

Z 2570

AFGEHANDELD

Opdrachtgever:

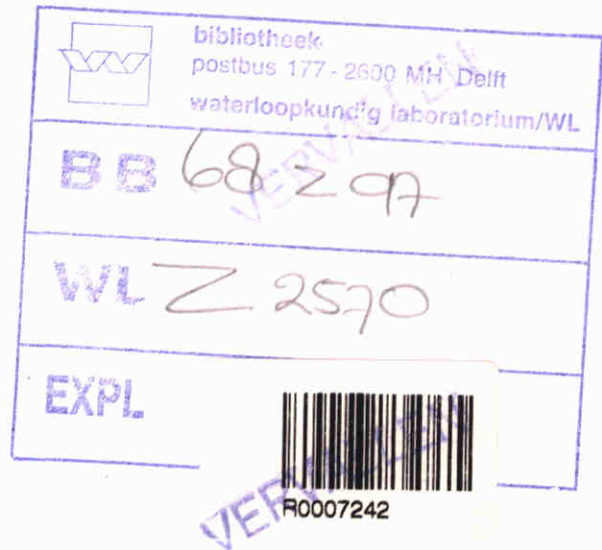
Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee

Toepassing GEM Veerse Meer

november 1998

wl | delft hydraulics

Z2570

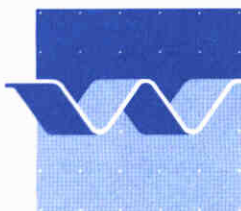


Toepassing GEM Veerse Meer

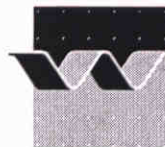
J.G.C. Smits

A.N. Blauw

A.J. Nolte



WL | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat, RIKZ

TITEL: Toepassing GEM Veerse Meer

SAMENVATTING:

Het voorliggende rapport beschrijft het opzetten en de calibratie van het generieke ecologische model voor estuaria GEM voor het brakke Veerse Meer. Het gecalibreerde model dient geschikt te zijn voor het doorrekenen van doorspoelscenario's met het oog op vermindering van de zuurstofproblematiek en verbetering van de nutriëntenhuishouding. De 3D-toepassing van GEM omvatte de nog niet eerder gebruikte module voor organische stof, de meest eenvoudige bodemmodule, de grazersmodule en de microfytosbenthosmodule. Ulva werd net als fytoplankton gesimuleerd met module BLOOM II. Formuleringen voor chloride-gestuurde sterfte van algen zijn aan BLOOM toegevoegd. Zoöplankton en macrozoöbenthos dienden als 'forcing' functies.

Aan de calibratie ging analyse van de beschikbare gegevens van de waterkwaliteit en de aquatische organismen vooraf. Op basis van de analyse is het gestratificeerde meer ten behoeve van de modeltoepassing geschematiseerd in boven elkaar gelegen waterlagen voor een achttal diepe putten, die onderling uitwisselen door middel van advectief en dispersief transport. De benodigde waterbeweging in dit gelaagde systeem is door RIKZ berekend met behulp van STRESS, en werd vervolgens aan GEM opgelegd. In GEM is een extra ondiep randsegment toegevoegd, waarin Ulva wordt geproduceerd. Het model werd voorzien van stofbelastingen voor chloride, nutriënten en organische stof, die onder andere samenhangen met de lozing van polderwater en de instroming van water uit de Oosterschelde.

Het resultaat van de calibratie is bevredigend, maar verbeteringen zijn mogelijk, met name als nieuwe gegevens van de primaire productie beschikbaar komen. GEM Veerse Meer is in principe geschikt bevonden voor het doorrekenen van doorspoelscenario's.

REFERENTIES: Overeenkomst RKZ-598: brief RIKZ/OS 986899, 22 oktober 1998
Begeleider van RIKZ: ir. M. Bokhorst

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
2	J.G.C. Smits <i>b/a</i>	12-11-98		F.J. Los	T. Schilperoort
	A.N. Blauw			J.A. van Pagee	
	A.J. Nolte				

TREFWOORDEN	INHOUD	STATUS
ecologisch model, waterkwaliteit, zuurstofhuishouding, primaire productie, stratificatie, calibratie, GEM, Veerse Meer	TEKST: 45 TABELLEN: 9 FIGUREN: 40 APPENDICES 0	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF
PROJECTNUMMER: Z2570		

Inhoud

Samenvatting

1	Inleiding.....	1-1
1.1	Achtergrond.....	1-1
1.2	Doelstelling	1-1
1.3	Werkwijze.....	1-2
1.4	Leeswijzer	1-3
1.5	Verantwoording.....	1-4
2	Beschrijving van het Veerse Meer	2-1
2.1	Kenmerken van het meer.....	2-1
2.2	Beschikbare gegevens	2-2
2.3	Waterkwaliteit en aquatisch ecosysteem	2-4
	2.3.1 Beoordeling van gegevens van vaste meetpunten.....	2-4
	2.3.2 Beoordeling van gegevens van stratificatie-metingen.....	2-15
3	Modelbeschrijving.....	3-1
3.1	Het GEM-instrumentarium bij aanvang.....	3-1
3.2	Inrichting van GEM ‘Veerse Meer’	3-2
3.3	Uitbreidingen van het GEM-instrumentarium	3-3
	3.3.1 Modelling met <i>Ulva</i> in BLOOM.....	3-3
	3.3.2 Uitbreiding met verhoogde algensterfte onder invloed van chloride.....	3-4
	3.3.3 Uitbreiding met dagelijkse variatie in zuurstof.....	3-5
4	Schematisatie, forcing en transport.....	4-1
4.1	Schematisatie in ruimte en tijd.....	4-1
4.2	Waterbalans, waterbeweging en stoftransport.....	4-3
4.3	Omzetten van STRESS-uitvoer naar GEM-invoer.....	4-5

4.4	Belastingen	4-6
4.5	Meteorologische randvoorwaarden	4-8
4.6	Begincondities	4-8
4.7	Forcing functies voor grazers	4-8
5	Inregeling van GEM voor het Veerse Meer	5-1
5.1	Methodische aspecten	5-1
5.2	Uitgangswaarden van procesparameters	5-2
5.2.1	Procesparameters primaire producenten	5-2
5.2.2	Procesparameters waterkwaliteit	5-2
5.3	Aanpassing van parameterwaarden	5-3
5.3.1	Chloride	5-3
5.3.2	Nutriënten	5-3
5.3.3	Primaire productie	5-4
5.3.4	Zuurstof	5-5
5.4	Resultaten	5-6
5.4.1	Chloride	5-6
5.4.2	Nutriënten	5-7
5.4.3	Primaire productie	5-8
5.4.4	Zuurstof en detritus	5-8
6	Discussie	6-1
6.1	Transport	6-1
6.2	Schematisatie	6-2
6.3	Rol van de bodem	6-2
6.4	Rol van nutriënten	6-2
6.5	Rol van grazers	6-3
6.6	Rol van <i>Ulva</i>	6-3
6.7	Missende informatie	6-3
7	Conclusies	7-1
8	Geraadpleegde literatuur	8-1

Appendices

A **Figuren**

B **Parameterwaarden bij aanvang van de Calibratie**

C **Belastingen van het Veerse Meer**

Samenvatting

Sinds het ontstaan van het Veerse Meer in 1960 is het meer geleidelijk verzoet. De waterkwaliteit van het brakke meer is als gevolg van toenemende eutrofiëring verslechterd. De problemen spitsen zich toe op de zuurstofhuishouding. Gelaagdheid van de waterkolom in combinatie met hoge productie van organische stof door fytoplankton en *Ulva* (zeesla) leidt tot het ontstaan van zuurstofloos water in de diepere delen van het meer. Inmiddels wordt doorspoeling met zout en nutriëntenarm water van de Oosterschelde overwogen om deze ontwikkeling te keren. Teneinde de effectiviteit van doorspoeling te kunnen onderzoeken, is er behoefte aan een waterkwaliteitsmodel dat het functioneren van het Veerse Meer beschrijft en effecten van veranderingen kan voorspellen.

Bij de opzet van een dergelijk waterkwaliteitsmodel voor het Veerse Meer is gebruik gemaakt van het recent ontwikkelde GEM (Generiek Ecologisch Model voor estuaria) (WL, 1995a, 1995b, 1997a). GEM is ontwikkeld in opdracht van RIKZ als algemeen waterkwaliteitsmodel om voor alle Nederlandse zoute en brakke wateren de ontwikkeling van de waterkwaliteit te kunnen beschrijven. Bij de ontwikkeling is gebruik gemaakt van de kennis van experts bij verschillende Nederlandse (onderzoeks)-instellingen op het gebied van het zoute watersysteem. Het model bestaat uit een set van mathematische procesbeschrijvingen die voor ieder watersysteem een waterkwaliteitsmodel oplevert, wanneer deze gecombineerd wordt met de actuele waterbeweging en randvoorwaarden van het betreffende watersysteem. De operationalisering en calibratie van GEM voor het Veerse Meer is het onderwerp van dit rapport.

Het model is ingericht voor simulatie van chloride, zuurstof, nutriënten, fytoplankton, microfytobenthos en dode organische stof. *Ulva* wordt samen met de planktonische algensoorten met de module BLOOM II gesimuleerd. Zoöplankton en macrozoöbenthos zijn in de vorm van 'forcing' functies aan GEM opgelegd. In GEM zijn verschillende modules beschikbaar om de uitwisseling tussen water en bodem te berekenen. In deze toepassing wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde 'eenvoudige bodemmodule'.

Het Veerse Meer is in het model geschematiseerd als een homogeen gemengde toplaag van circa 4 meter dikte, met daaronder een achttal gelaagde diepe geulen. De dikte van de toplaag is variabel, zodat de gemeten peilvariëaties door het model gevolgd worden. De zone met een diepte kleiner dan vier meter is als extra segment aan de toplaag gekoppeld, en wisselt daarmee stoffen uit via dispersief transport. Het meer ontvangt zoet water van een negental gemalen, van het Kanaal van Walcheren en door neerslag. Zout water van de Oosterschelde komt in het Veerse Meer door de Zandkreeksluis als gevolg van schutten en peilopzet. Overtollig water wordt afgevoerd naar de Oosterschelde en verdwijnt door verdamping.

De uitwisseling van water tussen de diverse watersegmenten, is door RIKZ berekend met behulp van het model STRESS. De waterbalans van STRESS is sluitend gemaakt op basis van het gemeten waterpeil. Dit leverde een aanzienlijke, afwisselend positieve en negatieve sluitpost op. In geval van extra aanvoer is hieraan de kwaliteit van het Oosterscheldewater toegekend. Het uitvoerbestand met horizontale en verticale debieten is aan GEM opgelegd. Op grond van de berekeningsresultaten van GEM, is dit model nader afgeregeld ten aanzien van dispersie.

De calibratie richtte zich vooral op primaire productie en op de huishoudingen van zuurstof en nutriënten. Voor de toepassing op het Veerse Meer is GEM op een aantal punten aangepast en uitgebreid. Een groot deel van de procesparameters en coëfficiënten waren reeds door middel van eerder model- en literatuuronderzoek bepaald, onder andere in het kader van de ontwikkeling van GEM en de toepassing op andere watersystemen. In principe zouden de procesparameters in verschillende toepassingen vrijwel hetzelfde moeten zijn en de verschillen tussen watersystemen enkel door de waterbeweging en de randvoorwaarden worden bepaald. Sommige parameters zijn gedurende de calibratie in beperkte mate bijgesteld. Voor een deel was dit nodig om effecten van de sterk vereenvoudigde schematisatie en de grote sluitpost op de waterbeweging te compenseren. Voor een ander deel waren aanpassingen noodzakelijk omdat de netto sedimentatie van particulier materiaal in het Veerse Meer hoger is dan in andere watersystemen met meer verticale menging. Het resultaat mag bevredigend genoemd worden. De verschillen tussen gemeten en berekende concentraties van zuurstof, algen en nutriënten liggen over het algemeen binnen een acceptabele marge.

I Inleiding

I.1 Achtergrond

In het kader van de Deltawerken is het Veerse Meer afgesloten van de Oosterschelde middels een tweetal dammen. Door de afsluiting ontstond een brak en stagnant meer, dat vooral door neerslag en de uitslag van een negental omliggende poldergemalen van zoet water wordt voorzien. Zout water wordt uit de Oosterschelde via inlaten en schutten bij de Zandkreekdam aangevoerd. Het meer is, als gevolg van zijn lokaal grote diepte (tot 25 meter), gestratificeerd. Er is sprake van gradiënten van het zoutgehalte en de temperatuur in verticale richting.

Sinds de afsluiting is de waterkwaliteit van het meer dramatisch verslechterd. Het meer is sterk geëutrofiëerd geraakt, hetgeen heeft geleid tot uitbundige groei van *Ulva* (zeesla) en hoge concentratiepieken van fytoplankton in het zomerhalfjaar. In combinatie met stratificatie leidt afsterven van algen en zeesla tot zuurstofloosheid in het hypolimnion, de watermassa onder de spronglaag. Deze waterkwaliteits situatie heeft nadelige gevolgen voor het ecosysteem in het Veerse Meer en voor de recreatie op en rond het meer.

Om eutrofiëring en de nadelige effecten daarvan op de zuurstofhuishouding te verminderen wordt gedacht aan doorspoeling met nutriëntarm water uit de Oosterschelde, mogelijk via een doorlaatmiddel in de Zandkreekdam. Teneinde de effectiviteit van doorspoeling te kunnen onderzoeken, is er behoefte aan een waterkwaliteitsmodel dat het functioneren van het Veerse Meer beschrijft en effecten van veranderingen kan voorspellen.

Bij de opzet van een dergelijk waterkwaliteitsmodel voor het Veerse Meer is gebruik gemaakt van het recent ontwikkelde GEM (Generiek Ecologisch Model voor estuaria) (WL, 1995a, 1995b, 1997a). GEM is ontwikkeld in opdracht van RIKZ als algemeen waterkwaliteitsmodel om voor alle Nederlandse zoute en brakke wateren de ontwikkeling van de waterkwaliteit te kunnen beschrijven. Bij de ontwikkeling is gebruik gemaakt van de kennis van experts bij verschillende Nederlandse (onderzoeks)-instellingen op het gebied van het zoute watersysteem. Het model bestaat uit een set van mathematische procesbeschrijvingen die voor ieder watersysteem een waterkwaliteitsmodel oplevert, wanneer deze gecombineerd wordt met de actuele waterbeweging en randvoorwaarden van het betreffende watersysteem. De operationalisering en calibratie van GEM voor het Veerse Meer is het onderwerp van dit rapport.

I.2 Doelstelling

In het licht van het bovenstaande waren de doelstellingen voor het onderhavige project:

- operationalisering en calibratie van GEM voor het Veerse Meer; en
- overdracht van de programmatuur en de invoerbestanden van het gecalibreerde model aan RIKZ.

De calibratie van GEM richt zich in hoofdzaak op de nutriënten, de dominante primaire producenten, de zuurstofhuishouding en het stoftransport.

Afgezien van in dit rapport vermelde aanpassingen, is bij de calibratie uitgegaan van de bij aanvang van het project beschikbare versie van de GEM-programmatuur, dat wil zeggen de GEM-procesroutines ingebed in DELWAQ 4.00.

1.3 Werkwijze

Gegeven de gestratificeerde toestand van het Veerse Meer, is aan GEM een structuur van gelaagde segmenten opgelegd. De ontwikkeling van de gelaagdheid ten aanzien van temperatuur en zoutgehalte en de bijbehorende advectie en dispersie in verticale en horizontale richting is door RIKZ toegeleverd in de vorm van berekeningen met het model STRESS (RIKZ, 1984). De berekende waterbeweging is ongewijzigd overgenomen in de GEM-berekeningen. De ruimtelijke schematisatie is in beide modellen zo opgezet, dat scenario-berekeningen met betrekking tot doorspoeling vanuit de Oosterschelde optimaal kunnen worden uitgevoerd. Bij de definitieve keuze van doorspoelscenario's zal het mogelijk wenselijk zijn meer detail in de schematisatie aan te brengen.

Ulva (zeesla) is dominant aanwezig in het Veerse Meer en diende daarom naast fytoplankton in GEM te worden gemodelleerd. Hiertoe werd geput uit de kennis die is opgedaan in het door WL uitgevoerde project met betrekking tot de Lagune van Venetië (WL, 1998b). *Ulva* is als een algensoort in competitie met andere algensoorten met behulp van BLOOM II gesimuleerd. Het kan alleen groeien in segmenten met een bodem-water grensvlak, waar bovendien voldoende licht beschikbaar is.

Microfytobenthos is dynamisch gemodelleerd op identieke wijze als in de, gelijktijdig uitgevoerde, GEM-toepassing op de Nederlandse kustwateren en de Waddenzee (WL, 1999). Microfytobenthos wordt bij deze methode behandeld als niet transporteerbare parameter. Evenals *Ulva* kan het alleen groeien in segmenten met een bodem-water grensvlak.

Zoöplankton en macrozoöbenthos werden op pragmatische wijze opgenomen als 'forcing' functies. Meetgegevens met betrekking tot aard, hoeveelheid en plaats van voorkomen van deze organismen werden hiertoe vertaald naar de betreffende delen van het invoerbestand.

Op basis van deze uitgangspunten zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- verzameling, bewerking en analyse van de benodigde gegevens;
- opzetten van de GEM-programmatuur voor een gelaagde toepassing;
- samenstelling van de invoerbestanden met betrekking tot procesparameters;
- opstellen van de ruimtelijke schematisatie en koppeling met STRESS;
- bepaling van de randen (debieten en waterkwaliteit) en de 'forcing' functies;
- afregeling van het stoftransport; en
- calibratie van GEM met betrekking tot waterkwaliteit en primaire productie.

Het stoftransport wordt voornamelijk bepaald door de waterbeweging zoals die met STRESS is berekend. De juistheid van de berekende transporten kan worden gecontroleerd en gecalibreerd door vergelijking van berekende en gemeten chlorideconcentraties. Bij de start van de calibratie van de waterkwaliteit bleek de chloride-gradiënt over de spronglaag met het stoftransport volgens STRESS nog niet voldoende nauwkeurig te worden beschreven. In het waterkwaliteitsmodel is daarom een

additionele verticale dispersie toegevoegd om de gradiënt minder scherp te laten verlopen. Een correcte beschrijving van het stoftransport over de spronglaag is van groot belang voor een geslaagde beschrijving van de waterkwaliteit.

Ten aanzien van de bodem dienen de initiële concentraties van organische stof en nutriënten te worden bepaald. Dit was niet mogelijk op basis van meetgegevens, omdat deze met name voor nutriënten niet beschikbaar zijn. Het alternatief is het herhaald doorrekenen van het model voor een reeks van jaren, waarbij uiteindelijk een min of meer stabiele toestand wordt bereikt. De netto retentie van nutriënten in de bodem, gesommeerd met de denitrificatie in de waterkolom, dient dan bij benadering overeen te komen met de netto retentie in het watersysteem, berekend als het verschil tussen de belasting en de uitspoeling.

De benodigde gegevens betreffen de waterkwaliteit in het meer en op de randen, de bodemkwaliteit, de aanwezigheid en aard van organismen (fytoplankton, *Ulva* en grazers), de waterbalans, de watertemperatuur, het doorzicht, de geometrie, de bathymetrie en de meteorologie (instraling, wind). Bij de werkzaamheden werd gebruik gemaakt van de volgende bronnen van informatie en gegevens:

- het rapport dat de beschikbare gegevens met betrekking tot het Veerse Meer beschrijft (RIKZ, 1998; belastingen, waterkwaliteit en organismen);
- de invoerbestanden die eerder werden geproduceerd voor de Westerschelde en de westelijke Waddenzee (WL, 1998a en 1997a/b; startwaarden procesparameters);
- het rapport van een eerdere modelstudie van WL aangaande het Veerse Meer (WL, 1990; aanpak en resultaten VEERWAQ); en
- specifieke geometrische, bathymetrische en meteorologische informatie betreffende het Veerse Meer (beschikbaar via RIKZ),
- rapporten over de monitoring van biologische parameters zoals *Ulva* en macrobenthos.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 biedt een beknopte beschrijving van het watersysteem Veerse Meer. Dit hoofdstuk bevat tevens een globaal overzicht van de beschikbare gegevens.

In hoofdstuk 3 wordt het GEM-instrumentarium besproken en de toepassing en uitbreidingen ervan voor het Veerse Meer. Daarin wordt voor formuleringen vooral verwezen naar eerdere modeldocumentatie.

Hoofdstuk 4 gaat in op de inrichting van het model voor het Veerse Meer, voor wat betreft de schematisatie, de forcing en het transport. Successievelijk passeren de ruimtelijke schematisatie, het stoftransport, de belastingen, de meteorologische randvoorwaarden, de begincondities en de biologische forcing functies de revue.

In hoofdstuk 5 wordt de inregeling van het model besproken en de resultaten van het ingeregelde model. In hoofdstuk 6 worden de resultaten en het functioneren van het model bediscussieerd in vergelijking met metingen en theoretische achtergronden. Uiteindelijk volgen in hoofdstuk 7 nog enkele conclusies en aanbevelingen.

1.5 Verantwoording

WL voerde de calibratie van GEM voor het Veerse Meer uit in opdracht van RIKZ (overeenkomst RKZ-598; product voor ESTBOS*b+o; brief RIKZ/OS 986899, 22 oktober 1998). Ir. M. Bokhorst was projectleider aan de zijde van RIKZ. Ing. R.R. Jansen verzorgde de STRESS-berekeningen.

Het project werd voor WL uitgevoerd en gerapporteerd door ir. A.N. Blauw, drs. A.J. Nolte en ir. J.G.C. Smits, die ook de projectleiding in handen had. Drs. F.J. Los had de supervisie over de biologische aspecten van de modellering. Ir. J.A.G. van Gils was verantwoordelijk voor de aanpassing van de GEM-programmatuur.

2 Beschrijving van het Veerse Meer

2.1 Kenmerken van het meer

Een goede beknopte beschrijving van het Veerse Meer wordt gegeven in het data-rapport (RIKZ, 1998), waarvan hier een samenvatting volgt.

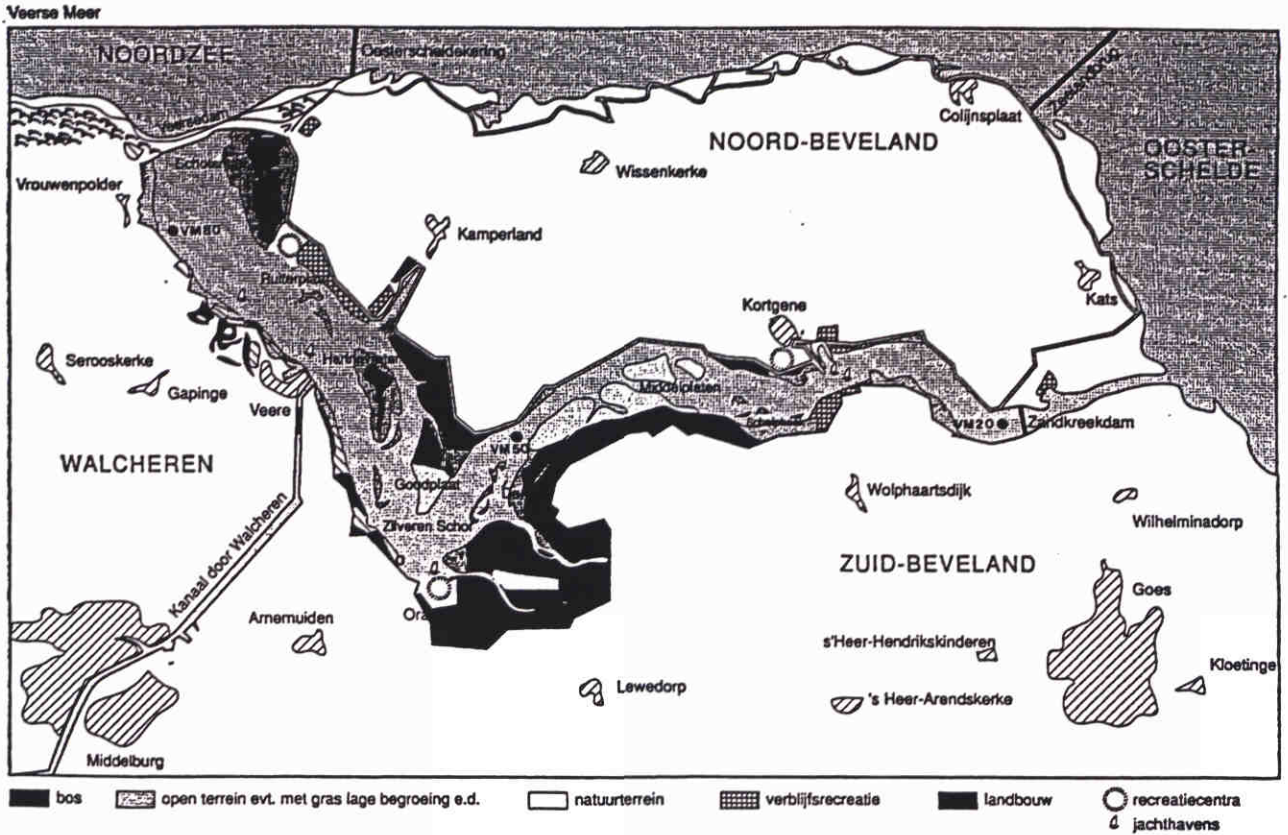
Het Veerse Meer maakt deel uit van de Zeeuwse wateren en wordt omsloten door Walcheren en Noord- en Zuid-Beveland (figuur 2.1). Als onderdeel van de Deltawerken werd het Veerse Meer afgesloten van de Oosterschelde en de Noordzee en daardoor van een vrije uitwisseling met de zee. De Zandkreek werd in 1960 afgesloten door de bouw van de Zandkreekdam, het Veerse Gat door de Veersedam in 1961. Als gevolg van het hydrologisch regime van spuien, inlaten en polderwaterlozingen werd het Veerse Meer brak.

Het Veerse Meer heeft een lengte van circa 25 kilometer en varieert in breedte van 1600 tot 200 meter. In het meer komen enkele eilanden en ondiepten voor. Langs de randen bevindt zich buitendijks een landstrook, die sterk in breedte varieert en rechtstreeks afwatert op of water onttrekt aan het meer. De bathymetrie wordt verder gekenmerkt door het voorkomen van een achttal putten, voormalige geulen, met een diepte van meer dan 20 meter.

Het totale oppervlak van het buitendijkse gebied van het Veerse Meer bedraagt 3.990 ha. Hiervan is het wateroppervlak gelijk aan 2030 ha bij 0 m NAP en 1742 ha bij -0,70 m NAP. De eilanden variëren in grootte tussen 1360 en 1648 ha. Het landoppervlak langs de dijken omvat circa 600 ha.

De voornaamste functies van het Veerse Meer zijn scheepvaart en recreatie. Daarnaast wordt polderwater uitgeslagen op het meer, dat daardoor een functie in het waterbeheer van het omliggende gebied vervult. In totaal negen gemalen slaan boezemwater uit naar het Meer. Verder wordt door de sluizen van het Kanaal door Walcheren brak water op het meer geloosd. Het aangevoerde zoete water is in tegenstelling tot het aangevoerde zoute water rijk aan nutriënten en organische stof. Voorts ontvangt het meer nutriënten door natte (neerslag) en droge depositie.

Het peil van het Veerse Meer wordt actief beheerd. Het zomerpeil wordt gehandhaafd op 0 m NAP (april - oktober) voor de recreatievaart en het peilbeheer in de omliggende landbouwgrond. Het winterpeil wordt ingesteld op -0,70 m NAP om afwatering van de aangrenzende polders mogelijk te maken. Sinds enige jaren wordt in oktober tot na de herfstvakantie een tussenpeil van -0,30 m NAP gehandhaafd. Peilbeheersing wordt uitgevoerd door water in te laten vanuit de Oosterschelde of te spuien bij de Zandkreeksluis. Gemiddeld wordt zo'n 120 tot 130 miljoen m³ water per jaar op de Oosterschelde geloosd. Bij een volume van het Veerse Meer van $89 \cdot 10^6$ (winter) tot $102 \cdot 10^6$ m³ (zomer) kan daaruit een gemiddelde verblijftijd worden berekend van circa 0,68 tot 0,85 jaar voor het totale Veerse Meer. Plaatselijk zal de verblijftijd sterk variëren, door het optreden van stratificatie en de lokatie van in- en uitlaten.



Figuur 2.1 Overzicht van het Veerse Meer.

In het voorjaar en gedurende de zomermaanden ontwikkelt zich een gestratificeerd systeem. Door het uitslaan van zoet water door de poldergemalen en het Kanaal door Walcheren aan de ene kant en door het inlaten van zout water uit de Oosterschelde aan de andere kant kan zich een zoetere bovenlaag boven een zoute onderlaag ontwikkelen. Het zwaardere Oosterschelde water dringt zich als het ware onder het lichtere water dat in het Meer aanwezig is. Vanaf circa april tot oktober treedt bovendien temperatuurstratificatie op.

De aanvoer van nutriënten, deels door teruglevering van de bodem, veroorzaakt van tijd tot tijd bloei van algen en zeesla (*Ulva*). Deze organismen produceren organisch materiaal dat na afsterven (voor een deel) door de spronglaag zakt. Afbraak van het organisch materiaal verbruikt zuurstof, terwijl door de stratificatie de aanvoer van zuurstof uit de bovenlaag zeer beperkt is. In de onderlaag ontstaan dientengevolge zuurstofloze condities.

2.2 Beschikbare gegevens

RIKZ (1998) geeft een uitgebreide beschrijving van beschikbare gegevens. In het onderstaande wordt volstaan met een beknopt overzicht.

Waterkwaliteit

De maandelijkse waterkwaliteitsgegevens van het Veerse Meer betreffen de periode 1972-1998. Er is maandelijks gemeten op een drietal meetpunten. Er treden over de jaren nog al wat veranderingen op ten aanzien van de gemeten parameters en de bemonsterde waterdiepten. Hoewel de eerste metingen teruggaan tot 1972 zijn veel tijdreeksen incompleet. Vanaf 1996 wordt nog slechts op één punt gemeten op een drietal waterdiepten. Er zijn geen gegevens ten aanzien van calciumgehalte, alkaliteit en ijzergehalte.

De drie punten voor routinematige metingen zijn gesitueerd in het Veerse Meer: Wolphaartsdijk (VM20) ter hoogte van de Zandkreekdam, Soelekerkepolder Oost (VM50) halverwege het Meer en Vrouwenpolder (VM80) ter hoogte van de Veersedam. Metingen van vóór 1996 zijn uitgevoerd op een vijftal diepten: 1 meter onder het wateroppervlak, 1 meter boven de bodem, 2 meter boven de bodem, halverwege de waterkolom en in de spronglaag.

Ten behoeve van onderzoek naar stratificatie is aanvullend gemeten op 17 meetpunten met een diepte-interval van 1 meter (T, O₂, saliniteit, pH, geleidbaarheid, fluorescentie, dichtheid). Hiervan zijn maandelijkse gegevens beschikbaar voor de periode 1995-1998.

De aanwezigheid van organismen

De onderzoeken met betrekking tot organismen dateren alle van 1987 of later. De beschikbare meetgegevens van algen betreffen de jaren 1990 tot en met 1996. De meetfrequentie is 1 a 2 maal per maand op één meetpunt.

Van microfytobenthos zijn alleen bemonsteringen uitgevoerd in maart en juli van 1987 (ongepubliceerde gegevens van het chemisch laboratorium van DGW). Deze gegevens zijn bewerkt ten behoeve van de vergelijking met modelresultaten voor het VEERWAQ-project (WL, 1990). Van macrofyten zijn alleen metingen voor 1989 beschikbaar. Daarnaast heeft er van 1989 tot en met 1997 biomonitoring van de levensgemeenschappen op harde substraten plaatsgevonden in onder andere het Veerse Meer (o.a: Moorsel, 1998). Hierbij is echter alleen gekeken naar de soortensamenstelling en zijn geen biomassa's gemeten. Voor de modellering zijn voornamelijk de biomassa's van enkele belangrijke soorten (mosselen, kokkels en strandgapers) van belang.

Zoöplankton is alleen gemeten in 1987. Voor wat betreft de benthische macrofauna zijn door het NIOO-CEMO in 1992, 1994, 1995 en 1996 bemonsteringen uitgevoerd (4 maal per jaar).

Waterbodemkwaliteit

Gegevens omtrent de waterbodem zijn beperkt tot een onderzoek door Rijkswaterstaat, directie Zeeland uit 1989 waarin 25 bodemmonsters geanalyseerd zijn (RIKZ, 1998). Aangezien voornamelijk verontreinigingen gemeten zijn, zijn de meeste gegevens niet bruikbaar voor het modelleren van de bodem in GEM. Bruikbare gegevens betreffen het organische stofgehalte, de korrelgrootteverdeling en het ijzergehalte. Er zijn geen gegevens omtrent de nutriëntgehalten van de bodem.

Belastingen en onttrekkingen

De maandelijkse waterbalansen zijn beschikbaar voor de periode 1987-1997. Maandelijkse debieten zijn bekend voor alle belastingen en onttrekkingen van het Veerse Meer: de negen poldergemalen, het Kanaal door Walcheren, in- en uitlaat van de Zandkreeksluis van en naar de Oosterschelde, verdamping en neerslag. Ten aanzien van de waterkwaliteit (nutriënten behalve silicaat, organische stof, chloride en temperatuur) van de lozingen op het meer zijn de volgende gegevens beschikbaar van:

- het polderwater voor de periode 1985-1998;
- de Oosterschelde tot en met 1995;
- het Kanaal door Walcheren tot en met 1994; en
- de neerslag voor de periode 1983-1988.

2.3 Waterkwaliteit en aquatisch ecosysteem

De beschikbare gegevens, ook beschreven in RIKZ (1998) zoals vermeld in sectie 2.2, zijn globaal geanalyseerd. De waterkwaliteitsgegevens van het Veerse Meer zijn geïnterpreteerd om inzicht te krijgen in het systeem. Naast kennis omtrent de processen die een rol spelen, is dit met name van belang voor het maken van keuzes ten aanzien van de modelschematisatie: welke mate van detail is noodzakelijk om het Veerse Meer goed in het model te representeren? Zowel de horizontale als de verticale schematisatie komen aan de orde. De gegevens van de vaste meetpunten en de stratificatie metingen worden apart besproken. De analyse levert het onderstaande beeld op.

2.3.1 Beoordeling van gegevens van vaste meetpunten

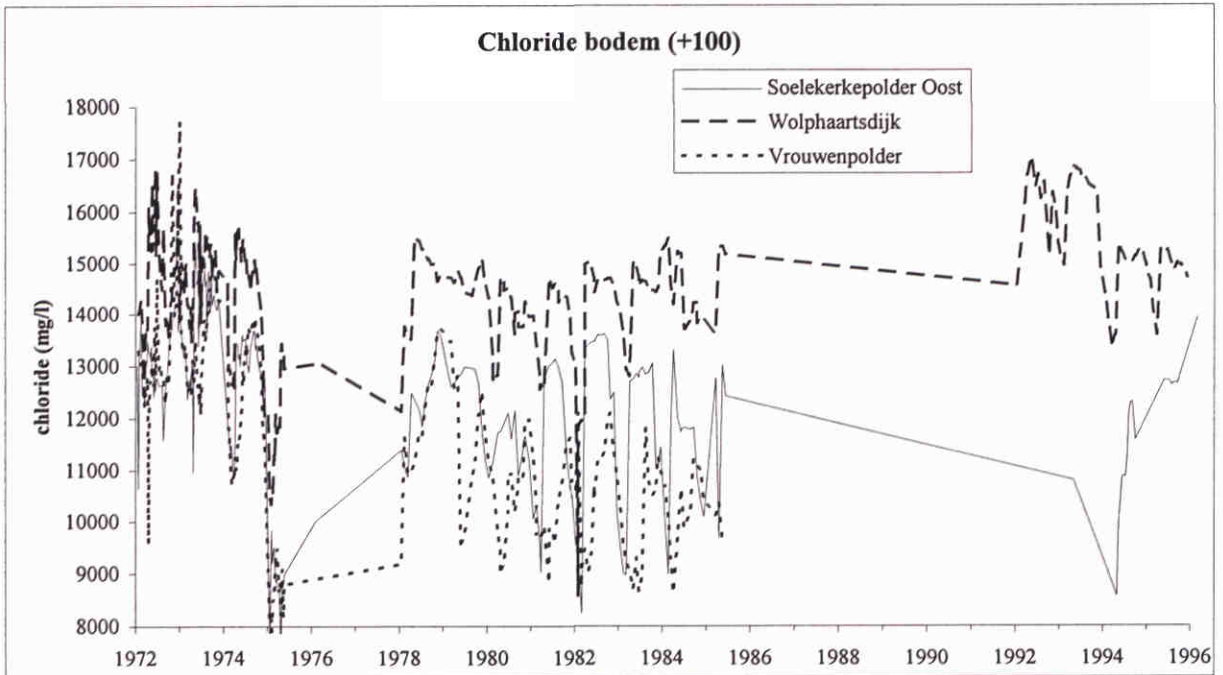
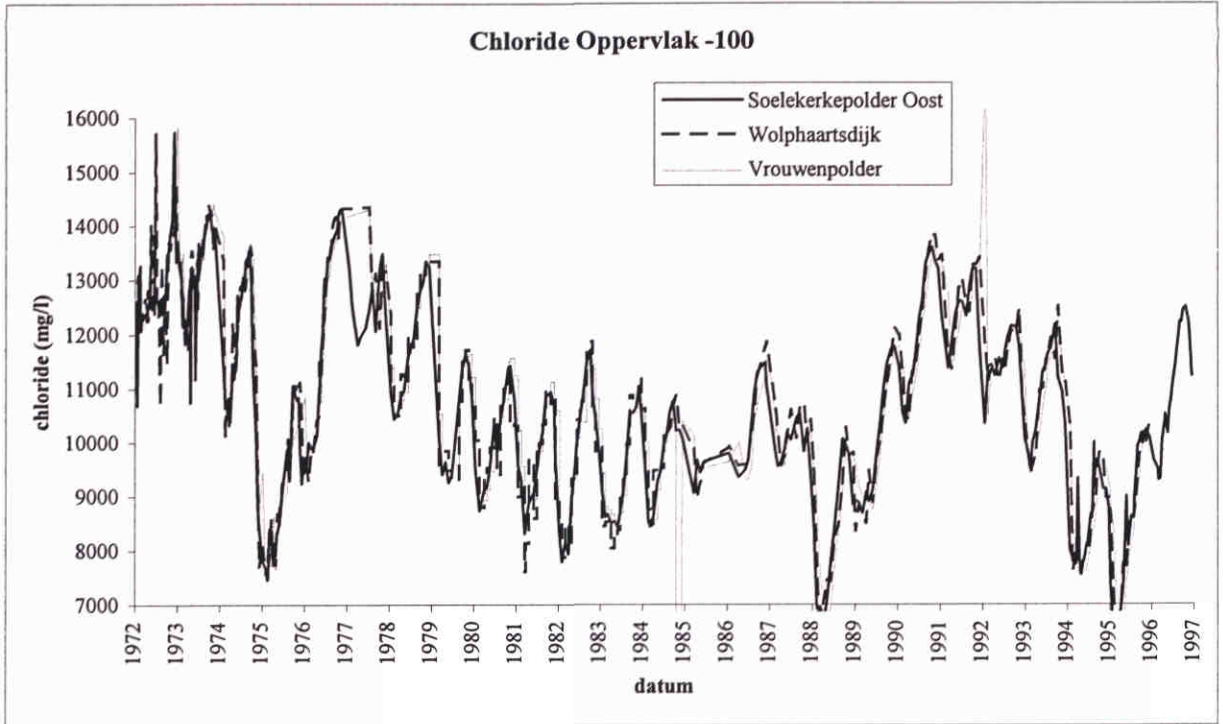
Chloride

De oppervlaktelaag is goed gemengd. In figuur 2.2 is te zien dat de drie permanente meetpunten in het Veerse Meer nauwelijks afwijkende chlorideconcentraties laten zien voor de meting 1 meter onder het oppervlak. In de zomer neemt neerslag en afvoer van zoet water naar het meer af en verdamping toe, waardoor de chlorideconcentratie stijgt. In de winter daalt de concentratie door hogere neerslag en minder verdamping. De mate van seizoensvariatie hangt af van de hoeveelheid neerslag en verdamping in een bepaald jaar.

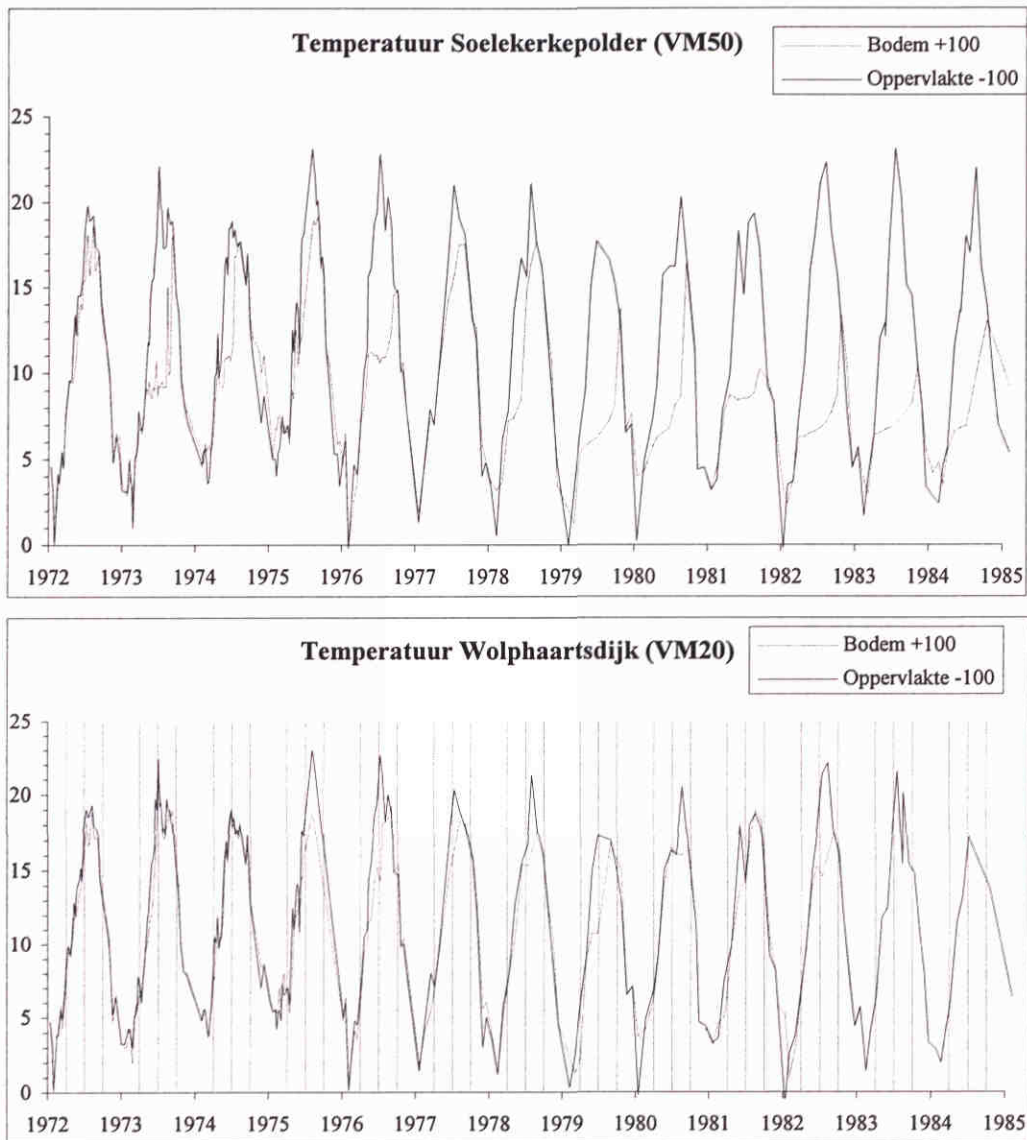
De metingen 1 meter boven de bodem laten wel een verschil zien (figuur 2.2). Het meetpunt Wolphaartsdijk ligt dicht bij de Zandkreeksluis. Water uit de Oosterschelde dat hier ingelaten wordt, heeft een hoger zoutgehalte, is zwaarder en verplaatst zich naar en over de bodem. Bij Wolphaartsdijk wordt dit ingelaten zoutere water gemeten. Richting Veerseгатdam mengt het zoute water op met het brakker water, waardoor in de putten Soelekerkepolder en Vrouwenpolder lagere chlorideconcentraties gemeten worden. Uit figuur 2.2 blijkt dat in de zomermaanden over de gehele lengte van het Veerse Meer een gradiënt bestaat: de hoogste concentraties bij Wolphaartsdijk, de laagste bij Vrouwenpolder en Soelekerkepolder daar tussenin. In de wintermaanden is het verschil tussen de laatste twee nagenoeg verdwenen, terwijl de chlorideconcentratie bij Wolphaartsdijk hoger blijft.

Temperatuur

Zoals verwacht mag worden, is de temperatuur van het oppervlaktewater identiek voor de drie vaste meetpunten. Temperatuurstratificatie treedt op in de zomer. Metingen voor de bodemlaag zijn slechts beschikbaar tot 1985. Figuur 2.3 geeft het temperatuursverloop voor Wolphaartsdijk en Soelekerkepolder. Temperatuurstratificatie is aanwezig bij Wolphaartsdijk, maar aanmerkelijk kleiner dan bij Soelekerkepolder. De stratificatie stelt zich in vanaf april en duurt tot november. In de winter is het oppervlaktewater kouder dan het bodemwater, vanwege de zich dan handhavende zoutstratificatie. Over de ligging van de beide spronglagen (t.g.v. zout- en temperatuurstratificatie) ten opzichte van elkaar kan op grond van deze gegevens weinig worden geconcludeerd.



Figuur 2.2 Verloop van het chloridegehalte nabij het wateroppervlak (boven) en nabij de bodem (onder) op een drietal meetpunten in het Veerse Meer.



Figuur 2.3 Verloop van de temperatuur nabij het wateroppervlak en nabij de bodem bij meetpunten Soelekerkepolder (boven) en Wolphaartsdijk (onder) in het Veerse Meer.

Zuurstof

Figuur 2.4 laat een duidelijke seizoensvariatie in de oppervlaktelaag zien: lagere zuurstofconcentraties in de zomer, hogere zuurstofconcentraties in de winter. Wederom is nauwelijks onderscheid te maken tussen de drie meetpunten. De seizoensvariatie wordt voornamelijk bepaald door de temperatuur van het water. De evenwichtsconcentratie met de atmosfeer is bij hogere temperaturen lager dan bij lage temperaturen: respectievelijk circa 8 mg/l in de zomer en circa 11,5 mg/l in de winter. Reaeratie speelt derhalve een belangrijke rol.

Het percentage zuurstof varieert relatief weinig, afgezien van de piekwaarden. Een duidelijke trend is niet te bespeuren (figuur 2.4). Oververzadiging treedt op als meer zuurstof geproduceerd wordt door algen en planten dan door afbraak van organisch materiaal en reäeratie uit het water verwijderd wordt. Onderverzadiging treedt op als door afbraak van organisch materiaal meer zuurstof verbruikt wordt dan door zuurstofproductie en reaeratie geleverd wordt.

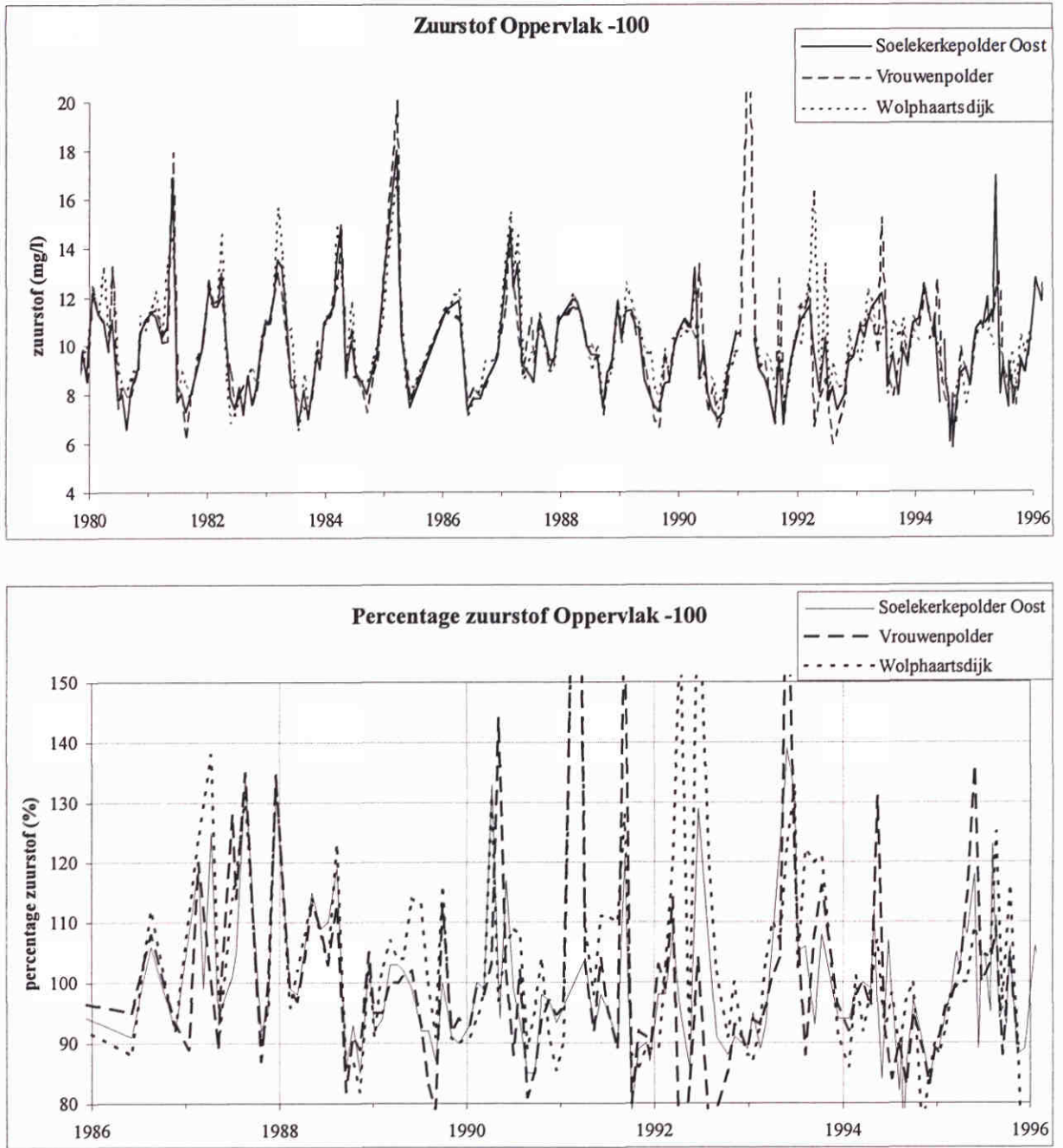
De zuurstofconcentratie in de bodemlaag is altijd lager dan de concentratie in de oppervlaktelaag (figuur 2.5). In de zomermaanden treedt zuurstofloosheid op in de bodemlaag. Bij het meetpunt Vrouwenpolder komt zuurstofloosheid het minst voor.

Zwevend stof

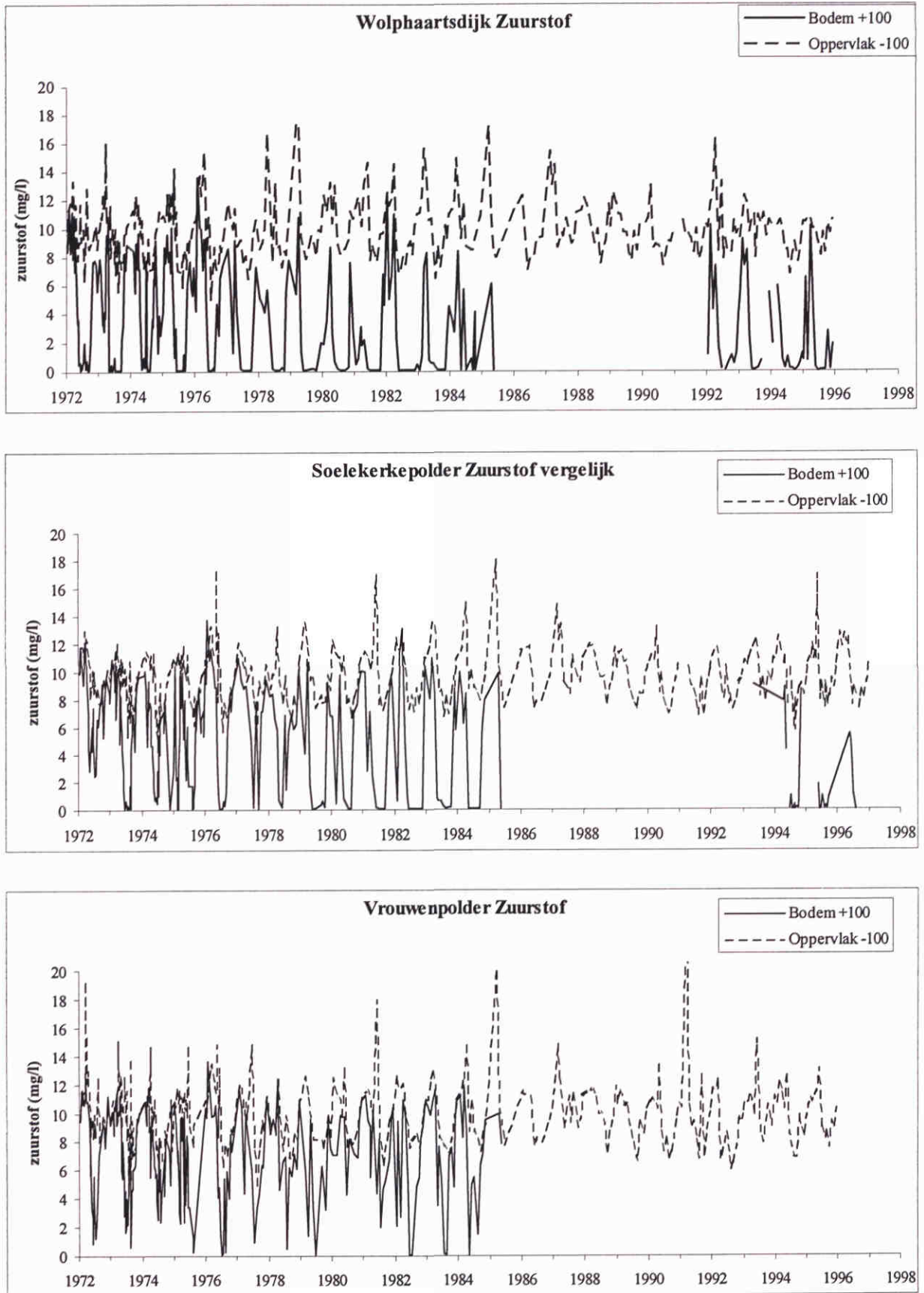
Er is een groot verschil tussen metingen uit de jaren '70 en de meer recente metingen. Werden in de jaren '70 met grote regelmaat concentraties groter dan 10 mg/l gevonden, de huidige metingen variëren voornamelijk tussen 2 en 6 mg/l. Het oorspronkelijk verspreid aanwezige fijne bodemslib is voor een belangrijk deel ingevangen geraakt in de diepe geulen. De variatie binnen de concentratie-range is gering, hetgeen waarschijnlijk mede wordt bepaald door de meetnauwkeurigheden. In de onderstaande tabel wordt de gemiddelde concentratie en standaarddeviatie vanaf 1987 gegeven.

	Soelekerkepolder Oost	Wolphaartsdijk	Vrouwenpolder
Oppervlak -100	3,0 ± 2,4	4,6 ± 4,5	3,1 ± 2,8
Bodem +100	4,5 ± 4,3	4,5 ± 2,7	--
Bodem +200	2,8 ± 1,8	2,9 ± 2,1	--

Piekwaarden zijn mogelijk het gevolg van hogere windsnelheden voor of tijdens de periode van de meting. Gezien de afwezigheid van enig patroon in de metingen, wordt voor de hoeveelheid zwevend stof een constante waarde van 4 mg/l gehanteerd.



Figuur 2.4 Verloop van het zuurstofgehalte (boven) en het verzadigingspercentage zuurstof (onder) nabij het wateroppervlak op een drietal meetpunten in het Veerse Meer.



Figuur 2.5 Verloop van het zuurstofgehalte nabij het wateroppervlak en nabij de bodem op een drietal meetpunten in het Veerse Meer.

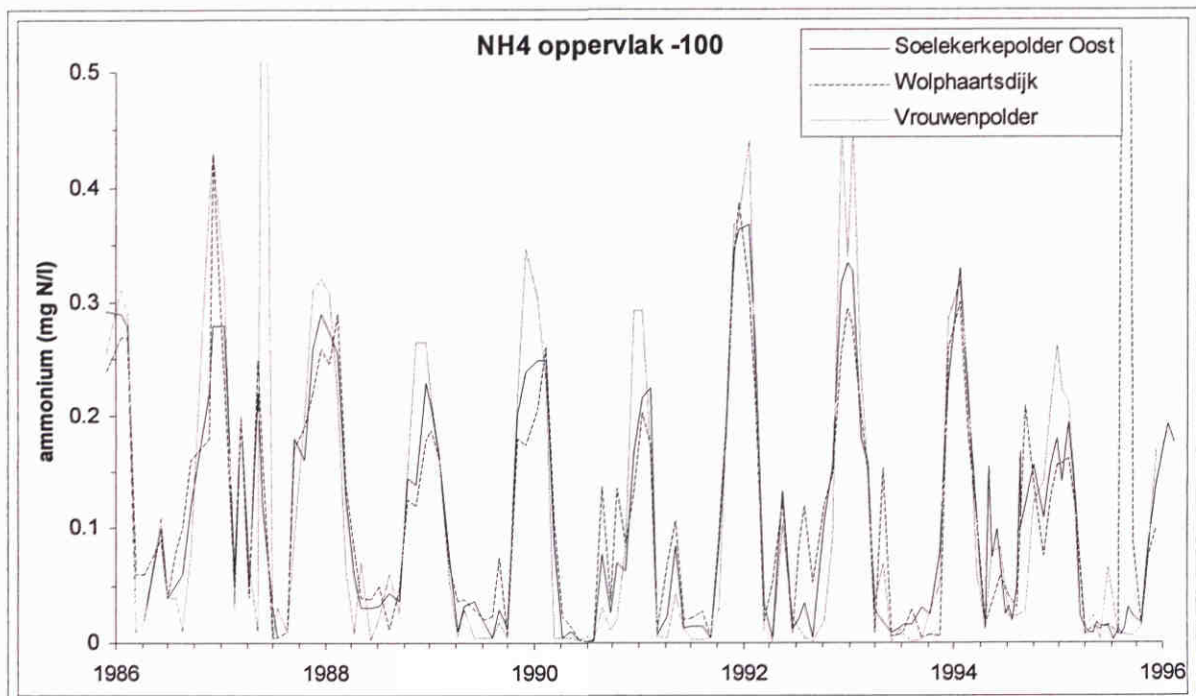
Nutriënten

De ammoniumconcentratie verschilt sterk tussen zomer en winter. Concentraties lager dan 0,05 mg/l worden van april tot en met oktober in het oppervlaktewater gemeten (figuur 2.6). Tussen de drie meetpunten bestaat ook nu weinig verschil in de oppervlaktelaag. 's Winters neemt de concentratie toe tot circa 0,3 mg/l. Hoewel het verschil gering is, is een gradiënt te herkennen: hogere concentraties in Wolphaartsdijk, lagere concentraties in Vrouwenpolder. Dit kan een relatie hebben met relatief sterke teruglevering vanuit de diepe geulen in dit deel van het meer. Ook de grotere invloed van polderwater nabij Wolphaartsdijk kan een rol spelen.

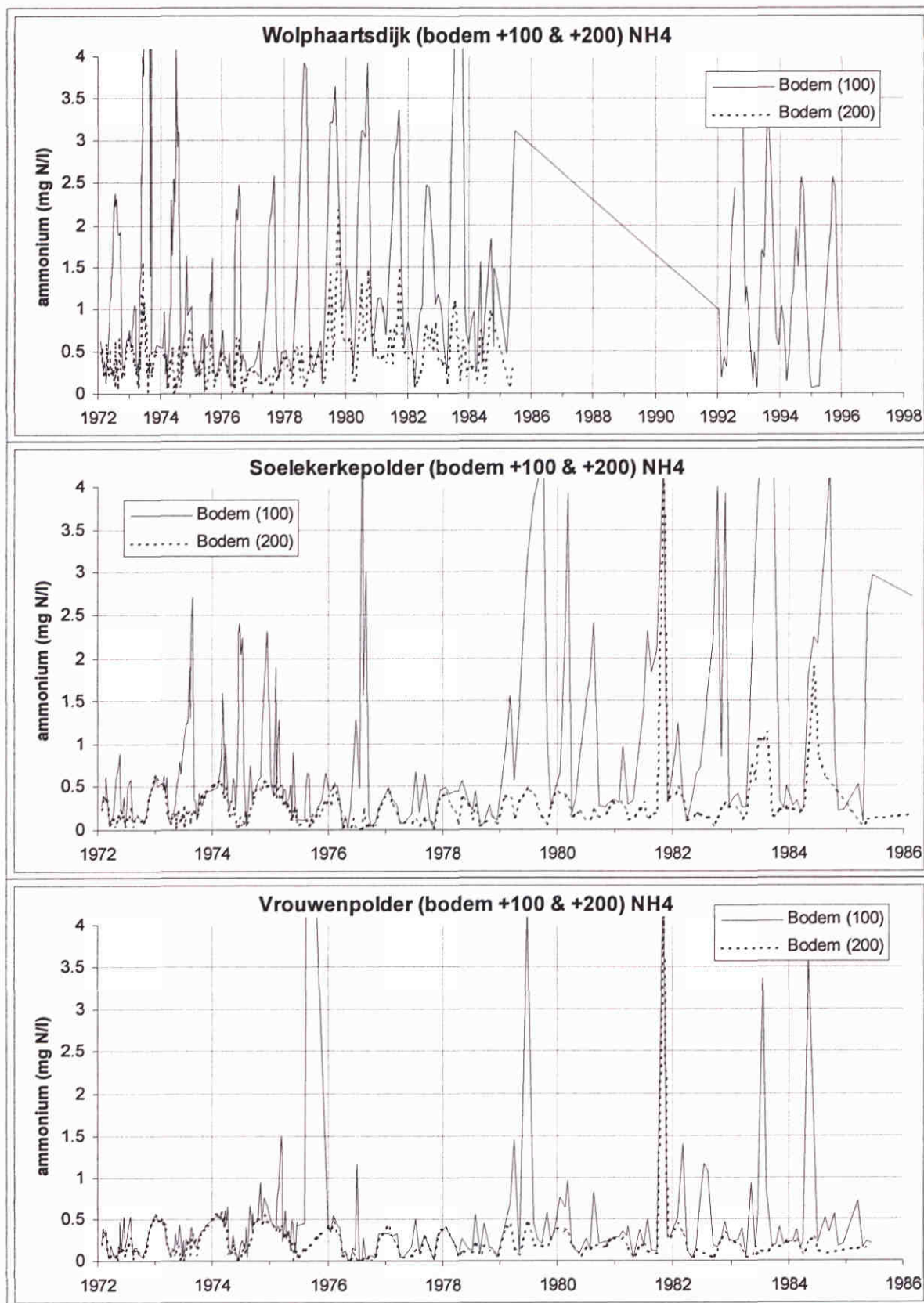
Aan de bodem worden veel hogere ammoniumconcentraties gemeten (figuur 2.7). Zowel in de zomer als de winter komen concentraties hoger dan 1 mg/l regelmatig voor. Aangezien de metingen 2 meter boven de bodem veel minder hoge (piek)waarden laten zien, kan getwijfeld worden aan de betrouwbaarheid van de gegevens van 1 meter boven de bodem. Wellicht is in deze monsters bodemmateriaal of zwevend stof meegenomen dat tussen de monsternamen en de analyse verder is gemineraliseerd, waarbij ammonium vrijkwam.

De concentraties in de oppervlaktelaag voor nitraat, silicium, totaal-N en totaal-P geven hetzelfde beeld als ammonium: lagere concentraties in de zomermaanden, hogere concentraties in de wintermaanden (figuur 2.8). Voor ieder van deze nutriënten geldt dat geen horizontale gradiënt in de oppervlaktemetingen te herkennen is. Nitraat is het enige nutriënt dat in de zomer uitgeput raakt. Fosfaat (totaal-P bestaat voor het grootste deel uit ortho-fosfaat) blijft het gehele jaar op een zeer hoog niveau. Het is dus te verwachten dat er met name stikstof- en/ of energie-gelimiteerde algen in de zomer zullen groeien.

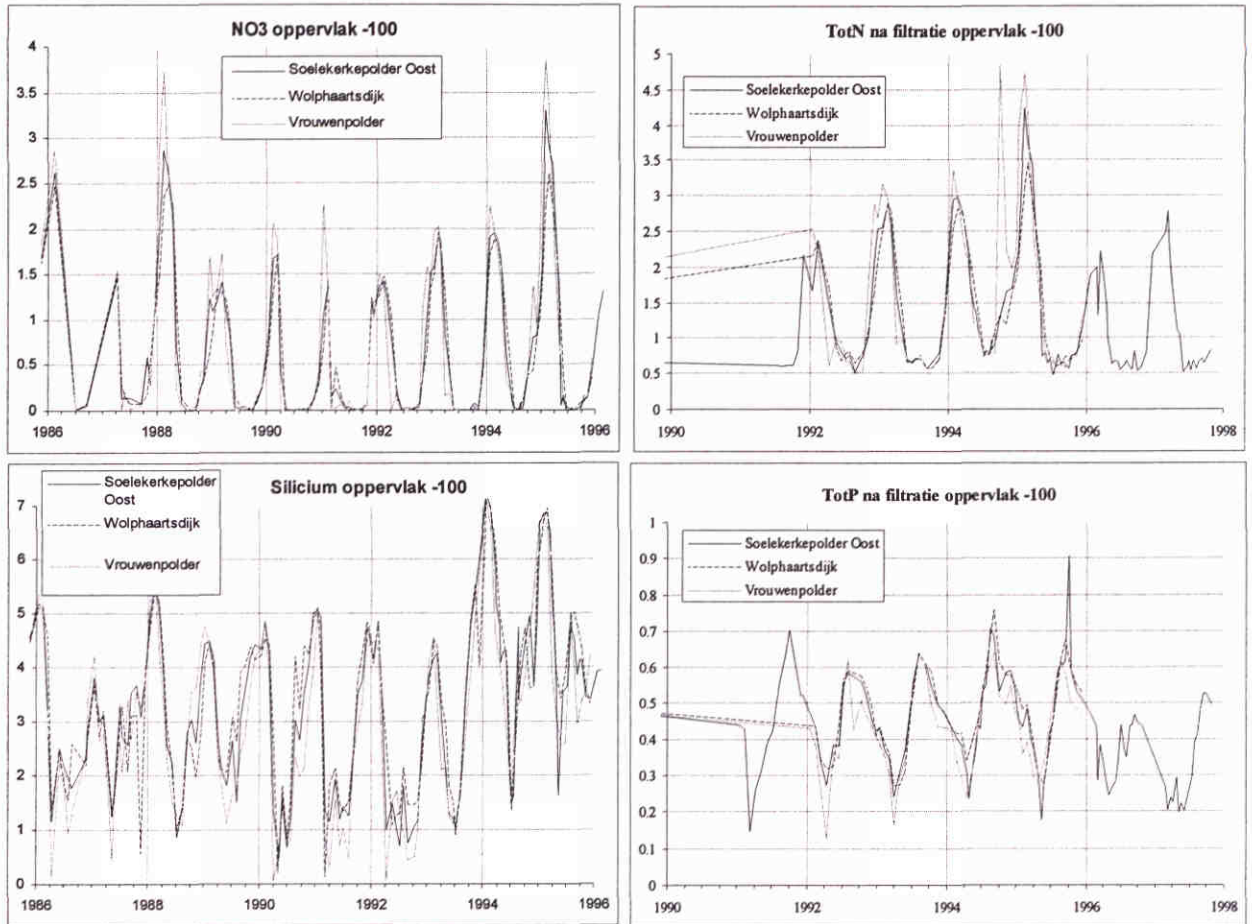
Nitratmetingen in de bodemlaag zijn schaars. Wel is duidelijk dat bodemconcentraties wat lager zijn dan oppervlakteconcentraties. Overigens vertonen ze wel dezelfde seizoensvariatie. Dit kan enerzijds verklaard worden doordat de aanvoer van nitraat vanuit het polderwater in de bovenlaag hoger is en anderzijds doordat de denitrificatie nabij de bodem een grotere rol speelt.



Figuur 2.6 Verloop van het ammoniumgehalte nabij het wateroppervlak op een drietal meetpunten in het Veerse Meer.



Figuur 2.7 Verloop van het ammoniumgehalte nabij de bodem op een drietal meetpunten in het Veerse Meer.

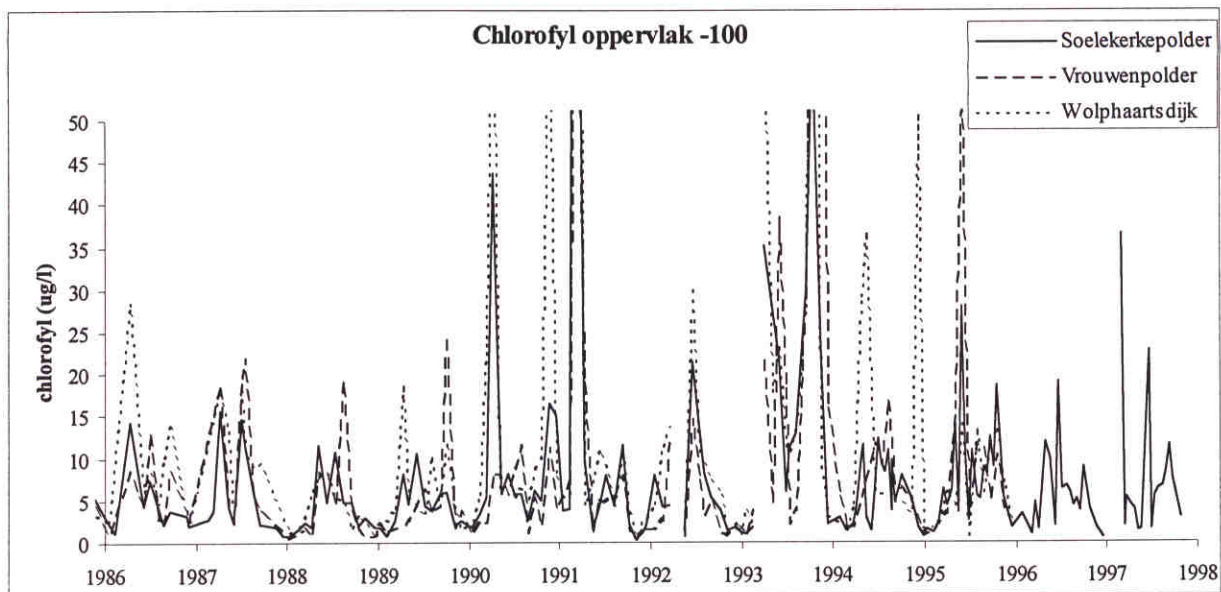


Figuur 2.8 Verloop van de gehalten van nitraat, totaal-N, opgelost silicium en totaal-P nabij het wateroppervlak op een drietal meetpunten in het Veerse Meer.

Chlorofyl

Het chlorofyl verloop is grillig (figuur 2.9). In de wintermaanden is het gehalte laag met waarden rond $2 \mu\text{g/l}$. In de lente neemt het gehalte toe naar een waarde van circa $10 \mu\text{g/l}$. Echter regelmatig komen (veel) hogere waarden voor. Noch de hoogte noch periode van deze piekwaarden vertoont enige regelmaat. Vaak komen de piekwaarden slechts in een meetpunt voor.

Chlorofyl concentraties in de bodemlaag zijn beperkt voorhanden. Deze zijn op een enkele waarde na niet hoger dan $4 \mu\text{g/l}$ en veelal lager dan $1 \mu\text{g/l}$.



Figuur 2.9 Verloop van het chlorofylgehalte nabij het wateroppervlak op een drietal meetpunten in het Veerse Meer.

Organismen

In het Veerse Meer zijn de drie belangrijkste algengroepen: diatomeeën, dinoflagellaten en microflagellaten. Alle drie deze groepen domineren in bepaalde perioden van het jaar. Er is geen duidelijk jaarlijks terugkerend patroon van dominantie door de verschillende algengroepen in de beschikbare gegevens zichtbaar. Wanneer het meer gestratificeerd is, vindt algengroei voornamelijk plaats in de lichtrijke bovenlaag. In 1991 is ook groei van dinoflagellaten ter hoogte van de spronglaag waargenomen (Rademaker et al., 1991-1996). Dinoflagellaten kunnen van spronglagen profiteren doordat ze verticale migratie vertonen over de spronglaag. Zo kunnen ze nutriënten opnemen onder de spronglaag en licht boven de spronglaag.

Naast het fytoplankton wordt een belangrijk deel van de primaire productie verzorgd door *Ulva* (zeesla) en microfytobenthos. *Ulva* komt tot op enkele meters diepte voor. Door Apon (1990) is een schatting gemaakt van de *Ulva*-biomassa in het Veerse Meer in 1989. De totale biomassa van *Ulva* werd geschat op circa 375 ton ADW (asvrijdrooggewicht). De oppervlakte waarover het *Ulva* voorkwam werd geschat op circa 570 ha. Bij de in GEM gehanteerde ratio tussen drooggewicht en koolstof in *Ulva* komt dat neer op een totale biomassa van 114 ton C en een dichtheid van 20 gC/m².

Ook microfytobenthos kan alleen voorkomen waar er genoeg licht op de bodem valt. Het microfytobenthos is in maart en juli van 1987 op verschillende lokaties bemonsterd. In de VEERWAQ-studie (WL, 1990) zijn deze metingen omgerekend naar schattingen van de biomassa microfytobenthos. De schattingen geven een range aan van 2,5 tot 28 gC/m² of 60 tot 700 mg Chlfa/m². Het is niet bekend op welke diepte de metingen zijn uitgevoerd.

Door de aanvoer van polderwater worden tevens zoet water algen in het systeem geïntroduceerd. In de monitoringsgegevens van het Veerse Meer worden deze soorten echter niet meer teruggevonden (Rademaker et al., 1991-1996). Aangenomen mag worden dat het overgrote deel van de waargenomen algen afkomstig is van lokale productie in het Veerse Meer.

Voor wat betreft de primaire consumenten komen in het Veerse Meer zowel zoöplankton als benthische macrofauna voor. Door het NIOO-CEMO zijn van 1992 tot en met 1996 gegevens verzameld over de soortensamenstelling van het macrobenthos. Van de soorten die hun voedsel uit het bovenstaande water filteren (voornamelijk mosselen, kokkels en de grotere strandgapers), zijn mosselen en strandgapers het sterkst vertegenwoordigd. De variaties tussen verschillende jaren zijn zeer groot. De gemeten biomassa varieert tussen 6 en 2000 ADW/m². Bij een koolstofpercentage van 45% (Klepper en Scholten, 1988) komt dit neer op circa 2,7 tot 900 gC/m². De laagste waarden zijn gemeten in 1995. De variatie wordt niet alleen bepaald door de wisselende milieu-omstandigheden van jaar tot jaar maar ook doordat ze geclusterd voorkomen en een gemiddelde concentratie dus moeilijk te bepalen is. Voor zoöplankton geldt in mindere mate hetzelfde probleem van geclusterde verspreiding. Er zijn alleen zoöplanktonmetingen in het Veerse Meer gepubliceerd van het jaar 1987 (Revis en Bakker, 1988). Het voorkomen van zoëbenthos wordt ten dele beïnvloed door het peilbeheer, doordat bij het lage winterpeil alle zoëbenthos op de droogvallende delen afsterft.

2.3.2 Beoordeling van gegevens van stratificatie-metingen

Maandelijks wordt op 17 lokaties het verticale profiel van onder andere temperatuur, chloride en zuurstof bepaald. Voor drie lokaties wordt het verloop voor het jaar 1995 weergegeven in de figuren 2.10 tot en met 2.12. In figuur 2.10 is een put ter hoogte van de Zandkreekdijk weergegeven, figuur 2.11 representeert de Soelekerk put en figuur 2.12 een put ter hoogte van de Veersedijk.

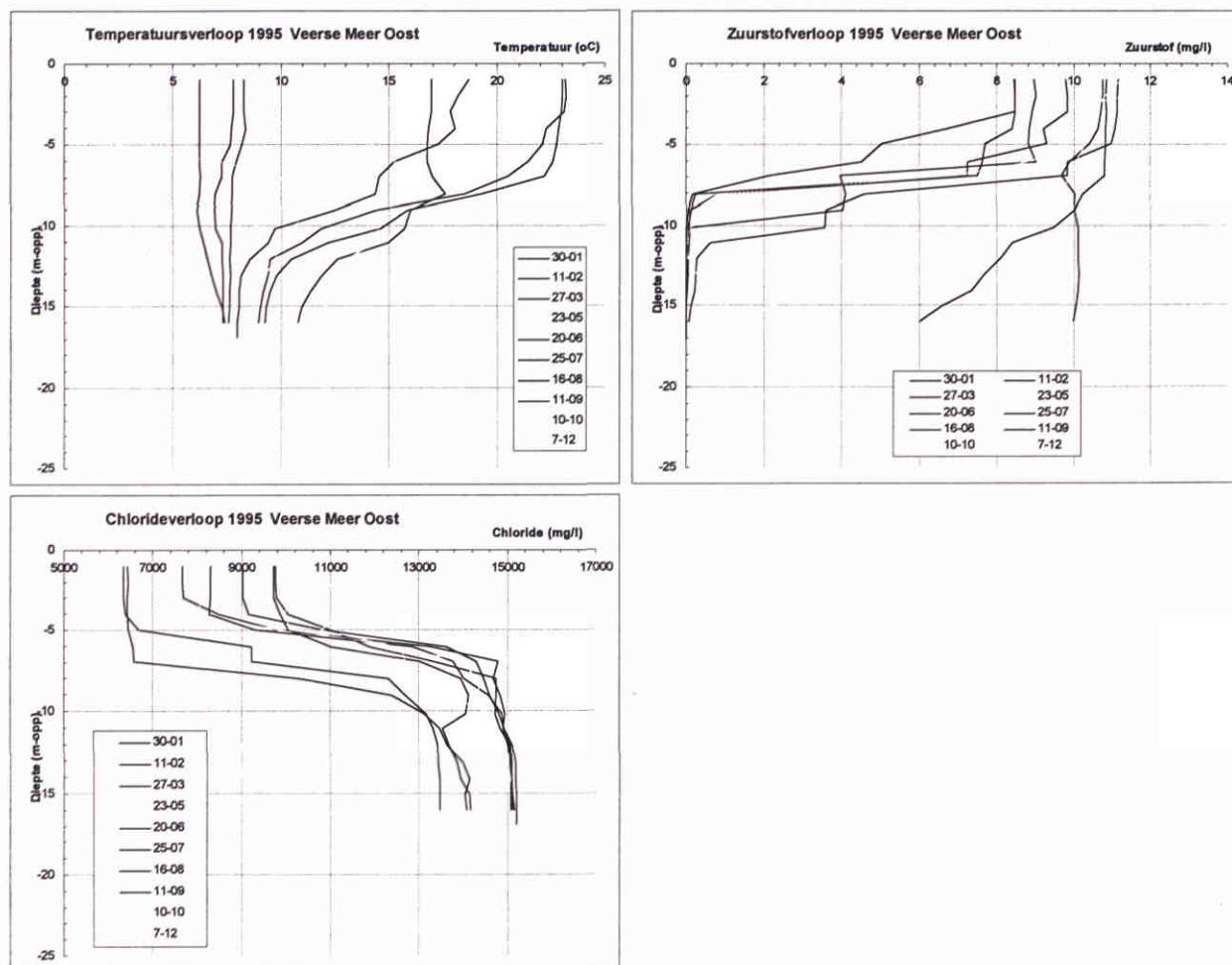
De stratificatie metingen geven aan dat de bovenste 4 meter van het Veerse Meer continu goed gemengd zijn. Opvallend is de continue stijging van de chlorideconcentratie door het jaar heen. Blijkbaar wordt in 1995 relatief meer zout (Oosterschelde) dan zoet (polder) water ingelaten. Het zuurstof gehalte in de oppervlaktelaag is sterk gekoppeld aan de temperatuur (seizoensafhankelijk) en de chlorideconcentratie. Het verzadigingspercentage bevindt zich voortdurend rond de 100%.

De diepe wateren van het Veerse Meer zijn in januari 1995 vrijwel ongestratificeerd. Alleen ter hoogte van de Zandkreekdijk treedt stratificatie op: dieper dan 7 meter neemt chloride sterk toe. De gelijktijdige afname van zuurstof hangt hiermee samen. Eind maart wordt water ingelaten voor peilopzet. In de metingen is dit te zien in een toename van chloride in de onderste waterlagen. Duidelijk is het 'vullen' van de putten met zout(er) water te onderscheiden: de chlorideconcentratie in de putten neemt af naarmate de put verder van het inlaatpunt bij de Zandkreekdijk verwijderd is. De toename van chloride met de diepte valt samen met een afname van de zuurstofconcentratie.

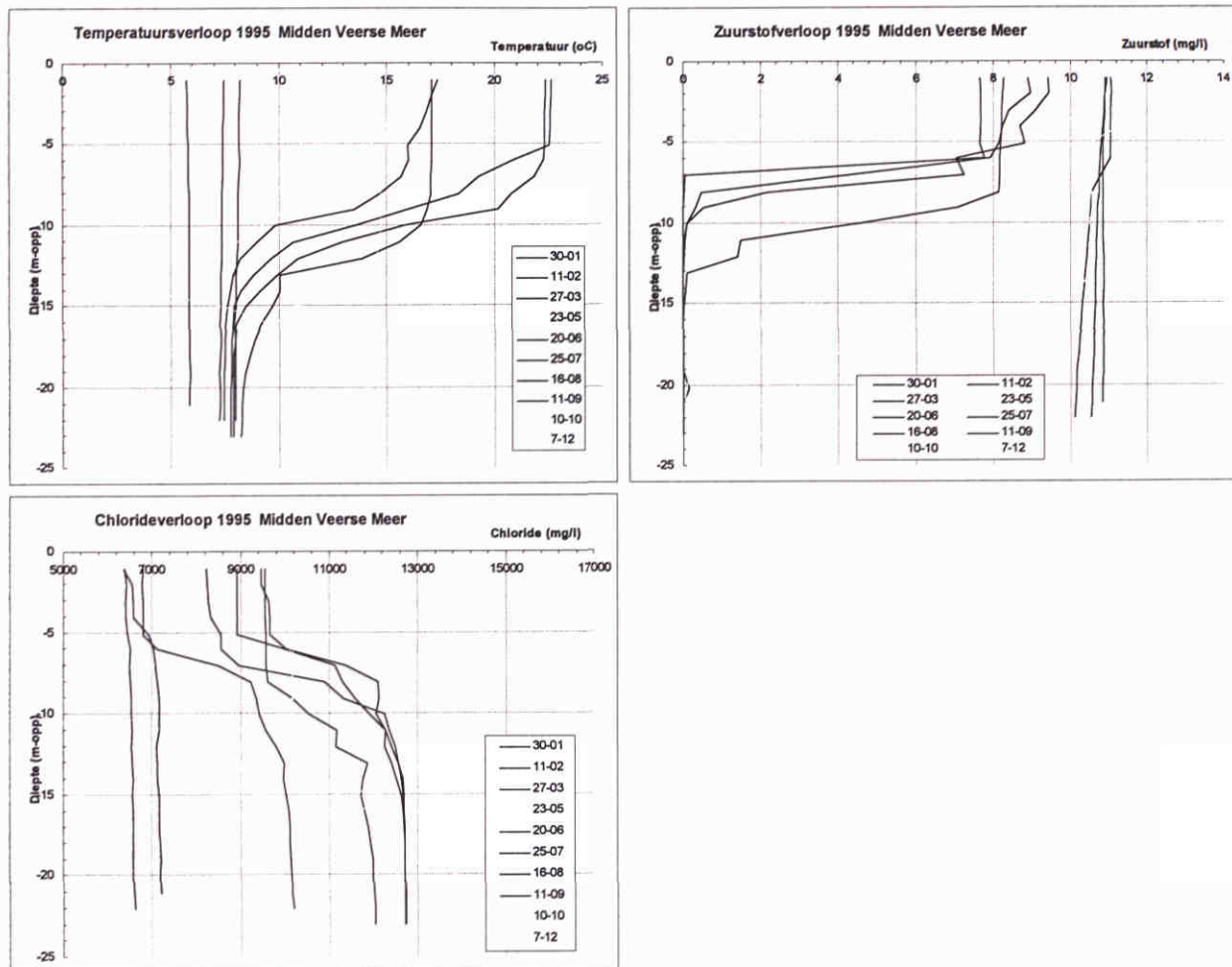
De metingen van 23 mei tonen een vrijwel geheel gestratificeerd systeem. Met uitzondering van de putten bij de Veersedijk (Vrouwenpolder en Schotsman) is het diepe water sterk onderverzadigd met zuurstof. Van mei tot en met september treedt deze sterke stratificatie op. Het maximum wordt bereikt in juli, wanneer ook de westelijke putten minder dan 2 mg/l O₂ bevatten. Vanaf mei wordt ook een temperatuurstratificatie aangetroffen. In de oktober metingen is de stratificatie nagenoeg verdwenen en zelfs in de putten bij de Zandkreekdijk verdwijnt de zuurstofloosheid grotendeels, al blijft de concentratie lager dan aan het oppervlak. In december is de zuurstofloosheid in diverse putten weer aanwezig. Wederom hangt dit samen met aanwezigheid van een meer of mindere temperatuur- en zoutstratificatie.

Uit de stratificatie metingen wordt het algemene beeld duidelijk dat een lage zuurstofconcentratie direct gebonden is aan het bestaan van een gestratificeerd systeem. Al bij een geringe stratificatie wordt de toevoer van zuurstofrijk water geremd en zal de zuurstofconcentratie in het diepe water dalen. Verder wordt de waterbeweging van het Oosterschelde water goed weergegeven door het chloride verloop. Zout water stroomt via de Zandkreeksluis de dichtstbijzijnde put in en wordt vervolgens via opeenvolgende putten langs de bodem naar het westen getransporteerd. Tijdens het transport neemt de chlorideconcentratie in het diepe water af door (op)menging met het zoetere water.

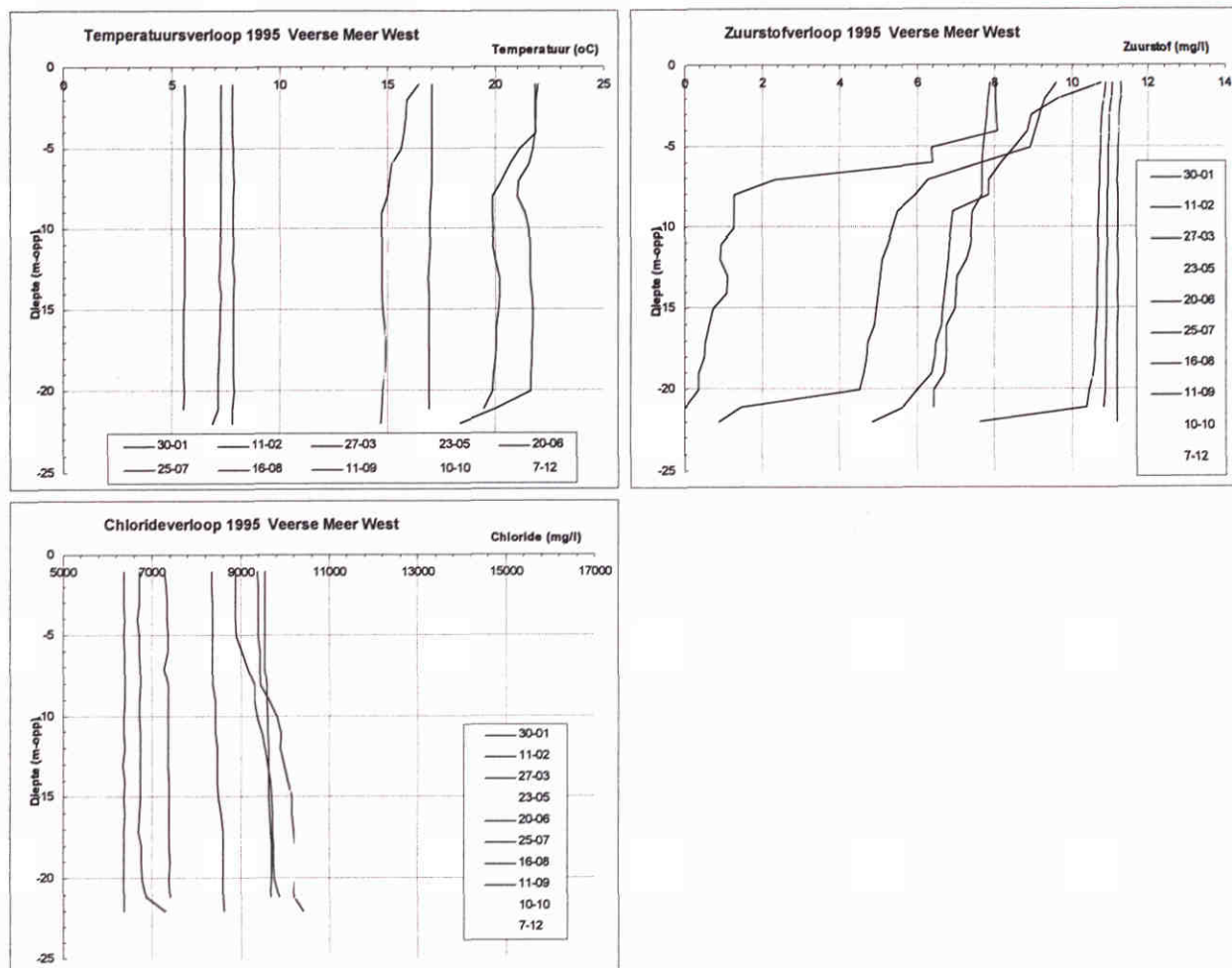
Ter hoogte van Vrouwenpolder treedt stratificatie slechts in beperkte mate op en is de waterkolom vrijwel het gehele jaar goed gemengd.



Figuur 2.10 Zuurstof-, temperatuur- en chloride profielen in 1995 voor een put ter hoogte van Wolphaartsdijk.



Figuur 2.11 Zuurstof-, temperatuur- en chloride profielen in 1995 voor een put ter hoogte van Soelekerkepolder.



Figuur 2.12 Zuurstof-, temperatuur- en chloride profielen in 1995 voor een put ter hoogte van Vrouwenpolder.

3 Modelbeschrijving

3.1 Het GEM-instrumentarium bij aanvang

GEM, ofwel het Generiek Ecologisch Model voor estuaria (wordt soms ook het Generiek Estuarium Model genoemd), is in samenwerking met NIOO-CEMO, NIOZ, IBN-DLO en RIKZ ontwikkeld door WL | Delft Hydraulics in de periode 1994-98. Achtereenvolgens verschenen het functioneel ontwerp (WL *et al.*, 1995a), het technisch ontwerp (WL, 1995b), de modeldocumentatie (WL, 1997a) en een drietal rapportages over pilot-toepassingen voor de Westerschelde en de westelijke Waddenzee (WL, 1997a/b en 1998a).

GEM is geïmplementeerd binnen DELWAQ. Dit modelsysteem bevat generieke routines voor stoftransport (aanvoer, afvoer, advection en dispersie) en de integratie van massabalansen voor een gesegmenteerd watersysteem. GEM is hierin ondergebracht in de vorm van een specifieke versie van de zogenaamde processenbibliotheek. De formuleringen en het gebruik van DELWAQ zijn toegelicht in WL (1995c/d).

Het huidige GEM bevat dynamische procesmodules voor gesuspendeerd sediment, chloride, zuurstof, nutriënten, fytoplankton, microfytobenthos en dode organische stof. Micro- en mesozoöplankton en diverse soorten macrozoöbenthos (mosselen, kokkels) kunnen in de vorm van 'forcing' functies aan GEM worden opgelegd. Tijdens eerdere calibraties is echter nog geen aandacht besteed aan microfytobenthos en grazers. Recentelijk is een technisch ontwerp gemaakt voor een module voor de dynamische simulatie van de diverse soorten grazers (WL, 1998a). De toevoeging van een macrofytenmodule is onderdeel van het ontwikkelingsplan.

De anorganische nutriënten in GEM betreffen ammonium, nitraat, opgelost en geadsorbeerd fosfaat, en opgelost en opaal silicaat. Biologische componenten bevatten hoeveelheden van deze nutriënten in organisch gebonden vorm. De dode organische stof is per component (C, N en P) verdeeld over drie particuliere detritusfracties en een opgeloste fractie. De fracties worden onder gedeeltelijke afbraak serieel uit elkaar gevormd. Bij sterfte of graas komt biomassa in de snel afbrekende, eerste particuliere detritusfractie terecht. De middelste particuliere fractie breekt trager af. De laatste particuliere fractie en de opgeloste organische stof fractie (DOC) worden refractair genoemd, ze breken zeer langzaam af. In de bodem wordt per element (C, N en P) maar één detritusfractie onderscheiden.

De in GEM opgenomen toestandsgrootheden zijn onderhevig aan een groot aantal, zeer verscheiden processen. Deze omvatten:

- primaire productie onder invloed van licht, temperatuur en nutriënten;
- respiratie, excretie, graas en sterfte;
- bacteriële afbraak (mineralisatie);
- bacteriële omzettingen, zoals nitrificatie en denitrificatie;
- adsorptie, precipitatie en oplossen;
- uitwisseling met de atmosfeer (reaeratie);

- bezinking en begraving; en
- advection en dispersie.

Voor de simulatie van diverse fytoplanktonsoorten kan worden gebruik gemaakt van twee verschillende modules. BLOOM II berekent de optimale primaire productie en soortensamenstelling voor maximaal 15 algentypen op basis van lineaire programmering (WL, 1991). Een alternatieve module berekent de primaire productie op basis van Monod-kinetiek voor maximaal 2 algentypen.

In GEM zijn een viertal modules voorzien voor de uitwisseling van stoffen met de actieve sedimentlaag in de bodem. Drie daarvan, te weten een eenvoudige module zonder bodemsegmenten, een eenvoudige module met bodemsegmenten en SWITCH, zijn in principe beschikbaar. SWITCH, een meer gedetailleerde bodemmodule, is echter als onderdeel van GEM-ontwikkelingen nog niet getest (WL, 1997c). De vierde module GEMSED is nog niet volledig geïmplementeerd. In deze toepassing voor het Veerse Meer is de eerstgenoemde eenvoudige bodemmodule toegepast. Begraving van bodemmateriaal uit de actieve bodemlaag wordt in deze toepassing niet meegenomen.

3.2 Inrichting van GEM 'Veerse Meer'

In het kader van de calibratie van GEM voor het Veerse Meer moesten keuzen worden gemaakt ten aanzien van de procesmodules die worden gebruikt voor:

- primaire productie in het water en op de bodem;
- secundaire productie in het water en op de bodem; en
- de nutriëntenhuishouding in de bodem.

BLOOM II wordt gebruikt voor de gecombineerde modellering van fytoplankton en *Ulva* conform de aanpak voor de Lagune van Venetië (WL, 1998b en 1991). Beschouwde typen van primaire producenten in BLOOM II zijn in deze toepassing: flagellaten, dinoflagellaten, diatomeeën en *Ulva*. *Phaeocystis* en zoet water algen worden niet in het model meegenomen omdat ze niet of nauwelijks in het Veerse Meer zijn waargenomen. Van alle typen worden 3 fenotypen onderscheiden: een stikstofgelimiteerd type (N-type), een fosfaatgelimiteerd type (P-type) en een energiegelimiteerd type (E-type). De typen onderscheiden zich in hun stochiometrie en de overige waarden van de coëfficiënten, voor groei, sterfte en respiratie.

Het microfytobenthos is net als in de VEERWAQ studie dynamisch gemodelleerd. De rekenmodule waarmee het microfytobenthos wordt berekend is in GEM wel anders dan in het voorgaande Veerse Meer model (WL, 1990). In de gelijktijdig met deze toepassing lopende GEM-toepassing op de Kuststrook en de Waddenzee (WL, 1999) is de modellering van microfytobenthos in het GEM-instrumentarium geïmplementeerd. Voor de Veerse Meer toepassing is dezelfde aanpak gekozen. Het microfytobenthos onttrekt zijn nutriënten aan de mineralisatieflux van organisch materiaal in de bodem. Door de groei van microfytobenthos wordt de nalevering van nutriënten uit de bodem derhalve beperkt. Voor de groei van microfytobenthos is een segment met een bodemgrensvlak noodzakelijk waarin genoeg licht beschikbaar is voor groei.

Zwevend stof is voor het Veerse Meer niet dynamisch gemodelleerd. Uit de meetgegevens (zie paragraaf 2.3) blijkt dat er weinig variatie in de concentraties zwevend stof voorkomen, dat de concentraties laag zijn (2 tot 6 mg/l) en dat er geen duidelijk patroon in is te ontdekken. Dynamisch modelleren zou daarom lastig zijn en niet zinvol. Voor het model wordt uitgegaan van een constante concentratie zwevend stof van 4 mg/l.

Grazers bleken in de voorgaande modelstudie van het Veerse Meer (WL, 1990) een grote invloed op het systeem te hebben. Ongeveer de helft van de primaire productie werd gefiltreerd. De grazers zijn daarom nu ook weer als opgelegde randvoorwaarde in het model opgenomen. Daarbij is uitgegaan van dezelfde 'forcing' functies als destijds.

Voor deze toepassing voor het Veerse Meer is om pragmatische redenen gekozen voor de eenvoudige module zonder bodemsegmenten voor de nutriëntenprocessen in de bodem. De complexe modules SWITCH en GEMSED mogen echter in staat geacht worden de sterke dynamiek van de teruglevering van nutriënten aan de waterkolom onder wisselend aerobe en anaerobe condities beter te beschrijven. In de toekomst kunnen deze modules desgewenst worden aangesloten, in plaats van de eenvoudige modules. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat in de huidige schematisatie alleen het ondiepe segment en de onderste putsegmenten een grensvlak met de bodem hebben. In werkelijkheid grenzen de tussenliggende waterlagen ook gedeeltelijk aan de bodem.

Tenslotte dient nog opgemerkt te worden, dat de toepassing van GEM op het gestratificeerde Veerse Meer de eerste gelaagde toepassing van dit model is. DELWAQ is in het verleden wel op gelaagde systemen toegepast, zodat structurele problemen ten aanzien van stoftransport niet werden verwacht. Systematische controle van de specifieke GEM-procedure routines wees uit dat ook deze goed functioneren bij gelaagde toepassing. Aanpassingen van de programmatuur met betrekking tot bezinking, en dispersie bleken niet nodig te zijn. De graasmodule en de afhandeling van *Ulva* binnen BLOOM moesten wel worden aangepast voor toepassing op gelaagde systemen.

Ten aanzien van het invoerbestand wordt ingespeeld op een nieuwe faciliteit van DELWAQ. De processen in GEM kunnen nu afzonderlijk aan of uit worden gezet, hetgeen stapsgewijze calibratie gemakkelijker maakt.

3.3 Uitbreidingen van het GEM-instrumentarium

3.3.1 Modelling met *Ulva* in BLOOM

Ulva wordt in GEM beschouwd als een van de primaire producenten in BLOOM II. Het is in het model in principe aan dezelfde formuleringen gebonden als alle andere algen. In enkele opzichten gedraagt *Ulva* zich in het model echter anders dan de andere algen:

- *Ulva* groeit op de bodem en wordt dus niet met het water getransporteerd;
- de afhankelijkheid van de temperatuur gerelateerde sterfte verschilt van de andere algen (zie intermezzo);
- De biomassa van *Ulva* wordt niet meegenomen in de berekening van de extinctie door algen;
- het chlorofyl-gehalte van *Ulva* is tevens zeer laag gekozen, zodat de modelresultaten goed vergeleken konden worden met de gemeten chlorofyl-gehalten in het water. Bij gangbare metingen van chlorofylconcentraties wordt chlorofyl in waterplanten niet meegenomen;
- de lichtinstraling voor *Ulva* wordt berekend als de intergraal over het onderste deel van de waterkolom. De lichtinstraling wordt voor de overige algen berekend als integraal over de gehele waterkolom. Het gedeelte van de waterkolom waarvan *Ulva* licht kan opnemen, hangt af van de hoogte van de actieve *Ulva*-laag ten opzichte van de diepte van de totale waterkolom. Dit varieert dus per watersysteem.

Met deze wijze van *Ulva*-modellering is al eerder ervaring opgedaan tijdens een project in de lagune van Venetië (WL, 1998b). De daar gebruikte parameterwaarden zijn in dit project overgenomen en waar nodig aangepast. In Venetië is ook gemodelleerd dat het *Ulva* bij hoge windsnelheden loslaat van de bodem en in het water gaat drijven. Dit wordt voor het Veerse Meer vanwege de grotere diepte niet van belang geacht en is daarom buiten beschouwing gelaten. Voor de groei van *Ulva* is een grensvlak met de bodem noodzakelijk.

Intermezzo: procesformuleringen voor planktonische algen en Ulva:

De maximale netto productie hangt af van de temperatuur volgens:

$$\begin{aligned} \text{maximale netto productie} &= \text{PPMax} * \text{TcPMx}^T && \text{voor: TFPMax} = 0 \\ &= \text{PPMax} * (T - \text{TcPMx}) && \text{voor: TFPMax} = 1 \end{aligned}$$

De mortaliteit hangt voor gewone algen af van de temperatuur volgens:

$$\text{mortaliteit} = \text{Mort0} * \text{TcMrt}^T$$

Voor *Ulva* verloopt deze relatie volgens:

$$\begin{aligned} \text{mortaliteit} &= \text{Mort0} && \text{voor: } T < 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= \text{Mort0} * (T - 25) && \text{voor: } T > 25 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

De relatie tussen temperatuur en respiratie verloopt voor alle primaire producenten volgens:

$$\text{respiratie} = \text{MResp} * \text{TcResp}^T$$

3.3.2 Uitbreiding met verhoogde algensterfte onder invloed van chloride

In het Veerse Meer komen hoofdzakelijk algen voor die van nature aanwezig zijn in een zout milieu. Deze zullen afsterven als het chloridegehalte (te) laag wordt. Zoetwater algen zijn nauwelijks aanwezig. Deze sterven kennelijk onmiddellijk af, wanneer ze met het polderwater in het Veerse Meer worden geloosd.

In BLOOM zijn om het chloridegebonden sterfteproces van zoutwater algen te kunnen meemodelleren de formuleringen opgenomen, zoals ze in de GEM-documentatie zijn beschreven (WL, 1997a).

De parameterwaarden zijn in deze toepassing zo gekozen dat zoutafhankelijke sterfte geen rol speelt. Het modelleren van zoutafhankelijke sterfte is alleen zinvol wanneer zoete en zoute algensoorten apart worden gemodelleerd en steile zoutgradiënten in ruimte of tijd ervoor zorgen dat algen die in het ene milieu zijn gegroeid in een voor hen ongeschikt (te zoet of te zout) milieu terecht komen. In de huidige toepassing voor het Veerse Meer komen steile zoutgradiënten alleen voor in de verticaal, waardoor de algensterfte in diepere waterlagen iets verhoogd zou worden. Voor het functioneren van het model is dit niet echt van belang, omdat de chlorofylconcentraties daar toch al nihil zijn. In principe zijn steile zoutgradiënten in de tijd ook mogelijk voor het Veerse Meer. In 1995 zijn de zoutgradiënten echter niet zo steil dat effecten op de algensterfte worden verwacht.

3.3.3 Uitbreiding met dagelijkse variatie in zuurstof

In GEM is nu een module opgenomen die de dagelijkse variatie in de zuurstofconcentratie berekent, afhankelijk van de omvang van de primaire productie en het gedeelte van de dag waar de meeste primaire productie plaatsvindt. De module is nog niet ingezet voor de huidige GEM-toepassing voor het Veerse Meer. Voor de calibratie voor het jaar 1995 is vooral gestreefd naar het reproduceren van seizoenspatronen.

4 Schematisatie, forcing en transport

4.1 Schematisatie in ruimte en tijd

Tijd

Met STRESS is de waterbeweging van het gehele jaar 1995 doorgerekend. De berekende transporten tussen de segmenten zijn per dag weggeschreven als invoer voor het waterkwaliteitsmodel. Het waterkwaliteitsmodel rekent met een tijdstap van 10 minuten.

Schematisatie

Bij de schematisatie van het Veerse Meer voor de modellen GEM en STRESS is voortgebouwd op de schematisatie van de eerder uitgevoerde VEERWAQ-studie (WL, 1990). De schematisatie beoogt rekening te houden met:

- gelaagdheid (verticale schematisatie);
- de dichtheidsstromingen, die ontstaan bij het inlaten van water uit de Oosterschelde (horizontale schematisatie in de lengterichting); en
- het voorkomen van *Ulva* en microfytobenthos tot op zekere diepte, in de eufotische laag (horizontale schematisatie in de dwarsrichting en verticale schematisatie).

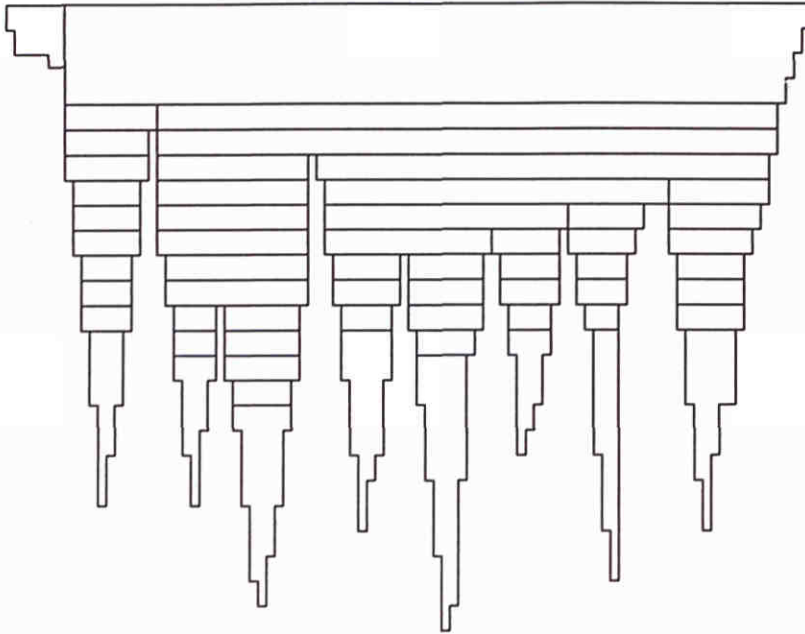
De waterbeweging in het Veerse Meer is berekend met het model STRESS en gekalibreerd voor chloride en temperatuur door RIKZ. Figuur 4.1 toont de schematisatie die gebruikt is in de GEM berekening. Het totaal aantal segmenten in de GEM-schematisatie bedraagt 59. Ten opzichte van de STRESS schematisatie zijn er drie wijzigingen:

- de bovenste vier segmenten zijn samengevoegd;
- ten behoeve van de modellering van *Ulva* is een ondiep segment toegevoegd;
- ten behoeve van de stabiliteit van de modelberekening zijn de onderste lagen van iedere put geaggregeerd.

In het onderstaande worden deze wijzigingen nader toegelicht.

Samenvoegen bovenste segmenten

Uit de analyse van de metingen in paragraaf 2.3.2 is gebleken dat de bovenste 4 meter altijd goed gemengd zijn. Deze kunnen daarom worden samengevoegd tot 1 segment. Dit heeft als bijkomend voordeel, dat het risico van droogval in het bovenste segment door peilfluctuaties wordt tegengegaan.



Figuur 4.1 De schematisatie van het Veerse Meer in GEM.

Ondiep segment

Om *Ulva* te modelleren is een segment nodig dat én een bodem bevat, én ondiep is zodat voldoende licht beschikbaar is voor de groei van *Ulva*. De STRESS schematisatie ontbeerde een dergelijk segment. Daartoe is het topsegment opgesplitst in een ondiep segment met bodem en een toplaag waaronder zich de putten bevinden.

De grootte van het ondiepe segment is afgeleid uit de volledige STRESS schematisatie, waarin de toplaag nog niet samengevoegd is. Tabel 4.1 vermeldt de oppervlakten van de segmenten in STRESS, waaruit een diepteprofiel af te leiden is. Voor het ondiepe segment is een diepte van 2,0 meter aangenomen. Voor het oppervlak van het ondiepe segment wordt $2.500.000 \text{ m}^2$ genomen. Het topsegment krijgt een oppervlak van $10.500.000 \text{ m}^2$ toegewezen. Met een diepte van 2 meter wordt het volume van het ondiepe segment $5.000.000 \text{ m}^3$. Het (initiële) totale volume ($= 43.623.672 \text{ m}^3$) van de beide segmenten wordt gelijk gehouden aan de niet gesplitste situatie. Het initiële volume van het topsegment bedraagt nu $38.623.672 \text{ m}^3$ en de bijbehorende diepte 3,68 meter. De uitwisseling tussen het ondiepe segment en het topsegment geschiedt door het opgeven van een specifieke dispersiecoëfficiënt, die alleen geldt voor deze uitwisseling. Deze dispersiecoëfficiënt is zo gekozen dat beide segmenten zo goed als volledig gemengd zijn.

Tabel 4.1

diepte (m NAP)	oppervlak (m ²)
-0,5	14.237.500
-1,5	12.872.500
-2,5	12.010.000
-3,5	10.906.000

Aggregatie van de onderste segmenten

De spronglaag bevindt zich tussen de 4 en 14 meter diepte. In dit traject is geen aggregatie toegepast om optimaal detail te behouden. Onder de spronglaag kan wel geaggregeerd worden, aangezien de waterkolom hier een goede menging laat zien (zie paragraaf 2.3.2)

In het model wordt gebruik gemaakt van de eenvoudige bodembenadering, zonder bodemsegmenten. De gemodelleerde bodemstoffen komen in dit geval voor in het onderste watersegment en hier spelen zich derhalve ook de bodemprocessen af. Aangezien het onderste segment in de niet geaggregeerde schematisatie altijd het kleinste segment van een put is, werden door de grote invloed van de bodemprocessen in een klein volume, numerieke instabiliteiten verwacht. Omdat de stratificatiemetingen aangeven dat vanaf -14 m NAP het water in de putten gedurende vrijwel het gehele jaar goed gemengd is, is besloten deze lagen in de GEM-schematisatie samen te nemen.

4.2 Waterbalans, waterbeweging en stoftransport

Waterbalans

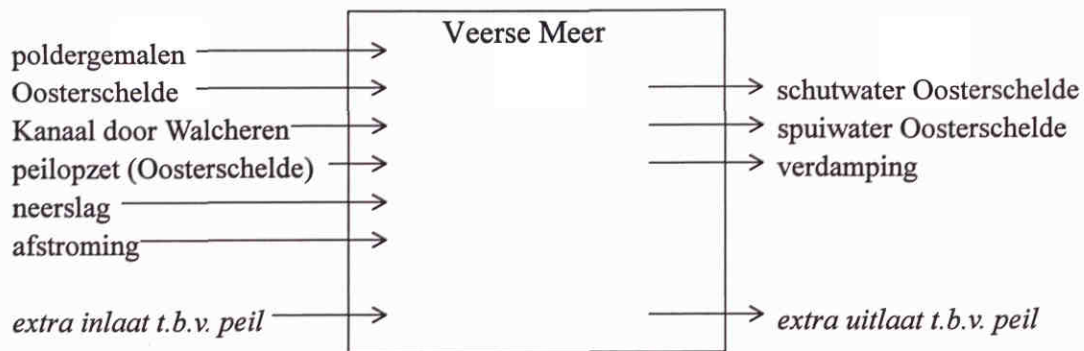
Figuur 4.2 toont een schematische weergave van de samenstelling van de waterbalans voor het Veerse Meer.

De inkomende waterstromen zijn:

1. polderwater uitgeslagen door de negen gemalen;
2. schutwater vanuit de Oosterschelde via de Zandkreeksluis;
3. schutwater van het Kanaal door Walcheren via de Veerse Sluis;
4. inlaat van water uit de Oosterschelde ten behoeve van peilverhoging;
5. neerslag; en
6. afstroming.

De uitgaande waterstromen zijn:

1. schutwater naar de Oosterschelde via de Zandkreeksluis;
2. spuien van water op de Oosterschelde ten behoeve van peilhandhaving of peilverlaging; en
3. verdamping.



Figuur 4.2 Schematische voorstelling van de waterbalans van het Veerse Meer.

Waterbeweging

De totale hoeveelheid water is binnen STRESS afgeregeld op het gemeten peilverloop. Om het peil te handhaven is een sluitpost op de waterbalans aan het model toegevoegd. Deze extra in- of uitlaat heeft het debiet dat nodig is om het opgelegde peil te handhaven. Bij de STRESS modellering is gebleken dat de sluitpost een grote bijdrage levert, zowel als uitlaat en als inlaat. Wanneer het totaal ingelaten volume zonder sluitpost beschouwd wordt als 100%, dan levert de inlaat een extra inlaat volume van nog eens 50%. Voor de extra uitlaat geldt zelfs een extra uitlaat volume van 100%. Het water van de extra inlaat wordt onttrokken aan de Oosterschelde en brengt dus additioneel zout in het systeem bovenop de gedefinieerde inlaat vanaf de Oosterschelde. Het water van de extra uitlaat wordt in STRESS om pragmatische redenen onttrokken aan de Zandkreek put. Dit is de put die via de Zandkreeksluis grenst aan de Oosterschelde. Het water van de sluitpost wordt dus op dezelfde plaats in- als uitgelaten. Gezien de grote inbreng van de sluitposten op de totale waterbalans, is de koppeling van de inlaatsluitpost aan de waterkwaliteit van de Oosterschelde mogelijk van groot belang voor de uitkomst van het model.

De STRESS berekening op basis van de bovengeschetste waterbalans levert aan GEM de waterbeweging op de randen en tussen de segmenten van het Veerse Meer. Deze waterbeweging bestaat uit de debieten van advectief transport over alle grensvlakken en de debieten van entrainment (dispersie) over alle grensvlakken van de segmenten.

Stoftransport

Het stoftransport wordt enerzijds bepaald door de waterbeweging en anderzijds door extra transportprocessen die worden beschreven in de zogenaamde transportroutine. Voor de GEM Veerse Meer toepassing is een specifieke transportroutine ontwikkeld door RIKZ. De routine was noodzakelijk om specifieke STRESS karakteristieken op een juiste wijze te vertalen naar GEM. De routine bestaat uit drie onderdelen:

- het peilverloop van het Veerse Meer wordt binnen GEM afgehandeld door het volume van het topsegment te vergroten of te verkleinen. Binnen de TR routine wordt de totale massa van een stof

(in g) proportioneel aangepast aan het nieuwe volume, zodat de concentratie (in g/m³) gelijk blijft. Het volume wordt ingelezen vanuit een apart bestand (top.r03);

- opmenging van de waterkolom door de wind wordt gesimuleerd door eens per dag segmenten met een speciale code volledig te mengen. De code wordt ingelezen vanuit een apart bestand (meng.r03), waarin staat welke segmenten op een bepaald tijdstip volledig gemengd dienen te worden;
- het tegengaan van instabiliteiten wordt toegepast om consistent met STRESS te blijven. STRESS staat niet toe, dat een bovenliggend segment een hogere dichtheid heeft dan een onderliggend segment. Wanneer dit toch gebeurt, worden de betreffende segmenten volledig gemengd. De TR routine checkt eens per dag op dergelijke instabiliteiten en mengt indien nodig segmenten op.

4.3 Omzetten van STRESS-uitvoer naar GEM-invoer

De waterbeweging voor het GEM Veerse Meer model is aangeleverd door RIKZ en bestaat uit uitvoer van het stratificatiemodel STRESS. Deze uitvoer omvat de volgende bestanden:

- binaire bestanden voor de waterbeweging (flow, area en length bestanden);
- een ruw GEM invoer bestand met daarin de segment volumes, de pointer tabel en de lozingslokaties;
- een bestand met segmentfuncties voor de temperatuur en een parameter bestand met onder andere het segmentoppervlak;
- een bestand met de lozingen (in- en uitlaten);
- een tweetal bestanden als invoer voor de nieuwe TR routine om a) te corrigeren voor de volumeverandering van het topsegment en b) opmenging van de waterkolom als gevolg van wind te simuleren.

Om deze bestanden geschikt te maken voor de GEM toepassing, moesten een aantal acties uitgevoerd worden. Deze worden hieronder kort beschreven.

Toevoegen van het extra segment

In het GEM invoerbestand worden de volgende wijzigingen aangebracht:

- Het aantal segmenten is verhoogd van 58 naar 59.
- Het ondiepe segment krijgt code '0' om aan te geven dat het zowel een bodem als een atmosfeer oppervlak heeft.
- Het volume van het ondiepe segment is toegevoegd en het volume van het topsegment is aangepast.
- Het aantal pointers is met 1 verhoogd om de uitwisseling tussen het ondiepe segment en het topsegment weer te geven.
- Aan het parameter bestand is het oppervlak voor het ondiepe segment toegevoegd, het oppervlak van het topsegment is aangepast.
- Aan de segmentfunctie van de temperatuur is het ondiepe segment toegevoegd. Aan het ondiepe segment is dezelfde temperatuur als het topsegment toegekend.

- Aan de bestanden voor de waterbeweging is een waarde voor de extra pointering toegevoegd: de flow tussen het topsegment en het ondiepe segment is op 0 gesteld, het uitwisselingsoppervlak is op 75.000 m² gesteld, de uitwisselingslengten zijn op 12,5 en 200 meter gesteld.
- Aan de bestanden voor de nieuwe TR routine zijn waarden toegevoegd voor het ondiepe segment. In de mengroutine mengt het ondiepe segment niet op. Het volume van het topsegment is verminderd met het volume van het ondiepe segment.

Het omzetten van de pointer tabel

Het bijzondere van de Veerse Meer schematisatie is dat het een verticale schematisatie is. Voor een goede werking van GEM in een dergelijk geval worden eisen aan de opbouw van de pointer tabel gesteld. In essentie bestaat de mogelijkheid pointers in drie richtingen te definiëren: de x, y en z richting. In GEM werken verticale processen zoals sedimentatie alleen in de z richting. Het is dan ook noodzakelijk de pointering in de z richting te specificeren. Omdat het gaat om een onregelmatig grid, vereist GEM bovendien dat de pointers in de z richting van boven naar beneden wijzen, te beginnen met het bovenste segment en vervolgens doortellend met toenemende diepte.

Een complicatie treedt op door de werking van STRESS, dat de mogelijkheid van stroming tussen niet aangrenzende segmenten biedt. Daarnaast voorziet STRESS zowel in een pointering van boven naar beneden als van beneden naar boven. Tot slot bleek bij inspectie van de pointer tabel, dat voor de Haringvreter put enkele pointers ontbraken.

De pointer tabel is als volgt aangepast:

- De ontbrekende pointers zijn toegevoegd aan de tabel en bijbehorende waarden zijn toegevoegd aan de “flow, area en length” bestanden.
- De pointer tabel is gesorteerd.
- In de x richting zijn de pointers opgenomen die ofwel van beneden naar boven wijzen ofwel van toepassing zijn op niet aangrenzende segmenten.
- In de y richting is de pointer opgenomen tussen het ondiepe segment en het topsegment. Het uitsplitsen van deze pointer maakt het mogelijk een unieke dispersie toe te kennen aan deze specifieke uitwisseling.
- In de z richting zijn de pointers opgenomen die van boven naar beneden wijzen en dus van belang zijn voor de verticaal werkende processen.
- De flow, area en length bestanden zijn gesorteerd om aan te sluiten bij de nieuwe volgorde van de pointer tabel.

4.4 Belastingen

In het model zijn 8 inlaten en 3 uitlaten gedefinieerd. Beperkingen binnen STRESS noopten tot het samenvoegen van enkele stromen. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de in- en uitlaten in het model.

Tabel 4.2 In- en uitlaten in GEM Veerse Meer en toegekende waterkwaliteit

	naam	betreft	gebruikte gegevens waterkwaliteit
Inlaten			
1	Inlaat nr. 1	Schutdebieten Zandkreeksluis	jan - dec 1995 (Oosterschelde)
2	Inlaat nr. 2	Peilverhoging Veerse Meer	jan - dec 1995 (Oosterschelde)
3	Inlaat nr. 3	poldergemaal Adriaan poldergemaal Wilhelmina poldergemaal Oosterland	jan/feb 1993 & mrt - dec 1996 feb 1993 & jan/mrt - dec 1996 jan/feb 1993 & mrt - dec 1996
4	Inlaat nr. 4	poldergemaal Willem kleine polders	jan/feb 1993 & mrt - dec 1996 geen
5	Inlaat nr. 5	Veerse sluis afstroming poldergemaal Kleverskerke poldergemaal Oostwateringen poldergemaal De Piet	jan - dec 1994 (Kanaal door Walcheren) geen jan - nov 1995 & dec 1994 jan - dec 1995 jan 1996 & feb - dec 1995
6	Inlaat nr. 6	poldergemaal Jacoba	jan/feb 1993 & mrt - dec 1996
7	Inlaat nr. 7	sluitpost	jan - dec 1995 (Oosterschelde)
8	Neerslag	neerslag	maandelijks gemiddelde over 1983 - 1988
Uitlaten			
1	Uitlaat nr. 1	Spuidebieten Veerse Meer Zandkreeksluis	1)
2	Uitlaat nr. 2	sluitpost	1)
3	Verdamping	verdamping	1)

1) Aan uitlaatdebieten wordt de lokale concentratie van het segment toegekend.

Tabel 4.2 geeft aan dat waterkwaliteitsgegevens voor 1995 slechts beperkt voorradig zijn. Waar mogelijk zijn gegevens uit omliggende jaren gebruikt. Om van de verschillende stromen te komen tot één inlaat, zijn de concentraties gewogen gemiddeld ten opzichte van het debiet. Appendix C geeft een overzicht van de gebruikte concentraties. Enkele opmerkingen ten aanzien van voor belastingen gebruikte waterkwaliteitsgegevens zijn:

- Indien geen gegevens bekend zijn voor een bepaalde stof is de concentratie op nul gesteld tenzij anders vermeld.
- De concentratie silicium is in alle inlaten behalve de Oosterschelde, bij volledig ontbreken van gegevens, gelijkgesteld aan 4 mg/l.
- Er worden geen algen toegevoegd in de inlaten. Algen worden geacht onderdeel uit te maken van particulier organisch materiaal (POC).
- De concentratie particulier organisch stikstof (PON) is gelijkgesteld aan het verschil tussen de concentratie Kjeldahl stikstof en de concentratie ammonium ($PON = (Kj-N - NH_4)$). Als het verschil kleiner is dan nul, wordt PON gelijkgesteld aan nul.
- De concentratie anorganisch geadsorbeerd fosfor (AAP) en de concentratie particulier organisch fosfor (POP) is gelijkgesteld aan de helft van het verschil tussen totaal fosfor en de fosfaatconcentratie ($AAP = POP = \frac{1}{2} \times (Tot-P - PO_4)$). Als het verschil kleiner is dan nul, worden POP en AAP gelijkgesteld aan nul.
- De concentratie zuurstof in neerslag is toegekend op basis van een 100% verzadigingswaarde.

- De hoeveelheid POC is afgeleid uit het Biologisch Zuurstof Verbruik (BZV) ($POC = 1.65 * 12/32 \times BZV$).

De debieten van alle belastingen zijn afkomstig van de STRESS-berekeningen op basis van maandelijkse meetgegevens (zie vorige sectie). De voor belastingen op de randen van het model benodigde gegevens van de waterkwaliteit zijn bewerkt tot delen van het invoerbestand.

4.5 Meteorologische randvoorwaarden

Gegevens van het KNMI station te Vlissingen voor het jaar 1995 zijn omgezet naar delen van het invoerbestand. Op deze manier zijn dagelijkse waarden voor instraling gegenereerd. Vooralnog is de windsnelheid als constante (6 m/s) opgelegd. De watertemperatuur is aangeleverd door STRESS en wordt als segmentfunctie per week opgelegd.

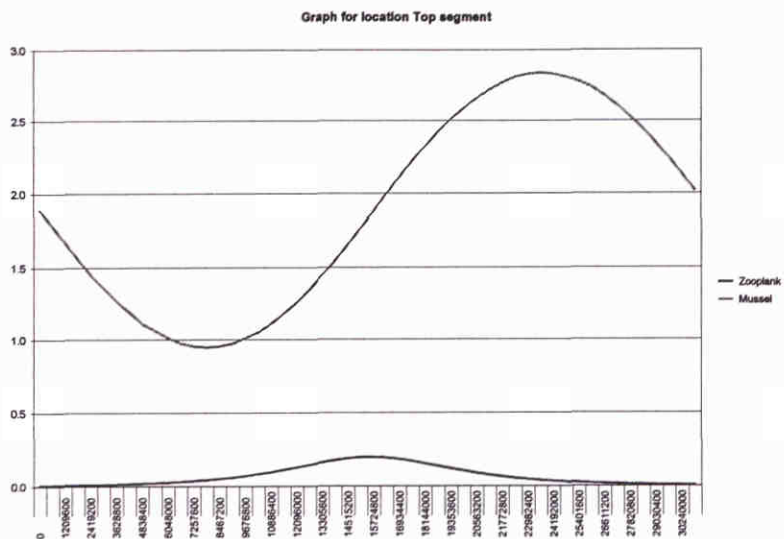
4.6 Begincondities

De waterkwaliteit bij aanvang van de berekening is bepaald met behulp van de in de tijd meest dichtbij gelegen meetgegevens. Ten aanzien van de bodemkwaliteit zijn te weinig relevante gegevens beschikbaar. Uit eerdere ervaringen met modellen is gebleken dat de hoeveelheid bodemdetritus een evenwicht bereikt na ongeveer 3 jaar doorrekenen van het model. De initieel aanwezige massa bodemdetritus is daarom ingesteld op 3 maal de hoeveelheid, die na één (voorlopige) jaarberekening in de onderste watersegmenten (met bodemgrensvlak) was geaccumuleerd. Voor de beginconditie van geadsorbeerd fosfaat in de bodem en van microfytobenthos is nul gekozen, wegens gebrek aan informatie.

4.7 Forcing functies voor grazers

In de vorige modelstudie van het Veerse Meer (WL, 1990) is gewerkt met zoöplankton en twee soorten bodemfauna: suspensie-etters en sediment-etters. Bij de calibratie bleken vooral de suspensie-etters belangrijk voor het berekenen van de chlorofyl-gehalten. In GEM bestaat momenteel een module om de graasdruk door zoöplankton en suspensie-etters (=filterfeeders) te modelleren met 'forcing' functies. Deze module is gebruikt, met in eerste instantie dezelfde forcing functies zoals die gebruikt zijn in VEERWAQ. Sediment-etters kunnen met het huidige GEM niet worden gemodelleerd. In de vorige modelstudie is echter reeds gebleken, dat ze weinig invloed hebben op het systeem. In figuur 4.3 zijn de forcing functies voor zoöplankton en mosselen weergegeven in gC/m^3 , zoals ze in de VEERWAQ-studie (WL, 1990) zijn gebruikt. De biomassa van zoöplankton is veel kleiner dan die van de mosselen. Doordat zoöplankton een veel hogere filtersnelheid heeft, is het effect van zoöplankton echter toch van belang.

De forcing functie voor mosselen in het topsegment is laag vergeleken met de range die gemeten is (zie paragraaf 2.3). De gemiddelde biomassa in de forcing functie is circa $2 gC/m^3$, terwijl in de metingen een range van 0,7 tot $245 gC/m^3$ werd gevonden ($2,7$ tot $900 gC/m^2$ gedeeld door de dikte van de top laag: 3,68 m).



Figuur 4.3: Forcing functies voor het concentratieverloop over het jaar van zoöplankton en mosselen in het topsegment uit VEERWAQ (wL, 1990) in gC/m³.

5 Inregeling van GEM voor het Veerse Meer

5.1 Methodische aspecten

Bij de ontwikkeling van GEM, is het de bedoeling dat de verschillende Nederlandse zoute watersystemen, zo veel mogelijk met ongeveer dezelfde set van parameterwaarden voor de processen worden gemodelleerd. Voor een eerste opzet van het GEM-model voor het Veerse Meer is daarom een consistente set van parameterwaarden opgesteld die als uitgangspunt kan dienen voor de keuze van parameterwaarden voor GEM-toepassingen. De waarden en ranges voor de parameters in deze set, zijn afgeleid van voorgaande modelstudies voor Nederlandse watersystemen en van literatuuronderzoek. Deze consistente set van parameterwaarden (zie appendix B en paragraaf 5.2) diende als uitgangspunt voor de inregeling van het GEM-model voor het Veerse Meer.

Tijdens de inregeling van het model is gebleken dat de uitgangswaarden voor de procesparameters, voor het specifieke modelsysteem (in dit geval het Veerse Meer) een verkeerde weergave gaven van de optredende processen en concentratiepatronen. Dit kan over het algemeen veroorzaakt worden doordat bepaalde waterkwaliteitsprocessen anders verlopen dan in andere watersystemen. De adsorptiecapaciteit van slib kan bijvoorbeeld sterk verschillen per watersysteem. Een andere reden kan zijn dat de aanpak van de modellering (schematisatie, waterbeweging of mate van detail in de procesbeschrijvingen) zodanig anders is dan in voorgaande modelstudies dat de daar gehanteerde parameterwaarden niet meer bruikbaar zijn voor de nieuwe toepassing. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij de modellering van de netto sedimentatie van particulier materiaal. De valsnelheid van de deeltjes in verschillende watersystemen kan weliswaar vergelijkbaar zijn, maar door verschillen in de waterbeweging is de netto sedimentatie in stagnante watersystemen toch veel hoger dan in estuaria.

Voor een juiste weergave van de processen in het Veerse Meer is het dus nodig gebleken bepaalde parameterwaarden bij te stellen. Daarbij is de meest logische volgorde om eerst het stoftransport te controleren en zonodig te corrigeren. Het gemeten chloridegehalte is hiervoor een belangrijke 'tracer'. Het stoftransport kan worden bijgesteld door middel van de dispersiecoëfficiënt. Als het stoftransport goed is kunnen de waterkwaliteitsprocessen worden gecalibreerd. Daarbij wordt de volgende volgorde aangehouden:

- nutriënt stikstof;
- nutriënten silicaat en fosfor;
- fytoplankton (en extinctie);
- *Ulva* en microfytobenthos; en
- zuurstof/organische stof.

Deze volgorde weerspiegelt de hiërarchie van de toestandsgrootheden. Als gevolg van terugkoppelingen is het echter nodig ook iteratief te werk te gaan, dat wil zeggen van tijd tot tijd terug te stappen naar een voorliggend hiërarchisch niveau.

5.2 Uitgangswaarden van procesparameters

5.2.1 Procesparameters primaire producenten

De primaire productie wordt berekend met BLOOM II. Daarbij worden 4 typen onderscheiden: diatomeeën, flagellaten, dinoflagellaten en *Ulva*. Per type worden 3 fenotypen onderscheiden: het N-type, het P-type en het E-type (zie ook paragraaf 3.2). De parameterwaarden voor deze studie zijn voor *Ulva* gelijk aan de waarden, zoals die zijn gebruikt tijdens het project in de Lagune van Venetië (WL, 1998b). De parameterwaarden voor de overige primaire producenten zijn hetzelfde als de parameterwaarden van de pilottoepassingen van GEM op de Westerschelde en de Westelijke Waddenzee (WL, 1998a). Deze zijn verkregen zijn door de calibratie van het Noordzee model voor de Nederlandse kustzone (WL, 1997d).

De extinctie van licht is weliswaar geen eigenschap van de gemodelleerde algen, maar wordt toch hier besproken omdat het hoofdzakelijk van belang is voor de algengroei. In deze studie zijn ook de extinctiecoëfficiënten overgenomen van het Noordzee model voor de Nederlandse kustwateren (WL, 1997d). Een overzicht van de gebruikte parameterwaarden voor de verschillende typen primaire producenten is gegeven in tabel B.1 in appendix B.

Voor de modellering van microfytobenthos zijn dezelfde parameterwaarden gebruikt als in de Noordzeetoepassing voor zover die gecalibreerd was op het moment van opleveren van het Veerse Meer project.

5.2.2 Procesparameters waterkwaliteit

De invoerparameters voor de waterkwaliteitsprocessen in GEM, zoals die bij aanvang van de calibratie zijn opgesteld, zijn verzameld in appendix B. De structuur en de inhoud van de tabellen is zo gekozen, dat een volledig beeld ontstaat van alle processen, waaraan de diverse toestandsgrootheden onderworpen zijn, wanneer de eenvoudige bodemmodule met bodemsegmenten zou worden toegepast. In een aantal gevallen wordt bij processen verwezen naar de parameters in andere tabellen.

Door de vereenvoudigde aanpak van de modellering zijn enkele parameters niet meer van toepassing. De vereenvoudigingen betroffen met name het niet modelleren van afzonderlijke bodemsegmenten en het modelleren van zwevend stof als opgelegde constante concentratie, in plaats van dynamische modellering.

De waarden en ranges van de diverse parameters in appendix B berusten op gegevens van eerder (met de bodem-water uitwisselings-module SWITCH) uitgevoerde studies (WL, 1997c) en andere eutrofiërings-studies (WL, 1995e). Hoewel de parameterwaarden voor processen in de bodem voor een groot gedeelte niet in deze toepassing worden gebruikt, worden ze toch gepresenteerd. Zo kunnen de vermelde waarden gebruikt worden in latere toepassingen.

5.3 Aanpassing van parameterwaarden

Een overzicht van de aangepaste parameterwaarden ten opzichte van de uitgangswaarden (appendix B) wordt gegeven in tabel 5.1. In het onderstaande worden de gemaakte aanpassingen nader toegelicht.

Tabel 5.1: Overzicht van procesparameters die aangepast zijn t.o.v. appendix B.

<i>Proces</i>	<i>afkorting</i>	<i>waarde</i>	<i>eenheid</i>	<i>omschrijving</i>
verticale dispersie	-	0.5 * 10 ⁻⁶	m ² /s	verticale dispersie
denitrificatie in de bodem ¹	RcDenSed	2	m/dag	denitrificatiesnelheid
begraving	VBurS1	0.01	1/dag	begravingsnelheid
extinctie	ExtVISal0	1	1/m	parameter die de relatie tussen saliniteit en extinctie aangeeft
BLOOM	SDMixAlgx	0.05	-	fractie van de waterkolom waar <i>Ulva</i> licht van ontvangt, gerekend vanaf de bodem
graas	ZGRML	8	-	vermenigvuldigingsfactor voor de biomassa van zoöplankton
sedimentatie van detritus	VSedPOC1	8	m/dag	sedimentatiesnelheid van eerste detritusfractie in het ondiepe segment
sedimentatie van detritus	VSedPOC1	0.25	m/dag	sedimentatiesnelheid van eerste detritusfractie in de overige segmenten
sedimentatie van detritus	VSedPOC2 VSedPOC3	0.25	m/dag	sedimentatiesnelheid van overige detritusfracties

¹) afwijkende formulering t.o.v. tabel B.4 in appendix B

5.3.1 Chloride

Teneinde de verticale zoutgradiënten beter te kunnen reproduceren is na calibratie een verticale dispersie aan het model opgelegd van $0.5 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Deze waarde ligt in tussen voor gestratificeerde systemen te berekenen onder en bovengrenzen: $0.05 * 10^{-6}$ tot 0.005 (WL, 1988)

5.3.2 Nutriënten

In de metingen (zie figuur 2.8) is te zien dat de daling van de nitraatconcentraties in de zomer zeer groot is. De daling is groter dan alleen door de opname door algen te verklaren is. Denitrificatie speelt eveneens een belangrijke rol. Denitrificatie treedt alleen op onder zuurstofloze omstandigheden. Voor de segmenten boven de spronglaag, waar zuurstofloosheid in het water niet voorkomt, vindt de meeste denitrificatie plaats in de bodem.

In tabel B.2 van appendix B wordt voor de denitrificatiesnelheid in de bodem 50 /dag voorgesteld. Deze waarde was bedoeld voor een modellering met afzonderlijke bodemsegmenten. Met de

benadering waarin bodemstoffen (en bodemprocessen) als onderdeel van de watersegmenten worden behandeld, dient een denitrificatiesnelheid in m/dag te worden opgegeven. Hiervoor worden normaal gesproken waarden rond 0.1 en 0.2 m/dag gehanteerd. Met deze waarden werd echter niet de gemeten sterke afname van nitraat in de toplaag berekend. De oorzaak hiervoor moet worden gezocht in de schematisatie van het Veerse Meer model. In het model is het ondiepe segment het enige segment boven de spronglaag met een bodem. De spronglaag deelt het Veerse Meer in twee gescheiden watersystemen, waartussen weinig uitwisseling optreedt. In het ondiepe segment moet de bodemdenitrificatie plaatsvinden voor alle overige watersegmenten boven de spronglaag (waar in werkelijkheid wel een bodem onder ligt, maar in het model niet). Voor het Veerse Meer is na calibratie een denitrificatiesnelheid gekozen van 2 m/dag. De hoge denitrificatiesnelheid vormt een compensatie voor de afwezigheid van bodemgrensvlakken onder de andere segmenten boven de spronglaag.

Om de nalevering van met name ammonium uit de bodem te beperken is een begraving opgelegd van 1% per dag. Er wordt aangenomen dat de putten door netto aanslibbing langzaam ondieper worden. Of de begraving van de actieve toplaag ook daadwerkelijk in de orde van 1% per dag is, is onbekend. Het is ook mogelijk dat de begraving in het model nodig is als compensatie voor andere processen, zoals bijvoorbeeld denitrificatie in de bodem (er is relatief weinig bodemoppervlak in het model).

De procesparameters met betrekking tot silicium en fosfaat zijn niet aangepast ten opzichte van de waarden die vermeld worden in tabel B.5 en B.6. In het kader van de GEM-toepassing voor de Noordzee is intussen een nieuwe default-waarde voor de evenwichtsconstante voor fosfaatadsorptie bij 20 °C beschikbaar gekomen. Deze is voor het Veerse Meer nog niet toegepast. Er was geen informatie beschikbaar over fosfaatadsorptie in het Veerse Meer. Met de huidige formulering wordt de adsorptie van fosfaat zeer laag ingeschat. De fosfaatconcentraties in het model moeten derhalve worden opgevat als het totaal van vrij en geadsorbeerd fosfaat. In verband met de lage slobconcentraties (weinig adsorbens) en de hoge beschikbaarheid van fosfaat, wordt de verdeling van fosfaat over de geadsorbeerde fase en de opgeloste fase voor deze modeltoepassing niet van belang geacht.

5.3.3 Primaire productie

Het lichtklimaat is een belangrijke sturende variabele voor de primaire productie. Voor het Veerse Meer waren doorzichtgegevens bekend voor 1995. Het gemiddelde doorzicht lag rond 2.4 meter en vertoonde geen duidelijk seizoenspatroon. De relatie tussen doorzicht en extinctie kan worden beschreven volgens:

Extinctie = constante van Pool-Atkins / zichtdiepte (m)

De constante van Pool-Atkins ligt over het algemeen tussen 0.5 en 3.0. Uitgaande van een gemiddelde waarde van 1.8 wordt de extinctie voor het Veerse Meer geschat op 0.75. De extinctie is opgebouwd uit de achtergrondextinctie van water (= 0.08), de extinctie door algen, zwevend stof en opgeloste humuszuren. De extinctie door algen en zwevend stof kan berekend worden uit de gemeten concentraties chlorofyl-a en zwevend stof (gemiddeld respectievelijk 12.5 µg/l = 0.25 mgC/l en 4 mg/l) en de specifieke extinctiecoëfficiënten voor deze stoffen (respectievelijk ongeveer 0.2 (verschilt per alg) en 0.018). Voor de extinctie door opgeloste humuszuren blijft dan nog circa 0.55 over. In de GEM-toepassing op de Noordzee is de extinctie door humuszuren gemodelleerd als functie van de

saliniteit. Omdat de concentraties humuszuren in zoet water over het algemeen veel hoger zijn dan in zoute wateren kan het aandeel zoet water gebruikt worden als maat voor de extinctie door humuszuren. Voor het Veerse Meer is dezelfde benadering gekozen. De parameter die de relatie tussen de saliniteit en de extinctie weergeeft is zo ingesteld dat bij de gemiddelde saliniteit in de toplaag de extinctie gelijk is aan 0.55.

Om de chlorofylconcentraties op het lage niveau te houden van de metingen bleek het noodzakelijk te zijn om meer graas op te leggen dan de forcing functie die in de modelstudie VEERWAQ (WL, 1990) is gebruikt. In VEERWAQ werd een maximum biomassa van 0.2 gC/m^3 aangenomen. In het GEM-model van het Veerse Meer is deze forcing functie vermenigvuldigd met een factor 8 tot 1.6 gC/m^3 . Dit komt ongeveer overeen met wat door Klepper en Scholten (1988) in de Oosterschelde is gemeten. Gezien de grote spreiding in metingen van jaar tot jaar van zoöplankton en mosselen kan de graasdruk (door zoöplankton of mosselen) veel hoger zijn geweest dan in de gegevens die zijn gebruikt voor het opstellen van de forcing functie. Voor het modelleren van het Veerse Meer is dit nadelig omdat de graasdruk een zeer belangrijke factor is en de onzekerheid met betrekking tot deze factor hoog is. Zonder extra graas wordt een voorjaarspiek van $140 \mu\text{g Chl-a/l}$ berekend en blijven de concentraties in de zomer schommelen rond 20 en $40 \mu\text{g Chl-a/l}$.

Ulva groeit alleen in het ondiepe segment dat grenst aan de toplaag, omdat dit het enige segment is met een bodem en voldoende licht voor primaire productie door makro-algen. Voor de eigenschappen van het *Ulva* zijn dezelfde waarden gekozen als die in de BLOOM-toepassing in de Lagune van Venetië zijn gebruikt. Alleen het percentage van de waterkolom, waarvan *Ulva* licht kan opnemen, is aangepast. Voor planktonische algen wordt aangenomen dat alle licht in de gehele waterkolom beschikbaar is voor primaire productie. Voor primaire producenten die op de bodem groeien is minder licht beschikbaar, omdat een gedeelte van het licht wordt geabsorbeerd of gereflecteerd in het bovenstaande water. *Ulva* kan dus alleen licht opnemen dat het onderste gedeelte van de waterkolom bereikt. In de modelstudie voor Venetië is hiervoor uitgegaan van de onderste 25% van de waterkolom. Voor het Veerse Meer is dit aangepast naar de onderste 5% van de waterkolom. Het ondiepe segment heeft een diepte van 2 meter. Voor het ondiepe segment komt dit dus neer op de onderste 10 cm. Dit wordt beschouwd als een realistische groeihogte van *Ulva* en bij deze waarde wordt tevens een realistische biomassa-ontwikkeling berekend. Volgens Apon (1990) groeit er beneden 2 meter diepte nauwelijks *Ulva*.

Voor microfytobenthos is geen calibratie uitgevoerd. De waarden van de proces parameters die in de Noordzee toepassing zijn gebruikt, zijn overgenomen voor de GEM-toepassing op het Veerse Meer. Er zijn niet voldoende betrouwbare gegevens om de resultaten mee te calibreren dus was er geen aanleiding de proces parameterwaarden aan te passen.

5.3.4 Zuurstof

De zuurstofconcentraties worden in de toplaag voornamelijk bepaald door de lokale primaire productie, de afbraak van organisch materiaal en de uitwisseling met de atmosfeer. In de onderliggende segmenten is de toevoer van organisch materiaal uit de toplaag de bepalende factor. De toevoer van organisch materiaal uit de toplaag wordt bepaald door de primaire productie en door sterfte- en sedimentatieprocessen. De valsnelheid van detritus is derhalve een belangrijke parameter. Deze is verhoogd van 0.07 naar 0.25 m/dag.

In het ondiepe segment wordt veel detritus gevormd door de sterfte van *Ulva*. In werkelijkheid zal afstervend *Ulva* zich niet direct over de waterkolom verdelen. Een groot deel zal waarschijnlijk op de bodem blijven liggen en bij hogere windsnelheden tijdelijk opwervelen en in de diepere delen weer bezinken. Om te voorkomen dat alle afgestorven *Ulva* direct in de waterkolom terecht zou komen, is de valsnelheid van detritus in het ondiepe segment hoger gezet dan in de overig segmenten. Het bleek namelijk dat het afstervend *Ulva* de belangrijkste bron van detritus werd in het model, en dat er te veel detritus in het model kwam. De valsnelheid van detritus in het ondiepe segment is, als compenserende maatregel om de retentie van afgestorven *Ulva* in het ondiepe segment te verhogen, na calibratie op een extra hoge waarde gezet (8 m/dag).

5.4 Resultaten

5.4.1 Chloride

In figuur A.1 (Appendix A) wordt het chlorideverloop in het topsegment van het model vergeleken met metingen. Voor de tijdseries is gebruik gemaakt van de maandelijkse metingen op een drietal punten in het Veerse Meer (zie paragraaf 2.2). Het meetpunt Wolphaartsdijk bevindt zich ter hoogte van de Zandkreekdam, het meetpunt Soelekerk ongeveer halverwege het Veerse Meer en het meetpunt Vrouwenpolder ter hoogte van de Veersegatdam. Het model berekent in het voorjaar enigszins te hoge concentraties, terwijl in de tweede helft van het jaar het chloridegehalte enigszins onderschat wordt. De concentratie in het topsegment wordt eind maart binnen korte tijd snel zouter, hetgeen niet in de metingen te zien is. De snelle stijging valt samen met het inlaten van Oosterschelde water voor peilopzet (dag 82 tot 90). Hoewel het zoute water in de putten instroomt, heeft dit in het model blijkbaar ook effect op het oppervlaktewater. De metingen lijken te wijzen op een geleidelijke opmenging van het diepe, zoutere water, aangezien een vrijwel continu stijgende concentratie waargenomen is (figuur A.1).

In de figuren A.2 en A.3 worden de chlorideresultaten halverwege de waterkolom en nabij de bodem in respectievelijk de Soelekerk en de Wolphaartsdijk put vergeleken met metingen. Aan de bodem is het chloridegehalte gedurende de gehele zomer enigszins te hoog in het model. Oosterschelde water stroomt direct de Wolphaartsdijk put in. Aan de bodem van deze put mag derhalve vrijwel onvermengd Oosterschelde water verwacht worden. Het feit dat de concentratie in het model te hoog is, is mogelijk een aanwijzing dat óf de chlorideconcentratie van het Oosterschelde water te hoog was óf bij het inlaten van het Oosterschelde water gelijk een geringe menging met zoeter water optreedt alvorens het water de put instroomt. In het model stroomt het Oosterschelde direct in een diepe laag van de Wolphaartsdijk put in en heeft dus niet de mogelijkheid te mengen met zoeter oppervlakte water. Wanneer het chloridegehalte in de eerste put lager zou zijn, zouden de concentraties in de opeenvolgende putten eveneens lager zijn.

Halverwege put Soelekerk is er in de metingen die overigens alleen het zomerseizoen omvatten, redelijk wat variatie (figuur A.2). Dit kan duiden op tijdelijke opmenging met oppervlakte water, waardoor de Cl concentratie daalt. De reden voor een dergelijke opmenging zou een sterke wind kunnen zijn, maar de omstandigheden zijn niet bekend. Overigens is de exacte diepte van het meetpunt evenmin bekend, waardoor afwijkingen kunnen ontstaan tussen model en meting, zeker gezien de aanzienlijke gradiënt in chloride met de diepte. In het model ligt de spronglaag in de zomer

voortdurend boven het in de figuur weergegeven segment, waardoor geen opmenging optreedt en hogere concentraties gemodelleerd worden.

Het model laat halverwege put Wolphaartsdijk afwijkingen zien in de winter en in het najaar (figuur A.3). De afwijkingen en sterke schommelingen zijn het gevolg van de variabele in- en uitlaat (de sluitpost) die respectievelijk zout water aan deze put toevoegde of water aan deze put onttrekt om het opgelegde peil te handhaven.

De figuren A.4 tot en met A.8 geven het ruimtelijk beeld van zout door het jaar heen. Voor de ruimtelijke figuren zijn de stratificatie metingen gebruikt (zie paragraaf 2.3). De ligging van de spronglaag wordt over het algemeen goed gereproduceerd. In de westelijk gelegen putten (Vrouwenpolder en Schotsman, respectievelijk 3° en 2° van links) treedt de stratificatie in het model eerder op dan in de metingen. Dit zou erop kunnen duiden dat de hoeveelheid ingelaten zout water overschat wordt en dat het zoute water in werkelijkheid de ver van het inlaatpunt gelegen putten nog niet bereikt heeft. In het najaar blijft het model boven de spronglaag zoeter dan in de metingen, hetgeen ook in de tijdserie te zien was. Blijkbaar bevat het systeem als geheel te weinig zout.

Ondanks bovengenoemde kleine afwijkingen wordt het horizontale en verticale transport vrij goed weergegeven. Met name de ligging van de spronglaag en het transport over de spronglaag zijn belangrijk voor het simuleren van de waterkwaliteit.

5.4.2 Nutriënten

Figuur A.9 en A.10 laten het fosfaatverloop in de metingen en het model zien in het topsegment en in put Soelekerk. In het topsegment wordt het concentratieverloop redelijk gereproduceerd. Alleen de stijging van de fosfaatgehalten in de tweede helft van het jaar komt te laat. Vermoedelijk wordt de stijging van de fosfaatgehalten in de metingen veroorzaakt door nalevering van fosfaat uit de bodem. Het bodemoppervlak van het ondiepe segment in het model is klein ten opzichte van het oppervlak ondiep water in het Veerse Meer. Hierdoor kan het model de invloed van processen die in de bodem spelen maar beperkt reproduceren. Bovendien kan de plotselinge nalevering van nutriënten, bij het verdwijnen van de aerobe toplaag van het sediment, met de eenvoudige bodembenadering niet worden gemodelleerd. De nalevering van fosfaat uit de bodem resulteert wel in een goede overeenkomst tussen model en metingen in de Soelekerk put (figuur A.10). De concentratie blijft stijgen totdat de stratificatie opgeheven wordt.

De siliciumconcentraties in het topsegment (Figuur A.11) zijn in het model in de zomer lager dan in de metingen. Het verschil moet waarschijnlijk toegeschreven worden aan te lage concentraties in het geloosde polderwater en/ of te lage teruglevering door de bodem. De teruglevering van silicium uit de bodem in de put Wolphaartsdijk (Figuur A.12) lijkt wel goed te worden beschreven.

De nitraatconcentraties in het topsegment (Figuur A.13) volgen redelijk het verloop van de metingen. In de metingen zijn de concentraties in de winter iets hoger dan het model en in de zomer zijn ze vrijwel gelijk aan nul. De gemeten nitraatconcentraties zijn in de zomer beperkend voor algengroei. In het model blijft nitraat wat te hoog, zodat geen limitatie optreedt. De nitraatconcentraties in de put Wolphaartsdijk (Figuur A.14) volgen ook globaal de metingen. Op detailniveau zijn nog wel verbeteringen mogelijk.

De ammoniumconcentraties in het topsegment (Figuur A.15) zijn goed in overeenstemming met de metingen. De nalevering van ammonium door mineralisatie van bodemdetritus in de putten levert in put Wolphaartsdijk (Figuur A.16) ammoniumconcentraties die hoger zijn dan de gemeten ammoniumconcentraties.

5.4.3 Primaire productie

De chlorofyl-a concentraties liggen in het topsegment (Figuur A.17) in de juiste orde van grootte. De range van variatie in de concentraties komt overeen met de variatie in de metingen. De ligging van pieken en dalen is in het model en de berekeningen niet exact gelijk. Met name de voorjaarsbloei in het model wordt niet teruggevonden in de metingen. Van andere jaren is wel bekend dat er voorjaarsbloeien van algen in het Veerse Meer optreden (zie Figuur 2.9). De oorzaak van de grote variatie kan liggen in meteorologische omstandigheden, door biologische interacties tussen verschillende soorten algen en grazers of door meeton nauwkeurigheden. Deze zijn vereenvoudigd gemodelleerd, zodat een exacte weergave van het chlorofylverloop niet van het model mag worden verwacht. Op diepere meetpunten laten zowel het model als de metingen nauwelijks nog chlorofyl zien.

De chlorofyl-gehalten in de toplaag worden voor een belangrijk deel gecontroleerd door de grazers. Dit wordt duidelijk wanneer de verschillende procesfluxen voor algen in de toplaag worden vergeleken. Wat door primaire productie aan algen wordt geproduceerd verdwijnt voor meer dan de helft door graas en voor het overig deel door sterfte en bezinking.

Volgens de schatting van Apon (1990) zou de biomassa van *Ulva* eind augustus tussen 20 en 40 gC/m² liggen. Het model berekent in augustus een biomassa van circa 50 gC/m². Dit lijkt, gezien de grote onzekerheid rond de schatting (zowel m.b.t. het productieve oppervlak als de relatie tussen bedekking en biomassa), een redelijke waarde te zijn. De biomassa-ontwikkeling door het seizoen (Figuur A.18) volgt een realistisch verloop.

In Figuur A.19 is de biomassa-ontwikkeling van microfytobenthos in het ondiepe segment uitgezet. De hoogste biomassa's worden bereikt in de zomer met maximale dichtheden van circa 0.3 gC/m². Dit is verwaarloosbaar ten opzichte van *Ulva* maar ongeveer een kwart van de planktonische algen. Er zijn niet voldoende betrouwbare gegevens om de juistheid van de berekening m.b.t. microfytobenthos te controleren.

5.4.4 Zuurstof en detritus

In de Figuren A.20 tot en met A.24 wordt de ruimtelijke concentratieverdeling van zuurstof over het Veerse Meer getoond van zowel de metingen als het model. De ontwikkeling van zuurstofloosheid onder de spronglaag en de gradiënt over de spronglaag worden door het model goed gevolgd. Alleen in december zijn de zuurstofconcentraties in de put Wolphaartsdijk in het model veel hoger dan in de metingen. Dit moet worden toegeschreven aan een grote toevoer van zuurstofrijk water uit de Oosterschelde als sluitfoutcorrectie op de waterbalans.

Figuur A.25 geeft het zuurstofverloop in het topsegment. Dit komt zeer goed overeen met de metingen. Het zuurstofverloop komt vrijwel overeen met het verloop van de verzadigingsconcentratie voor zuurstof bij de heersende temperatuur en saliniteit. De zuurstofconcentratie in de put

Wolphaartsdijk (Figuur A.26) zakt in het model ongeveer gelijktijdig naar nul als in de metingen. De stijging van de concentraties aan het einde van het seizoen wordt in het model eveneens gereproduceerd.

Het ontstaan van zuurstofloosheid in de putten hangt samen met het intreden van stratificatie. Op het moment dat de uitwisseling met de oppervlaktewater beperkt wordt door stratificatie, begint de zuurstofconcentratie te dalen. De snelheid waarmee de zuurstofconcentratie daalt wordt bepaald door de aanvoer van organisch materiaal uit het bovenstaande water. Hoewel het zuurstofverloop in het model vrij goed aansluit bij de metingen, zijn de concentraties organisch materiaal in het model veel hoger dan de gemeten concentraties particulier organisch materiaal (Figuur A.27). Nadere analyse van de modelresultaten leert dat het detritus in het model voornamelijk bestaat uit afgestorven *Ulva*. Doordat *Ulva* in de BLOOM-module als alg wordt beschouwd wordt afgestorven *Ulva* in het model omgezet naar detritus in het water, net als voor planktonische algen. In werkelijkheid zal *Ulva* na sterfte voor een groot deel op de bodem blijven liggen en daar afbreken. Een deel kan wel resuspenderen en elders weer bezinken, maar dit zal maar gedeeltelijk worden meegenomen in de metingen van particulier organisch materiaal. De deeltjes kunnen zo groot zijn dat ze buiten de meting blijven.

Een andere oorzaak voor de hoge detritusconcentraties in het model is dat er alleen bodem onder het ondiepe segment en de onderste putsegmenten ligt in het model. Sedimentatie of vastlegging in de bodem door mosselen kan in de overige segmenten dus niet worden gemodelleerd. Het detritus blijft zo in het model te lang in suspensie en accumuleert in de onderste putsegmenten.

6 Discussie

6.1 Transport

De modellering van het stoftransport geeft de ontwikkeling van de stratificatie goed weer. Toch zijn er ten aanzien van het stoftransport nog enige kanttekeningen:

- De sluitpost op de waterbalans is nu zeer groot (zie paragraaf 4.2) en slecht gedefinieerd met betrekking tot herkomst en derhalve kwaliteit. De sluitpost levert in de huidige model opzet een grote bijdrage van water, waarvan (onder andere) het chloridegehalte onbekend is. Het verkleinen van de sluitpost op de waterbalans is van het grootste belang, omdat het de betrouwbaarheid van het model vergroot. Wellicht zou ook de geleidelijke stijging van het chloridegehalte in de toplaag beter kunnen worden gereproduceerd, wanneer zou blijken dat het ingelaten water t.b.v. peilstijging niet alleen onttrokken wordt aan de Oosterschelde. In het model uit de toename van het winterpeil naar het zomerpeil zich als een te plotselinge stijging van het chloridegehalte.
- Een mogelijke optie voor het verkleinen van de sluitpost op de waterbalans is het minder strikt handhaven van het gemeten peil. Wanneer geringe afwijkingen in gemodelleerd peil ten opzichte van gemeten peil toegestaan worden, neemt mogelijk het volume van de variabele in- en uitlaat af. Indien de sluitpost op de waterbalans niet (aanzienlijk) verkleind kan worden, dient onderzocht te worden hoe in het model het best met de sluitpost omgegaan kan worden. Het is denkbaar dat het beter is de sluitpost op een andere lokatie (bijvoorbeeld het topsegment) dan de Wolphaartsdijk put in en/of uit te laten. Wanneer bijvoorbeeld de variabele uitlaat water onttrekt aan het topsegment, houdt dit in dat minder zout aan het systeem onttrokken wordt dan wanneer hetzelfde volume uit de Wolphaartsdijk put onttrokken wordt.
- Naast de omvang van de sluitpost biedt ook de lokatie waar het water van de sluitpost wordt in- of uitgelaten nog ruimte voor verbetering. Het water dat nu als correctie op de waterbalans wordt toegevoegd, is Oosterschelde-water, dat in de put van Wolphaartsdijk wordt geloosd en uitgelaten. In het najaar wordt hierdoor veel zuurstofrijk water toegevoerd, terwijl de metingen aangeven dat het water daar nog zuurstofloos is. Het water waarvan de herkomst niet te achterhalen is, zou wellicht beter met een verdeelsleutel over de diverse inlaten in het model kunnen worden verdeeld, zodat de invloed niet te sterk de modelresultaten vervormt.
- In de meest westelijke putten treedt de stratificatie in het model te vroeg in. In de metingen begint de stratificatie daar pas in juli. Een geringe overschatting van de hoeveelheid ingelaten water uit de Oosterschelde zou hiervan de oorzaak kunnen zijn. Het zoute water stroomt dan te ver door, zodat de westelijke putten te vroeg gevuld worden. Gezien het relatief kleine volume van de bodemsegmenten hoeft de overschatting niet groot te zijn.
- Het STRESS-model is ingericht om de waterbeweging in een gestratificeerd systeem te beschrijven. Wanneer de stratificatie wegvalt of sterk vermindert als gevolg van doorspoelen met Oosterscheldewater, is STRESS mogelijk minder geschikt om de nieuwe situatie te beschrijven. Om de overgang van de gestratificeerde situatie naar een ongestratificeerde situatie te modelleren zou de aanpak met een meer generiek 3-dimensionaal waterbewegingsmodel voordelen bieden.

6.2 Schematisatie

Bij de modellering is gebleken dat aan de gebruikte STRESS-schematisatie enkele nadelen kleven. Hoewel de schematisatie uitstekend de verticale gradiënt in onder andere chloride en zuurstof weer kan geven, is deze ontoereikend in de detaillering van het ondiepe gedeelte van het Veerse Meer. Het opsplitsen van het topsegment en het toevoegen van een ondiep segment in de huidige modelopzet is een eerste aanzet om deze detaillering te vergroten. Er is echter gebleken dat *Ulva* een zodanig belangrijke rol speelt, dat een verdere uitwerking van het ondiepe gedeelte van het Veerse Meer prioriteit verdient. In hetzelfde licht gezien, is het belangrijk het juiste oppervlak waar *Ulva* kan voorkomen in de modellering mee te nemen. De waarde van 250 ha die in dit rapport gehanteerd is, lijkt een onderschatting van het werkelijke oppervlak. In paragraaf 2.1 wordt beschreven dat bij peilopzet het oppervlak van het Veerse Meer toeneemt van 1742 naar 2030 ha. Dit houdt in dat in de zomer het oppervlak met een diepte van maximaal 70 cm al gelijk is aan 288 ha.

Met de huidige modelschematisatie is de oppervlaktelaag niet opgedeeld in meerdere segmenten, zodat geen horizontale gradiënten in de oppervlaktelaag kunnen worden gesimuleerd. Hoewel dit door de metingen gerechtvaardigd lijkt, is een dergelijke schematisatie wellicht minder geschikt voor het doorrekenen van scenario's. Het is goed denkbaar dat door een verhoogde (continue) inlaat van Oosterschelde door het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam wel een gradiënt in het oppervlakte water ontstaat. De huidige schematisatie is niet in staat een dergelijke gradiënt te reproduceren.

6.3 Rol van de bodem

Uit de stijging van de fosfaatconcentraties in het topsegment is af te leiden dat er in de nazomer een interne belasting met fosfaat plaatsvindt. De afvoer van de poldergemalen neemt immers af en de concentraties in het Oosterscheldewater zijn lager dan in het Veerse Meer. Omdat de diepere waterlagen door de spronglaag weinig nutriënten kunnen naleveren naar de topsegmenten, moet de bron in de bovenste waterlagen gezocht worden. In de waterkolom komt niet veel organisch materiaal voor, dat voor mineralisatie in aanmerking komt. Dit bezinkt naar diepere waterlagen en de bodem onder de ondiepere gedeelten van het meer. De stijging van de concentraties moet dus worden toegeschreven aan nalevering vanuit de bodem. Het model reproduceert deze nalevering niet goed. Dit kan enerzijds veroorzaakt worden doordat de schematisatie te weinig bodemoppervlak boven de spronglaag bevat. Hierdoor zou te veel organisch materiaal door de spronglaag wegzakken en te weinig beschikbaar blijven voor mineralisatie boven de spronglaag. Een andere verklaring kan zijn dat de eenvoudige bodemmodule niet in staat is om het accumuleren van fosfaat in de bodem, en de plotselinge nalevering naar het water te beschrijven. Hiervoor zou een module moeten worden toegepast, die de zuurstofindringdiepte in de bodem berekent. Het verdwijnen van de aerobe toplaag van het sediment is over het algemeen verantwoordelijk voor een snelle toename van de nalevering van fosfaat.

De fosfaattnalevering in de putten wordt wel redelijk goed beschreven. Ook de nalevering van silicium en ammonium wordt naar tevredenheid berekend.

6.4 Rol van nutriënten

De concentraties silicium en fosfaat bereiken in de metingen in het Veerse Meer niet zulke lage waarden dat ze een limiterende factor vormen voor de groei van algen. Het concentratieverloop zou

meer in overeenstemming met de metingen worden gebracht door meer informatie over lozingen en een gecompliceerdere bodemmodellering. Voor de schatting van de primaire productie is dit echter niet van belang. Een correcte modellering van silicium en fosfaat is wel van belang als controle op de betrouwbaarheid van de modellering van primaire productie. De daling van siliciumconcentraties in het voorjaar is bijvoorbeeld een goede indicator voor de groei van diatomeeën.

Stikstof concentraties (ammonium en nitraat) raken in de zomer in de metingen wel uitgeput maar in het model niet. Hiermee mist het model dus een sturende factor in de modellering van de primaire productie. Er zijn verschillende redenen mogelijk waarom de stikstofconcentraties te hoog blijven:

- het verdwijnen van stikstof door nitrificatie en denitrificatie wordt onderschat doordat er te weinig bodemgrensvlak is boven de spronglaag;
- de opname van stikstof door algen wordt onderschat

6.5 Rol van grazers

Grazers blijken een zeer grote invloed te hebben op de waterkwaliteit in het Veerse Meer. De modelresultaten komen het dichtst bij de metingen als aangenomen wordt dat de graas maximaal is. Door de beperkte betrouwbaarheid van metingen aan grazers en ook de beperkte beschikbaarheid van gegevens over zoöplankton is niet duidelijk of zoöplankton of schelpdieren (voornamelijk mosselen) nu de belangrijkste grazers zijn. Met de lage grazerbiomassa's die in de VEERWAQ-studie zijn gebruikt, worden veel hogere chlorofylgehalten berekend dan er normaal gesproken in het Veerse Meer worden gemeten. De invloed van grazers kan van belang zijn voor het beheer van het Veerse Meer. Door het dalen van het peil in de winter sterft het macrozoöbenthos in de droogvallende oevergedeelten af.

6.6 Rol van *Ulva*

De primaire productie door *Ulva* is zeer hoog in het model. Twee derde van de productie van detritus komt voor rekening van de sterfte van *Ulva* (over het totale model en het gehele jaar). Een reden hiervoor kan zijn dat *Ulva*, in tegenstelling tot andere algen, niet begraaasd wordt door zoöplankton en mosselen. Het is op grond van de beperkt beschikbare gegevens niet duidelijk of de rol van *Ulva* ook in werkelijkheid zo groot is voor de waterkwaliteit van het Veerse Meer. Op grond van de modelresultaten kan wel worden geconcludeerd dat *Ulva* zeker een belangrijke rol speelt bij de productie van organisch materiaal en dus voor het ontstaan van zuurstofloosheid onder de spronglaag.

6.7 Missende informatie

Voor de opzet en de calibratie van het model zijn verschillende schattingen en aannames gemaakt om hiaten in beschikbare gegevens in te vullen. Met deze schattingen wordt een onzekerheid in de modellering geïntroduceerd. Parameters waar met name onzekerheid over bestaat zijn de biomassa-ontwikkeling van *Ulva* over het gehele Veerse Meer, de invloed van microfyto-benthos en de aanwezigheid van grazers. Ook extra informatie over de concentraties van enkele waterkwaliteitsparameters (bijvoorbeeld silicium) in de inlaten zou de betrouwbaarheid van het model verbeteren.

Ulva en grazers blijken in het model een grote invloed te hebben terwijl er relatief weinig betrouwbare gegevens over voorhanden zijn. Beiden zijn ook bijzonder lastig te kwantificeren doordat

ze geclusterd verspreid zijn over het Veerse Meer, in tegenstelling tot de meeste waterkwaliteitsparameters. Van *Ulva* is één biomassaschatting bekend uit 1987. Sindsdien kan de situatie ten aanzien van *Ulva* in het Veerse Meer sterk veranderd zijn, waardoor de (toch al onzekere) schatting niet meer representatief is voor de huidige situatie. Microfytobenthos speelt in de huidige modeltoepassing geen belangrijke rol. De beschikbare gegevens over microfytobenthos geven geen informatie over de verspreiding van microfytobenthos met de diepte over het meer en over het jaar. Ze zijn daardoor moeilijk te interpreteren en te vergelijken met modelresultaten.

7 Conclusies

Huidige status van het model

De modelopzet en toepassing voor het Veerse Meer is succesvol verlopen. Weliswaar kan het model op onderdelen nog worden verbeterd, maar gelet op de overeenkomst van de modelresultaten met de waarnemingen lijkt het model goed in staat de belangrijkste waterkwaliteits- en ecologische processen te beschrijven. Tevens is gebleken, dat het model goed functioneert ten opzichte van een aantal nog niet eerder binnen het GEM-instrumentarium toegepaste eigenschappen en onderdelen. Te noemen zijn gelaagde schematisatie (2D-V) en de modellering van *Ulva* met BLOOM.

Voor bestudering van de zuurstofproblematiek in relatie tot verhoogde uitwisseling met water uit de Oosterschelde lijkt het voorspellend vermogen van GEM voldoende groot. Een gevoeligheidsanalyse is noodzakelijk om meer zicht te krijgen op de bruikbaarheid van het model om effecten te voorspellen.

Mogelijkheden voor verbetering van het model

Op grond van de huidige kennis van het functioneren van het Veerse Meer zijn de volgende modelverbeteringen mogelijk om het model meer in overeenstemming met de werkelijkheid te brengen:

- **Sluitpost op de waterbeweging:** De sluitpost op de waterbalans t.b.v. het volgen van de peildynamiek is nu te groot en heeft te veel effect op de modelresultaten. Deze zou verkleind moeten worden of beter verdeeld over de verschillende in- en uitlaten.
- **Bodem in de schematisatie:** Om de bezinking van detritus meer over het model te verspreiden en zo accumulatie van alle detritus in de putsegmenten te voorkomen, zou de schematisatie zodanig moeten worden aangepast dat er meer bodem in het model komt. Dit kan voor een belangrijk deel worden gedaan door het oppervlakte van het ondiepe segment uit te breiden ten koste van het topsegment. Het model komt het dichtst in de buurt van de werkelijkheid als aan alle segmenten een evenredig deel van de bodem wordt toegewezen.
- **3D-waterbewegingsmodel:** Om de horizontale gradiënten en het stoftransport onder minder gestratificeerde omstandigheden beter te kunnen modelleren, zou wellicht een 3D-waterbewegingsmodel geschikter zijn dan STRESS.
- **Zuurstofvariatie over de dag:** Voor meer gedetailleerde modeltoepassingen waarbij ook de variatie over de dag van belang is kan de nieuwe module worden ingezet (genaamd VAROXY), die een concentratieverloop van zuurstof over de dag berekent, afhankelijk van de primaire productie.

Aanbevelingen voor nader onderzoek

Onzekerheden omtrent het functioneren van het Veerse Meer (en dus van het model) bestaan nog op enkele punten. Nader onderzoek door monitoring is met name gewenst op de volgende aspecten:

- gedrag en biomassa van *Ulva*
- biomassa over het totale Veerse Meer van mosselen en zoöplankton
- verspreiding van microfytobenthos
- activiteit van de bodem

Meer informatie over het belang van *Ulva* kan worden verkregen door een visuele inventarisatie van het voorkomen van *Ulva*, een biomassaschatting voor een groter gebied (om lokale variatie uit te filteren) en observatie (visueel vanuit een boot) van het gedrag van *Ulva*: periode van groei en sterfte, transport van levend en door *Ulva* naar de waterkolom (losslaan met storm) en naar de putten.

Voor macrozoöbenthos moet overwogen worden grotere oppervlakken te bemonsteren op alleen mosselen, kokkels en strandgapers, om het probleem van de geclusterde verspreiding in te perken. Omdat zoöplankton zo'n grote invloed heeft op de modelresultaten zou het ook nuttig zijn meer metingen van zoöplanktonconcentraties te verzamelen.

Microfytobenthos speelt in de huidige modelopzet geen rol van betekenis. Er zijn echter geen gegevens om te controleren of dit overeenkomt met de werkelijkheid. Een paar bepalingen van de chlorofylconcentratie in ondiep gelegen sedimenten in de zomer zouden hierover uitsluitsel kunnen geven.

Ook schattingen van de primaire productie in de bovenlaag en van zuurstofverbruik en nalevering vanuit de bodem zouden bijzonder nuttig zijn om het gedrag van het systeem beter te begrijpen en te modelleren.

8 Geraadpleegde literatuur

Apon, L., 1990

Verspreiding en biomassa van het macrofytobenthos in het Veerse Meer in 1989, Yerseke

Klepper, O, H. Scholten, 1988

A Model of carbon flows in relation to macrobenthic food supply in the Oosterschelde estuary. Balans nota 42, Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Dienst Getijdewateren.

Moorsel, G. W. N. M., 1998

Biomonitoring van levensgemeenschappen op sublitorale harde substraten in Grevelingen Meer, Oosterschelde, Veerse Meer en Westerschelde, resultaten t/m 1997, Rapport 98.009, Culemborg.

Rademaker, T.W.M., R. Koeman, F. Colijn, W. Gremmen, 1991

Biomonitoring van fytoplankton in de Nederlandse zoute en brakke wateren, 1990, TRIPOS, Amsterdam

Rademaker, T.W.M., R. Koeman, V. Ryzhov, 1993

Biomonitoring van fytoplankton in de Nederlandse zoute en brakke wateren, 1993, TRIPOS, Amsterdam

Rademaker, T.W.M., F.A.C. Kouwets, 1994

Biomonitoring van fytoplankton in de Nederlandse zoute en brakke wateren, 1994, TRIPOS, Amsterdam

Rademaker, T.W.M., L.M. Janmaat, F.A.C. Kouwets, 1995

Biomonitoring van fytoplankton in de Nederlandse zoute en brakke wateren, 1995, TRIPOS, Amsterdam

Rademaker, T.W.M., F.A.C. Kouwets, L.M. Janmaat, Riedle-Lorjé, P.M. Houpt, 1996

Biomonitoring van fytoplankton in de Nederlandse zoute en brakke wateren, 1996, TRIPOS, Amsterdam

Revis, N.J.P., Bakker, 1988

Zoöplankton van het Veerse Meer in 1987, Delta Instituut voor Hydrobiologisch onderzoek, Yerseke

RIKZ, 1998.

Monitoring van het Veerse meer in historisch perspectief. Data-onderzoek en - analyse. Werkdocument RIKZ AB-98.824X (W. Verhulst).

RWS, 1984.

Stratificatiemodel STRESS, achtergronden. Rijkswaterstaat, WWZW. Nota 21.001.10 met bijlagen.

WL, 1999

Toepassing GEM kuststrook en Waddenzee. WL-rapport Z2556. WL | Delft Hydraulics (in voorbereiding).

WL, 1998a.

GEM, Fase 4: Calibratie pilottoepassingen en uitbreiding functionaliteit. Rapport Z2337. WL | Delft Hydraulics (A.N. Blauw, M. Bokhorst en F.J. Los).

WL, 1998b.

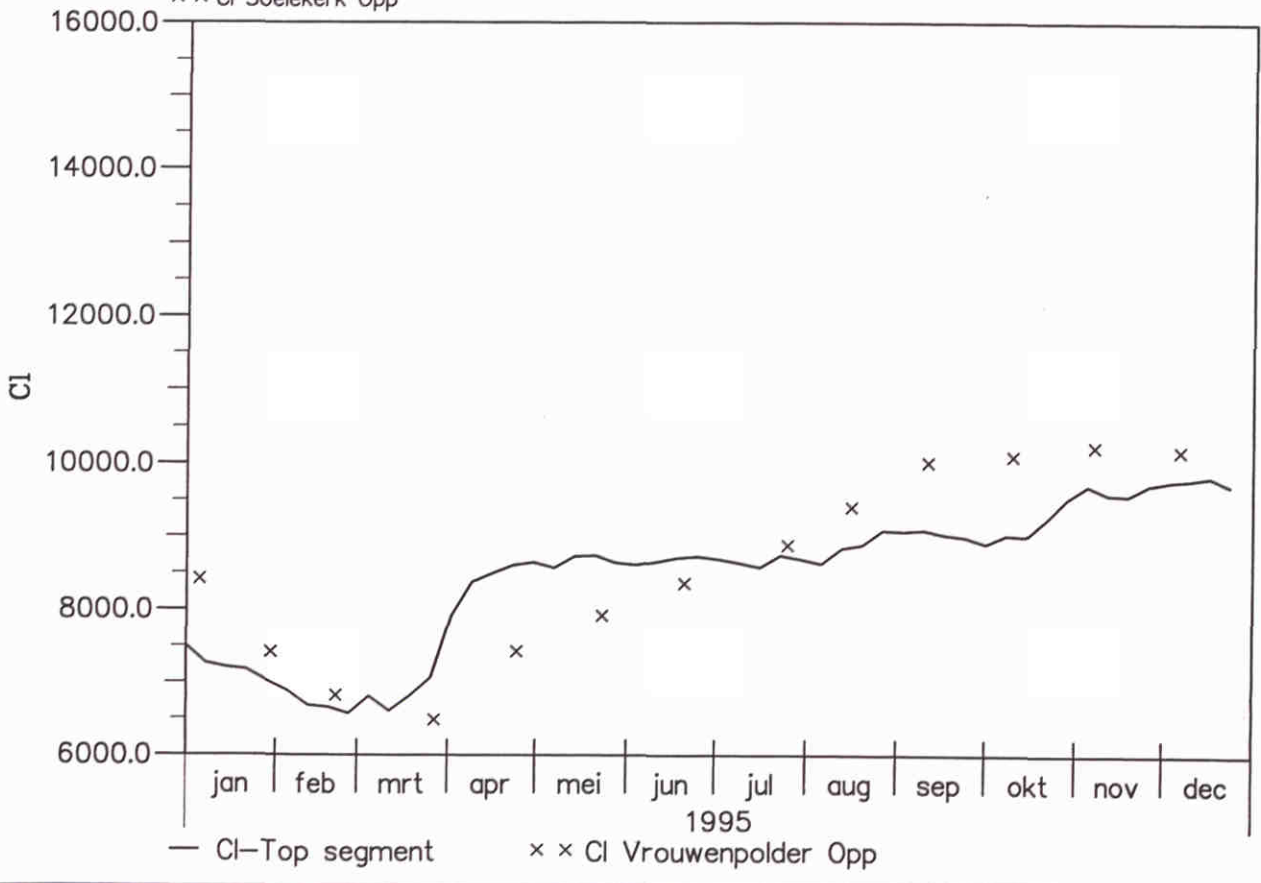
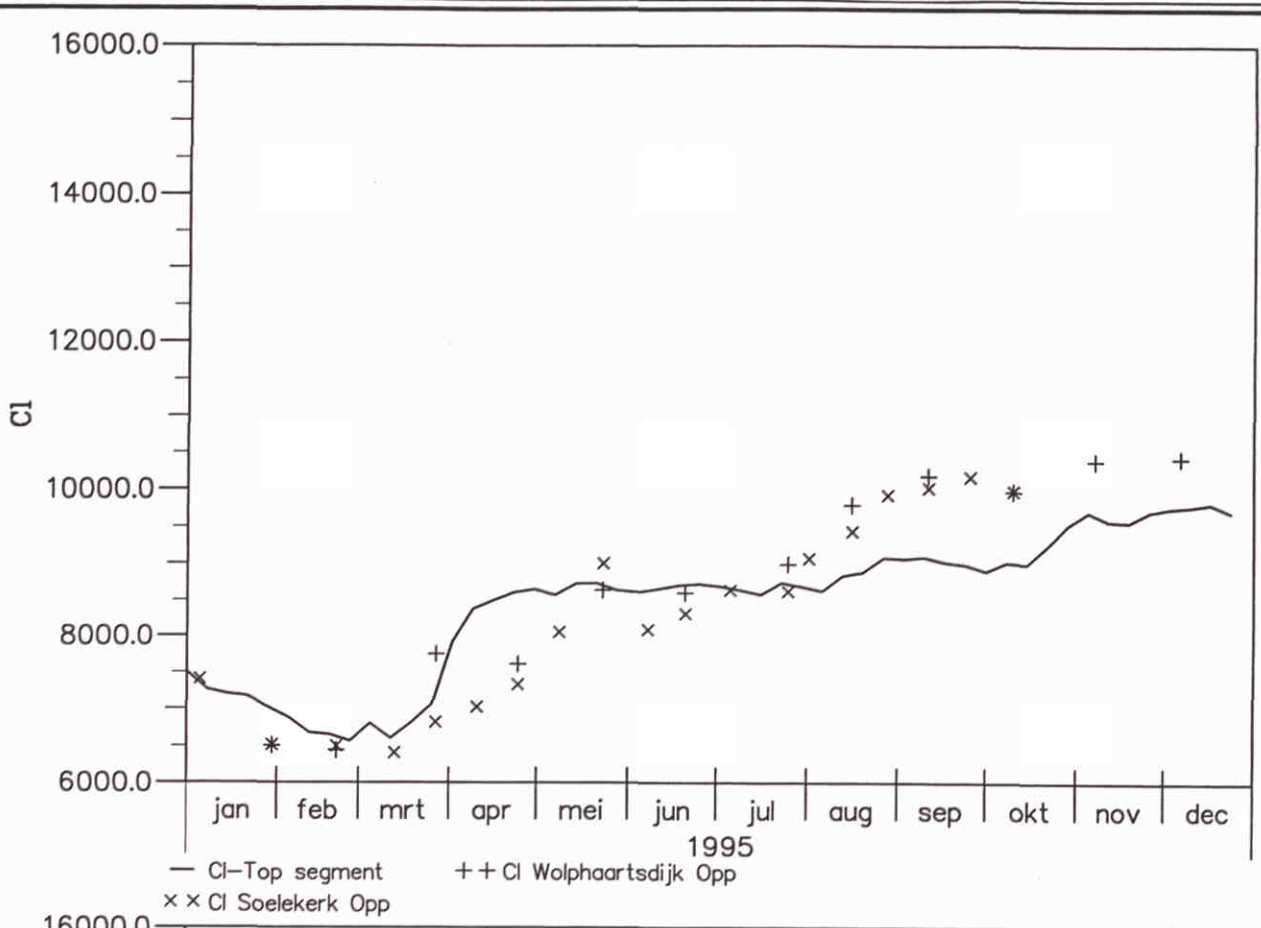
Ecological Model for the Lagoon of Venice. Modelling Results / Technical Description of the Model Instrument. Reports T2162. WL | Delft Hydraulics (F.J. Los, M.R.L. Ouboter and M.T. Villars).

WL, 1997a.

GEM, a Generic Ecological Model for estuaries. Model documentation T2087. WL | Delft Hydraulics (J.G.C. Smits, M. Bokhorst, A.G. Brinkman, P.M.J. Herman, P. Ruardij, H.L.A. Sonneveldt en M.W.M. van der Tol; inclusief pilot-toepassing Westerschelde).

- WL, 1997b.
Toepassing pilot GEM westelijke Waddenzee.
Rapport Z2274. WL | Delft Hydraulics (M. Bokhorst).
- WL, 1997c.
Toetsing van DBS-SWITCH aangaande de toepasbaarheid op veenplassen.
Verslag onderzoek T1697. WL | Delft Hydraulics (J.G.C. Smits).
- WL, 1997d.
Pilottoepassing vernieuwde MANS-eutro.
Verslag onderzoek T1629. WL | Delft Hydraulics (M. Bokhorst en F.J. Los).
- WL, RIKZ, NIOO-CEMO, IBN-DLO en NIOZ, 1995a.
Generiek Estuarium Model (GEM). Aanzet voor het functioneel ontwerp.
Rapport onderzoek T1058. WL | Delft Hydraulics (J.G.C. Smits en M.W.M. van der Tol; op basis van discussiebijdragen van anderen).
- WL, 1995b.
Generiek Estuarium Model (GEM). Fase 2: Technisch ontwerp.
Discussiedocument T1058. WL | Delft Hydraulics (J.G.C. Smits, J.A. van Pagee, F.J. Los en P.M.A. Boderie).
- WL, 1995c.
DELWAQ: User's Manual (version 4.2).
WL | Delft Hydraulics.
- WL, 1995d.
DELWAQ: Technical Reference Manual (version 4.2).
WL | Delft Hydraulics.
- WL, 1990
Ontwikkeling en toepassing VEERWAQ t.b.v. beleidsanalyse Veerse Meer, simulatie van beheersvarianten,
opdrachtgever: Rijkswaterstaat Directie Zeeland en Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, I. De Vries, M.
de Vries en H. Goossens
- WL, 1988.
Ecological modeling for reservoirs in the Amazon area, I. Formulation and calibration of WQ-ARM (water quality) and
STRATIF (stratification). Report on research T102/T333. WL | Delft Hydraulics (J.G.C. Smits).
- WL, 1995e.
Toepassing van DBS op het Volkerak-Zoommeer. Fase 1.
Verslag onderzoek T1440. WL | Delft Hydraulics (B.F. Michielsen).
- WL, 1993.
Fysische aspecten van de stofuitwisseling tussen water en bodem.
Slibmodellering Speurwerkthema Grensvlakverschijnselen.
Verslag onderzoek T584/Z375. WL | Delft Hydraulics (A. Markus, M. Karelse, C. Kuyper en F. Bleeker).
- WL, 1991.
Mathematical simulation of algae blooms by the model BLOOM II.
Version 2, Documentation report / Figures T68. WL | Delft Hydraulics (F.J. Los).
- WL, 1990.
Ontwikkeling en toepassing VEERWAQ t.b.v. beleidsanalyse Veerse Meer.
Rapport onderzoek T430. WL | Delft Hydraulics (I. De vries, M. de Vries en H. Goossens)

A Figuren



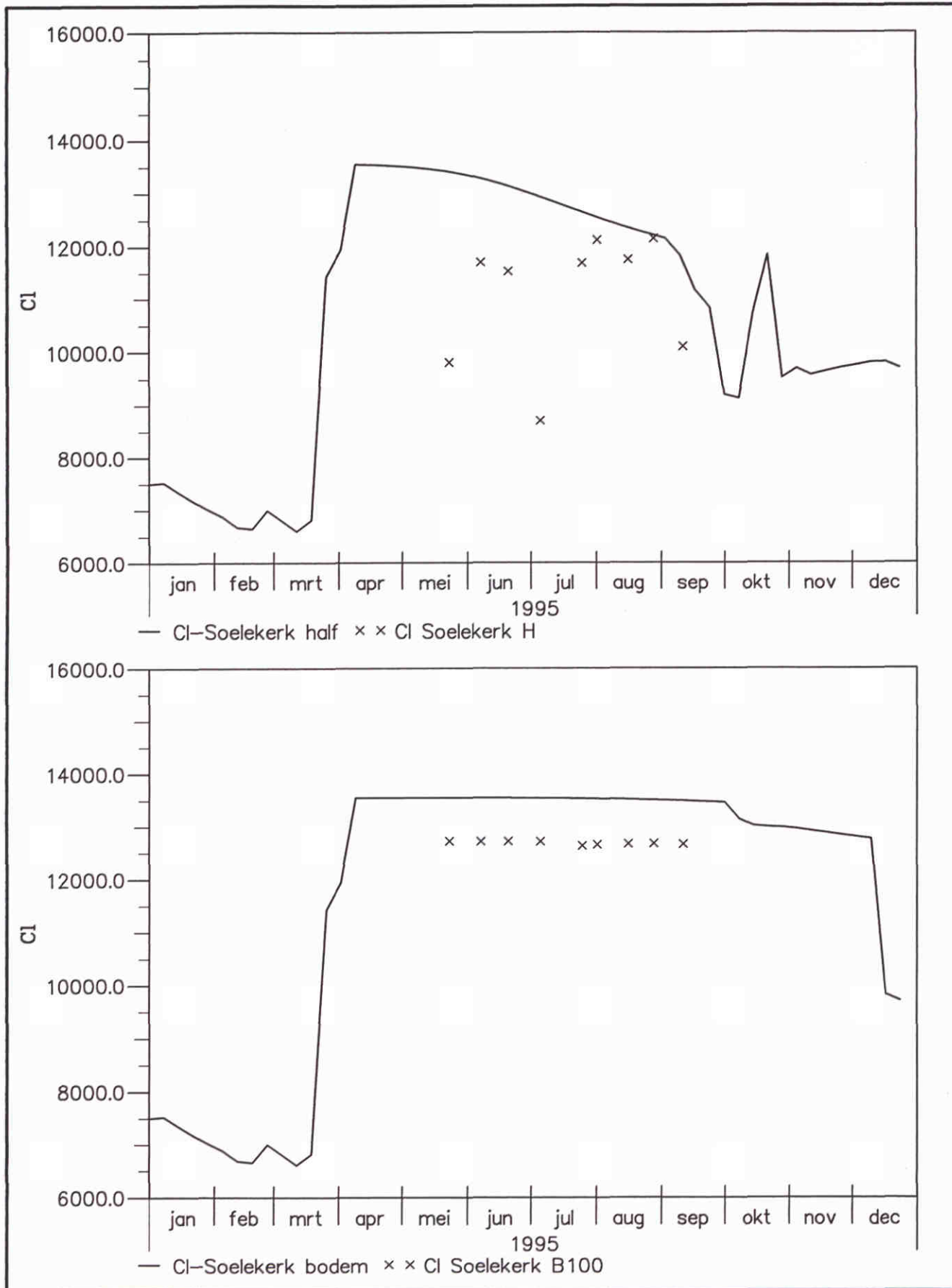
Chloride concentratie Top segment vs. metingen
 Boven: Meetpunten Soelekerke en Wolphaartsdijk
 Onder: Meetpunt Vrouwenpolder

Figuur A.1

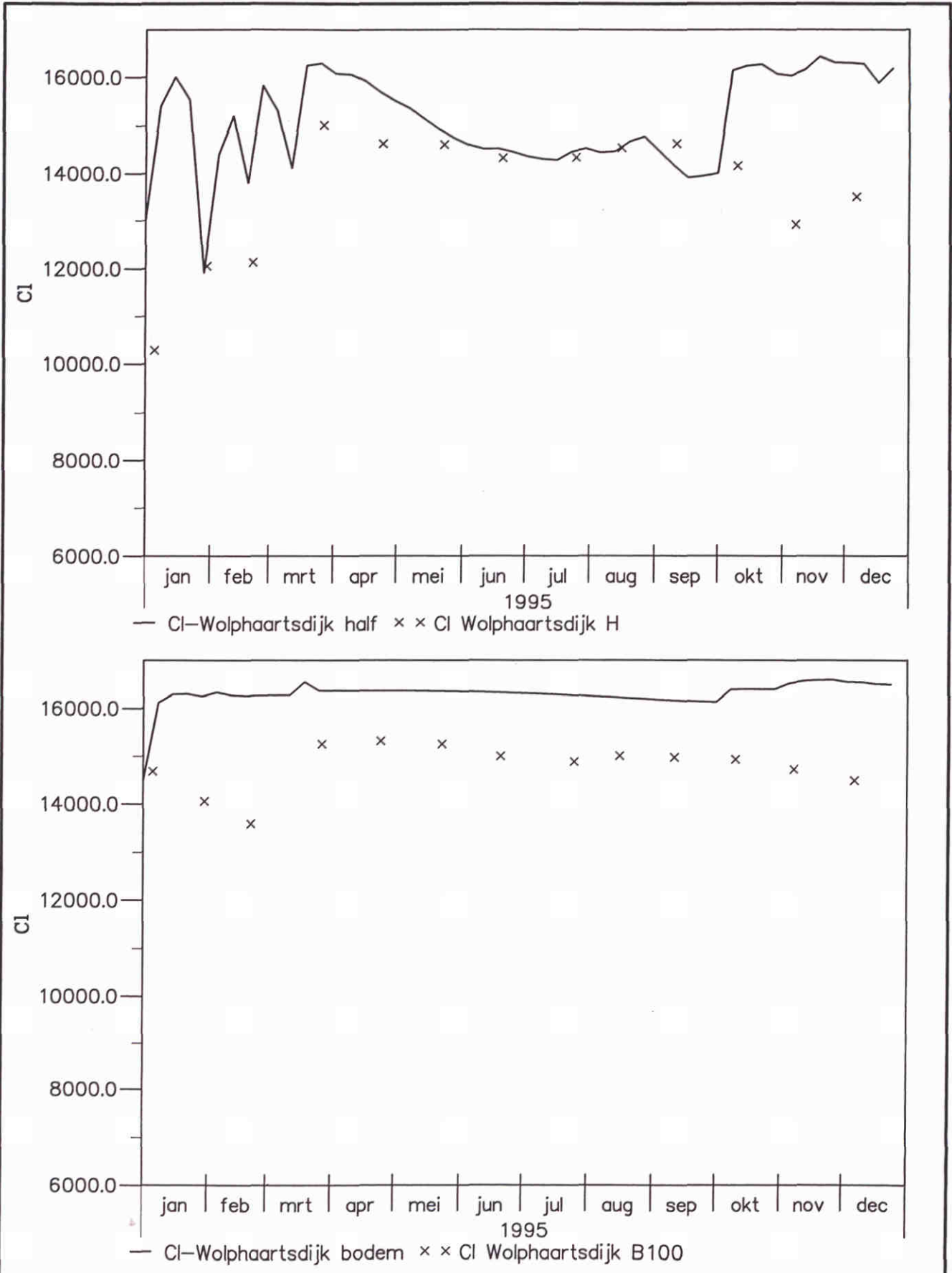
GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

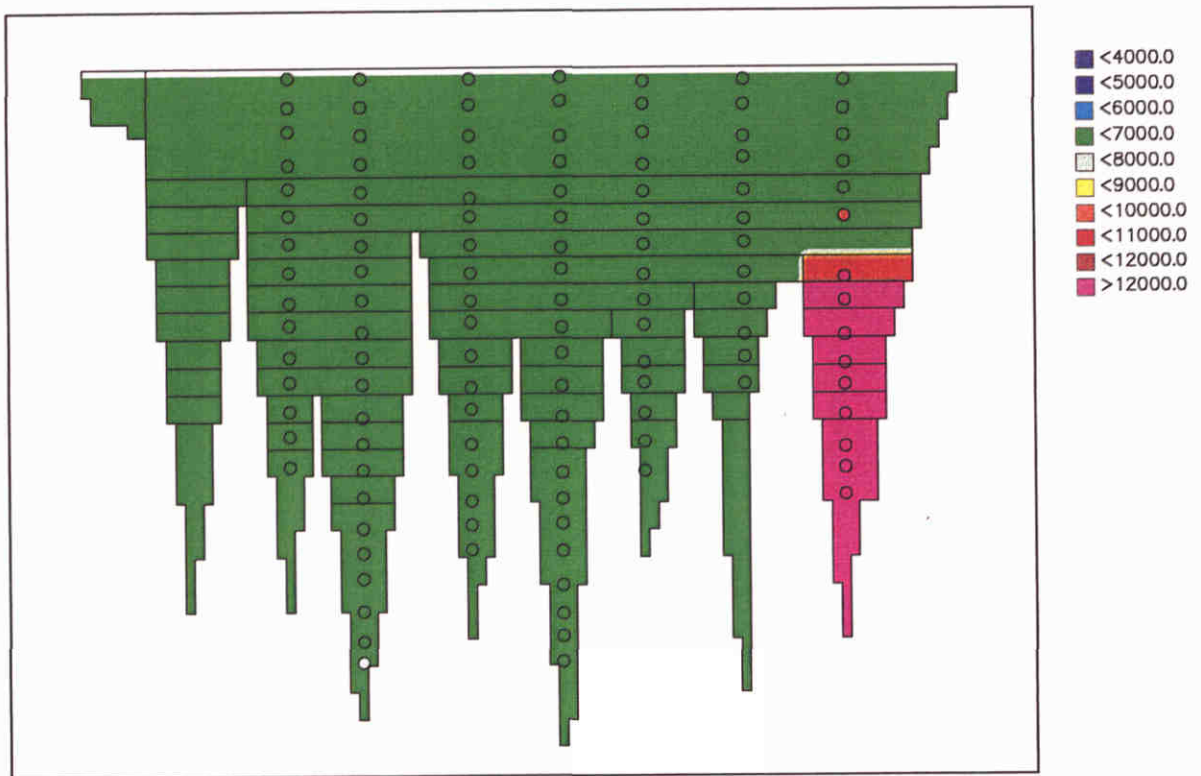
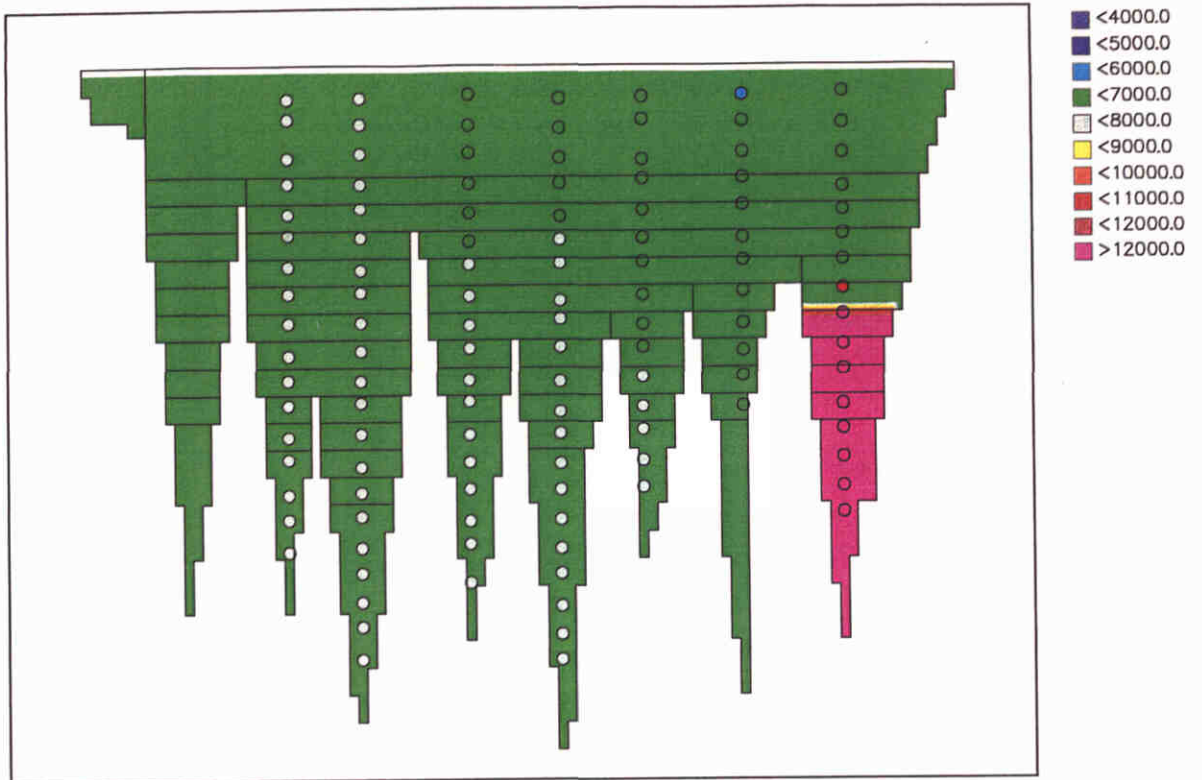
Z2570



Chloride concentratie Meetpunt Soelekerk Boven: Halverwege waterkolom (segment 6) Onder: 1m boven sediment (segment 1)	Figuur A.2	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



Chloride concentratie Meetpunt Wolphaartsdijk Boven: Halverwege waterkolom (segment 29) Onder: 1m boven sediment (segment 17)		Figuur A.3
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



Chloride Veerse Meer

GEM resultaat vs. stratificatie metingen

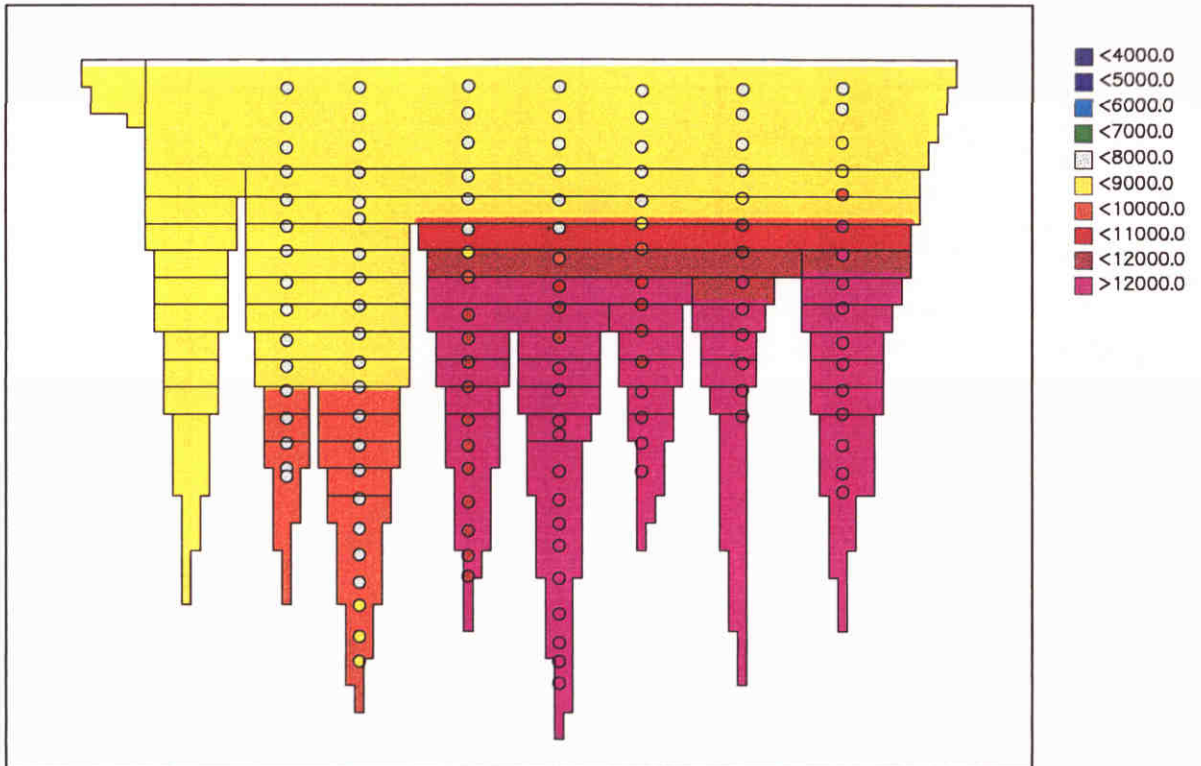
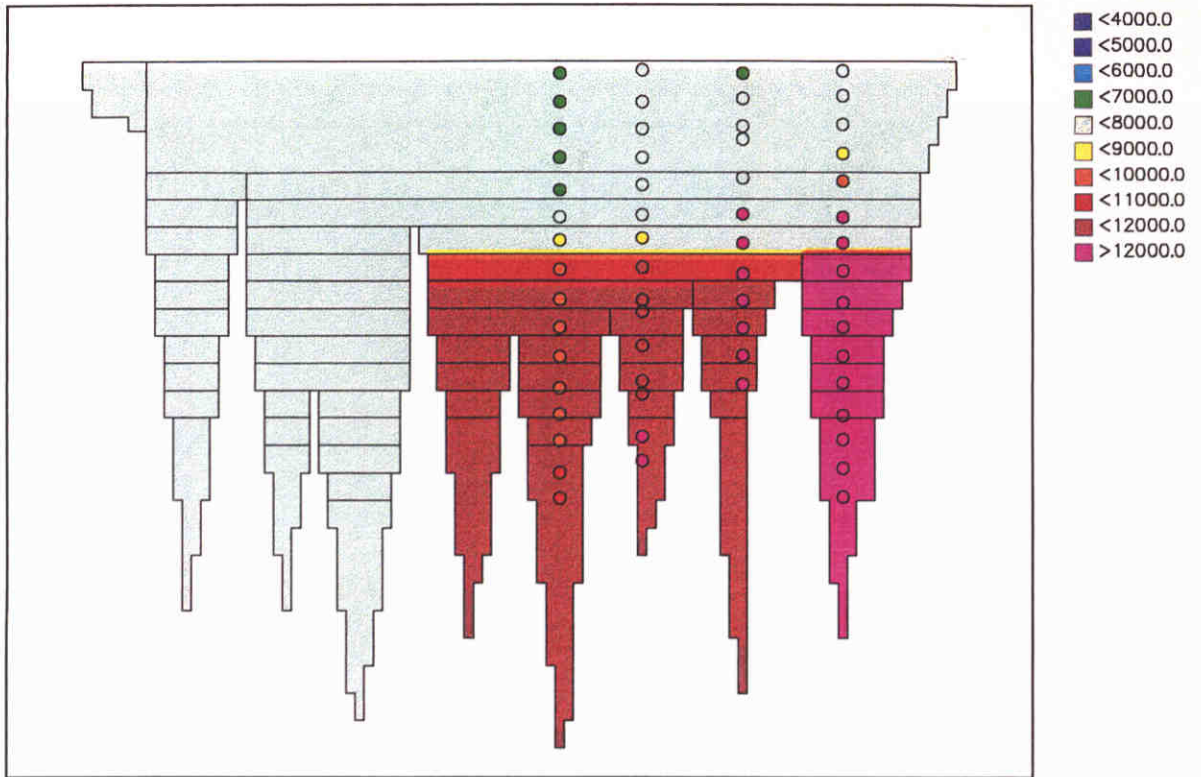
Boven: 30 januari 1995; onder: 11 februari 1995

Figuur A.4

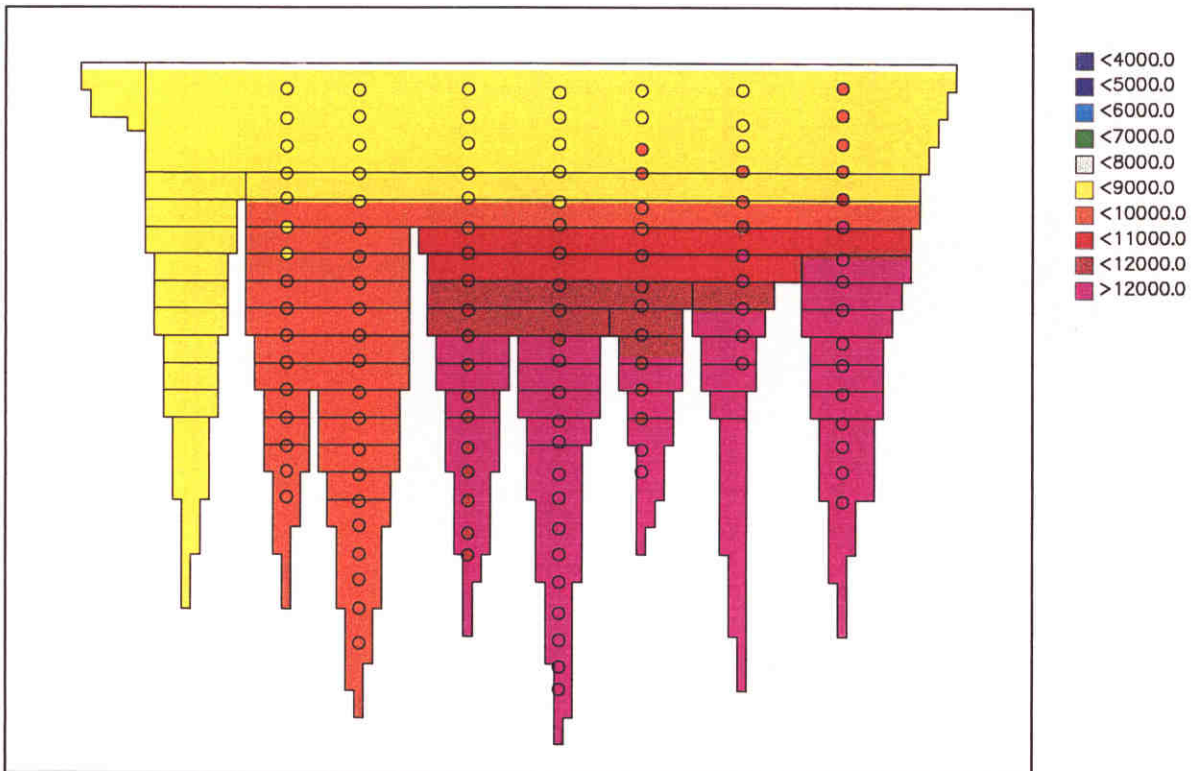
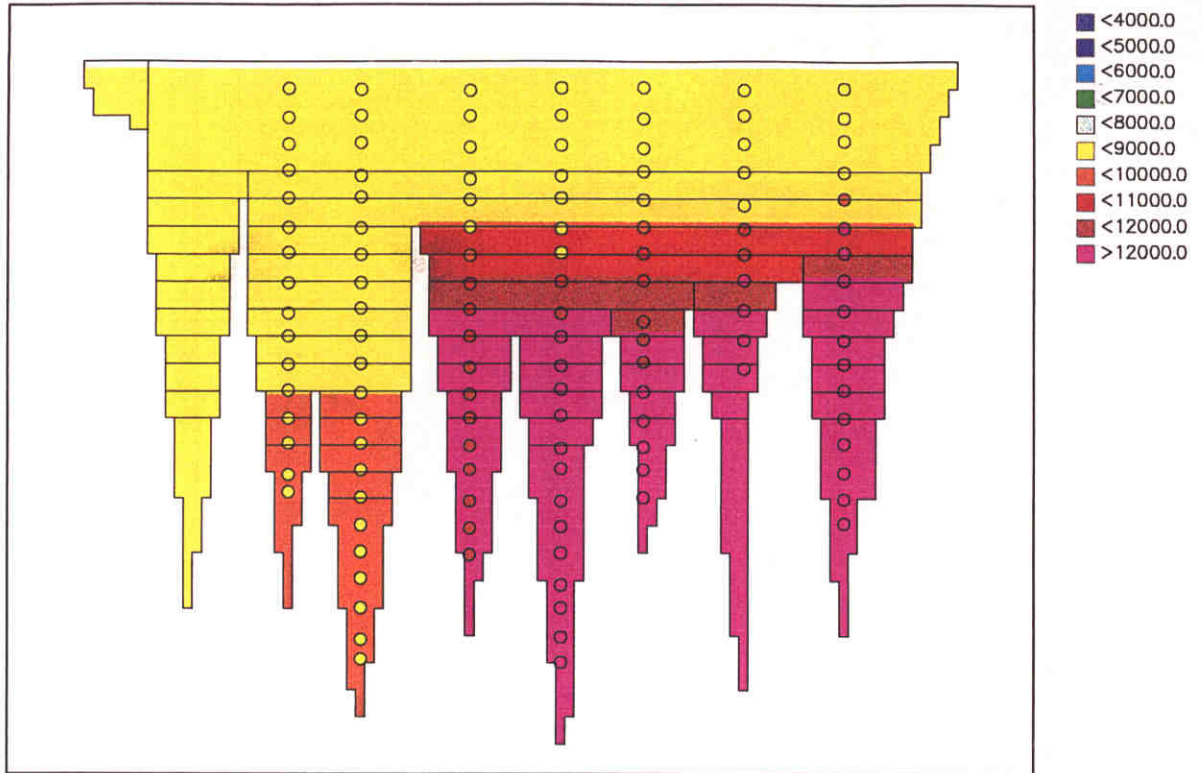
GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

Z2570



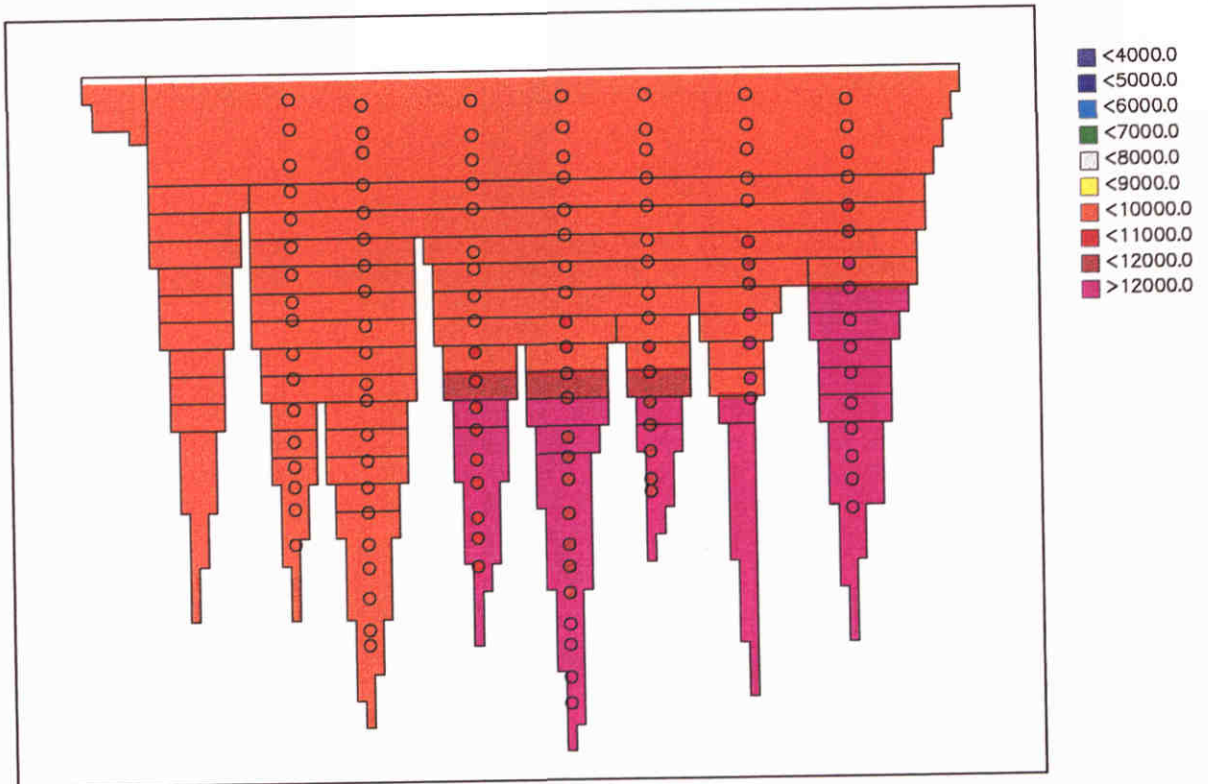
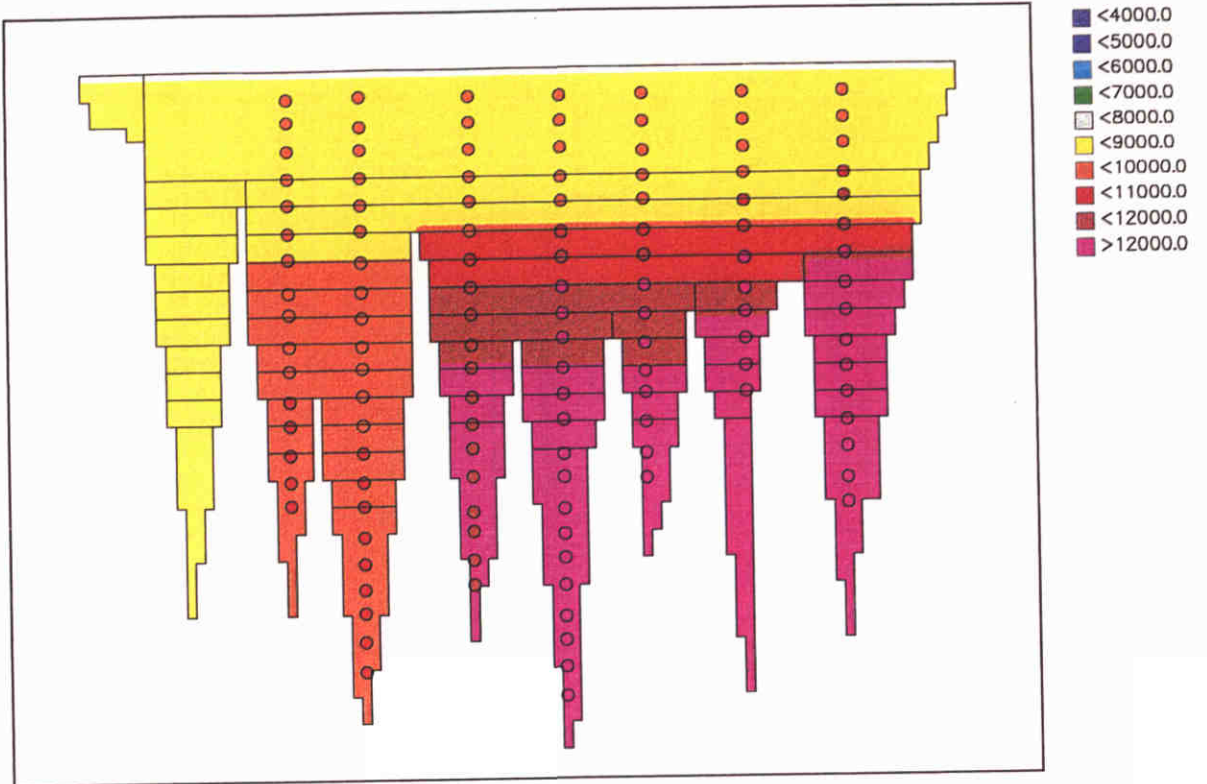
Chloride Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 27 maart 1995; onder: 23 mei 1995	Figuur A.5	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	A - 6



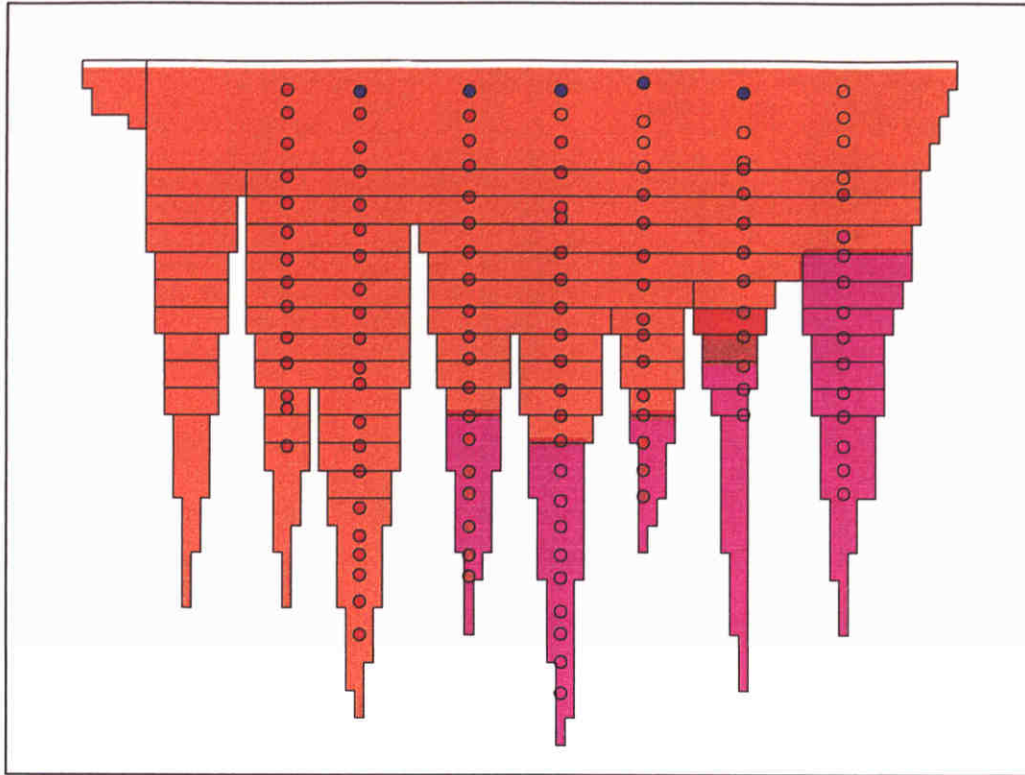
- <4000.0
- <5000.0
- <6000.0
- <7000.0
- <8000.0
- <9000.0
- <10000.0
- <11000.0
- <12000.0
- >12000.0

- <4000.0
- <5000.0
- <6000.0
- <7000.0
- <8000.0
- <9000.0
- <10000.0
- <11000.0
- <12000.0
- >12000.0

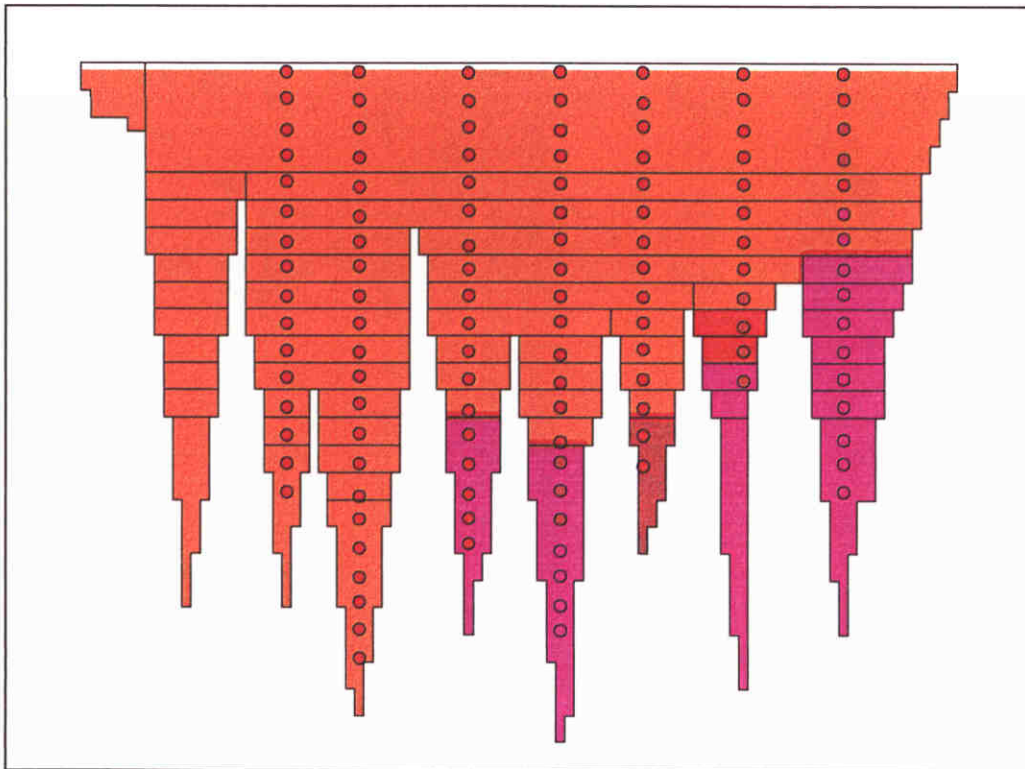
Chloride Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 20 juni 1995; onder: 25 juli 1995		Figuur A.6
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



Chloride Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 16 augustus 1995; onder: 11 september 1995	Figuur A.7	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	

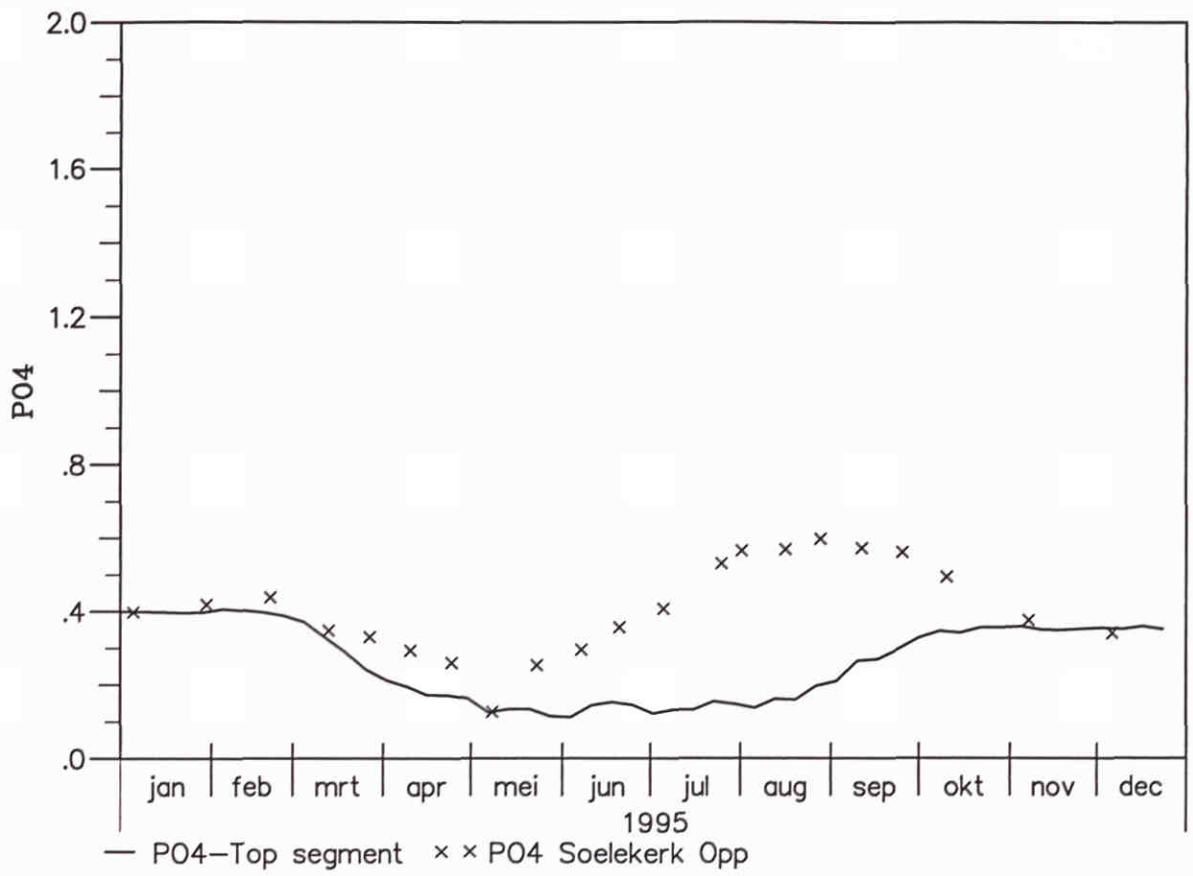


- <4000.0
- <5000.0
- <6000.0
- <7000.0
- <8000.0
- <9000.0
- <10000.0
- <11000.0
- <12000.0
- >12000.0

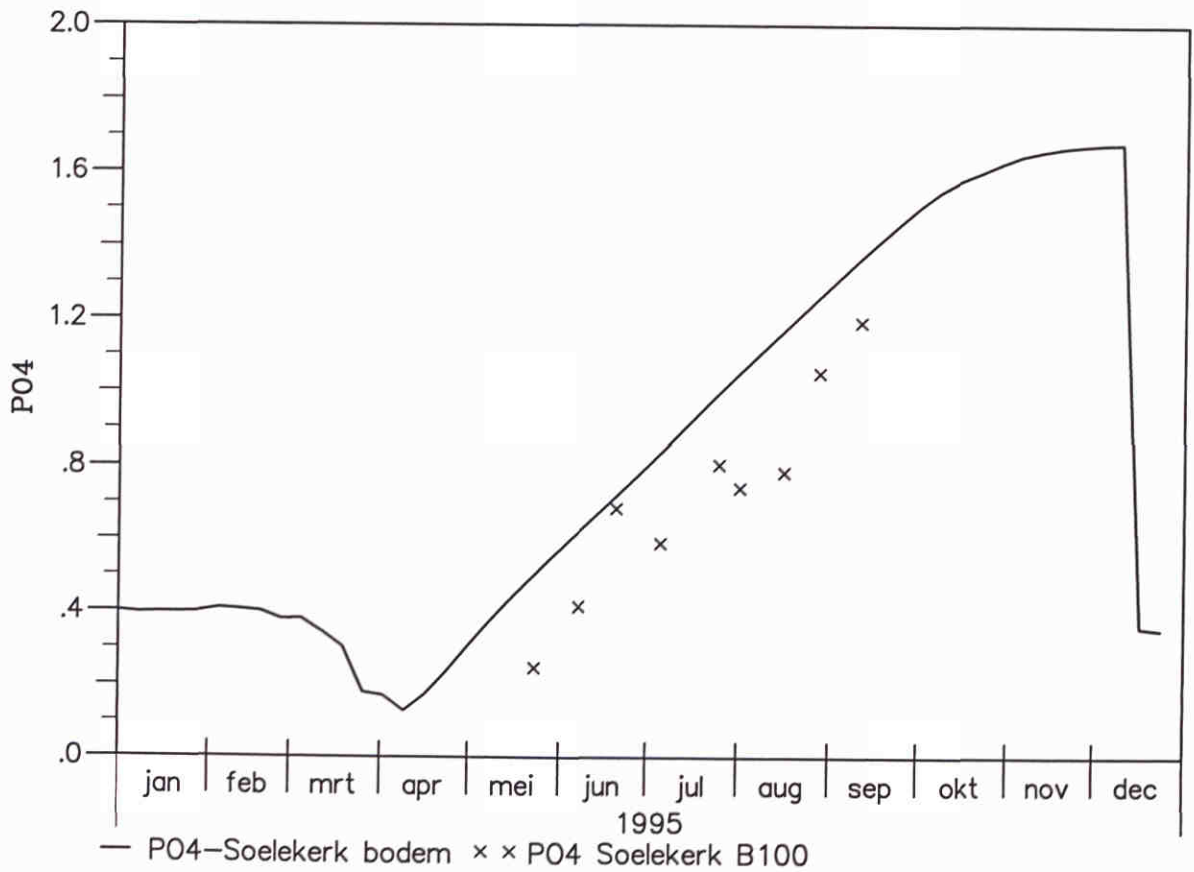
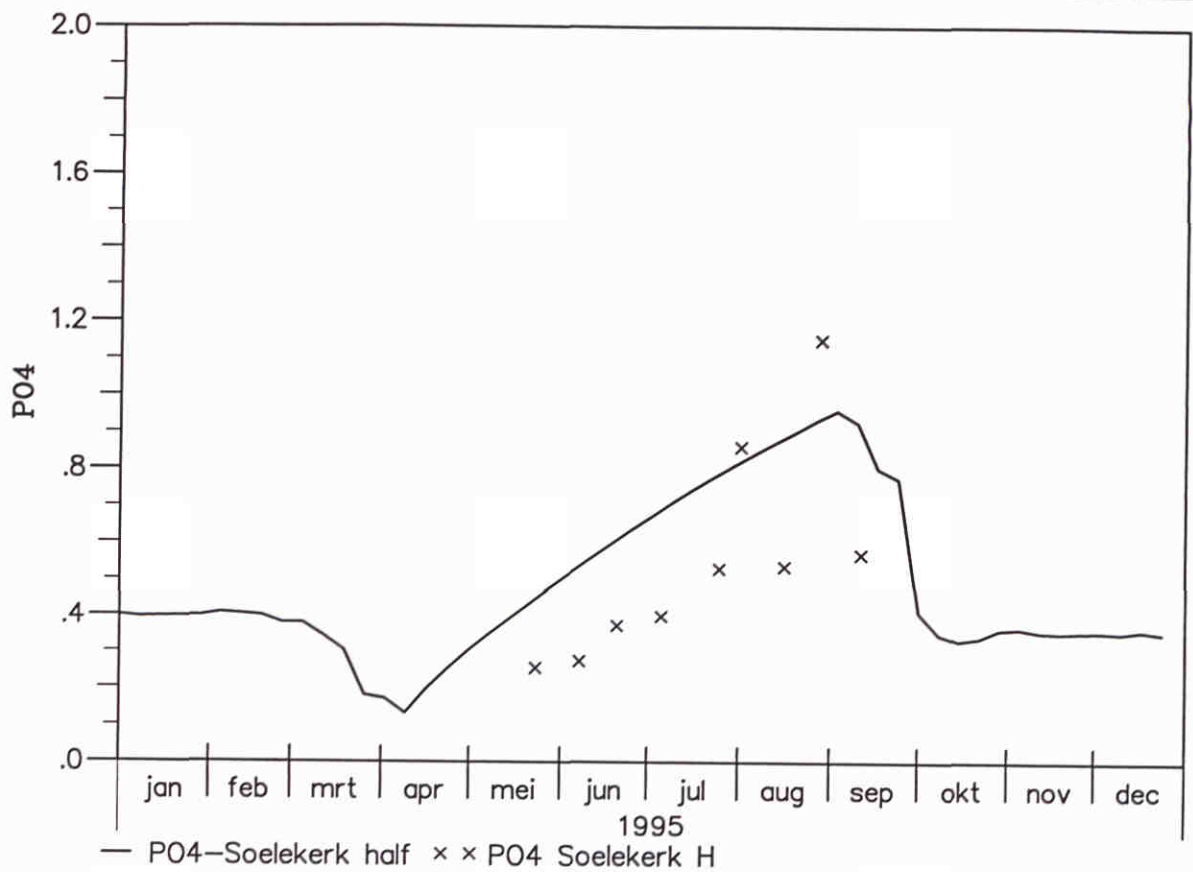


- <4000.0
- <5000.0
- <6000.0
- <7000.0
- <8000.0
- <9000.0
- <10000.0
- <11000.0
- <12000.0
- >12000.0

Chloride Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 10 oktober 1995; onder: 7 december 1995	Figuur A.8	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	A - 9



Fosfaat concentratie Top segment vs. metingen Boven: Meetpunten Soelekerke		Figuur A.9
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



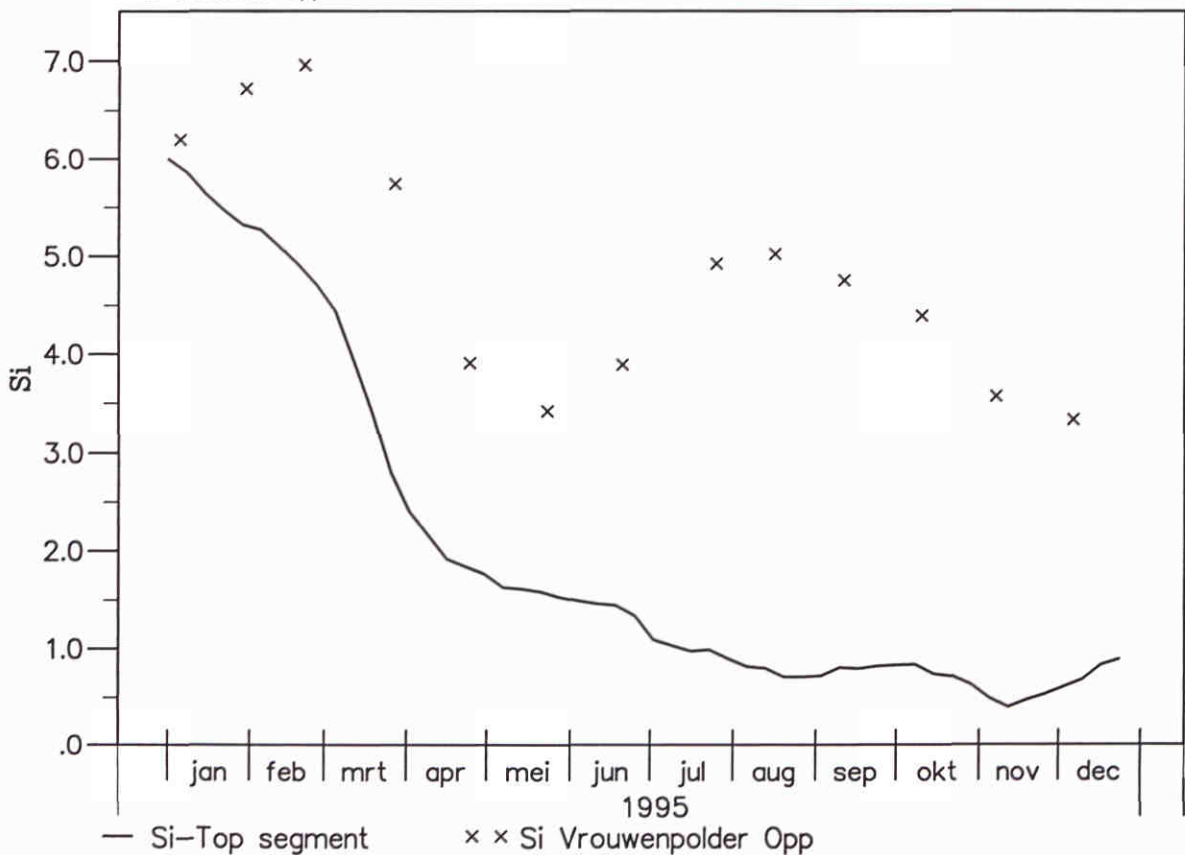
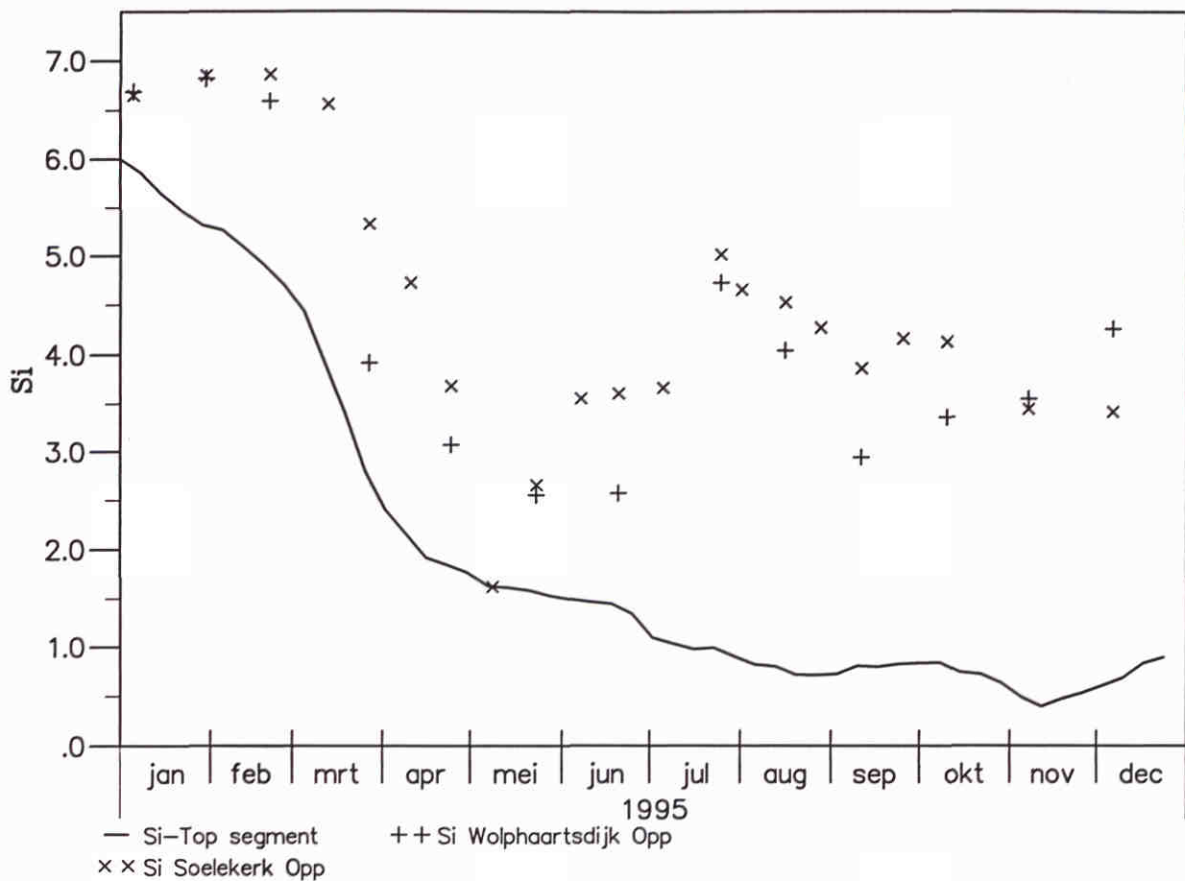
Fosfaat concentratie Meetpunt Soelekerk
 Boven: Halverwege waterkolom (segment 6)
 Onder: 1m boven sediment (segment 1)

Figuur A.10

GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

Z2570



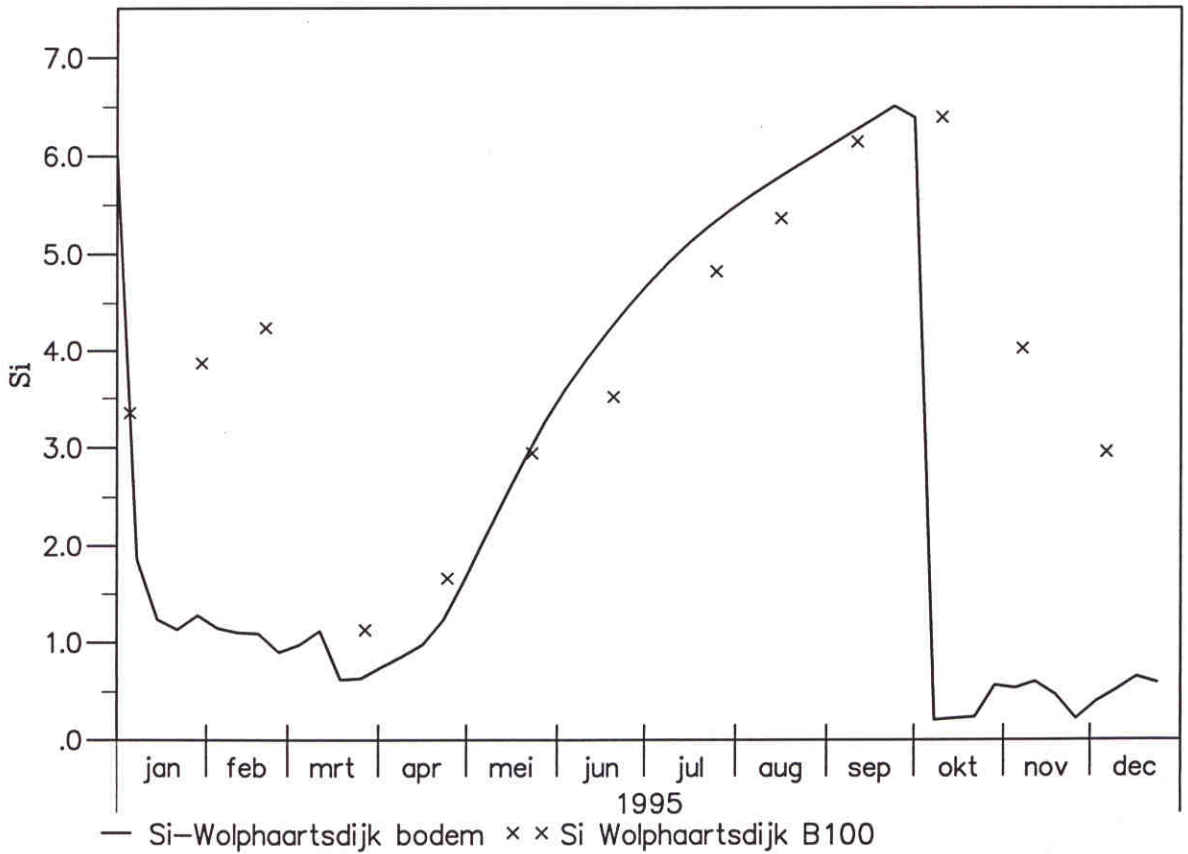
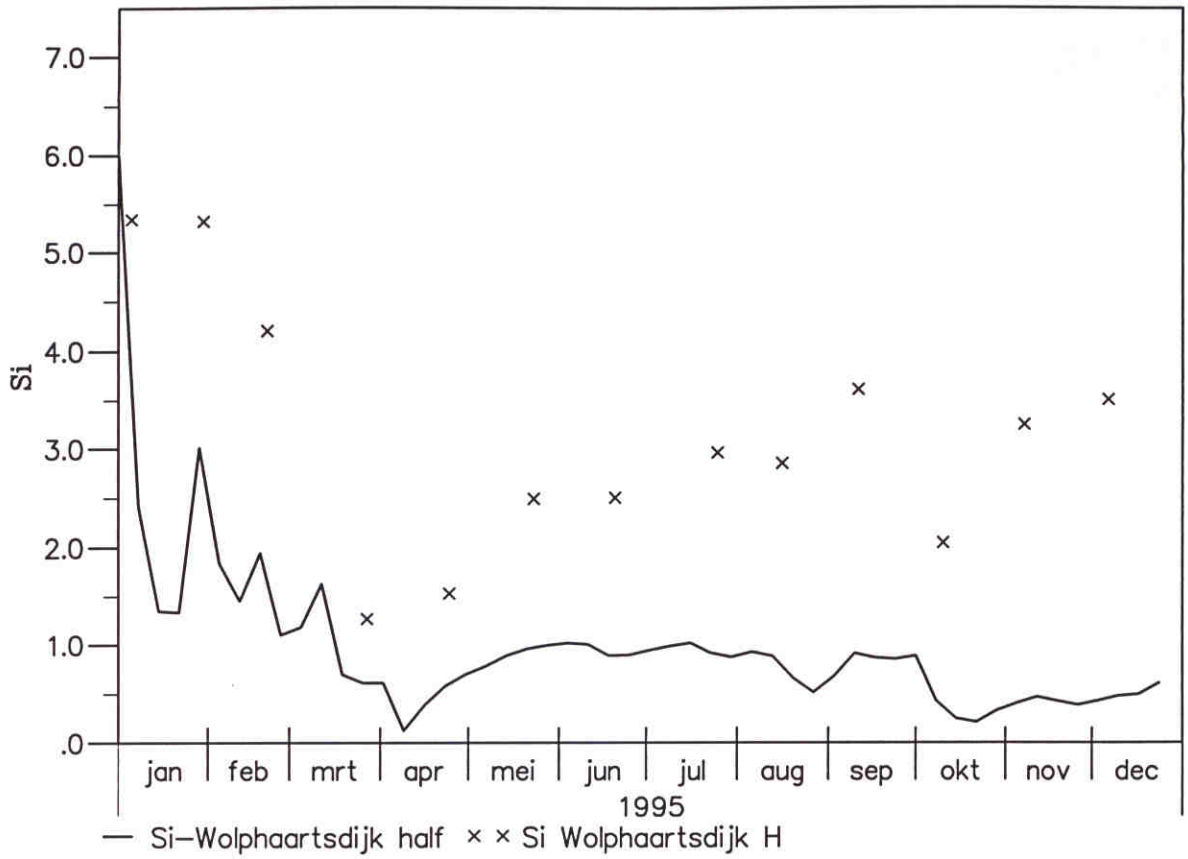
Silicium concentratie Top segment vs. metingen
 Boven: Meetpunten Soelekerke en Wolphaartsdijk
 Onder: Meetpunt Vrouwenpolder

Figuur A.11

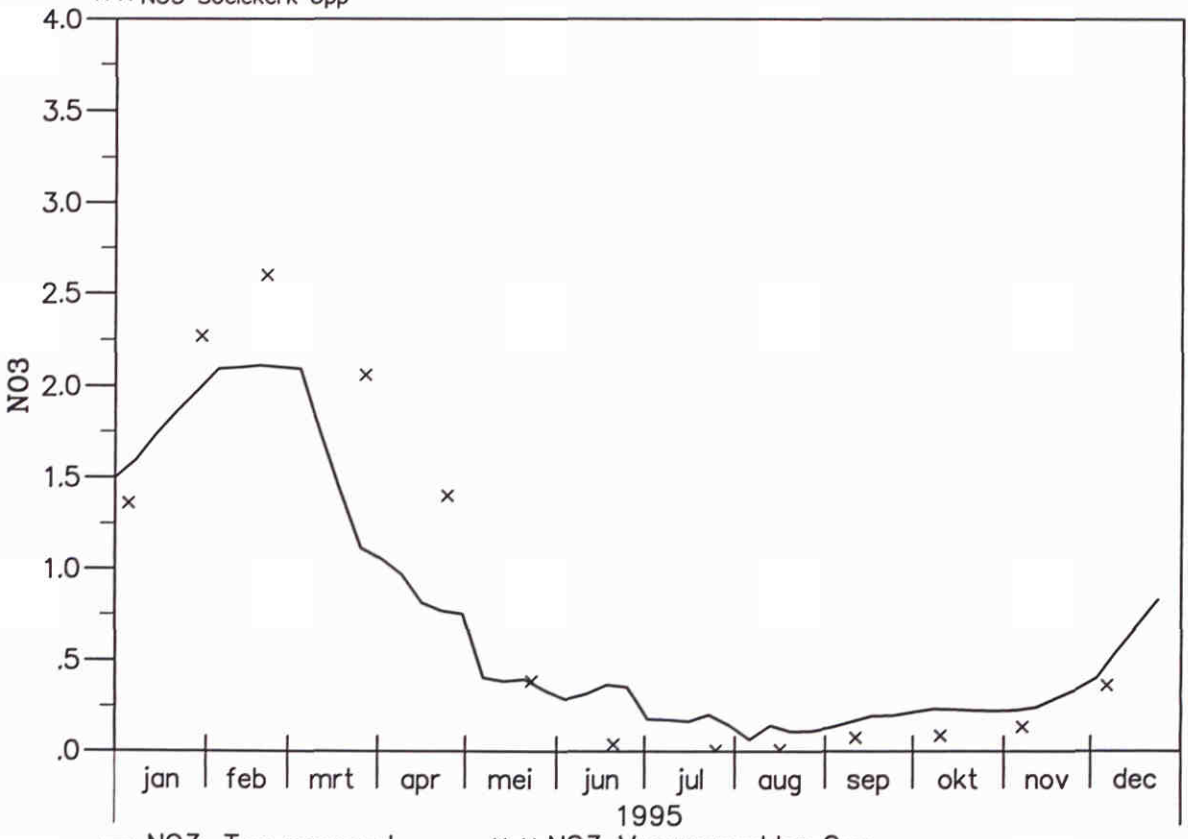
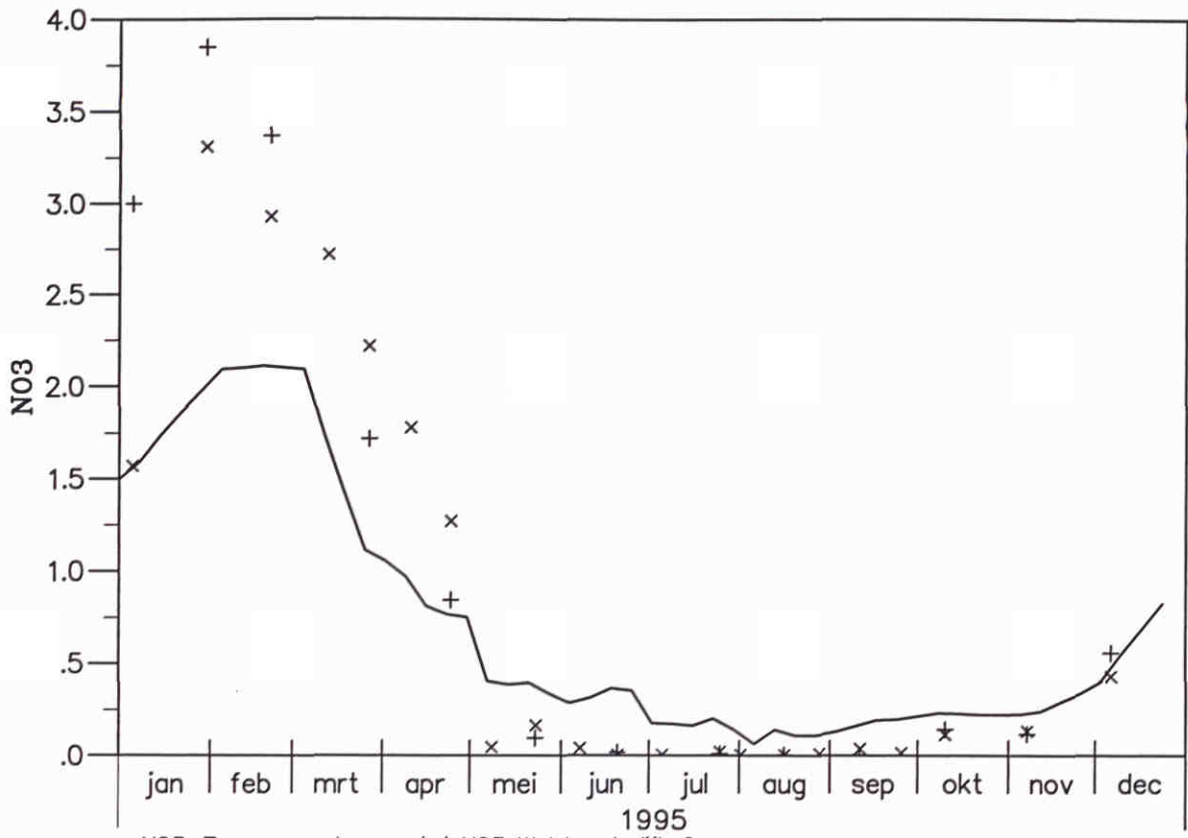
GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

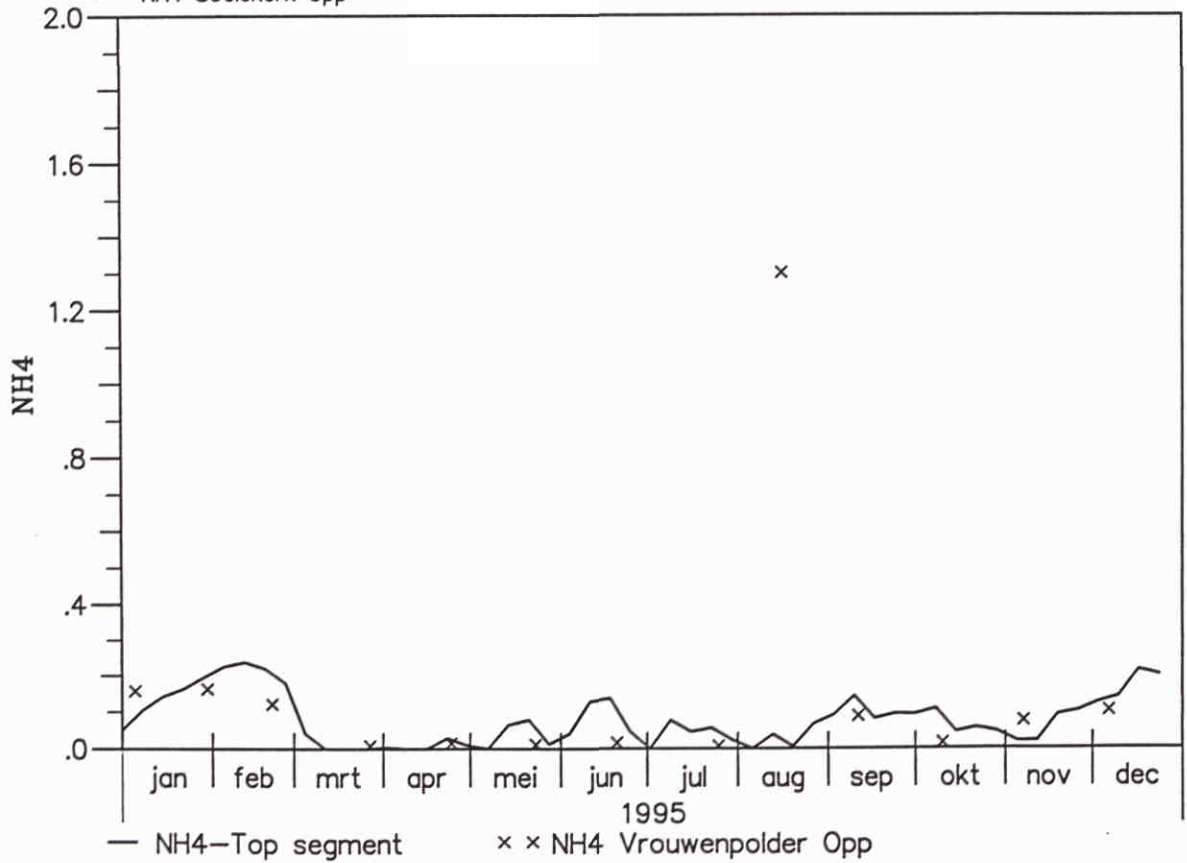
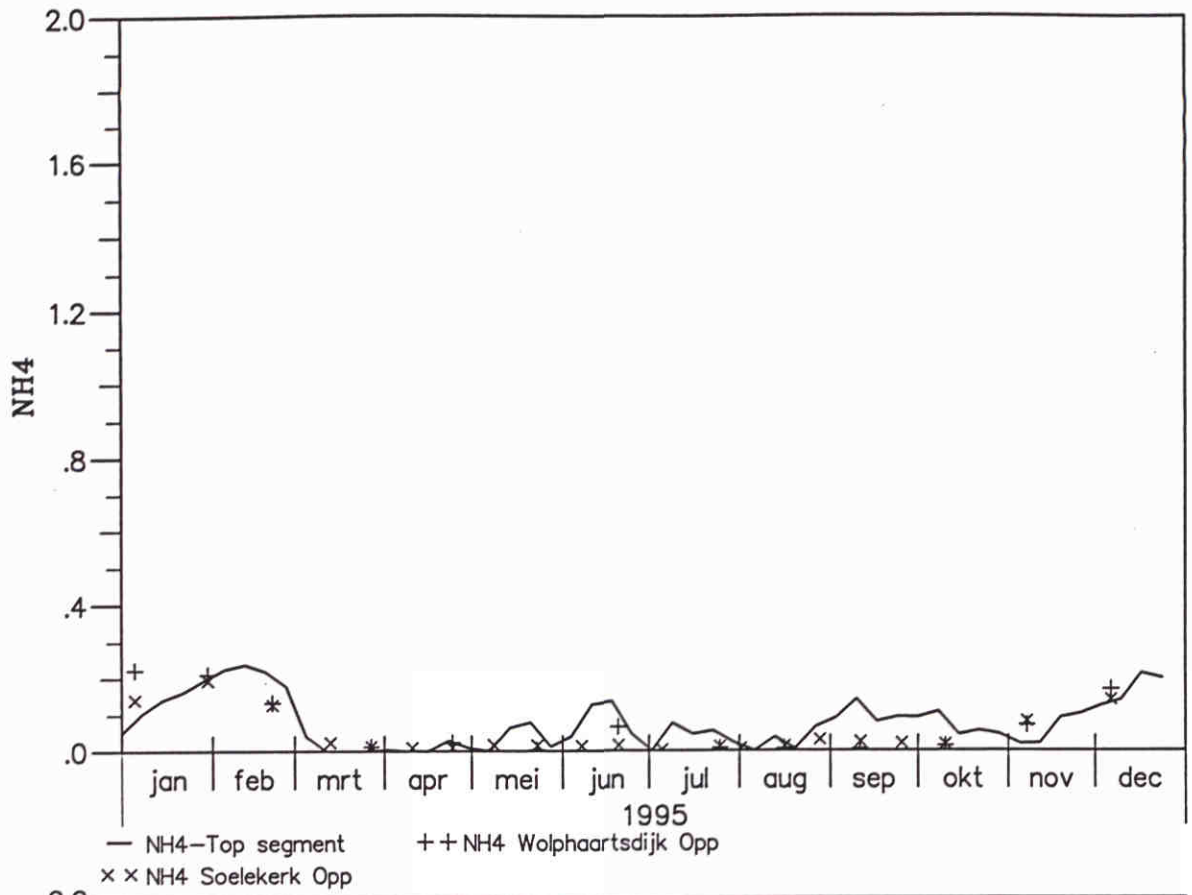
Z2570



Silicium concentratie Meetpunt Wolphaartsdijk Boven: Halverwege waterkolom (segment 29) Onder: 1m boven sediment (segment 17)	Figuur A.12	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	A - 13



Nitraat concentratie Top segment vs. metingen Boven: Meetpunten Soelekerke en Wolphaartsdijk Onder: Meetpunt Vrouwenpolder	Figuur A.13	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



Ammonium concentratie Top segment vs. metingen

Boven: Meetpunten Soelekerke en Wolphaartsdijk

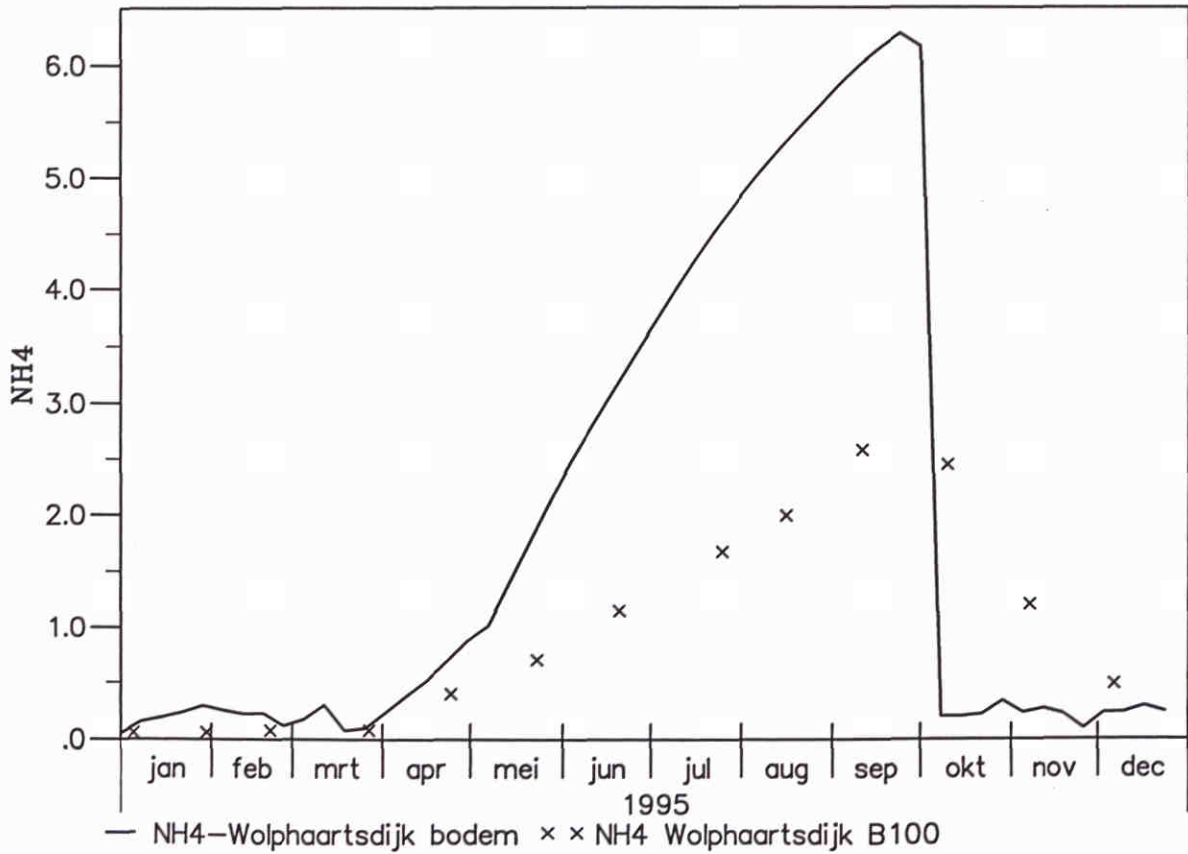
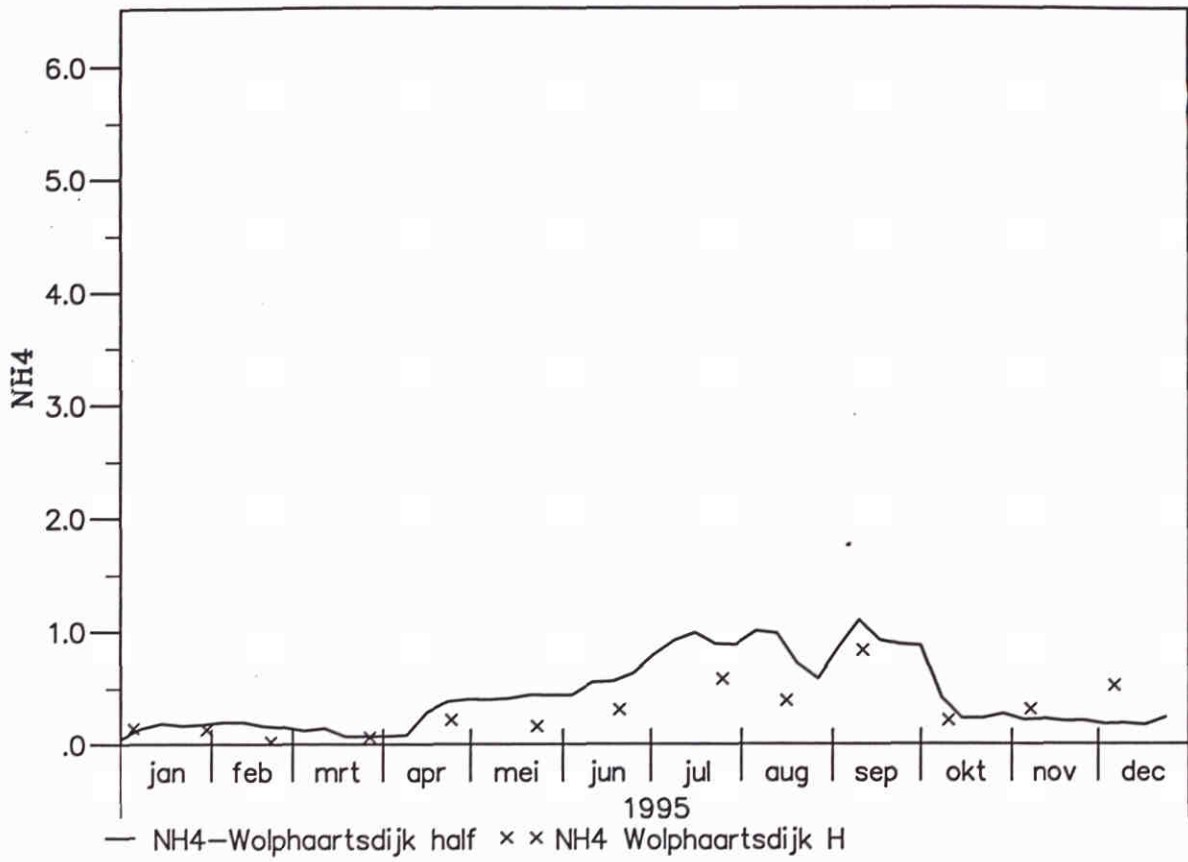
Onder: Meetpunt Vrouwenpolder

Figuur A.15

GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

Z2570



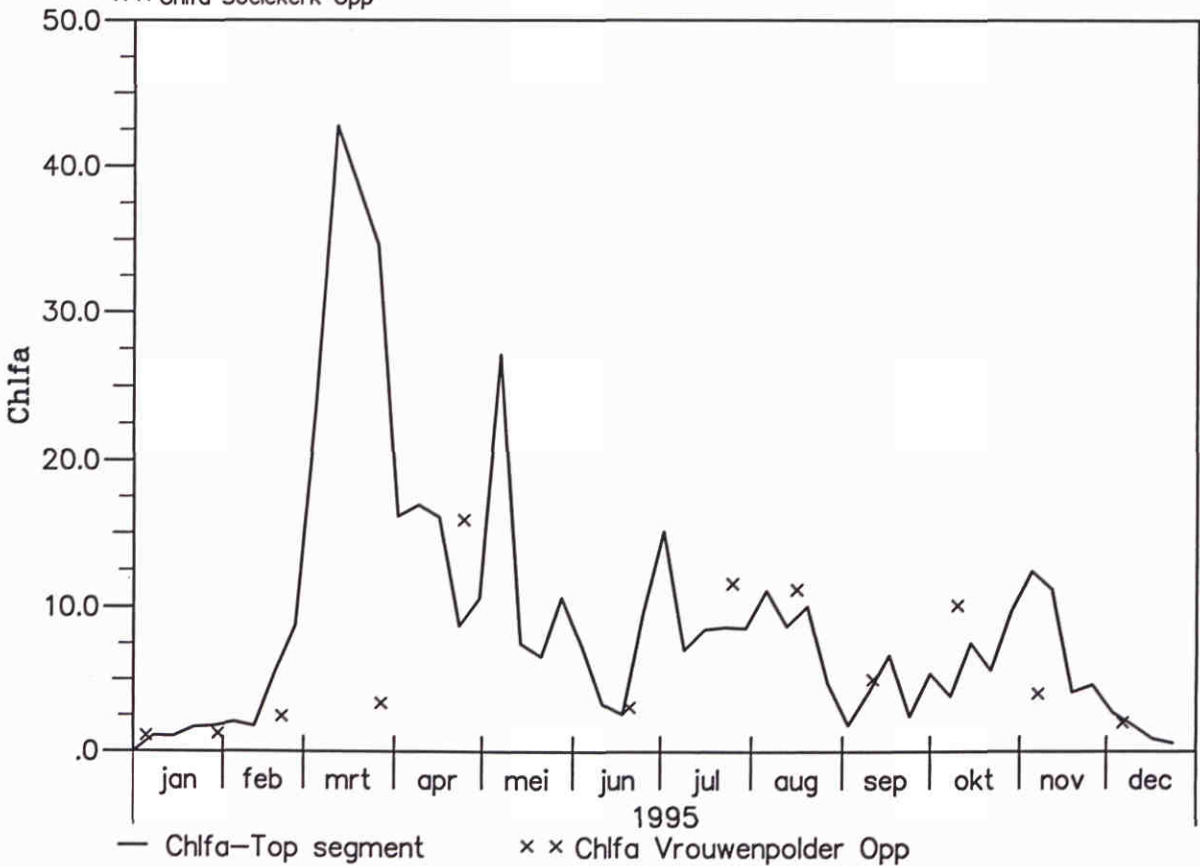
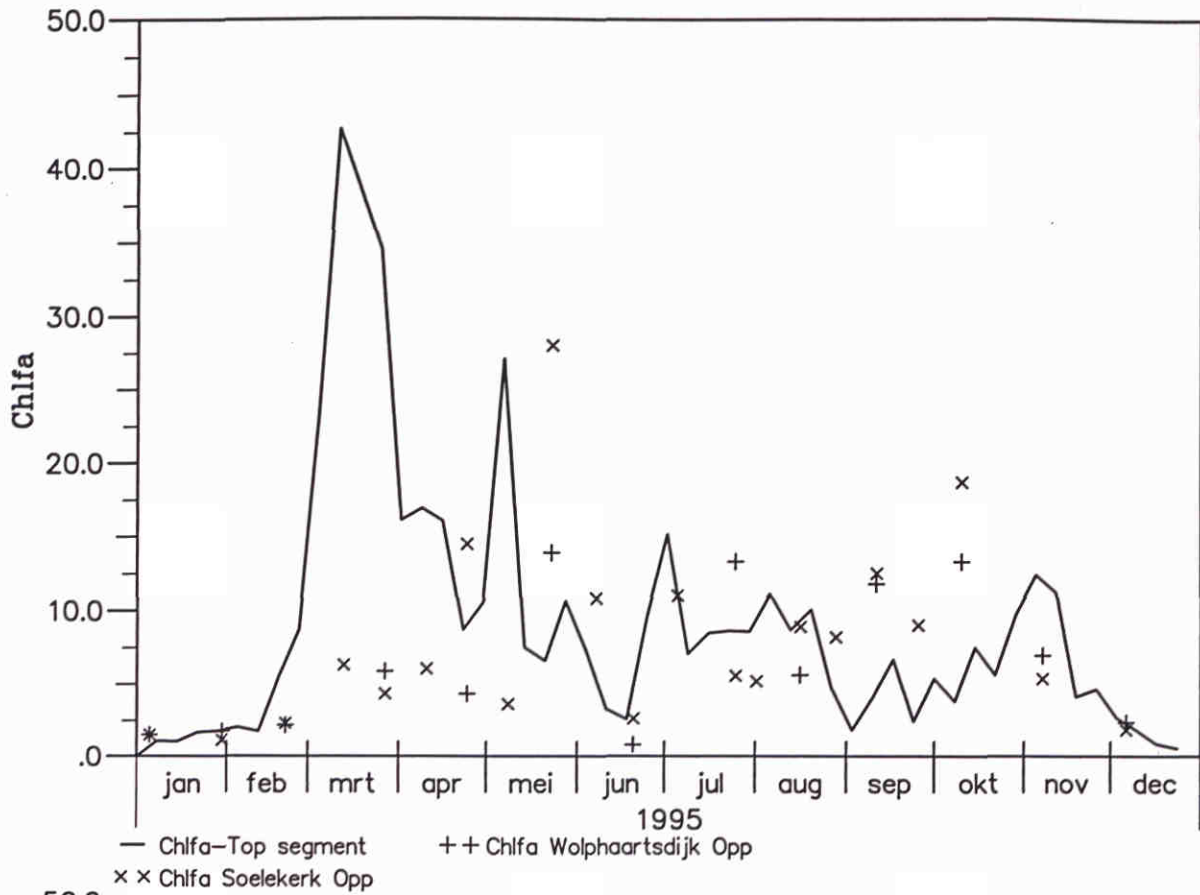
Ammonium concentratie Meetpunt Wolphaartsdijk
 Boven: Halverwege waterkolom (segment 29)
 Onder: 1m boven sediment (segment 17)

Figuur A.16

GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

Z2570



Chlorofyl-a concentratie Top segment vs. metingen

Boven: Meetpunten Soelekerke en Wolphaartsdijk

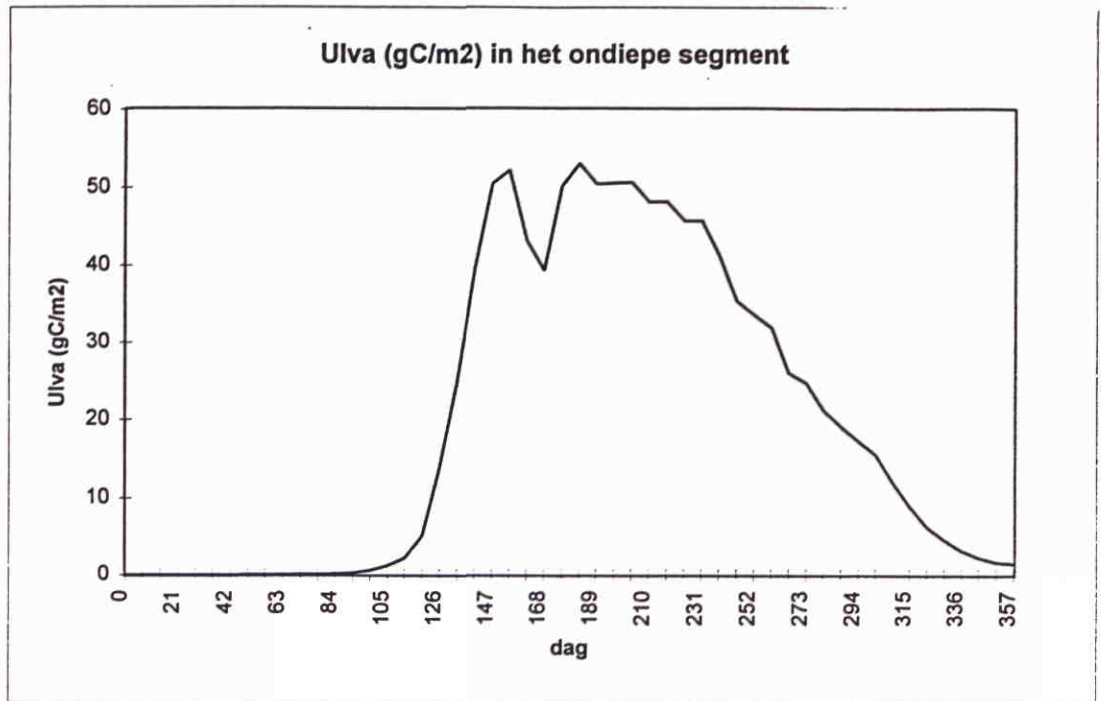
Onder: Meetpunt Vrouwenpolder

Figuur A.17

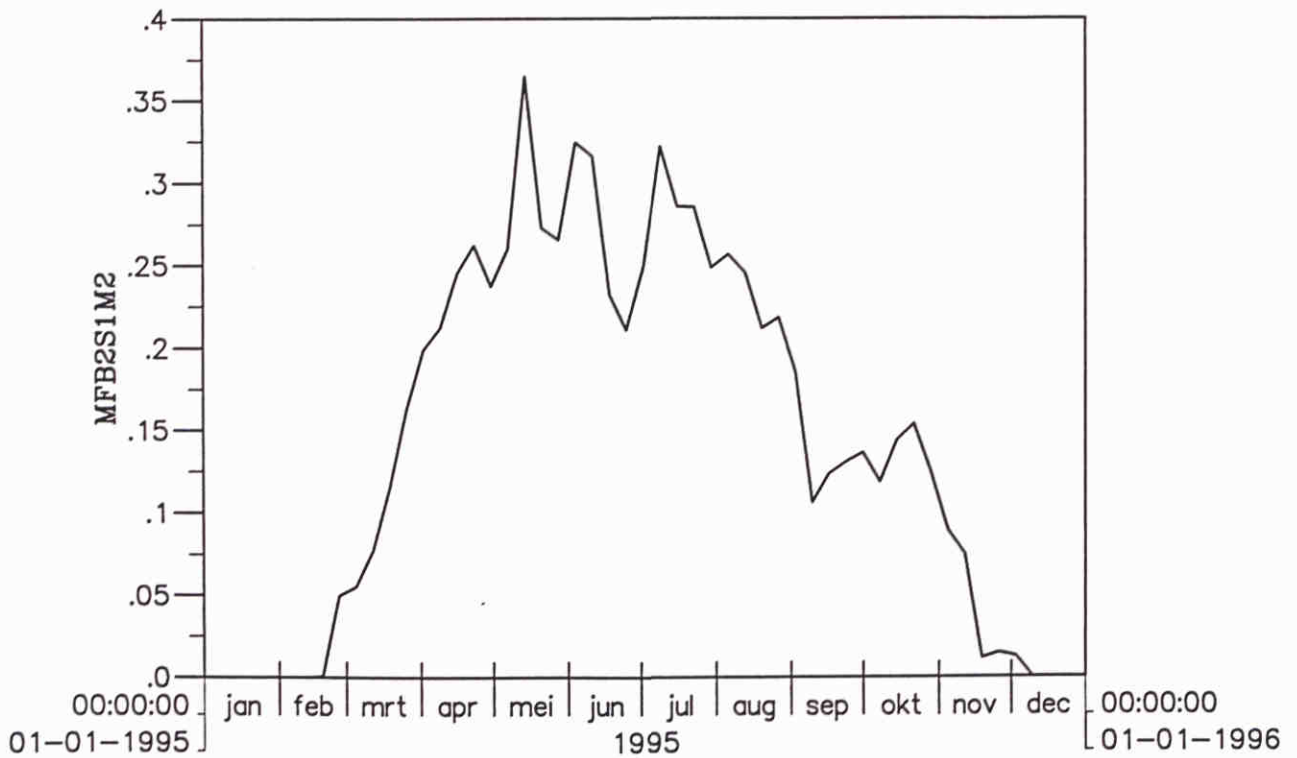
GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

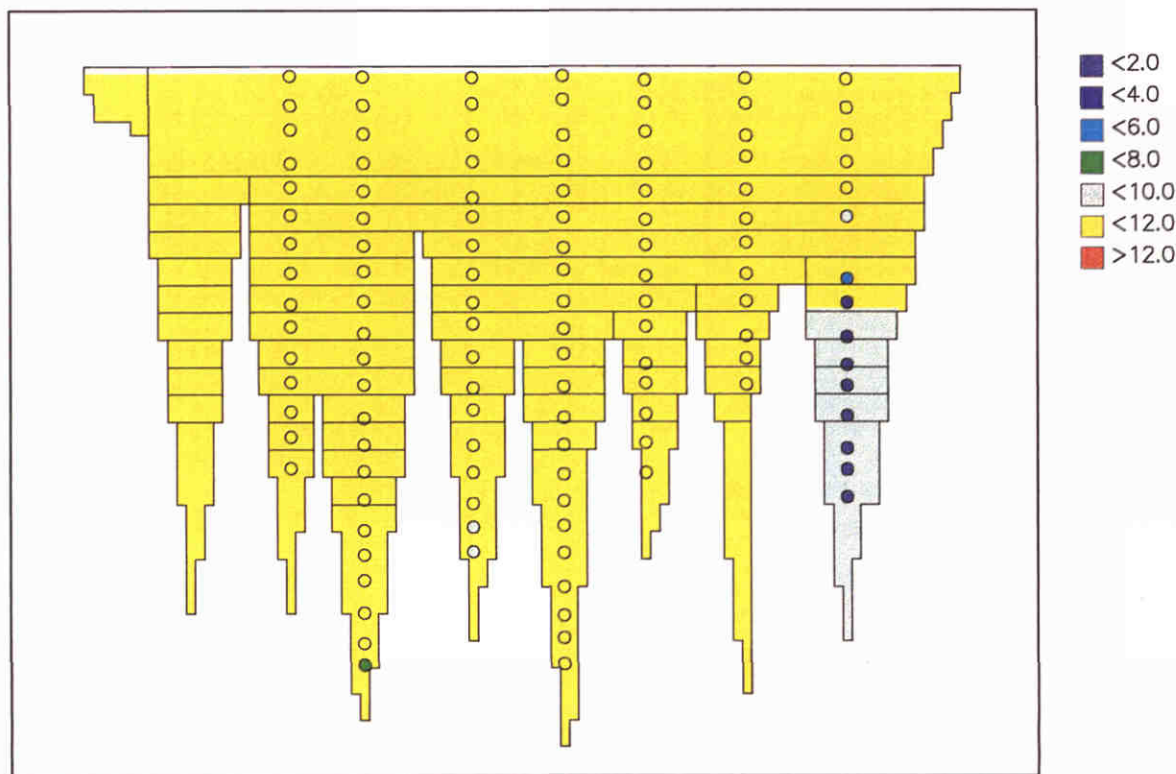
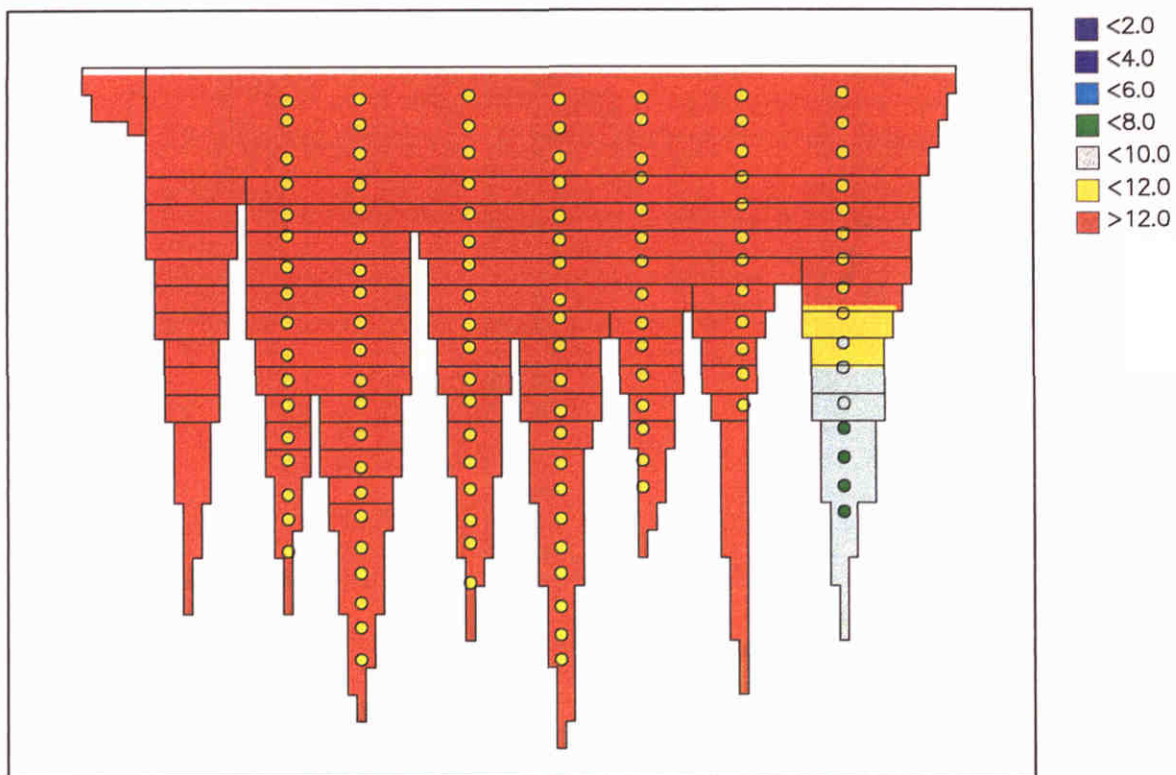
Z2570



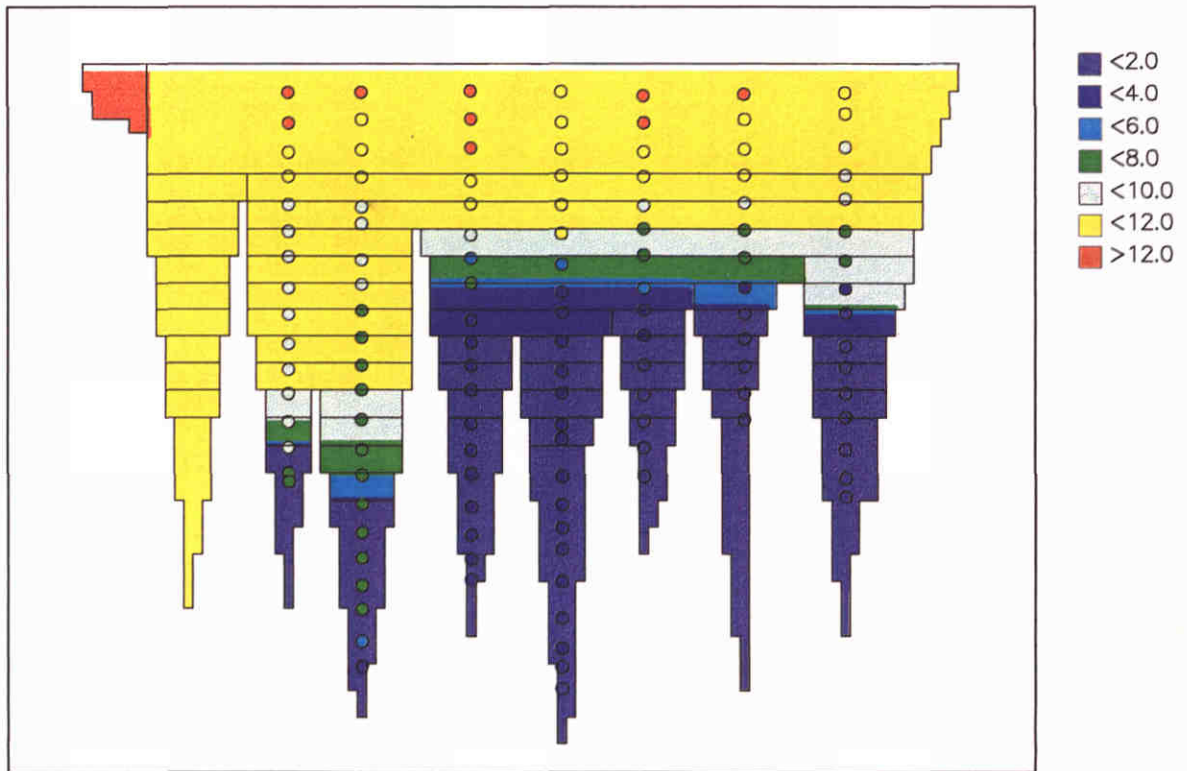
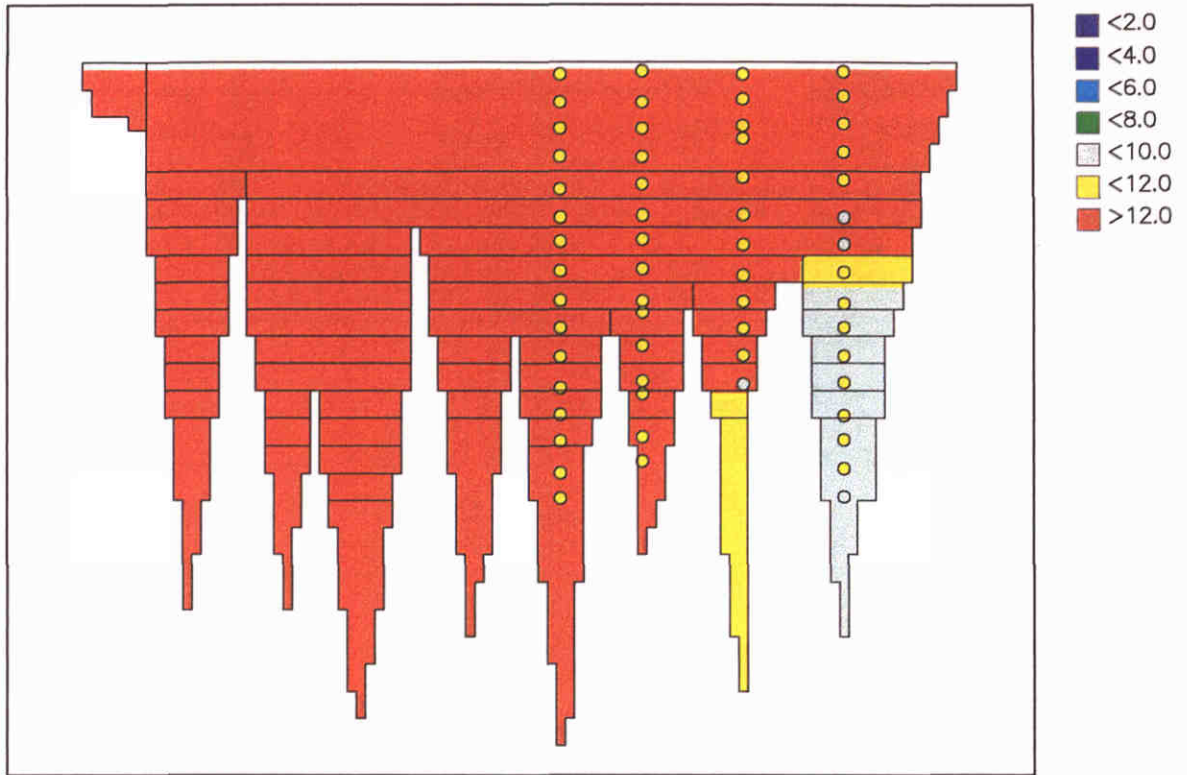
Figuur A.18: Biomassaontwikkeling van Ulva in het ondiepe segment



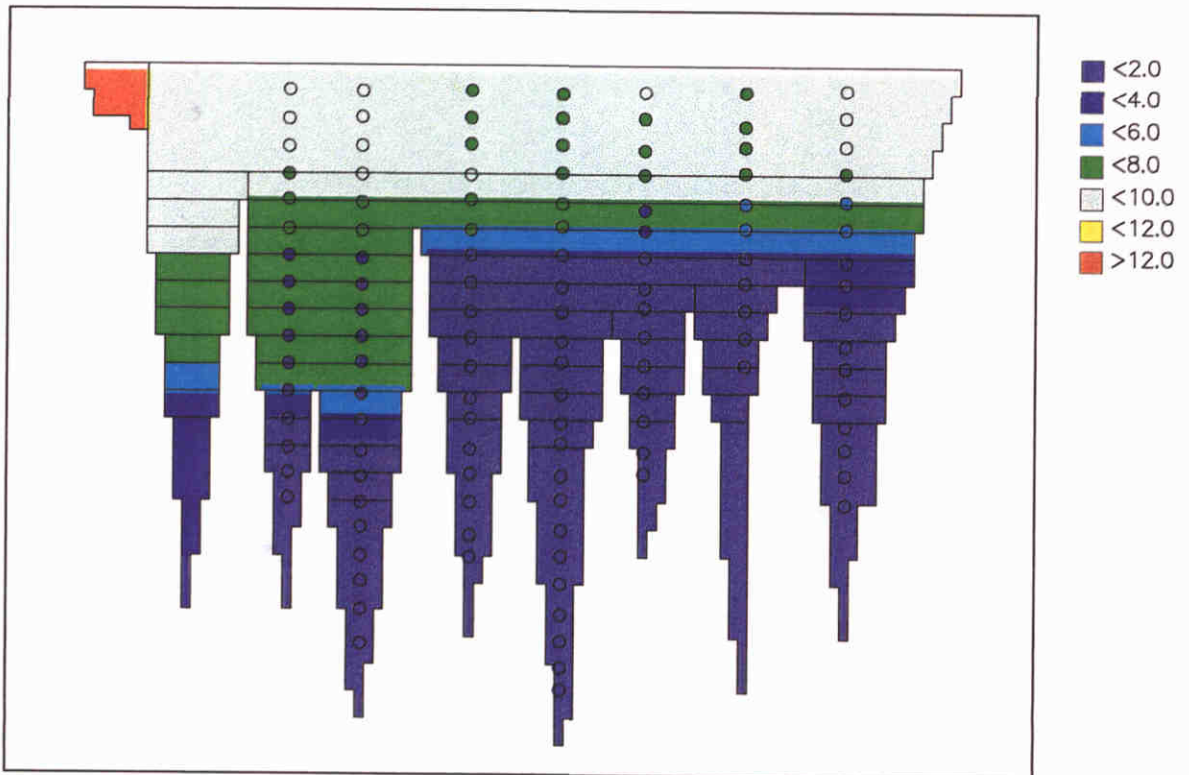
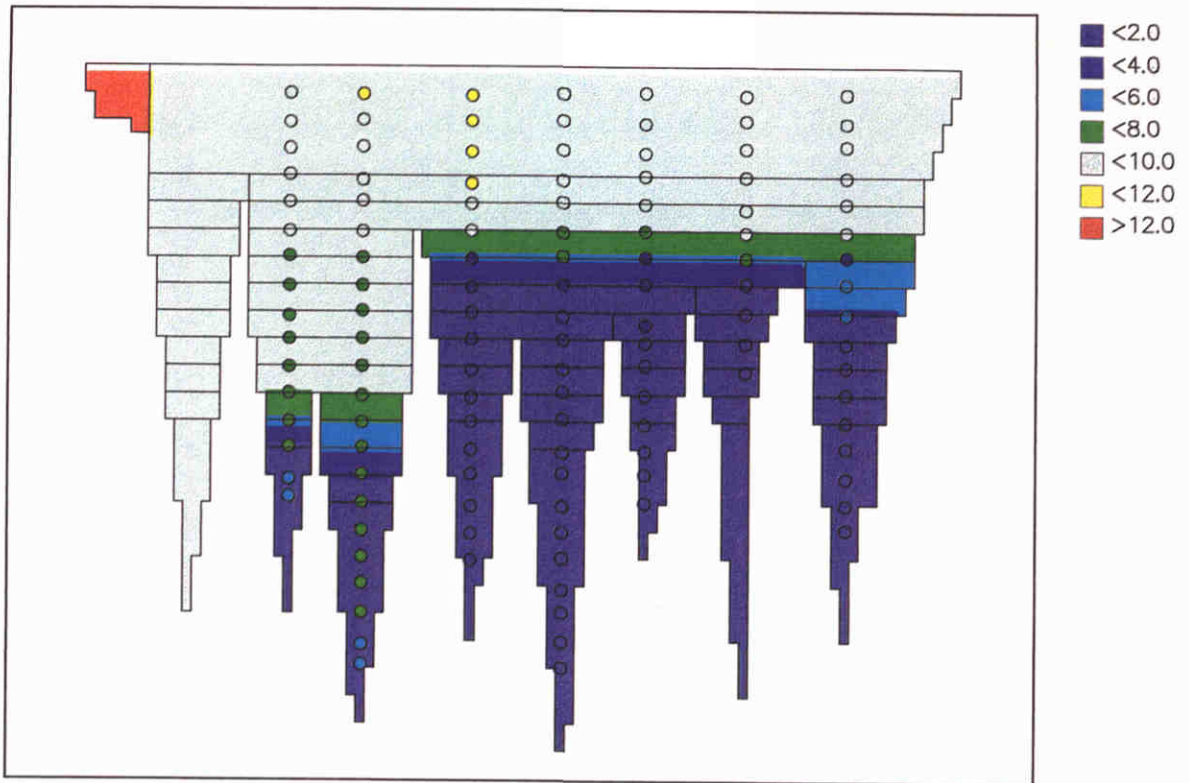
Figuur A19: Biomassaontwikkeling van microfytobenthos in het ondiepe segment



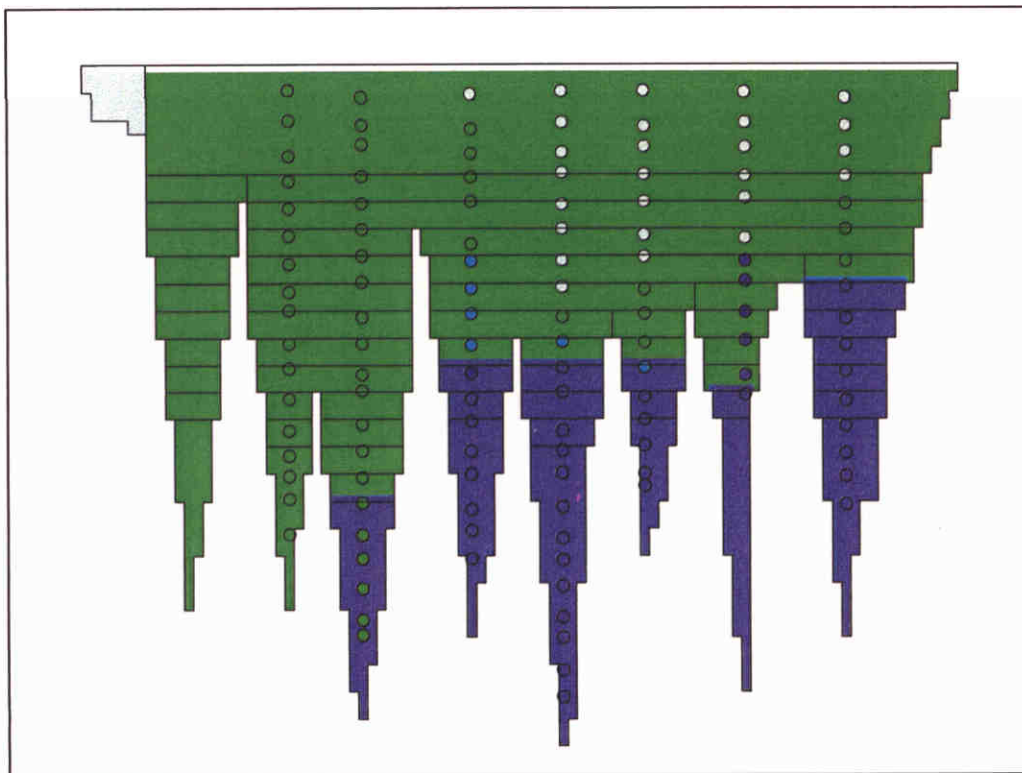
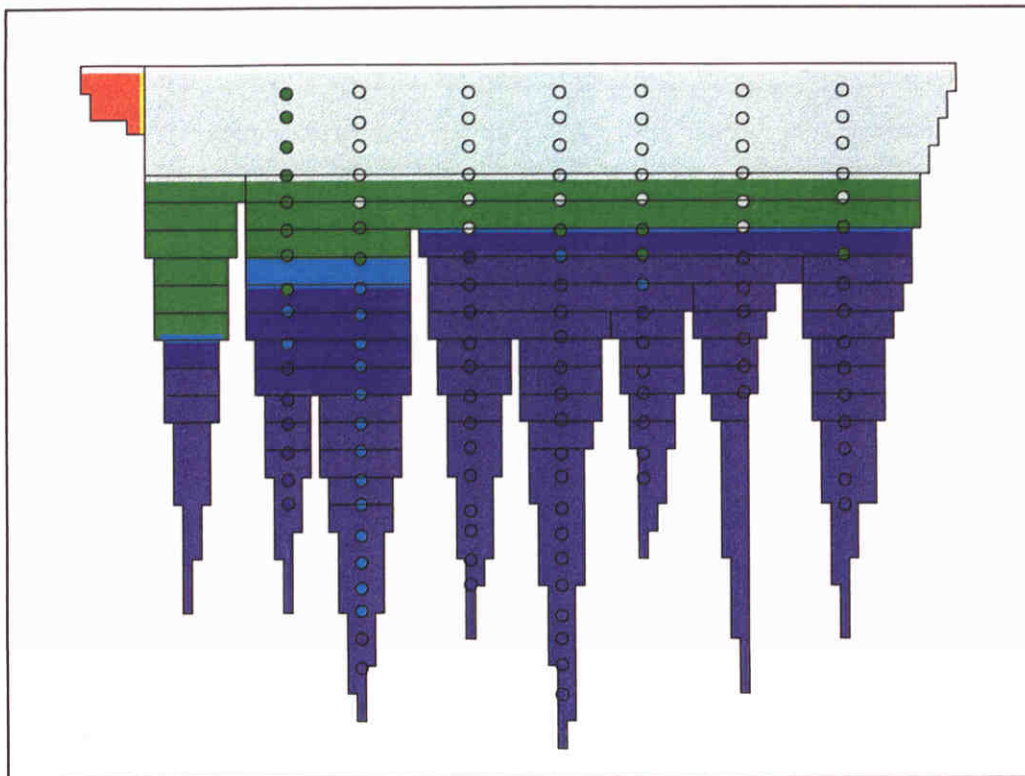
Zuurstof Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 30 januari 1995; onder: 11 februari 1995		Figuur A.20
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



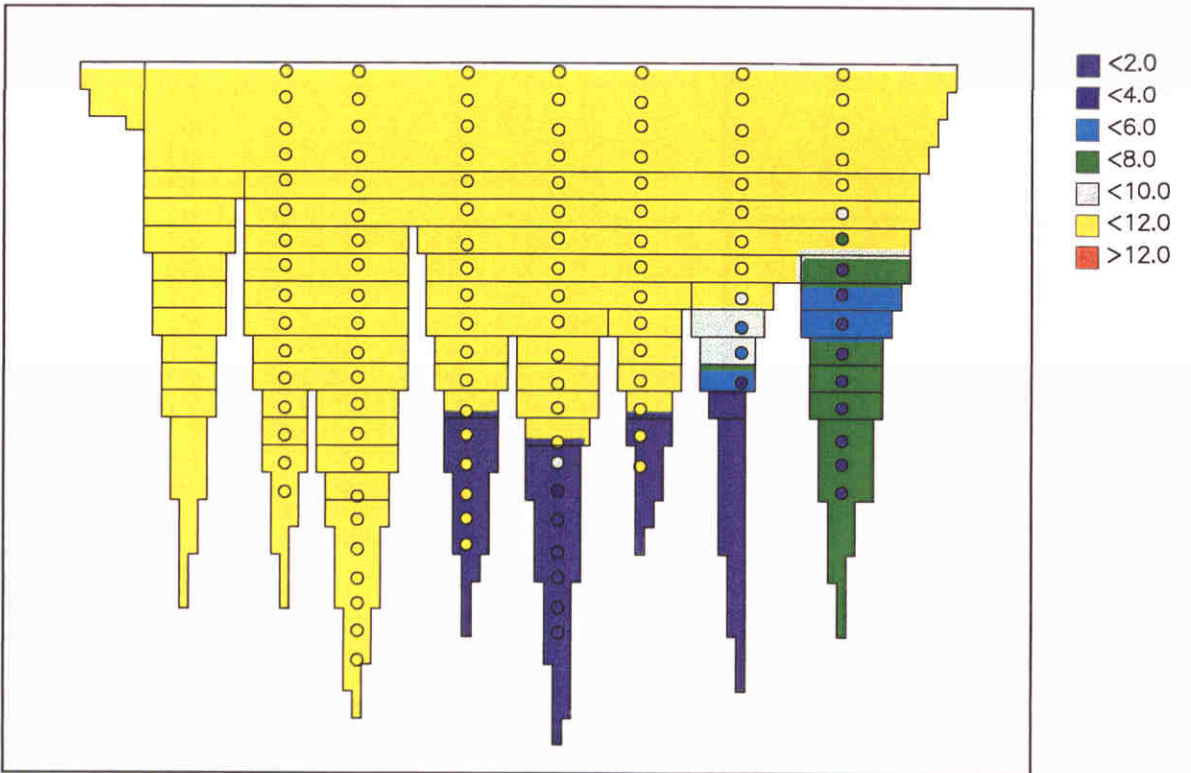
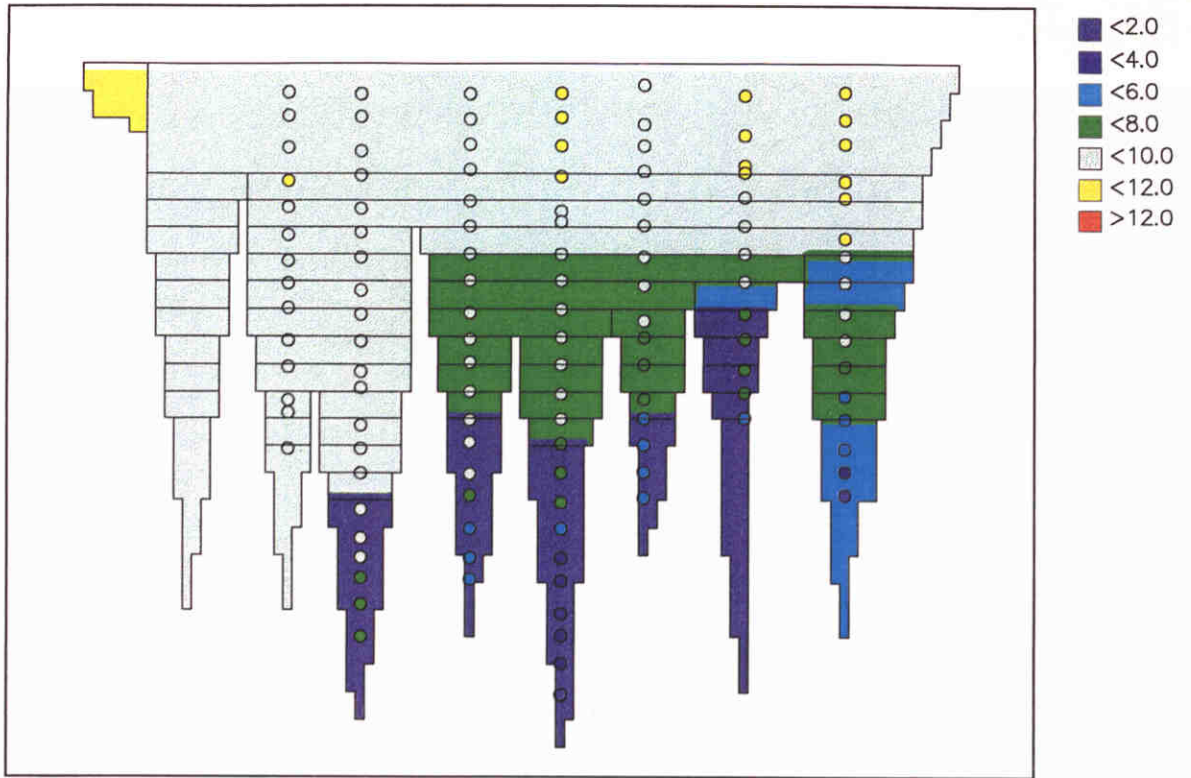
Zuurstof Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 27 maart 1995; onder: 23 mei 1995	Figuur A.21	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



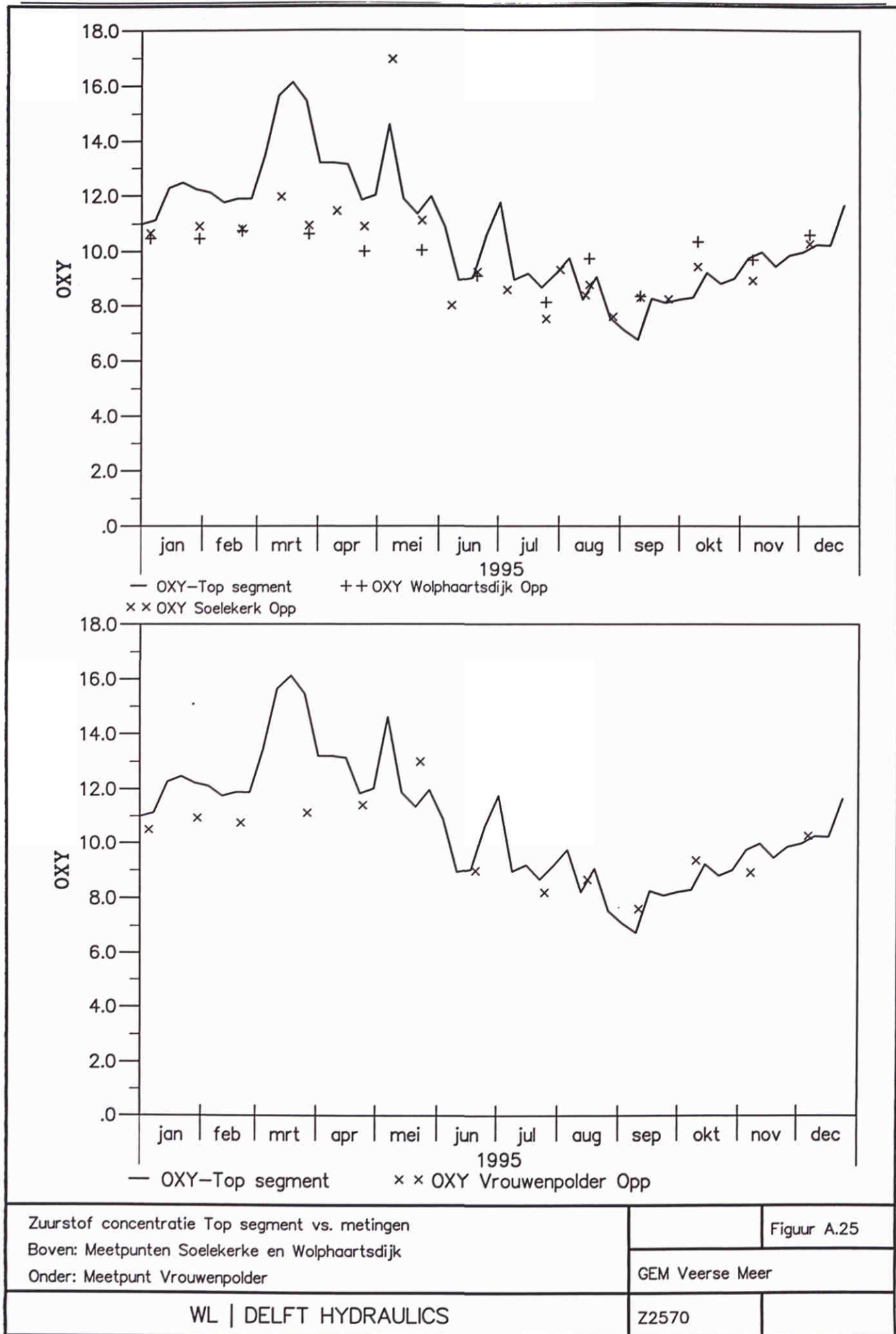
Zuurstof Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 20 juni 1995; onder: 25 juli 1995		Figuur A.22
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



Zuurstof Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 16 augustus 1995; onder: 11 september 1995	Figuur A.23	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	A - 23



Zuurstof Veerse Meer GEM resultaat vs. stratificatie metingen Boven: 10 oktober 1995; onder: 7 december 1995		Figuur A.24
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	



Zuurstof concentratie Top segment vs. metingen

Boven: Meetpunten Soelekerke en Wolphaartsdijk

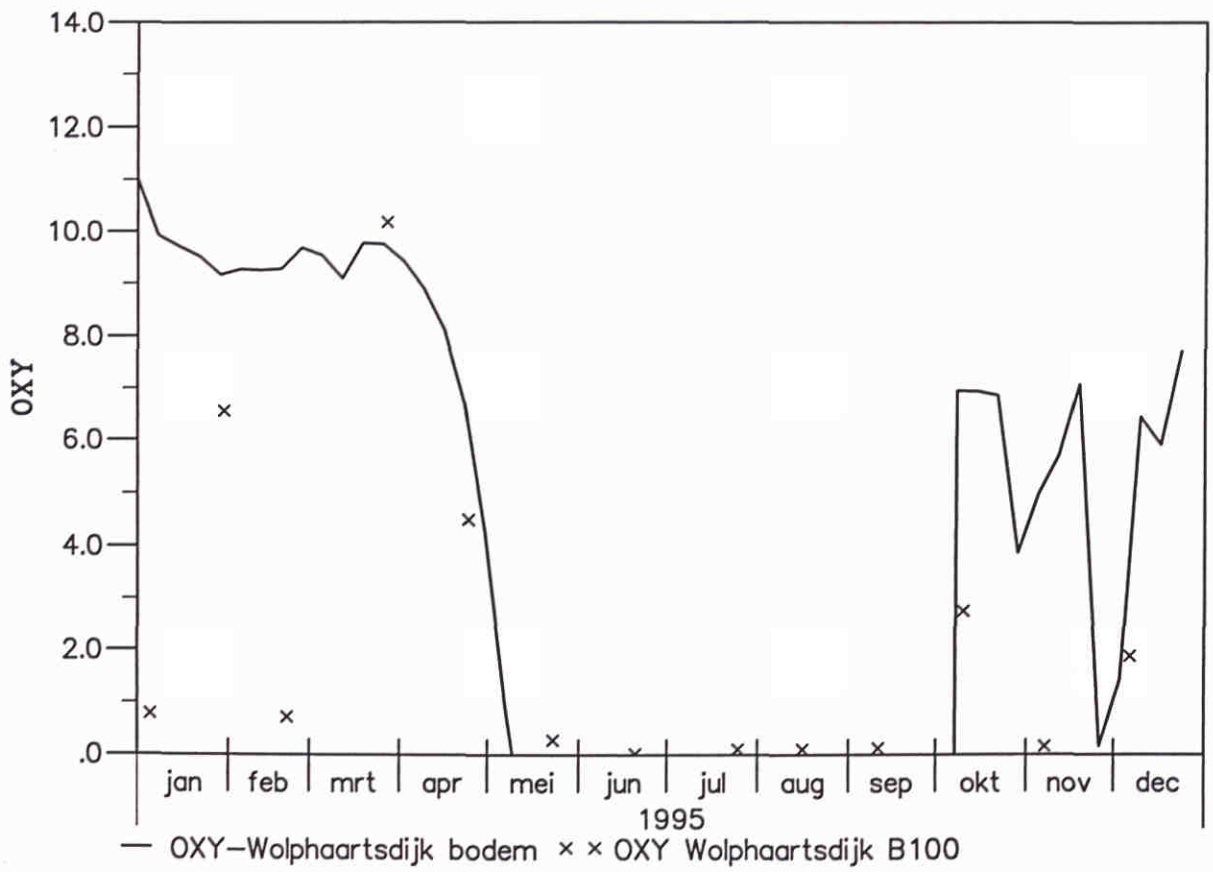
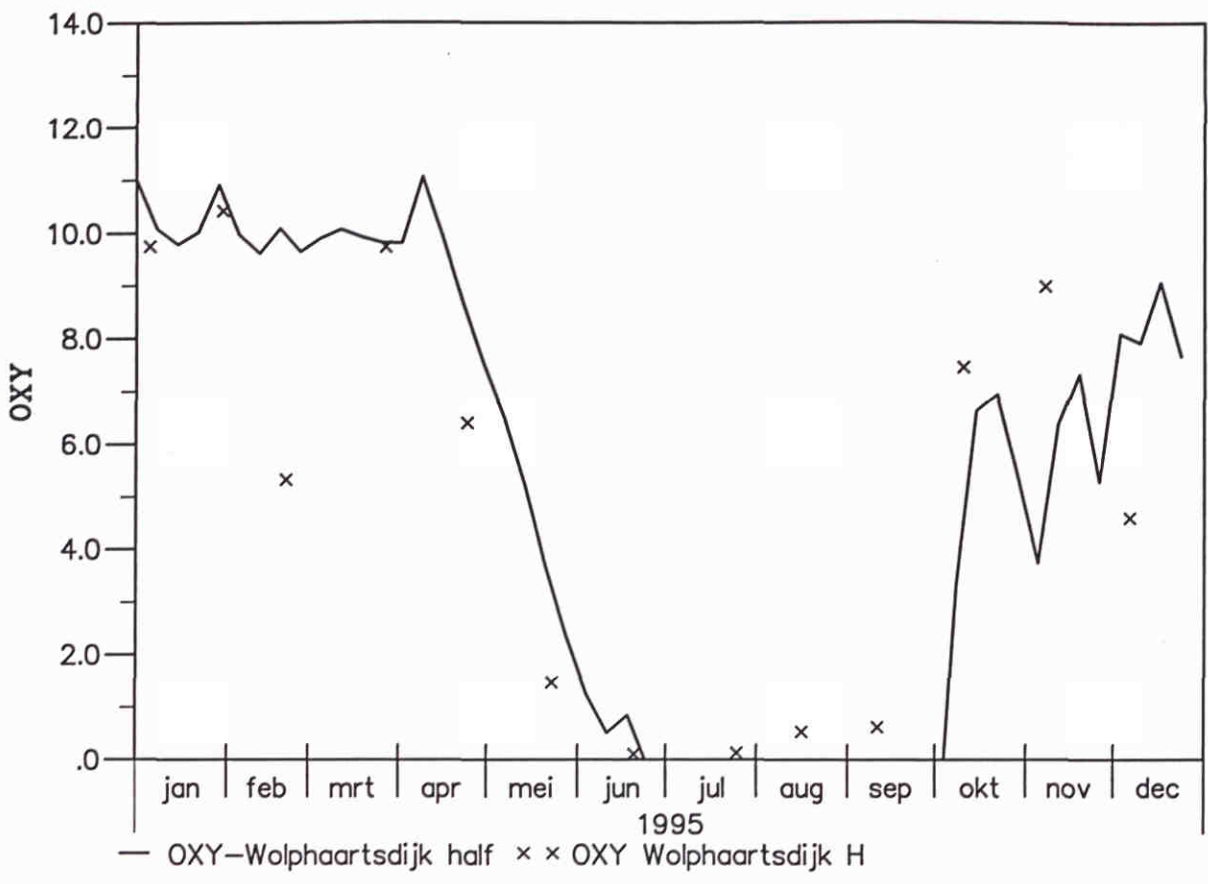
Onder: Meetpunt Vrouwenpolder

Figuur A.25

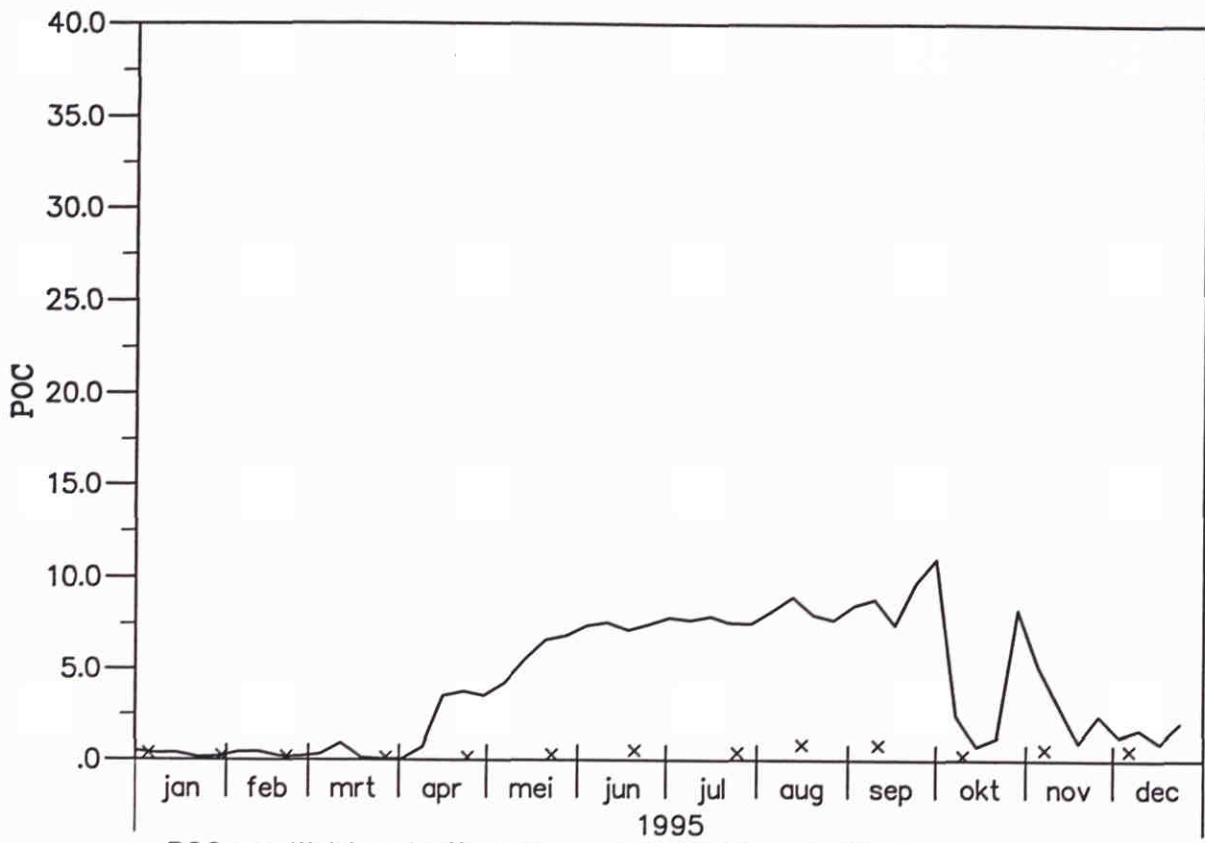
GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

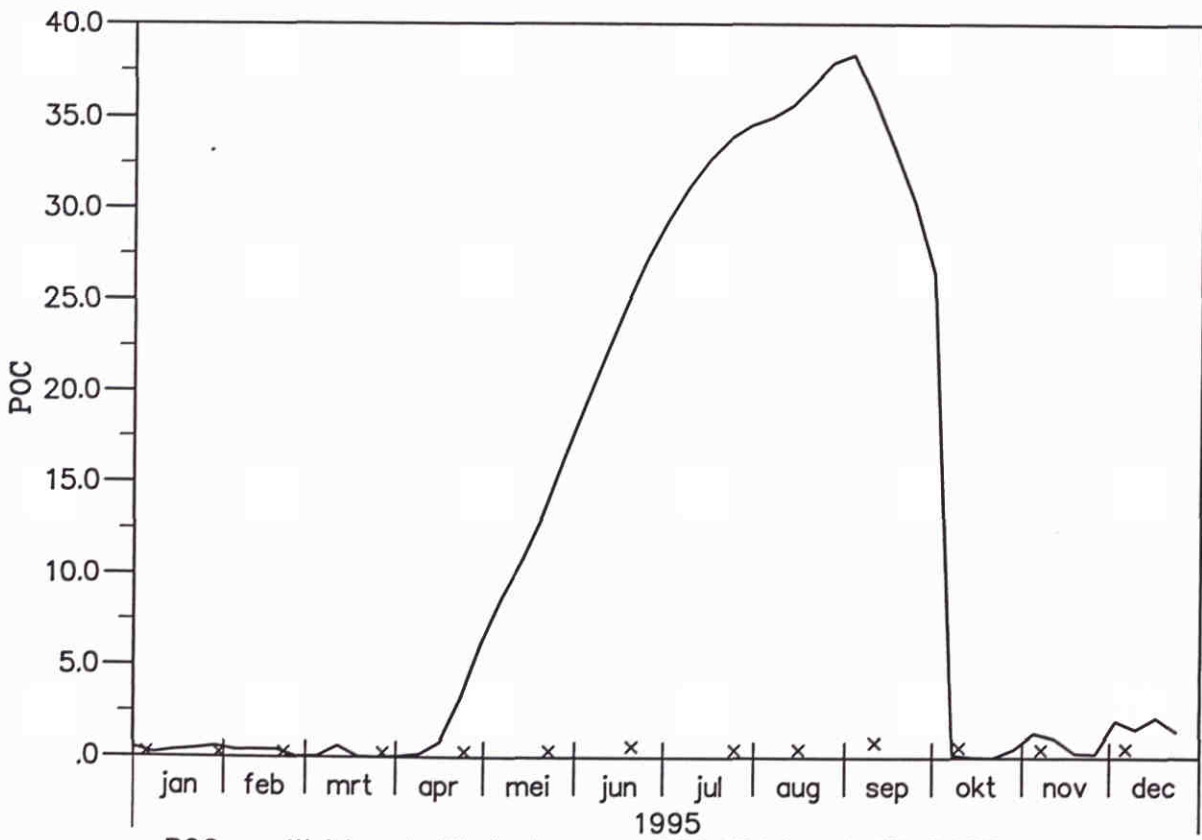
Z2570



Zuurstof concentratie Meetpunt Wolphaartsdijk Boven: Halverwege waterkolom (segment 29) Onder: 1m boven sediment (segment 17)	Figuur A.26	
	GEM Veerse Meer	
WL DELFT HYDRAULICS	Z2570	A - 26



— POCnoa-Wolphaartsdijk half x x POC Wolphaartsdijk H



— POCnoa-Wolphaartsdijk bodem x x POC Wolphaartsdijk B100

Particulair Organisch materiaal Meetpunt Wolphaartsdijk
 Boven: Halverwege waterkolom (segment 29)
 Onder: 1m boven sediment (segment 17)

Figuur A.27

GEM Veerse Meer

WL | DELFT HYDRAULICS

Z2570

B Parameterwaarden bij aanvang van de **Calibratie**

Toelichting: motivatie en herkomst van de gekozen parameterwaarden

- Specifieke nog niet eerder gebruikte parameters, de vormingsfracties en de veragingsfactoren voor de verschillende detritusfracties, zijn op basis van literatuurgegevens (WL, 1997a) gekozen.
- De diverse boven- en ondergrenzen voor afbraaksnelheden en stochiometrische constanten berusten voor de detritusfracties op interpolatie tussen de hoogste en de laagste waarden.
- De processen bioturbatie en bioirrigatie zijn in de standaard GEM-routines vereenvoudigd geformuleerd. Ze zijn beide niet stof-specifiek, dat wil zeggen, ze hebben 'gemiddelde' dispersiecoëfficiënten. Er is geen sommatie van moleculair en door organismen teweeggebracht transport, en ook geen temperatuursafhankelijkheid. Deze zaken kunnen op globale wijze tot stand worden gebracht in de invoer.
- De processen nitrificatie en denitrificatie zijn in de GEM-routines nog volgens standaard DELWAQ geformuleerd (WL, 1995d). Er zijn daarom discrepanties tussen de GEM-omschrijvingen van enkele parameters en de werkelijke betekenis. De opgegeven invoernamen en waarden zijn toegepast.
- De waarden van de diverse kritische concentraties ten aanzien van nitrificatie, denitrificatie, adsorptie en precipitatie zijn pragmatisch doch in overeenstemming met werkelijk optredende omslagen gekozen.
- De sorptieformuleringen met betrekking tot fosfaat zijn nog niet eerder toegepast. De gegevens omtrent de ijzerfracties van slib zijn afgeleid van de gegevens van het Volkerak-Zoommeer. De fractie fr_{Fe} is in de waterbodem 0.015 gFe/gDS, in de waterkolom mogelijk een factor 5 hoger omdat de zandfractie in het zwevend slib ontbreekt (op basis van gegevens Rijn Lobith 0.08 gFe/gDS). De fractie fr_{Feox} is 1 in de waterkolom, en neemt af van 1 tot 0.3 in de te beschouwen toplaag van de waterbodem.
- Het evenwichtsgehalte van opgelost fosfaat voor sorptie kan in zout water hoger zijn dan in zoet water.
- De formulering van oplossen van geprecipiteerd fosfaat (vivianiet) is verschillend in geval van de eenvoudige bodemmodule met gebruik van bodemsegmenten en SWITCH, hetgeen inhoudt dat de snelheidsconstante niet uitwisselbaar is. Deze is dus geconverteerd op basis van de verschillen.
- De verzadigingsconcentratie van silicaat is in zout water hoger dan in zoet water.
- In geval van de functie voor de reaeratiesnelheid is afgeweken van de formulering, die vermeld staat in de GEM-documentatie (WL, 1997a). In plaats daarvan is de standaard functie van het eutrofiëringsmodel DBS gekozen, die alleen afhankelijk is van de windsnelheid. De functie voor de verzadigingsconcentratie, die afhankelijk is van de temperatuur en het chloridegehalte, is wel gelijk aan de formulering in de GEM-documentatie.
- De schuifspanning is niet gemodelleerd. Deze heeft daarom ook geen effect op bezinking en resuspensie. 'tau' heeft waarde -1 in het invoerbestand. Er is alleen een netto sedimentatiesnelheid voor particulier materiaal gebruikt, die onafhankelijk is van de schuifspanning.
- In het invoerbestand voor GEM is geen randvoorwaarde gedefinieerd met betrekking tot de samenstelling van de bodem onder de onderste beschouwde bodemlaag. Dit impliceert permanente netto begraving en het uitschakelen van bioturbatie voor de onderste bodemlaag. Dispersie in de opgeloste fase werkt alleen op het bovengrensvlak van een segment, en behoeft daarom niet te worden uitgeschakeld.

Tabel B.1 Invoerparameters voor GEM met betrekking tot algen.

primaire producent	diat-E	diat-N	diat-P	flag-E	flag-N	flag-P	dino-E	dino-N	dino-P	Ulva-E	Ulva-N	Ulva-P
ExtVIAIlg (m ² /g C)	0.24	0.21	0.21	0.25	0.225	0.225	0.2	0.175	0.175	0.0248	0.0248	0.0248
N/C ratio (mg/mg)	0.255	0.141	0.21	0.2	0.14	0.2	0.1625	0.115	0.1275	0.0594	0.033	0.0594
P/C ratio (mg/mg)	0.0315	0.021	0.018	0.02	0.015	0.01125	0.01675	0.0175	0.015	0.01	0.00667	0.00333
Si/C ratio (mg/mg)	0.525	0.525	0.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chlfa/C ratio (mg/mg)	0.04	0.025	0.025	0.0286	0.0167	0.0167	0.0286	0.0167	0.0167	0.0001	0.0001	0.0001
DM/C ratio (mg/mg)	3	3	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.3	3.3	3.3
PPMax (1/dag)	0.083	0.066	0.066	0.09	0.075	0.075	0.132	0.113	0.112	0.08	0.06	0.06
TcPMx (-)	-1.75	-2	-2	-1	-1	-1	5.5	4.75	4.75	1.07	1.08	1.08
TfPMx (-)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Mort0 (1/dag)	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.075	0.08	0.08	0.050	0.050	0.050
MResp (1/dag)	1.072	1.085	1.085	1.072	1.085	1.085	1.072	1.085	1.085	0.1	0.1	0.1
TcResp (-)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01
SDMix (-)	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066	1.066
Fixalg (-)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0.05	-0.05	-0.05
VSed (m/d)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3
ExtVLBak (1/m)	0.5	1	1	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
ExtVIIMI (m ² /gDM)	0.08											
	0.018											

Toelichting bij tabel 4.3

- ExtVIAIlg = specifieke extinctie van zichtbaar licht
- PPMax = maximale groeisnelheid
- TcPMx = temperatuur coëfficiënt voor groei
- TfPMx = switch die aangeeft of de afhankelijkheid van de temperatuur lineair of exponentieel verloopt
- Mort0 = nominale mortaliteit
- TcMrt = temperatuurfunctie voor mortaliteit
- MResp = nominale respiratie
- TcResp = temperatuurfunctie voor respiratie
- SDMix = geeft aan over welk gedeelte van de waterkolom het licht kan worden gebruikt
- Fixalg = geeft aan of het type op de bodem of in de waterkolom groeit
- VSed = valsnelheid
- ExtVLBak = achtergrondextinctie van zuiver water
- ExtVIIMI = specifieke extinctie van zwevend stof

Tabel B.2 Invoerparameters voor GEM met betrekking tot aan detritus (dode org. stof) gerelateerde processen.

Omschrijving ²	Symbol in docum.	Naam in invoer	Waarde toep. VM	Grenzen van waarde	Eenheid ¹
<u>productie F1 van algen en grazers (C/N/P/Si)</u> geen specifieke parameters, zie algen en grazers	-	-	-	-	-
<u>conversie bij afbraak (C/N/P)</u> fractie voor vorming F2 uit F1 fractie voor vorming F3 uit F2 fractie voor vorming F4 uit F2	b _{dts} b _{dtp} b _{dt}	b _{dts} b _{dtp} b _{dt}	0.8 0.4 0.04	0.0-1.0 0.2-0.4 0.02-0.04	- - -
<u>afbraak (mineralisatie C/N/P)</u> bovengr. Eerste orde afbraaksn. F1 bij 20 °C ondergr. Eerste orde afbraaksn. F1 bij 20 °C bovengr. Stochiometrische constante N in F1 ondergr. Stochiometrische constante N in F1 bovengr. Stochiometrische constante P in F1 ondergr. Stochiometrische constante P in F1 vertragsfactor voor electronacc. Nitraat vertragsfactor voor electronacc. Sulfaat temperatuurscoëfficiënt bovengr. Eerste orde afbraaksn. F2 bij 20 °C ondergr. Eerste orde afbraaksn. F2 bij 20 °C bovengr. Stochiometrische constante N in F2 ondergr. Stochiometrische constante N in F2 bovengr. Stochiometrische constante P in F2 ondergr. Stochiometrische constante P in F2 eerste orde afbraaknelheid F3 bij 20 °C eerste orde afbraaknelheid F4 bij 20 °C	ku _{dtf,dec20} kl _{dtf,dec20} au _{dnf} al _{dnf} au _{dPf} al _{dPf} b _{ni} b _{su} kt _{dec} ku _{dtSdec20} kl _{dtSdec20} au _{dnS} al _{dnS} au _{dPs} al _{dPs} k _{dtp,dec20} k _{dt,dec20}	ku _{dFdec20} kl _{dFdec20} au _{dNf} al _{dNf} au _{dPf} al _{dPf} b _{ni} b _{su} kT _{dec} ku _{dSdec20} kl _{dSdec20} au _{dNs} al _{dNs} au _{dPs} al _{dPs} k _{dprdec20} k _{DOCdec20}	0.3 0.1 0.15 0.10 0.015 0.01 1.0 1.0 1.047 0.1 0.05 0.08 0.06 0.008 0.006 0.002 0.001	0.2-0.5 0.1-0.2 0.12-0.18 0.08-0.12 1.2-1.8x10 ⁻² 0.8-1.2x10 ⁻² 0.9-1.0 0.6-1.0 1.047-1.07 0.05-0.1 0.05-0.1 0.06-0.1 0.05-0.06 0.6-1x10 ⁻² 0.5-0.6x10 ⁻² 0.5-5 x 10 ⁻³ 0.1-2 x 10 ⁻³	d ⁻¹ d ⁻¹ gN.gC ⁻¹ gN.gC ⁻¹ gP.gC ⁻¹ gP.gC ⁻¹ - - - d ⁻¹ d ⁻¹ gN.gC ⁻¹ gN.gC ⁻¹ gP.gC ⁻¹ gP.gC ⁻¹ d ⁻¹ d ⁻¹

1) d = dag

2) Vier fracties organische stof, elk gesplitst in de componenten C, N en P: F1 is de snel afbrekende fractie POC/N/P/1, F2 de langzaam afbrekende fractie POC/N/P/2, F3 de refractaire particulaire fractie POC/N/P/3, F4 de refractaire opgeloste fractie DOC/N/P.

Tabel B.2 Voortzetting: Invoerparameters voor GEM met betrekking tot aan detritus gerelateerde processen.

Omschrijving ²	Symbol in docum.	Naam in invoer ³	Waarde toep. VM	Grenzen van waarde	Eenheid ¹
<u>bezinking, resusp., begrav. en erosie (C/N/P)</u>					
valsnelheid van F1, F2 en F3 bij 20 °C	$v_{dt,set20}$	V0SedDetC	0.07	0.0-0.5	m.d ⁻¹
temperatuurscoëfficiënt bezinking	$v_{dt,set}$	TcSED	1.0	1.0-1.07	-
nulde orde bezinkingssnelheid F1	$v_{0dtf,set}$	ZSedPOC1	0.0	-	g.m ⁻² .d ⁻¹
kritische schuifspanning bezinking F1	$\tau_{cdf,set}$	taucSPOC1	0.025	0.5-2.5x10 ⁻²	Pa
nulde orde bezinkingssnelheid F2	$v_{0dts,set}$	ZSedPOC2	0.0	-	-
kritische schuifspanning bezinking F2	$\tau_{cdts,set}$	taucSPOC2	0.025	0.5-2.5x10 ⁻²	Pa
nulde orde bezinkingssnelheid F3	$v_{0dtp,set}$	ZSedPOC3	0.0	-	-
kritische schuifspanning bezinking F3	$\tau_{cdtp,set}$	taucSPOC3	0.025	0.5-2.5x10 ⁻²	Pa
coëfficiënt voor flocculatie	n_{dt}	nDetC	0.0	1.0-2.0	-
versterkingsfactor flocculatie door chloride	$b_{cl,dt,set}$	EnhSedDetC	1.0	-	-
schakelaar voor uitzetten schuifspanning	-	tau	-1	-	-
voor overige parameters, zie slib					
<u>diffusie in bodem (C/N/P)</u>					
mol. Diffusiecoëfficiënt F4 bij 20 °C	D_{dtm20}	-	1.0 x 10 ⁻⁵	0.5-2 x10 ⁻⁵	m ² .d ⁻¹
temperatuurscoëfficiënt	D_{tdtm}	-	1.0	1.0-1.07	-
parameters bioirrigatie, zie transportprocessen					
<u>bioturbatie (C/N/P)</u>					
geen specifieke parameters, zie transportprocessen	-	-	-	-	-

1) d = dag

2) Vier fracties organische stof, elk gesplitst in de componenten C, N en P: F1 is de snel afbrekende fractie, F2 de langzaam afbrekende fractie, F3 de refractaire particulaire fractie, F4 de refractaire opgeloste fractie.

3) Namen zijn alleen voor C vermeld. Voor N en P worden namen gebruikt met C vervangen door N of P.

Tabel B.3 Invoerparameters voor GEM met betrekking tot algemene transportprocessen.

Omschrijving	Symbol in docum.	Naam in invoer	Waarde toep. VM	Grenzen van waarde	Eenheid
<u>algemeen</u>					
porositeit bodem	p	Poros	0.63	0.4-1.0	-
porositeit water	p	Poros	1.0	1.0	-
dikte grenslaag van water boven sediment	L_w	Diflen	0.001	0.5-2 x 10 ⁻³	m
<u>bioirrigatie</u>					
bioirrigatie dispersiecoëfficiënt bij 20 °C	D_{ir20}	DifCoef	0.5 x 10 ⁻³	0.5-2 x 10 ⁻³	m ² .d ⁻¹
temperatuurscoëfficiënt bioirrigatie	D_{tir}	-	1.1	1.047-1.2	-
<u>bioturbatie</u>					
bioturbatie dispersiecoëfficiënt bij 20 °C	D_{b20}	Turcoef	2.0 x 10 ⁻⁶	1-4.0 x 10 ⁻⁶	m ² .d ⁻¹
temperatuurscoëfficiënt bioturbatie	D_{tb}	-	1.1	1.047-1.2	-

Tabel B.4 Invoerparameters voor GEM met betrekking tot aan stikstof gerelateerde processen.

Omschrijving	Symbol in docum.	Naam in invoer	Waarde toep. VM	Grenzen van waarde	Eenheid ¹
<u>uitwisseling met algen en grazers</u> voor specifieke parameters organisch stikstof, zie algen en grazers	-	-	-	-	-
<u>productie detritus en mineralisatie</u> streefwaarde stoch. Constante N in detr. F2 streefwaarde stoch. Constante N in detr. F3 voor overige parameters organisch stikstof, zie algen, grazers en detritus	a _{dns} a _{dnpr}	a_dNps a_dNpr	0.07 0.03	0.06-0.08 0.01-0.05	gN.gC ⁻¹ gN.gC ⁻¹
<u>nitrificatie in water</u> eerste orde nitrificatie snelheid bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt half verzadigingsconstante kritische temperatuur kritische zuurstofconcentratie minimale zuurstofconcentratie voor k _{0nit} nulde orde nitrificatie snelheid	k _{1nit20} k _{tnit} K _{nit} T _{cnit} C _{c_{ox,nit}} C _{m_{ox,nit}} k _{0nit}	RcNit TcNit - CTNit COXNIT OOXNIT ZNit	0.1 1.07 0.5 2.0 1.0 1.0 0.0	0.05-0.2 1.07-1.2 0.5-2.0 0.0-5.0 0.0-2.0 0.0-2.0 -	d ⁻¹ - g.m ⁻³ °C g.m ⁻³ g.m ⁻³ g.m ⁻³ d ⁻¹
<u>nitrificatie in bodem</u> eerste orde nitrificatie snelheid bij 20 °C overige parameters zie hierboven	k _{1nit20}	RCNit	50	25-100	d ⁻¹
<u>denitrificatie in bodem</u> eerste orde denitrificatie snelheid bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt half verzadigingsconstante kritische temperatuur kritische zuurstofconcentratie maximale zuurstofconcentratie voor k _{0den} nulde orde denitrificatie snelheid	k _{1den20} k _{t_{den}} K _{nit} T _{c_{den}} C _{c_{ox,den}} C _{m_{ox,den}} k _{0den}	RcDen TcDen - CTDEN COXDEN OOXDEN ZDen	50 1.07 0.2 2.0 0.5 1.0 0.0	25-100 1.07-1.2 0.0-1.0 0.0-5.0 0.0-2.0 0.0-2.0 -	d ⁻¹ - g.m ⁻³ °C g.m ⁻³ g.m ⁻³ g.m ⁻³ d ⁻¹
<u>denitrificatie in water</u> eerste orde nitrificatie snelheid bij 20 °C overige parameters zie hierboven	k _{1den20}	RCDen	0.1	0.0-0.2	d ⁻¹
<u>bezinking, resuspensie, begraving en erosie</u> geen specifieke parameters voor organisch stikstof, zie detritus	-	-	-	-	-
<u>diffusie in bodem</u> mol. Diffusiecoëfficiënt ammonium bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt ammonium mol. Diffusiecoëfficiënt nitraat bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt nitraat parameters bioirrigatie, zie transportprocessen	D _{amm20} D _{t_{amm}} D _{nim20} D _{t_{nim}}	- - - -	9.0 x 10 ⁻⁵ 1.0 9.3 x 10 ⁻⁵ 1.0	- 1.0-1.07 - 1.0-1.07	m ² .d ⁻¹ - m ² .d ⁻¹ -
<u>bioturbatie</u> geen specifieke parameters voor organisch stikstof, zie transportprocessen	-	-	-	-	-

¹) g = gram N, d = dag

Tabel B.5 Invoerparameters voor GEM met betrekking tot aan fosfor gerelateerde processen.

Omschrijving	Symbool in docum.	Naam in invoer	Waarde toep. VM	Grenzen van waarde	Eenheid ¹
<u>uitwisseling met algen en grazers</u> voor specifieke parameters organisch fosfaat, zie algen en grazers	-	-	-	-	-
<u>productie detritus en mineralisatie</u> streefwaarde stoch. Constante P in detr. F2 streefwaarde stoch. Constante P in detr. F3 voor overige parameters organisch fosfaat, zie algen, grazers en detritus	a _{dps} a _{dppr}	a_dPps a_dPpr	0.007 0.003	0.6-0.8x10 ⁻² 0.1-0.5x10 ⁻²	gP.gC ⁻¹ gP.gC ⁻¹
<u>adsorptie en desorptie</u> eerste orde sorptiesnelheid bij 20 °C evenwichtsconstante sorptie bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt sorptieconstante stochiometrische constante kritische zuurstofconcentratie fractie reactief ijzer in slib (IM1) fractie geoxydeerd reactief ijzer parameter voor keuze functie	k _{sor20} K _{sor20} K _{t_sor} a C _{C_{ox,sor}} fr _{Fe} fr _{Feox} -	RCAdsPgem KadsP_20 TCKadsP a_OH-PO4 C _{C_{ox}} P _{sor} fr _{Fe} fr _{Feox} SWAdsp	10 3.8 1.0 0.2 0.0 2) 2) 2	5-20 2.0-6.0 1.0-1.07 0.1-0.3 0.0-2.0 5-25 x 10 ⁻³ 0.3-1.0 0-2	d ⁻¹ mol ^{*-1} .l ^{*-1} 1 - - g.m ⁻³ g.gDS - -
<u>precipitatie</u> eerste orde precipitatiesnelheid bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt evenwichtsgehalte opgelost fosfaat kritische zuurstofconcentratie, zie hierboven	k _{phop,pr20} k _{t_{phop,pr}} C _{pho,eqp}	RCprecP20 TCprecipP EqVivDisP	0.05 1.0 0.05	0.03-0.07 1.0-1.07 0.025-0.7	d ⁻¹ - g.m ⁻³
<u>oplossen</u> tweede orde oplosnelheid bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt kritische zuurstofconcentratie, zie hierboven	k _{phop,sol20} k _{t_{phop,sol}}	RCdissP20 TCdissolP	0.01 1.0	0.005-0.02 1.0-1.07	g ⁻¹ .m ³ .d ⁻¹ -
<u>bezinking, resuspensie, begraving en erosie</u> geen specifieke parameters voor organisch fosfaat, zie detritus	-	-	-	-	-
nulde orde bezinkingsnelheid geads. P kritische schuifspanning bezinking geads. P nulde orde bezinkingsnelheid geads. P kritische schuifspanning bezinking geads. P verder geen specifieke parameters voor geadsorbeerd en geprecipiteerd fosfaat, zie slib	v _{0_{phoa,set}} τ _{C_{phoa,set}} v _{0_{phop,set}} τ _{C_{phop,set}}	ZSedAAP TaucSAAP ZSedVIVP TaucSVIVP	0.0 0.08 0.0 0.08	- 0.05-0.25 - 0.05-0.25	g.m ⁻² .d ⁻¹ Pa g.m ⁻² .d ⁻¹ Pa
<u>diffusie in bodem</u> mol. Diffusiecoëfficiënt fosfaat bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt fosfaat parameters bioirrigatie, zie transportprocessen	D _{phosm20} Dt _{phosm}	- -	4.2 x 10 ⁻⁵ 1.0	- 1.0-1.07	m ² .d ⁻¹ -
<u>bioturbatie</u> geen specifieke parameters voor organisch, geadsorbeerd en geprecipiteerd fosfaat, zie transportprocessen	-	-	-	-	-

1) g = gram P, gram Fe of gram O₂, d = dag

2) afhankelijk van slibsamenstelling en van het segment (bodemplaat of waterlaag)

Tabel B.6 Invoerparameters voor GEM met betrekking tot aan silicium gerelateerde processen.

Omschrijving	Symbool in docum.	Naam in invoer	Waarde toep. VM	Grenzen van waarde	Eenheid ¹⁾
<u>uitwisseling met algen</u> voor specifieke parameters opaal silicaat, zie algen	-	-	-	-	-
<u>productie detritus en mineralisatie</u> voor specifieke parameters opaal silicaat, zie algen en detritus	-	-	-	-	-
<u>oplossen</u> tweede orde oplosnelheid bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt verzadigingsconcentratie	$k_{si,sol20}$ $k_{t_{si,sol}}$ $C_{si,sat}$	RCdisSi20 TCdisSi Ceq_disSi20	1.0×10^{-3} 1.0 10.0	0.1-10x10 ⁻³ 1.0-1.07 8.0-15.0	$g^{-1}.m^3.d^{-1}$ - $g.m^{-3}$
<u>bezinking, resuspensie, begraving en erosie</u> nulde orde bezinkingssnelheid kritische schuifspanning bezinking verder geen specifieke parameters voor opaal silicaat, zie transportprocessen	$v_{0sip,set}$ $\tau_{sip,set}$	ZSedAAP TaucSAAP	0.0 0.08	- 0.05-0.25	$g.m^{-2}.d^{-1}$ Pa
<u>diffusie in bodem</u> mol. Diffusiecoëfficiënt silicaat bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt silicaat parameters bioirrigatie, zie transportprocessen	D_{sim20} $D_{t_{sim}}$	- -	4.7×10^{-5} 1.0	- 1.0-1.07	$m^2.d^{-1}$ -
<u>bioturbatie</u> geen specifieke parameters voor opaal silicaat, zie transportprocessen	-	-	-	-	-

1) g = gram Si, d = dag

Tabel B.7: Invoerparameters voor GEM met betrekking tot aan zuurstof gerelateerde processen.

Omschrijving	Symbool in docum.	Naam in invoer	Waarde toep. VM	Grenzen van waarde	Eenheid ¹
<u>productie door algen</u> stochiometrische constante voor niet specifieke parameters, zie algen	$a_{ox,np}$	-	2.67	2.67-3.33	g.gC
<u>consumptie bij afbraak detritus</u> stochiometrische constante voor niet specifieke parameters, zie detritus	$a_{ox,con}$	-	2.67	2.67-3.33	g.gC
<u>consumptie bij graas</u> stochiometrische constante voor niet specifieke parameters, zie grazers	$a_{ox,csgr}$	-	2.67	2.67-3.33	g.gC
<u>consumptie bij nitrificatie</u> stochiometrische constante voor niet specifieke parameters, zie stikstof	$a_{ox,nit}$	-	4.57	-	g.gN
<u>reëeratie</u> eerste orde reëeratiesnelheid bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt verzadigingsconcentratie parameter voor keuze functie	k_{rear20} kt_{rear} $C_{ox,sat}$ -	KLRear TCRear - SWRear	functie 1.0 functie 9	- 1.0-1.07 - 0-9	d^{-1} - $g.m^{-3}$ -
<u>diffusie in bodem</u> mol. Diffusiecoëfficiënt zuurstof bij 20 °C temperatuurscoëfficiënt zuurstof parameters bioirrigatie, zie transportprocessen	D_{oxm20} Dt_{oxm}	- -	5.5×10^{-5} 1.0	- 1.0-1.07	$m^2.d^{-1}$ -

¹) g = gram O₂, d = dag

Tabel B.8 Invoerparameters voor GEM met betrekking tot aan slib (IM1) gerelateerde processen.

Omschrijving	Symbool in docum.	Naam in invoer	Waarde toep. VM	Grenzen van waarde	Eenheid ¹
bezinking					
valsnelheid bij 20 °C	$v_{1_{ss,set20}}$	V0SedIM1	6	1-30	m.d ⁻¹
temperatuurscoëfficiënt	$v_{t_{ss,set}}$	TcSed	1.0	1.0-1.7	-
nulde orde bezinkingssnelheid	$v_{0_{ss,set}}$	ZSedIM1	0.0	-	$g.m^{-2}.d^{-1}$
kritische schuifspanning	$\tau_{c_{ss,set}}$	taucSIM1	0.08	0.05-0.25	Pa
kritische slibconcentratie voor flocculatie	$C_{c_{ss}}$	CrSS	100	-	$g.m^{-3}$
kritische chlorideconcentratie voor flocc.	$C_{m_{cl}}$	SMax	5	-	$g.m^{-3}$
Coëfficiënt voor flocculatie	n	nIM1	0.0	1.0-2.0	-
versterkingsfactor flocculatie door chloride	$b_{cl,set}$	EnhSedIM1	1.0	-	-
schakelaar voor uitzetten schuifspanning	-	tau	-1	-	-
resuspensie					
eerste orde resuspensiesnelheid	$k_{1_{ss,res}}$	VResDM	0.0	-	d ⁻¹
nulde orde resuspensiesnelheid	$k_{0_{ss,res}}$	ZResDM	0.01	x 0.01-1 x10 ⁵	$g.m^{-2}.d^{-1}$
kritische schuifspanning sedimentlaag 1	$\tau_{c_{ss,res}}$	taucRS1DM	10 ⁵	0.1-0.5	Pa
kritische schuifspanning sedimentlaag 2	$\tau_{c_{ss,res}}$	taucRS1DM	0.2	0.1-0.5	Pa
schakelaar voor uitzetten schuifspanning, zie boven			0.5		
accretie en erosie					
schakelaar keuze vaste dikte bodemlagen verder geen specifieke parameters	-	SWSediment	0	0-1	-

¹⁾ g = gram DS, d = dag

²⁾ De ranges van de diverse parameters berusten op gegevens van een studie verricht op zwevend stof in het Ketelmeer (WL, 1993). De coëfficiënten met betrekking tot flocculatie zijn hier zo gekozen dat het proces niet optreedt.

C Belastingen van het Veerse Meer

Belastingen Veerse Meer																			
maand	Oosterschelde (zie wq_osch.xls)																		
	OXY	NH4	NO3	PO4	AAP	Si	Opal	POC1	POC2	POC3	PONI	PON2	PON3	POP1	POP2	POP3	DOC	DON	DOP
jan-95	9.87	0.137	0.658	0.044	0.010	0.736	0	0.584	0	0	0.20	0	0	0.010	0	0	1.64	0	0
feb-95	9.72	0.105	0.925	0.044	0.010	0.88	0	0.794	0	0	0.20	0	0	0.010	0	0	1.63	0	0
mrt-95	9.81	0.062	0.904	0.03	0.010	0.603	0	0.578	0	0	0.20	0	0	0.010	0	0	1.52	0	0
apr-95	11.29	0.012	0.624	0.005	0.015	0.048	0	1.016	0	0	0.20	0	0	0.015	0	0	1.78	0	0
mei-95	12.88	0.014	0.222	0.005	0.015	0.048	0	0.838	0	0	0.25	0	0	0.015	0	0	2.19	0	0
jun-95	8.47	0.059	0.164	0.021	0.020	0.086	0	1.439	0	0	0.30	0	0	0.020	0	0	1.39	0	0
jul-95	6.5	0.127	0.082	0.039	0.020	0.273	0	0.486	0	0	0.30	0	0	0.020	0	0	2.08	0	0
aug-95	7.97	0.007	0.005	0.035	0.020	0.042	0	0.458	0	0	0.30	0	0	0.020	0	0	2.17	0	0
sep-95	7.03	0.190	0.098	0.062	0.015	0.367	0	0.484	0	0	0.25	0	0	0.015	0	0	2.05	0	0
okt-95	7.58	0.164	0.167	0.059	0.015	0.158	0	0.484	0	0	0.20	0	0	0.015	0	0	1.86	0	0
nov-95	7.74	0.172	0.277	0.061	0.010	0.379	0	0.301	0	0	0.20	0	0	0.010	0	0	2.36	0	0
dec-95	9.3	0.155	0.385	0.053	0.010	0.432	0	0.444	0	0	0.20	0	0	0.010	0	0	1.57	0	0
Adriaan / Oosterland / Wilhelmina																			
jan-95	10.71	0.628	4.145	0.623	0.000	4	0	0.997	0	0	1.248	0	0	0.000	0	0	0	0	0
feb-95	12.79	0.440	5.651	0.523	0.000	4	0	0.834	0	0	1.361	0	0	0.000	0	0	0	0	0
mrt-95	14.87	0.251	7.156	0.422	0.000	4	0	0.670	0	0	1.473	0	0	0.000	0	0	0	0	0
apr-95	16.05	0.153	0.720	0.505	0.058	4	0	2.045	0	0	2.147	0	0	0.058	0	0	0	0	0
mei-95	12.78	0.309	2.765	0.627	0.179	4	0	4.364	0	0	4.539	0	0	0.179	0	0	0	0	0
jun-95	19.41	0.010	0.040	1.355	0.485	4	0	10.190	0	0	5.032	0	0	0.485	0	0	0	0	0
jul-95	7.98	0.036	0.014	2.776	0.035	4	0	7.571	0	0	4.514	0	0	0.035	0	0	0	0	0
aug-95	5.17	0.291	0.017	3.289	0.727	4	0	3.890	0	0	5.259	0	0	0.727	0	0	0	0	0
sep-95	9.07	0.078	0.042	2.556	4.450	4	0	7.709	0	0	3.838	0	0	4.450	0	0	0	0	0
okt-95	6.11	0.256	0.375	2.880	0.474	4	0	4.554	0	0	3.919	0	0	0.474	0	0	0	0	0
nov-95	8.14	0.994	1.031	1.596	0.218	4	0	0.762	0	0	1.816	0	0	0.218	0	0	0	0	0
dec-95	10.94	0.502	21.610	0.310	0.038	4	0	0.375	0	0	0.546	0	0	0.038	0	0	0	0	0
Willem / kleine polders																			
jan-95	11.5	0.600	11.000	0.4	0.000	4	0	0.637	0	0	0.90	0	0	0.000	0	0	0	0	0
feb-95	8.4	1.500	6.200	0.9	0.000	4	0	0.524	0	0	0.40	0	0	0.000	0	0	0	0	0
mrt-95	15.2	0.440	8.100	0.3	0.000	4	0	0.749	0	0	1.76	0	0	0.000	0	0	0	0	0
apr-95	14.8	0.090	0.220	0.4	0.075	4	0	2.697	0	0	2.41	0	0	0.075	0	0	0	0	0
mei-95	13.1	0.090	2.100	1.4	0.035	4	0	2.172	0	0	2.41	0	0	0.035	0	0	0	0	0
jun-95	0.9	2.400	0.050	5.8	0.000	4	0	2.921	0	0	2.90	0	0	0.000	0	0	0	0	0
jul-95	11.4	0.130	0.030	3.8	0.000	4	0	5.243	0	0	4.67	0	0	0.000	0	0	0	0	0
aug-95	2.8	0.300	0.050	4.4	0.900	4	0	1.985	0	0	3.20	0	0	0.900	0	0	0	0	0
sep-95	8.3	0.020	0.010	4.0	0.250	4	0	20.974	0	0	7.28	0	0	0.250	0	0	0	0	0
okt-95	11.9	0.570	1.200	2.2	0.310	4	0	3.745	0	0	5.03	0	0	0.310	0	0	0	0	0
nov-95	8.8	2.400	2.200	1.4	0.065	4	0	1.236	0	0	1.50	0	0	0.065	0	0	0	0	0
dec-95	10.6	0.770	21.000	0.2	0.065	4	0	0.375	0	0	0.73	0	0	0.065	0	0	0	0	0



WL | delft hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

