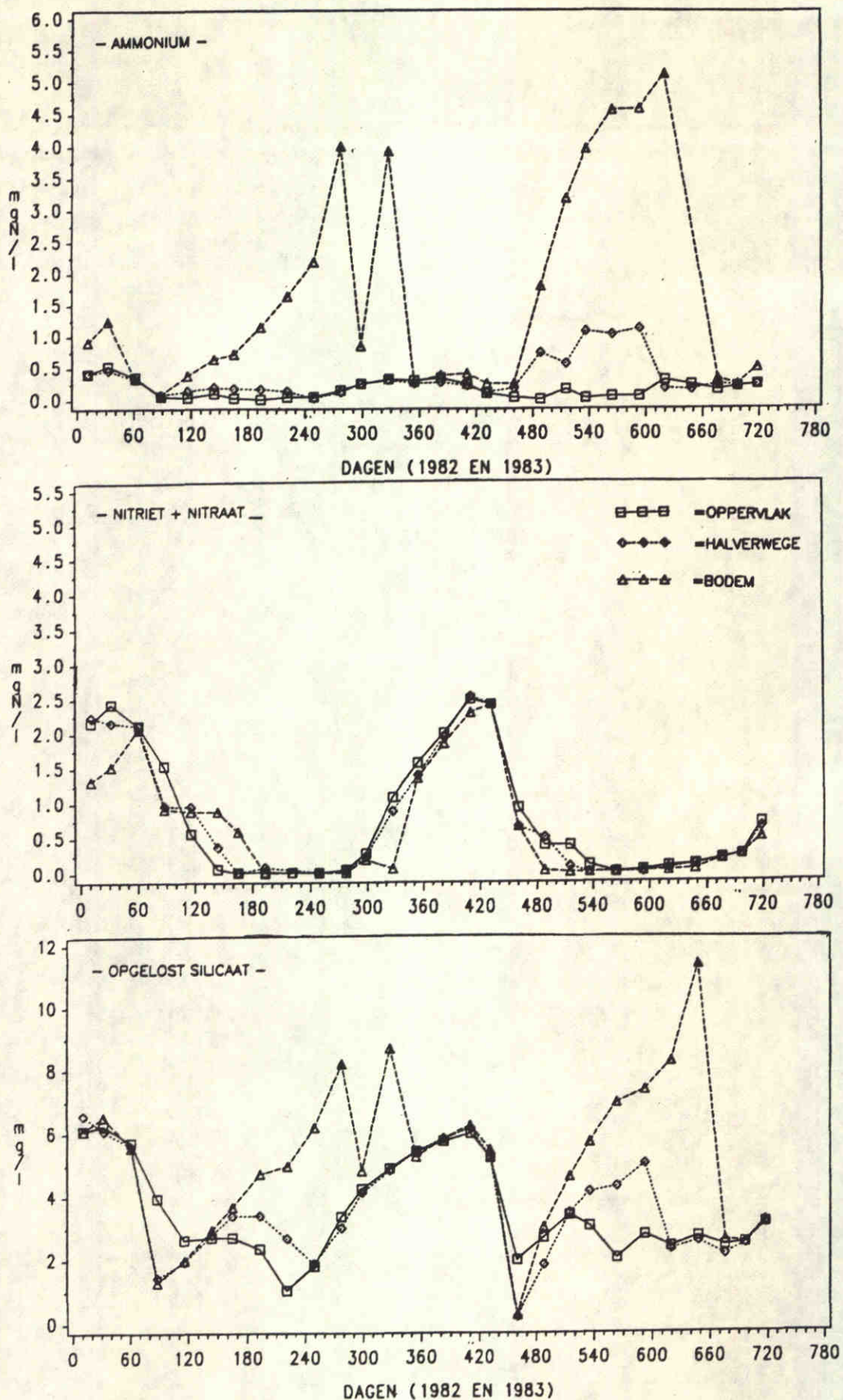
Figuur 3.1. De N-belasting ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$) door diverse polderwater gemalen tussen maart 1986 en oktober 1987 (ton N/maand)



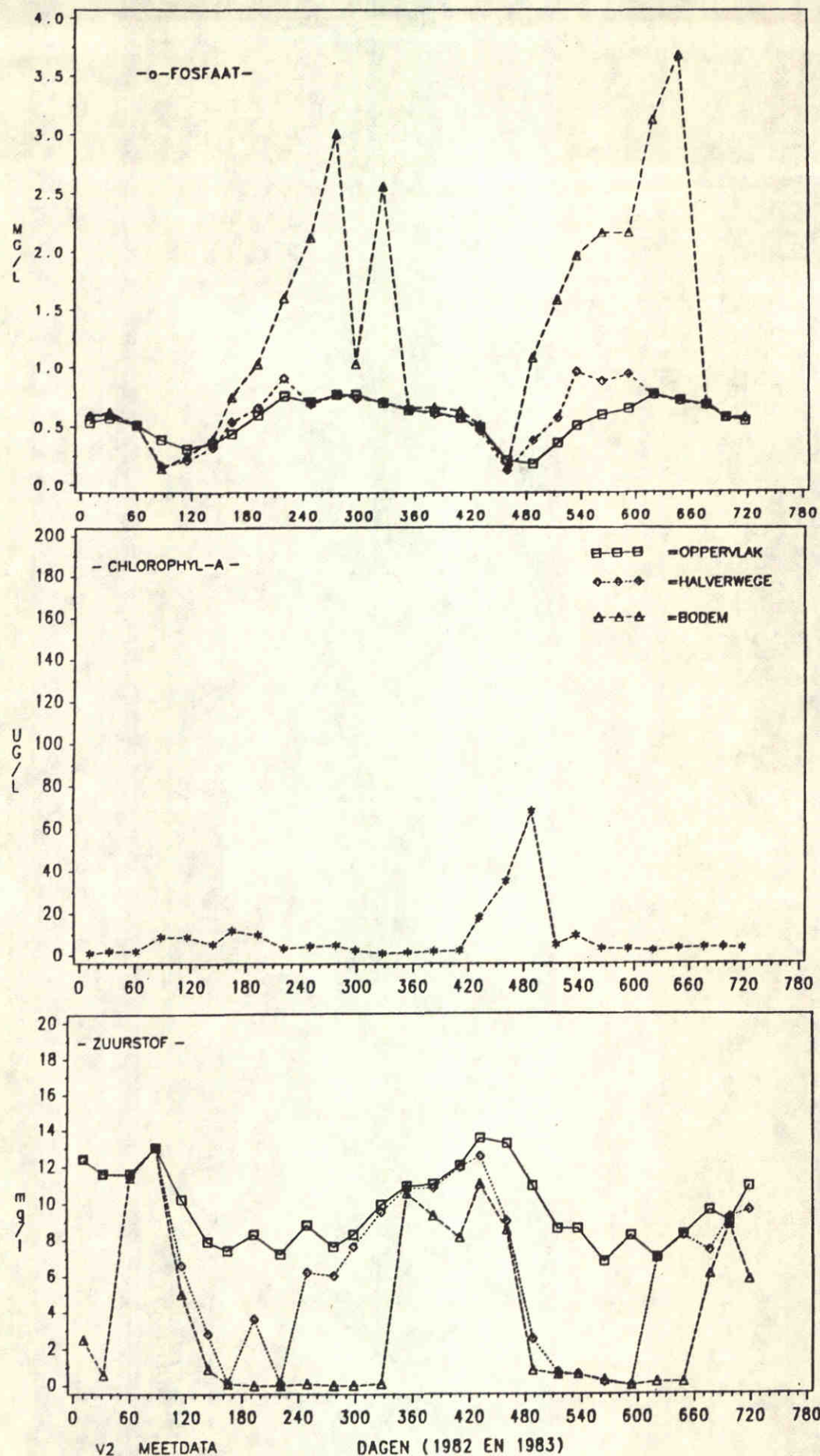
Figuur 3.2. Waterkwaliteit parameters, gemeten in 1982-1983 in het westelijk deel (meetpunt V3)



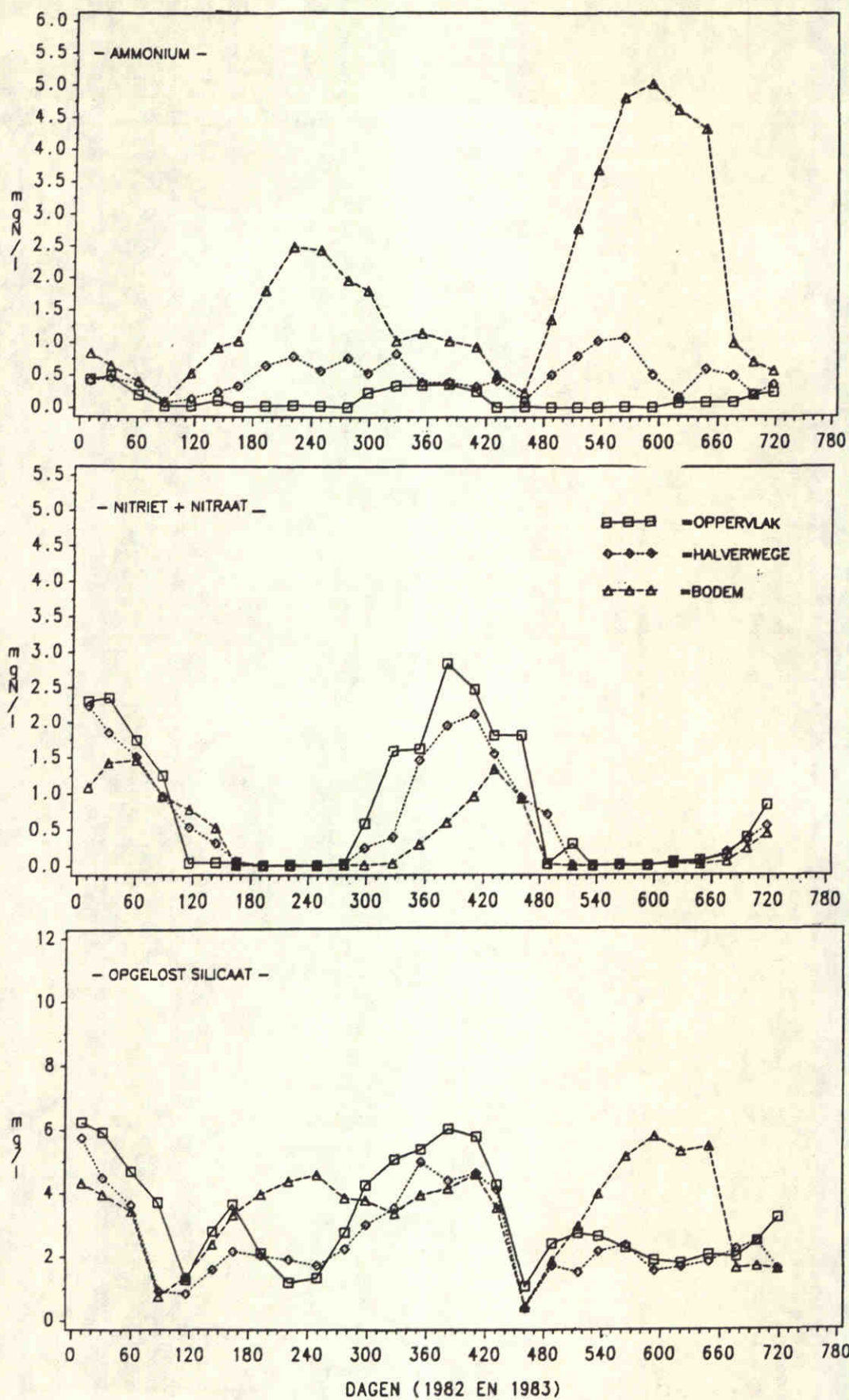
Figuur 3.2. (vervolg) Waterkwaliteit parameters, gemeten in 1982-1983 in het westelijk deel (meetpunt V3)



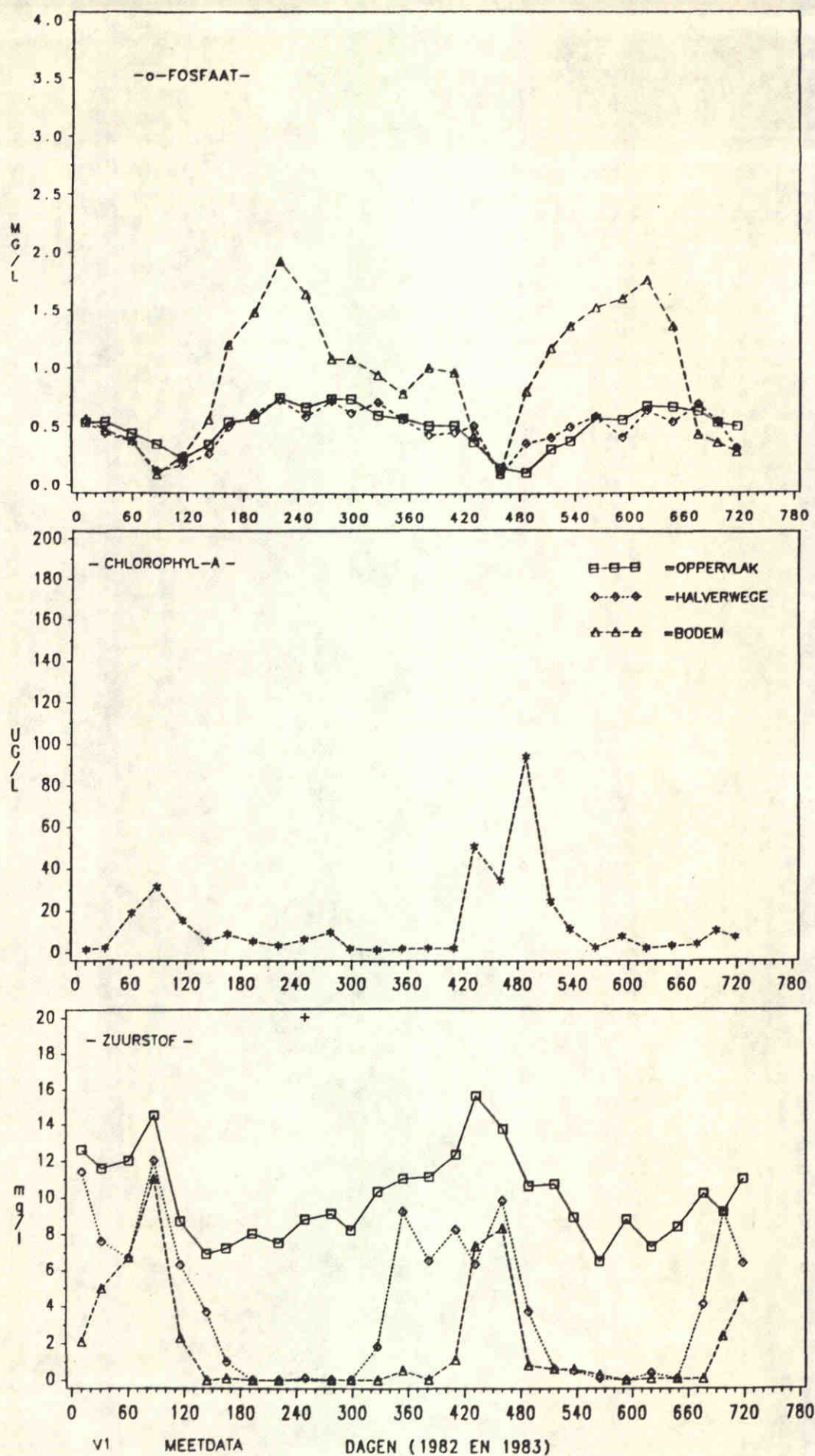
Figuur 3.3. Waterkwaliteit parameters, gemeten in 1982-1983 in het midden deel (meetpunt V2)



Figuur 3.3. (vervolg) Waterkwaliteit parameters, gemeten in 1982-1983 in het midden deel (meetpunt V2)



Figuur 3.4. Waterkwaliteit parameters, gemeten in 1982-1983 in het oostelijk deel (meetpunt V1)



Figuur 3.4. (vervolg) Waterkwaliteit parameters, gemeten in 1982-1983 in het oostelijk deel (meetpunt V1)

LEGENDA'S VAN DE KLEURENFIGUREN

figuur 4.1. - resultaten nominale run

- de nitraat- en siliciumconcentraties in de drie waterlagen (segmenten 2, 5 en 8) in het middendeel van het meer, vergeleken met de gemeten concentraties aan het oppervlak op V2 (middendeel)
- de biomassa van het microfytobenthos op ondiepe bodems (0-4m diep) in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer (segmenten 1, 2 en 3)
- de concentratie partikulair organisch koolstof (POC) in de bovenste waterlaag in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer (segmenten 1, 2 en 3), vergeleken met de gemeten concentratie aan het oppervlak op V2 (middendeel)
- de concentratie detritus op het oppervlak van ondiepe (0-4m, segment 2), diepere (4-8m, segment 5) en diepe (8-24m, segment 8) bodems in het middendeel van het meer
- de zuurstofsituatie in ondiepe (0-4m, segment 11), diepere (4-8m, segment 14) en diepe (8-24m, segment 17) bodems in het middendeel van het meer

figuur 4.2. - resultaten nominale run, vervolg

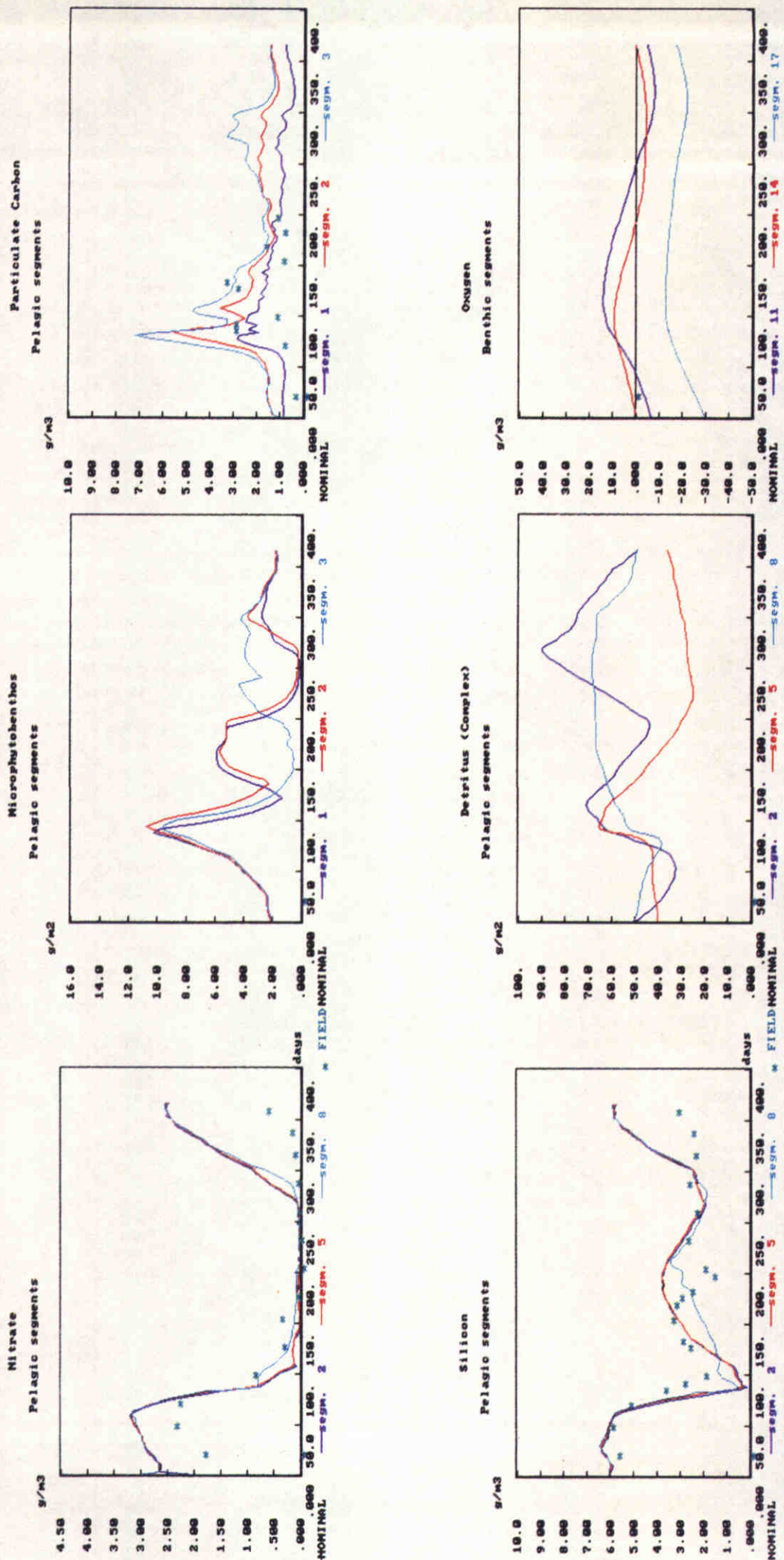
- de zuurstofconcentratie in de drie waterlagen in het middendeel van het meer, driemaal weergegeven en achtereenvolgens vergeleken met de gemeten concentraties aan het oppervlak, op halve waterdiepte en bij de bodem op V2 (middendeel)
- de ammoniumconcentratie in de drie waterlagen in het middendeel van het meer, driemaal weergegeven en achtereenvolgens vergeleken met de gemeten concentraties aan het oppervlak, op halve waterdiepte en bij de bodem op V2 (middendeel)

figuur 4.3. - vergelijking van resultaten van de nominale (rechts), de worst case (midden) en de bodemfauna run (links)

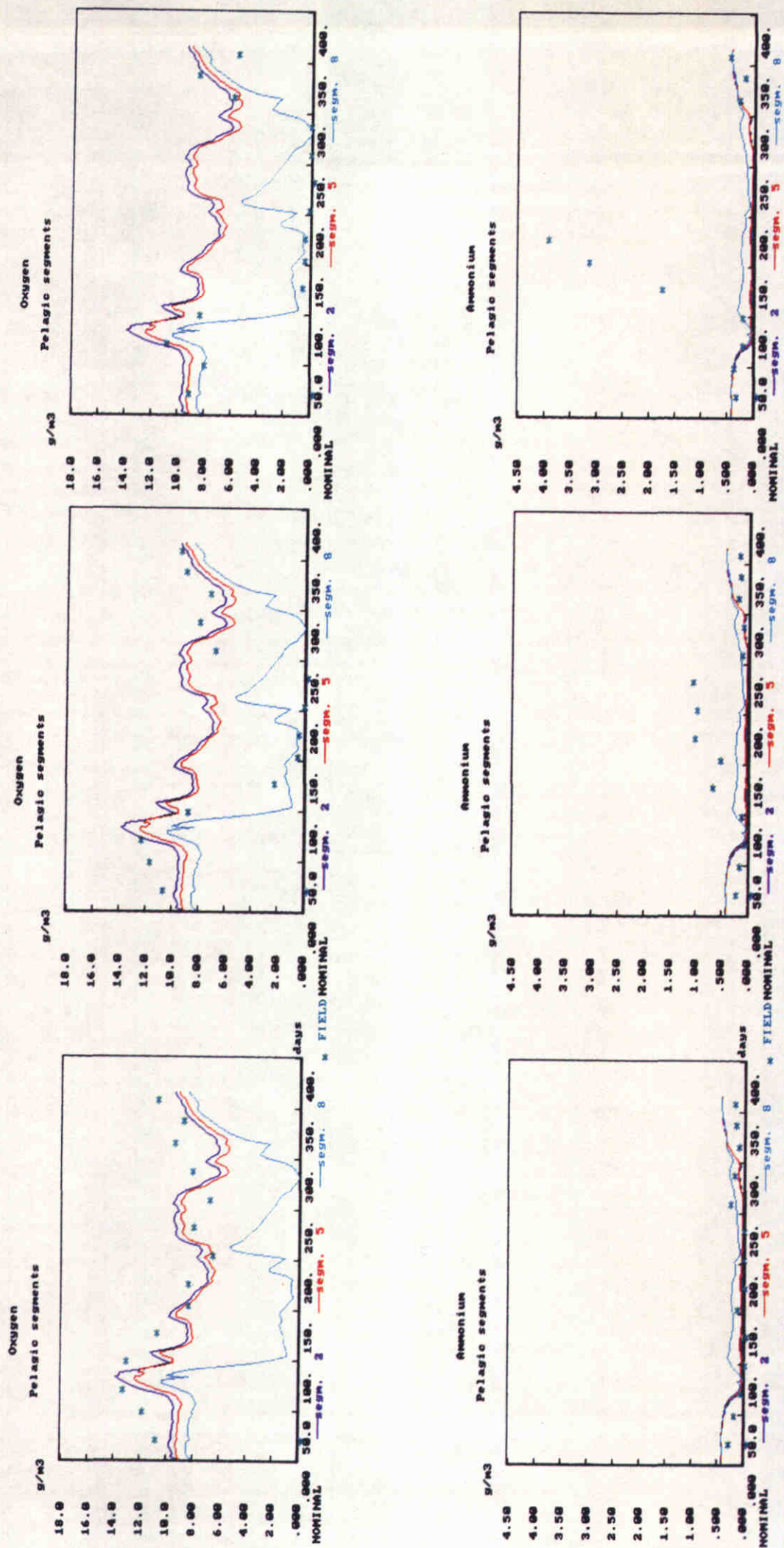
- de chlorofylconcentratie in de bovenste waterlaag in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer, vergeleken met de gemeten concentratie aan het oppervlak op V2 (middendeel)
- de zuurstofconcentratie in de drie waterlagen in het middendeel van het meer, vergeleken met de gemeten concentratie aan het oppervlak op V2 (middendeel)

figuur 4.4. - vergelijking van resultaten van de nominale (rechts), de worst case (midden) en de bodemfauna run (links), vervolg

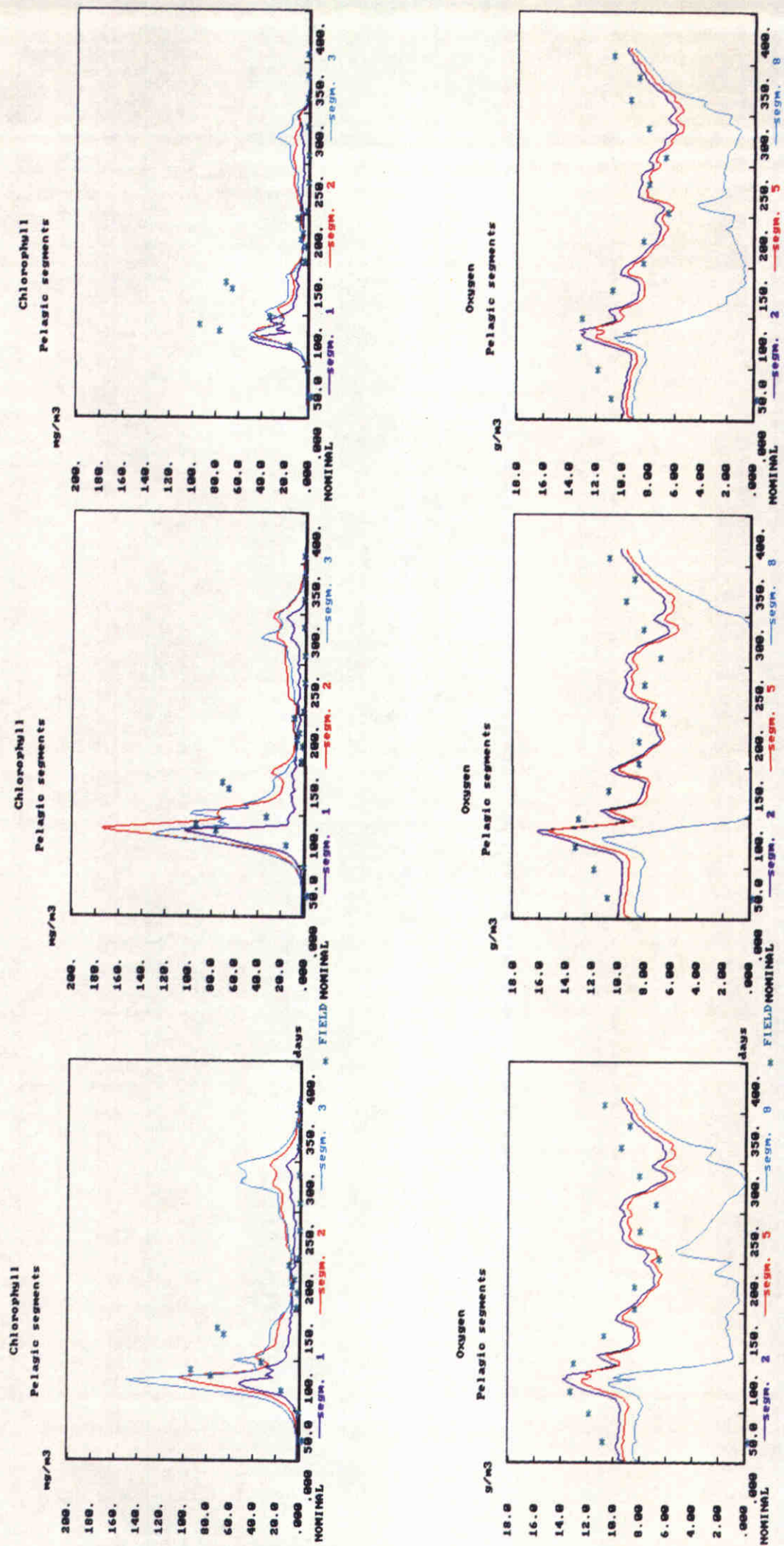
- de concentratie niet-diatomeeen in de bovenste waterlaag in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer
- de concentratie diatomeeen in de bovenste waterlaag in het westelijk, midden en oostelijk deel van het meer



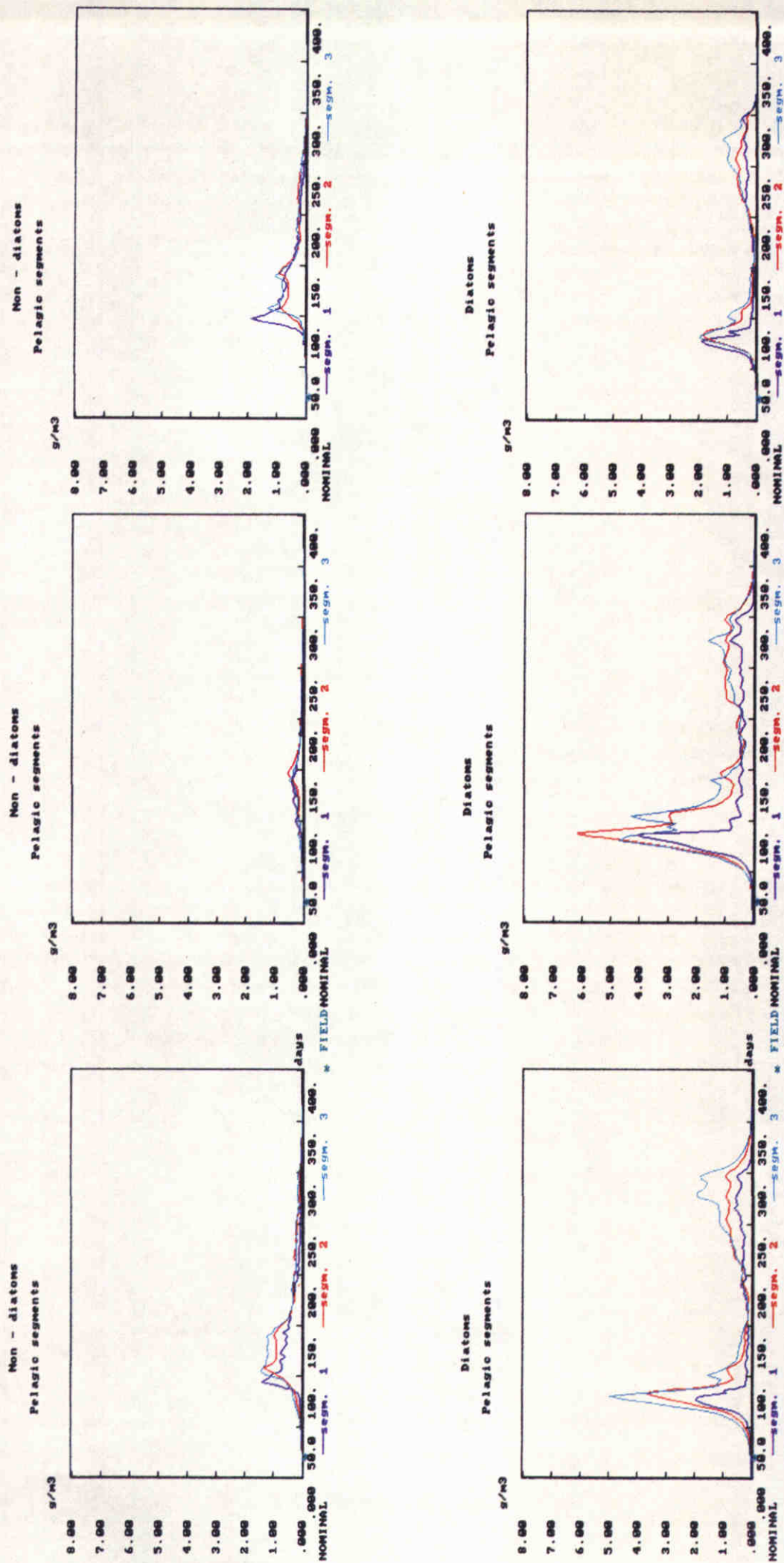
Figuur 4.1. Nutrienten, microfytobenthos, POC, complex detritus en bodem zuurstof



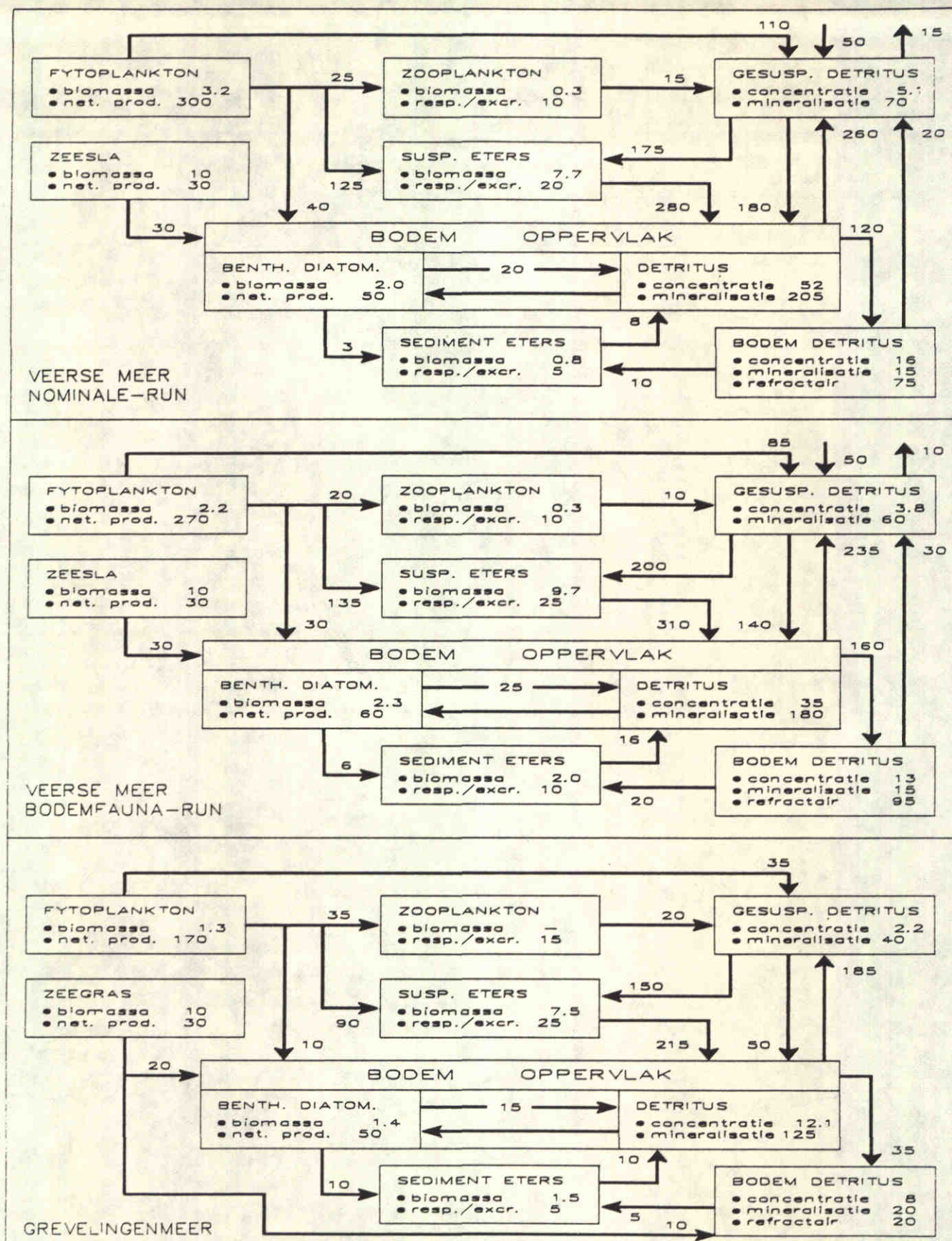
Figuur 4.2. Verticale gradienten van zuurstof en ammonium



Figuur 4.3. Effect van stratificatie en bodemfauna op chlorofyl en zuurstof



Figuur 4.4. Effect van stratificatie en bodemfauna op de soorten-samenstelling van fytoplankton

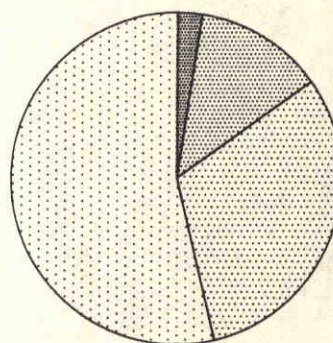


Figuur 4.5. De koolstofkringloop op jaarbasis, gemiddeld voor het hele Veerse Meer, volgens de nominale run (boven) en de bodemfauna run (midden). Ter vergelijking is de koolstofkringloop van het Grevelingenmeer weergegeven (onder). De massa's staan weergegeven in gC/m², de fluxen in gC/m²/j

stikstofbalans Veerse Meer

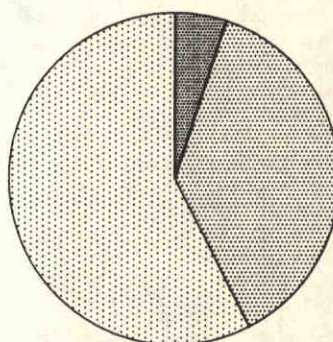
belasting: (gN/m²/jaar)

polderwater	21.5
kanaal door Walcheren	12.5
oosterschelde	5.0
neerslag	1.0
totaal:	40.0



verwijdering: (gN/m²/jaar)

export oosterschelde	23.0
denitrificatie	15.0
ophoping in sediment	2.0
totaal:	40.0





hoofdkantoor
Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon (015) 56 93 53
telefax (015) 61 96 74
telex 38176 hydel-nl

locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon (05274) 29 22
telefax (05274) 35 73
telex 42290 hylvo-nl

