

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Modelonderzoek naar de effectiviteit van  
een doorlaatmiddel voor de waterkwaliteit  
van het Veerse Meer

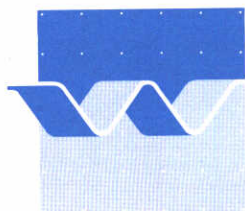
Verslag  
september 2000

**wl | delft hydraulics**

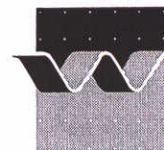
# Modelonderzoek naar de effectiviteit van een doorlaatmiddel voor de waterkwaliteit van het Veerse Meer

drs A.J. Nolte  
ir M.D.J.P. Bijvelds

Verslag  
september 2000



**wl | delft hydraulics**



OPDRACHTGEVER: DG Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ  
Postbus 207  
9750 AE HAREN

TITEL: Modelonderzoek naar de effectiviteit van een doorlaatmiddel voor de waterkwaliteit van het Veerse Meer

SAMENVATTING:

Het Veerse Meer kampt met een slechte waterkwaliteit (hoge nutriëntenconcentratie, voorjaarsbloeï van fytoplankton, excessieve groei van *Ulva* (zeesla) in de zomer, gedeeltelijke uitputting van zuurstof). Om de waterkwaliteit van het Veerse Meer te verbeteren is besloten tot de aanleg van een doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk. Het doorlaatmiddel bewerkstelligt een grotere uitwisseling met de Oosterschelde. De nu uitgevoerde studie heeft tot doel de effectiviteit van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk door middel van (3D) modelonderzoek na te gaan. De studie is hiermee een vervolg op eerder uitgevoerde 2DV studies. De volgende scenario's zijn doorgerekend:

- Nominaal Huidige situatie zonder doorlaatmiddel en met peilvariatie (-0,70 m NAP winterpeil, 0 m NAP zomerpeil);
- Scenario 1 Doorspoeling (10 m<sup>3</sup>/s) met een inlaat bij de Veersedijk en een uitlaat bij de Zandkreekdijk, met peilvariatie;
- Scenario 2 Uitwisseling met variabel peil d.m.v. doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk (50 m<sup>3</sup>/s winterpeil, 80 m<sup>3</sup>/s zomerpeil);
- Scenario 3 Uitwisseling met vast peil (80 m<sup>3</sup>/s);
- Scenario 4 Uitwisseling met variabel peil (50 m<sup>3</sup>/s winterpeil, 80 m<sup>3</sup>/s zomerpeil) en afleiding van polderwater De Piet.

Een 3-dimensionaal hydrodynamisch en waterkwaliteitsmodel is opgezet voor het Veerse Meer. Het hydrodynamisch model is gebaseerd op de vaste-lagen aanpak. Het waterkwaliteitsmodel is gebaseerd op het Generiek Ecologisch Model voor estuaria (GEM). Het model is toegepast voor 1995. Voor het waterkwaliteitsmodel heeft slechts een eerste afregeling plaatsgevonden.

De aanleg van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk leidt tot een verhoging van de saliniteit en een verlaging van de (totaal) stikstof- en fosfaatconcentratie in het Veerse Meer. Daarnaast neemt over het algemeen de gelaagdheid af ten opzichte van de huidige situatie. Doorspoelen (scenario 1) blijkt effectiever dan uitwisselen voor wat betreft de verversing van het Veerse Meer. De aanvullende maatregelen (vast peil, afleiding De Piet) hebben relatief weinig effect op de waterkwaliteit van het Veerse Meer. Geen van de scenario's bereikt een afname van de voorjaarsbloeï van fytoplankton of de groei van *Ulva*.

Het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk levert een positieve bijdrage aan het herstel van het Veerse Meer. Het meer blijft echter eutrofiëringsevoelig. Aanbevolen wordt het model verder te ontwikkelen zodat het flexibel ingezet kan worden voor het toekomstig beheer van het Veerse Meer. Tevens wordt aanbevolen de performance te verbeteren en meer aandacht te besteden aan de ecologische aspecten.

REFERENTIES:

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
01	A. Nolte/M. Bijvelds	14-7-2000	concept	L. Postma	T. Schilperoort
02	A. Nolte/M. Bijvelds	28-9-2000	definitief	F.J. Los	T. Schilperoort

PROJECTNUMMER:	Z2921							
TREFWOORDEN:	Veerse Meer, GEM, vaste lagen, Ulva							
INHOUD:	TEKST	47 55	TABELLEN	12	FIGUREN	78	APPENDICES	1
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF			

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1-1</b>
1.1	Introductie .....	1-1
1.2	Doelstelling .....	1-2
1.3	Leeswijzer .....	1-3
1.4	Verantwoording .....	1-4
<b>2</b>	<b>Modelopzet.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Modelschematisatie .....	2-1
2.2	Diepteverdeling.....	2-2
2.3	Waterbalans.....	2-6
<b>3</b>	<b>Modellering lichtklimaat.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Introductie .....	3-1
3.2	Modellering lichtklimaat in GEM .....	3-1
3.3	Vergelijking met eerdere studies .....	3-2
3.4	UITZICHT .....	3-2
<b>4</b>	<b>Kalibratie 3D hydrodynamica Veerse Meer.....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Beschrijving numeriek model.....	4-1
4.1.1	Beschrijving concept z-model .....	4-1
4.2	Kalibratie.....	4-3
4.2.1	Modelopzet .....	4-3
4.2.2	Resultaten.....	4-6
4.2.3	Conclusies .....	4-8
<b>5</b>	<b>Modelopzet en eerste afregeling 3D GEM Veerse Meer .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Modelopzet .....	5-1
5.1.1	Hydrodynamica.....	5-2
5.1.2	Meteorologische aansturing.....	5-2
5.1.3	Lozingen .....	5-2

	5.1.4	Modelparameters .....	5-6
	5.1.5	Graas .....	5-7
	5.2	Tentatieve afregeling .....	5-7
	5.2.1	Saliniteit, temperatuur en stratificatie.....	5-7
	5.2.2	Nutriënten .....	5-9
	5.2.3	Fytoplankton en <i>Ulva</i> .....	5-10
	5.2.4	Zuurstof.....	5-11
<b>6</b>		<b>Scenarioberekeningen 3D hydrodynamica.....</b>	<b>6-1</b>
	6.1	Definitie scenario's .....	6-1
	6.2	Resultaten.....	6-1
	6.3	Discussie .....	6-2
	6.3.1	Verzouting.....	6-2
	6.3.2	Afname van stratificatie.....	6-3
	6.3.3	Fluctuaties .....	6-3
	6.4	Conclusie.....	6-3
<b>7</b>		<b>Scenarioberekeningen 3D GEM Veerse Meer .....</b>	<b>7-1</b>
	7.1	Algemeen .....	7-1
	7.2	Saliniteit, temperatuur en stratificatie.....	7-2
	7.3	Nutriënten .....	7-3
	7.4	Fytoplankton en <i>Ulva</i> .....	7-4
	7.5	Zuurstof.....	7-5
<b>8</b>		<b>Discussie .....</b>	<b>8-1</b>
	8.1	Hydrodynamica.....	8-1
	8.2	Waterkwaliteit.....	8-2
	8.3	Effectiviteit van het doorlaatmiddel .....	8-2
	8.3.1	Aspecten.....	8-2
	8.3.2	Saliniteit .....	8-2
	8.3.3	Zuurstof.....	8-3
	8.3.4	Fytoplankton en <i>Ulva</i> .....	8-3
	8.3.5	Waterbalans en peil.....	8-4
	8.3.6	Beoordeling resultaten .....	8-4
<b>9</b>		<b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>9-1</b>
	9.1	Conclusies .....	9-1

9.2    Aanbevelingen ..... 9-2

# I Inleiding

## I.1 Introductie

Als onderdeel van de Deltawerken is het Veerse Meer afgesloten van de Oosterschelde en de Noordzee. Na de bouw van de Zandkreekdam in 1960 en de Veersedam in 1961 staat het Veerse Meer alleen via het sluizencomplex in de Zandkreekdam nog in verbinding met de Oosterschelde. Door afvoer van polderwater is de voorheen zoute zee-arm brak geworden met een gemiddelde saliniteit van 15 tot 20 ‰. De specifieke geometrie van het meer wordt gekenmerkt door een diepe geul, en ondiepe platen en slikken, waarin zich putten tot circa 23 meter diep bevinden. In samenhang met het hydrologisch en meteorologisch regime resulteert dat in een gestratificeerd systeem gedurende het grootste deel van het jaar.

Sinds de afsluiting is de waterkwaliteit van het meer verslechterd. Eutrofiëring heeft onder andere geleid tot uitbundige groei van *Ulva* (zeesla) en hoge concentraties fytoplankton tijdens de voorjaarsbloei. Door het hydrologisch regime, waarbij zout Oosterschelde water dat bij de Zandkreeksluis in gelaten wordt, via de diepe delen naar het westen stroomt, ontstaan een zoute onderlaag onder een door polderafwatering verzoete oppervlaktelaag. De spronglaag bevindt zich op 5 tot 7 meter diepte. In combinatie met het afsterven van *Ulva* en fytoplankton kan in diepe delen van het meer zuurstofloosheid optreden.

In het licht van de (mogelijke) overdracht van het beheer van het Veerse Meer van het Rijk naar de Provincie Zeeland worden maatregelen genomen om de waterkwaliteit te verbeteren. Besloten is tot de aanleg van een doorlaatmiddel in de Zandkreekdam, waardoor een verbinding tot stand wordt gebracht tussen het Veerse Meer en de Oosterschelde. Een bijkomende maatregel is mogelijk het handhaven van een vast peil op 0 m NAP, in tegenstelling tot het huidige variabele peil van -0,70 m NAP in de herfst- en wintermaanden en 0 m NAP in de lente- en zomermaanden.

Door RIKZ en WL | Delft Hydraulics is in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Zeeland een eerdere studie uitgevoerd naar de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen op de waterkwaliteit (WL | Delft Hydraulics, 1999b). In deze studie werd gebruik gemaakt van het STRESS model voor de waterbeweging en van het GEM Veerse Meer model (GEM = Generiek Ecologisch Model voor estuaria) voor de waterkwaliteit. In samenwerking met RIKZ is het instrumentarium opgezet in het kader van de GEM toepassing Veerse Meer (WL | Delft Hydraulics, 1998).

Uit de studie naar de effectiviteit van het doorlaatmiddel werd geconcludeerd dat het doorlaatmiddel niet per definitie leidde tot een verbetering van de waterkwaliteit. Zo zou in het westelijk deel van het meer ter hoogte van de Veersedam de mate van stratificatie en daarmee samenhangend het risico op zuurstofloosheid toenemen. In het oostelijk deel van het meer trad wel een verbetering van de zuurstofconcentratie op. Daarnaast kwam uit de modelstudie naar voren dat het *Ulva* gehalte zou toenemen wanneer het meer zouter zou

worden. De oorzaak was dat de verbetering van het lichtklimaat<sup>1</sup> belangrijker was dan de afname van de nutriëntconcentratie<sup>2</sup>.

Gezien de relatief eenvoudige modelopzet (STRESS is een 2DV model) en de daardoor geïntroduceerde onzekerheid in de modeluitkomsten, werd een meer gedetailleerde beschouwing van de effectiviteit van het doorlaatmiddel op de waterkwaliteit wenselijk geacht. WL | Delft Hydraulics heeft vervolgens in opdracht van RIKZ voor Rijkswaterstaat Directie Zeeland een 3-dimensionaal hydrodynamisch en waterkwaliteitsmodel opgezet. De 3-dimensionale toepassing onderscheidt zich van de 2-dimensionale STRESS toepassing door een groter detail in het horizontale vlak (zowel in de lengte- als in de breedterichting van het meer). De detaillering in de verticaal is vergelijkbaar.

## 1.2 Doelstelling

De doelstelling van de onderhavige studie is:

- *Opzetten en kalibreren van een 3-dimensionaal hydrodynamisch en waterkwaliteitsmodel van het Veerse Meer,*
- *het uitvoeren van een viertal scenario-berekeningen aangaande de effectiviteit van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk op de waterkwaliteit van het Veerse Meer, en*
- *het adviseren omtrent de effectiviteit van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk.*

Het 3-dimensionaal model van het Veerse Meer is de eerste toepassing van het zogenaamde 'vaste-lagen' concept dat recentelijk in Delft3D-FLOW is ontwikkeld. De specifieke geometrie van het Veerse Meer (met name steile bodemgradiënten) maken de standaard Delft3D-FLOW aanpak ongeschikt, terwijl het vaste-lagen concept in deze situatie goed toepasbaar is (zie hoofdstuk 4 voor uitleg van de concepten).

Een viertal scenario's zijn gedefinieerd in overleg met RIKZ en Directie Zeeland:

1. doorspoeling van het Veerse Meer door middel van de 'Zoute Kreek' optie;
2. uitwisseling door middel van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk bij een variabel peil;
3. uitwisseling door middel van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk bij een vast peil;
4. uitwisseling door middel van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdijk bij een variabel peil tegelijk met het afleiden van poldergemaal De Piet.

ad 1.

Het idee is geopperd dat doorspoelen van het Veerse Meer (dat wil zeggen het inlaten van water aan de ene kant en het uitlaten van water aan de andere kant van het meer) een beter alternatief zou zijn dan het uitwisselen van water aan een kant van het meer. Hiertoe zou water ter hoogte van de Veersedijk ingelaten worden en bij de Zandkreeksluis weer uitgelaten worden. Het doorspoeldebiet wordt in deze studie gelijk genomen aan 10 m<sup>3</sup>/s.

---

<sup>1</sup> *Zeewater bevat minder opgelost organisch materiaal dan zoet water. Aangezien opgelost organisch materiaal (o.a. humus) voor een belangrijk deel kan bijdragen aan de uitdoving van licht in de waterkolom, resulteert een afname van de concentratie opgelost organisch materiaal in een verbetering van het lichtklimaat (ervan uitgaande dat andere bijdragen aan de lichtextinctie gelijk blijven).*



ad 2.

De maximale capaciteit van het doorlaatmiddel is berekend op 100 m<sup>3</sup>/s en is afhankelijk van het waterstandsverschil tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer. Bij het zomerpeil van 0 m NAP is de capaciteit groter dan bij het winterpeil van -0,70 m NAP. Voor een representatief getij komt de capaciteit neer op 80 m<sup>3</sup>/s bij zomerpeil en 50 m<sup>3</sup>/s bij winterpeil. Dit houdt in dat gedurende de vloedperiode (6 uur) 80 dan wel 50 m<sup>3</sup>/s door het doorlaatmiddel het Veerse Meer instroomt. Tijdens eb (eveneens een 6 uur periode) stroomt 80 dan wel 50 m<sup>3</sup>/s door het doorlaatmiddel het meer uit naar de Oosterschelde.

ad 3.

Ieder jaar wordt eind maart het peil van het Veerse Meer verhoogt van -0,70 m NAP naar 0 m NAP. Dit gebeurt door via de Zandkreeksluis water uit de Oosterschelde in te laten. Het totale ingelaten water bedraagt 10 tot 15 miljoen m<sup>3</sup>. Dit komt overeen met 10 tot 15 % van het totale volume van het Veerse Meer ( $\pm 100$  miljoen m<sup>3</sup>). Het zwaardere, zoute water beweegt zich langs de bodem en vult de diepe delen van het meer. De peilopzet induceert derhalve een stratificatie die een groot deel van het jaar in stand blijft. Aanpassing van het regime voor peilopzet is mogelijk gunstig voor de ontwikkeling van de waterkwaliteit. In scenario 3 vindt geen peilopzet plaats en wordt het peil gedurende het hele jaar gehandhaafd op 0 m NAP. Het bijbehorende uitwisseldebiet is 80 m<sup>3</sup>/s.

ad 4.

Uit de voorgaande studie (WL | Delft Hydraulics, 1999) bleek dat zelfs met uitwisseling de nutriëntconcentratie in het Veerse Meer dermate hoog bleef, dat groei van *Ulva* en fytoplankton niet gelimiteerd werd. De verbetering van het lichtklimaat leidde in de modelstudie zelfs tot een toename van *Ulva* en fytoplankton. Het afleiden van nutriëntrijk polderwater resulteert logischerwijs in een afname van de nutriëntconcentratie en, indien de nutriëntconcentratie voldoende daalt, in een afname van *Ulva* en fytoplankton. In scenario 4 wordt het polderwater van het gemaal De Piet niet meer uitgeslagen op het Veerse Meer. Er is gekozen voor dit gemaal, omdat hiervoor het meest realistische alternatief aanwezig is.

### 1.3 Leeswijzer

Het rapport is opgesplitst in de volgende hoofdstukken:

Hoofdstuk 2	Beschrijving van de schematisatie van het 3-dimensionale model, overzicht van de waterbalans
Hoofdstuk 3	Beschouwing van de modellering van het lichtklimaat
Hoofdstuk 4	Modelopzet en kalibratie hydrodynamisch model
Hoofdstuk 5	Modelopzet en eerste afregeling waterkwaliteitsmodel (GEM)
Hoofdstuk 6	Resultaten scenarioberekeningen hydrodynamica
Hoofdstuk 7	Resultaten scenarioberekeningen waterkwaliteit
Hoofdstuk 8	Discussie
Hoofdstuk 9	Conclusies en aanbevelingen

---

<sup>2</sup> Zeewater bevat over het algemeen minder nutriënten dan zoet water. Wanneer het meer zouter wordt, neemt bij conservatieve menging de nutriëntconcentratie in het meer af.

## 1.4 Verantwoording

Onderhavige studie is formeel uitgevoerd in opdracht van RIKZ. Rijkswaterstaat Directie Zeeland was de directe belanghebbende. Bij WL | Delft Hydraulics zijn de werkzaamheden uitgevoerd door Marco Bijvelds (3D hydrodynamica), Sharon Tatman (extinctie) en Arno Nolte (3D GEM). Diverse anderen zijn eveneens bij het project betrokken geweest onder andere Jan van Beek (koppeling hydrodynamica - GEM, technische GEM zaken) en Leo Postma (koppeling hydrodynamica). Jan van Kester, Hans Los, Hans van Pagee (thans RIKZ Middelburg) en Marinus Bokhorst (RIKZ Haren) stonden voor de inhoudelijke begeleiding.

## 2 Modelopzet

### 2.1 Modelschematisatie

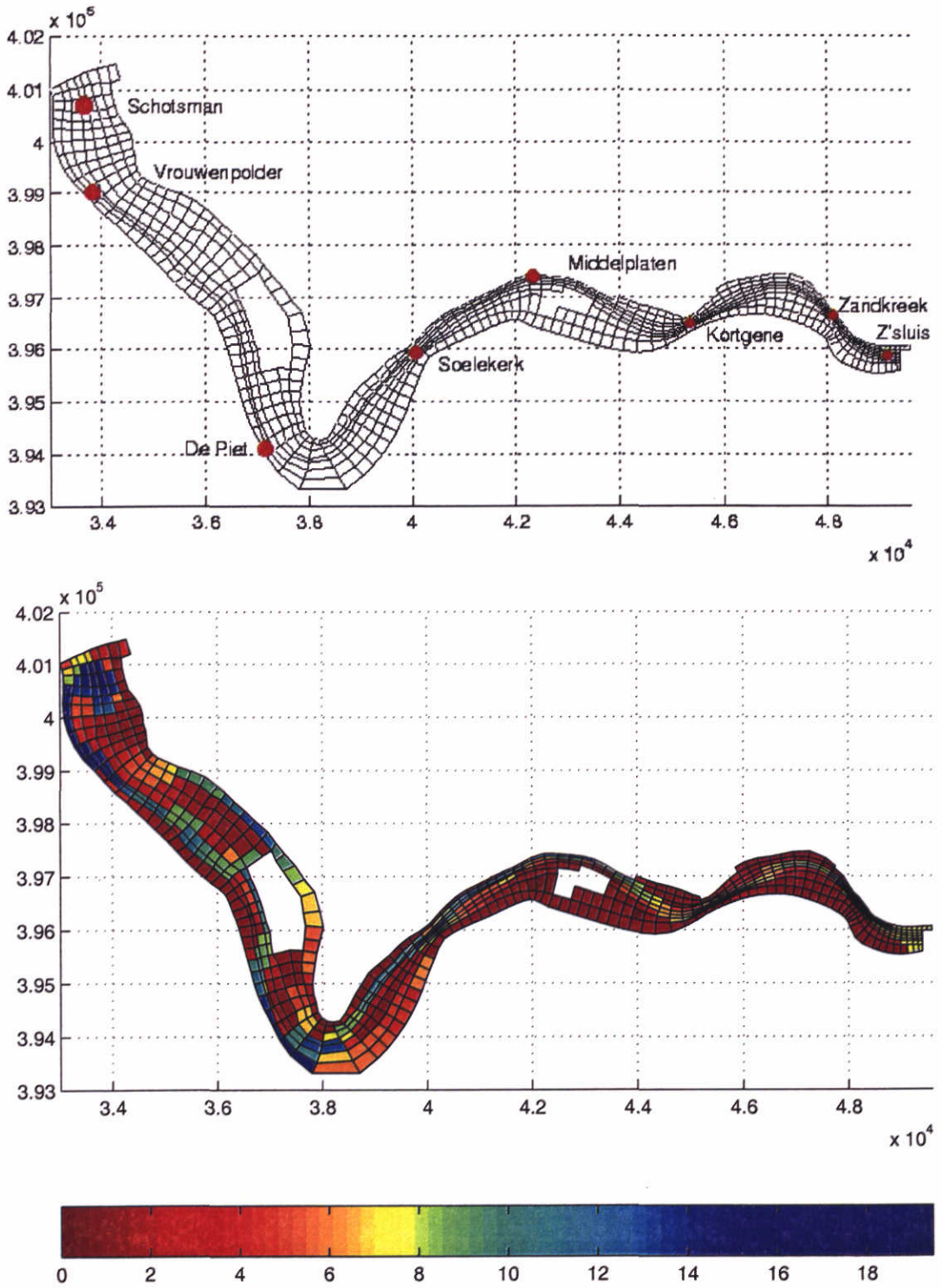
Voor de modelschematisatie is gebruik gemaakt van een aantal informatiebronnen:

1. Kustlijn Veerse Meer (0 m NAP) aangeleverd door de Rijkswaterstaat Directie Zeeland. (De kustlijn maakt onderdeel uit van een GIS bestand);
2. Nautische kaart van het Veerse Meer (uitgave Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine, editie 1999);
3. Dieptepeilingen Veerse Meer 1990 aangeleverd door de meetdienst Zeeland.

Aan de modelschematisatie liggen de volgende overwegingen ten grondslag:

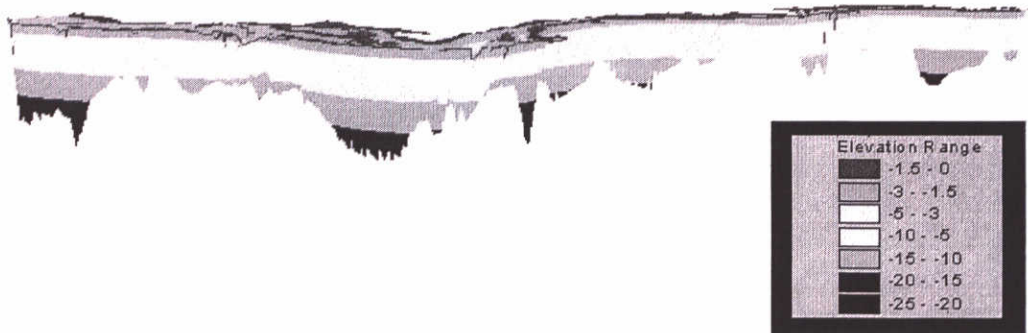
1. Voldoende horizontaal detail (zowel in de lengte- als de breedterichting); Voldoende verticaal detail;
2. Goede representatie van diepteverdeling (het geulsysteem met zijn diepe putten in tegenstelling tot de ondiepe delen);
3. Rekeningtijden: het aantal segmenten dient zo klein mogelijk te zijn om de rekestijden zo kort mogelijk te houden;

De genoemde overwegingen hebben geleid tot de (horizontale) schematisatie zoals weergegeven in figuur 2.1. In de lengterichting van het meer heeft het modelgrid 115 segmenten, die regelmatig over de lengte verdeeld zijn. In de breedterichting heeft het modelgrid maximaal 8 segmenten, hoewel voor het grootste deel volstaan wordt met 7 segmenten. In het oostelijk deel van het meer waar de geul tegen de noordelijke kustlijn ligt, is de schematisatie in de breedterichting zodanig gekozen dat de geul met optimaal detail weergegeven wordt. In het westelijk deel waar een twee-geulen systeem bestaat, is de schematisatie noodgedwongen minder gedetailleerd. De geul ten oosten van de Haringvreter wordt slechts door een segment weergegeven.



Figuur 2.1 Horizontaal rekenrooster (boven) en het diepteveld (onder) voor het Veerse Meer model, inclusief de positie van de monitorstations. De diepte van het meer is aangegeven in meters.

peil van 0 m NAP) ontbreken in de dieptemetingen. Deze waarden zijn op basis van de nautische kaart ingeschat dan wel is een uniforme diepte van -0,5 of -1 m NAP gehanteerd. De bathymetrie van het Veerse Meer wordt in Figuur 2.2 in een 3-dimensionaal beeld weergegeven. Het beeld is in de verticaal met een factor 50 geschaald. Duidelijk is de opeenvolging van putten te zien.



Figuur 2.2 3-dimensionaal zijaanzicht van het Veerse Meer. Men kijkt vanuit het zuiden tegen het meer aan. Aan het rechter uiteinde ligt de Zandkreekdam, aan het linker uiteinde ligt de Veersedam.

Gezien het grote aantal metingen is met behulp van GIS een goede berekening te geven van zowel het totaal volume van het meer als van het volume van de verschillende putten. Bovendien is de verdeling van het volume over de diepte te berekenen. Tabel 2.1 geeft een overzicht.

Tabel 2.1 Volume Veerse Meer per put per laag afgeleid uit dieptemetingen

Diepte (m NAP)	Zandkreek	Kortgene	Middelplaten	Soelekerk	De Piet	Vrouwenpolder	Schotsman	Haringvliet	Totaal	% van Totaal
0 tot -1	1,775,915	1,784,046	1,630,518	1,923,808	3,762,470	3,021,459	1,277,172	3,765,687	18,941,075	18.9%
-1 tot -2	1,004,509	1,152,390	877,424	1,640,753	3,156,916	2,848,527	1,055,908	2,884,457	14,620,884	14.6%
-2 tot -3	699,877	898,039	759,155	1,510,994	2,757,320	2,636,015	872,875	2,287,580	12,421,855	12.4%
-3 tot -4	634,153	818,090	711,673	1,434,041	2,419,390	2,347,057	764,383	1,717,477	10,846,264	10.8%
-4 tot -5	580,474	703,041	671,490	1,353,465	2,115,160	1,990,744	664,181	1,285,932	9,364,488	9.3%
-5 tot -6	511,057	530,291	623,662	1,247,448	1,868,643	1,679,104	588,110	910,673	7,958,988	7.9%
-6 tot -7	385,275	303,524	529,229	1,050,601	1,548,671	1,454,707	543,860	636,728	6,452,595	6.4%
-7 tot -8	306,714	206,509	421,678	859,046	1,169,677	1,239,455	497,234	474,429	5,174,742	5.2%
-8 tot -9	225,594	145,453	338,364	628,699	819,197	1,007,129	452,577	334,170	3,951,182	3.9%
-9 tot -10	152,352	85,532	234,550	432,745	550,884	823,594	392,353	218,403	2,890,412	2.9%
-10 tot -11	117,111	47,709	158,652	315,197	378,466	692,481	327,824	127,098	2,164,539	2.2%
-11 tot -12	90,511	28,861	107,591	195,535	275,325	573,100	281,216	69,067	1,621,206	1.6%
-12 tot -13	67,419	15,779	71,441	117,188	203,502	461,360	228,433	37,872	1,202,994	1.2%
-13 tot -14	48,955	6,433	45,859	85,646	164,736	365,498	181,797	16,175	915,100	0.91%
-14 tot -15	33,461	24	20,306	64,707	129,127	271,875	127,265	3,645	650,411	0.65%
-15 tot -16	23,335	0	5,645	44,162	94,486	194,892	76,513	101	439,135	0.44%
-16 tot -17	14,249	0	139	30,598	62,132	129,367	36,813	0	273,298	0.27%
-17 tot -18	4,796	0	0	24,692	31,108	75,794	14,683	0	151,073	0.15%
-18 tot -19	0	0	0	19,785	10,458	40,020	3,524	0	73,787	0.07%
-19 tot -20	0	0	0	13,100	1,045	19,902	48	0	34,095	0.03%
-20 tot -21	0	0	0	9,367	2	8,705	0	0	18,074	0.02%
-21 tot -22	0	0	0	5,544	0	2,745	0	0	8,289	0.01%
-22 tot -23	0	0	0	1,507	0	796	0	0	2,303	0.00%
-23 tot -24	0	0	0	23	0	76	0	0	100	0.00%
<b>Totaal</b>	<b>6,675,757</b>	<b>6,725,723</b>	<b>7,207,377</b>	<b>13,008,651</b>	<b>21,518,715</b>	<b>21,884,404</b>	<b>8,386,768</b>	<b>14,769,495</b>	<b>100,176,889</b>	<b>100.0%</b>

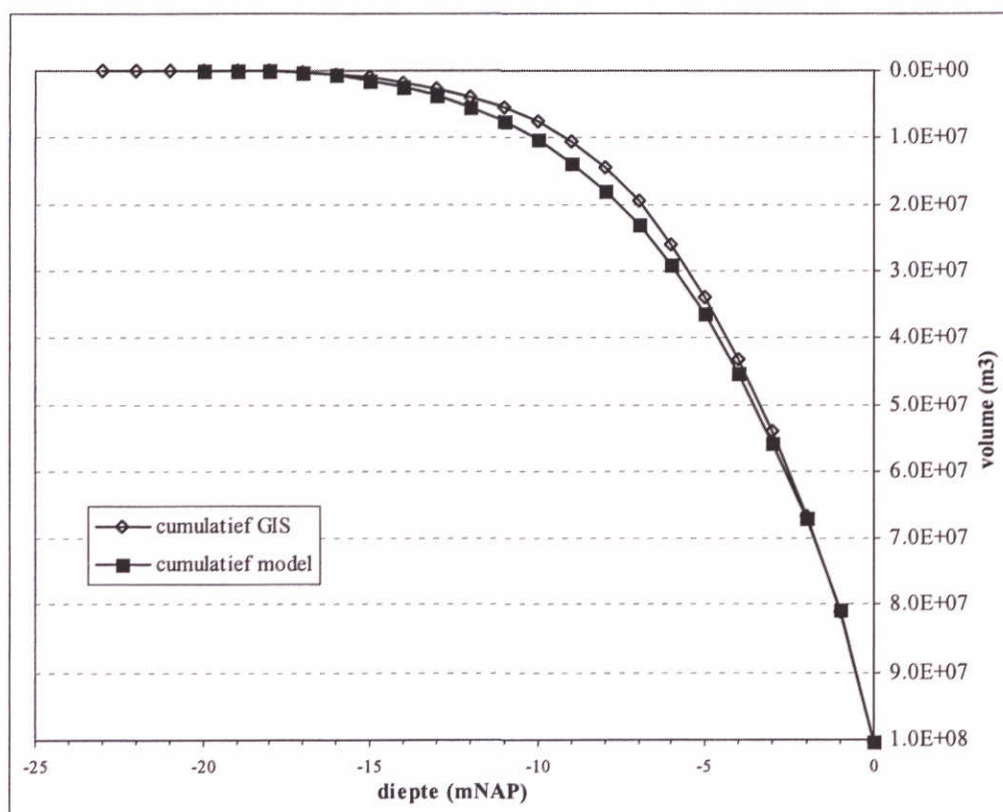
Tabel 2.2 Volume Veerse Meer per put per laag in modeltoepassing

Diepte (m NAP)	Zandkreek	Kortgene	Middeiplaten	Soelekerke	De Piet	Vrouwepolder	Schotsman	Haringvretter	Totaal	% van Totaal
0 tot -1	2,028,231	1,681,918	1,251,671	2,667,845	3,281,097	3,450,766	1,691,663	3,342,505	19,395,697	19.4%
-1 tot -2	1,006,048	1,078,375	448,207	1,739,506	2,802,395	2,979,058	1,229,292	2,638,930	13,921,811	13.9%
-2 tot -3	698,568	758,040	279,527	1,392,215	2,542,353	2,485,088	956,367	2,038,807	11,150,966	11.1%
-3 tot -4	664,486	629,621	270,618	1,260,593	2,425,967	2,222,454	896,668	1,918,676	10,289,085	10.3%
-4 tot -5	586,886	520,576	254,523	1,107,027	2,150,275	1,861,113	728,746	1,862,077	9,071,223	9.1%
-5 tot -6	522,381	419,708	198,877	908,339	1,506,844	1,563,378	624,692	1,411,099	7,155,319	7.1%
-6 tot -7	434,678	313,652	160,406	818,017	1,105,400	1,491,487	580,782	1,067,821	5,972,243	6.0%
-7 tot -8	302,921	222,594	148,196	743,920	987,078	1,491,487	509,458	726,596	5,132,250	5.1%
-8 tot -9	199,006	120,990	128,326	633,088	894,494	1,357,269	458,523	580,333	4,372,028	4.4%
-9 tot -10	137,223	69,295	91,281	537,245	773,443	1,071,641	436,834	305,048	3,422,010	3.4%
-10 tot -11	106,569	31,364	71,661	353,121	609,234	910,703	436,834	199,349	2,718,836	2.7%
-11 tot -12	76,440	14,899	60,926	228,722	478,130	680,722	432,603	135,795	2,108,236	2.1%
-12 tot -13	58,510	0	53,821	174,201	405,631	597,371	408,627	85,034	1,783,196	1.8%
-13 tot -14	40,482	0	31,140	108,454	282,863	516,631	348,787	22,430	1,350,786	1.3%
-14 tot -15	24,437	0	5,441	75,674	193,056	418,772	201,467	0	918,847	0.92%
-15 tot -16	2,539	0	0	73,609	185,404	320,910	140,995	0	723,457	0.72%
-16 tot -17	0	0	0	49,994	90,456	223,388	67,824	0	431,662	0.43%
-17 tot -18	0	0	0	49,994	8,365	145,857	0	0	204,216	0.20%
-18 tot -19	0	0	0	49,994	0	29,942	0	0	79,936	0.08%
-19 tot -20	0	0	0	22,797	0	0	0	0	22,797	0.02%
-20 tot -21	0	0	0	1,600	0	0	0	0	1,600	0.00%
-21 tot -22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
-22 tot -23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
-23 tot -24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00%
<b>Totaal</b>									<b>100,226,202</b>	<b>100.0%</b>

Het totaal volume van het Veerse Meer in de schematisatie bedraagt 100 miljoen m<sup>3</sup>. Dit komt goed overeen met het volume dat vermeld wordt in (RIKZ, 1998). Uit tabel 2.1 blijkt dat het grootste deel van het volume in de bovenste waterlagen zit (66% in de bovenste 5 meter). Eveneens blijkt dat het volume van de diepe delen (meer dan 15 meter diep) slechts 1% van het totaal volume uitmaakt.

In het model zijn het volume en de diepteverdeling belangrijke grootheden. Het totaal volume dient goed te zijn, omdat dit bepalend is voor de verblijftijd in het meer hetgeen weer van belang is voor de effectiviteit van doorspoelen of uitwisselen. De diepteverdeling is van belang voor een juiste representatie van het transport van Oosterschelde water door de geul. Hoe ver het zoute water doorloopt na inlaat bij de Zandkreeksluis, hangt in belangrijke mate af van het volume in de diepe delen.

De diepteverdeling zoals toegepast in het model, is weergegeven in tabel 2.2. Een vergelijking tussen GIS en het model wordt gemaakt in figuur 2.3. Vanwege het geringe volume zijn in het model de onderste lagen weggelaten.



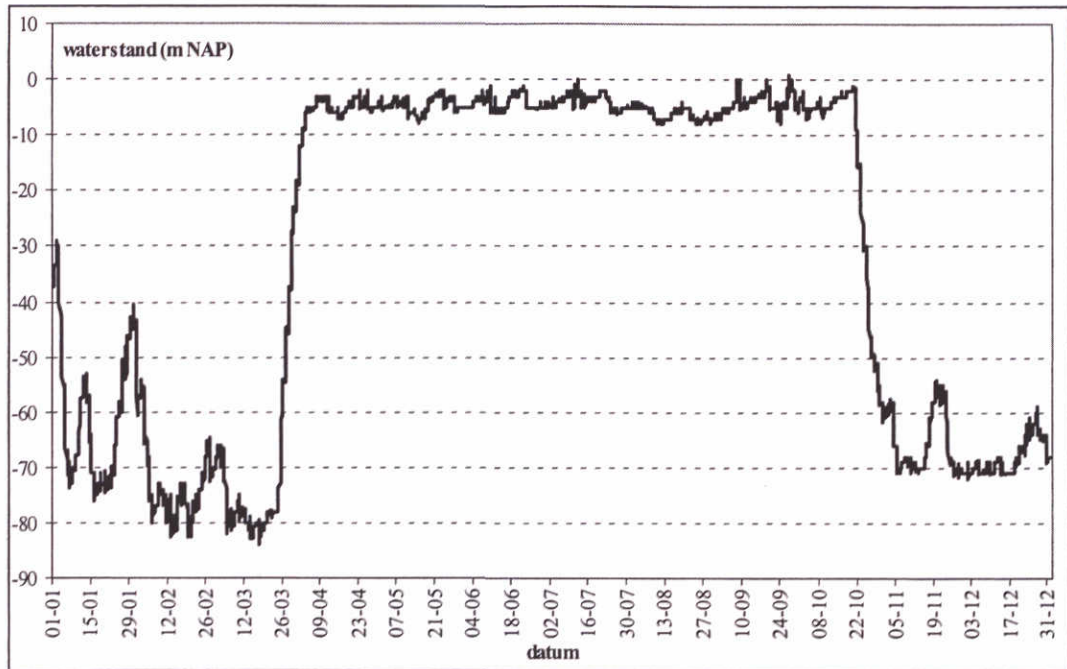
Figuur 2.3 Cumulatief volume per diepteklasse (y-as geeft het volume weer dat zich onder een bepaalde diepte bevindt)

Figuur 2.3 geeft aan dat de volumeverdeling in het model en GIS goed overeenkomen. Afwijkingen zijn het gevolg van het schematiseren van de diepte waardoor een enkel segment een uniforme diepte heeft. Wanneer in het gebied steile bodemgradiënten voorkomen, zoals in het Veerse Meer, is een grote detaillering nodig om een dergelijke gradiënt voldoende nauwkeurig weer te geven. De noodzaak om het aantal segmenten te beperken (en daarmee de rekentijd), resulteert in een relatief grove schematisering die in de diepe delen, waar steile bodemgradiënten optreden, zorgt voor een overschatting van het volume in de diepe delen.

## 2.3 Waterbalans

De waterbalans wordt bepaald door alle in- en uitgaande debieten. Peilvariatie treedt op wanneer de in- en uitgaande debieten ongelijk zijn. Aangezien het Veerse Meer geen open verbinding met de Oosterschelde heeft en het meer derhalve als een gesloten systeem kan worden beschouwd (in modeltermen: het meer heeft geen open randen), is de waterbalans bepalend voor het waterpeil. Het waterpeil zoals gemeten in 1995 (station VM4 ligt in het middengedeelte van het Veerse Meer), is gegeven in figuur 2.4.





Figuur 2.4 Waterstand Veerse Meer bij locatie VM4 (midden gedeelte van het meer) in 1995

Er zijn 3 uitgaande debieten en 13 ingaande debieten gedefinieerd. Daarnaast wordt een extra debiet toegepast welke de uitwisseling van zout tussen de Oosterschelde en het Veerse Meer representeert. De in- en uitlaten worden hieronder vermeld:

*Uitgaande debieten:*

1. Zandkreeksluis - water dat door het schutten van het Veerse Meer naar de Oosterschelde wordt gebracht;
2. Verdamping;
3. Spuidebieten - om het peil te handhaven wordt bij de Zandkreeksluis water afgelaten naar de Oosterschelde;

*Ingaande debieten:*

1. Zandkreeksluis - water dat door het schutten van de Oosterschelde naar het Veerse Meer wordt gebracht;
2. Veerse Sluis - uitstroom van het Kanaal door Walcheren. Omdat het Kanaal door Walcheren een hoger peil heeft dan het Veerse Meer, stroomt er alleen water van het Kanaal door Walcheren naar het Veerse Meer (door middel van schutbewegingen van de Veerse Sluis). Er is geen omgekeerd transport;
3. Neerslag;
4. Afstroming;
5. Poldergemalen - er zijn negen poldergemalen die water uitslaan naar het Veerse Meer:
  - Kleverskerke
  - Oostwateringe
  - Jacoba
  - Willem
  - Adriaan
  - Wilhelmina

- Oosterland
  - De Piet
  - Overige (kleine) polders
6. Peilverhoging - eind maart wordt de waterstand op het zomerpeil van 0 m NAP gebracht. Hiervoor wordt via de Zandkreeksluis water uit de Oosterschelde ingelaten op het Veerse Meer.

#### *Uitwisselingsdebiet*

1. Zandkreeksluis - als gevolg van dichtheidsverschillen tussen het zoute Oosterschelde water en het brakke Veerse Meer en de daardoor optredende dichtheidsstromen, treedt een additionele uitwisseling op in de Zandkreeksluis. Hierbij is het uitgaande debiet gelijk aan het ingaande debiet. Deze uitwisseling heeft dus geen effect op het waterpeil.

De maandelijkse grootte van de debieten wordt weergegeven in tabel 2.3 De gegevens zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat Directie Zeeland. Voor een beter overzicht zijn de poldergemalen gesommeerd.

Tabel 2.3 Waterbalans Veerse Meer 1995 - in- en uitgaande debieten

Uitgaande debieten (in m3/maand)								Uitwisseling (in m3/maand)
	Zandkreeksluis	verdamping	spuidebiet	totaal uit				
januari	118505	187680	29828451	30134636				1493964
februari	105622	309720	21747485	22162827				1719468
maart	164714	846400	8605321	9616435				2076516
april	557899	1149720	2655557	4363176				4040280
mei	775220	2007990	2443103	5226313				5614110
juni	832308	1919550	2353943	5105801				6027534
juli	897180	2444160	3255701	6597041				6497334
augustus	904222	2206610		3110832				6168474
september	734121	1021090	5285644	7040855				5008068
oktober	500170	711480	16718824	17930474				4237596
november	213162	258830	12502568	12974560				2499336
december	125673	112770	11214092	11452535				1484568
Ingaande debieten (in m3/maand)								
	Zandkreeksluis	Veerse sluis	Neerslag	Afstroming	Polders	Peilverhoging	totaal in	
januari	387115	2354890	2492740	2729391	16161679	0	24125815	
februari	506870	2234126	1629483	1759957	11358402	0	17488838	
maart	538066	2396299	1138077	722717	4218131	15364560	24377850	
april	734513	2288267	642637	0	2025484	1886137	7577038	
mei	1020631	2737536	691862	0	978765	0	5428794	
juni	1095790	2684628	1176433	23843	934017	0	5914711	
juli	1181199	3243300	1438014	0	693873	0	6556386	
augustus	1071880	2967284	614420	0	204420	0	4858004	
september	870239	2413792	0	2248723	2098894	0	7631648	
oktober	854269	2521290	427064	179	1753085	0	5555888	
november	676704	2404570	1303345	1357359	3185585	0	8927563	
december	419600	2206005	980115	1101060	3553381	0	8260161	

Een vergelijking van de gesommeerde in- en uitgaande debieten leert dat de waterbalans niet sluitend is. Uitgaande van een wateroppervlak van 2000 ha, resulteert een verschil in de waterbalans van 1 miljoen m<sup>3</sup> in een peilverandering van 5 cm. De waterstand gebaseerd op de waterbalans in tabel 2.3 wordt weergegeven in tabel 2.4.

Tabel 2.4 Berekende en gemeten waterstand 1995 aan het eind van de maand (met waterstand op 1 januari 1995 gelijk aan -0,37 m NAP)

	<i>totaal in</i>	<i>totaal uit</i>	<i>verschil</i>	<i>waterstand aan het eind van de maand (m NAP)</i>	<i>gemeten waterstand aan het eind van de maand (m NAP)</i>
januari	24125815	30134636	-6008821	-0.67	-0.60
februari	17488838	22162827	-4673989	-0.90	-0.70
maart	24377850	9616435	14761415	-0.17	-0.19
april	7577038	4363176	3213862	-0.01	-0.04
mei	5428794	5226313	202481	0.00	-0.05
juni	5914711	5105801	808910	0.05	-0.05
juli	6556386	6597041	-40655	0.04	-0.05
augustus	4858004	3110832	1747172	0.13	-0.07
september	10621858	7040855	3581004	0.31	-0.04
oktober	5555888	17930474	-12374586	-0.31	-0.61
november	8927563	12974560	-4046997	-0.51	-0.71
december	8260161	11452535	-3192374	-0.67	-0.68

De winter van 1995 was erg nat, hetgeen terug te zien is in de hoge polderafvoeren in januari en februari (tabel 2.3). Het polderwater wordt gedurende de maand januari afgevoerd naar de Oosterschelde, waardoor het peil van -0,40 m NAP wordt teruggebracht naar -0,70 m NAP (tabel 2.4). De berekende waterstand op basis van de opgegeven debieten komt niet goed overeen met de gemeten waterstand. De waterbalans is vervolgens zodanig aangepast dat de gemeten waterstand gevolgd wordt. De aanpassing betreft een correctie op het spuidebiet, voorzover het een aanpassing op het uitgaande debiet betreft (februari -20%, juni +40%, augustus  $2,2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, november -25%, december -30%). Voor het ingaande debiet is het debiet voor peilverhoging gecorrigeerd (maart -15%, april -100%), de polderafwatering (maart -20%) en de neerslag (september -100%).

De resulterende waterbalans is weergegeven in tabel 2.5.

Tabel 2.5 Gecorrigeerde waterbalans gebaseerd op gemeten waterstand 1995 (met waterstand op 1 januari 1995 gelijk aan -0,37 m NAP)

	<i>totaal in</i>	<i>totaal uit</i>	<i>verschil</i>	<i>waterstand aan het eind van de maand (m NAP)</i>	<i>gemeten waterstand aan het eind van de maand (m NAP)</i>
januari	24125815	30134636	-6008821	-0.67	-0.60
februari	17488838	17813330	-324492	-0.69	-0.70
maart	21229540	9616435	11613105	-0.11	-0.19
april	5690901	4363176	1327725	-0.04	-0.04
mei	5428794	5226313	202481	-0.03	-0.05
juni	5914711	6047378	-132667	-0.04	-0.05
juli	6556386	6597041	-40655	-0.04	-0.05
augustus	4858004	5310832	-452828	-0.06	-0.07
september	7631648	7040855	590793	-0.03	-0.04
oktober	5555888	17930474	-12374586	-0.65	-0.61
november	8927563	9848918	-921355	-0.70	-0.71
december	8260161	8088307	171854	-0.69	-0.68

## 3 Modelling lichtklimaat

### 3.1 Introductie

In de voorgaande studie werd berekend dat de hoeveelheid *Ulva* in het Veerse Meer zou toenemen bij de toepassing van een doorlaatmiddel in de Zandkreekdam. De reden hiervoor was de verzouting van het water en de (in het model) daaraan gekoppelde afname van de humusconcentratie. Geconcludeerd werd dat de optredende verbetering van het lichtklimaat onvoldoende gecompenseerd werd door een verlaging van de nutriëntenconcentratie. Omdat de uitkomst van de berekeningen onverwacht was en mede gezien het belang van de *Ulva* problematiek als primaire aanleiding voor de aanleg van het doorlaatmiddel, is besloten de modellering van het lichtklimaat in het Veerse Meer nader te beschouwen. De uitgevoerde analyse had tot doel om tot een beter begrip te komen van het lichtklimaat in het Veerse Meer en tevens om de onzekerheid omtrent de berekende toename van *Ulva* weg te nemen.

### 3.2 Modelling lichtklimaat in GEM

Zoet water heeft over het algemeen een hogere extinctie dan zout water. Dit verschil in extinctie wordt niet direct veroorzaakt door de saliniteit van het water, maar door het verschil in het humusgehalte van het water. Humus is een verzamelnaam voor het opgeloste organische materiaal dat afkomstig is van plantaardig materiaal (Rijkeboer et al., 1996). Het zijn voornamelijk opgeloste verbindingen afkomstig van bladafval en het afsterven van fytoplankton en macrofyten, die het water een gele kleur geven (het wordt ook wel als 'yellow substance' of 'gelbstoff' aangeduid). Humus wordt beschouwd als een conservatieve stof en is dus omgekeerd evenredig gerelateerd aan de saliniteit.

In GEM wordt voor een aantal fracties de bijdrage aan de totale extinctie afzonderlijk bepaald:

$$Ext_{total} = Ext_{Bak} + Ext_{Phyt} + Ext_{OSS} + Ext_{ISS} + Ext_{Sal0} \times \left(1 - \frac{Salinity}{SalExt0}\right)$$

waarbij:

$Ext_{Bak}$	=	de achtergrond extinctie
$Ext_{Phyt}$	=	de extinctie door alle algen
$Ext_{OSS}$	=	de extinctie door dood organisch materiaal
$Ext_{ISS}$	=	de extinctie door het anorganisch materiaal
$Ext_{Sal0}$	=	extra extinctie bij saliniteit = 0
Salinity	=	werkelijke saliniteit
SalExt0	=	saliniteit waarbij extra extinctie gelijk is aan nul.

De laatste term wordt gerelateerd aan de humusconcentratie in het water. Naarmate de saliniteit hoger wordt, neemt de bijdrage van deze term aan de totale extinctie af. De

parameter ExtSal0 is systeemafhankelijk. In de voorgaande studie voor het Veerse Meer (WL | Delft Hydraulics, 1999) werd een waarde 1.0 gebruikt voor ExtSal0.

Met de aanleg van het doorlaatmiddel zal het Veerse Meer zouter worden. De bijdrage van humus aan de extinctie zal afnemen, waardoor het lichtklimaat verbetert (aannemende dat de bijdrage van de overige fracties gelijk blijft).

De analyse wordt opgesplitst in twee delen. Ten eerste wordt een overzicht gegeven van eerdere toepassingen en gebruikte modelwaarden. Ten tweede wordt met het licht-extinctie model UITZICHT de extinctie door humus bepaald op basis van metingen van het Veerse Meer en de Oosterschelde.

### 3.3 Vergelijking met eerdere studies

De formulering zoals beschreven in de vorige paragraaf is in een drietal studies eerder toegepast: de lagune van Venetië (WL | Delft Hydraulics, 1999b), de Noordzee (WL | Delft Hydraulics, 1997, De Vries et al., 1998) en de Oosterschelde (Peeters et al., 1991). Tabel 3.1 geeft een overzicht van de gebruikte invoerparameters. Ter vergelijking zijn de waarden die gebruikt zijn voor het Veerse Meer ook in de tabel opgenomen.

Tabel 3.1 Invoerparameters voor zout-afhankelijke extinctie

	Oosterschelde	Noordzee	Lagune van Venetië	Veerse Meer
Ext <sub>Sal0</sub>	2,46	0,97	4,5	1,0
SalExt0	34,92	34,92	34,92	34,92

De waarde die in het Veerse Meer gebruikt is, komt overeen met de Noordzee. In de studies van de Oosterschelde en de lagune van Venetië is een aanzienlijk hogere zout-afhankelijkheid toegepast. Naarmate de zout-afhankelijkheid hoger is, zal het lichtklimaat meer verbeteren bij een toename van de saliniteit, omdat de bijdrage van de zout-afhankelijkheid aan de totale extinctie groter is.

### 3.4 UITZICHT

Om een waarde voor ExtSal0 te bepalen is gebruik gemaakt van het lichtmodel 'UITZICHT' (Buiteveld 1990). Als invoer zijn de volgende concentraties nodig:

1. humus
2. gloeirest
3. chlorofyl-*a*
4. particulier koolstof

Voor de uitgevoerde vergelijking zijn de meetgegevens van het meetpunt Soelekerke (VM50) en het meetpunt Zandkreek gebruikt. De vergelijking is uitgevoerd op basis van de gemeten concentratie chlorofyl-*a*, particulier organisch koolstof (POC), opgelost organisch koolstof (DOC), zwevend stof en de gemeten Secchi diepte. De metingen voor 1995 zijn gebruikt.

Op basis van de Secchi diepte kan de totale extinctie afgeleid worden. Vervolgens is van drie fracties de concentratie bekend (gloeirest = zwevend stof, chlorofyl-a en particulier koolstof), zodat hun bijdrage aan de totale extinctie berekend kan worden. Het ontbrekende deel wordt toegekend aan humus, waarna in relatie met de saliniteit een waarde voor de parameter ExtSal0 afgeleid kan worden.

Op deze wijze is voor het Veerse Meer de waarde van ExtSal0 bepaald op  $1,16 \pm 0,08$  (gebaseerd op 12 metingen). Voor de Oosterschelde is de waarde van ExtSal0 bepaald op  $2,88 \pm 0,12$  (gebaseerd op 12 metingen). De waarde voor de Oosterschelde komt overigens goed overeen met de waarde die in tabel 3.1 is vermeld. Het verschil tussen de waarden voor het Veerse Meer en de Oosterschelde geeft aan dat de waarde voor ExtSal0 niet zonder meer overdraagbaar is tussen beide systemen.

Een grotere bijdrage van de zout-afhankelijke extinctie aan de totale extinctie houdt in dat door verzouting het lichtklimaat meer verbetert dan bij een kleine bijdrage. De relatief lage waarde voor ExtSal0 in het Veerse Meer geeft dus een conservatieve schatting voor de verbetering van het lichtklimaat. De gemodelleerde toename van *Ulva* bij een verzouting van het meer kan dan ook zeker niet uitgesloten worden. Op basis van de uitgevoerde analyse is de (relatief lage) bijdrage van de zout-afhankelijke extinctie gehandhaafd in vergelijking met de voorgaande studie.

## 4 Kalibratie 3D hydrodynamica Veerse Meer

### 4.1 Beschrijving numeriek model

Voor de simulatie van de stroming, de zout- en temperatuurverdeling in het Veerse Meer is gebruik gemaakt van een 3D hydrodynamisch model, gebaseerd op een schematisatie met in verticaal strikt horizontale lagen. Hiervoor is gebruik gemaakt van een onderzoekersversie van Delft3D-FLOW ontwikkeld in het kader van het onderzoeksprogramma HPCN-TASC (Transport Algorithms and Scientific Computing). Binnen deze versie wordt niet de gebruikelijke  $\sigma$ -transformatie ( $\sigma$ -model) maar de ongetransformeerde  $z$ -coördinaat ( $z$ -model) toegepast in de verticale richting, zie Figuur 4.1.

De reden om niet de standaardversie van Delft3D-FLOW gebaseerd op de  $\sigma$ -transformatie te gebruiken, zijn de steile bodemgradiënten in het Veerse Meer. Rond de putten komen hellingen steiler dan 1 op 10 voor. Er is bekend (bijvoorbeeld Stelling en Van Kester, 1994) dat een  $\sigma$ -model voor een gestratificeerde stroming in combinatie met steile bodemgradiënten onnauwkeurig is. In eerdere studies, onder meer (WL | Delft Hydraulics, 2000), is gebleken dat het gebruik van  $\sigma$ -coördinaten dan aanleiding kan geven tot te veel menging. Voor een vereenvoudigd scenario voor het spuien van zout water op het Veerse Meer waarbij een zouttong in het brakke watersysteem (15-20 ‰) indringt, is gebleken dat het  $\sigma$ -model de stratificatie opmengt terwijl in het  $z$ -model de stratificatie blijft bestaan. Het horizontale lagenmodel ( $z$ -model) levert derhalve resultaten op die beter in overeenstemming zijn met de metingen. Ook in het volledige scenario (inclusief wind, temperatuur, alle debieten) presteerde het horizontale lagen model beter dan het  $\sigma$ -model in het reproduceren van het gelaagd systeem. Op basis van deze testresultaten is besloten de simulaties van de 3D hydrodynamica van het Veerse Meer uit te voeren met het horizontale lagen model ( $z$ -model).

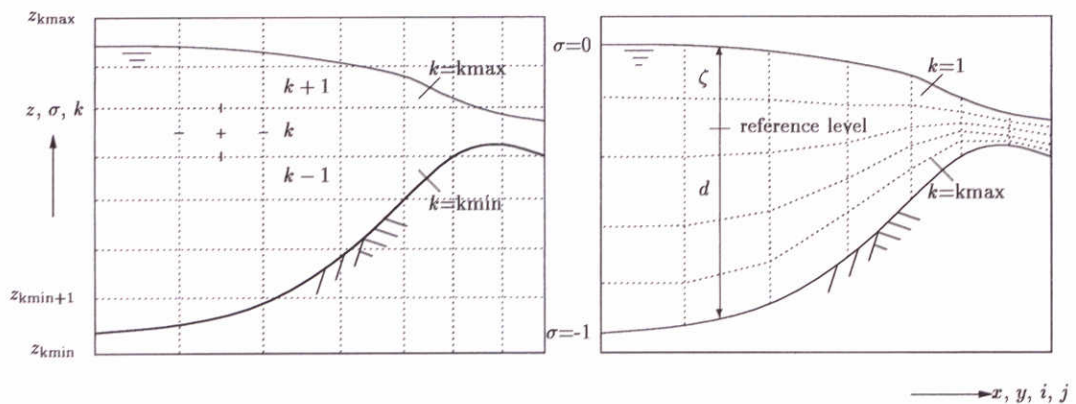
#### 4.1.1 Beschrijving concept $z$ -model

Voor de simulatie van de stroming en het transport van zout en warmte in het Veerse Meer wordt gebruik gemaakt van een 3D ondiepwatermodel gebaseerd op vaste horizontale lagen. Het numerieke model lost de zogenaamde 3D ondiepwatervergelijkingen op in combinatie met een advection-diffusievergelijking voor zout en temperatuur. De koppeling tussen zout en temperatuur met de waterbeweging gebeurt door de toestandsvergelijking, die een relatie geeft tussen de dichtheid van het water, het zoutgehalte en de temperatuur. De dichtheid wordt gebruikt in de berekening van de druk. De verticale impulsvergelijking is vereenvoudigd tot een hydrostatische drukrelatie. Verticale snelheden worden berekend met de continuïteitsvergelijking. Het is daarom een hydrostatisch model en toepasbaar zolang de horizontale lengteschalen aanzienlijk groter zijn dan de verticale lengteschalen. Mogelijk gaat deze aanname lokaal bij de taluds van de putten niet meer op. Echter, verwacht wordt dat deze kleinschalige stromingen weinig effect hebben op het grootschalig transport.

Het verticale rooster in het z-model is gebaseerd op vaste horizontale lagen. De lagen ontstaan door de doorsnijding van z-vlakken met de geometrie van het waterbekken, zie Figuur 4.1. De z-vlakken kunnen worden gedefinieerd door de gebruiker in de invoer. De roostercellen in de verticaal worden geconstrueerd op basis van deze vlakken rekening houdend met de ligging van de bodem en het vrije wateroppervlak:

$$\Delta z_k = \min(\zeta_{i,j}, z_k) - \max(d_{i,j}, z_{k-1}) \tag{4.1}$$

De positie van het vrije wateroppervlak is niet beperkt tot de bovenste laag; het vrije wateroppervlak kan door de lagen heen bewegen in tegenstelling tot vroegere z-modellen (Leendertse en Liu, 1977). Dit is mogelijk door een complex algoritme om te bepalen of een rekencel nat of droog is. Verder wordt bij de bodem met cellen gerekend die dunner kunnen zijn dan de afstand tussen twee opeenvolgende vaste lagen  $z_k$  en  $z_{k-1}$ .



Figuur 4.1. Verticale laagverdeling in het ongetransformeerde z-model en het getransformeerde  $\sigma$ -model (Bijvelds, 1998).

De numerieke procedure binnen de huidige implementatie van het z-model wijkt op een aantal punten af van het standaard Delft3D-FLOW model (Manual Delft3D-FLOW, 1999). De horizontale snelheidscomponenten  $u$  en  $v$  worden slechts eenmaal per hele tijdstap berekend. Verder worden de horizontale advectietermen in de vergelijkingen expliciet geïntegreerd met als voordeel dat de discrete vergelijkingen slechts in de verticale richting impliciet gekoppeld zijn, hetgeen het oplossen van het stelsel vergelijkingen aanzienlijk vereenvoudigd. Bovenstaande procedure levert een versnelling van de rekentijd op van ongeveer een factor 4 ten opzichte van de standaard versie, maar hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de expliciete afhandeling van de advectie termen een extra restrictie voor de tijdstap  $\Delta t$  introduceert, gekoppeld aan de horizontale advectiesnelheden  $u$  en  $v$ :

$$\Delta t < \min\left(\frac{\Delta x}{|u|}, \frac{\Delta y}{|v|}\right) \tag{4.2}$$

waarbij  $\Delta x$  en  $\Delta y$  de horizontale roosterafstanden. Echter, voor de 3D berekeningen voor het Veerse Meer blijkt het stabiliteitscriterium voor de voortplanting van interne lange golven maatgevend te zijn voor de tijdstap:



$$\Delta t < \frac{\min(\Delta x, \Delta y)}{\sqrt{gH \frac{\Delta \rho}{\rho}}} \quad (4.3)$$

met  $g$  de zwaartekrachtsversnelling,  $H$  de totale waterdiepte,  $\rho$  de dichtheid en  $\Delta \rho$  het verticale dichtheidsverschil. Voor het Veerse Meer levert dit een tijdstap van 1 minuut op. De barocliene drukterm wordt zowel in het  $\sigma$ -model als het  $z$ -model expliciet afgehandeld.

Koppeling met de naverwerkingsprogrammatuur van Delft3D-FLOW is voor de onderzoeksversie nog niet ontwikkeld. Daarom is voor de naverwerking van de modelresultaten in het kader van dit project gebruik gemaakt van MATLAB.

## 4.2 Kalibratie

### 4.2.1 Modelopzet

#### *Rekenrooster*

Het rekenrooster van het 3D Veerse Meer model bestaat uit 116 x 9 roosterpunten in het horizontale vlak en in de verticale richting is gebruik gemaakt van 30 lagen. In de richting van het vrije wateroppervlak is de laagdikte verfijnd. Dit is gedaan om in de ondiepe gebieden (kleiner dan 4 meter) voldoende resolutie te hebben om verticale profielen nog weer te kunnen geven en in de diepe gebieden de positie van de spronglaag voldoende nauwkeurig te kunnen weergegeven. Bovendien geeft de wind aan het vrije oppervlak aanleiding tot relatief grote snelheidsgradiënten die op het verticale rooster dienen te worden weergegeven om de productie van turbulentie te kunnen berekenen. Doordat het modelgebied zich kenmerkt door grote ondiepe gebieden die afgewisseld worden met geulen en enkele diepe putten is het aantal actieve (natte) rekencellen in de verticaal op veel plaatsen aanzienlijk kleiner dan 30. Ongeveer 30% van de rekencellen in de schematisatie wordt daadwerkelijk gebruikt. Het rekenrooster en het diepteveld zijn weergegeven in figuur 2.1.

#### *Numerieke en fysische parameters*

De simulatie begint op 30 januari (zie *Initiële condities*) 1995 0.00 uur en eindigt op 31 december 1995 om 24.00 uur. De tijdstap wordt bepaald door de het stabiliteitscriterium tengevolge van barocliene effecten (vergelijking 4.3) en bedraagt 1 minuut. Het totaal aantal tijdstappen van een simulatie bedraagt hierdoor ruim 470000.

De verticale turbulente viscositeit en diffusiviteit worden berekend met behulp van een  $k$ - $\epsilon$  turbulentiemodel (zie manual Delft3D-FLOW). Dit model is goed geverifieerd voor gelaagde stromingen. De horizontale achtergrond diffusiviteit is voor de meeste simulaties in de kalibratiefase gelijk genomen aan 1 m<sup>2</sup>/s. Toepassing van een hogere diffusiviteit (5 m<sup>2</sup>/s) leidde niet tot significante veranderingen in de resultaten en is derhalve bij de bespreking van de resultaten buiten beschouwing gelaten.

Voor de bodemruwheid is gebruik gemaakt van een Chézy-coëfficiënt welke een constante waarde van 65 m<sup>1/2</sup>/s in de ruimte en de tijd heeft.

### *Initiële condities*

Omdat het Veerse Meer een gesloten watersysteem is met meteorologische forcing (wind, instraling), hebben de initiële condities veel invloed op de oplossing. Daarom is er voor gekozen de simulatie te starten op de eerste datum waarop meetgegevens beschikbaar zijn, 30 januari 1995. De temperatuurverdeling over het Veerse Meer is op deze datum vrijwel constant en gelijk aan 5.5 °C. Voor de initiële condities voor de saliniteit is het model grofweg in tweeën gesplitst. Ten westen van de Zandkreekput is eind januari slechts een geringe zoutstratificatie aanwezig, de saliniteit varieert hier tussen 11,7 en 12,7 ‰. Ten oosten van dit punt is er een sterkere gelaagdheid aanwezig en varieert de saliniteit tussen 11,7 en 25 ‰. In figuur 4.3a/b en 4.13a/b staan de verticale profielen gegeven voor verschillende meetstations.

### *Lozingen*

Zoals beschreven in hoofdstuk 2, worden variaties van het waterpeil in het Veerse Meer veroorzaakt door een onbalans in de lozingen en onttrekkingen die op het meer plaatsvinden. De combinatie van (zoete) polderafwatering en het zoute Oosterschelde water geeft aanleiding tot dichtheidsvariaties in zowel het horizontale als verticale vlak en dus tot interne dichtheidsgolven. De lozingen worden, met uitzondering van de 10-daagse periode voor peilopzet, in de invoer van de simulaties opgegeven als een maandelijks constant debiet, met een maandelijks constante saliniteit en temperatuur. Voor de temperatuur wordt een representatief verloop gedurende het jaar aangenomen vanwege het gebrek aan meetgegevens. Aangezien er geen getij in het meer aanwezig is, zullen de barotrope en barocliene drukgradiënten tengevolge van de lozingen samen met de windschuifspanning en de temperatuurgradiënten tengevolge van meteorologische effecten de waterbeweging bepalen.

### *Windschuifspanning*

Voor de kalibratie van het Veerse Meer model is gebruik gemaakt van de gemiddelde windgegevens van de stations Stavenisse, Kadzand, Hoofdplaat en Oosterschelde 4 van de directie Zeeland. In analogie met de invoer voor het model STRESS, het 2DV model voor het Veerse Meer van RIKZ, zijn de gemeten windsnelheden aanvankelijk gereduceerd met 60%. In vergelijking met de gemeten windsnelheden levert dit een reductie van 84% van de windschuifspanning aan het wateroppervlak op omdat deze kwadratisch van de windsnelheid  $U_{10}$  (in m/s) afhankelijk is:

$$\tau_{wind} = \rho_{lucht} C_d U_{10}^2 \quad (4.4)$$

met  $\rho_{lucht}$  de dichtheid van lucht en  $C_d$  de overdrachtscoëfficiënt van wind op water. Hoewel een reductie van de windsnelheden ten gevolge van de verhoogde weerstand boven land aannemelijk is, lijkt een reductie van 60% aan de hoge kant. In latere berekeningen is de gevoeligheid van het model voor deze reductiefactor onderzocht door deze te variëren. Berekeningen zijn uitgevoerd met een reductie van 20%, 30% en 40%. Een reductie van 10% gaf aanleiding tot een volledig opgemengd systeem en een dergelijk scenario is verder niet in detail onderzocht. De reductie is toegepast ongeacht de heersende windrichting. Evenmin is een ruimtelijke afhankelijkheid toegepast. Het is waarschijnlijk dat beide aannamen verfijning behoeven, maar hieraan is in het kader van dit project geen aandacht besteed.

De beste resultaten voor zowel de verticale temperatuursverdeling als de verticale saliniteitsverdeling is verkregen met een reductie van 30% van de oorspronkelijke wind. Voor de overdrachtscoëfficiënt  $C_d$  voor de windschuifspanning is bij de simulaties een constante waarde van 0,00125 gebruikt.

### Temperatuurmodellering

Voor het berekenen van de watertemperatuur in het Veerse Meer is gebruik gemaakt van een zogenaamd absoluut temperatuur model (ktemp=2 in de standaard Delft3D-FLOW versie, (WL | Delft Hydraulics, 1999a). De warmteflux door het oppervlak is de som van de instraling ( $Q_s$ ) en het verlies door terugstraling ( $Q_b$ ), convectie ( $Q_c$ ) en verdamping ( $Q_v$ ) alle in  $W/m^2$ .

$$Q_{netto} = Q_s - Q_b - Q_c - Q_v \quad (4.5)$$

Binnen dit model wordt de instraling door het vrije wateroppervlak opgedrukt op basis van de gemeten zonnestraling ( $W/m^2$ ). De gemeten straling is het effect van zowel de kortgolvlige instraling door de zon als langgolvlige instraling door de atmosfeer en wolken. Om irreëel hoge temperaturen in de oppervlaktelaag van het model tijdens de zomermaanden te voorkomen, is de netto influx van stralingswarmte verdeeld over een aantal lagen op basis van de doorkijkdiepte (Secchi diepte in m) middels een exponentiële functie van de afstand tot het vrije water oppervlak  $z$  (eveneens in m):

$$Q_s(z) = Q_s e^{-\frac{1.7}{H_{secchi}}z} \quad (4.6)$$

De doorkijkdiepte, die de maximale diepte bepaalt tot waar de stralingsenergie doordringt, is voor het Veerse Meer gelijk genomen aan 2 m.

Het warmteverlies door terugstraling hangt af van de temperatuur van het wateroppervlak  $T_s$  (in Kelvin) en de bewolgingsgraad  $F_c$  (-) en de dampdruk  $e_a$  (mbar):

$$Q_b = \varepsilon \sigma (1-r) T_s^4 (0.39 - 0.058 \sqrt{e_a}) (1 - 0.65 F_c^2) \quad (4.7)$$

met  $\varepsilon$  uitstralingscoëfficiënt (0,985; -)  
 $\sigma$  Stefan-Boltzmann constante ( $5,67 \times 10^{-8} J/m^2/s/K^4$ )  
 $r$  reflectie coëfficiënt voor (lange-golf) straling (-)

Het warmteverlies door verdamping,  $f(U_{10})$ , hangt af van de wind (wind snelheid op 10 m boven het vrije oppervlak,  $U_{10}$  in m/s) en de oppervlakte  $S_{area}$  ( $m^2$ ):

$$f(U_{10}) = \left( \frac{5.0 \times 10^6}{S_{area}} \right)^{0.05} (3.5 + 2.0 U_{10}) \quad (4.8)$$

en het verschil in dampspanning tussen de verzadigde waterdamp boven het wateroppervlak  $e_s$  en de dampspanning in de lucht  $e_a$ :

$$Q_v = f(U_{10})(e_s - e_a) \quad (4.9)$$

Het warmteverlies door convectie hangt af van windsnelheid en het temperatuurverschil met de atmosfeer  $T_a$  (K):

$$Q_c = 0.61f(U_{10})(T_s - T_a) \quad (4.10)$$

Voor meer details wordt verwezen naar de Manual van Delft3D-FLOW (WL | Delft Hydraulics, 1999a).

Hoewel de windgegevens per uur bekend zijn, zijn de overige meteorologische gegevens slechts als daggemiddelde waarden bekend. Daarom is voor de windgegevens in het temperatuurmodel ook gewerkt met een daggemiddelde waarde.

## 4.2.2 Resultaten

Voor de kalibratie is met meerdere instellingen van de modelparameters gerekend. Hier worden slechts de resultaten gepresenteerd voor het model met de instelling van de parameters, die toegepast is voor de uiteindelijke scenarioberekeningen. De uiteindelijk instelling van de modelparameters is al beschreven in paragraaf 4.2.1. Op een Pentium 500 MHZ PC bedroeg de rekestijd van een volledige jaarsimulatie van de 3D hydrodynamica voor het Veerse Meer circa 3,5 dagen.

### *Saliniteit*

De berekende saliniteit in de 8 meetpunten wordt vergeleken met de gemeten verticale saliniteitsprofielen op verschillende tijdstippen gedurende het jaar 1995 (Figuren 4.3 tot 4.12). De ligging van de monitorstations is weergegeven in figuur 2.1.

De stratificatie als gevolg van het inlaten van Oosterschelde water is in de berekening goed terug te zien. Het model komt goed overeen met de metingen voor wat betreft de putten waarin stratificatie voorkomt. Zo zijn bijvoorbeeld de meest westelijke putten (Schotsman en Vrouwenpolder) gedurende vrijwel het gehele jaar goed gemengd, hetgeen door het model gereproduceerd wordt. Met name de Soelekerke put voldoet uitstekend aan de gemeten saliniteitsprofielen. Afwijkingen ten opzichte van de gemeten waarden treden op voornamelijk bij de oostelijke putten, waar wat te hoge saliniteit wordt berekend. Daarnaast wordt de diepte van de halocline in het model te hoog gelegd. Uit de metingen blijkt een diepte van circa -5 m NAP, terwijl in het model een diepte van -2 tot -4 m NAP wordt gesimuleerd.

De saliniteit ter hoogte van de Zandkreeksluis is in de berekening hoger dan in de metingen. De nabijheid van de Zandkreeksluis is hiervoor de reden. De sluis speelt een belangrijke rol in de totale water- en zoutbalans van het Veerse Meer. Om de sluis in de huidige modelopzet te representeren zijn enkele aannamen gemaakt. Zo bestaan alle debieten uit een continue in- of uitstroming, waardoor ter hoogte van de sluis extra turbulentie wordt gecreëerd. Er treedt een kortsluitstroming op die in werkelijkheid niet bestaat. Tevens lijkt het erop dat de huidige schematisatie de lokale processen rond de sluis onvoldoende nauwkeurig weergeeft. Aangezien de overige meetpunten beter overeenkwamen met de metingen, is hier in de huidige kalibratie slechts beperkt aandacht aan besteed.

Het model geeft de afname van de saliniteit in de opeenvolgende putten van oost naar west goed weer. Voor de oppervlakte laag wordt een oost-west gradiënt berekend van enkele promillen die niet overeenkomt met de metingen. De gradiënt wordt geïntroduceerd door de turbulentie bij de sluis waar het zoute Oosterschelde water (gedeeltelijk) opmengt met de oppervlakte laag. Dit resulteert in een hogere saliniteit in het oostelijk deel bij de sluis dan in het westelijk deel van het Veerse Meer. De horizontale menging blijkt vervolgens niet voldoende om de gegenereerde saliniteitsgradiënt op te heffen.

Het model berekent de verticale positie van de spronglaag op een kleinere diepte dan uit de metingen blijkt. De positie van het grensvlak hangt af van de verticale menging en dus van de verticale diffusiviteit. Karakteristieke verticale profielen van diffusiviteit zijn weergegeven in figuur 4.23. De wind bepaalt grotendeels de verticale turbulente uitwisseling. Slechts gedurende de periode van peilopzet (27 maart) heeft de turbulentie opgewekt door bodemwrijving een significante bijdrage. De positie van het grensvlak varieert aanzienlijk gedurende het jaar, hetgeen blijkt uit de demping van de turbulentie door de daar aanwezige dichtheidssprong. Deze fluctuatie wordt geïllustreerd aan de hand van tijdreeksen van de saliniteit op verschillende dieptes in de waterkolom (figuur 4.24, 4.25 en 4.26). Met name in het oostelijk deel van het Veerse Meer is dit het geval. In dit gedeelte van het meer treedt een sterkere zoutstratificatie op dan in de rest van het meer ten gevolge van de lozingen bij de sluis (figuur 4.24). Deze sterke fluctuatie van de saliniteit op een diepte tussen de 0 en 6 meter geeft aan dat een vergelijking van de diepte van de spronglaag met de metingen lastig is.

#### *Temperatuur*

Uit de metingen van de Zandkreek put blijkt dat het zoute water dat aanwezig is in het begin van het jaar 1995 lokaal voor sterke stratificatie zorgt. Uit Figuur 4.18 (juli 1995) blijkt dat de temperatuur van het water in de put nagenoeg gelijk is aan de temperatuur van het water aan het begin van het jaar. Dit wijst erop dat het diepste deel van de put een geïsoleerd systeem vormt zonder verversing. Dit gedrag wordt door het model niet goed gereproduceerd. Dit zou verklaard kunnen worden door de onnauwkeurige weergave van de processen nabij de Zandkreeksluis. Het al dan niet uitspoelen van de put in het model hangt voornamelijk af van de dichtheid van het water dat wordt aangevoerd vanaf de sluis. In het model heeft het aangevoerde water vanaf de sluis blijkbaar een te hoge dichtheid met als gevolg dat het water in de put stroomt in plaats van er overheen.

In de metingen is een dergelijk geïsoleerd watersysteem ook op andere plaatsen terug te vinden. Met name op meetlocatie De Piet en Soelekerke is dit duidelijk waar te nemen voor de gemeten temperaturen tijdens de zomermaanden. Hoewel Middelplaten en Kortgene in de metingen ook een dergelijk gedrag laten zien, is er op deze plaatsen meer verticale uitwisseling, aangezien een toename van de temperatuur bij de bodem in de zomermaanden is te zien. De verticale temperatuurprofielen zoals berekend met het numerieke model, vertonen op deze plaatsen kwalitatief hetzelfde verloop. De afwijkingen tussen meting en berekening concentreren zich voornamelijk rond de overgang van het warmere water aan het vrije oppervlak naar het koudere water bij de bodem. De positie van de spronglaag wordt niet geheel juist door het model voorspeld (te hoog). Met name de temperatuur van de oppervlakte laag wordt overschat.

In tegenstelling tot de saliniteit bestaat er nauwelijks een gradiënt in temperatuur in de lengterichting van het model. De temperatuur wordt voornamelijk bepaald door lokale

zoninstraling en warmteverlies ten gevolge van terugstraling, verdamping en convectie in samenhang met de verticale menging. Advectief transport van warmte in de horizontale richting is van ondergeschikt belang.

De door het model berekende temperatuursstratificatie ter hoogte van Vrouwenpolder (Figuur 4.18), is niet overeenkomstig de metingen. Het watersysteem lijkt hier in werkelijkheid vrijwel volledig opgemengd te zijn. De temperatuurstratificatie treedt in het model alleen op in de zomermaanden juli en augustus. De verticale menging lijkt in het model onderschat te worden. In september is de kolom weer geheel gemengd. Waarschijnlijk is slechts een beperkte hoeveelheid extra turbulentie nodig om de Vrouwenpolder put gedurende het hele jaar gemengd te houden. De uniforme windsnelheid en windrichting doet wellicht onrecht aan het westelijk deel van het meer dat dichterbij zee ligt. Bij een heersende zuidwestelijke windrichting is het mogelijk dat het westelijk deel gemiddeld een wat hogere windstress heeft dan het oostelijk deel van het meer.

Een algemeen beeld is dat het numerieke model in vergelijking tot de metingen te hoge temperaturen bij het vrije oppervlak voorspelt. De temperatuur nabij het vrije oppervlak is sterk afhankelijk van de warmte die aan het water wordt toegevoegd en onttrokken. Hoewel de ingaande straling gemeten is en als invoerparameter wordt gebruikt voor de temperatuurmodellering, is het verlies van warmte afhankelijk van windsnelheid, bewolgingsgraad en luchttemperatuur. Een verdere afstemming tussen deze grootheden is noodzakelijk om tot een verdere 'afkoeling' van het oppervlakte water te komen.

### 4.2.3 Conclusies

De waterbeweging in het Veerse Meer wordt gestuurd door dichtheidsverschillen. Het hydrologisch regime bij de Zandkreeksluis en de windschuifspanning zijn de belangrijkste sturende grootheden voor de grootschalige waterbeweging. Het 3D hydrodynamisch model reproduceert de verplaatsing van het zoute Oosterschelde water door de putten goed. De stratificatie die door het model berekend wordt, komt zowel in de tijd als in de ruimte redelijk tot goed overeen met de metingen. Een belangrijke afwijking is de diepte van de spronglaag, die in het hydrodynamisch model tot 2 meter te hoog ligt. Een verfijning van de door de wind geïnduceerde turbulentie moet nog verbetering kunnen brengen. Mogelijk is het noodzakelijk een ruimtelijk variërend windveld op te geven.

Het hydrologisch regime bij de sluis blijkt onvoldoende nauwkeurig in het model weergegeven (doordat continue debieten worden toegepast en de schematisatie is waarschijnlijk te grof om specifieke lokale processen weer te geven) en veroorzaakt daardoor afwijkingen ten opzichte van de metingen. Met name de saliniteit in de oppervlakte laag ter hoogte van de sluis wordt overschat. Mogelijk wordt het pulsmatige karakter van de sluis beter gerepresenteerd door in- en uitstroming los te koppelen. In het model zou een regime van 1 uur instroming, 1 uur rust en 1 uur uitstroming verbetering kunnen bieden.

Uit de temperatuurmetingen blijkt dat enkele putten gedurende een groot deel van het jaar volledig afgesloten zijn van de bovenliggende waterkolom. Dit blijkt uit de temperatuur die op circa 7 °C gehandhaafd blijft. Het hydrodynamisch model reproduceert dit redelijk goed. In het model worden systematisch een te hoge temperatuur in de oppervlakte laag berekend. De overdracht van warmte tussen de atmosfeer en de waterkolom behoeft verbetering.

Hoewel er onzekerheden in de modelinvoer bestaan en er op enkele punten afwijkingen geconstateerd zijn ten opzichte van de metingen, geeft het model de grootschalige waterbeweging in het Veerse Meer goed weer.

Een punt van zorg is de performance van het model. Voor een jaarsom bedraagt de rekentijd circa 3,5 dag. Dit bemoeilijkt het kalibreren van het model, aangezien daar normaal gesproken een aanzienlijk aantal berekeningen voor nodig is om tot het beste resultaat te komen. Voor een flexibele inzetbaarheid van het model is het wenselijk de performance van het model te verbeteren. Een mogelijke optie is een grovere schematisatie. Het is niet duidelijk in hoeverre dit realiseerbaar is zonder de karakteristieken van het Veerse Meer onrecht aan te doen.

## 5 Modelopzet en eerste afregeling 3D GEM Veerse Meer

### 5.1 Modelopzet

Bij het opzetten van het 3D waterkwaliteitsmodel van het Veerse Meer is zoveel mogelijk uitgegaan van het 2DV GEM Veerse Meer model dat in eerdere studies is gebruikt (WL | Delft Hydraulics, 1998; WL | Delft Hydraulics, 1999). Tabel 5.1 vermeldt de gemodelleerde grootheden.

Tabel 5.1 Gemodelleerde grootheden in GEM Veerse Meer

GEM variabele	eenheid	opmerking
<i>waterkolom</i>		
Saliniteit	g/kg	
Temperatuur	°C	
Zuurstof	mg/l	
Ammonium	mg N/l	
Nitraat	mg N/l	
Fosfaat	mg P/l	
Geadsorbeerd fosfaat	mg P/l	
Opgelost silicium	mg Si/l	
Opaal	mg Si/l	
Particulair organisch koolstof	mg C/l	3 fracties: snel afbreekbaar, gemiddeld afbreekbaar en slecht afbreekbaar
Particulair organisch stikstof	mg N/l	eveneens 3 fracties
Particulair organisch fosfor	mg P/l	eveneens 3 fracties
Opgelost organisch koolstof	mg C/l	
Opgelost organisch stikstof	mg N/l	
Opgelost organisch fosfor	mg P/l	
Diatomeeën	mg C/l	
Flagelaten	mg C/l	
Dinoflagelaten	mg C/l	
<i>sediment</i>		
Organisch koolstof	gC	
Organisch stikstof	gN	
Organisch fosfor	gP	
Geadsorbeerd fosfaat	gP	
Silicaat	gSi	
Micro-fytobenthos	gC	
<i>Ulva</i>	gC	



### 5.1.1 Hydrodynamica

De hydrodynamische gegevens (onder andere debieten, segment volumes en verticale dispersie) zijn met een tijdstap van 12 uur weggeschreven in de zogenaamde communicatie-file. Het resultaat van de hydrodynamische kalibratie is opgepakt en geconverteerd naar bestanden die in het waterkwaliteitsmodel gebruikt kunnen worden. Aangezien de koppeling tussen het hydrodynamisch vaste-lagen model en het waterkwaliteitsmodel (hetzij GEM, hetzij Delft3D-WAQ) nog niet eerder was toegepast, is hiervoor de programmatuur aangepast en ontwikkeld.

Aggregatie in horizontale en/of de verticale richting is niet toegepast, aangezien ook hiervoor de standaard programmatuur niet geschikt was. De ontwikkeling van aangepaste programmatuur om dit wel mogelijk te maken, is in gang gezet, maar kon in deze studie niet meer toegepast worden.

Uit model-technische overwegingen zijn de debieten van de lozingen als open-randdebieten in het waterkwaliteitsmodel afgehandeld. Lozingsdebieten worden bij bepaalde numerieke schema's in Delft3D-WAQ expliciet verwerkt, terwijl open-randdebieten impliciet worden verwerkt. Tijdens de kalibratie bleek de expliciete afhandeling van de lozingen bepalend voor de tijdstap (10 minuten). Door de lozingen als open-randdebiet af te handelen, kon de tijdstap vergroot worden tot 1 uur. De wijze van afhandeling heeft geen effect op het modelresultaat.

### 5.1.2 Meteorologische aansturing

In het waterkwaliteitsmodel wordt dezelfde meteorologische aansturing gebruikt als in het hydrodynamisch model. De windsnelheid wordt gebruikt in de reaeratie formulering, in de temperatuurberekening en in de berekening van de schuifspanning. De luchttemperatuur en de instraling worden ook gebruikt in de temperatuurberekening. Daarnaast is de instraling in de modellering van algen (beschikbaarheid van licht) belangrijk.

### 5.1.3 Lozingen

De lozingen en de debieten van de lozingen zijn beschreven in paragraaf 2.3. De belastingen van de diverse lozingen op het Veerse Meer zijn afgeleid uit metingen van de waterkwaliteit van de lozingen. In voorgaande studies met een 2DV hydrodynamica werden een aantal lozingen gecombineerd, waardoor het aantal lozingslocaties minder was dan het aantal individuele lozingen. In de 3D modellering zijn alle lozingen afzonderlijk gedefinieerd en op hun geografisch juiste locatie in het model geplaatst. De concentratie van de verschillende stoffen in het geloosde water is weergegeven in tabel 5.2. Evenals de debieten hebben de concentraties gedurende een maand een constante waarde.

Tabel 5.2 Concentraties van lozingen op het Veerse Meer

	Salini- teit	Tem- pera- tuur	Zuur- stof	NH4	NO3	PO4	AAP	Si	POC1	PON1	POP1	DOC
	g/kg	oC	mg/l	mg N/l	mg N/l	mg P/l	mg P/l	mg Si/l	mg C/l	mg N/l	mg P/l	mg C/l
<b>Oosterschelde</b>												
januari-95	29.8	5.4	9.87	0.14	0.66	0.044	0.010	0.74	0	0.20	0.010	1.64
februari-95	30.0	6.8	9.72	0.11	0.93	0.044	0.010	0.88	0	0.20	0.010	1.63
maart-95	30.6	7.5	9.81	0.06	0.90	0.030	0.010	0.60	0	0.20	0.010	1.52
april-95	29.7	9.9	11.29	0.01	0.62	0.005	0.015	0.05	0	0.20	0.015	1.78
mei-95	29.5	12.2	12.88	0.01	0.22	0.005	0.015	0.05	0	0.25	0.015	2.19
juni-95	29.7	15.7	8.47	0.06	0.16	0.021	0.020	0.09	0	0.30	0.020	1.39
juli-95	29.8	20.2	6.50	0.13	0.08	0.039	0.020	0.27	0	0.30	0.020	2.08
augustus-95	30.4	21.7	7.97	0.01	0.01	0.035	0.020	0.04	0	0.30	0.020	2.17
september-95	30.3	17.6	7.03	0.19	0.10	0.062	0.015	0.37	0	0.25	0.015	2.05
oktober-95	30.3	15.3	7.58	0.16	0.17	0.059	0.015	0.16	0	0.20	0.015	1.86
november-95	30.7	12.0	7.74	0.17	0.28	0.061	0.010	0.38	0	0.20	0.010	2.36
december-95	30.9	7.7	9.30	0.16	0.39	0.053	0.010	0.43	0	0.20	0.010	1.57
<b>Kanaal door Walcheren</b>												
januari-95	5.1	5	11.08	0.19	3.31	0.533	0.067	4	0.52	1.92	0.067	0
februari-95	11.5	6	13.99	0.16	2.85	0.324	0.041	4	0.49	1.09	0.041	0
maart-95	10.1	7	11.31	0.05	2.75	0.234	0.029	4	1.01	1.34	0.029	0
april-95	11.1	10	13.41	0.04	2.23	0.170	0.021	4	1.59	1.23	0.021	0
mei-95	18.5	15	6.82	0.16	0.68	0.294	0.037	4	2.56	1.31	0.037	0
juni-95	19.2	16	10.02	0.03	0.15	0.319	0.040	4	3.49	1.42	0.040	0
juli-95	23.7	20	3.44	0.34	0.18	0.468	0.059	4	3.62	0.63	0.059	0
augustus-95	23.0	22	5.15	0.20	0.10	0.470	0.059	4	3.45	0.64	0.059	0
september-95	22.0	16	8.29	0.09	0.40	0.695	0.087	4	3.14	0.91	0.087	0
oktober-95	16.1	16	7.77	0.13	2.16	0.584	0.073	4	3.12	1.10	0.073	0
november-95	10.3	9	8.24	0.21	5.02	0.422	0.053	4	1.34	0.49	0.053	0
december-95	15.7	5	9.39	0.12	2.34	0.385	0.048	4	0.88	1.01	0.048	0
<b>Jacoba</b>												
januari-95	3.3	5	9.6	1.70	8.00	0.570	0.065	4	0.64	1.40	0.065	0
februari-95	7.0	6	11.2	0.10	3.40	0.070	0.220	4	0.67	3.20	0.220	0
maart-95	3.6	7	17.2	0.42	4.90	0.200	0.000	4	1.12	1.68	0.000	0
april-95	5.7	10	19.4	0.04	0.02	1.690	0.010	4	5.62	3.06	0.010	0
mei-95	5.6	15	1.3	0.60	1.19	2.410	0.035	4	4.12	3.80	0.035	0
juni-95	3.8	16	4.8	0.70	0.07	1.420	0.150	4	7.49	5.30	0.150	0
juli-95	4.1	20	8.4	0.02	0.02	1.540	0.310	4	9.74	6.28	0.310	0
augustus-95	4.5	22	9.2	0.04	0.01	1.440	0.695	4	7.87	5.96	0.695	0
september-95	3.9	16	1.9	0.01	0.01	2.680	0.460	4	12.73	4.10	0.460	0
oktober-95	3.9	16	1.3	0.75	0.15	2.670	0.215	4	1.42	4.25	0.215	0
november-95	7.0	9	5.6	5.00	0.30	0.320	0.270	4	0.67	1.10	0.270	0
december-95	2.6	5	9.3	1.70	15.00	0.180	0.165	4	0.60	0.20	0.165	0

	Salini- teit	Tem- pera- tuur	Zuur- stof	NH4	NO3	PO4	AAP	Si	POC1	PON1	POP1	DOC
	g/kg	oC	mg/l	mg N/l	mg N/l	mg P/l	mg P/l	mg Si/l	mg C/l	mg N/l	mg P/l	mg C/l
<b>De Piet</b>												
januari-95	1.1	5	9.4	0.68	6.90	0.670	0.000	4	0.75	1.22	0.000	0
februari-95	2.5	6	10.1	0.72	8.10	0.660	0.055	4	0.15	0.78	0.055	0
maart-95	3.0	7	11.6	0.57	6.20	0.650	0.000	4	0.64	1.43	0.000	0
april-95	3.7	10	16.2	0.34	0.62	0.470	0.035	4	2.25	1.86	0.035	0
mei-95	6.2	15	8.5	0.01	0.01	1.470	0.000	4	1.72	2.09	0.000	0
juni-95	7.2	16	11.9	0.03	0.02	2.020	0.080	4	3.45	3.67	0.080	0
juli-95	0.0	20	8.6	0.01	0.08	3.300	0.000	4	2.28	1.79	0.000	0
augustus-95	7.3	22	9.9	0.01	0.10	2.940	0.030	4	2.21	2.79	0.030	0
september-95	8.0	16	6.1	0.01	0.09	2.300	0.080	4	3.30	3.99	0.080	0
oktober-95	2.1	16	11.8	0.27	0.45	0.930	0.410	4	3.52	1.43	0.410	0
november-95	4.7	9	9.7	0.29	0.45	1.700	0.000	4	0.90	0.91	0.000	0
december-95	3.1	5	13.3	0.80	3.70	0.990	0.000	4	0.60	0.90	0.000	0
<b>Willem</b>												
januari-95	2.1	5	11.5	0.60	11.00	0.400	0.000	4	0.64	0.90	0.000	0
februari-95	7.4	6	8.4	1.50	6.20	0.900	0.000	4	0.52	0.40	0.000	0
maart-95	2.9	7	15.2	0.44	8.10	0.300	0.000	4	0.75	1.76	0.000	0
april-95	3.8	10	14.8	0.09	0.22	0.400	0.075	4	2.70	2.41	0.075	0
mei-95	2.9	15	13.1	0.09	2.10	1.400	0.035	4	2.17	2.41	0.035	0
juni-95	6.6	16	0.9	2.40	0.05	5.800	0.000	4	2.92	2.90	0.000	0
juli-95	9.8	20	11.4	0.13	0.03	3.800	0.000	4	5.24	4.67	0.000	0
augustus-95	9.5	22	2.8	0.30	0.05	4.400	0.900	4	1.99	3.20	0.900	0
september-95	9.0	16	8.3	0.02	0.01	4.000	0.250	4	20.97	7.28	0.250	0
oktober-95	8.3	16	11.9	0.57	1.20	2.200	0.310	4	3.75	5.03	0.310	0
november-95	8.3	9	8.8	2.40	2.20	1.400	0.065	4	1.24	1.50	0.065	0
december-95	1.9	5	10.6	0.77	21.00	0.200	0.065	4	0.38	0.73	0.065	0
<b>Oosterland</b>												
januari-95	1.6	5	11.2	0.33	5.30	0.390	0.000	4	0.97	1.27	0.000	0
februari-95	4.6	6	14.6	0.70	3.70	0.650	0.000	4	0.82	1.00	0.000	0
maart-95	2.0	7	15.9	0.11	8.20	0.180	0.000	4	0.64	1.39	0.000	0
april-95	4.1	10	17.4	0.13	0.05	0.310	0.070	4	1.91	2.07	0.065	0
mei-95	4.0	15	14.9	0.16	3.60	0.390	0.180	4	4.87	4.64	0.175	0
juni-95	4.8	16	20	0.01	0.04	1.360	0.530	4	10.86	5.29	0.530	0
juli-95	6.2	20	8	0.02	0.01	2.840	0.050	4	7.87	4.68	0.045	0
augustus-95	9.9	22	5.3	0.07	0.01	3.600	0.800	4	4.49	6.03	0.800	0
september-95	6.0	16	9.5	0.07	0.04	2.590	5.210	4	8.24	4.03	5.205	0
oktober-95	6.3	16	6.4	0.08	0.02	2.980	0.510	4	5.62	4.72	0.510	0
november-95	4.7	9	7.8	1.10	0.66	1.670	0.120	4	0.45	1.90	0.115	0
december-95	1.2	5	11.2	0.46	21.00	0.320	0.010	4	0.37	0.44	0.010	0

	Salini- teit	Tem- pera- tuur	Zuur- stof	NH4	NO3	PO4	AAP	Si	POC1	PON1	POP1	DOC
	g/kg	oC	mg/l	mg N/l	mg N/l	mg P/l	mg P/l	mg Si/l	mg C/l	mg N/l	mg P/l	mg C/l
<b>Adriaan</b>												
januari-95	1.3	5	11.7	0.30	11.00	0.400	0.000	4	0.86	0.90	0.000	0
februari-95	2.3	6	13.7	0.70	6.10	0.400	0.085	4	0.45	0.60	0.085	0
maart-95	1.8	7	14.2	0.30	12.00	0.400	0.000	4	0.75	1.63	0.000	0
april-95	3.2	10	16.5	0.10	6.70	0.700	0.135	4	4.49	3.94	0.135	0
mei-95	3.5	15	11.6	0.50	3.20	1.400	0.265	4	7.87	6.26	0.265	0
juni-95	4.6	16	17.2	0.00	0.00	2.900	0.075	4	6.74	5.29	0.075	0
juli-95	5.2	20	9.9	0.10	0.00	2.900	0.000	4	4.12	4.40	0.000	0
augustus-95	5.0	22	6.9	8.80	0.20	4.500	0.800	4	8.99	8.20	0.800	0
september-95	3.5	16	11	0.00	0.10	3.000	0.355	4	8.61	4.39	0.355	0
oktober-95	3.5	16	5.8	0.60	2.80	4.100	0.400	4	1.76	0.65	0.400	0
november-95	3.3	9	7.7	1.20	2.60	1.500	0.085	4	0.82	0.90	0.085	0
december-95	1.4	5	10.6	0.60	24.00	0.300	0.080	4	0.37	0.75	0.080	0
<b>Wilhelmina</b>												
januari-95	10.7	5	9.6	1.30	1.54	1.150	0.030	4	1.05	1.20	0.025	0
februari-95	14.7	6	10.9	1.10	2.80	0.720	0.150	4	0.71	0.80	0.150	0
maart-95	8.3	7	13.5	0.49	1.84	0.890	0.000	4	0.67	1.51	0.000	0
april-95	7.2	10	7.8	0.35	0.47	1.490	0.000	4	1.12	1.35	0.000	0
mei-95	18.6	15	7.9	0.58	0.39	0.870	0.150	4	1.31	3.42	0.145	0
juni-95	22.2	16	12.2	0.01	0.04	1.300	0.000	4	2.02	1.89	0.000	0
juli-95	22.2	20	7.6	0.36	0.10	1.520	0.000	4	1.76	1.24	0.000	0
augustus-95	22.0	22	4.5	1.40	0.05	1.730	0.360	4	0.86	1.40	0.360	0
september-95	20.0	16	5.6	0.15	0.05	2.210	0.100	4	3.75	2.35	0.095	0
oktober-95	20.8	16	5	0.86	0.10	1.400	0.360	4	1.72	2.74	0.360	0
november-95	15.1	9	9.1	0.64	0.31	1.580	0.510	4	1.24	2.46	0.505	0
december-95	5.5	5	9.8	0.76	10.00	0.520	0.120	4	0.37	0.44	0.115	0
<b>Oostwateringe</b>												
januari-95	1.7	5	17.7	1.00	6.20	0.400	0.052	4	0.34	1.50	0.052	0
februari-95	1.5	6	13.2	0.50	5.10	0.400	0.051	4	0.79	1.60	0.051	0
maart-95	2.3	7	20	0.50	3.30	0.300	0.033	4	1.39	1.50	0.033	0
april-95	4.3	10	8.1	0.50	0.00	0.300	0.037	4	1.09	1.10	0.037	0
mei-95	5.4	15	5.9	0.20	0.10	0.900	0.108	4	2.77	2.20	0.108	0
juni-95	6.3	16	11.8	0.00	0.00	1.000	0.127	4	2.36	2.29	0.127	0
juli-95	6.9	20	6.3	0.00	0.10	1.100	0.143	4	2.13	2.16	0.143	0
augustus-95	8.0	22	5	0.00	0.20	1.200	0.150	4	1.76	2.59	0.150	0
september-95	9.0	16	5.5	0.10	0.10	1.100	0.132	4	1.87	2.78	0.132	0
oktober-95	5.8	16	8.4	0.20	0.00	0.700	0.086	4	1.95	1.12	0.086	0
november-95	6.4	9	7.9	0.20	0.10	0.800	0.105	4	0.97	1.22	0.105	0
december-95	3.3	5	11.9	0.30	5.40	0.400	0.054	4	1.12	1.65	0.054	0
<b>Kleverskerke</b>												
januari-95	3.6	5	17.9	1.00	5.70	0.312	0.039	4	0.34	1.70	0.039	0
februari-95	2.1	6	12.3	0.50	5.90	0.360	0.045	4	0.71	1.80	0.045	0
maart-95	7.1	7	9.3	0.50	1.33	0.288	0.036	4	0.82	2.10	0.036	0
april-95	13.0	10	10.7	0.50	0.37	0.600	0.075	4	1.57	1.50	0.075	0
mei-95	15.6	15	14	0.20	0.01	1.392	0.174	4	3.22	2.30	0.174	0
juni-95	17.0	16	10.5	0.01	0.02	2.008	0.251	4	4.87	4.79	0.251	0
juli-95	10.7	20	4.4	0.40	0.37	2.240	0.280	4	5.24	3.50	0.280	0
augustus-95	17.4	22	6.1	0.01	0.09	3.120	0.390	4	3.45	4.99	0.390	0
september-95	20.0	16	6.4	0.31	0.15	2.880	0.360	4	5.24	4.99	0.360	0
oktober-95	10.0	16	11.9	0.08	0.01	1.024	0.128	4	5.24	3.82	0.128	0

	Salini- teit	Tem- pera- tuur	Zuur- stof	NH4	NO3	PO4	AAP	Si	POC1	PON1	POP1	DOC
	g/kg	oC	mg/l	mg N/l	mg N/l	mg P/l	mg P/l	mg Si/l	mg C/l	mg N/l	mg P/l	mg C/l
november-95	16.1	9	10	0.50	0.35	1.336	0.167	4	2.88	2.60	0.167	0
december-95	2.0	5	11	0.68	7.20	0.528	0.066	4	0.90	1.42	0.066	0

AAP = geadsorbeerd fosfaat  
 POC1 = particulier koolstof, snel afbreekbaar  
 PON1 = particulier stikstof, snel afbreekbaar  
 POP1 = particulier fosfor, snel afbreekbaar  
 DOC = opgelost organisch koolstof

Voor de temperatuur van de lozingen is met uitzondering van de Oosterschelde een representatief patroon gehanteerd. Bij afwezigheid van meetgegevens is de siliciumconcentratie met uitzondering van de Oosterschelde gelijk aan 4 mg/l genomen.

#### 5.1.4 Modelparameters

De modelparameters zijn grotendeels overgenomen uit de kalibratie van het 2DV GEM Veerse Meer model (WL | Delft Hydraulics, 1998). Enkele aanpassingen die in het 2DV model gehanteerd moesten worden, zijn in de 3D toepassing teruggezet naar reële waarden:

<i>Parameter</i>	<i>waarde</i>	<i>eenheid</i>	<i>omschrijving</i>
RcDenSed	0,1	d <sup>-1</sup>	denitrificatiesnelheid in het sediment
VSedPOC1	0,25	m/d	sedimentatiesnelheid 1 <sup>e</sup> detritusfractie

Daarnaast is een andere aanpak gekozen voor de parameter SDMix voor *Ulva*. De SDMix is de fractie van de segmentdikte waarin *Ulva* kan groeien. Bij een SDMix van 0,05 en een segmentdikte van 1 meter, kan *Ulva* het licht in de onderste 5 cm van de waterkolom gebruiken voor primaire productie. Bij een segmentdikte van 2 m is dat 10 cm, enzovoorts. In het vaste-lagen model is gekozen voor een vaste laagdikte (25 cm) in plaats van een fractie van de waterkolom. *Ulva* kan dus altijd het licht in de onderste 25 cm van de waterkolom gebruiken voor primaire productie, tenzij de dikte van het segment kleiner is dan 25 cm. In dat geval kan *Ulva* beschikken over het licht over de hele diepte van het segment.

In het 3D model kan het sediment op een realistische manier gemodelleerd worden, aangezien de bathymetrie van het meer goed in het model aanwezig is. In het 2DV model was dit niet het geval (de hoeveelheid sediment was beperkt tot de bodem van de putten en een ondiep *Ulva* segment). Enkele modelinstellingen die daarvan het gevolg waren zijn daarvoor nu overbodig. Het 3D model is daarom uitgebreid met de volledige procesformuleringen voor sedimentatie en resuspensie van particulier organisch materiaal en algen.

Zoals beschreven in hoofdstuk 3 is er geen aanleiding op de zout-afhankelijke extinctie te wijzigen ten opzichte van voorgaande studies. De waarde voor ExtVlSal0 is gehandhaafd op 1,0 m<sup>-1</sup>.

### 5.1.5 Graas

Graas van fytoplankton door mosselen en zoöplankton is gebaseerd op metingen van de biomassa, die overigens ook al in de eerste studie zijn gebruikt (WL | Delft Hydraulics, 1990; Revis en Bakker, 1988). Er is niet onderzocht of recentere metingen beschikbaar zijn.

De biomassa van mosselen wordt opgelegd als een sinusfunctie over het jaar met een minimum waarde op 1 april en een maximum waarde op 1 oktober. De gemiddelde waarde wordt weergegeven in tabel 5.3, de amplitude van de sinus is 50% van het gemiddelde.

De biomassa zoöplankton heeft een symmetrisch verloop door het jaar met een maximum (circa 0,2 gC/m<sup>3</sup>) rond 1 juli. De biomassa van zoöplankton volgt de volgende formulering:

$$\text{Zoöplankton} = 0,002 + 0,2 \sqrt{1 - \tanh\left(\frac{\text{tijd} - 180}{40}\right)^2}$$

met de tijd in dagen vanaf 1 januari. In de onderlaag (< -8 m NAP) is de biomassa zoöplankton gelijk gesteld aan 5% van de biomassa in de boven- en middenlaag.

Tabel 5.3 Toegepaste biomassa mosselen in het Veerse Meer

	bovenlaag (0 - -4 m NAP)	middenlaag (-4 - -8 m NAP)	onderlaag (-8 - -23 m NAP)
<i>Mosselen (g C/m<sup>2</sup>)</i>			
westelijk deel Veerse Meer	13,5	13,5	0
middengedeelte Veerse Meer	6,7	2,7	0
oostelijk deel Veerse Meer	2,5	2,9	0

## 5.2 Tentatieve afregeling

### 5.2.1 Saliniteit, temperatuur en stratificatie

Hoewel saliniteit en temperatuur al in het hydrodynamisch model zijn gemodelleerd, zijn beide grootheden in het waterkwaliteitsmodel opnieuw berekend. De saliniteit dient als controlegrootte voor de juiste representatie van het transport in het waterkwaliteitsmodel. Het resultaat voor saliniteit dient hetzelfde te zijn voor het hydrodynamisch en het waterkwaliteitsmodel. Indien dit het geval is, is de conversie van de hydrodynamische transportvelden naar het waterkwaliteitsmodel goed verlopen.

Figuur 5.1 toont de saliniteitsprofielen op 20 juni 1995 zoals berekent met GEM. Figuur 4.7 toont dezelfde profielen maar dan berekent door het hydrodynamisch model. Een vergelijking van beide figuren geeft aan dat de profielen in het hydrodynamisch en in het waterkwaliteitsmodel goed overeenkomen. De saliniteit in de oppervlaktelaag is in het waterkwaliteitsmodel wat hoger dan in het hydrodynamisch model. De reden hiervoor is het

toegepaste numerieke schema (schema 15: iteratieve solver, opwind in de verticaal), dat in het waterkwaliteitsmodel zorgt voor een (geringe) extra opmenging van de verticaal.

Het resultaat van de GEM berekening wordt vergeleken met metingen op drie vaste meetpunten in het Veerse Meer. De drie meetpunten vallen samen met drie representatieve putten (figuur 4.2):

1. VM20 → Zandkreek put in het oostelijk deel van het meer vlakbij de Zandkreeksluis. De put wordt gedomineerd door het instromen van zout water uit de Oosterschelde;
2. VM50 → Soelekerke put in het middengedeelte van het meer. De Soelekerke put is met circa -23 m NAP het diepste punt van het meer;
3. VM80 → Vrouwenpolder put in het westelijk deel van het meer vlakbij de Veersedam.

Figuur 5.2 laat het verloop van de saliniteit in de drie putten zien voor de oppervlakte laag, halverwege de waterkolom (circa 10 meter diepte) en de bodemlaag. De gemodelleerde saliniteit komt goed overeen met de metingen. De peilopzet eind maart is duidelijk herkenbaar in de toename van de saliniteit in de Zandkreek en Soelekerke put (groene en rode lijn). In het model komt in de oppervlakte laag (zwarte lijn) een gradiënt voor in horizontale richting, waarbij de saliniteit in het oostelijk deel ter hoogte van de Zandkreek put hoger is dan in het westelijk deel ter hoogte van de Vrouwenpolder put. De metingen wijzen daarentegen op een goed gemengde oppervlakte laag, zonder grote gradiënten in de horizontaal. Dit duidt erop dat de verticale menging ter hoogte van de inlaat van zout water te groot is.

De zoutstratificatie in de Zandkreek en Soelekerke putten komt goed overeen met de metingen. De zoutstratificatie blijft gedurende het gehele jaar gehandhaafd in de Zandkreek put. In de Soelekerke put blijft de bodemlaag voortdurend zouter, maar halverwege de waterkolom treedt aan het eind van 1995 menging op met de oppervlakte laag. In de Vrouwenpolder put treedt gedurende enkele periodes een geringe zoutstratificatie op, terwijl van tijd tot tijd de gehele waterkolom opgemengd wordt. De Vrouwenpolder put wordt nauwelijks beïnvloed door de peilopzet.

De watertemperatuur van de oppervlakte laag blijft van april tot en met augustus enkele graden achter ten opzichte van de metingen (Figuur 5.3). Van september tot en met december komt de gemodelleerde watertemperatuur goed overeen met de metingen. Als invoer voor de nu gebruikte temperatuurmodellering in GEM is de daggemiddelde luchttemperatuur gebruikt. In eerdere studies is echter gebleken dat het gebruik van de maximale luchttemperatuur betere resultaten opleverde in de zomerperiode (Venetië, WL | Delft Hydraulics, 1999b). Dit wordt verklaard doordat naast de luchttemperatuur de instraling van zonlicht een belangrijke rol speelt bij de opwarming van het water. Aangezien instraling geen invoervariabele is in de gebruikte temperatuurmodellering in GEM, wordt de watertemperatuur bij gebruik van de daggemiddelde luchttemperatuur onderschat.

Het verloop van de temperatuur in de Soelekerke put laat goed zien dat het diepste gedeelte van de put na peilopzet afgesloten is van de rest van de waterkolom. De temperatuur blijft vrijwel constant op circa 7,5 °C, hetgeen erop wijst dat de Soelekerke put tijdens peilopzet gevuld wordt met Oosterschelde water (met een temperatuur van 7,5 °C) en vervolgens geen interactie meer heeft met het bovenstaande water. Dit wordt in het model goed gereproduceerd.

## 5.2.2 Nutriënten

De metingen geven aan dat de ammoniumconcentratie in de oppervlakte laag gedurende heel 1995 laag is (Figuur 5.4). Het model laat wel een gradiënt zien, waarbij de concentratie ter hoogte van de Zandkreeksluis nul is, terwijl ter hoogte van de Veersedam de concentratie tot circa 0,2 mgN/l kan oplopen. Op de locatie Vrouwenpolder treedt van tijd tot tijd uitputting van ammonium op.

De diepe delen van het meer laten een hogere ammoniumconcentratie zien dan de oppervlakte laag (Figuur 5.4). Door mineralisatie van organisch materiaal dat vanuit de oppervlakte laag naar de diepe delen sedimenteert, wordt ammonium geproduceerd. Door de beperkte menging van de diepe delen als gevolg van de stratificatie, neemt de ammoniumconcentratie toe. Wanneer de waterkolom door bijvoorbeeld een toename van de windmenging opgemengd wordt, daalt de concentratie sterk. Het diepste gedeelte van de Soelekerke put laat een te sterke toename van de ammoniumconcentratie zien. Aangezien het temperatuurverloop in de put aangeeft dat de put gedurende het gehele jaar afgesloten is, is te weinig menging niet de oorzaak van de te hoge concentraties. De verklaring dient gezocht te worden in een te grote hoeveelheid (afbreekbaar) organisch materiaal of een te hoge mineralisatiesnelheid. Aangezien het volume van de put gering is (zie ook tabel 2.2), kan een afwijking in de hoeveelheid (afgebroken) organisch materiaal relatief snel resulteren in een grote afwijking in de ammoniumconcentratie. De metingen in de Soelekerke put wijzen op een afname van de nitraatconcentratie. Mogelijk wordt een deel van het ammonium gevormd door reductie van nitraat. In de modeltoepassing is dit reactiepad niet opgenomen en is mineralisatie van organisch materiaal de enige mogelijke bron van ammonium.

De winterconcentratie nitraat is met circa 3 mgN/l hoog (Figuur 5.5). In het model is de initiële concentratie te laag genomen. De nitraatconcentratie neemt vervolgens af tot zeer lage waarden in de zomermaanden, waarschijnlijk voor een belangrijk deel door denitrificatie. In het model blijft de nitraatconcentratie in zowel de Soelekerke put als de Vrouwenpolder put op respectievelijk 0,15 en 0,25 mgN/l gehandhaafd. Indien nitrificatie (de omzetting van ammonium naar nitraat) de belangrijkste bron van nitraat is, is een relatie te verwachten tussen de ammonium- en de nitraatconcentratie. Immers in dat geval resulteert een hogere ammoniumconcentratie direct in een verhoogde nitrificatie en in een hogere nitraatconcentratie. Een dergelijke relatie is slechts zwak aanwezig in de Soelekerke put en nagenoeg afwezig in de Vrouwenpolder put. Dit duidt erop dat in het model een andere bron voor nitraat aanwezig moet zijn.

De berekende totaal stikstof concentratie komt voor de oppervlakte laag goed overeen met de metingen (Figuur 5.6). De gemodelleerde concentratie wijkt in de eerste maanden van het jaar af door een te lage nitraatconcentratie in de initiële condities. De totaal stikstof concentratie in de bodemlaag komt niet goed overeen. Uit de metingen blijkt dat in de Zandkreek put stikstof accumuleert, terwijl de concentratie in de Soelekerke put relatief constant blijft. In het model is de situatie precies andersom: de Zandkreek put wordt doorspoeld met Oosterschelde water, waardoor de concentratie niet stijgt. De Soelekerke put is wel afgesloten (zie ook het temperatuurprofiel), waardoor ammonium accumuleert.

Het waargenomen verloop van de fosfaatconcentratie vertoont een karakteristiek, sinusvormig patroon (Figuur 5.7 en 5.8). De toename van de fosfaatconcentratie van juni



tot augustus is waarschijnlijk het gevolg van nalevering uit de bodem. In het sediment is de grootste fractie van totaal fosfor geadsorbeerd aan de anorganische sedimentfractie. Fosfaat adsorbeert goed aan de geoxideerd ijzer-mineralen. Geoxideerd ijzer (Fe(III)) komt ruwweg alleen voor zo lang zuurstof en/of nitraat in het sediment aanwezig zijn. In het anoxisch sediment (daar waar geen zuurstof en/of nitraat meer aanwezig zijn) komt ijzer in gereduceerde vorm voor (Fe(II)) en neemt de adsorptiecapaciteit van het sediment sterk af. Door de toevoer van organisch materiaal in de zomerperiode neemt de dikte van de oxische laag af en daarmee de adsorptiecapaciteit van het sediment. Fosfaat wordt dus vrijgemaakt naar het poriewater en vervolgens naar de waterkolom. In de winterperiode treedt een omkering op doordat de oxische laagdikte toeneemt en weer meer fosfaat in het sediment vastgelegd wordt. Een dergelijk proces is eveneens aangetoond in het Grevelingenmeer (WL | Delft Hydraulics, 1988). Dit naleveringsproces van fosfaat is tot op heden niet in GEM opgenomen.

De gemeten siliciumconcentratie ligt in de orde van 1 tot 7 mg/l. De gemodelleerde concentratie is beduidend lager: 0,2 tot 1,5 mg/l. Dit komt overeen met de lage concentratie van silicium in het Oosterschelde water (Tabel 5.2). De hoge waargenomen concentratie in het Veerse Meer moet derhalve afkomstig zijn van polderafwateringen. Omdat directe metingen ontbreken, is een waarde van 4 mg/l gekozen die wellicht te laag is. Echter, om de hoge concentratie in het Veerse Meer te rechtvaardigen is een erg hoge concentratie in het polderwater nodig (meer dan 10 mg Si/l). Niet duidelijk is of een dergelijke concentratie aannemelijk is.

### 5.2.3 Fytoplankton en *Ulva*

Het model toont een opvallend hoge chlorofylconcentratie in het voorjaar (Figuur 5.9). De voorjaarsbloeï is niet in de chlorofyl-a metingen van 1995 terug te vinden. In andere jaren (bijvoorbeeld 1990, 1991 en 1993) is echter wel een voorjaarsbloeï gemeten. Wellicht is de voorjaarsbloeï gemist in de bemonstering, al lijken de duur van de bloei (langer dan 1 maand) en de dichtheid van de bemonstering (Soelekerke 1 keer per 2 weken, Zandkreek en Vrouwenpolder 1 keer per maand) dit niet te bevestigen. Verder is bekend dat de voorjaarsbloeï bestaat uit bruinalgen die met name een piek in chlorofyl-b vertonen. Chlorofyl-b is niet in de metingen opgenomen. Tevens is bekend dat de bruinalgen in de vorm van vlokken voorkomen en daardoor wellicht in de metingen niet meegenomen worden (Wim Scheurs, RIKZ Middelburg, persoonlijke communicatie).

Het watersysteem van het Veerse Meer is uitermate geschikt voor een hoge voorjaarsbloeï. In de wintermaanden stijgen de nutriëntconcentraties door polderlozingen aan de ene kant en menging met nutriëntrijk bodemwater aan de andere kant. De toename van de instraling in het voorjaar zorgt voor ideale condities voor een voorjaarsbloeï. De grootte van een bloei zal afhangen van specifieke factoren.

Het model berekent in de zomermaanden een chlorofylconcentratie die goed overeenkomt met de metingen. De toename in het najaar wordt deels veroorzaakt door het verlagen van het peil en de reactie door 3D effecten in het model. De afname van de dikte van de oppervlakte laag zorgt voor een relatief grotere beschikbaarheid van licht. Tevens komen door mineralisatie van organisch materiaal weer nutriënten beschikbaar. De combinatie van beide effecten leidt tot verbetering van de groeiomstandigheden van algen.

Figuur 5.11 en 5.12 tonen de verspreiding en het gehalte van *Ulva* gedurende 1995. Vanzelfsprekend komt *Ulva* in de ondiepe delen van het meer voor, aangezien daar voldoende licht beschikbaar is voor de macro-alg. Het verspreidingspatroon komt uitermate goed overeen met het patroon dat in juli 1999 bepaald is (Kamermans et al., 1999). Hoewel de metingen uit een ander jaar dan het modeljaar zijn, is de verwachting dat zowel het patroon als de ordegrrootte van de biomassa vergelijkbaar zullen zijn. De gemeten biomassa *Ulva* varieerde in juli 1999 van 20 tot 200 gC/m<sup>2</sup>.

#### 5.2.4 Zuurstof

De gemodelleerde zuurstofconcentratie komt redelijk overeen met de metingen (Figuur 5.9). De zuurstofconcentratie in de oppervlakte laag wordt zowel in locatie Zandkreek als locatie Soelekerke overschat. De hoge zuurstofconcentratie is het gevolg van primaire productie door fytoplankton en *Ulva*, waardoor het water oververzadigd raakt aan zuurstof (Figuur 5.10). Het verzadigingspercentage van zuurstof komt overigens iets beter overeen met de metingen dan de zuurstofconcentratie. Het is goed denkbaar dat bij een hoge primaire productie een deel van het geproduceerde zuurstof in de vorm van gasbellen ontsnapt. Doordat dit niet optreedt in het model, wordt mogelijk de opgeloste zuurstofconcentratie overschat.

## 6 Scenarioberekeningen 3D hydrodynamica

### 6.1 Definitie scenario's

Er zijn 4 scenarioberekeningen uitgevoerd. De berekeningen hebben tot doel de effectiviteit van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam op zich zelf en in combinatie met aanvullende maatregelen te onderzoeken. Daarnaast is een scenario gedefinieerd waarin het Veerse meer van west naar oost doorspoeld wordt met Oosterschelde water. De effectiviteit van de scenario's wordt getoetst aan de hand van de volgende criteria: verzouting, opheffen stratificatie en reductie van fluctuaties in saliniteit. De scenario's worden hieronder kort vermeld:

Nominaal Huidige situatie zonder doorlaatmiddel en met peilvariatie

Scenario 1 Doorspoeling van het meer ( $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) met een inlaat ter hoogte van de Veersedam en een uitlaat ter hoogte van de Zandkreekdam, met peilvariatie

Scenario 2 Uitwisseling door middel van doorlaatmiddel in de Zandkreekdam ( $50 \text{ m}^3/\text{s}$  winterpeil,  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  zomerpeil)

Scenario 3 Uitwisseling met vast peil ( $80 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Scenario 4 Uitwisseling met variabel peil ( $50 \text{ m}^3/\text{s}$  winterpeil,  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  zomerpeil) en afleiding van polderwater De Piet

Door de grote opgelegde debieten tijdens het lozen en spuien wordt niet langer aan het stabiliteitscriterium voldaan. Ter voorkoming van instabiliteiten is daarom het lozingspunt van het doorlaatmiddel verdeeld over enkel rekencellen. Bovendien is de tijdstap gereduceerd van 60 naar 45 s.

Verder zijn de initiële condities aangepast. Zowel de temperatuur als de saliniteit zijn constant genomen, respectievelijk gelijk aan  $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$  en  $23 \text{ ‰}$ .

### 6.2 Resultaten

Aangezien de scenarioberekeningen bedoeld zijn om de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen te bepalen, is de aandacht bij de bespreking van de resultaten gericht op de zomermaanden en de aanloop hiernaartoe.

De verticale zoutprofielen voor de 4 verschillende scenario's worden weergegeven in de figuren 6.1 tot 6.10. Duidelijk is het verschil waar te nemen tussen het doorspoelscenario en het uitwisselingscenario. Aan de oostzijde neemt de gesimuleerde zoutconcentratie direct toe tengevolge van het opgelegde uitwisselingsdebiet. Zoals verwacht worden in scenario 2 en 4 lagere zoutconcentraties berekend dan in scenario 3 doordat initieel  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  in plaats van  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  geloosd wordt.

Het uitwisselingsdebiet is in het doorspoelscenario (scenario 1) afwezig en hierdoor blijft de zoutconcentratie achter. In dit scenario wordt in het westelijk deel van het model

geloosd wat direct af te leiden valt aan de verhoogde zoutconcentraties bij de stations Schotsman en Vrouwenpolder.

Tijdens de periode van peilopzet neemt de zoutconcentratie snel toe in het oosten van het meer. Initieel blijft de zoutconcentratie in scenario 3 nog steeds achter. De toename van de concentratie in het doorspoelscenario is minder uitgesproken. Doordat lokaal water wordt onttrokken, verlaat direct een groot deel van het zout het systeem en zal de Zandkreekput niet bereiken. In dit stadium geeft het doorspoelscenario beduidend minder stratificatie dan de overige scenario's.

In mei, na de periode van peilopzet, zijn nauwelijks nog verschillen waar te nemen tussen de uitwisselingsscenario's. Dit beeld blijft gedurende de rest van het jaar gehandhaafd. In alle scenario's zijn nog gradiënten in saliniteit te constateren in longitudinale richting van het model. Deze gradiënten verdwijnen in het loop van het jaar alleen in scenario 1.

In de uitwisselingsscenario's treedt geen volledige menging op in horizontale richting. Dit leidt niet tot horizontale gradiënten in de temperatuur. Deze wordt voornamelijk bepaald door lokaal warmteverlies en -toename. Opvallend zijn de verticale temperatuurprofielen ter hoogte van de Zandkreekput. Deze put wordt niet ververst maar blijft gevuld met water dat resteert van de initiële condities. Dit beeld wordt gedurende de gehele zomer waargenomen. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de aanwezigheid van het extra ontrekkingspunt in het oosten van het model.

Gedurende de zomermaanden geeft het doorspoelscenario vrijwel volledig opgemengde waterkolommen te zien met uitzondering van de locatie nabij de sluis die worden gedomineerd door de daar aanwezige lozingen. In het uitwisselingsscenario is iets meer zoutstratificatie aanwezig.

De temperatuurstratificatie lijkt meer persistent. Alle scenario's voorspellen temperatuurstratificatie gedurende de zomermaanden. Pas aan het einde van de zomer wordt het systeem volledig opgemengd door de wind.

## 6.3 Discussie

### 6.3.1 Verzouting

Door een verhoogde uitwisseling met de Oosterschelde stijgt de saliniteit in het Veerse Meer. Bij het doorspoelen (scenario 1) wordt een vrijwel constante saliniteit van circa 28‰ bereikt. De hoogste saliniteit komt voor in het westelijk deel, de laagste in het oostelijk deel. De horizontale gradiënt is beperkt tot circa 2‰.

In geval van uitwisselen komt de hoogste saliniteit voor ter hoogte van de Zandkreeksluis. De laagste saliniteit wordt berekend voor het westelijk deel van het meer. De horizontale gradiënt bedraagt zo'n 5‰. De saliniteit varieert hiermee van 23‰ tot 28‰ in de oppervlakte laag. Ter vergelijking, in de nominale berekening bedraagt de maximale saliniteit in de oppervlakte laag 20‰.

### 6.3.2 Afname van stratificatie

Door het verzouten van het meer neemt het dichtheidsverschil tussen het oppervlaktewater en het water in de putten aanzienlijk af. De toename van de saliniteit in de oppervlakte laag draagt het meest bij aan de afname van het dichtheidsverschil.

De berekeningen wijzen uit dat de aanvullende maatregelen (vast peil, afleiding gemaal De Piet) geen significante toevoeging leveren voor de afname van de stratificatie. De betreffende scenario's (2, 3 en 4) vertonen relatief weinig verschil in de saliniteitsprofielen.

In geval van doorspoelen neemt de stratificatie verder af dan in het geval van uitwisselen. Ook in het oostelijk deel dat relatief ver verwijderd ligt van het instroompunt bij de Veersedam, heeft doorspoelen een uitermate gunstig effect op de mate van stratificatie. Met name het opheffen van de stratificatie in het najaar geschied sneller. Het doorspoeldebiet van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  lijkt daarmee effectiever dan het grotere uitwisselingsdebiet ( $50/80 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

De berekeningen laten zien dat temperatuurstratificatie niet te voorkomen is. Echter, gezien het voorkomen van diepe putten in het meer moet temperatuurstratificatie wellicht als een natuurlijk fenomeen geaccepteerd worden.

### 6.3.3 Fluctuaties

Het aanleggen van een verbinding met de Oosterschelde, hetzij bij de Zandkreekdam hetzij bij de Veersedam, heeft tot gevolg dat fluctuaties in de saliniteit onderdrukt worden. De saliniteit wordt dan in belangrijke mate gestuurd door de saliniteit van de Oosterschelde. De saliniteit van het Veerse Meer blijft altijd lager dan die van de Oosterschelde, doordat polderuitslagen op het meer de saliniteit verlagen. Wel kan geconcludeerd worden dat de saliniteit van het Veerse Meer op een hoge waarde gehandhaafd kan worden.

## 6.4 Conclusie

Het doorspoelscenario lijkt de meest efficiënte maatregel om zoutstratificatie te voorkomen gedurende de zomermaanden. Met uitzondering van de locaties nabij de sluis geeft dit scenario een opgemengd systeem te zien. Alle vier de scenario's geven enige mate van temperatuurstratificatie tijdens de zomermaanden te zien. Opvallend is de voorspelde temperatuurstratificatie ter hoogte van de Zandkreekput gedurende de zomermaanden in het doorspoelscenario. Dit lijkt het enige punt waar dit scenario significant meer temperatuurstratificatie oplevert dan de overige scenario's.

De aanleg van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam geeft op ieder van de criteria (zoutgehalte, stratificatie, fluctuatie) een verbetering ten opzichte van de huidige situatie te zien.

## 7 Scenarioberekeningen 3D GEM Veerse Meer

Om het effect van het doorlaatmiddel op de waterkwaliteit te beschouwen, worden de diverse scenario's met elkaar en met de nominale berekening vergeleken. Ter referentie worden de diverse scenario's nog even kort gememoreerd:

- Nominaal Huidige situatie zonder doorlaatmiddel en met peilvariatie
- Scenario 1 Doorspoeling van het meer (10 m<sup>3</sup>/s) met een inlaat ter hoogte van de Veersedam en een uitlaat ter hoogte van de Zandkreekdam, met peilvariatie
- Scenario 2 Uitwisseling door middel van doorlaatmiddel in de Zandkreekdam (50 m<sup>3</sup>/s winterpeil, 80 m<sup>3</sup>/s zomerpeil)
- Scenario 3 Uitwisseling met vast peil (80 m<sup>3</sup>/s)
- Scenario 4 Uitwisseling met variabel peil (50 m<sup>3</sup>/s winterpeil, 80 m<sup>3</sup>/s zomerpeil) en afleiding van polderwater De Piet

### 7.1 Algemeen

Om een eerste indruk te krijgen van het effect van de verschillende maatregelen zijn voor de nominale berekening en de scenario's simulaties met conservatieve tracers uitgevoerd. Een conservatieve tracer ondergaat geen processen zoals afbraak en de concentratie wordt zodoende alleen bepaald door het hydrodynamisch transport en door de lozingen. In de simulaties zijn drie conservatieve tracers gedefinieerd:

- Tracer 1: Initiële concentratie 100 g/m<sup>3</sup>
- Tracer 2: In Oosterschelde lozingen (concentratie 100 g/m<sup>3</sup>)
- Tracer 3: In overige lozingen (polders, Kanaal door Walcheren; concentratie 100 g/m<sup>3</sup>).

De eerste tracer zit alleen initieel in het model en zal dus uitgespoeld worden. De som van de concentratie van de tracers zal altijd gelijk zijn aan 100 g/m<sup>3</sup> (voetnoot<sup>3</sup>). De concentratie van een bepaalde tracer geeft derhalve de oorsprong van het water in een segment weer: hetzij initieel, hetzij van de Oosterschelde, hetzij van de overige lozingen.

Figuur 7.1a/b/c toont het verloop van de tracers in respectievelijk de Zandkreek, Soelekerke en Vrouwenpolder putten voor de nominale berekening. Uit de figuur blijkt dat na 1 jaar nog circa 30% van het initiële water in het meer aanwezig is. Bij de Veersedam is dit percentage zelfs 40%. Slechts 70% van het meer is derhalve binnen dat jaar vervangen. In de oppervlakte laag blijkt circa 35% afkomstig van de Oosterschelde en een even grote hoeveelheid van de overige lozingen. Ter hoogte van de Veersedam (Figuur 7.1c) is de invloed van de polderlozingen en het Kanaal door Walcheren duidelijk groter dan ter hoogte van de Zandkreekdam (Figuur 7.1a) waar de invloed van de Zandkreeksluis begrijpelijkerwijs waarneembaar is.

<sup>3</sup> Dit is niet helemaal juist, omdat ook verdamping en neerslag in het model zijn meegenomen. Hieraan is geen concentratie toegekend. Afhankelijk van de hoeveelheid neerslag en verdamping zal de totale hoeveelheid tracer licht afwijken van 100 m<sup>3</sup>.

In alle scenarioberekeningen is het effect van de vergrote uitwisseling met de Oosterschelde terug te zien in een lagere concentratie van de initiële tracer aan het eind van het jaar. Doorspoelen (scenario 1, Figuur 7.2a/b/c) blijkt effectiever dan uitwisselen (scenario 2, 3 en 4, Figuren 7.3, 7.4 en 7.5), hoewel het doorspoeldebiet kleiner is dan het uitwisseldebiet (respectievelijk  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  en getij-gemiddeld  $25/40 \text{ m}^3/\text{s}$ ). In het doorspoelscenario is de initiële tracer aan het eind van het jaar nagenoeg verdwenen, hetgeen betekent dat het meer binnen 1 jaar wordt verversd. In de uitwisselscenario's is ter hoogte van de Zandkreeksluis nog steeds 5 tot 10% van het water vanaf de initiële conditie aanwezig (Figuur 7.3a). Ter hoogte van de Veersedam is dit percentage zelfs zo'n 20% (Figuur 7.3c). Een belangrijk deel van het Oosterschelde water dat door het doorlaatmiddel tijdens hoogwater instroomt, verlaat het Veerse Meer weer bij laagwater.

Tussen de uitwisselscenario's zit relatief weinig verschil. Het afleiden van De Piet heeft tot gevolg dat het percentage van de overige lozingen iets is afgenomen. Het handhaven van een vast peil heeft tot gevolg dat het percentage van de Oosterschelde in het najaar iets hoger is dan in geval van een variabel peil. De verschillen zijn echter gering.

## 7.2 Saliniteit, temperatuur en stratificatie

Het vergroten van de uitwisseling met de Oosterschelde (hetzij door uitwisselen, hetzij door doorspoelen) resulteert in een toename van de saliniteit (Figuur 7.6a/b/c). Het doorspoelen van het meer (scenario 1) heeft een hogere saliniteit tot gevolg dan het uitwisselen (scenario 2/3/4), hoewel het debiet kleiner is: respectievelijk  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  versus  $50/80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ook de horizontale gradiënt in saliniteit tussen de Zandkreek put en de Vrouwenpolder put is kleiner (circa 2 ‰) in geval van doorspoelen dan in geval van uitwisselen (circa 4 ‰).

De mate van stratificatie (gedefinieerd als het verschil in saliniteit tussen bodem en oppervlakte laag) neemt in alle scenario's af ten opzichte van de nominale berekening (Figuur 7.6a). In scenario 1 (doorspoelen) zorgt de peilopzet eind maart nog voor het aanzetten van stratificatie in de Zandkreekput. Daarnaast is het verschil in saliniteit tussen bodem en oppervlakte laag vrijwel gelijk voor alle scenario's. Aan het eind van het jaar vertoont het doorspoelscenario het kleinste saliniteitsverschil. Het scenario met handhaving van vast peil (scenario 3) heeft een iets kleiner saliniteitsverschil dan de scenario's met een variabel peil aan het eind van de simulatie.

In de Soelekerke put heeft doorspoelen een gunstiger effect op de saliniteit dan uitwisselen (Figuur 7.6b). In scenario 1 bevindt de spronglaag zich op een grotere diepte dan in de uitwisselscenario's (2, 3 en 4). Het afleiden van het polderwater van De Piet heeft slecht een minimaal effect op de saliniteit en is eigenlijk alleen terug te zien in de wintermaanden. In vergelijking met scenario 2 is de stratificatie in het begin van het jaar ietwat minder in scenario 4.

Doordat in het doorspoelscenario (scenario 1) het inlaatpunt van Oosterschelde water vlakbij de Vrouwenpolder put gesitueerd is, neemt de saliniteit sterk toe ten opzichte van de nominale berekening. De saliniteit is aanzienlijk hoger dan in het geval van uitwisseling, omdat lozingen van zoet water een kleinere invloed zullen hebben naarmate de locatie zich dichter bij de inlaat van Oosterschelde water bevindt.

De temperatuur van het oppervlakte water is vrijwel gelijk in alle scenario's en de nominale berekening (Figuur 7.7a/b/c). De watertemperatuur wordt bijna volledig bepaald door de meteorologische randvoorwaarden. Aangezien deze voor alle scenario's gelijk zijn, zijn de verschillen in oppervlakte temperatuur minimaal.

De Zandkreek put heeft in het geval van doorspoelen een groter temperatuurverschil tussen oppervlakte en bodemlaag dan in het geval van uitwisselen en dan in de nominale berekening (Figuur 7.7a). In het doorspoelscenario wordt 10 m<sup>3</sup>/s aan het meer onttrokken bij de Zandkreeksluis. De inlaatdebieten bij de sluis zijn kleiner dan 10 m<sup>3</sup>/s, zodat ze de Zandkreek put niet meer bereiken, aangezien ze al voortijdig uitgespoeld worden. De peilopzet is hierop een uitzondering, en deze vult in scenario 1 nog steeds de Zandkreek put met zout en koud Oosterschelde water (Figuur 7.6a). De Zandkreek put blijft vervolgens afgesloten en wordt niet doorspoeld met Oosterschelde water vanaf de sluis, omdat dat de put niet bereikt. De put wordt evenmin ververscht vanaf de westelijke kant, aangezien het water in de put een hogere dichtheid heeft dan het water ten westen van de put (Figuur 7.6b).

Het temperatuurverloop in de uitwisselscenario's (scenario's 2, 3 en 4) is nagenoeg identiek. Het temperatuurverschil tussen oppervlakte en bodemlaag in de Zandkreek put is bij uitwisselen kleiner dan in de nominale berekening (Figuur 7.6a). De inlaat van Oosterschelde water door het doorlaatmiddel zorgt voor een voortdurende verversing en opmenging van het water in de Zandkreek put.

De scenarioresultaten verschillen in de Soelekerke put slechts in beperkte mate (Figuur 7.7b). het temperatuurverschil tussen oppervlakte en bodemlaag neemt in alle geval af ten opzichte van de nominale berekening. Bij doorspoeling is de stratificatie een fractie hoger dan bij uitwisselen. Ook in de Vrouwenpolder put zijn de verschillen tussen de scenario's beperkt (Figuur 7.7c).

### 7.3 Nutriënten

Als gevolg van de maatregelen is de hoeveelheid stikstof in de winterperiode kleiner dan in de nominale berekening. Dit geldt zowel voor ammonium (Figuur 7.8a/b/c) als nitraat (Figuur 7.9a/b/c). Door de uitwisseling met de Oosterschelde wordt een deel van de nutriënten uitgespoeld. In de zomerperiode is het verschil tussen de scenario's en de nominale berekening relatief klein.

De ammonium concentratie in de oppervlakte laag van de Zandkreek put (Figuur 7.8a) is in alle scenario's laag, hoewel een fractie hoger dan in de nominale berekening. De concentratie in de bodemlaag laat zien dat de Zandkreek put inderdaad afgesloten is aangezien de ammoniumconcentratie door mineralisatie sterk oploopt.



Op locatie Soelekerke (figuur 7.8b) is de ammoniumconcentratie in de oppervlakte laag vrijwel identiek voor alle scenario's en de nominale berekening. Halverwege de waterkolom is de concentratie afgenomen in de scenario's ten opzichte van de nominale berekening. De periodes van toenemende ammoniumconcentratie in de bodemlaag geven aan dat in het doorspoelscenario de Soelekerke put van april tot en met augustus afgesloten is. Voor de uitwisselscenario's geldt hetzelfde op een opmenging in juni na. Daarnaast is de put gedurende korte periodes in het najaar gestratificeerd.

In de Vrouwenpolder put is de ammoniumconcentratie in de oppervlakte laag bij doorspoeling wat lager dan in de nominale berekening (Figuur 7.8c). De overige scenario's vertonen weinig verschil ten opzichte van de nominale berekening.

De nitraatconcentratie in de oppervlakte laag van de Zandkreek put is laag in de nominale berekening en blijft even laag in de scenarioberekeningen (Figuur 7.9a). De concentratie in de bodemlaag is eveneens vergelijkbaar tussen de nominale berekening en de scenarioberekeningen. Voor de Soelekerke en de Vrouwenpolder put neemt de nitraatconcentratie in de oppervlakte laag wel af als gevolg van de maatregelen (Figuur 7.9b/c). Met name in het voorjaar (april/mei) is de concentratie lager dan in de nominale berekening. In het doorspoelscenario is de concentratie lager dan in de uitwisselscenario's. De nitraatconcentratie in de diepe delen van het meer zullen voornamelijk gestuurd worden door denitrificatie bij lage zuurstofconcentraties.

De totale hoeveelheid stikstof blijft vrijwel gelijk in de scenario's ten opzichte van de nominale berekening (Figuur 7.10a/b/c). Aangezien zowel de ammoniumconcentratie als de nitraatconcentratie in de oppervlakte laag laag is, is een belangrijk deel van het totaal stikstof organisch.

De fosfaatconcentratie wordt aanmerkelijk verlaagd door uitwisselen of doorspoelen (Figuur 7.10a/b/c). In de nominale berekening is de fosfaatconcentratie in de zomerperiode gelijk aan 0,1 mgP/l. In het doorspoelscenario is de concentratie in de oppervlakte laag soms gelijk aan 0 mgP/l en is gemiddeld niet hoger dan 0,05 mgP/l. De uitwisselscenario's verschillen onderling nauwelijks en hebben een fosfaatconcentratie in de oppervlakte laag gelijk aan 0,05 tot 0,10 mgP/l. De concentratie is het hoogst in Vrouwenpolder (Figuur 7.11c). Totaal fosfor vertoont grotendeels hetzelfde beeld (Figuur 7.12a/b/c).

## 7.4 Fytoplankton en *Ulva*

De voorjaarsbloei van fytoplankton komt in alle scenario's voor (Figuur 7.14a/b/c). Hoewel de maximale waarde iets lager is in de scenario's dan in de nominale berekening, is de periode van hoge chlorofylconcentraties langer. In de zomerperiode blijft de hoeveelheid fytoplankton op een vergelijkbaar niveau (circa 5 µg/l chlorofyl).

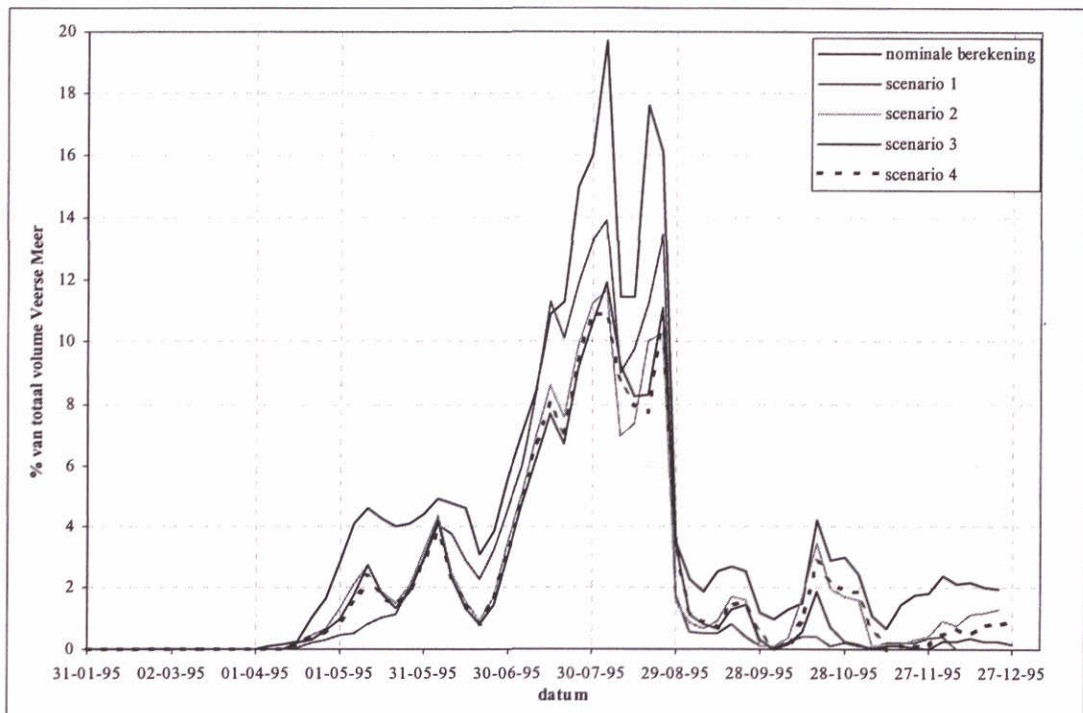
De biomassa van *Ulva* op een aantal locaties is weergegeven in Figuur 7.15 en 7.16. Uit de figuren blijkt de *Ulva* niet afneemt door de aanleg van een doorlaat- of een doorspoelmiddel. In het westelijk deel van het meer (Figuur 7.15) is de hoeveelheid *Ulva* in het voorjaar iets lager dan in de nominale berekening, in de zomerperiode ligt de hoeveelheid *Ulva* op een iets hoger niveau. In het oostelijk deel van het meer (Figuur 7.16) is het verschil tussen de nominale en de scenarioberekeningen ter hoogte van Middelpaten

minimaal. Ter hoogte van de Zandkreekdam neemt *Ulva* aanzienlijk toe. Voor een belangrijk deel wordt dit veroorzaakt door een verbetering van het lichtklimaat. Zout water bevat minder opgelost organisch materiaal (humus) dan zoet water. Aangezien humus een relatief grote lichtuitdoving veroorzaakt, houdt zouter water een lagere extinctie in, waardoor *Ulva* meer kan groeien.

De groei van *Ulva* in het najaar heeft te maken met het aflaten van het peil. Hierdoor worden de segmenten minder diep, waardoor de beschikbaarheid van licht voor *Ulva* op de bodem toeneemt. In het scenario met een vast peil (scenario 3) treedt deze najaarsbloei niet op.

## 7.5 Zuurstof

Zuurstofloosheid blijft bestaan in de diepe delen van het Veerse Meer (Figuur 7.13a/b/c). In de nominale berekening is maximaal 20 volume% van het meer zuurstofloos (Figuur 7.17). In het geval van uitwisselen is dit percentage maximaal 12 volume%. Bij doorspoelen is dit percentage maximaal 14 volume%.



Figuur 7.17 Percentage van het totaal volume van het Veerse Meer met zuurstofloosheid

## 8 Discussie

### 8.1 Hydrodynamica

#### *Algemeen*

De geometrie van het Veerse Meer met zijn oude getijgeulen is zeer typerend voor de door de aanleg van de Zandkreekdam en de Veersedam afgesloten zeearm. In combinatie met het gecontroleerde hydrologisch beheer van het meer is een complex hydrodynamisch systeem ontstaan. De term complex slaat hierbij niet in de minste plaats op de uitersten die van de hydrodynamische modellering werden gevraagd.

In onderhavige studie is veel aandacht besteed om de basis van het hydrodynamisch model, de schematisatie, zo goed mogelijk overeen te laten komen met beschikbare gegevens. De bathymetrie van het Veerse Meer was goed bekend (meer dan 100.000 punten), zodat de verdeling van diepe en ondiepe gebieden representatief in de 3D schematisatie kon worden verwerkt. Het totaal volume van het Veerse Meer is 100 miljoen m<sup>3</sup> (bij 0 m NAP). Het overgrote deel van het volume bevindt zich in de ondiepe delen (66% boven -5 m NAP) en slechts een zeer kleine fractie in de putten (1% beneden -15 m NAP).

De hydrodynamica van het Veerse Meer wordt in de huidige situatie voor een belangrijk deel gestuurd door lokale processen bij de Zandkreeksluis. Het inlaten van zout water uit de Oosterschelde en het transport van het zoute water langs de bodem is in hoge mate verantwoordelijk voor het ontstaan van stratificatie in het meer. De wind speelt een dominante rol in het opheffen van de stratificatie.

#### *Onzekerheden*

Hoewel de waterbalans en de daaraan gekoppelde zoutbalans in detail zijn bekeken en een sluitende waterbalans is toegepast, blijft de waterbalans een onzekere factor in de modellering. Aangezien stratificatie afhangt van de hoeveelheid zout water die bij de Zandkreeksluis ingelaten wordt, kan een onzekerheid in de waterbalans effect hebben op de gemodelleerde stratificatie. Gezien de beperkte nauwkeurigheid waarmee de diverse debieten bekend zijn, is de onzekerheid in de water- en zoutbalans niet weg te nemen.

In de huidige situatie is de dynamiek van de in- en uitgaande stromen bij de Zandkreeksluis van groot belang. Voor alle debieten zijn maandgemiddelde waarden aangenomen (met uitzondering van het 10-daags debiet voor peilopzet). Hiermee wordt geen recht gedaan aan het dynamische systeem bij de Zandkreeksluis. Het schutten en spuien zal pulsmatiger verlopen. Vanwege de continue debieten treedt een kortsluitstroming op. Dat wil zeggen dat op hetzelfde moment water in- en uitgelaten wordt, hetgeen niet overeenkomt met de werkelijkheid. Het is onduidelijk in hoeverre dit van belang is voor de hydrodynamische modellering. Overigens speelt de sluis in de scenarioberekeningen een meer ondergeschikte rol, omdat de sluisdebieten relatief klein zijn (0,3 m<sup>3</sup>/s berekend als continu debiet) in vergelijking met het doorspoeldebiet (10 m<sup>3</sup>/s) en het uitwisseldebiet (50/80 m<sup>3</sup>/s).

## 8.2 Waterkwaliteit

Het 3D GEM Veerse Meer model is de eerste toepassing van het vaste-lagen model voor waterkwaliteitsberekeningen. Hierdoor is veel ontwikkeling nodig geweest, en is de inhoudelijke aandacht voor de waterkwaliteit wellicht onderbelicht gebleven. De hier gepresenteerde resultaten zijn dan ook niet het optimale resultaat. Toch denken we op grond van de ervaring in andere, vergelijkbare studies, dat de vergelijking tussen de nominale berekening en de scenarioberekeningen een goede indicatie geeft van de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen. Wel zou een grondiger analyse met behulp van het nu opgezette modelinstrumentarium veel extra inzicht kunnen geven in de werking van het Veerse Meer.

Ten opzichte van de voorgaande 2DV modellering is een grote stap voorwaarts gezet voor wat betreft de modellering van *Ulva*. De nominale berekening laat zien dat zowel de gemodelleerde biomassa als de verspreiding van *Ulva* zeer goed overeenkomen met metingen.

Een verdere kalibratie en analyse van het model zal met name nuttig zijn voor de nutriënt-huishouding van het Veerse Meer. De modelstudie heeft aangetoond dat het doorlaatmiddel alleen niet alle problemen met de waterkwaliteit van het Veerse Meer oplost. Zo zal de hoeveelheid *Ulva* niet afnemen en mogelijk zelfs toenemen. Ook zuurstofloosheid zal zeer waarschijnlijk blijven voorkomen. Een verdere verbetering van de waterkwaliteit dient gezocht te worden in een reductie van de nutriëntbelasting. Een beter inzicht in de nutriëntenhuishouding en de nutriëntenbalans is hiervoor noodzakelijk, zodat de vraag beantwoord kan worden in welke mate de nutriëntenbelasting gereduceerd zou moeten worden.

## 8.3 Effectiviteit van het doorlaatmiddel

### 8.3.1 Aspecten

De voornaamste waterkwaliteitsproblemen van het Veerse Meer zijn momenteel:

- zoutgehalte (het meer is brak in plaats van zout);
- zuurstofloosheid;
- bloei van fytoplankton en *Ulva*.

### 8.3.2 Saliniteit

De aanleg van het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam resulteert in een verhoging van de saliniteit van het Veerse Meer. Voor het westelijk deel van het Veerse Meer nabij de Veersedam is het doorlaatmiddel minder effectief dan voor het oostelijk deel nabij de Zandkreekdam. De saliniteit van de oppervlakte laag in het oostelijk deel neemt toe van circa 18 ‰ in de huidige situatie naar circa 27 ‰ met het doorlaatmiddel. In het westelijk deel neemt de saliniteit minder toe: van circa 17 ‰ naar circa 24 ‰.

Het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam is relatief inefficiënt wat betreft de verversing van het Veerse Meer. In de huidige situatie zonder doorlaatmiddel is ongeveer 65% van het volume van het meer binnen 1 jaar verversd. Met het doorlaatmiddel is dat ongeveer 85%. Nabij de Veersedam is verversen door middel van het uitwisselen met de Oosterschelde ter hoogte van de Zandkreekdam een relatief traag proces. Uit een analyse van de uitgevoerde tracerberekeningen blijkt dat slechts 3% van het uitwisselingsdebiet, effectief benut wordt voor het verversen van het meer.

Doorspoelen van het Veerse Meer leidt tot een sterkere verhoging van het zoutgehalte en een snellere verversing. Het zoutgehalte van de oppervlaktelaag neemt toe tot circa 28 ‰ in het gehele meer. Binnen 1 jaar wordt 99% van het meer verversd.

### 8.3.3 Zuurstof

Stratificatie in een systeem met diepe putten is moeilijk te voorkomen. Ook onder de hier gesimuleerde scenario condities treedt nog steeds zuurstofloosheid van de putten op. Dit geldt voor zowel het uitwisselen als het doorspoelen. Echter, aangezien het totale volume van de putten (dieper dan -15 m NAP) slechts 1% van het totaal volume van het meer uitmaakt, dient de afweging gemaakt te worden, hoeveel belang hieraan gehecht moet worden.

De zuurstofconcentratie halverwege de waterkolom (circa -10 m NAP), verbetert merkbaar ten gevolge van de maatregelen ten opzichte van de huidige situatie. Doorspoelen van het meer is wat dit aspect betreft overigens niet significant beter of slechter dan uitwisselen.

### 8.3.4 Fytoplankton en *Ulva*

De bloei van fytoplankton en *Ulva* hangt af van twee aspecten: de beschikbaarheid van nutriënten en de hoeveelheid licht. Door het verzouten van het meer neemt de concentratie opgelost organisch materiaal af, waardoor het water helderder wordt. Dit leidt in potentie tot verhoging van de biomassa. De nutriëntconcentraties zullen juist afnemen door toegenomen uitwisseling met de Oosterschelde. Dit leidt in potentie tot verlaging van de biomassa. In de scenarioberekeningen is de hoeveelheid nutriënten nog steeds voldoende om de nominaal berekende hoeveelheid fytoplankton en *Ulva* in stand te houden. Door de verbetering van het lichtklimaat is zelfs het risico aanwezig van een toename van de hoeveelheid *Ulva*. Een reductie van de *Ulva* biomassa is pas mogelijk bij een verdergaande vermindering van de nutriëntconcentratie in het Veerse Meer.

De stikstofconcentratie in het Veerse Meer blijkt tamelijk ongevoelig voor zowel het uitwisselen als het doorspoelen. Binnen de huidige studie is geen mogelijkheid geweest een nadere analyse te doen. De fosfaatconcentratie neemt wel af door uitwisselen en doorspoelen, waarbij het doorspoelen effectiever is dan het uitwisselen. Doorspoelen of uitwisselen leveren vergelijkbare resultaten op voor de waterkwaliteit. Het is echter wenselijk voor verdere maatregelen zoals reductie van de nutriëntenbelasting de doorspoeloptie te blijven meenemen.

### 8.3.5 Waterbalans en peil

Twee aspecten die verdere aandacht verdienen zijn de waterbalans en het droogvallen en inunderen van ondiepe gebieden. In de uitgevoerde scenarioberekeningen is de waterbalans niet aangepast aan de veranderde omstandigheden. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld in de uitwisselscenario's alle debieten zijn gehandhaafd en alleen het uitwisseldebiet toegevoegd is. Het is waarschijnlijker dat het hydrologisch beheer aangepast zal worden wanneer het doorlaatmiddel is aangelegd. Zo zal waarschijnlijk de peilopzet niet meer via de Zandkreeksluis verlopen maar via het doorlaatmiddel. Het effect van een dergelijke aanpassing in het hydrologisch beheer is niet in de huidige studie verdisconteerd.

Hoewel de 3-dimensionale schematisatie een goed beeld geeft van de bathymetrie van het Veerse Meer, is het droogvallen en inunderen van ondiepe delen (minder dan 70 cm) door respectievelijk peilaflaat en peilopzet niet in het model meegenomen. Het effect van dit proces op de ecologie en de waterkwaliteit is niet duidelijk.

### 8.3.6 Beoordeling resultaten

De interpretatie van de modelresultaten dient op een genuanceerde wijze plaats te vinden. Tot nu is geen situatie doorgerekend die zo'n positief effect sorteert dat de grootste problemen van het Veerse Meer in een keer worden opgelost. Met name is geen scenario doorgerekend waarmee de primaire produktie drastisch vermindert en de kans op zuurstofloosheid van de diepe putten tot nul wordt gereduceerd. Daarmee is overigens niet gezegd dat maatregelen zinloos zijn of dat een verder onderzoek naar vergroting van de effectiviteit van maatregelen bij voorbaat tot mislukking gedoemd is. De huidige studie heeft met veel (technische) problemen te kampen gehad en heeft daarmee niet de noodzakelijke ruimte geboden voor een gedetailleerde analyse van mogelijke maatregelen. De ervaring van andere studies leert dat juist een dergelijke analyse vaak leidt tot nieuwe, vaak onverwachtse combinaties van maatregelen, die gezamenlijk tot de gewenste resultaten kunnen leiden. Met name de water- en daaraan gekoppeld de stoffenbalans biedt in principe veel sturingsmogelijkheden

Zowel de scenario's met doorlaatmiddel als de doorspoeling brengen een aantal hiervoor beschreven veranderingen teweeg, die deels wel degelijk in de goede richting gaan en dus als een belangrijke eerste stap kunnen worden beschouwd voor de gewenste sanering van het meer. Anders gezegd: de huidige problemen van het Veerse Meer worden niet accuut opgelost middels een technische maatregel, maar verandering van de infrastructuur biedt wel veel meer mogelijkheden om tot een gewenst resultaat te komen.

## 9 Conclusies en aanbevelingen

### 9.1 Conclusies

#### *Methodiek*

1. De grotere detaillering van het nu opgezette 3D model biedt meer mogelijkheden het effect van het doorlaatmiddel op de waterkwaliteit en de ecologie te onderzoeken dan eerder toegepaste (2DV) STRESS-model;
2. Vanwege de steile bodemgradiënt kan het gebruikelijke sigma-lagen model niet worden toegepast voor het Veerse Meer. In plaats hiervan is een vaste lagen versie van het model ontwikkeld, die goede resultaten oplevert;
3. De belangrijkste fenomenen van het Veerse Meer (zouttong, stratificatie) worden door het 3D hydrodynamisch model goed gereproduceerd. Afwijkingen komen met name in de temperatuur van de oppervlakte laag en de saliniteit bij de Zandkreeksluis voor;
4. In combinatie met het vaste lagen model is een 3D GEM (Generiek Ecologisch Model voor estuaria) gerealiseerd, die veelbelovende resultaten geeft bijvoorbeeld wat betreft de verspreiding en biomassa van *Ulva* en de zuurstofhuishouding;
5. Vanwege lange reketijden van het model (hydrodynamica 3,5 dagen op Pentium III 550, GEM 2,5 dag op SGI) is de kalibratie niet op een optimaal niveau gekomen. Het 3D GEM model reproduceert in de kalibratie saliniteit, temperatuur en zuurstof naar tevredenheid, maar met name in de nutriëntenhuishouding is verbetering mogelijk.

#### *Effectiviteit van het doorlaatmiddel*

6. Met het doorlaatmiddel neemt de gemiddelde saliniteit toe van circa 17 ‰ tot 25 ‰. Bij doorspoeling neemt de saliniteit meer toe tot circa 28 ‰;
7. Met het doorlaatmiddel kan zuurstofloosheid niet helemaal voorkomen worden. Zuurstofloosheid treedt op het maximale niveau nog op in circa 12 volume% van het meer. Dit is een verbetering ten opzichte van de huidige situatie waarbij in 20 volume% van het meer zuurstofloosheid optreedt. Bij doorspoelen is het percentage vergelijkbaar: 14 volume%;
8. Het doorlaatmiddel heeft relatief weinig effect op de hoeveelheid stikstof in het Veerse Meer. Het effect is groter voor fosfaat, waarbij doorspoelen een groter effect heeft dan uitwisselen. De afname van de nutriëntconcentratie is onvoldoende om de groei van *Ulva* te belemmeren;
9. Het doorlaatmiddel heeft relatief weinig effect op de hoeveelheid fytoplankton. De voorjaarsbloei blijft ook met het doorlaatmiddel voorkomen;
10. Afname van de zoetwaterfractie vanwege het grotere aandeel Oosterschelde water leidt tot een toename van de helderheid. Aangezien nog steeds voldoende nutriënten beschikbaar zijn, is het risico aanwezig dat de biomassa *Ulva* toeneemt bij aanleg van het doorlaatmiddel;

*Doorspoelen van het Veerse Meer versus uitwisselen*

11. Met het doorlaatmiddel in de Zandkreekdam wordt circa 85% van het Veerse Meer binnen 1 jaar verversst. Zonder doorlaatmiddel bedraagt de verversing binnen 1 jaar circa 70%. Wanneer doorspoeling toegepast zou worden, wordt circa 99% van het Veerse Meer binnen 1 jaar verversst. Doorspoelen van het meer door een inlaat bij de Veersedam en een uitlaat bij de Zandkreekdam is derhalve effectiever dan het uitwisselen aan de Zandkreekdam;
12. Voor belangrijke grootheden zoals zuurstof en *Ulva* is doorspoelen van het meer niet beter of slechter dan uitwisselen. Significant verschillend worden wel de saliniteit (hoger bij doorspoelen dan bij uitwisselen) en de fosfaatconcentratie (lager bij doorspoelen dan bij uitwisselen);

*Effectiviteit van peilbeheer en afleiden van polderwater*

13. Naast het doorlaatmiddel zijn als aanvullende maatregelen het handhaven van een vast peil en het afleiden van polderwater (gemaal De Piet) onderzocht. De resultaten van de hydrodynamische en waterkwaliteitsberekeningen geven aan dat deze aanvullende maatregel onvoldoende van omvang zijn om een significant effect hebben op de waterkwaliteit;

*Algemene conclusie*

14. Het doorlaatmiddel alleen is niet voldoende om aan alle doelstellingen ter verbetering van de waterkwaliteit van het Veerse Meer te voldoen, maar verandering van de infrastructuur biedt wel veel meer mogelijkheden om tot een gewenst resultaat te komen dan de huidige situatie.

## 9.2 Aanbevelingen

Het modelinstrumentarium, zoals dat in het kader van de onderhavige studie is ontwikkeld, biedt veel mogelijkheden om te analyseren hoe het huidige Veerse Meer systeem functioneert en van daaruit ideeën te ontwikkelen om tot een optimalisatie van het beheer te komen. Het doorlaatmiddel speelt daarbij een belangrijke rol, maar moet vooral worden beschouwd als een essentiële schakel in een nog te ontwikkelen totaalpakket van maatregelen. Hoe dat pakket er precies komt uit te zien, dient nader onderzocht te worden. Belangrijke aspecten daarbij zijn de nutriëntenhuishouding en het lichtklimaat omdat deze de primaire productie bepalen en daarmee ook de zuurstofvraag voor de afbraak van organisch materiaal. Zowel aan de kant van de belasting, de interne nutriënten dynamiek in het water als de uitwisseling van nutriënten tussen bodem en water is nader onderzoek gewenst.

Daarnaast is het wenselijk de performance van het model te optimaliseren, zodat het instrumentarium vlug en gemakkelijk ingezet kan worden.



De huidige modellering is beperkt tot de hydrodynamica en de waterkwaliteit. Wijziging van het beheer kan echter ook tot aanzienlijke veranderingen van de ecologie leiden (hogere saliniteit; andere herkomst van het water; wellicht ook verandering in primaire productie). Daarom wordt nader onderzoek aanbevolen naar het ecologisch functioneren van het Veerse Meer en de te verwachten veranderingen daarvan als gevolg van veranderingen in beheer. Het creëren van een ecologisch gezond en divers systeem dient een belangrijke voorwaarde te zijn voor verdere maatregelen. Ook kan gedacht worden aan veerkrachtbevorderende maatregelen zoals het herstellen van verbindingen tussen watersystemen. In een aanvullende studie zou ook het effect van droogvallen en inunderen van de ondiepe delen van het meer door peilvariatie aan de orde moeten komen, aangezien dit aspect in geen van de studies tot nu toe bekeken kon worden.

## Geraadpleegde literatuur

Bijvelds, M.D.J.P., 1998

A three-dimensional fixed grid model for shallow-water flow, Tech. report 6-98. Fac. of Civil Eng., Delft Univ. of Techn.

Buiteveld, H., 1990

UITZICHT. Model voor berekening van doorzicht en extinctie, Rijkswaterstaat, RIZA, nota nr. 90.058.

De Vries, I., R.N.M. Duin, J.C.H. Peeters, F.J. Los, M. Bokhorst en R.W.P.M. Laane, 1998

Patterns and trends in nutrients and phytoplankton in Dutch coastal waters: comparison of time-series analysis, ecological model simulation, and mesocosm experiments, ICES Journal of Marine Sciences, 55: 620-634, 1998.

Kamermans, P., J.M. Verschuure en H. Hummel, 1999

Verspreiding en biomassa van de macro-algen in het Veerse Meer in 1999, NIOO-CEMO, Rapporten en verslagen 1999-03.

Peeters, J.C.H., H.A. Haas en L. Peperzak, 1991

Eutrofiëring, primaire productie en zuurstofhuishouding in de Noordzee, Rijkswaterstaat dienst getijdewateren, Nota GWAO-91.083.

Rijkeboer M., A.G. Dekker en J.M.M. Kokke, 1996

Kleurmetingen van Nederlandse oppervlaktewateren, Rapportage van de metingen aan oppervlaktewateren in Nederland, BCRS rapport, NRSP-2, 96-14.

Revis, N., en C. Bakker, 1988

Zoöplankton van het Veerse Meer in 1987, DIHO rapporten en verslagen 1988.

RIKZ, 1998

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

WL | Delft Hydraulics, 1988

GREWAQ: an ecological model for Lake Grevelingen, I. de Vries, F. Hopstaken, H. Goossens, M. de Vries, H. de Vries en J. Heringa, Rapport T0215-03, mei 1988.

WL | Delft Hydraulics, 1990

Ontwikkeling en toepassing VEERWAQ t.b.v. beleidsanalyse Veerse Meer, I. de Vries, M. de Vries en H. Goossens, Rapport T430, maart 1990.

WL | Delft Hydraulics, 1997

Pilot toepassing vernieuwde MANSeutro, M. Bokhorst en F.J. Los, Rapport T1629.

WL | Delft Hydraulics, 1998

Toepassing GEM Veerse Meer, J.G.C. Smits, A.N. Blauw en A.J. Nolte, Rapport Z2570, november 1998.

WL | Delft Hydraulics, 1999

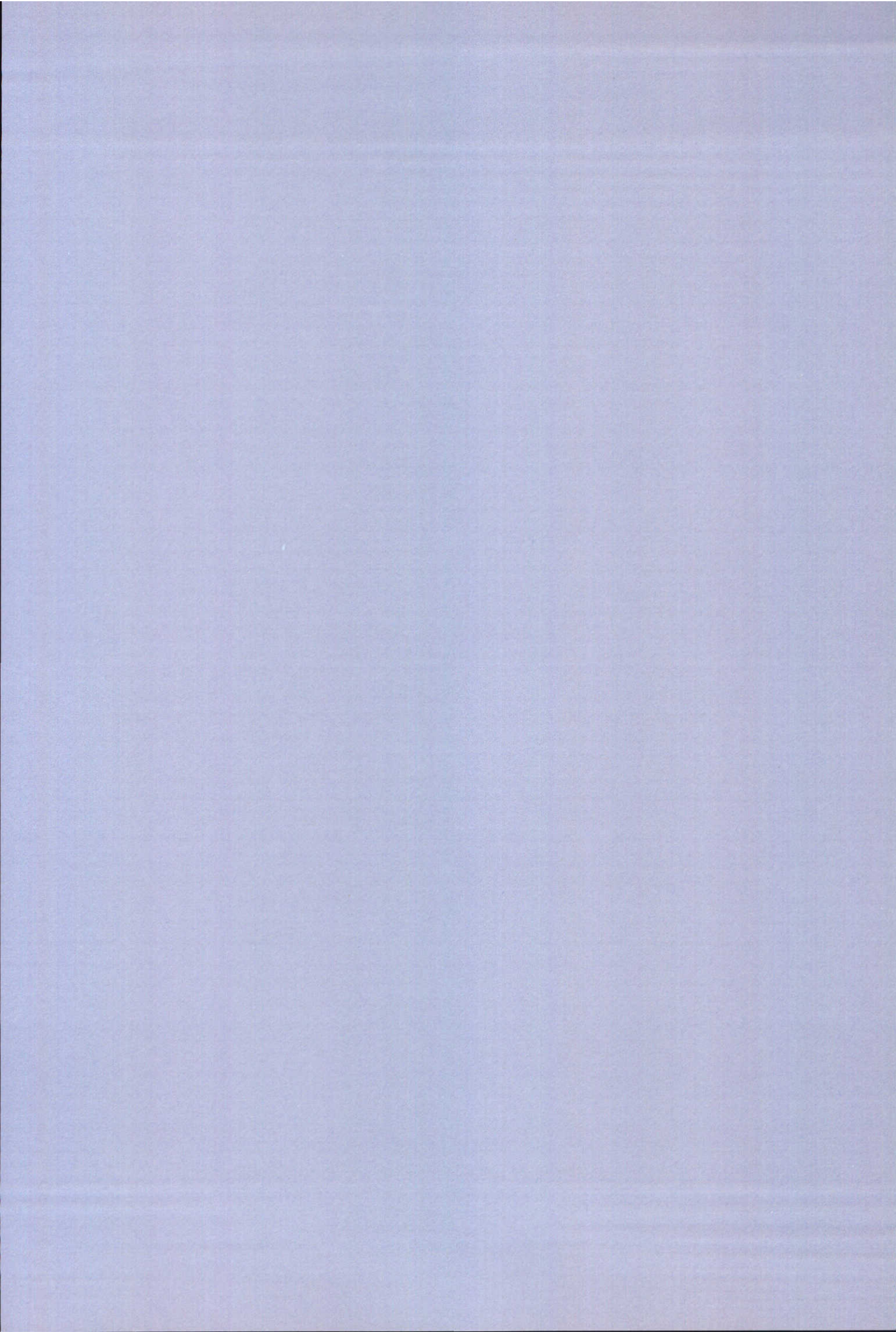
Scenarioberekeningen GEM Veerse Meer, A.J. Nolte en R.R. Jansen, Rapport Z2690, november 1999.

WL | Delft Hydraulics, 1999a

User's manual Delft3D-FLOW, november 1999.

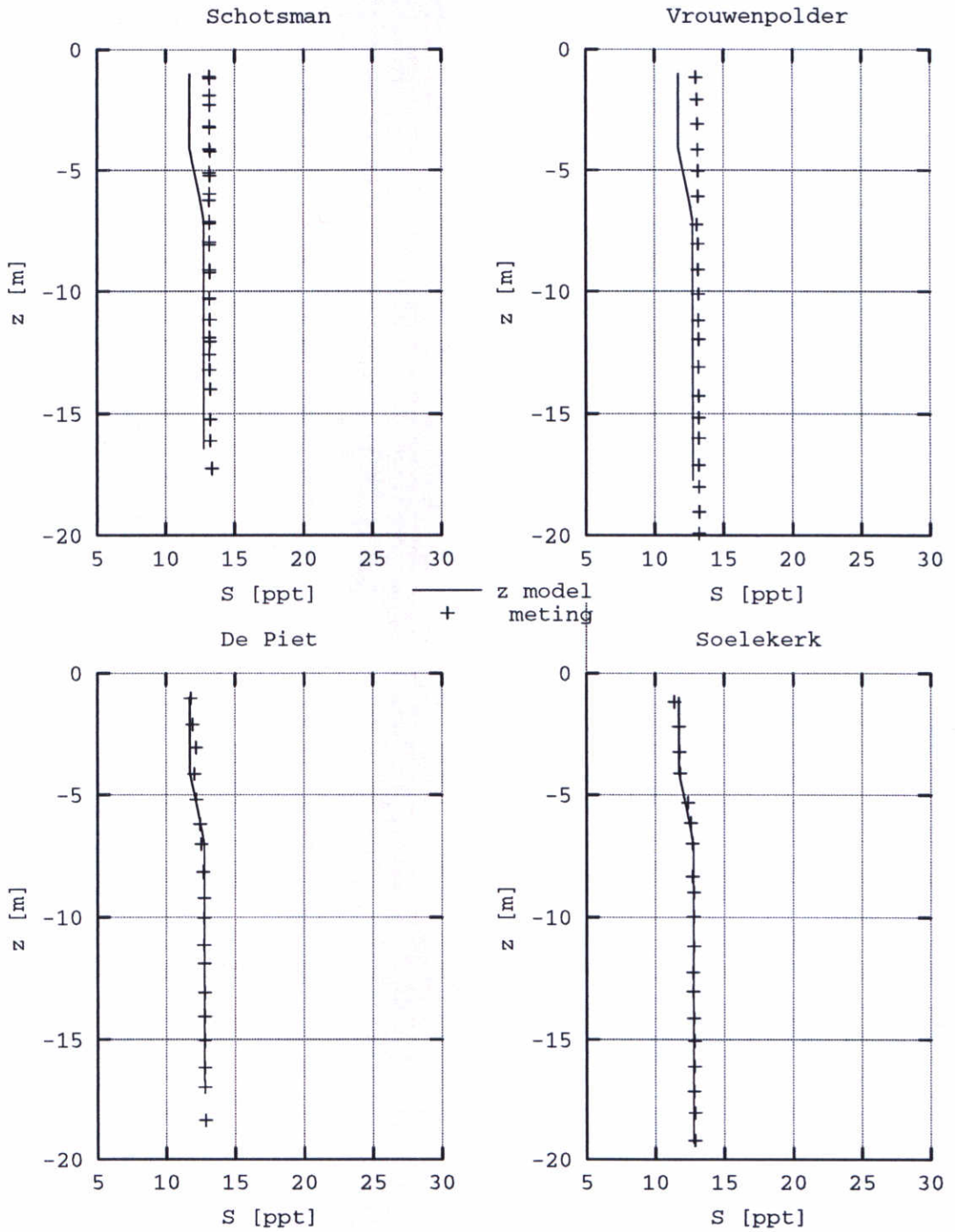
WL | Delft Hydraulics, 1999b

Ecological model for the Lagoon of Venice modelling results, F.J. Los, Rapport T2162, november 1999.



# A Figuren

Saliniteit op 30-01-95



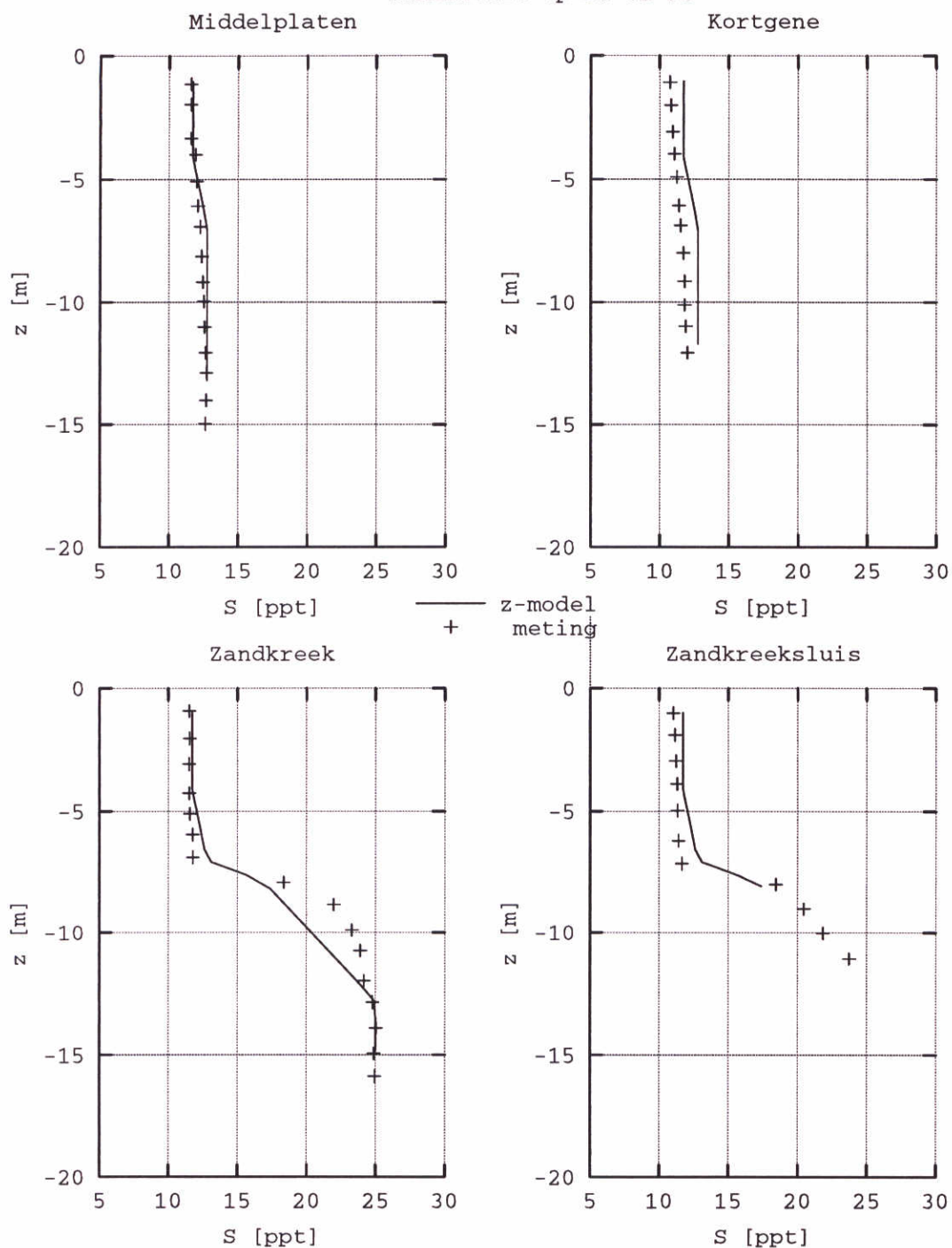
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 30 januari 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.3a

Saliniteit op 30-01-95



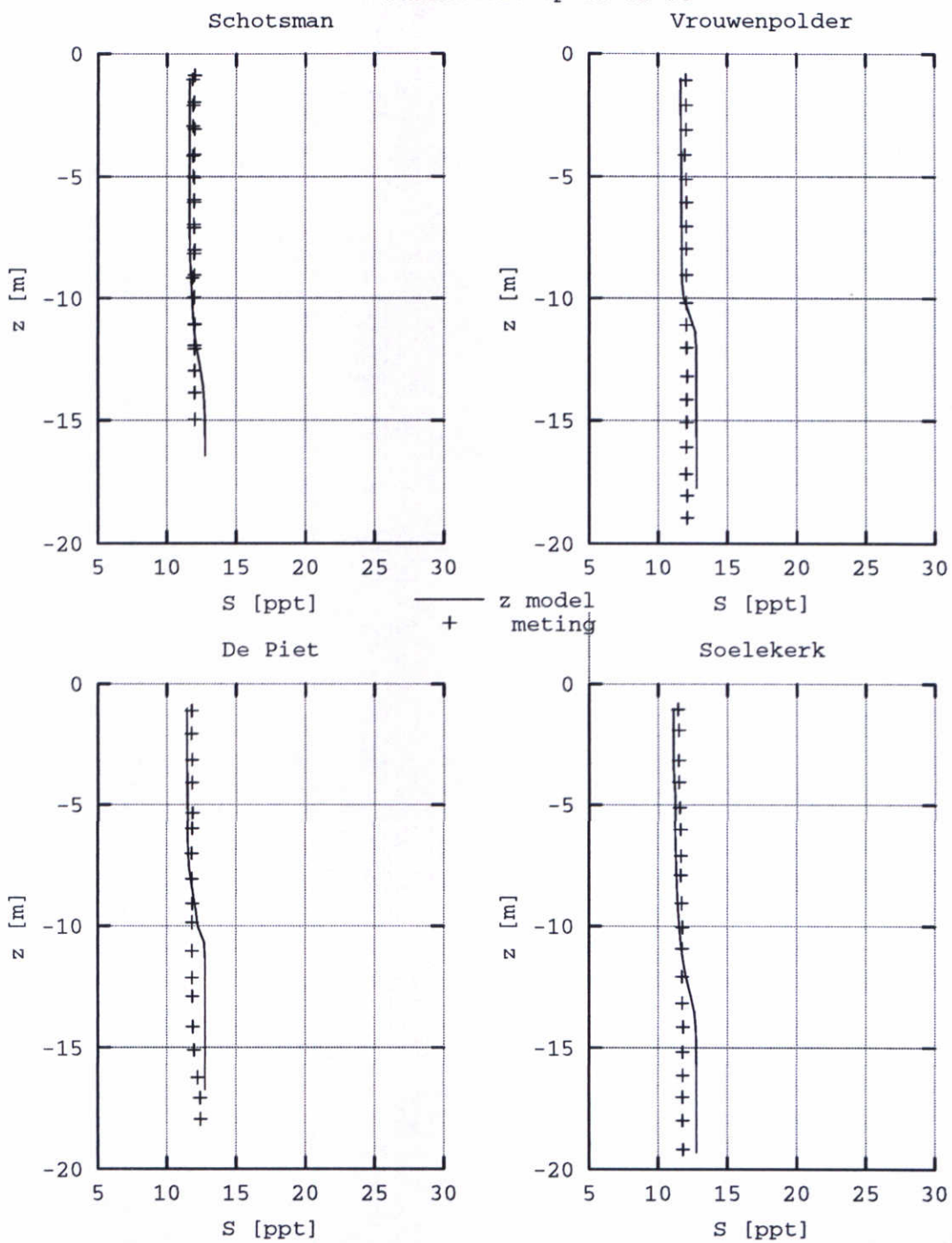
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 30 januari 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.3b

Saliniteit op 11-02-95



Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 11 februari 1995  
 vergelijking model - metingen

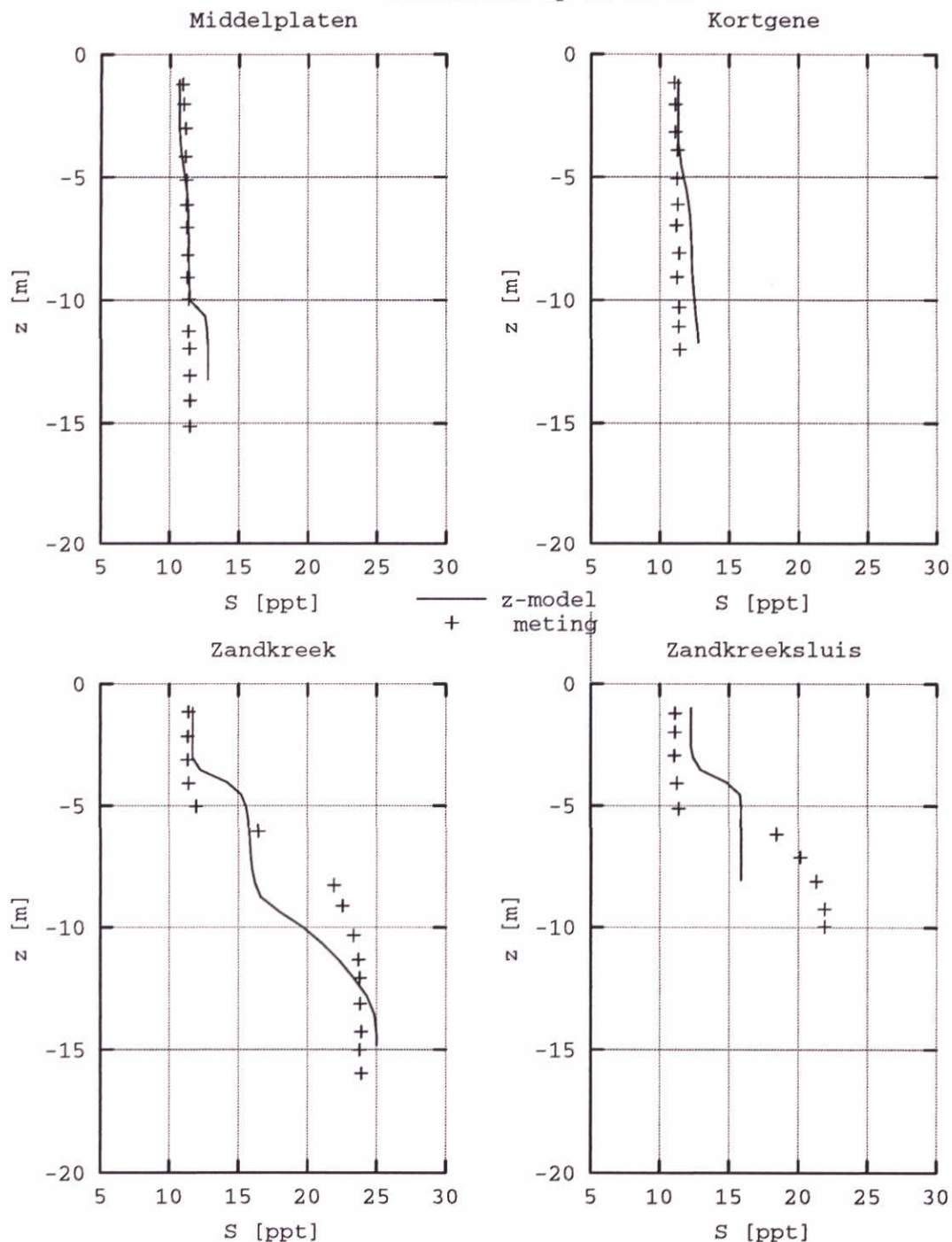
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.4a



Saliniteit op 11-02-95



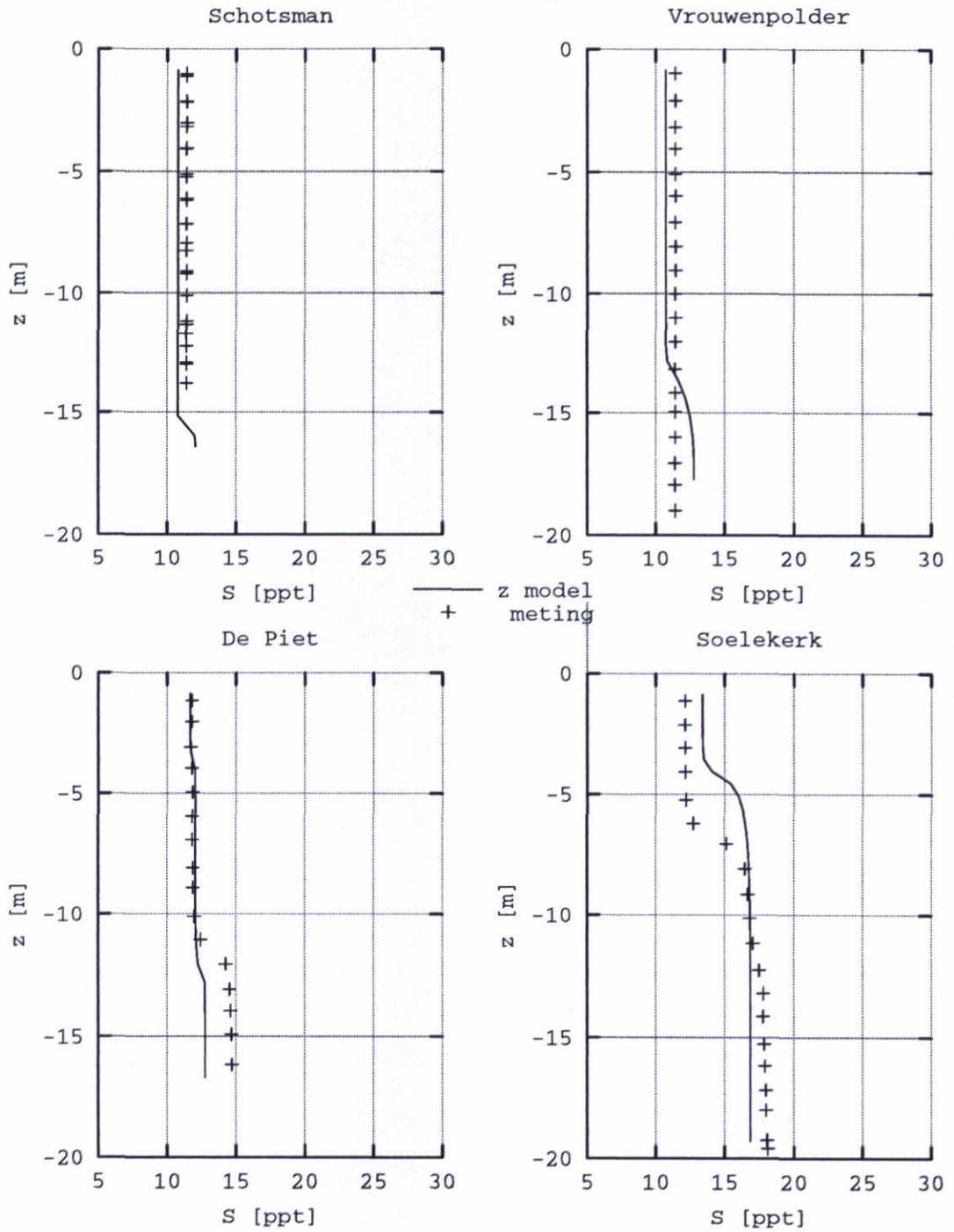
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 11 februari 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.4b

Saliniteit op 27-03-95



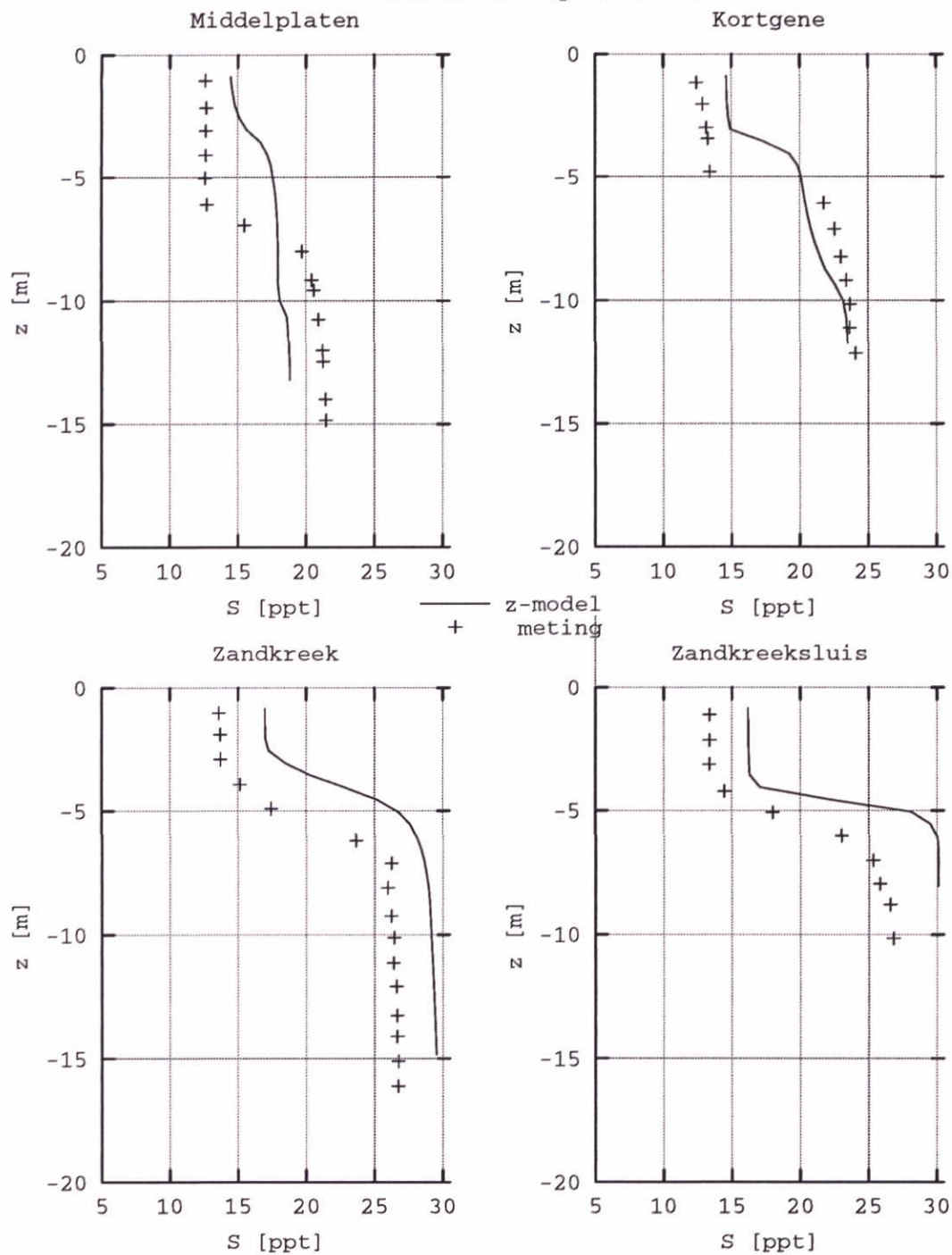
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 27 maart 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.5a

Saliniteit op 27-03-95



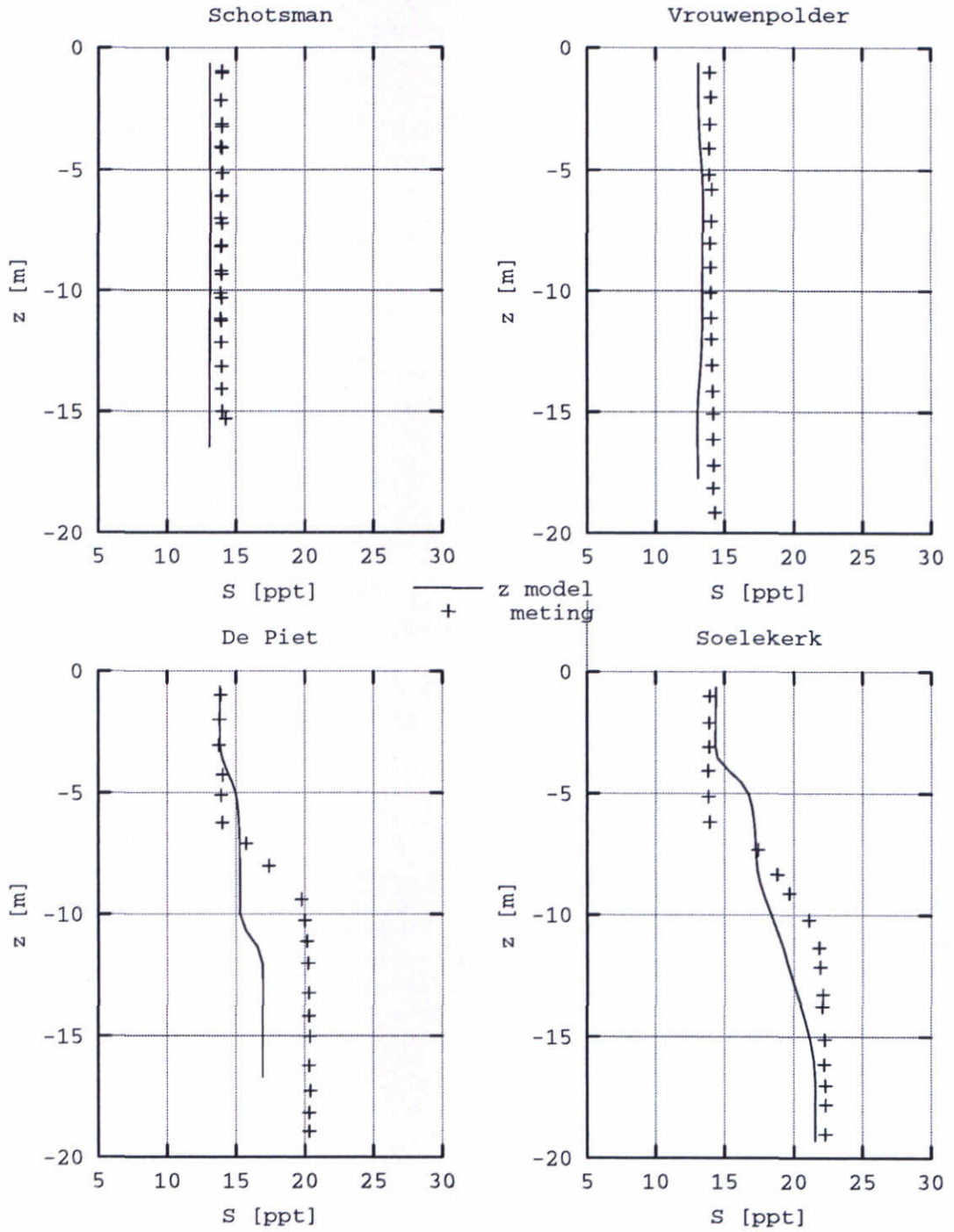
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 27 maart 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.5b

Saliniteit op 23-05-95



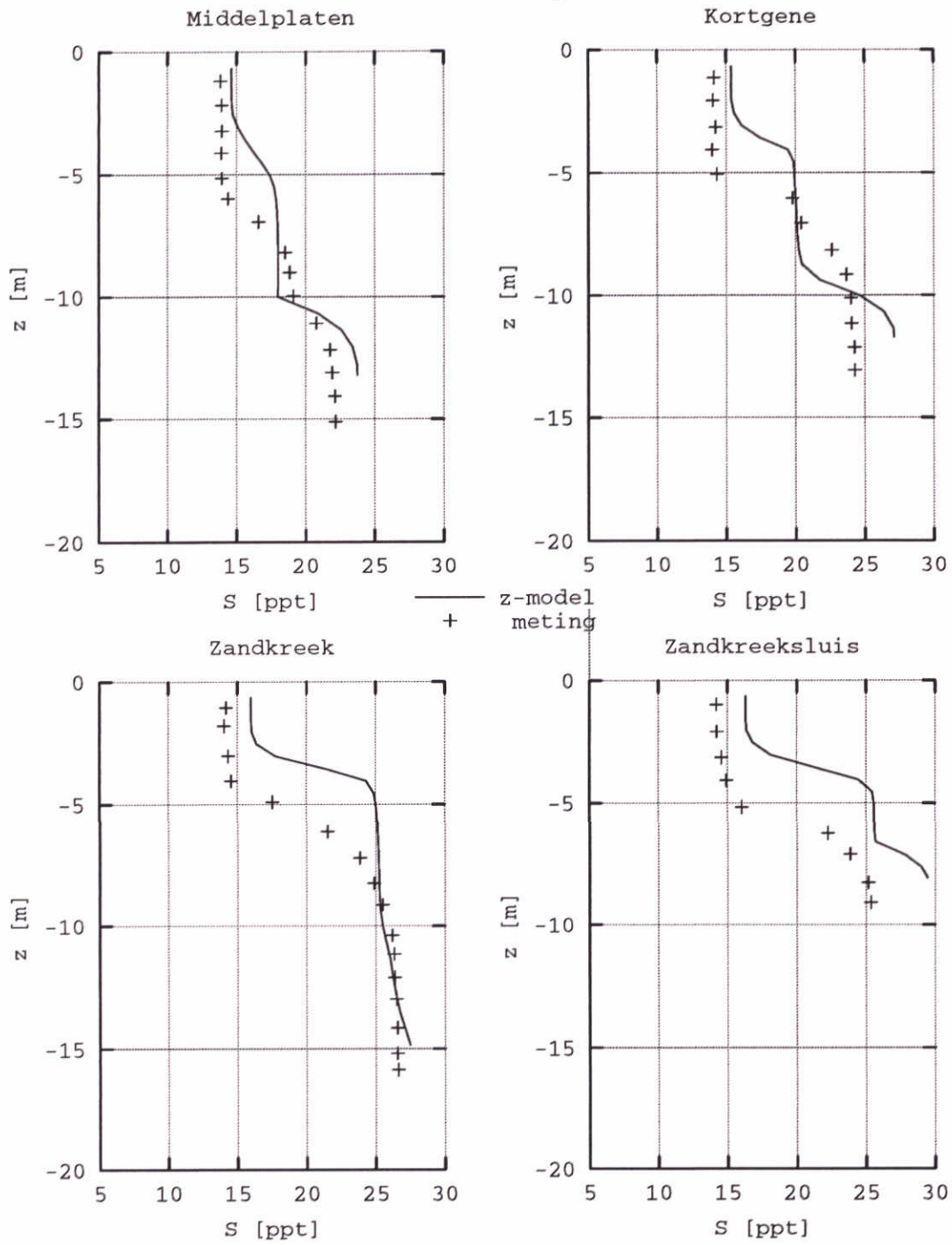
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 23 mei 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.6a

Saliniteit op 23-05-95



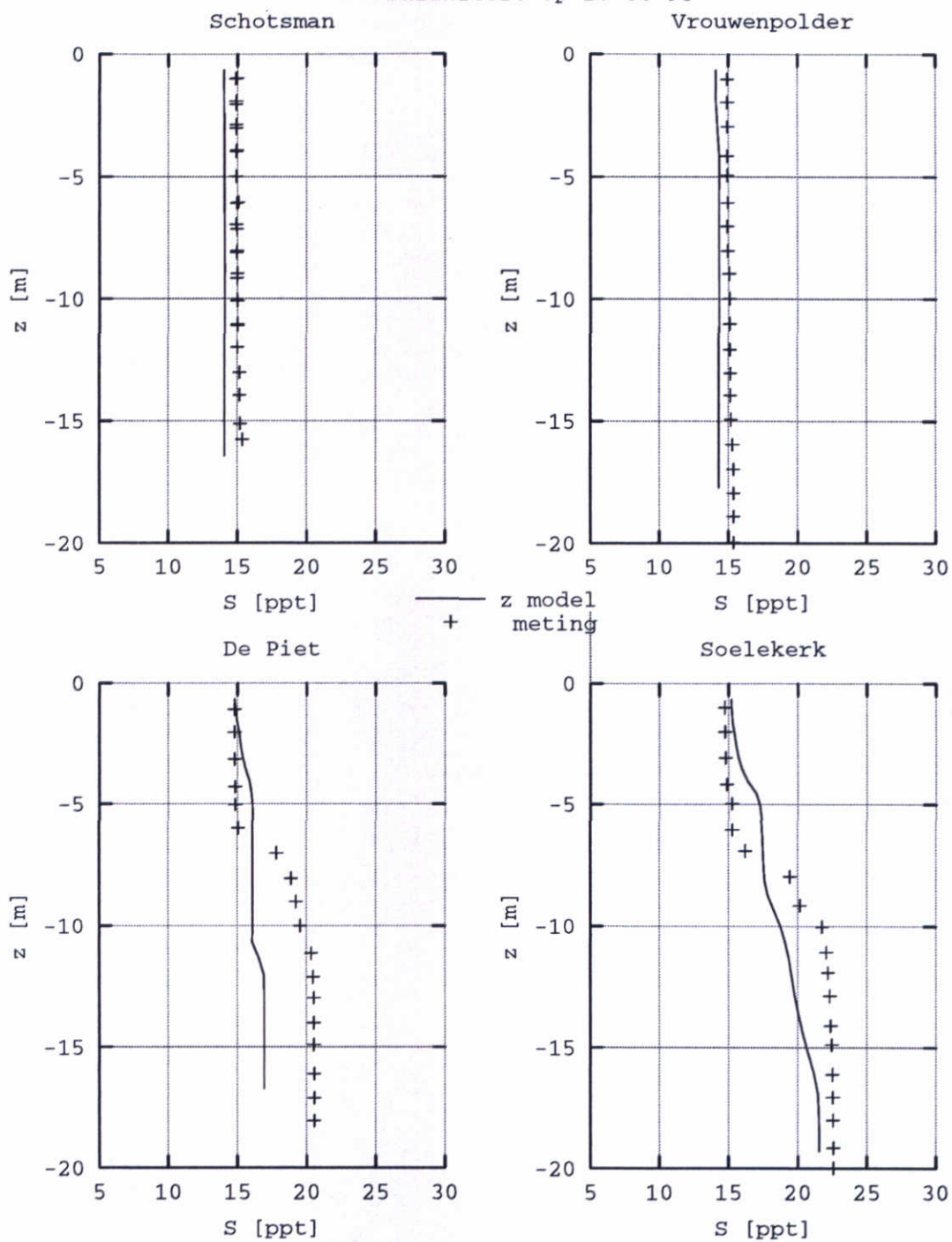
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 23 mei 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.6b

Saliniteit op 20-06-95



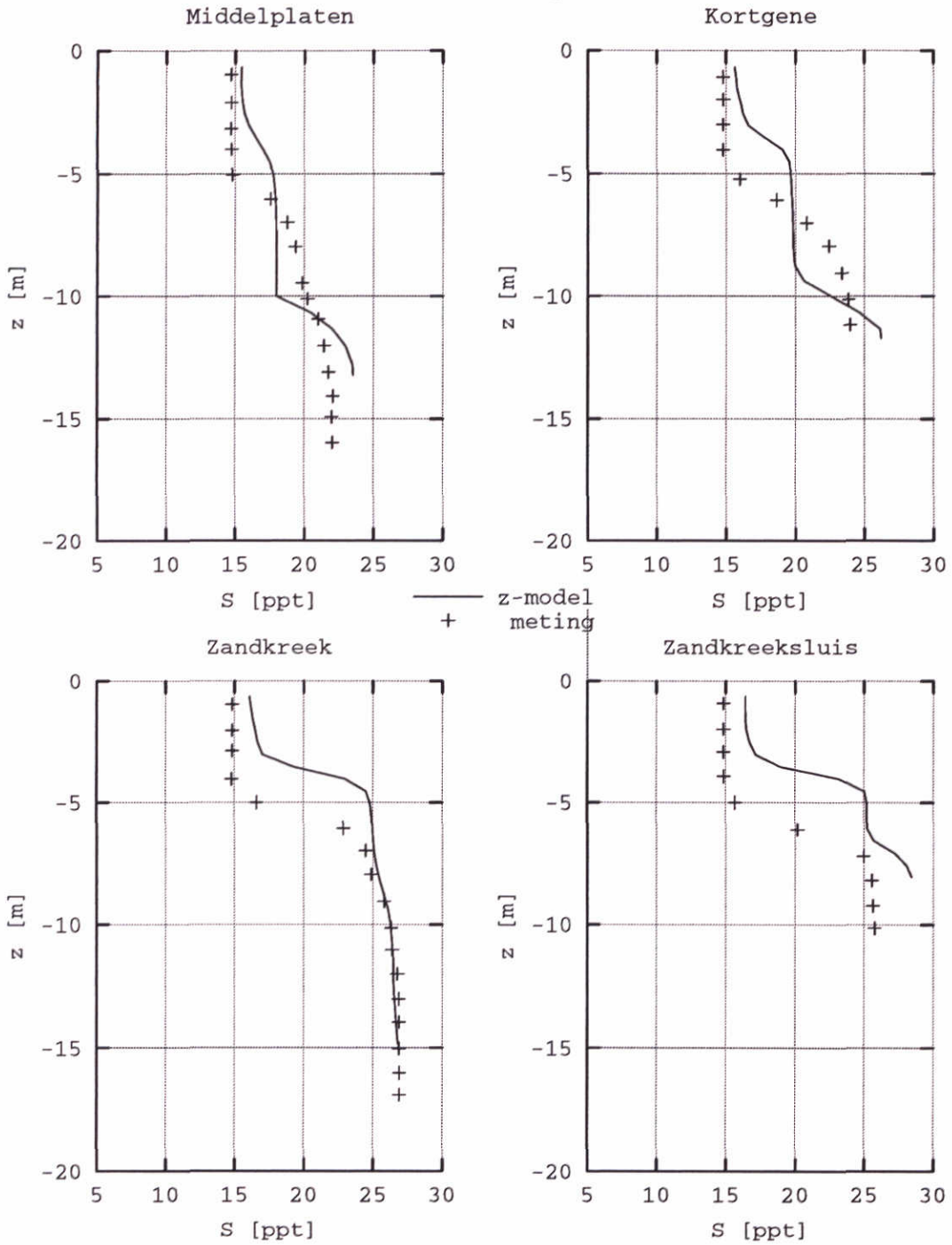
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 20 juni 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.7a

Saliniteit op 20-06-95



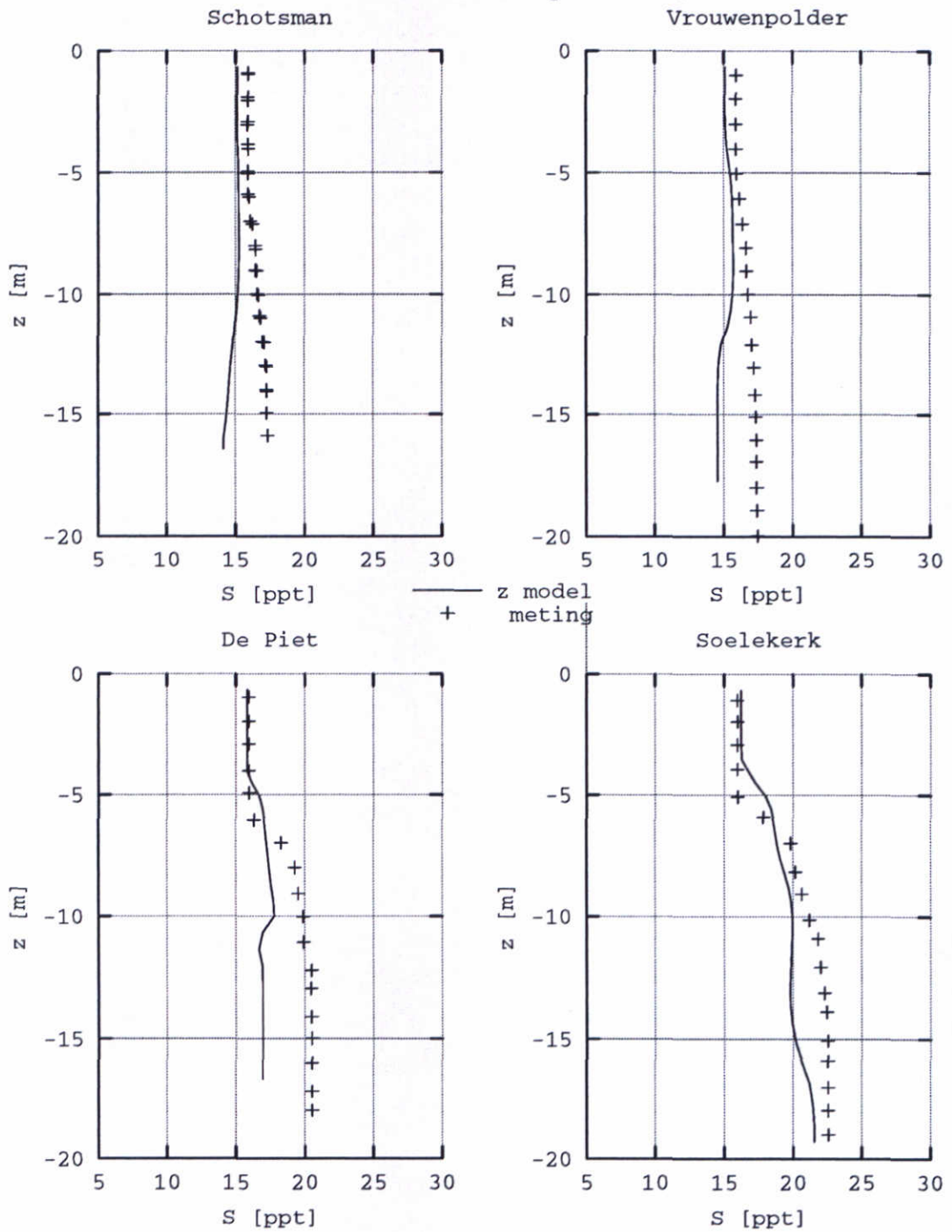
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 20 juni 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.7b

Saliniteit op 25-07-95



Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 25 juli 1995  
 vergelijking model - metingen

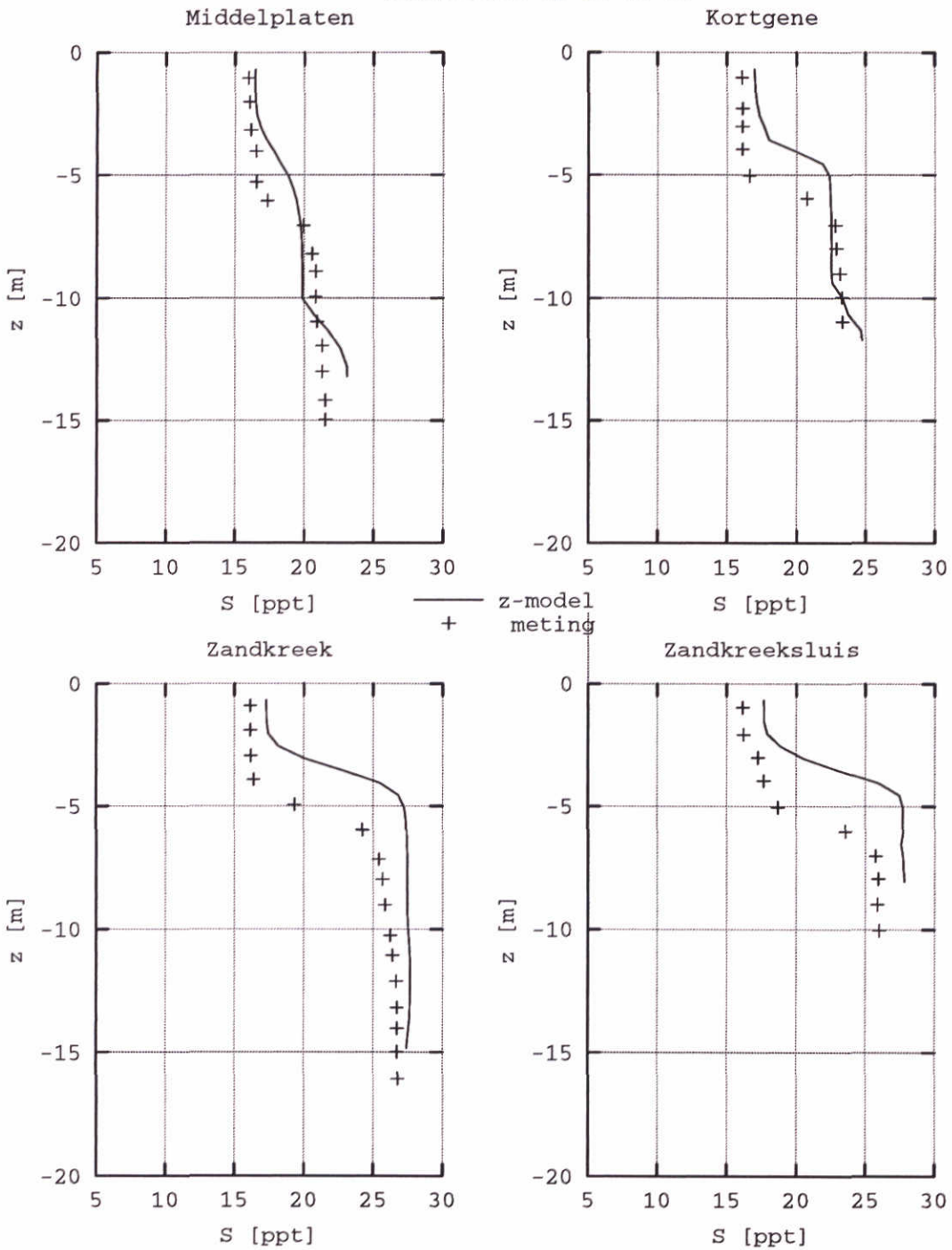
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.8a



Saliniteit op 25-07-95



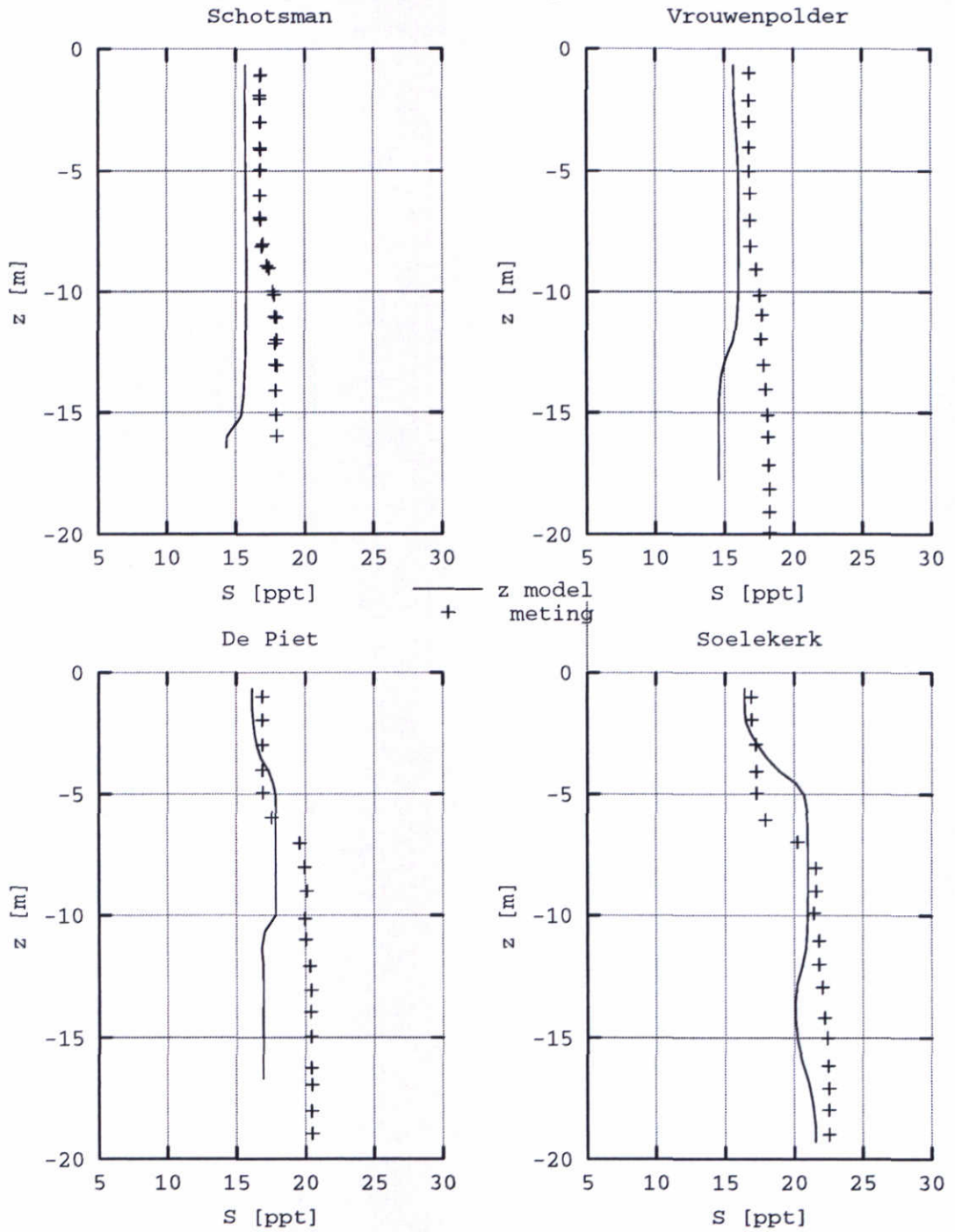
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 25 juli 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.8b

Saliniteit op 16-08-95



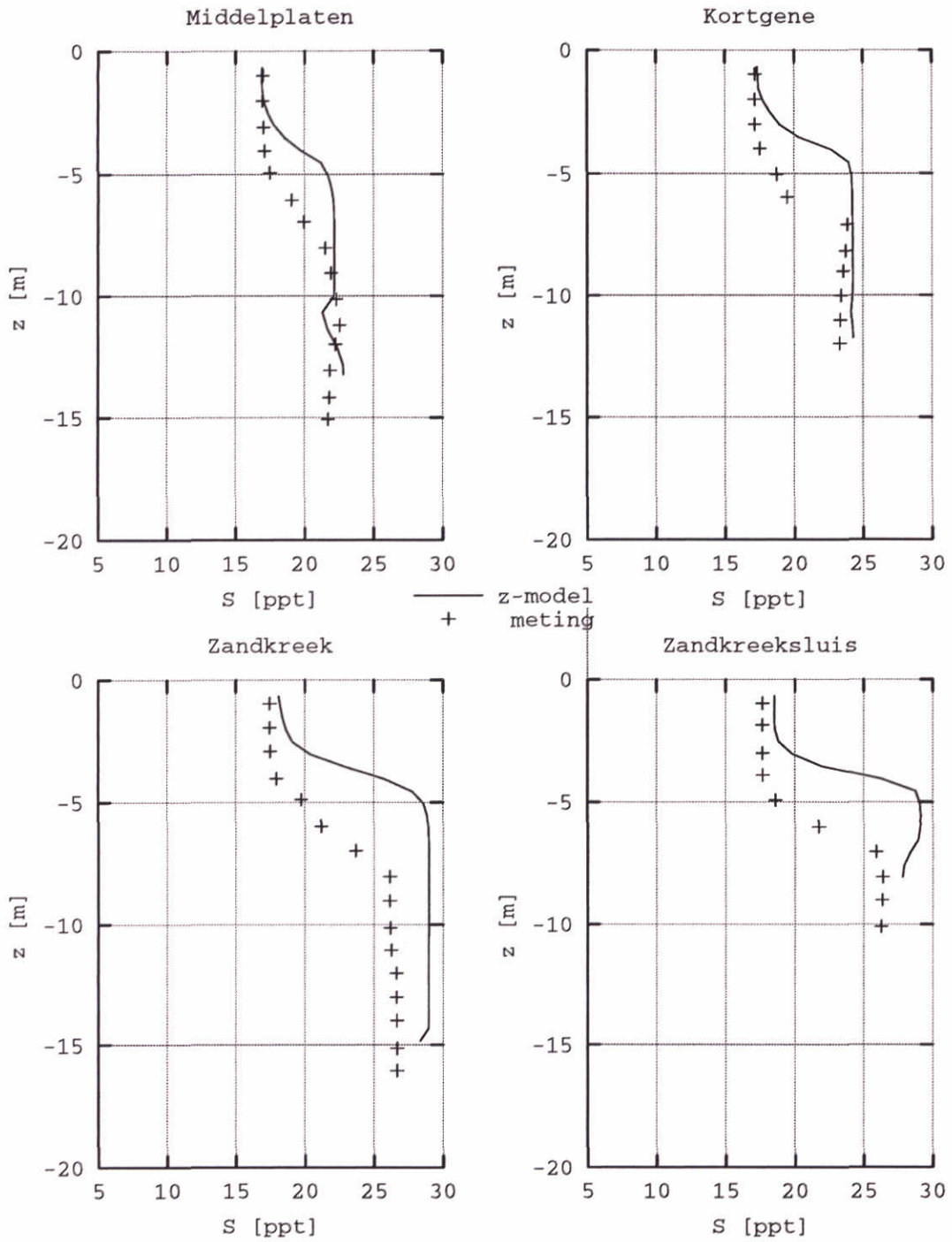
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 16 augustus 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.9a

Saliniteit op 16-08-95



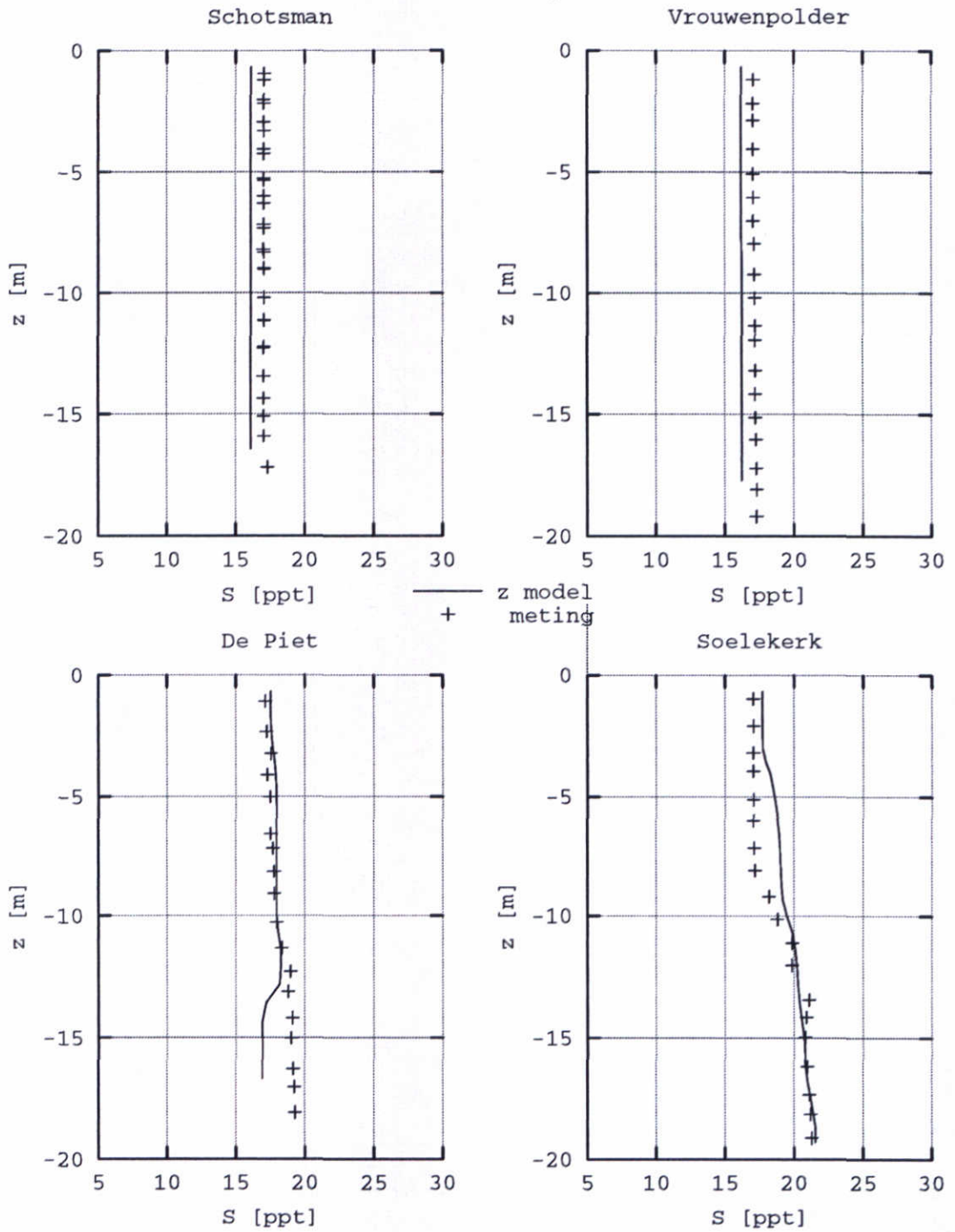
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 16 augustus 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.9b

Saliniteit op 11-09-95



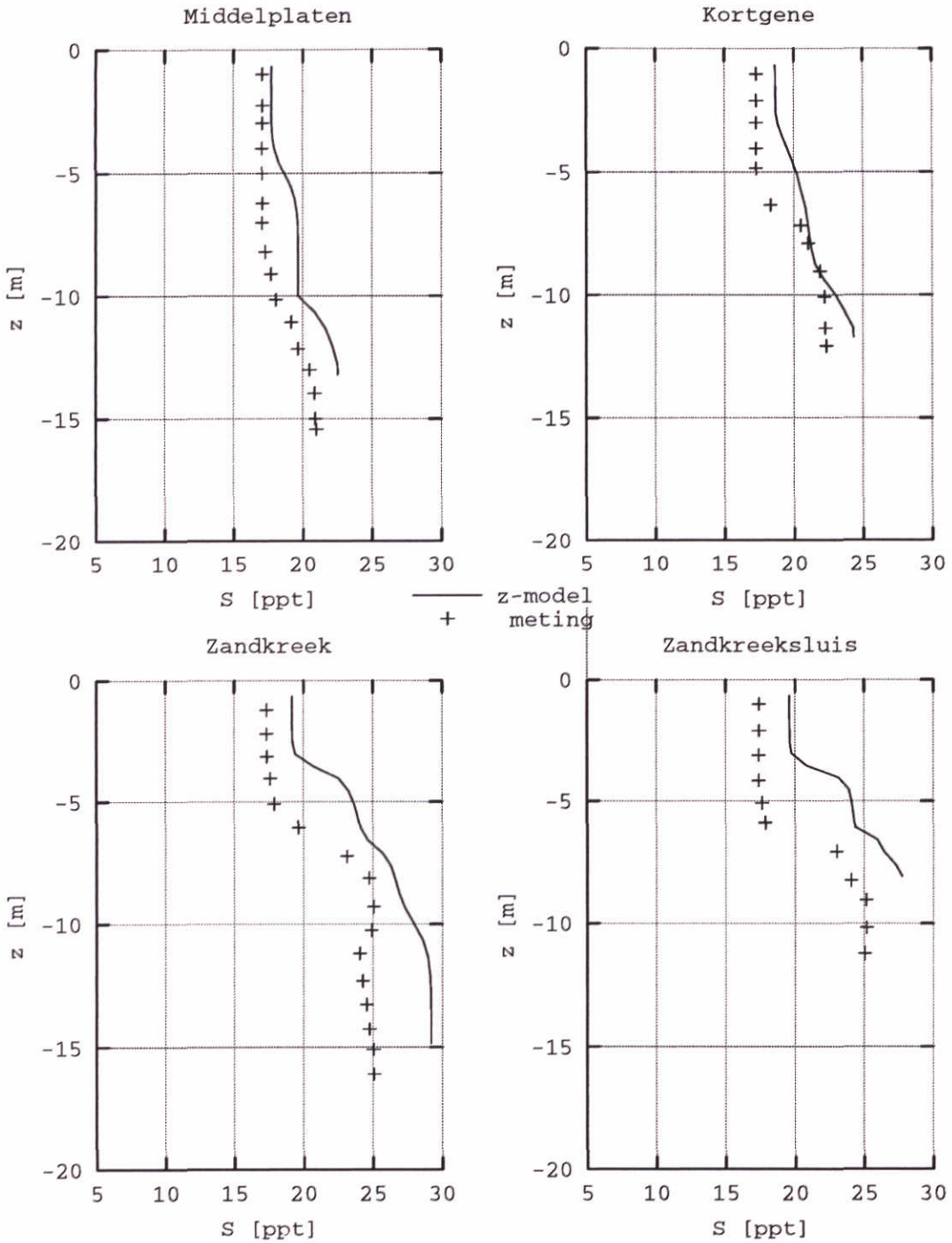
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 11 september 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.10a

Saliniteit op 11-09-95



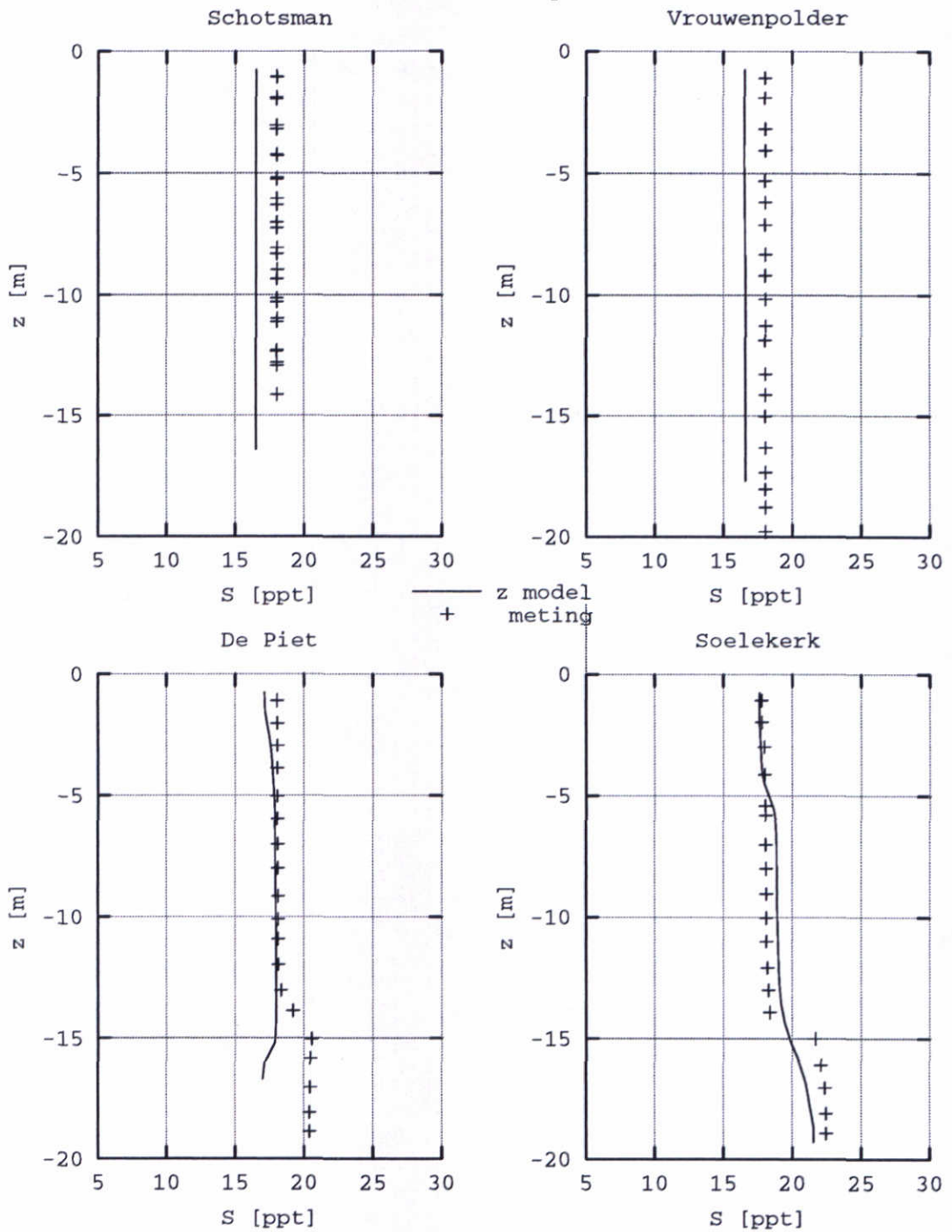
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 11 september 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.10b

Saliniteit op 10-10-95



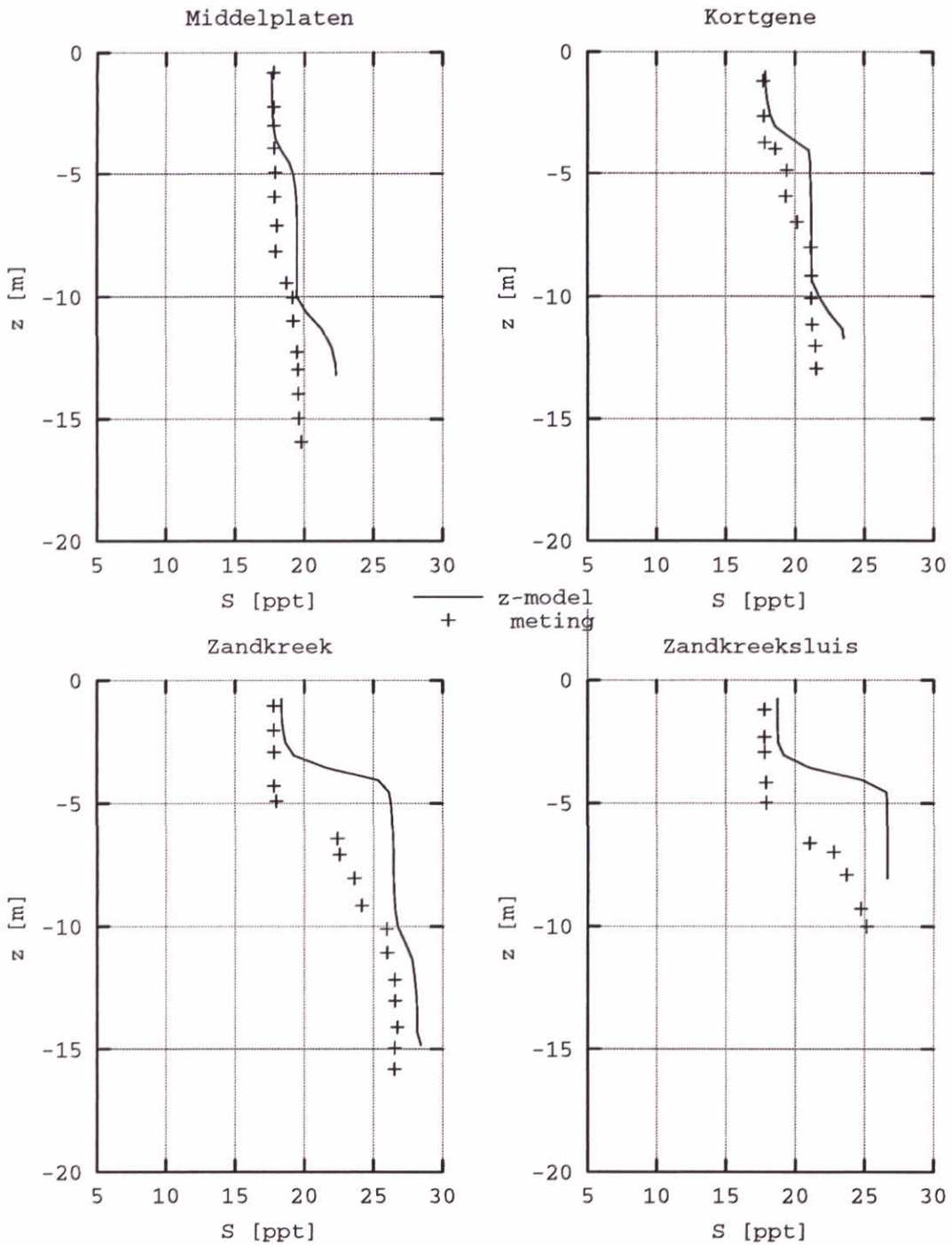
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 10 oktober 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.11a

Saliniteit op 10-10-95



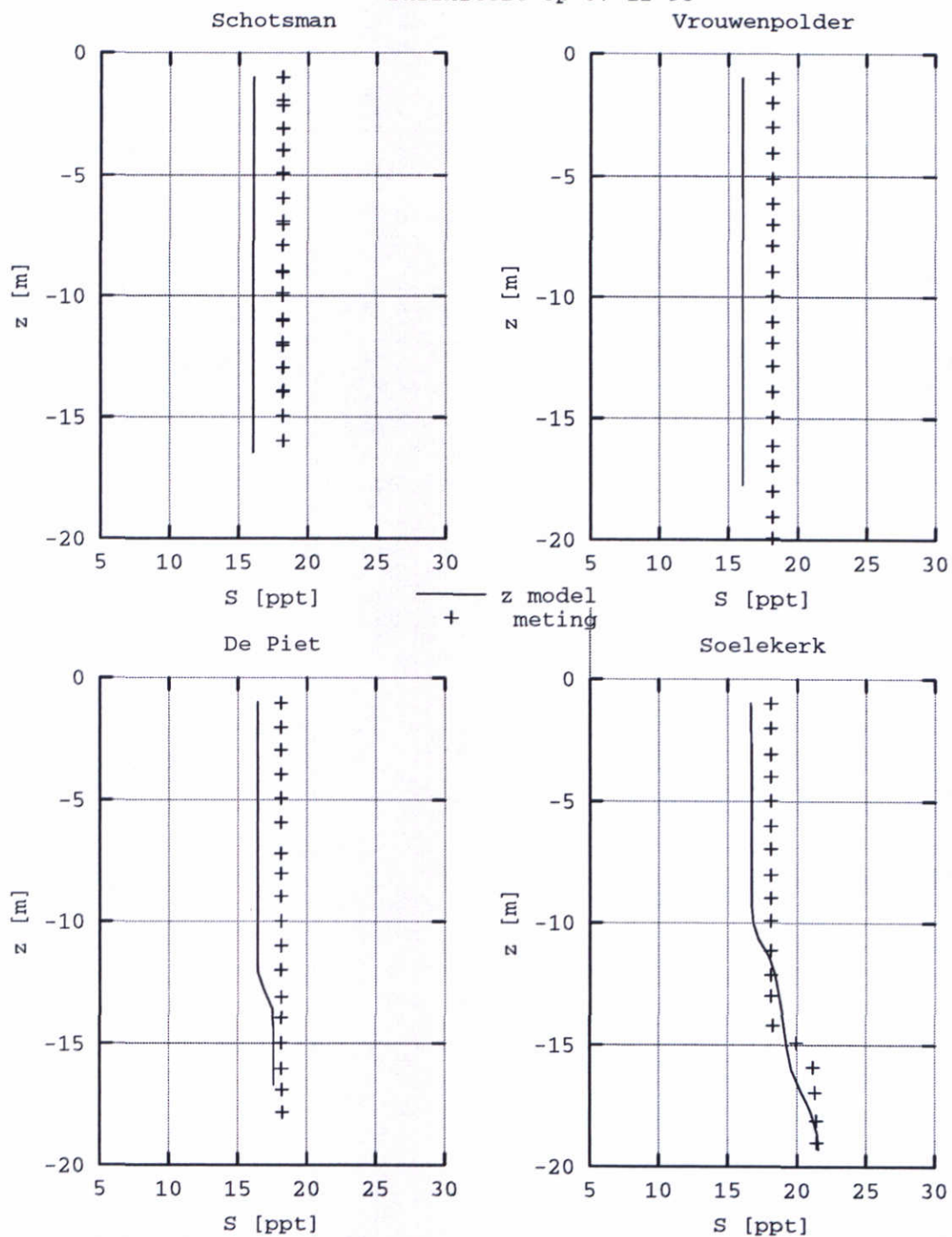
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 10 oktober 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.11b

Saliniteit op 07-12-95



Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 7 december 1995  
 vergelijking model - metingen

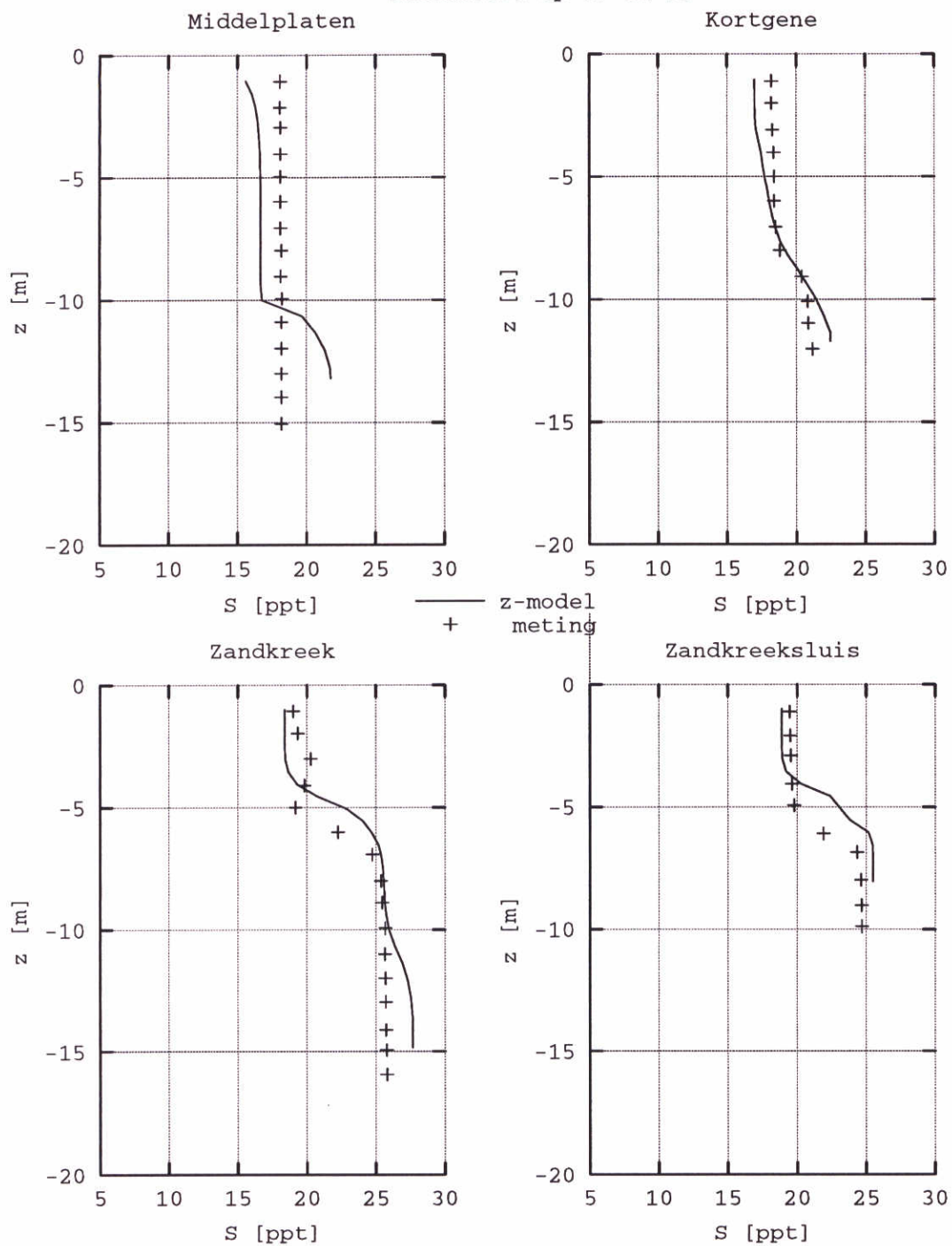
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.12a



Saliniteit op 07-12-95



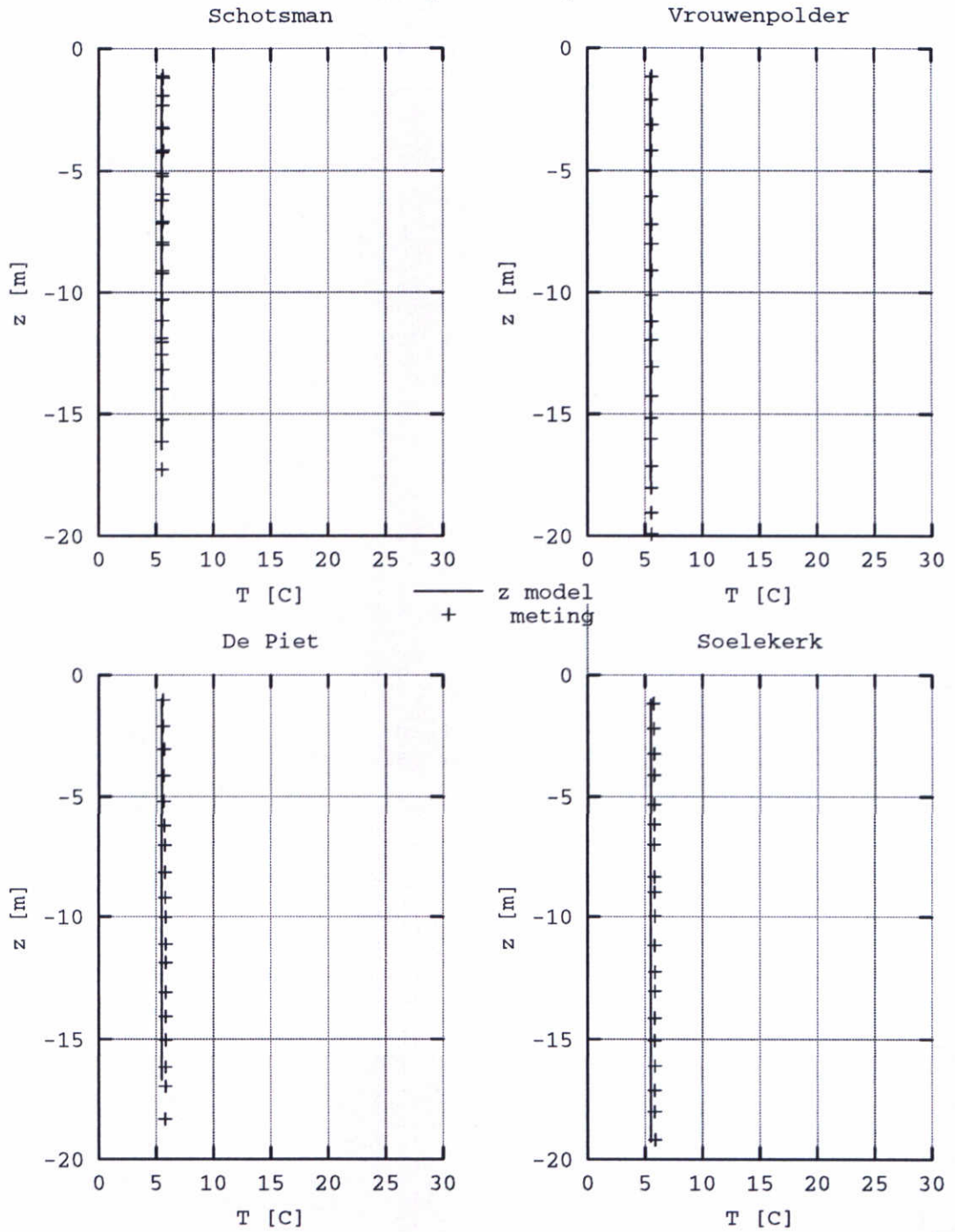
Kalibratie hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 7 december 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.12b

Temperatuur op 30-01-95



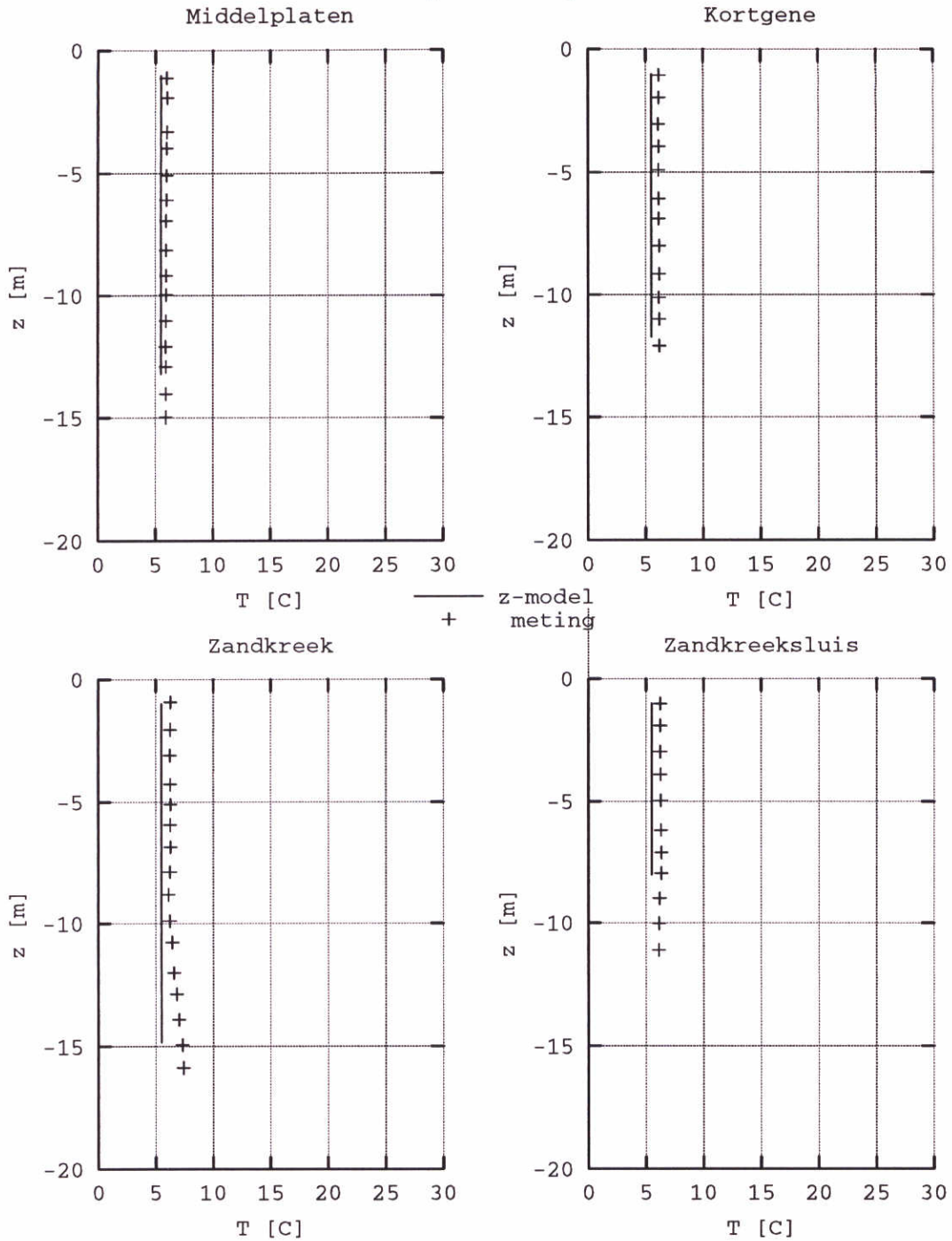
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 30 januari 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.13a

Temperatuur op 30-01-95



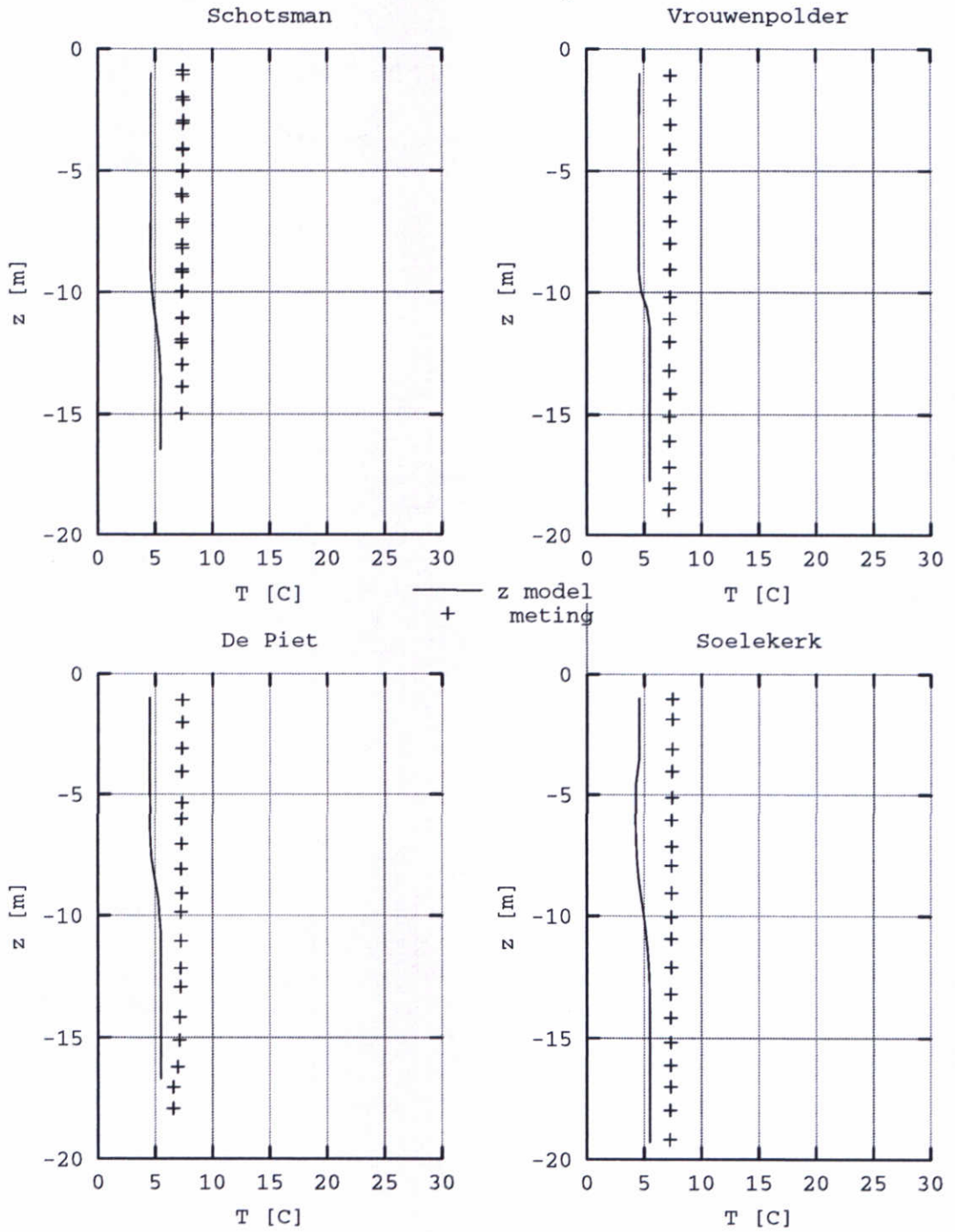
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 30 januari 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.13b

Temperatuur op 11-02-95



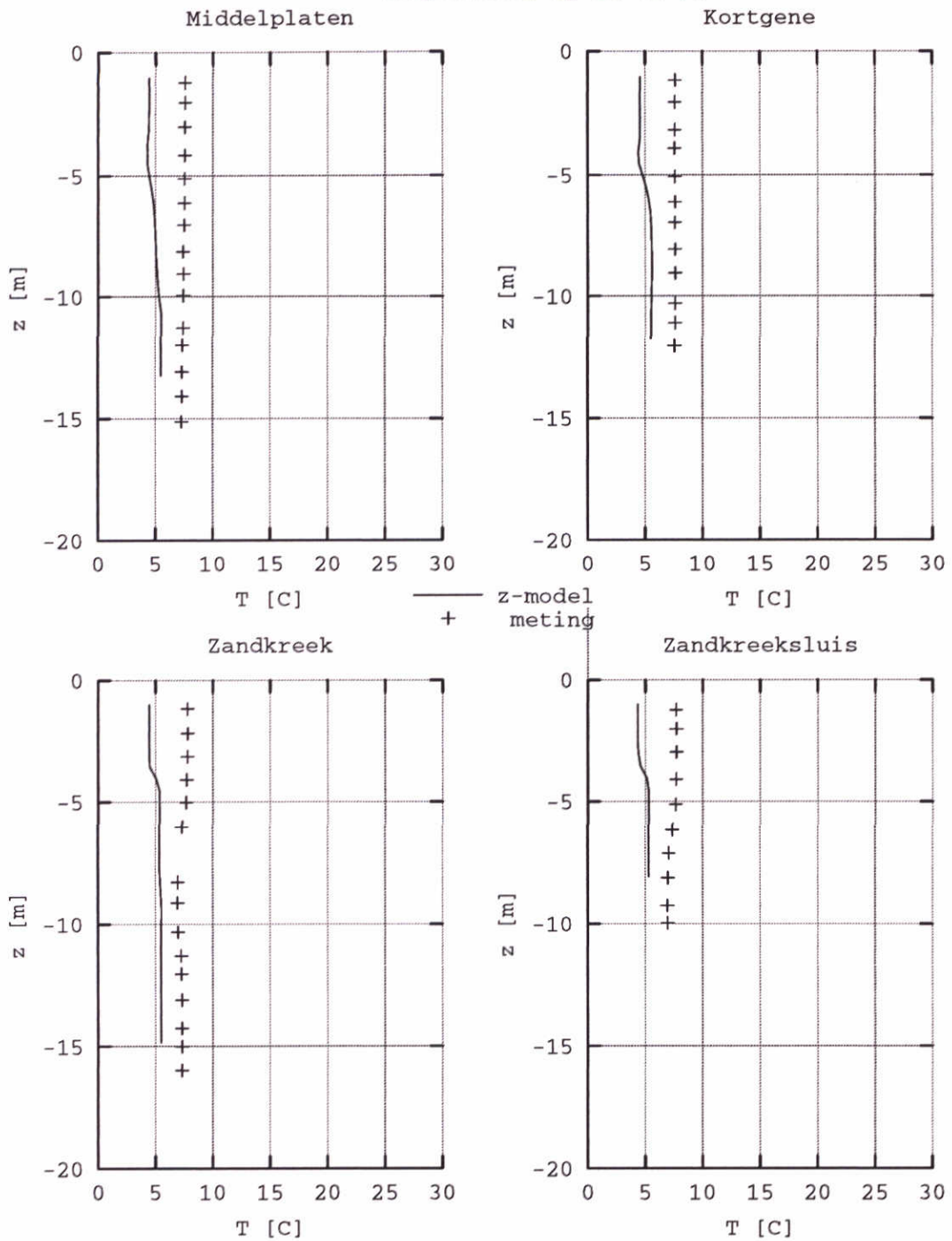
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 11 februari 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.14a

Temperatuur op 11-02-95



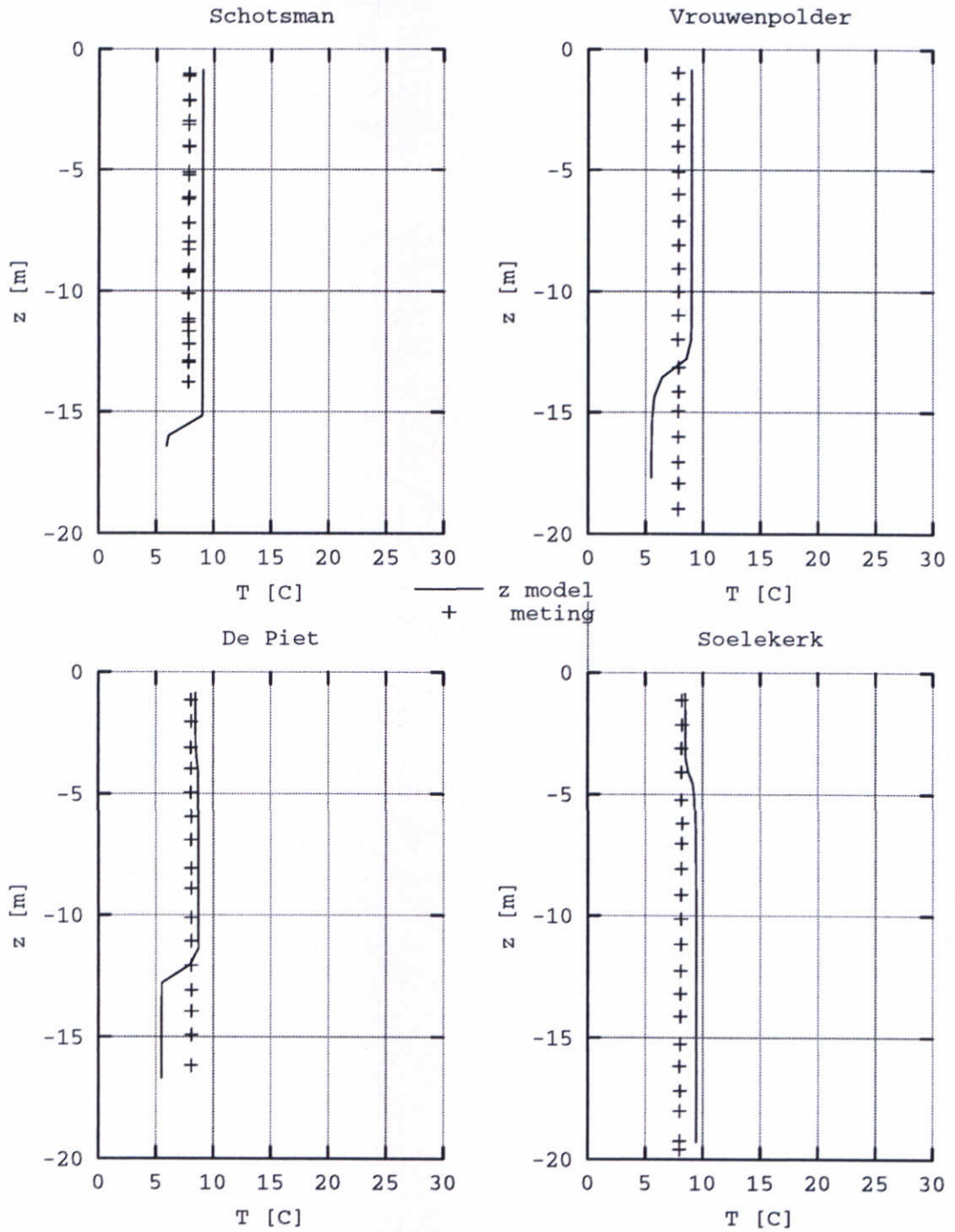
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 11 februari 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.14b

Temperatuur op 27-03-95



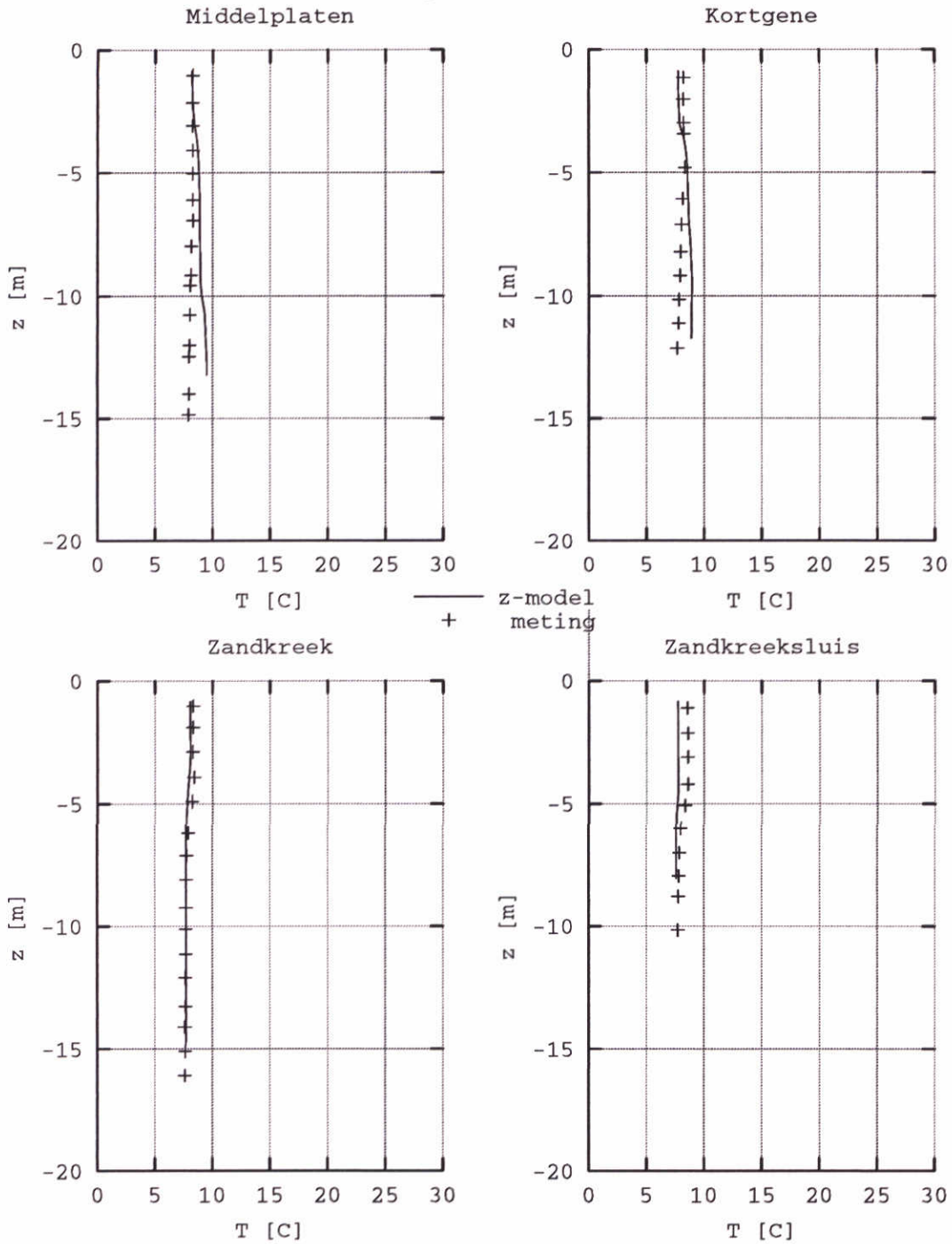
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 27 maart 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.15a

Temperatuur op 27-03-95



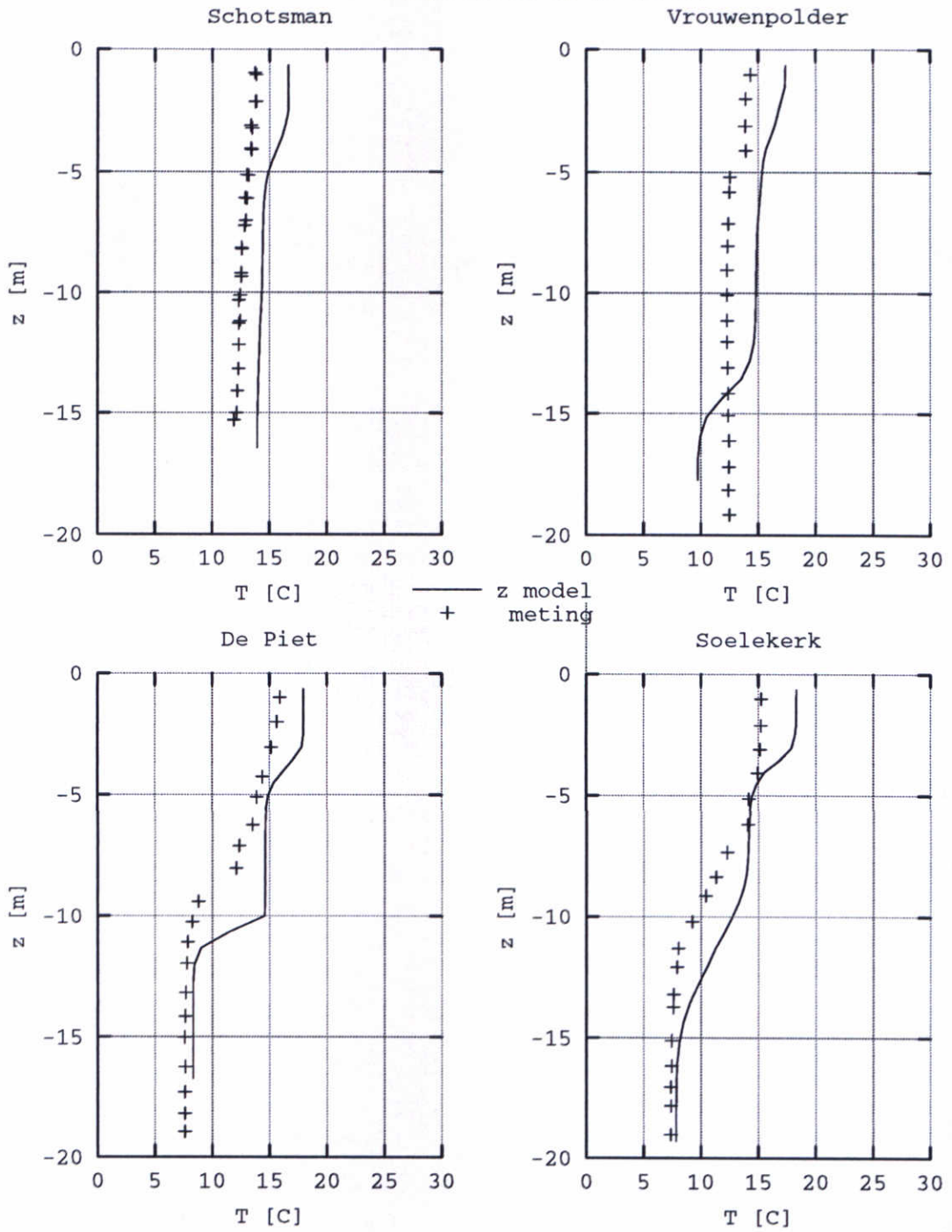
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 27 maart 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.15b

Temperatuur op 23-05-95



Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 23 mei 1995  
 vergelijking model - metingen

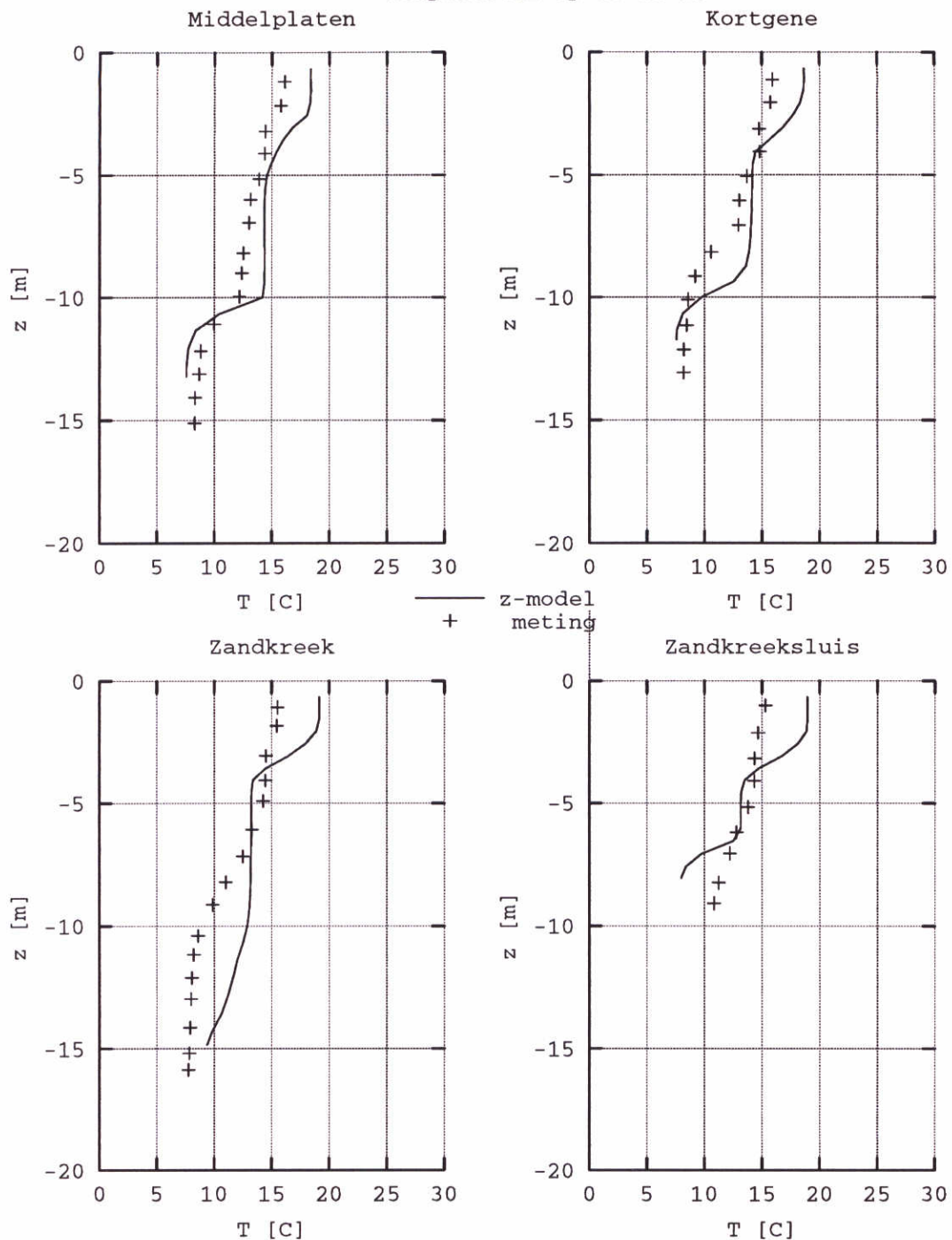
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.16a



Temperatuur op 23-05-95



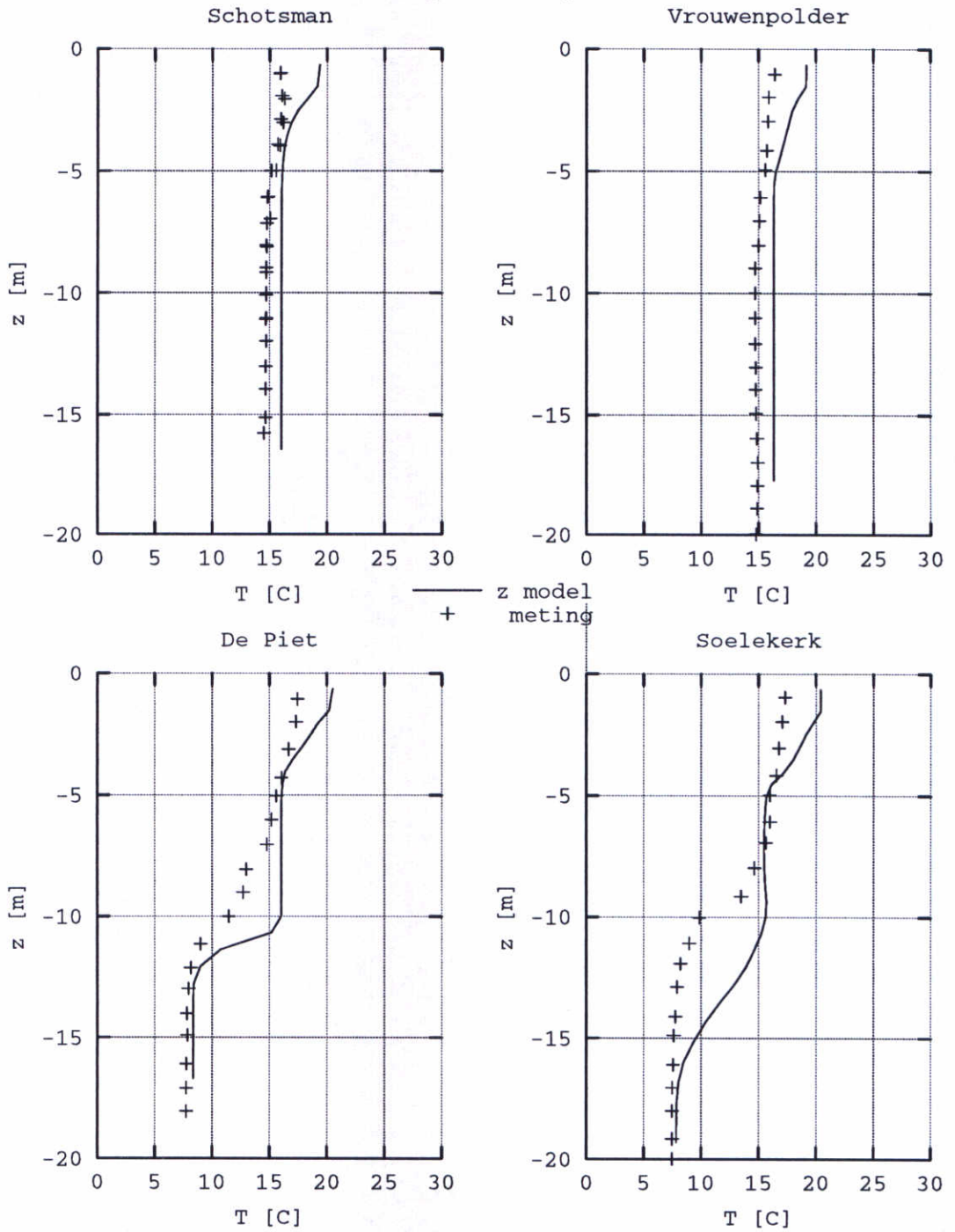
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 23 mei 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.16b

Temperatuur op 20-06-95



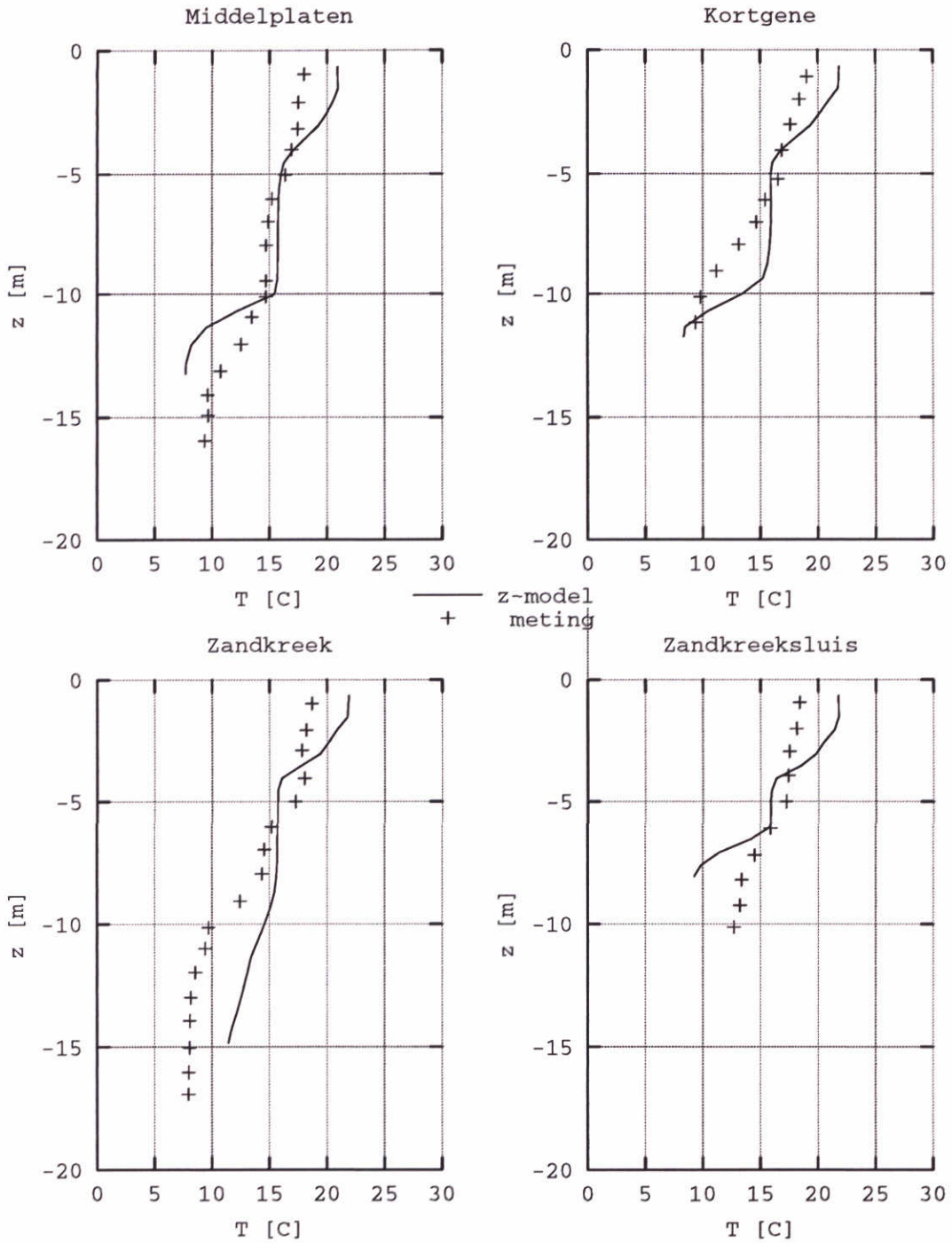
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 20 juni 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.17a

Temperatuur op 20-06-95



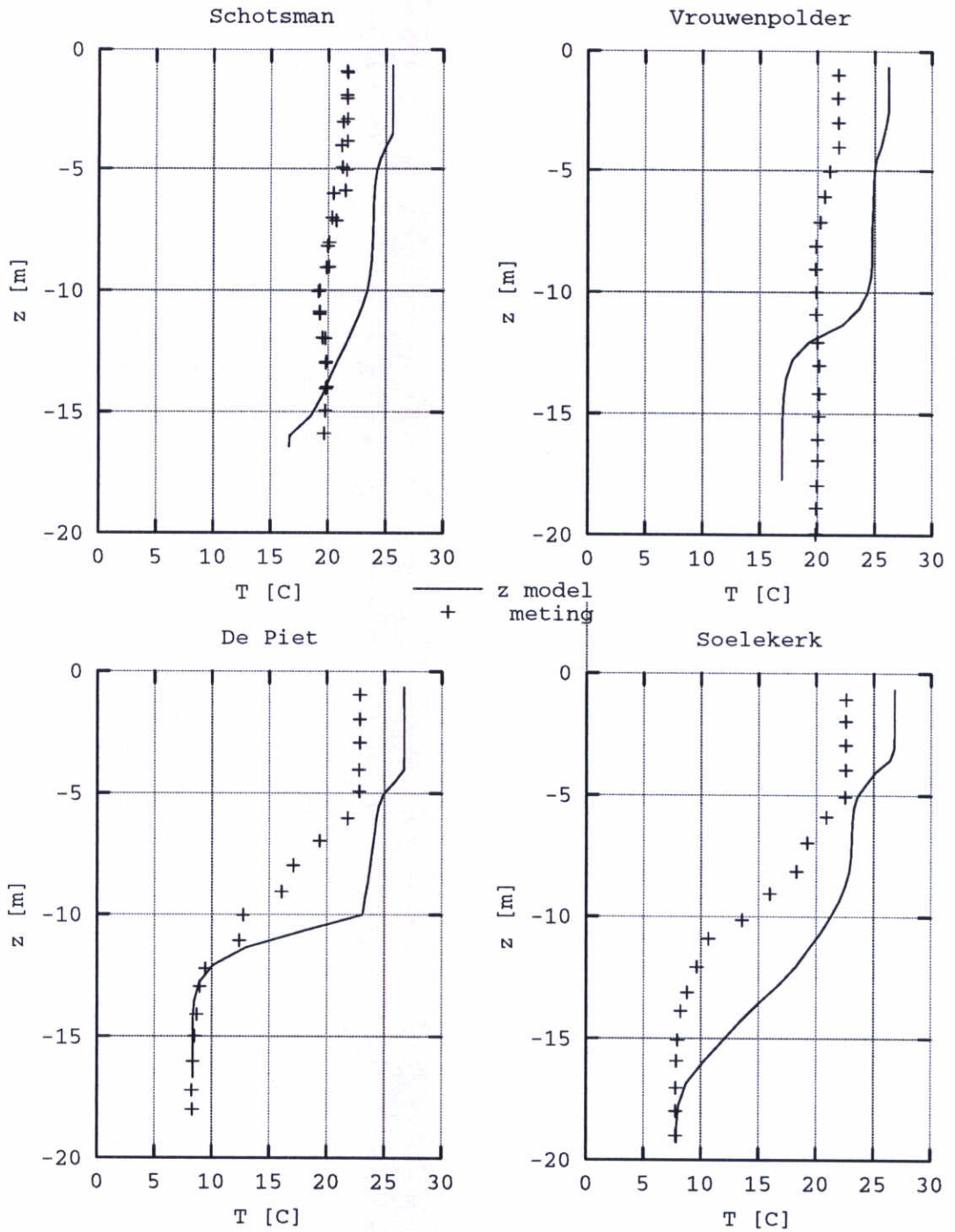
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 20 juni 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.17b

Temperatuur op 25-07-95



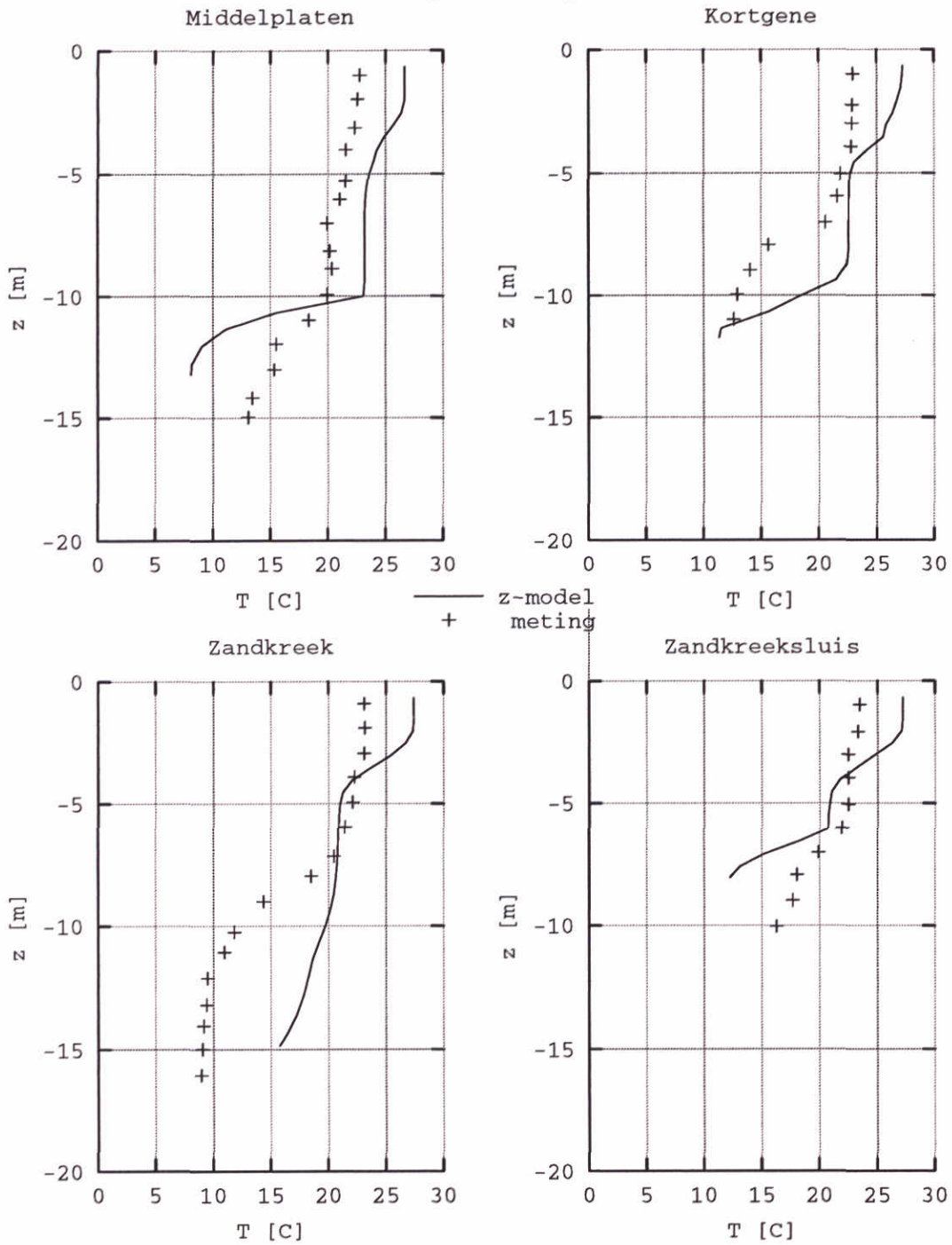
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 25 juli 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.18a

Temperatuur op 25-07-95



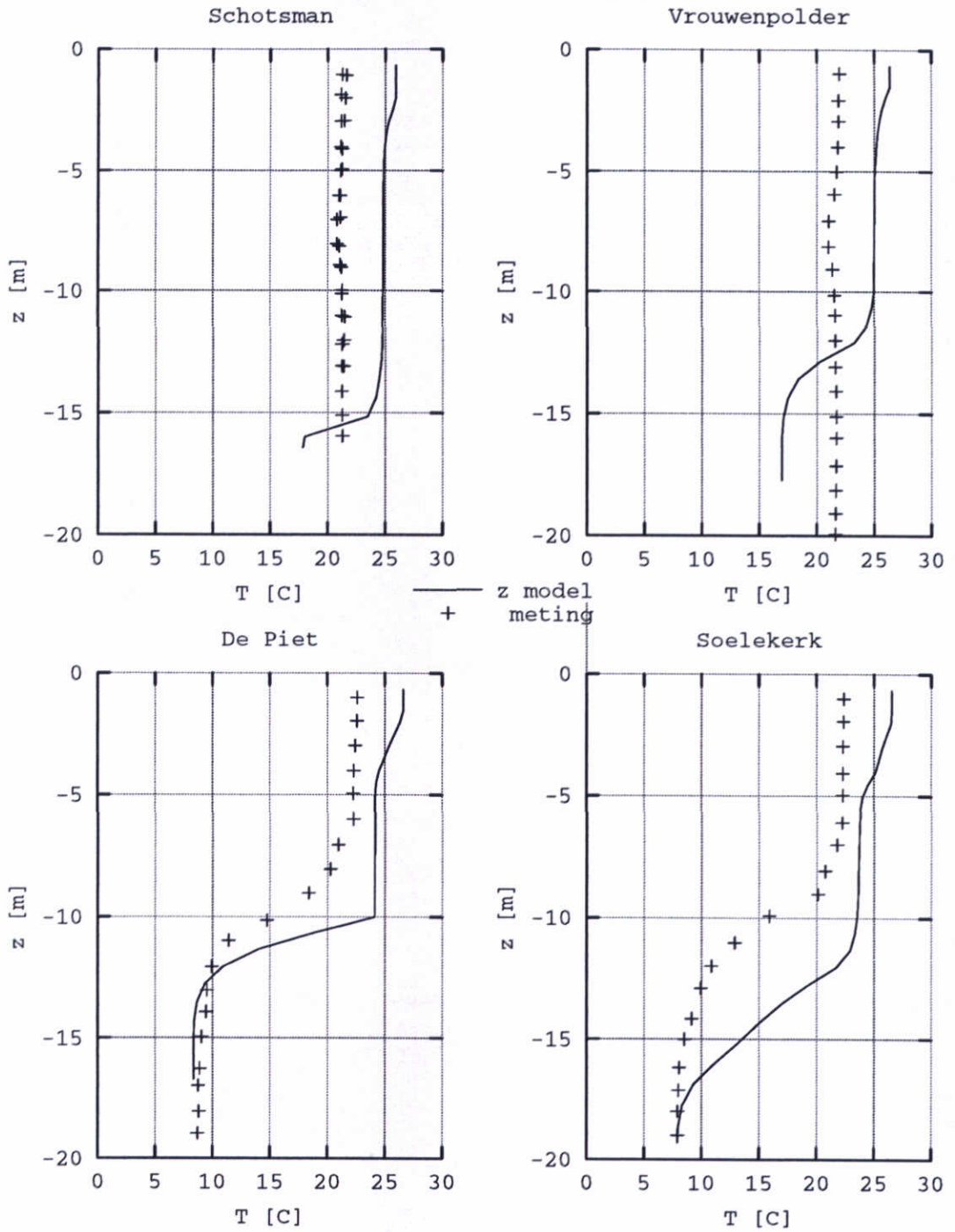
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 25 juli 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.18b

Temperatuur op 16-08-95



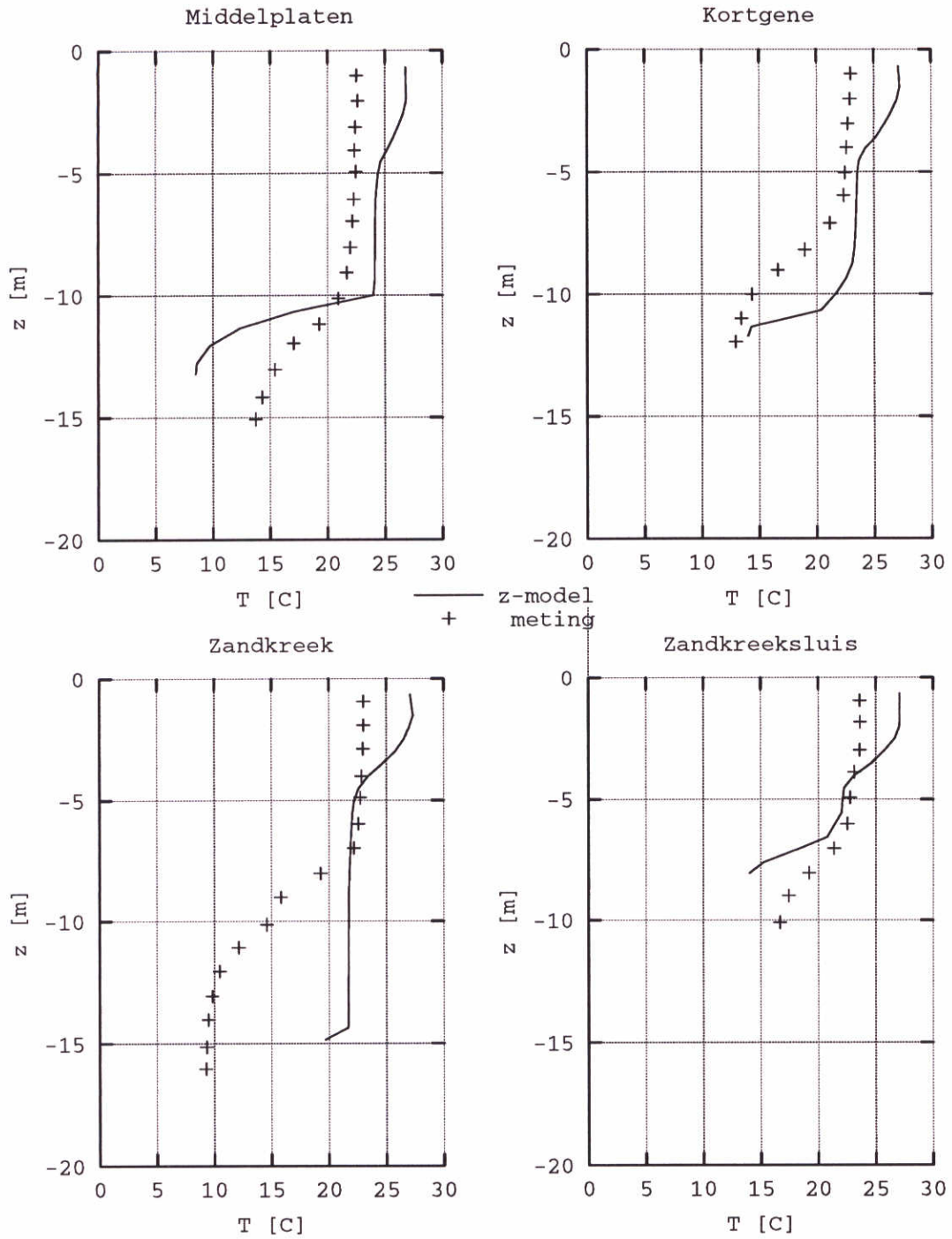
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 16 augustus 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.19a

Temperatuur op 16-08-95



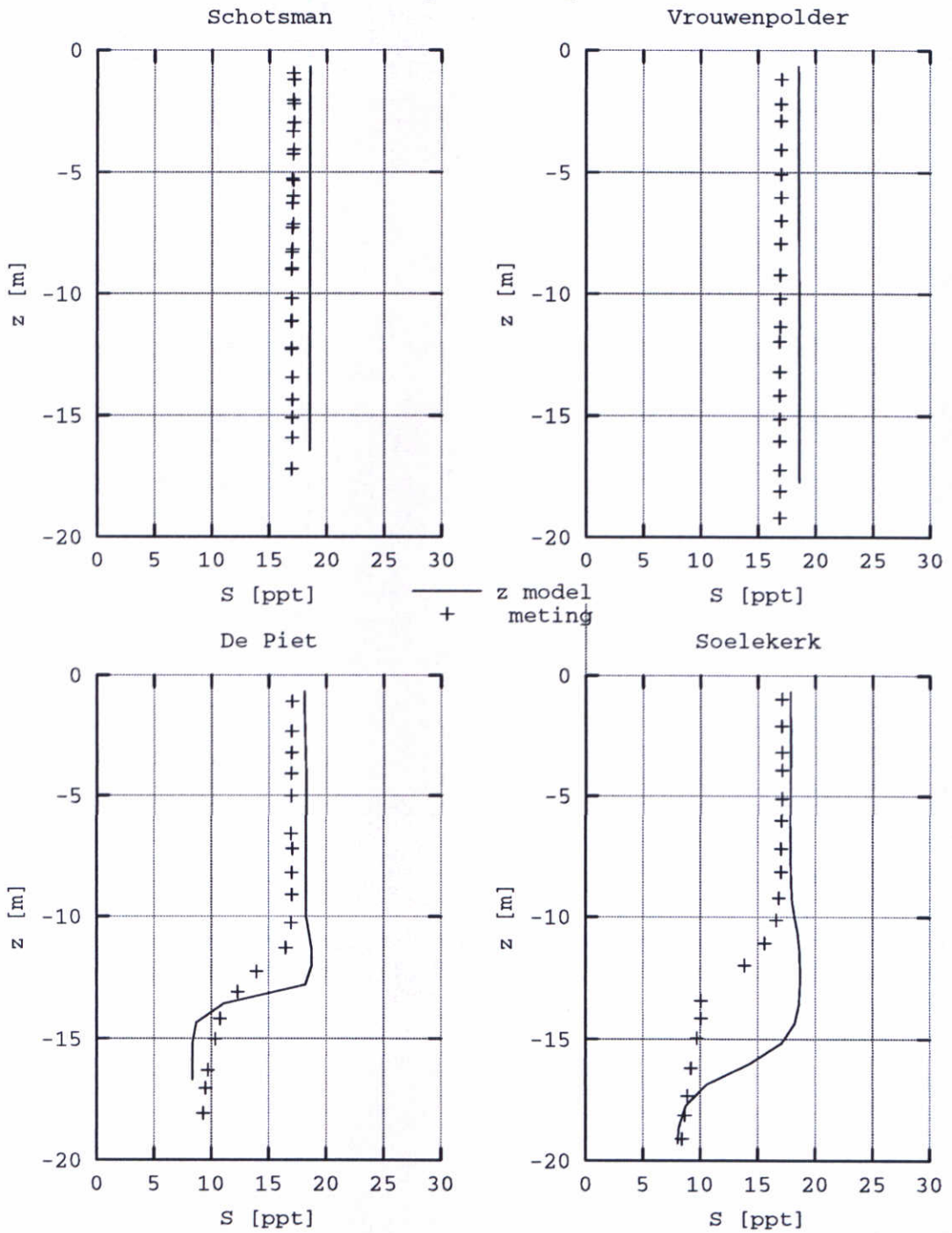
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 16 augustus 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.19b

Temperatuur op 11-09-95



Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 11 september 1995  
 vergelijking model - metingen

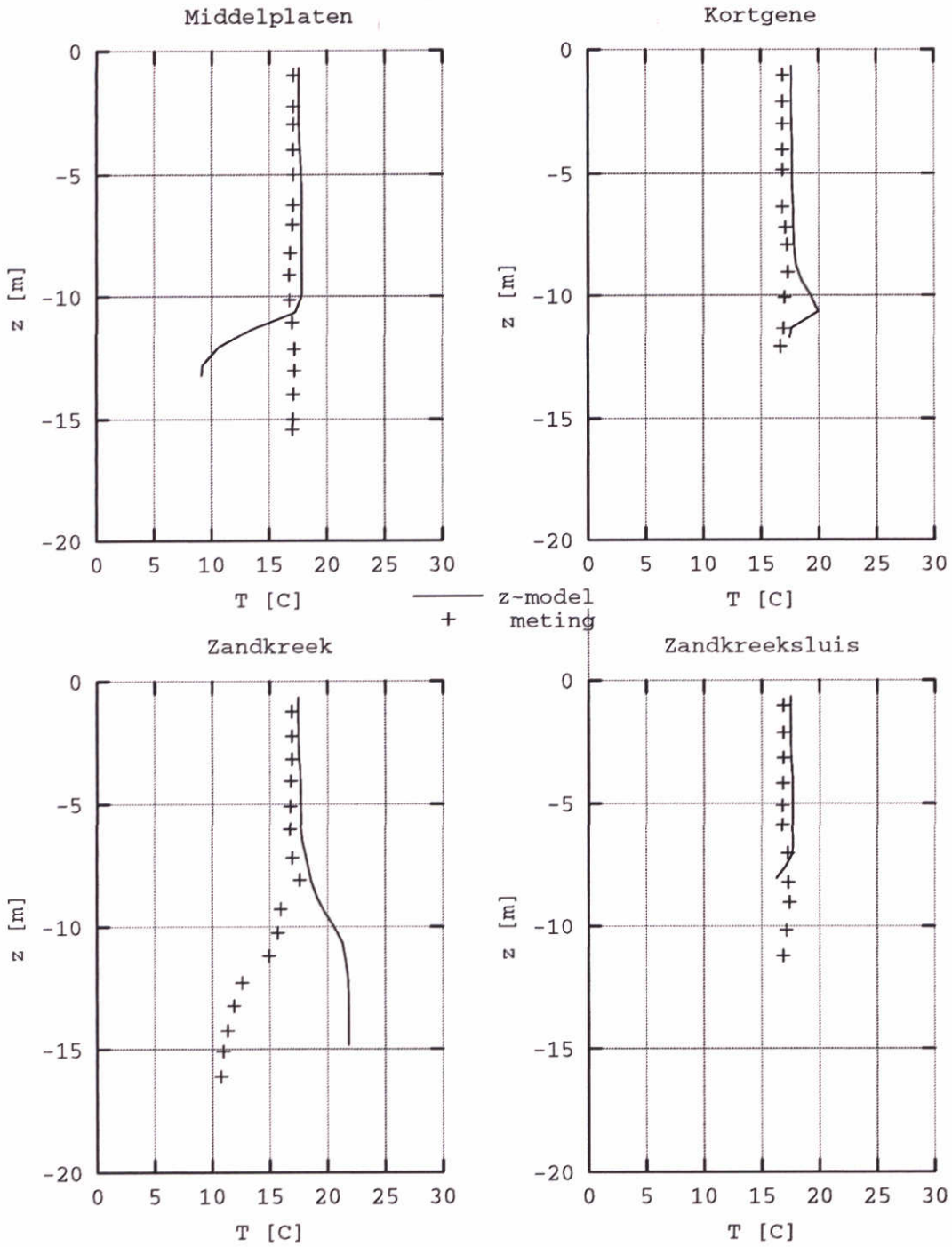
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.20a



Temperatuur op 11-09-95



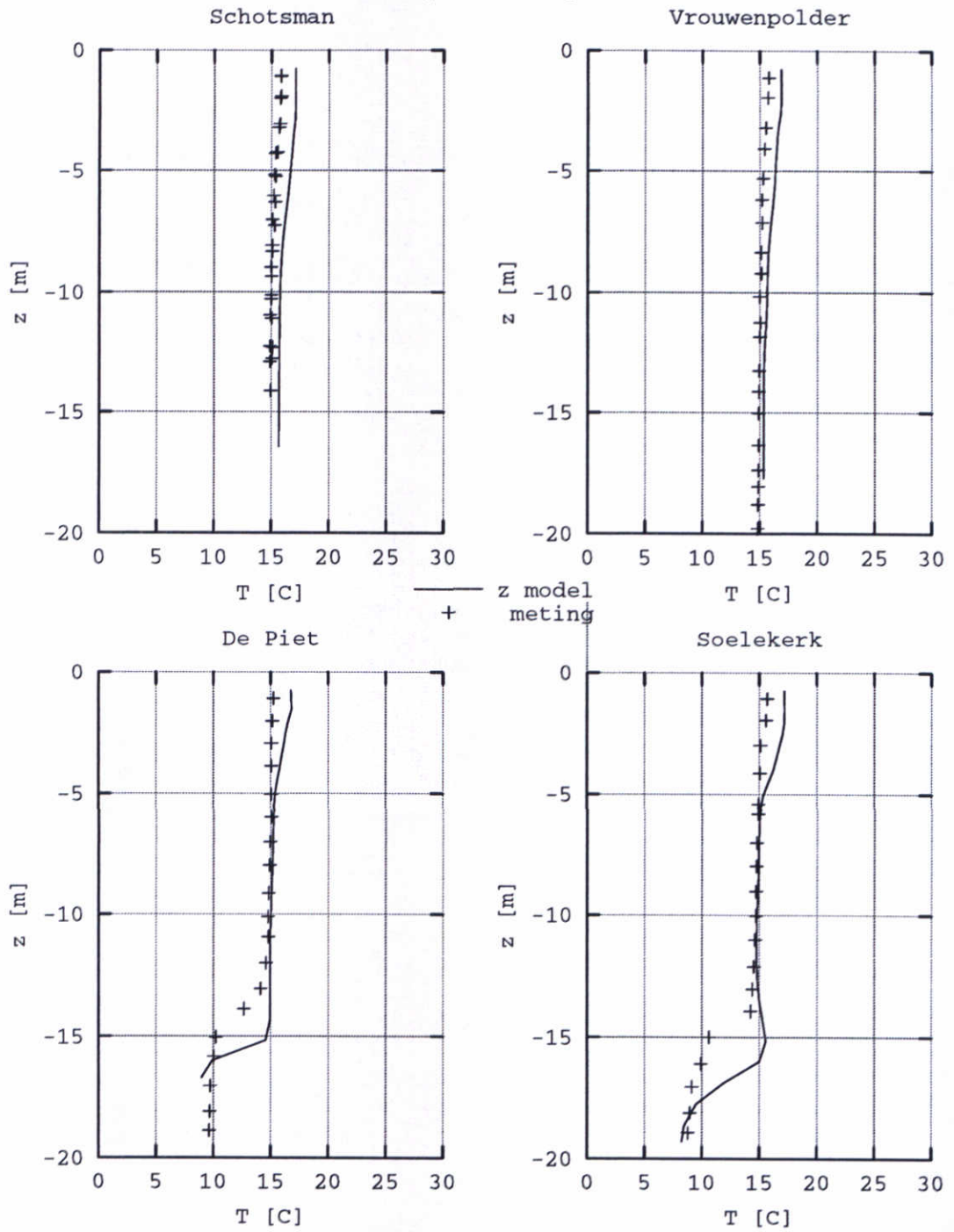
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 11 september 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.20b

Temperatuur op 10-10-95



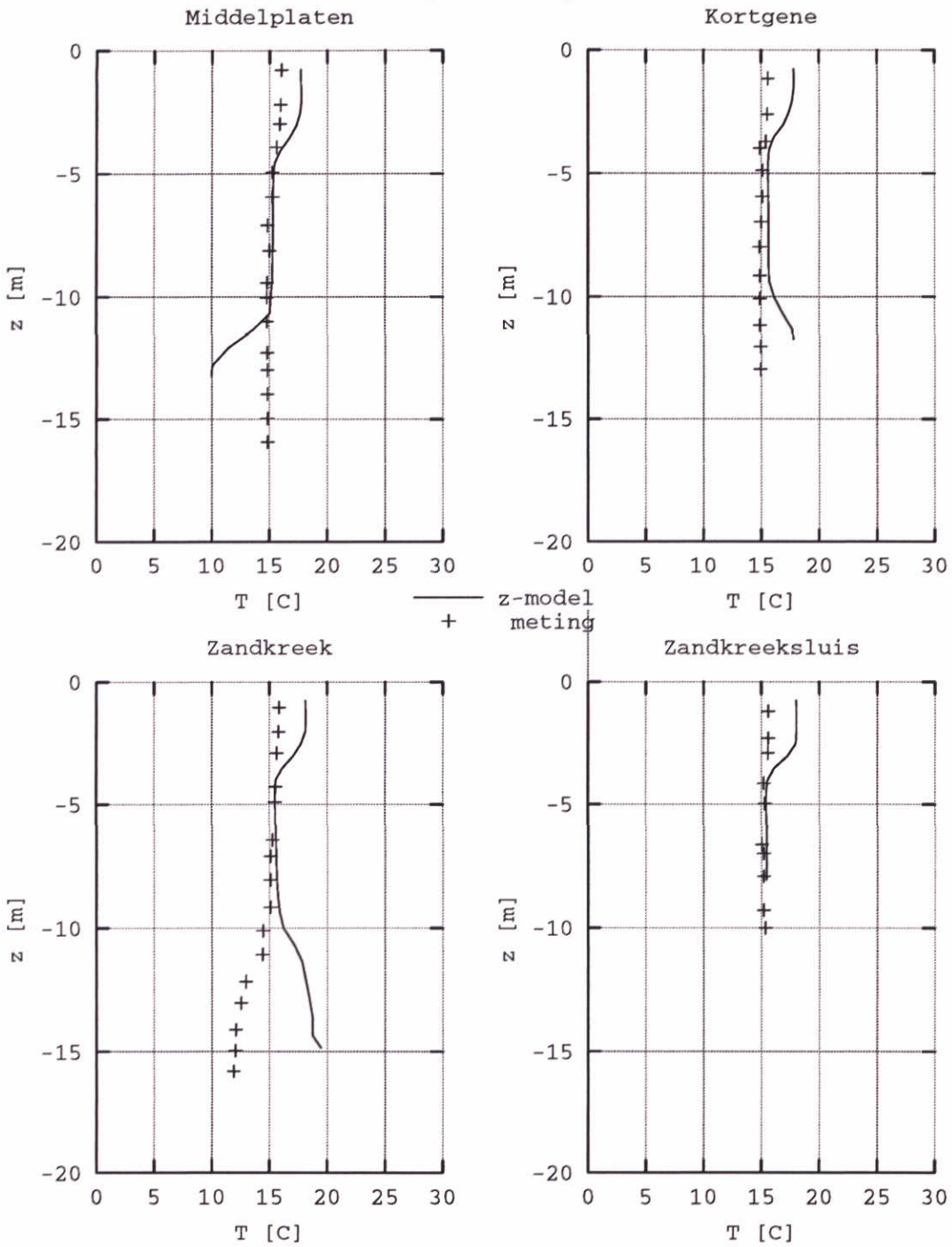
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 10 oktober 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.21a

Temperatuur op 10-10-95



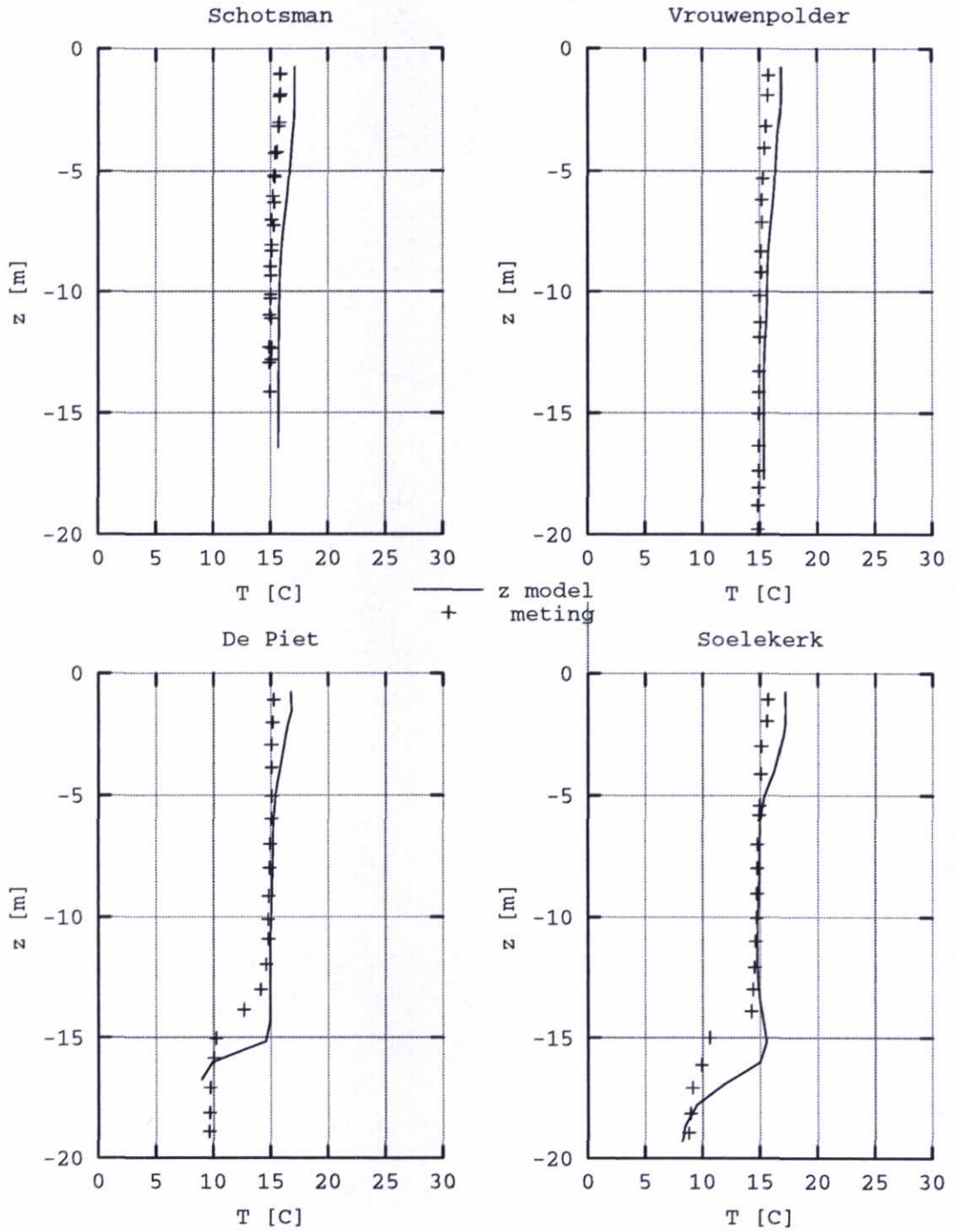
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 10 oktober 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.21b

Temperatuur op 10-10-95



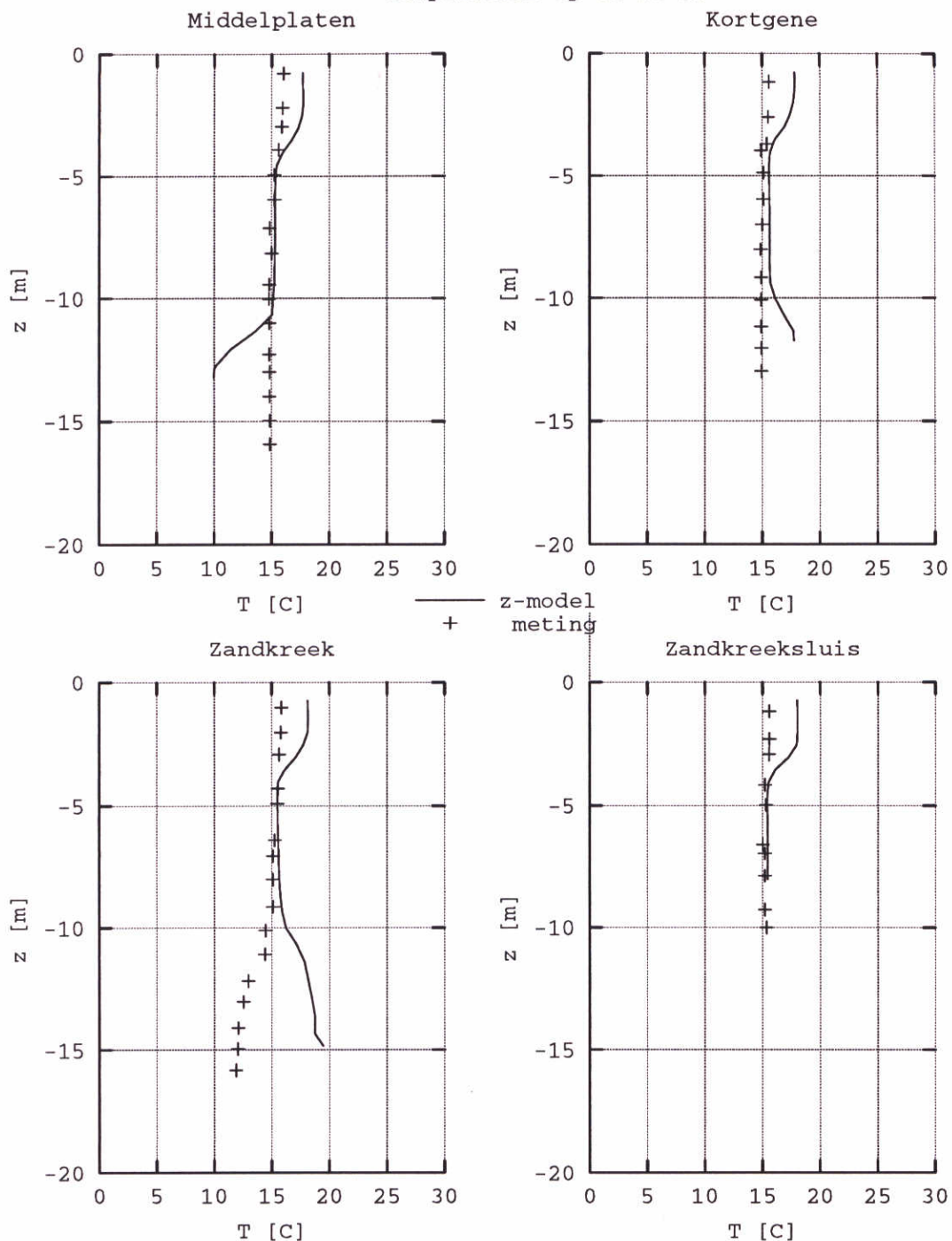
Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 7 december 1995  
 vergelijking model - metingen

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 4.22a

Temperatuur op 10-10-95

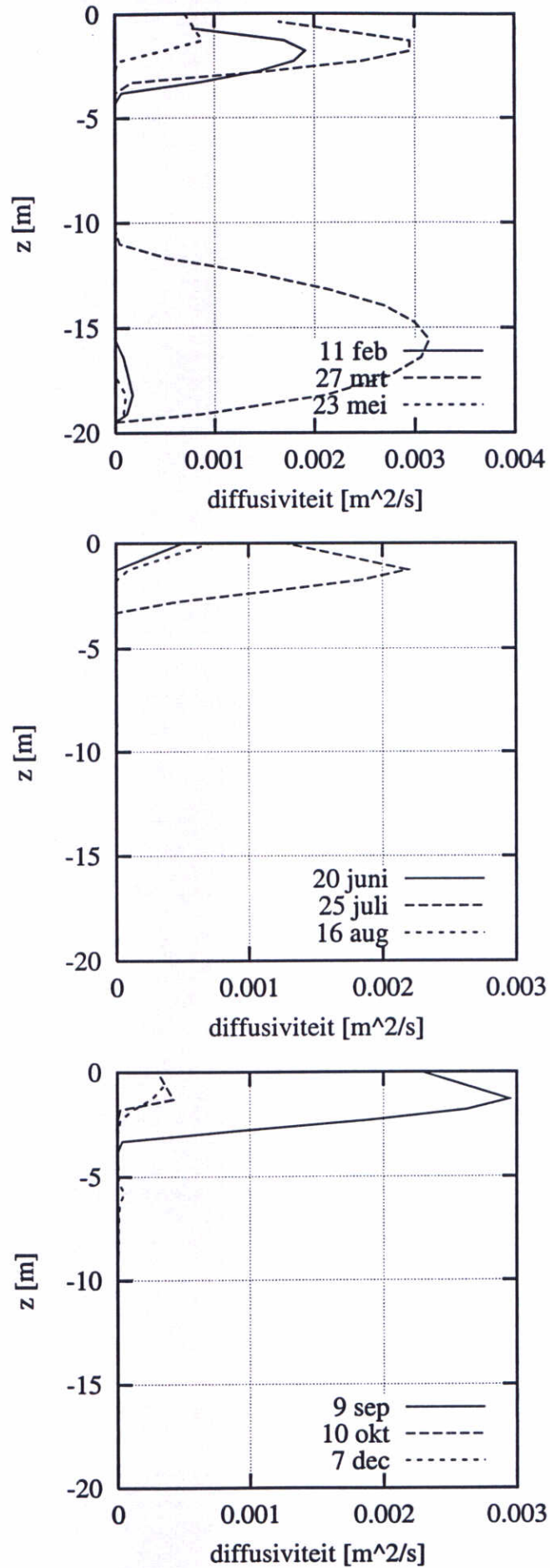


Kalibratie hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 7 december 1995  
 vergelijking model - metingen

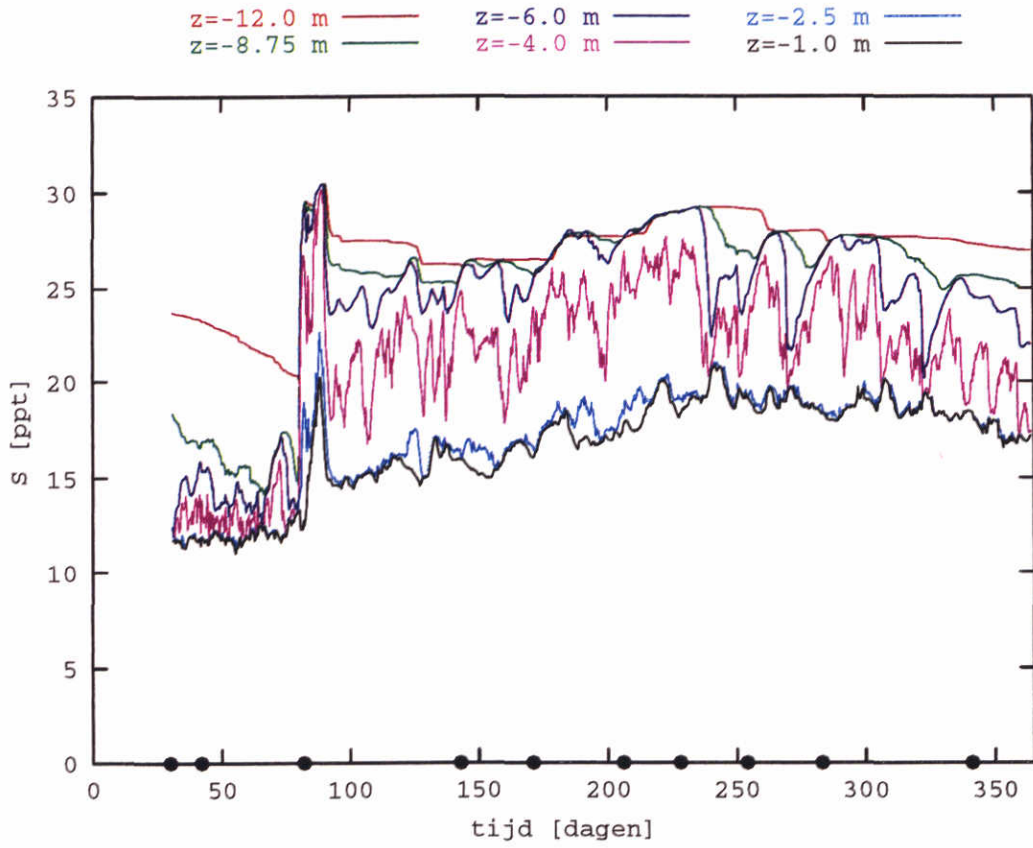
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

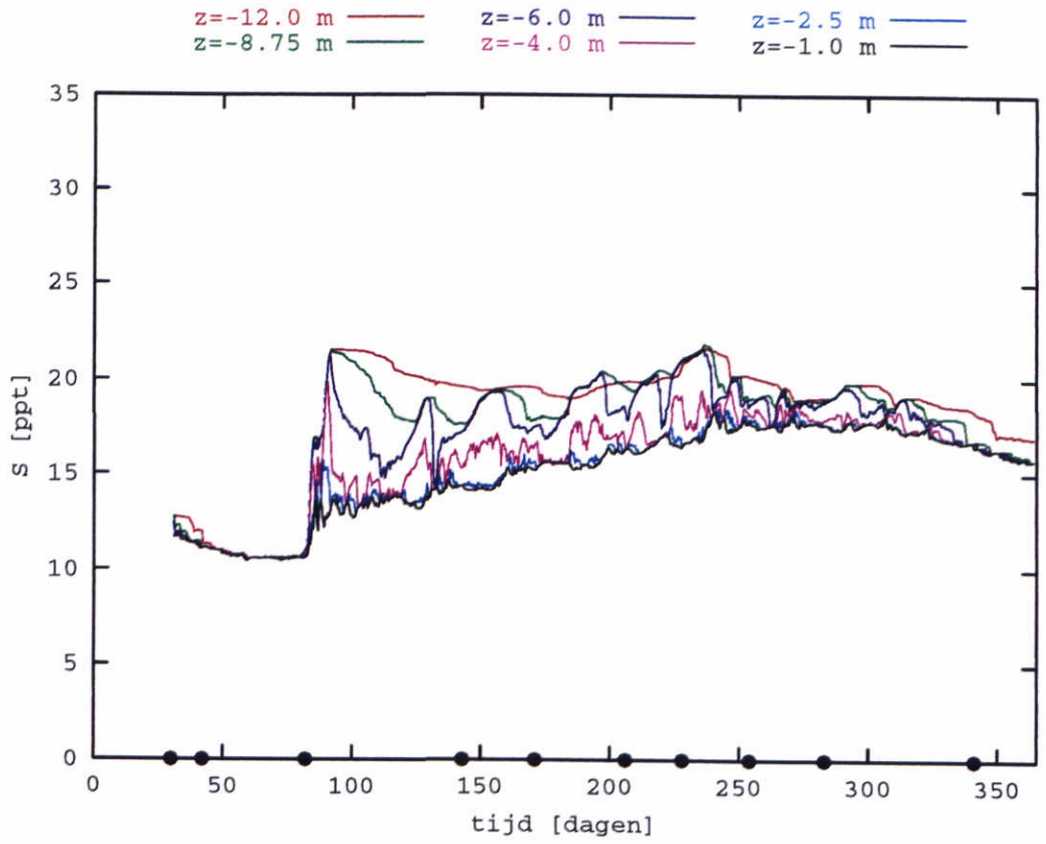
Figuur 4.22b



Figuur 4.23 Verticale verdeling van de diffusiviteit (m<sup>2</sup>/s). Boven: Zandkreek; midden: Soelekerke; onder: Vrouwenpolder

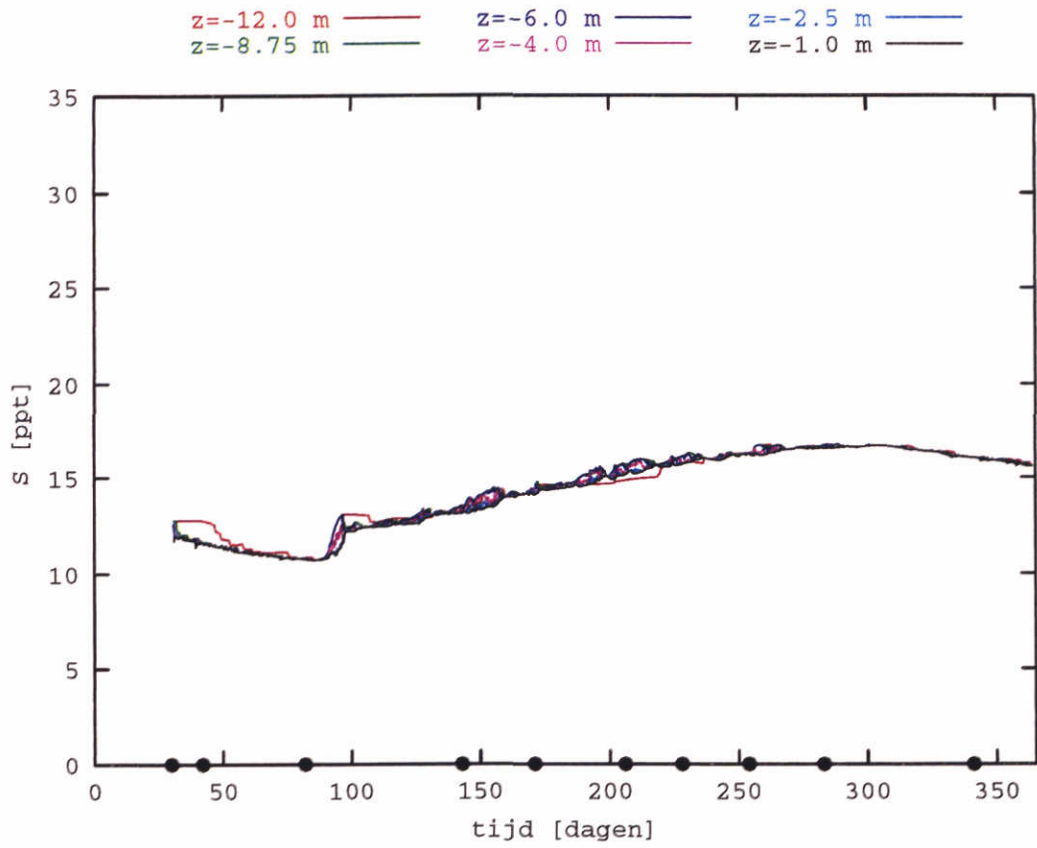


Figuur 4.24 Tijdsree saliniteit (ppt) Zandkreek put op verschillende dieptes

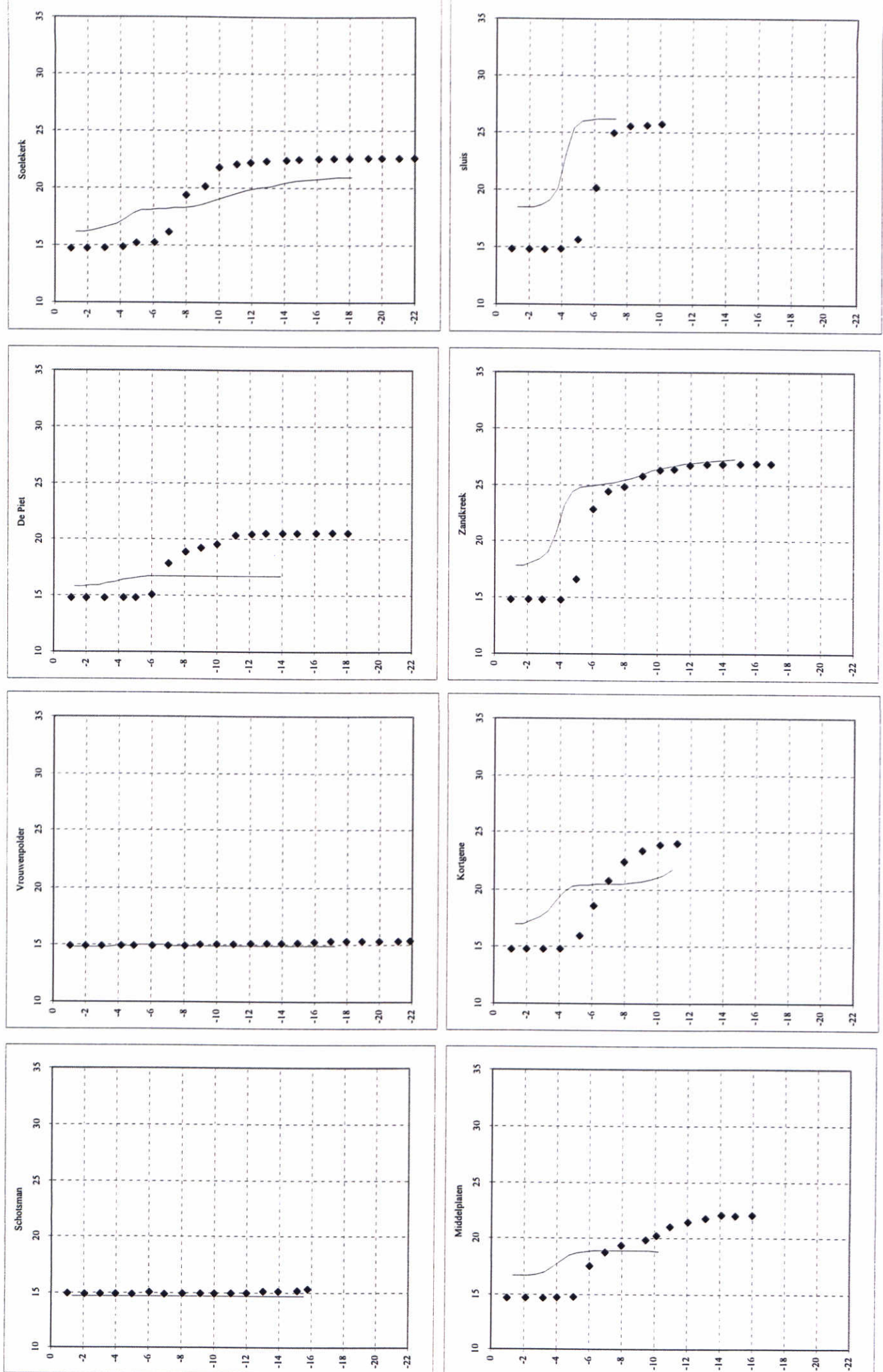


Figuur 4.25 Tijdsree saliniteit (ppt) Soelekerke put op verschillende dieptes

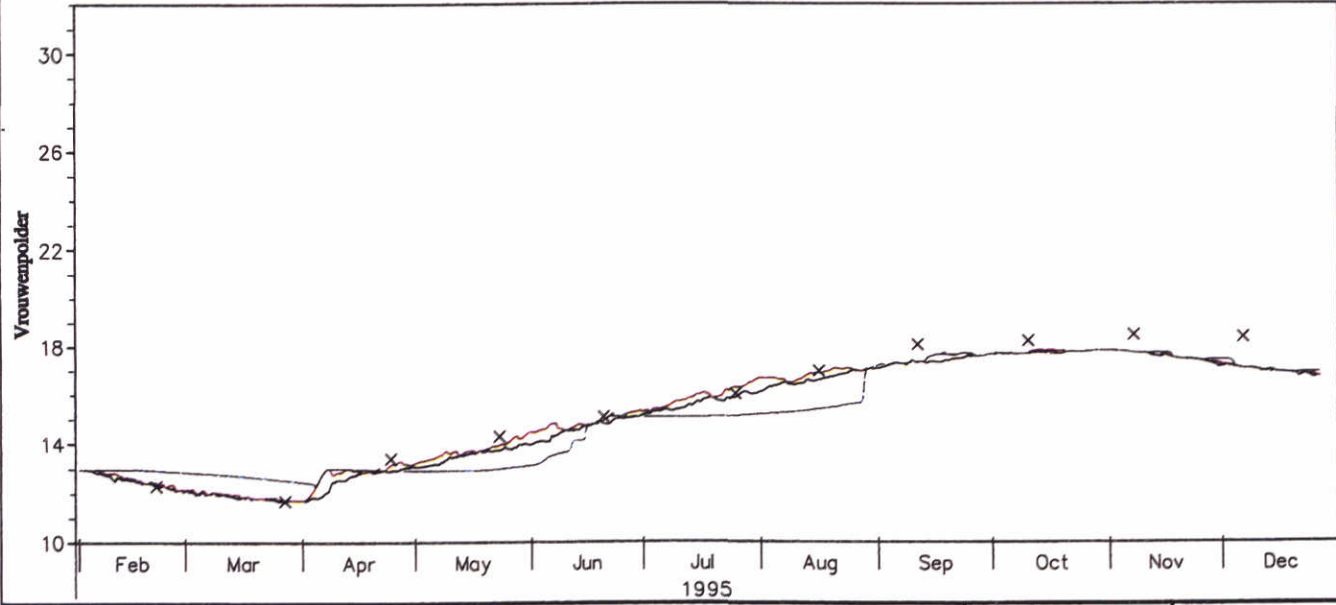
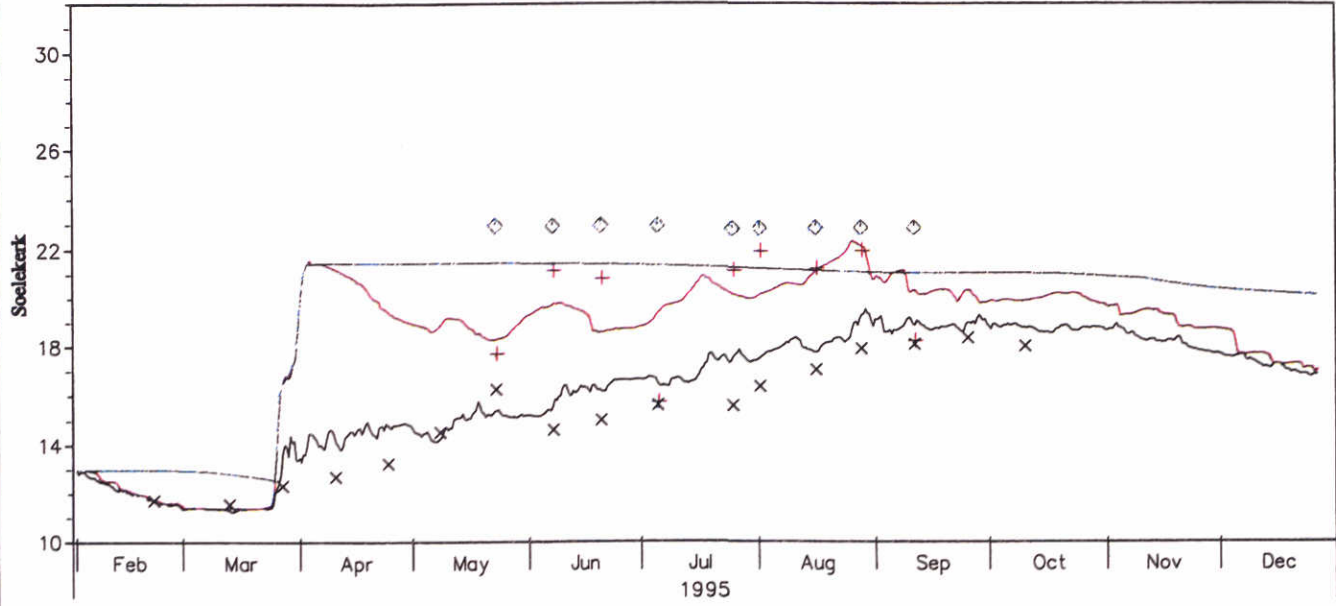
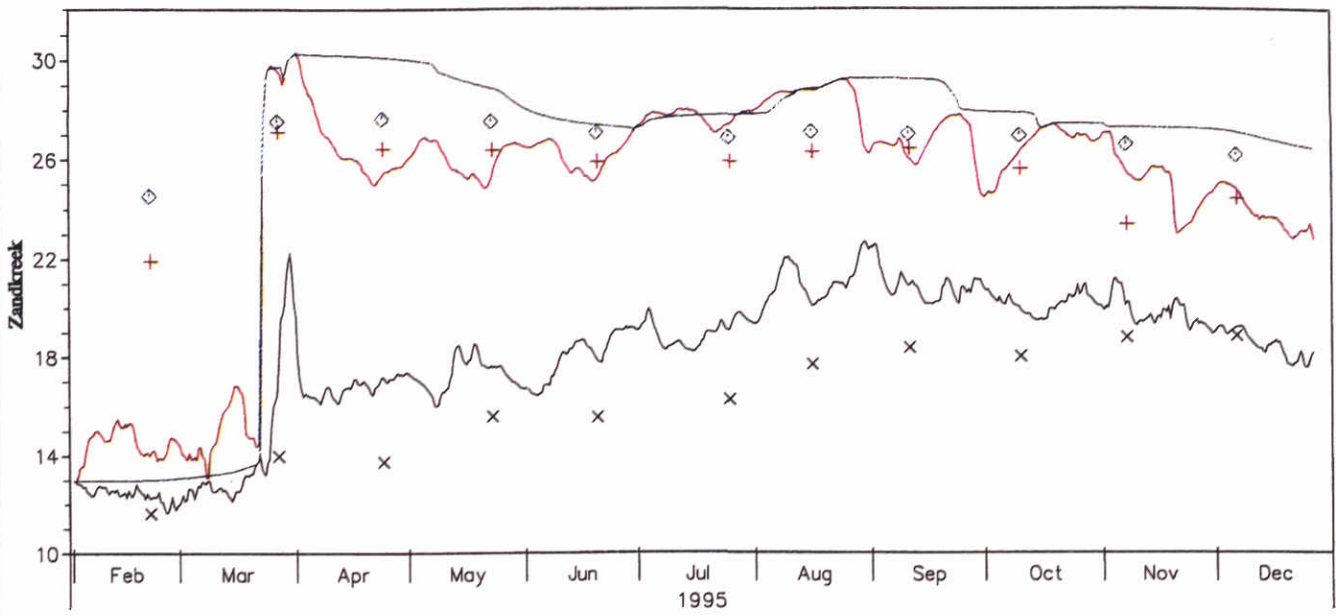




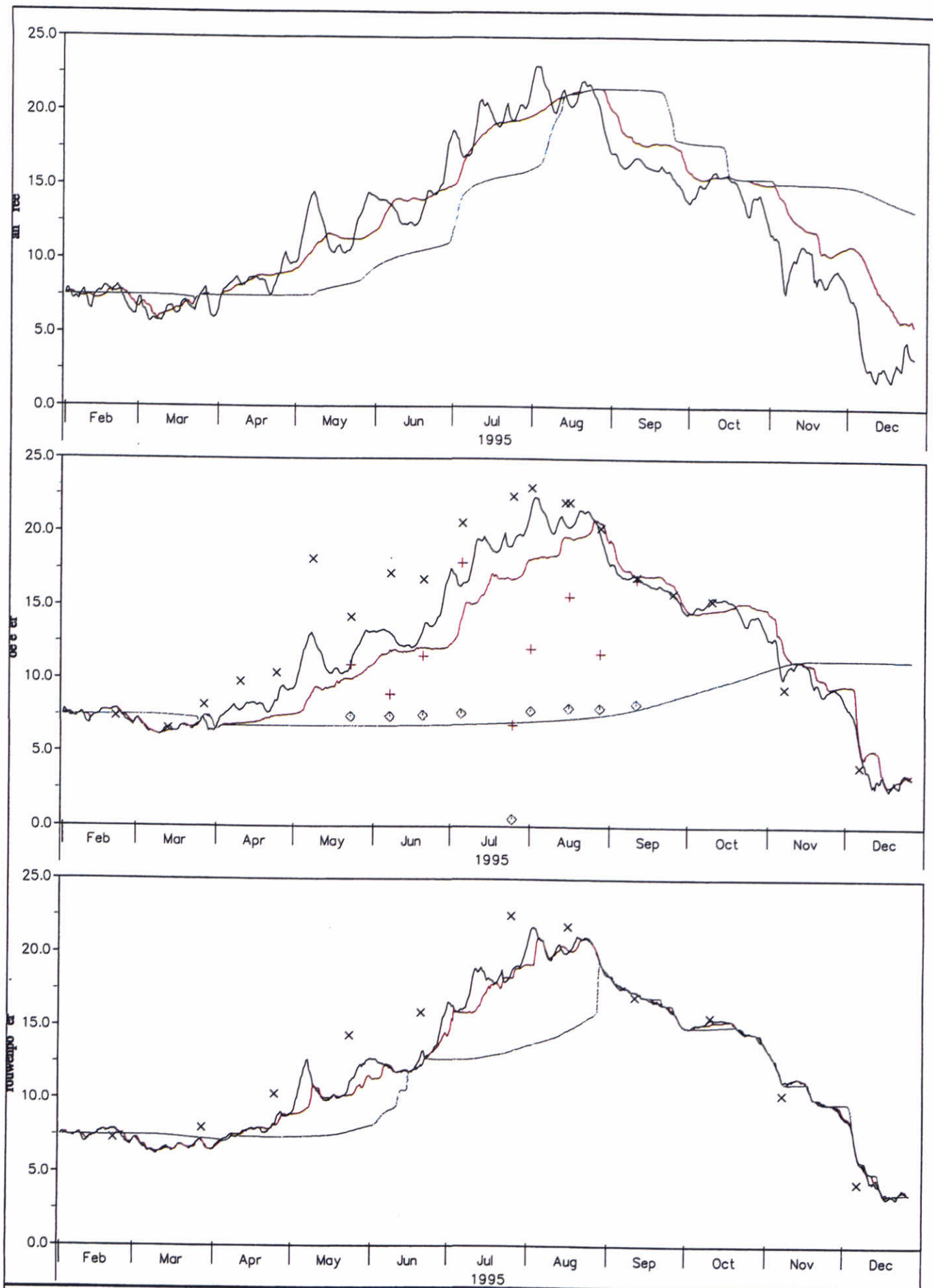
Figuur 4.26 Tijdsree saliniteit (ppt) Vrouwenpolder put op verschillende dieptes



Figuur 5.1 Saliniteitsprofielen 20 juni 1995 berekend met 3D GEM Veerse Meer



Saliniteit (ppt) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

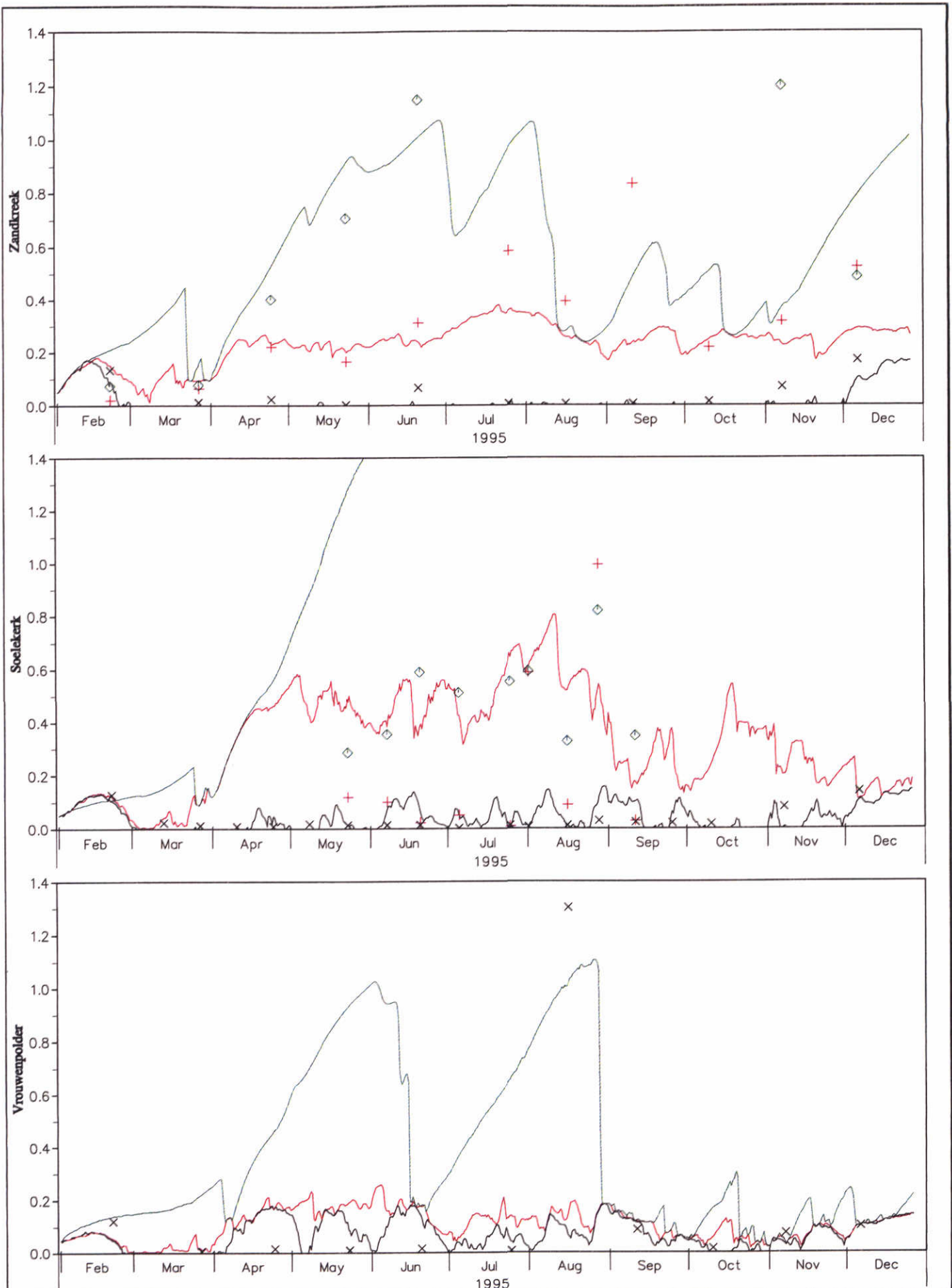


Temperatuur (°C) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

Z2921

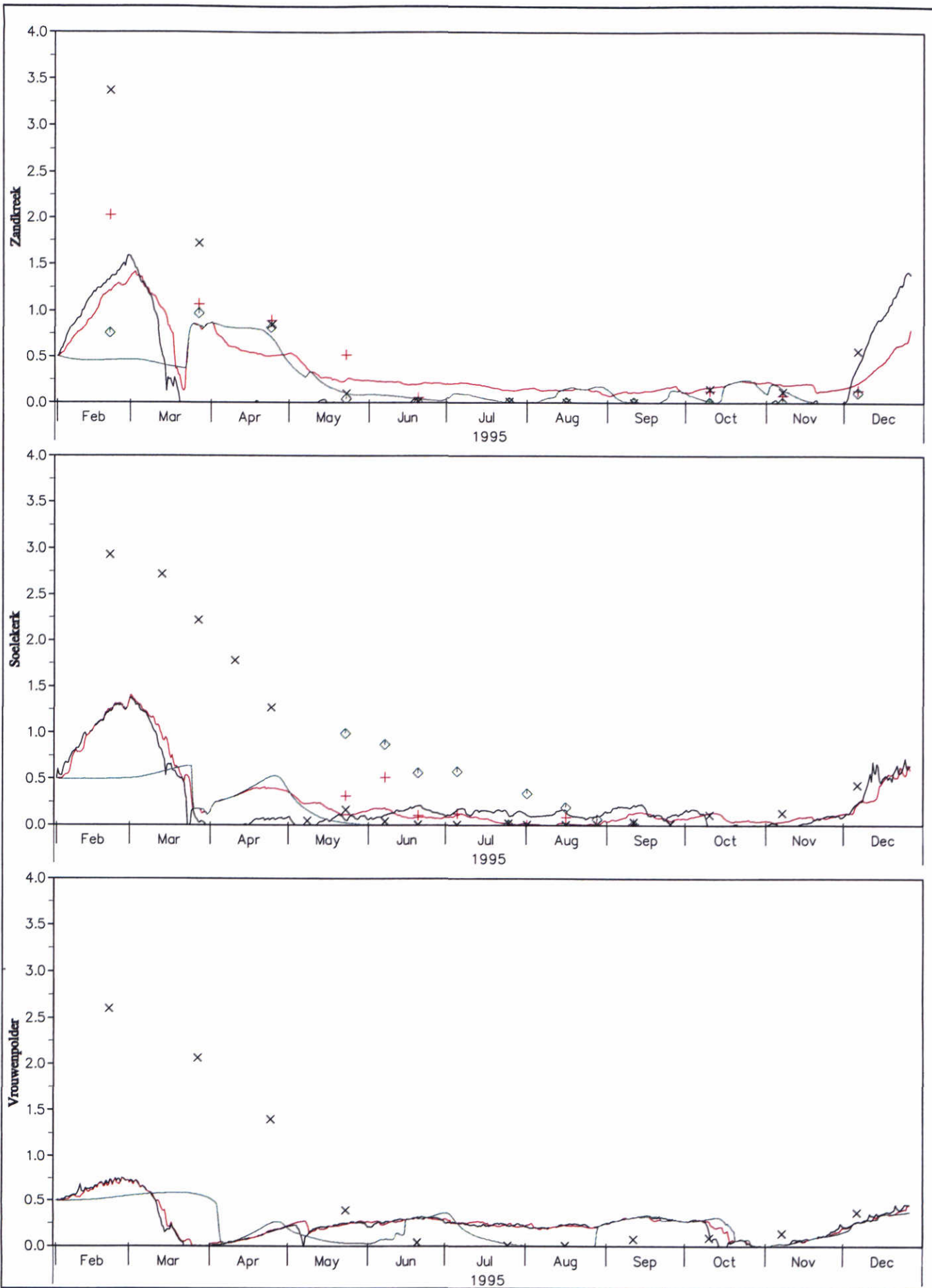
vm09c

Veerse Meer



Ammonia (mg N/l) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

Z2921	vm09c
Veerse Meer	

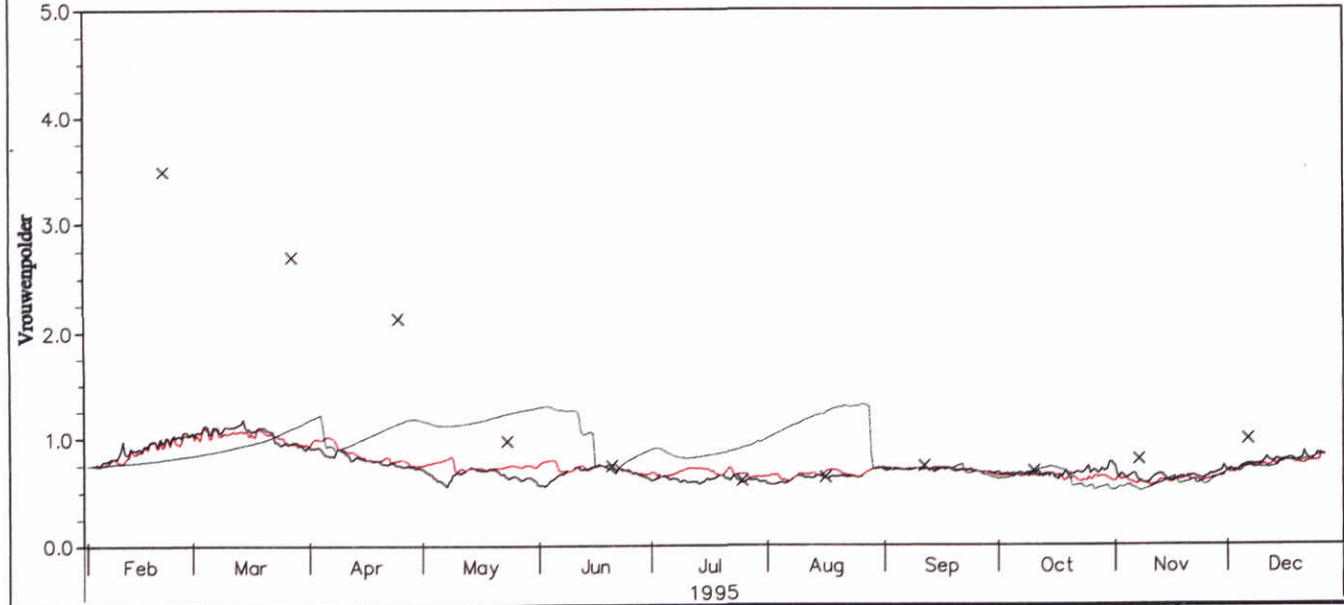
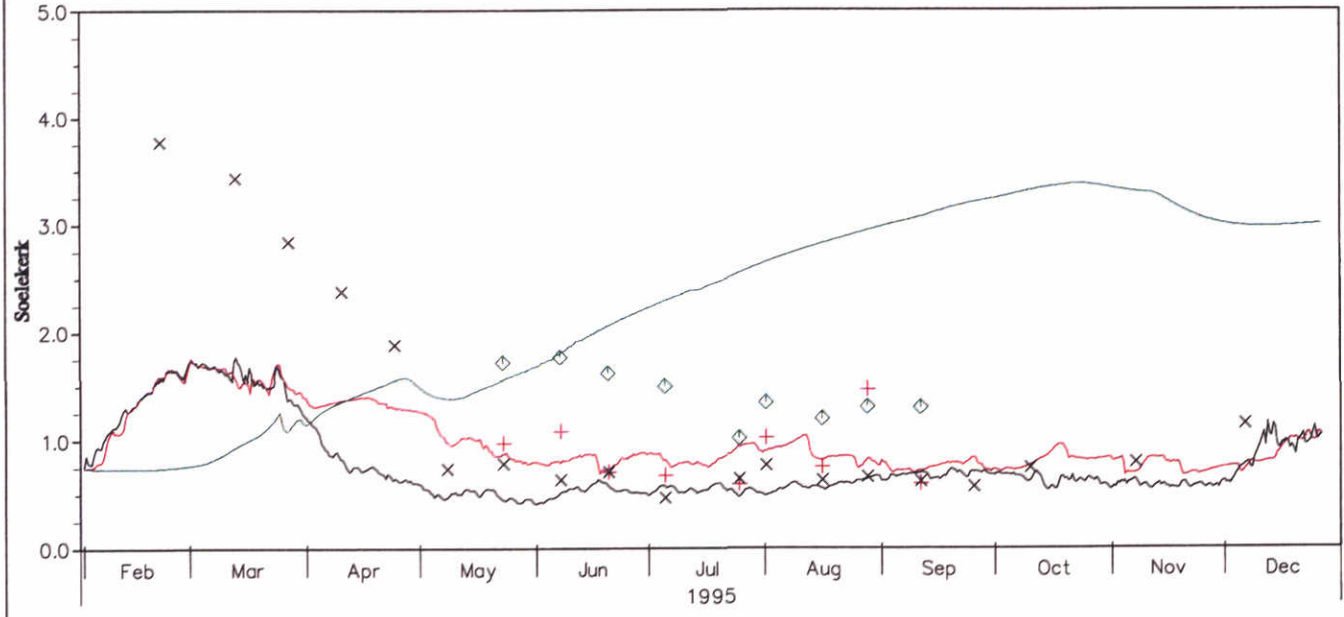
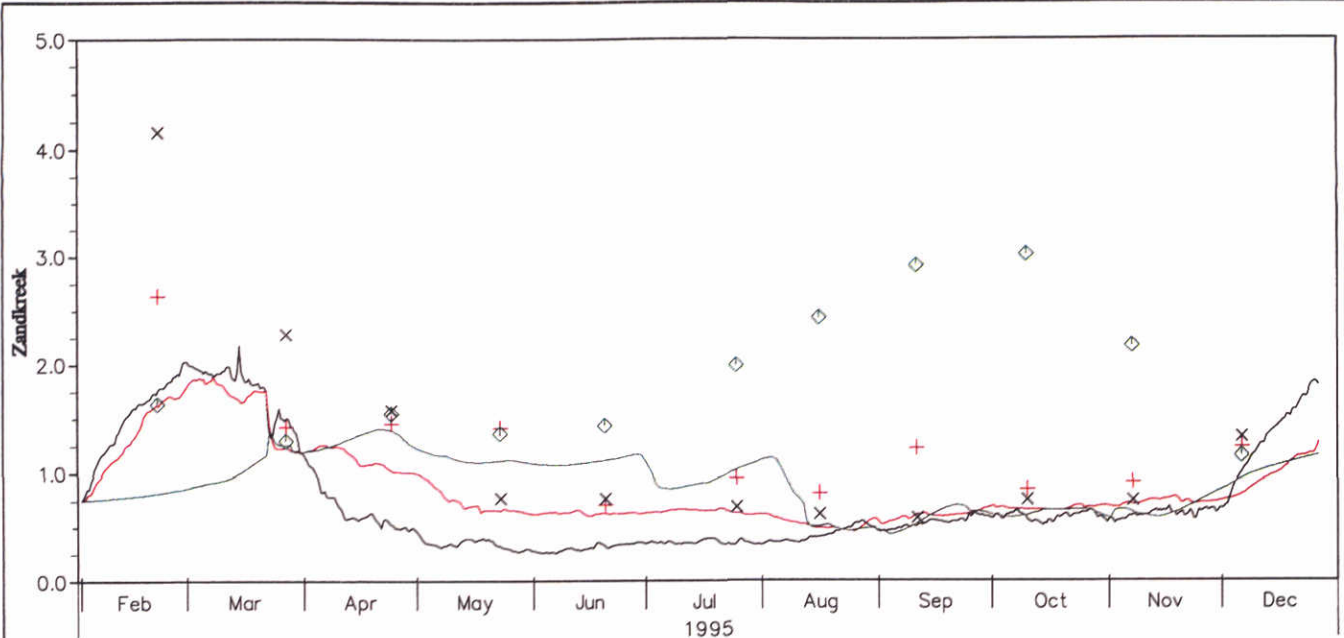


Nitraat (mg N/l) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: opervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

Z2921

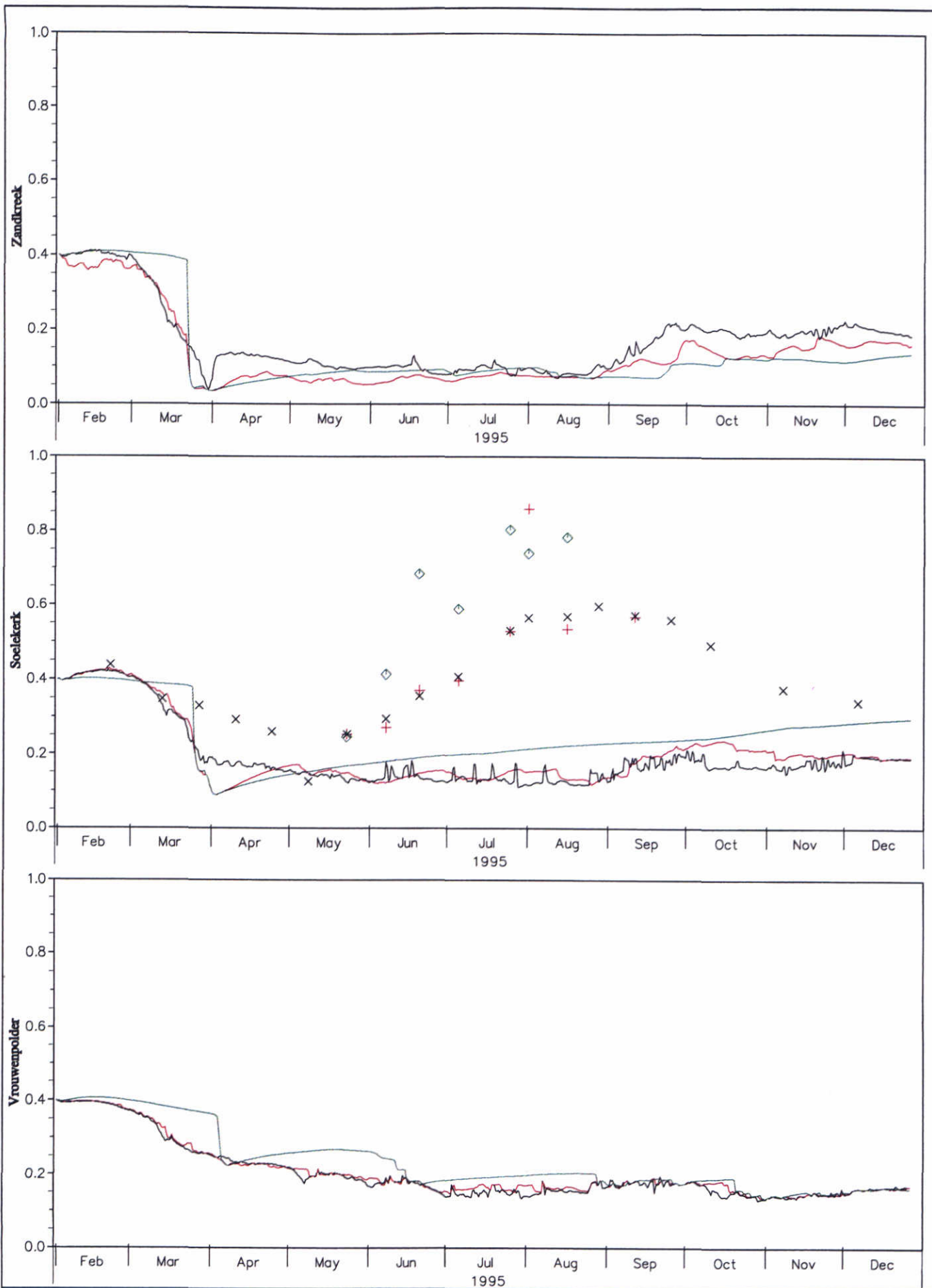
vm09c

Veerse Meer



Totaal stikstof (mg N/l) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

Z2921	vm09c
Veerse Meer	

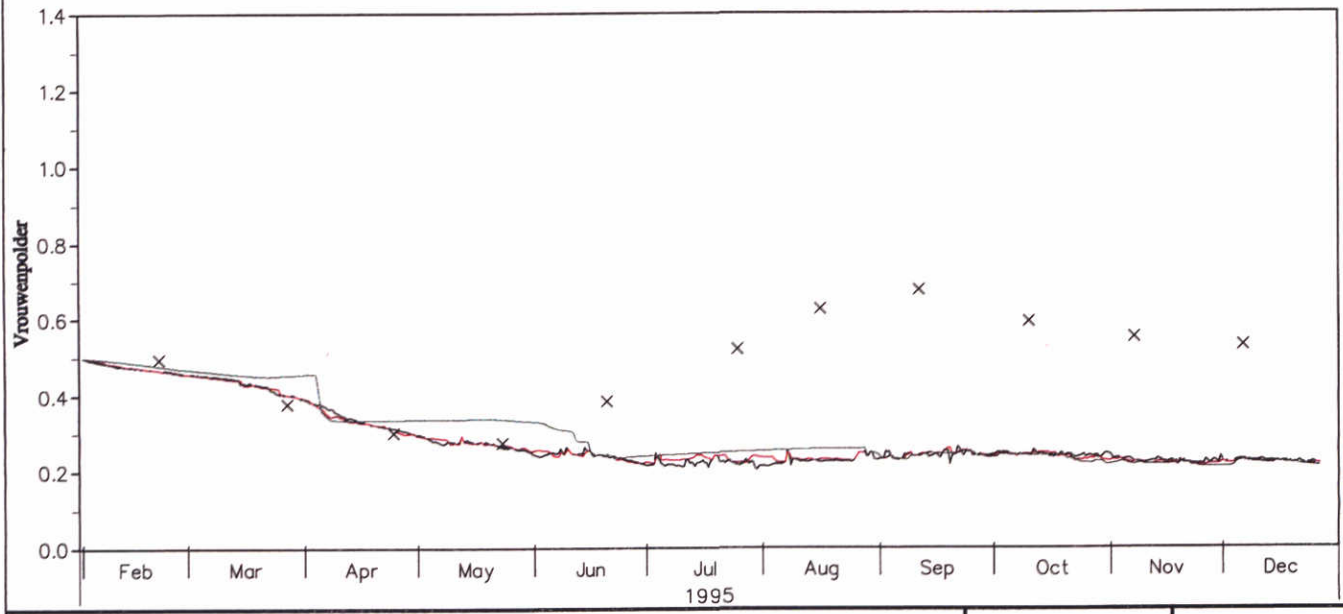
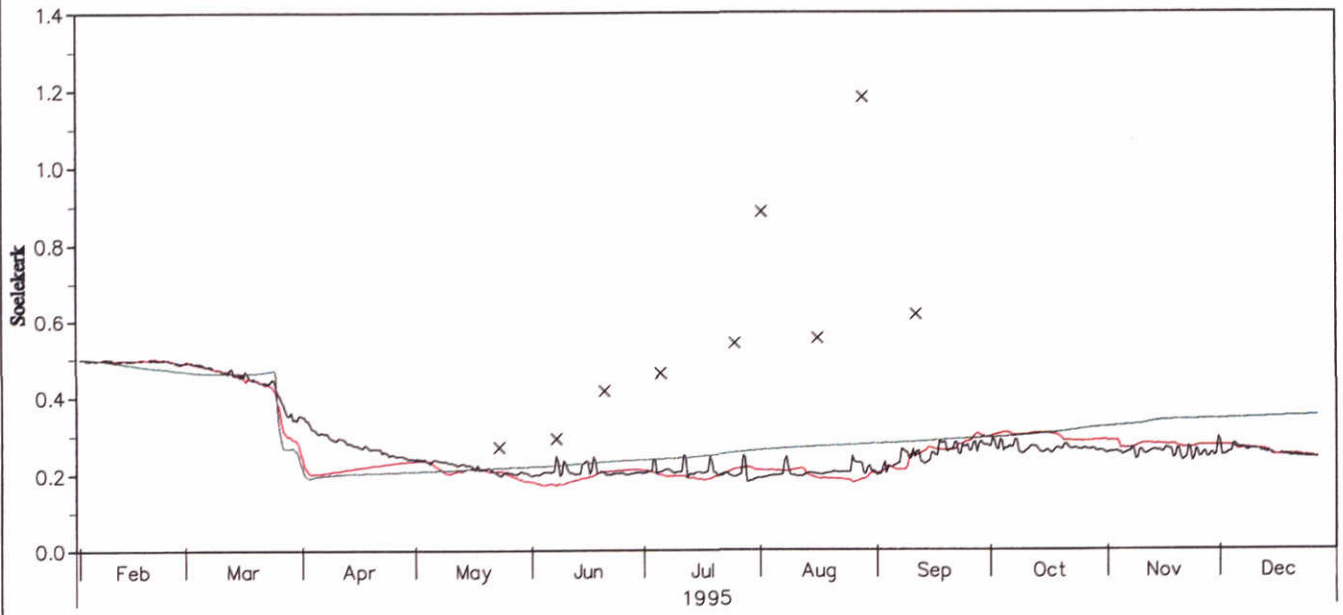
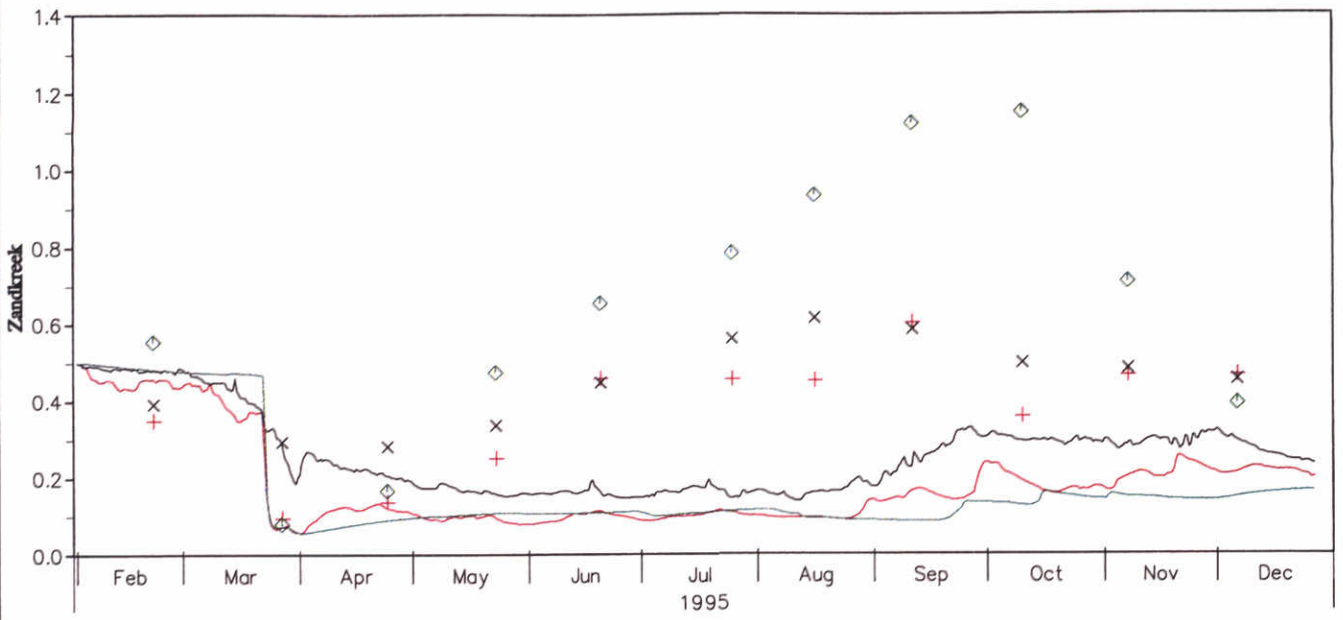


Fosfaat (mg P/l) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

Z2921      vm09c

Veerse Meer



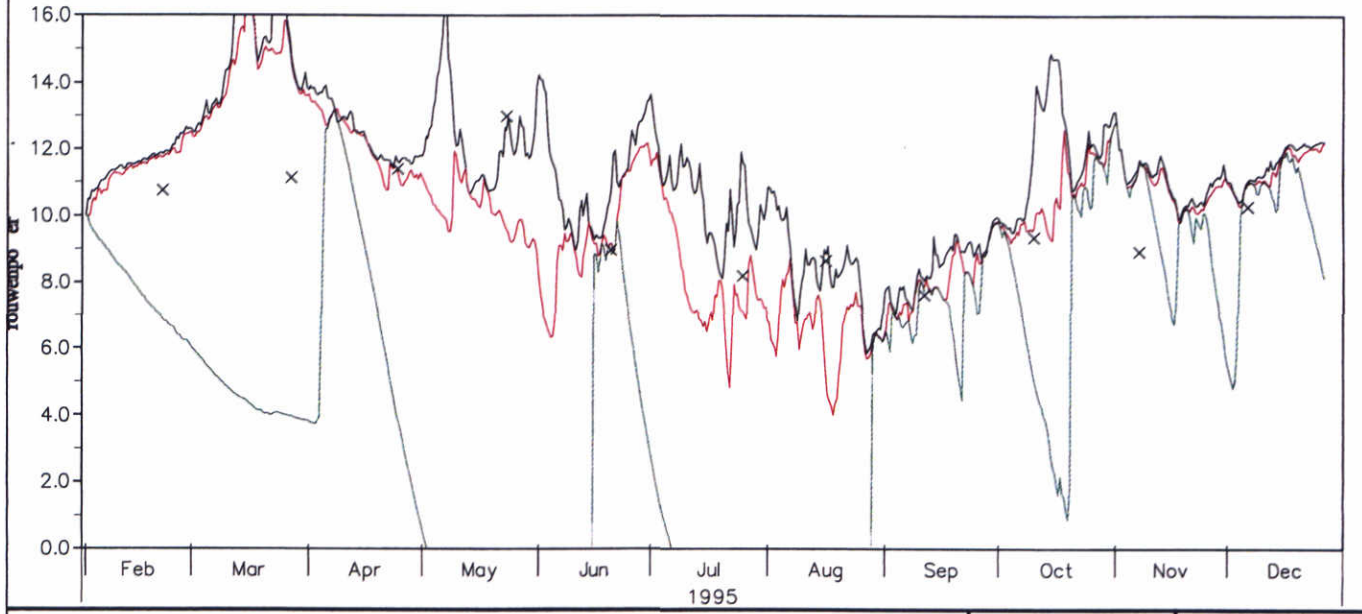
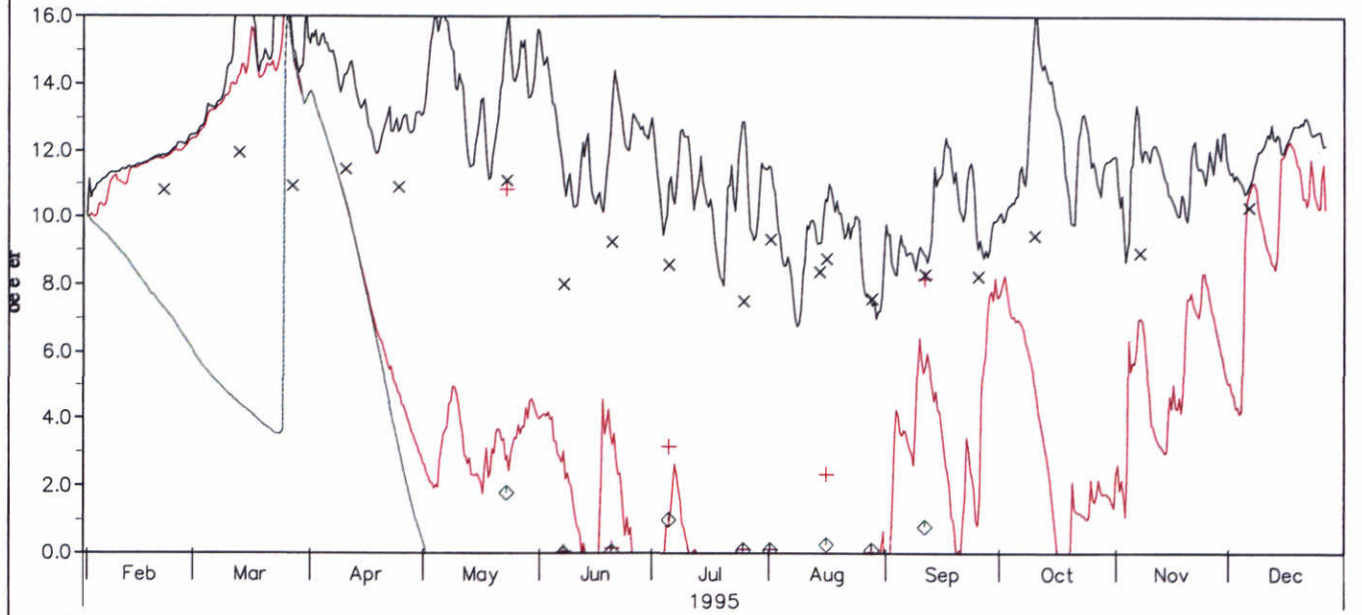
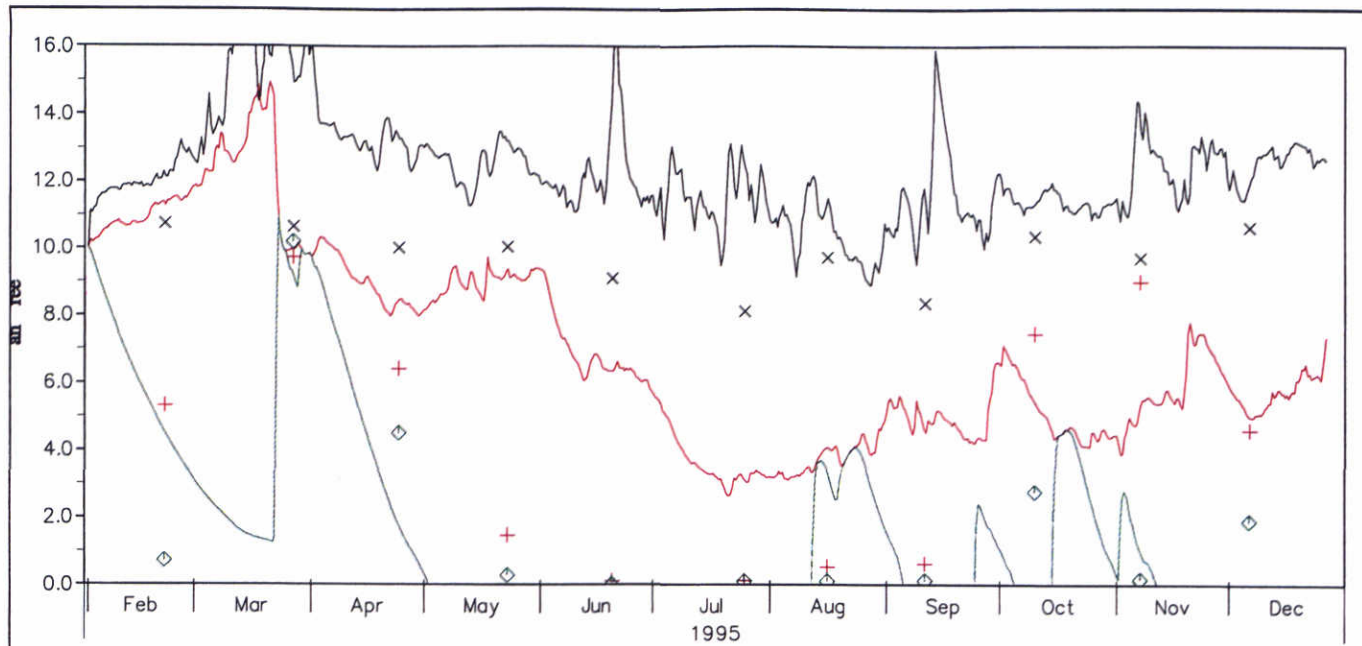


Totaal fosfor (mg P/l) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

Z2921

vm09c

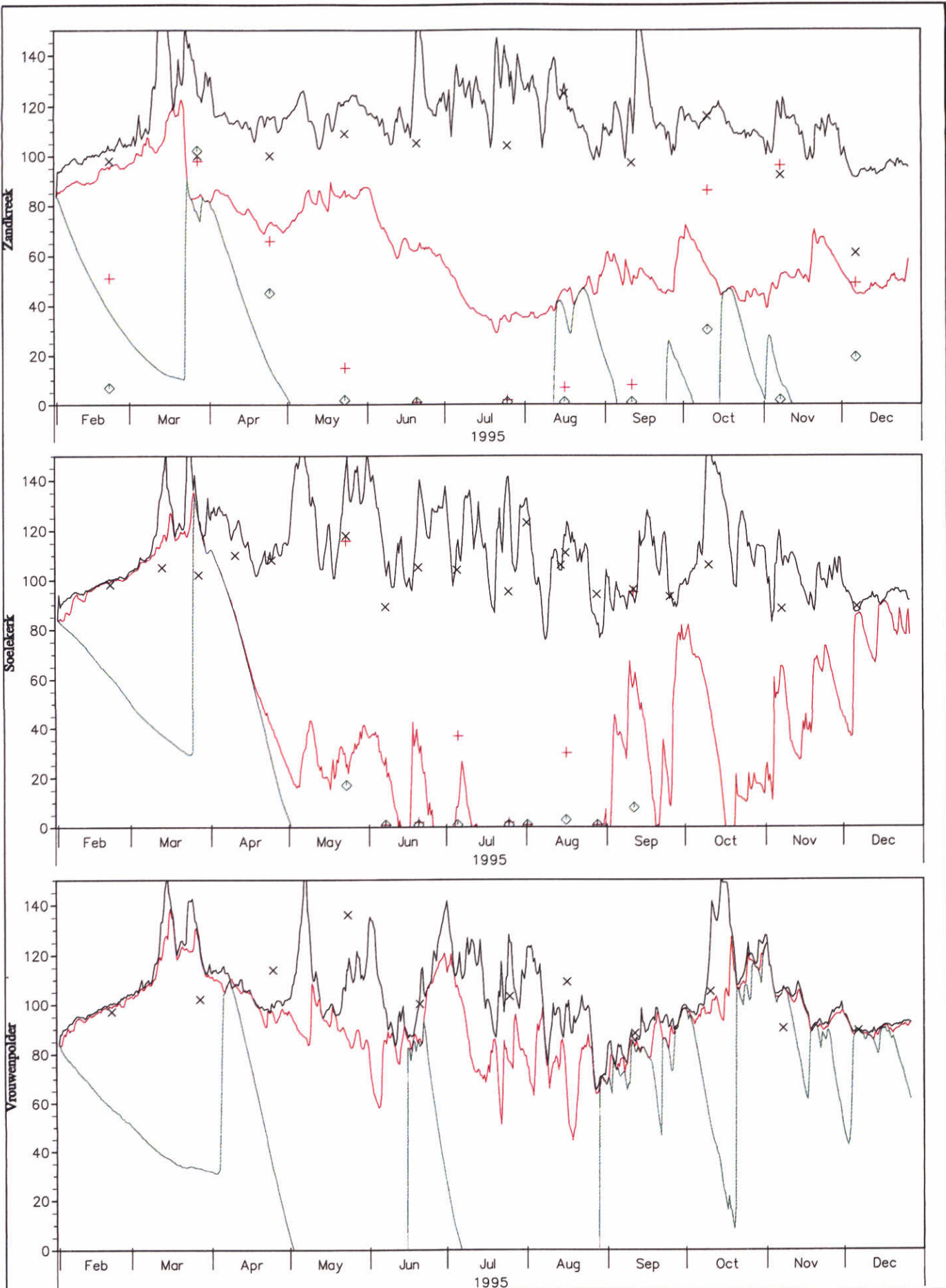
Veerse Meer



Zuurstof (mg/l) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

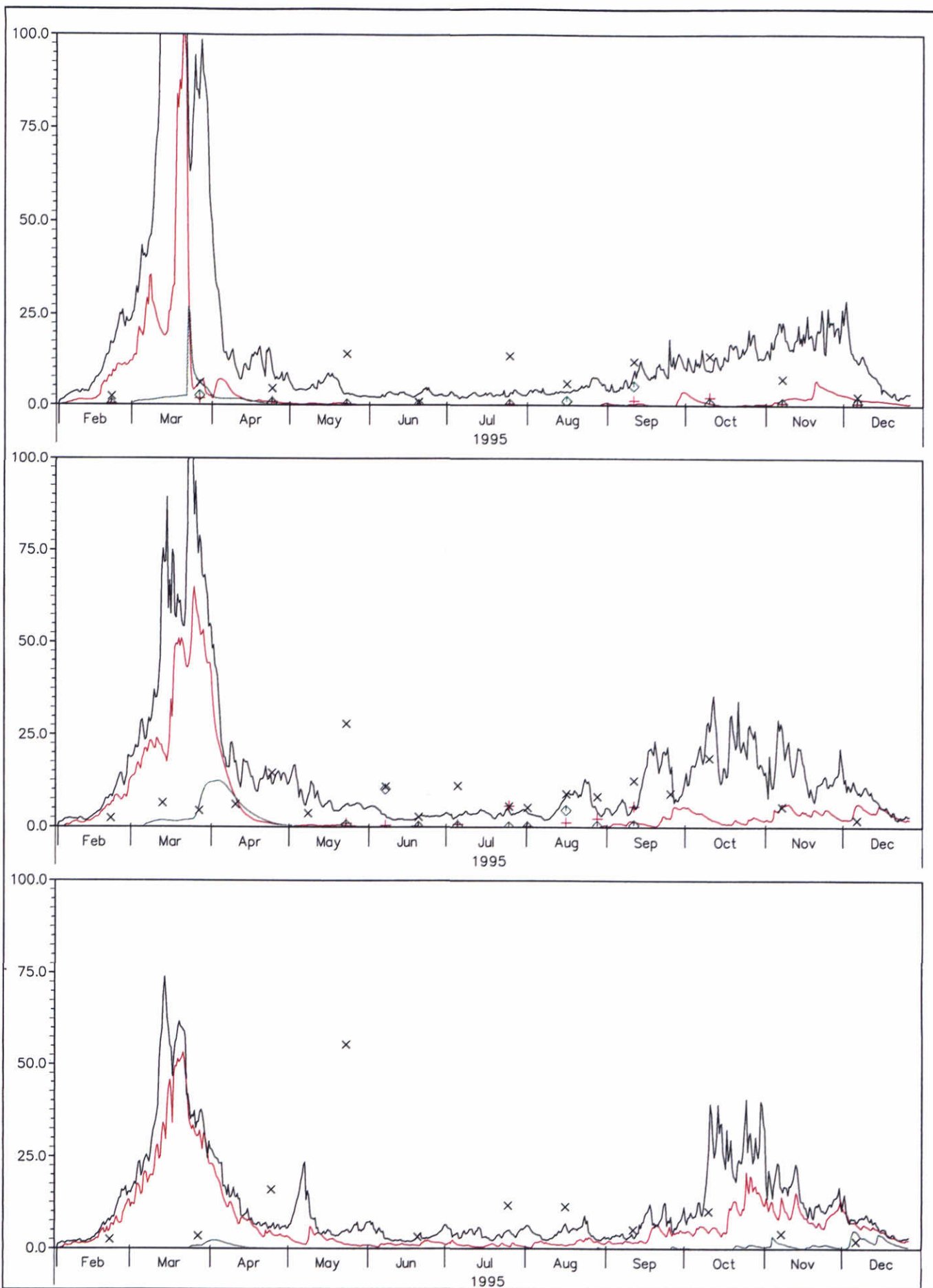
Z2921      vm09c

Veerse Meer



Verzadigingspercentage zuurstof (%) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

vm09c  
 Veerse Meer

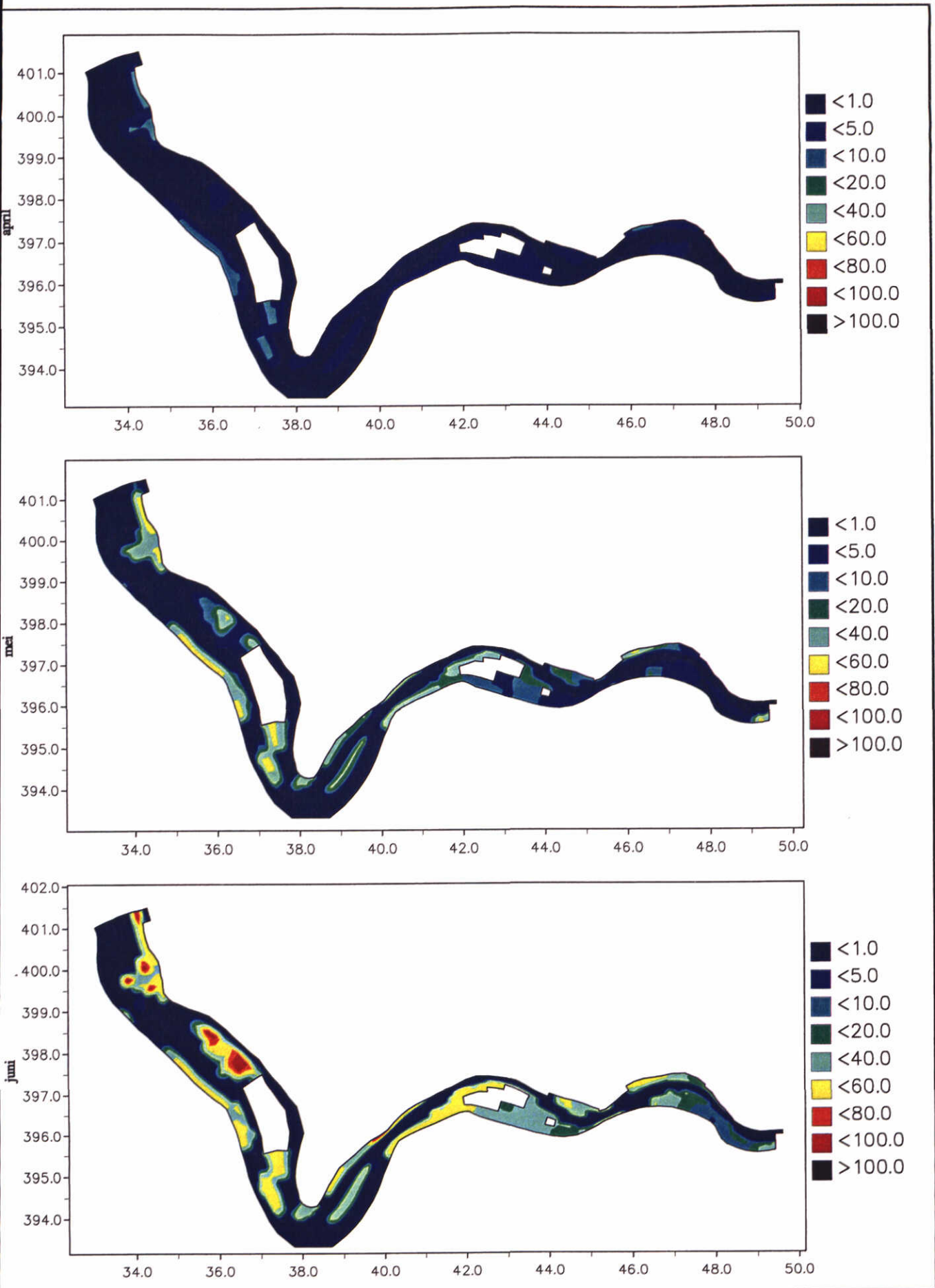


Chlorophyll-a (ug/l) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

Z2921

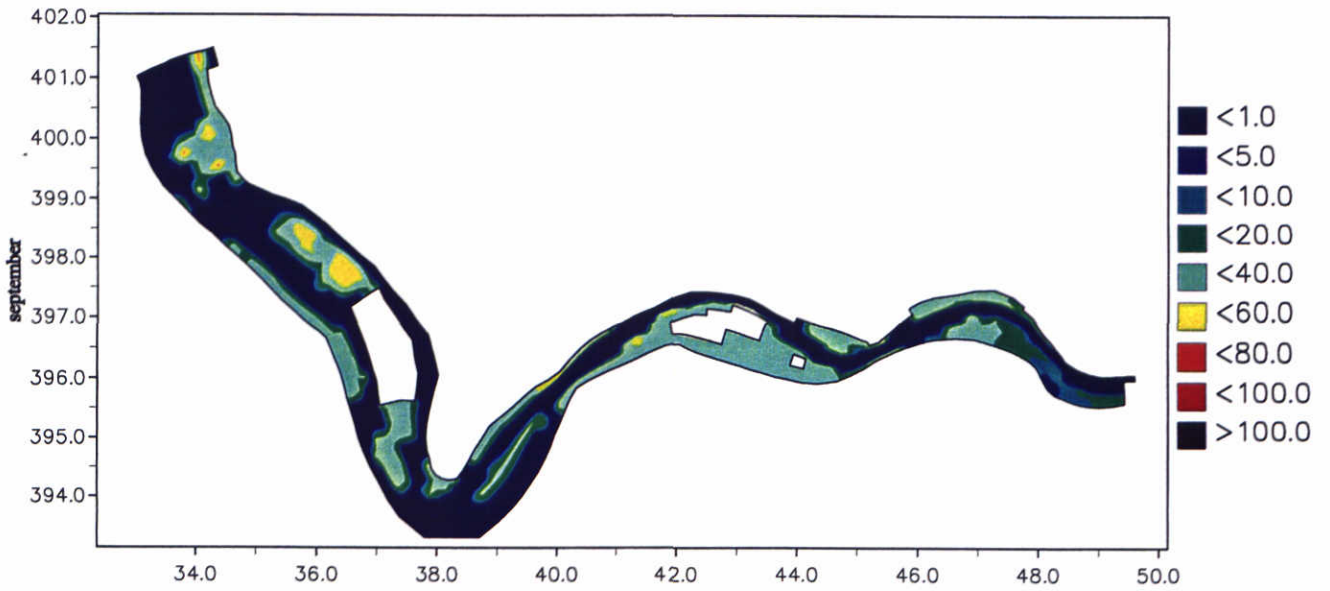
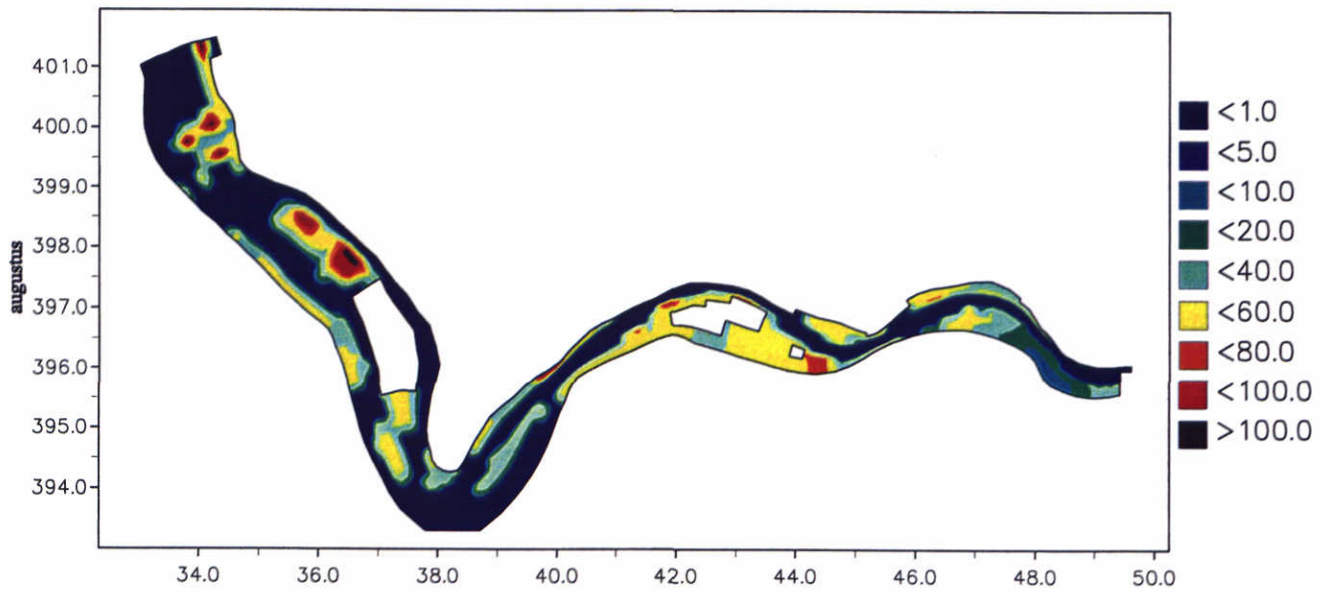
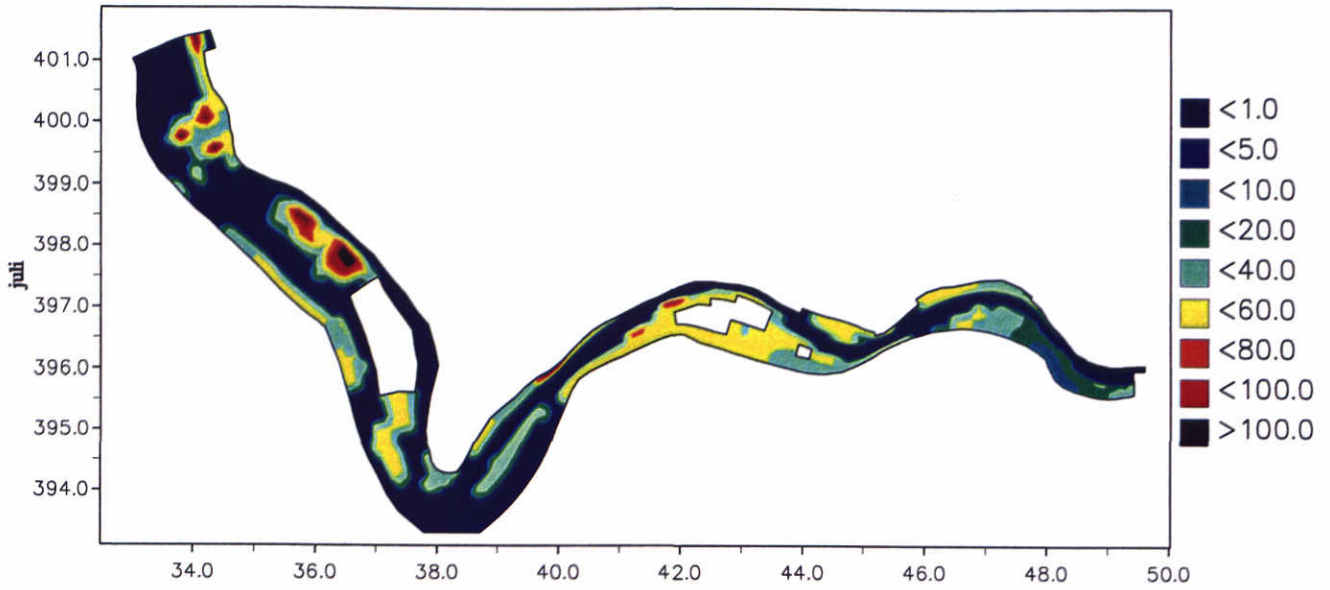
vm09c

Veerse Meer



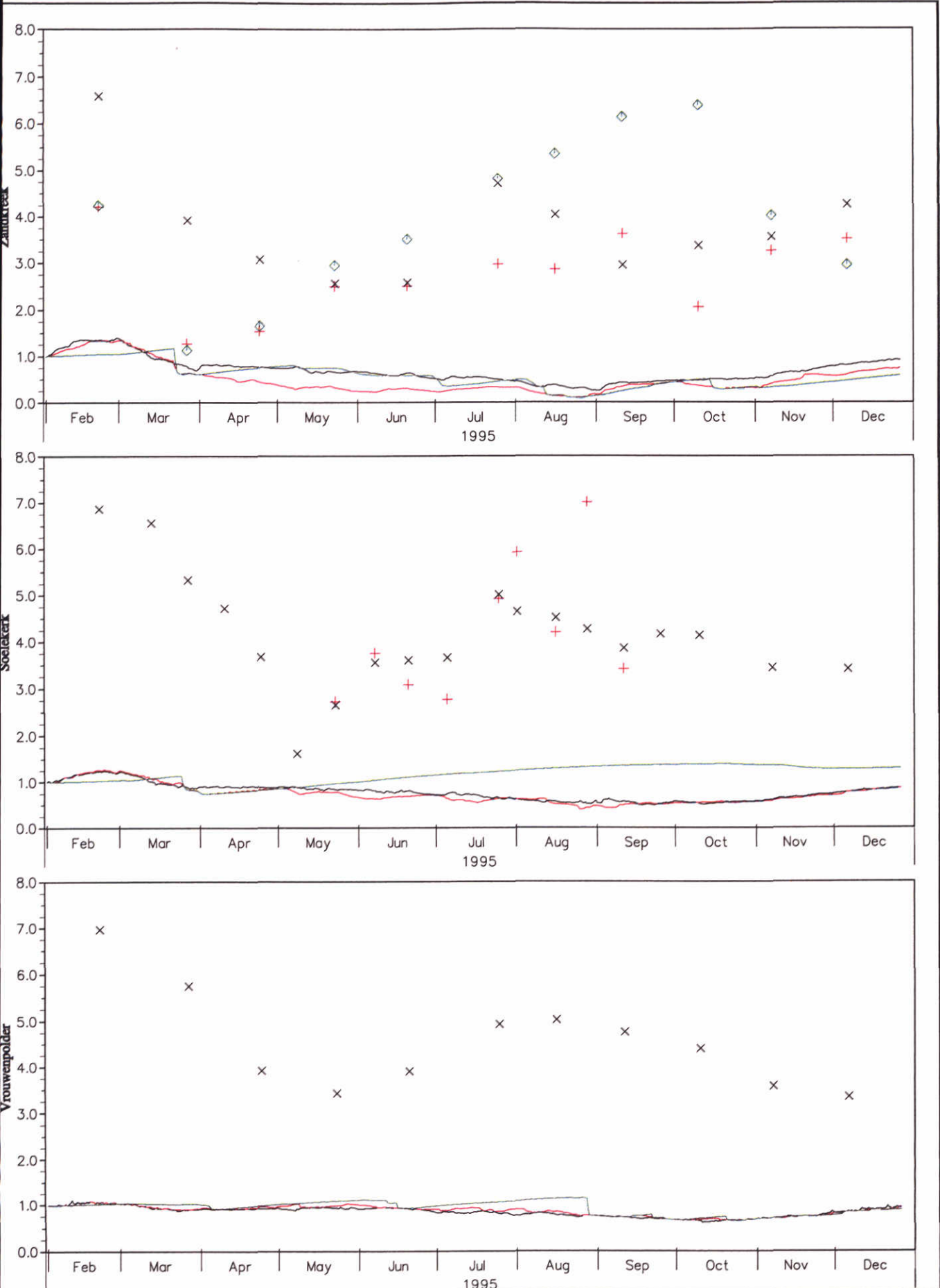
Verspreiding van Ulva (gC/m<sup>2</sup>) in het Veerse Meer  
 Boven: 17 april 1995; Midden: 17 mei 1995; Onder: 21 juni 1995

Z2921	vm09c
Veerse Meer	
Fig. 5.12	



Verspreiding van Ulva (gC/m<sup>2</sup>) in het Veerse Meer  
 Boven: 21 juli 1995; Midden: 20 augustus 1995; Onder: 19 september 1995

Z2921	vm09c
Veerse meer	
Fig. 5.13	

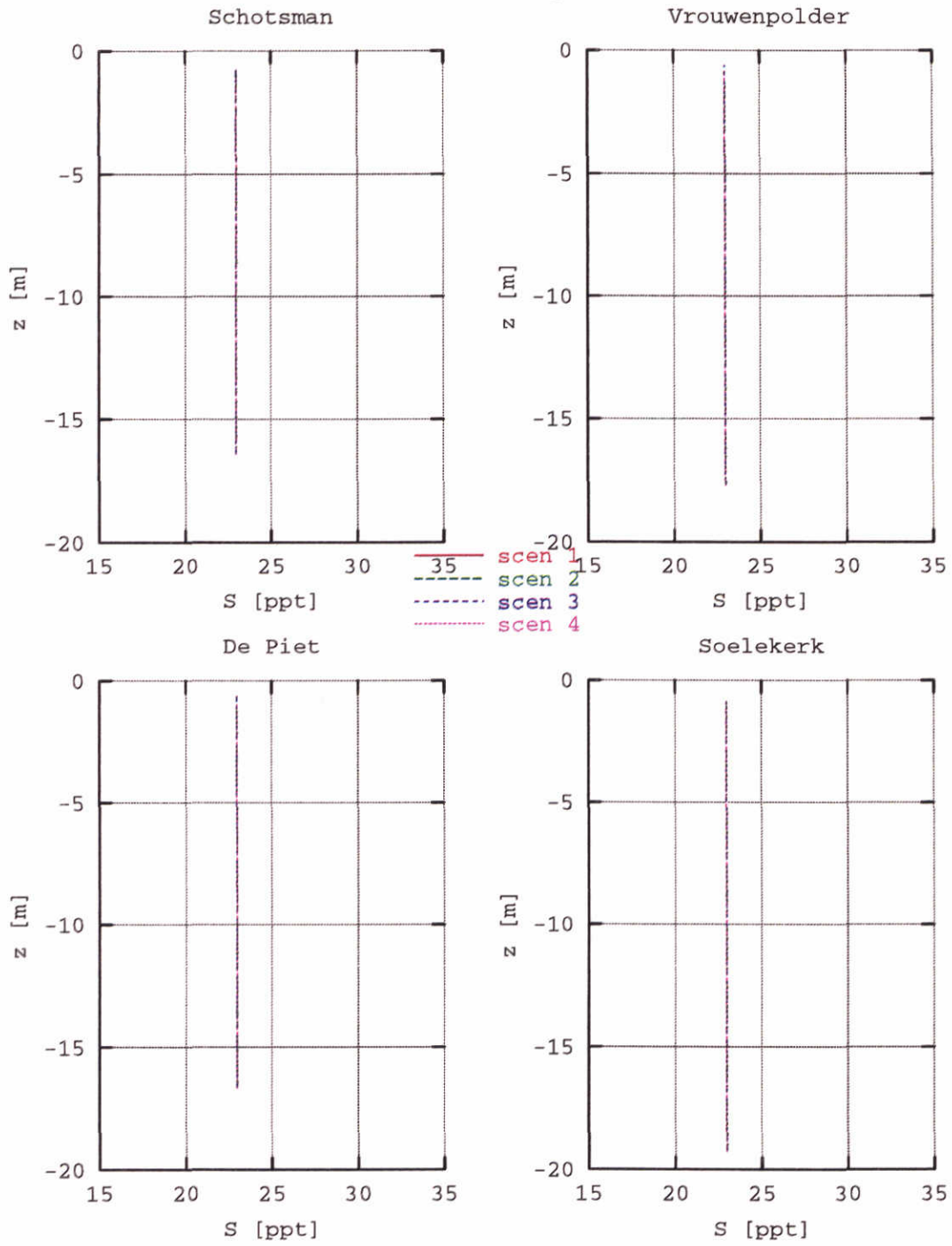


Silicium (mg Si/l) – locaties Zandkreek, Soelekerk en Vrouwenpolder  
 vergelijking modelresultaat (lijnen) en metingen (symbolen)  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; groen: nabij bodem

Z2921      vm09c

Veerse Meer

Saliniteit op 30-01-95



Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 30 januari 1995  
 vergelijking scenario's

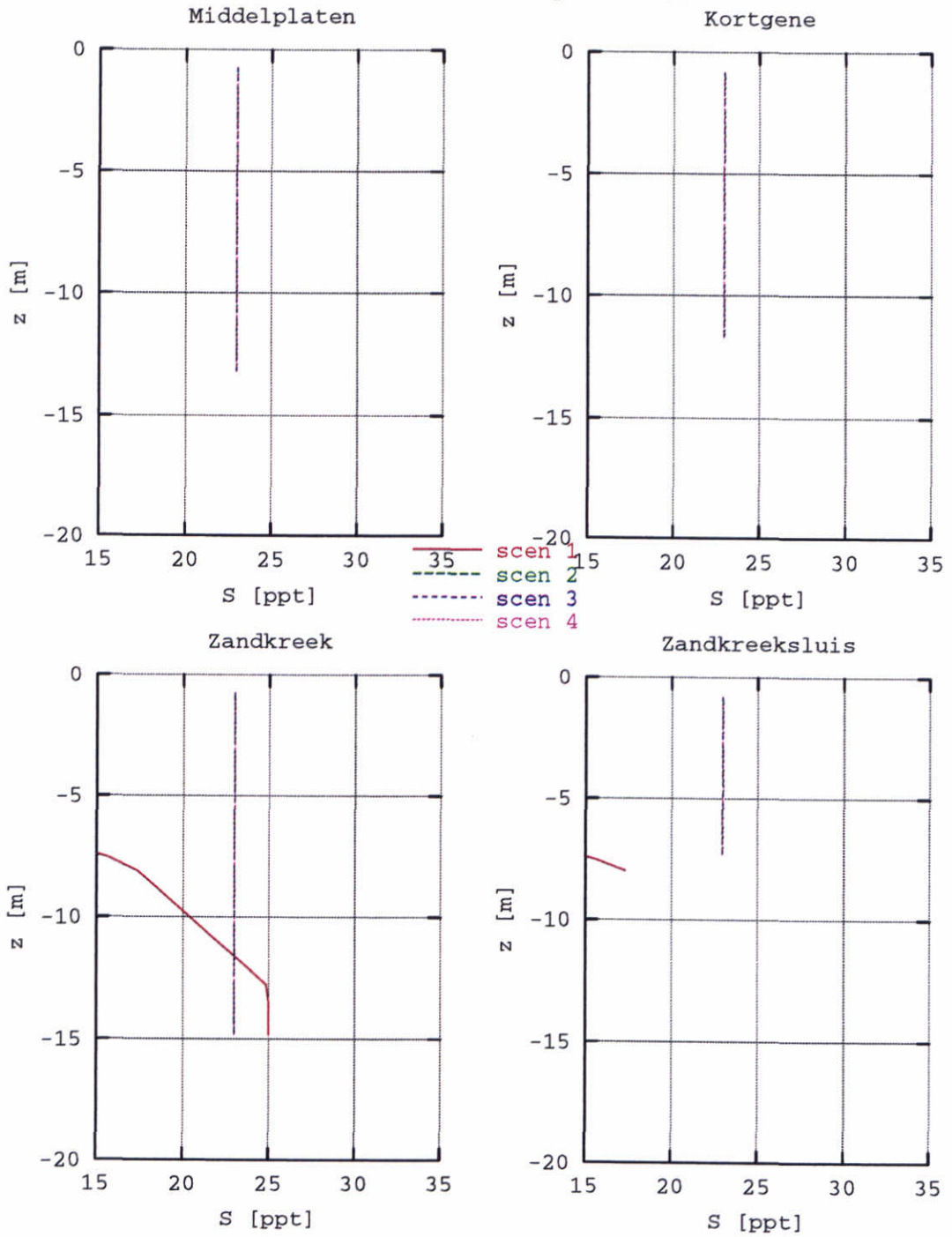
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.1a



Saliniteit op 30-01-95



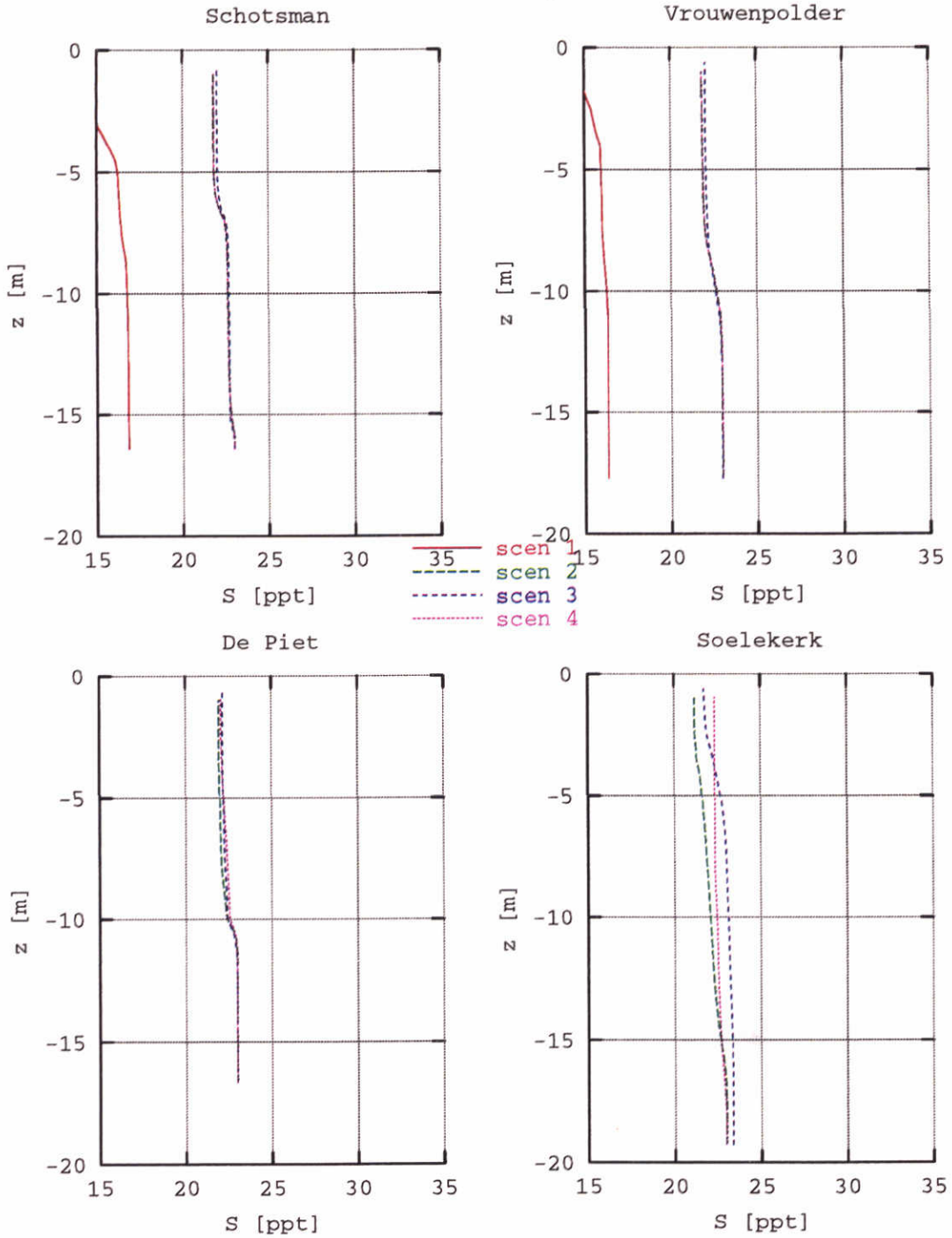
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
Saliniteitsprofielen 30 januari 1995  
vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.1b

Saliniteit op 11-02-95



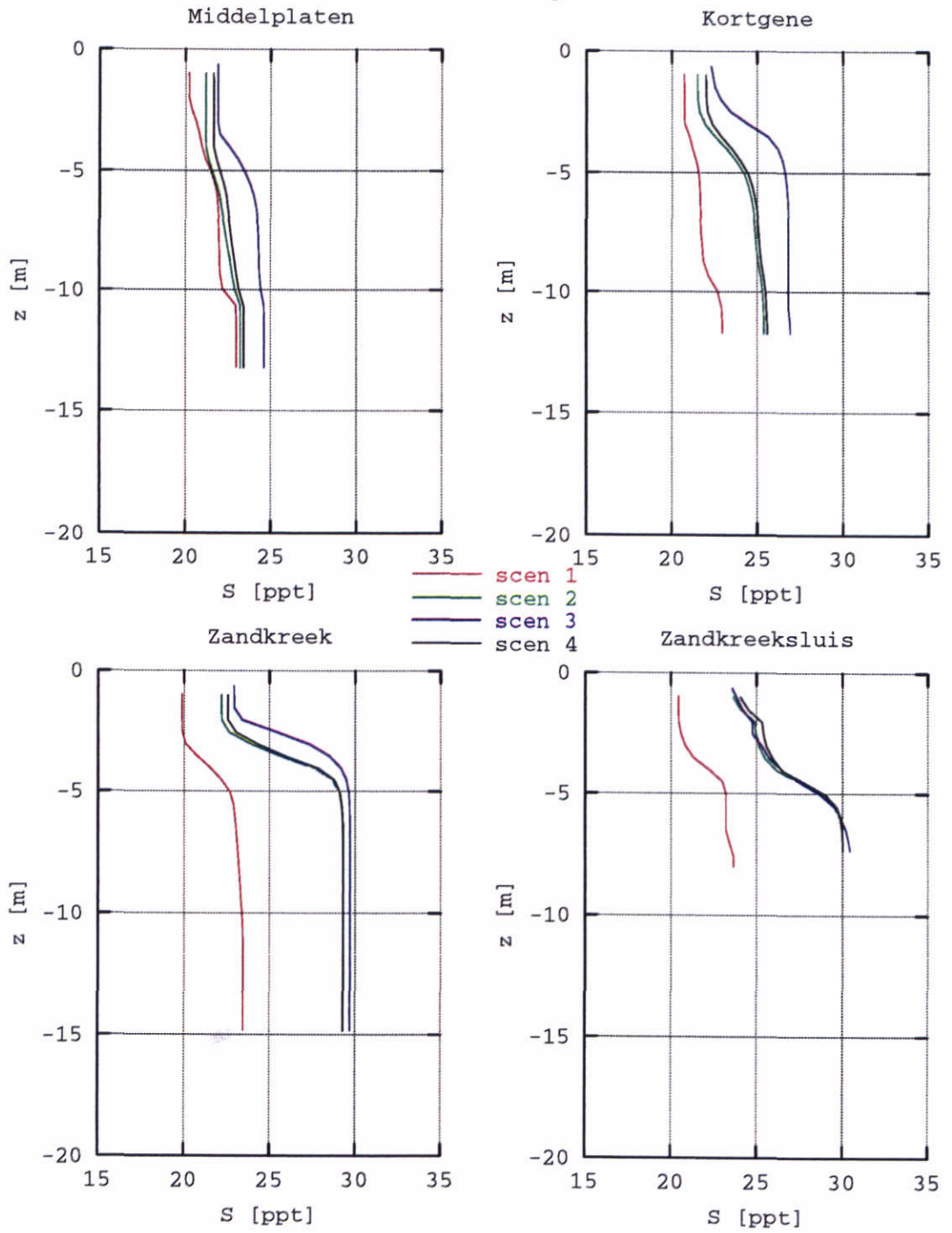
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 11 februari 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.2a

Saliniteit op 11-02-95



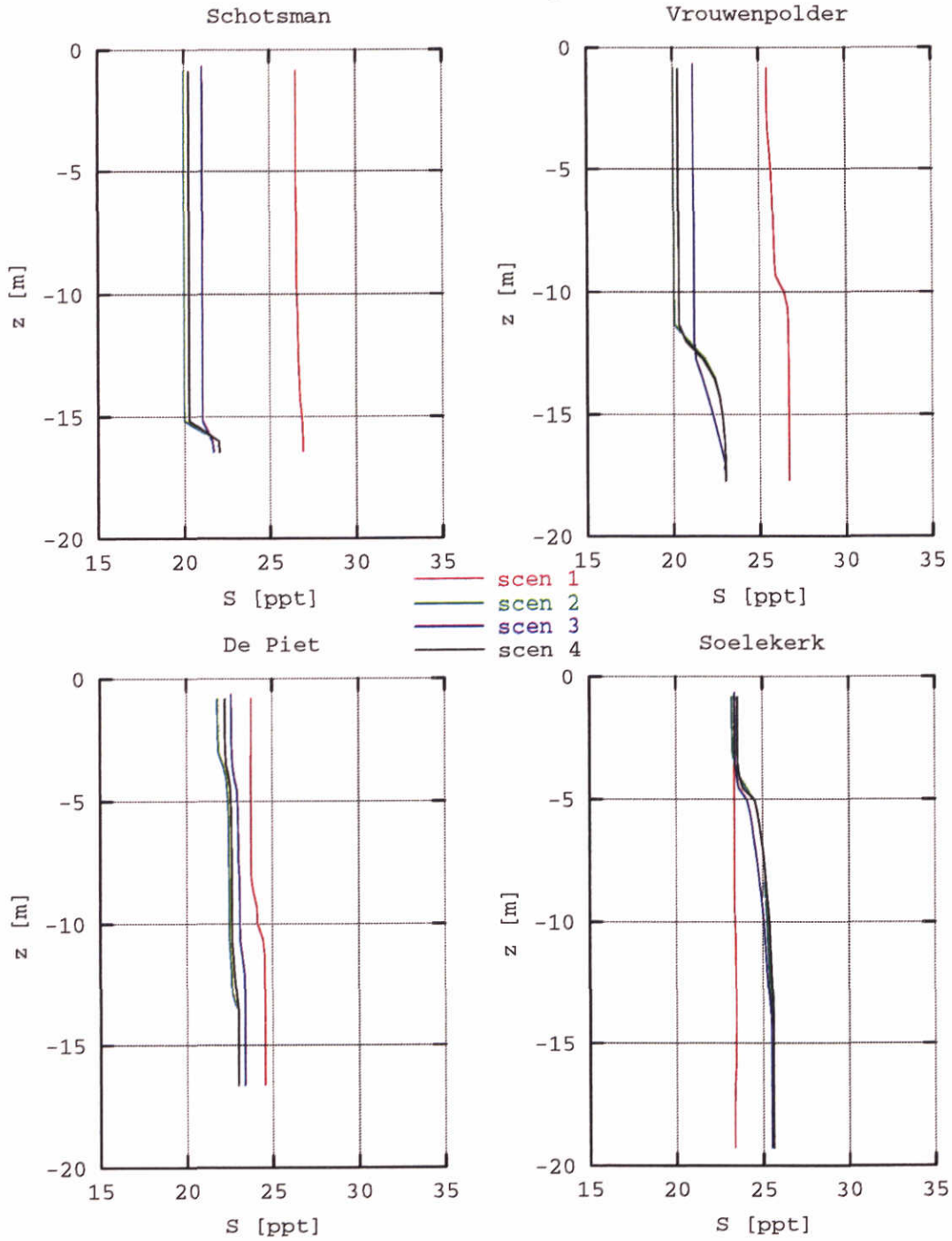
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
Saliniteitsprofielen 11 februari 1995  
vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.2b

Saliniteit op 27-03-95



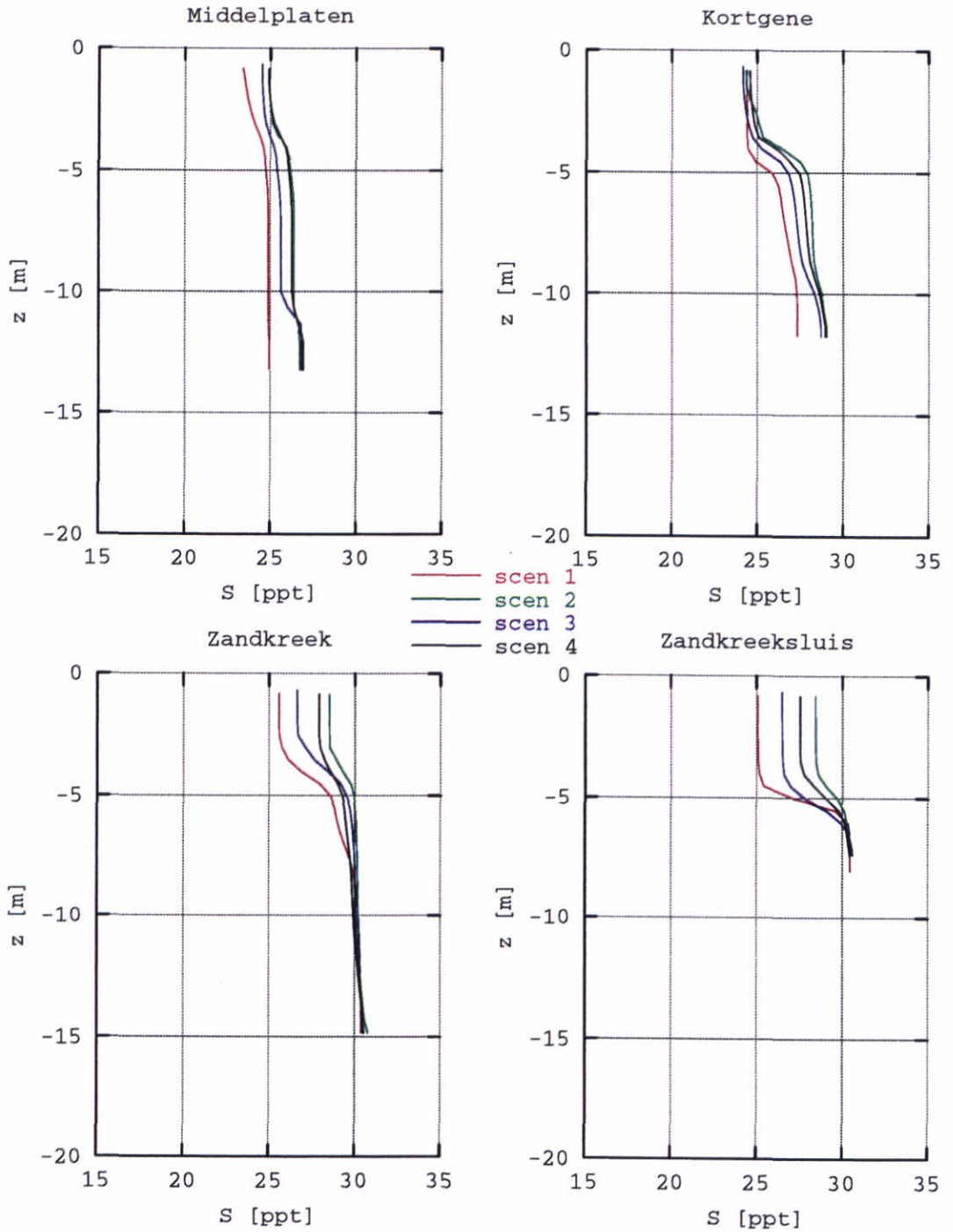
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 27 maart 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.3a

Saliniteit op 27-03-95



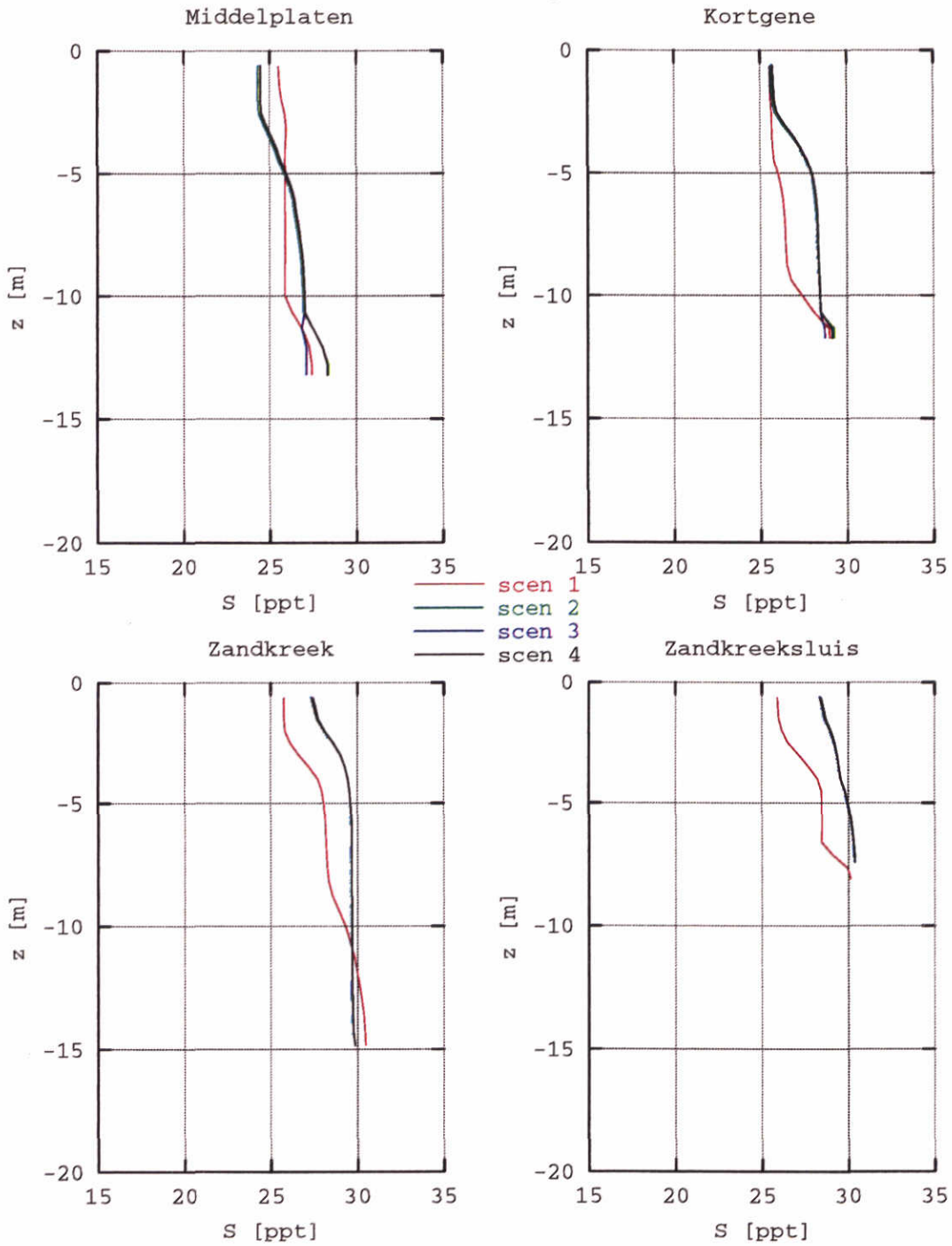
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 27 maart 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.3b

Saliniteit op 23-05-95



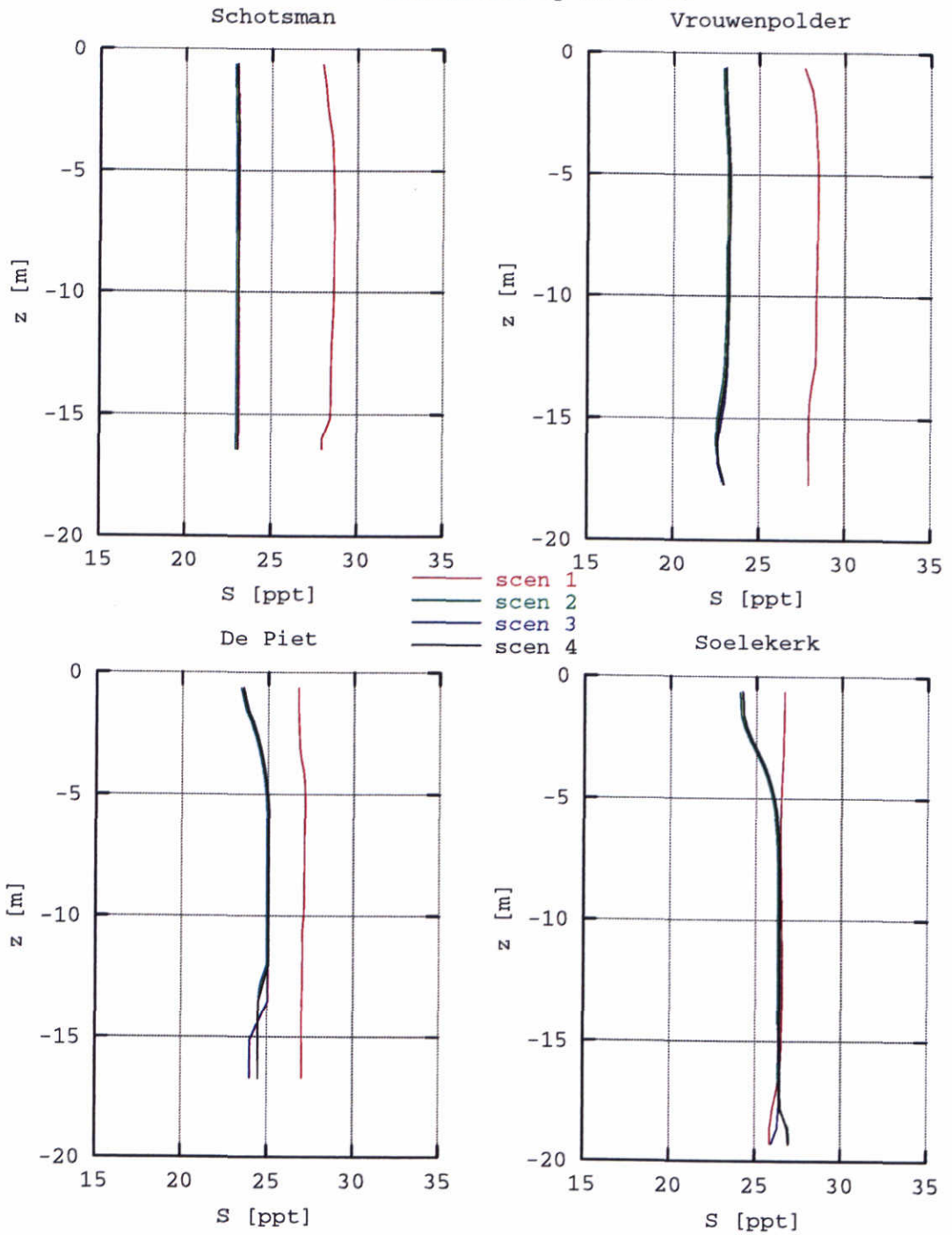
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 23 mei 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.4b

Saliniteit op 20-06-95



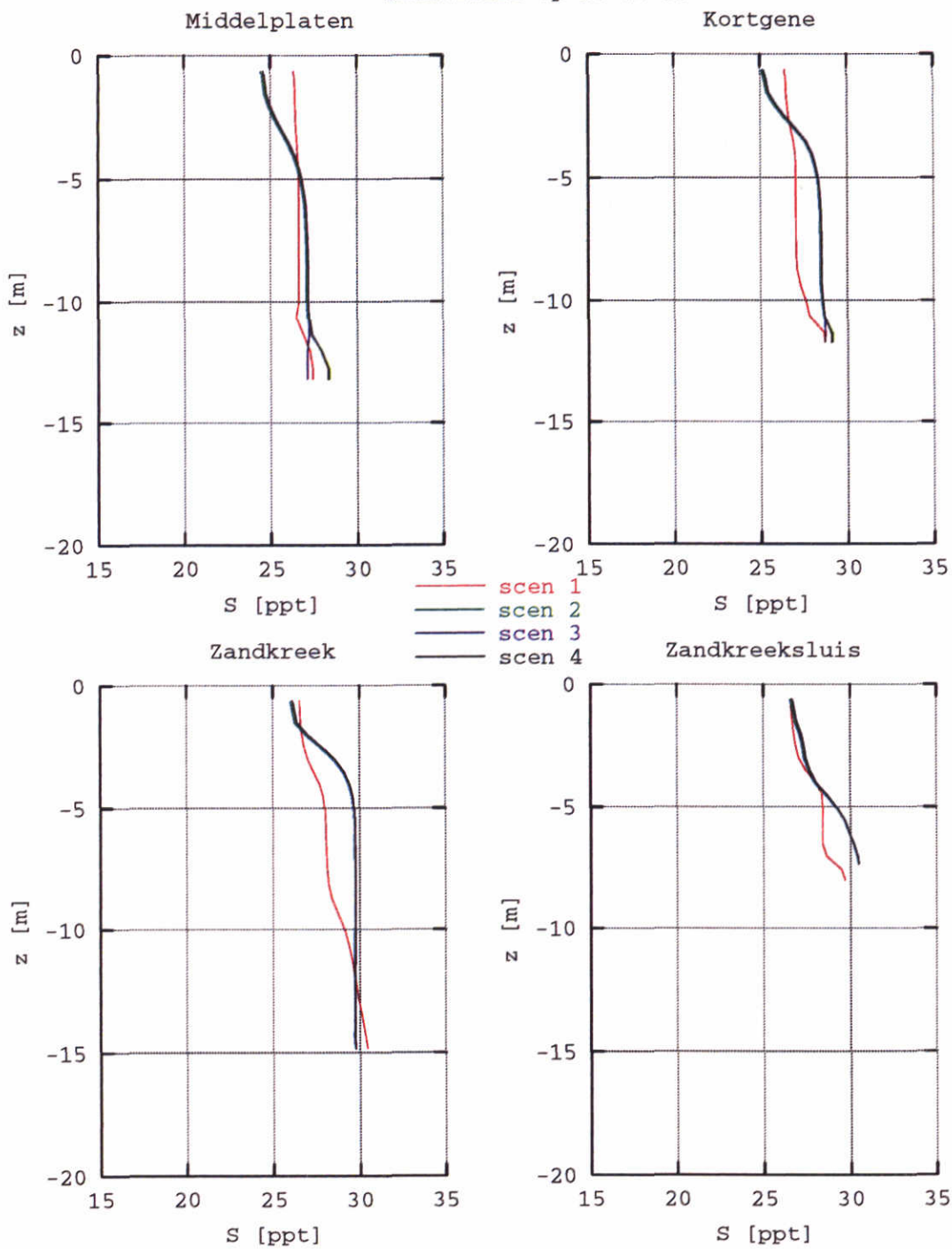
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 20 juni 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.5a

Saliniteit op 20-06-95



Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 20 juni 1995  
 vergelijking scenario's

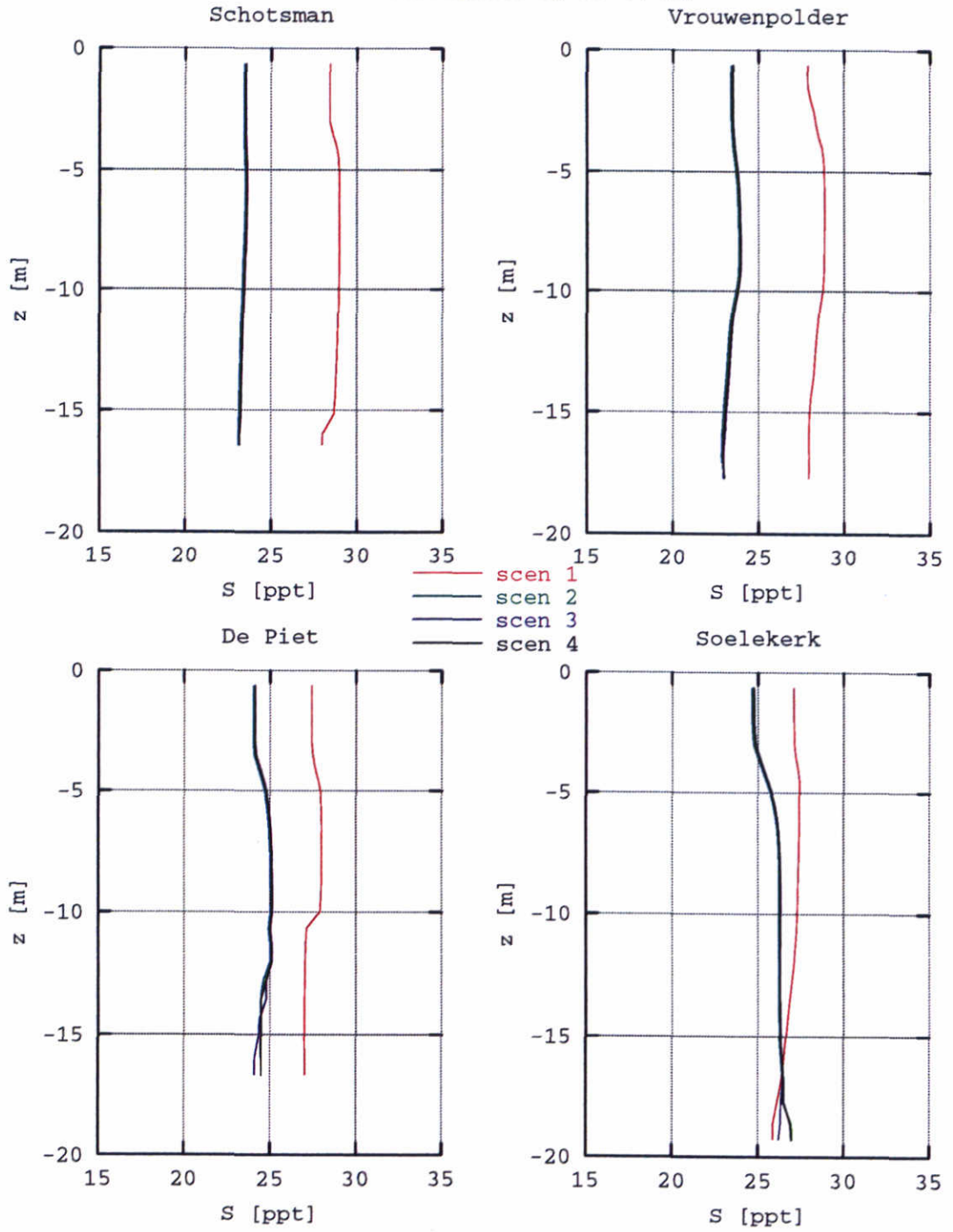
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.5b



Saliniteit op 25-07-95



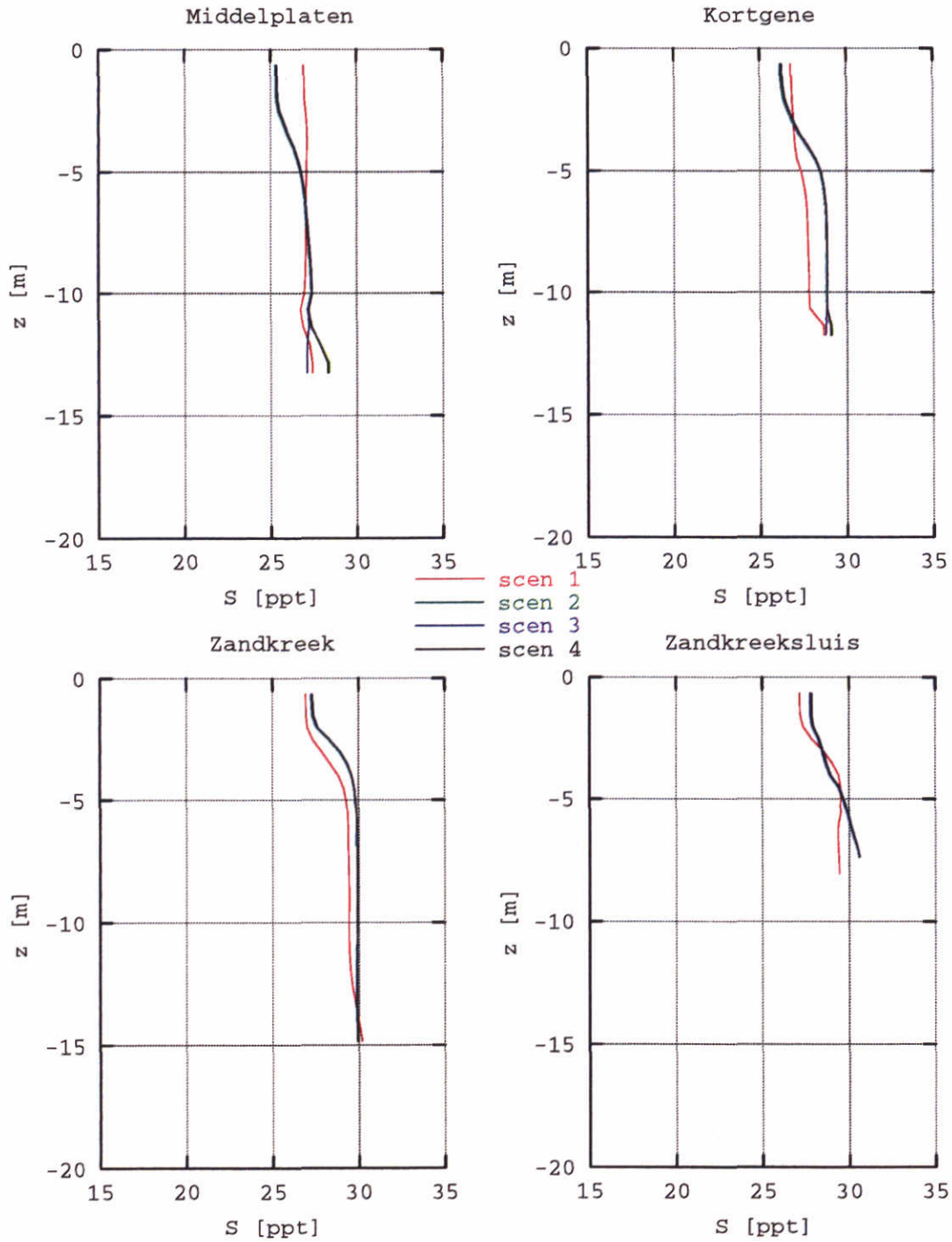
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 25 juli 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.6a

Saliniteit op 25-07-95



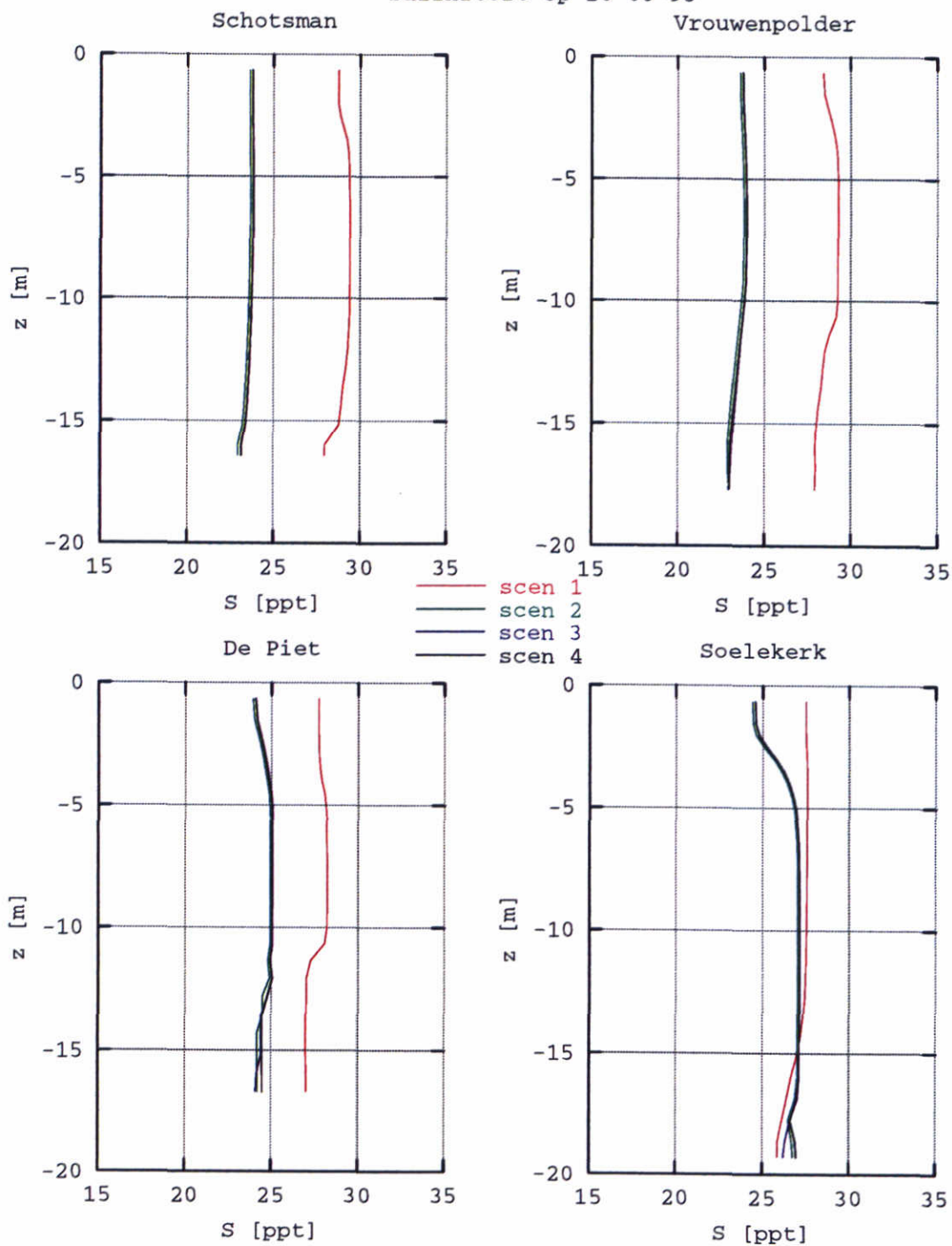
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 25 juli 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.6b

Saliniteit op 16-08-95



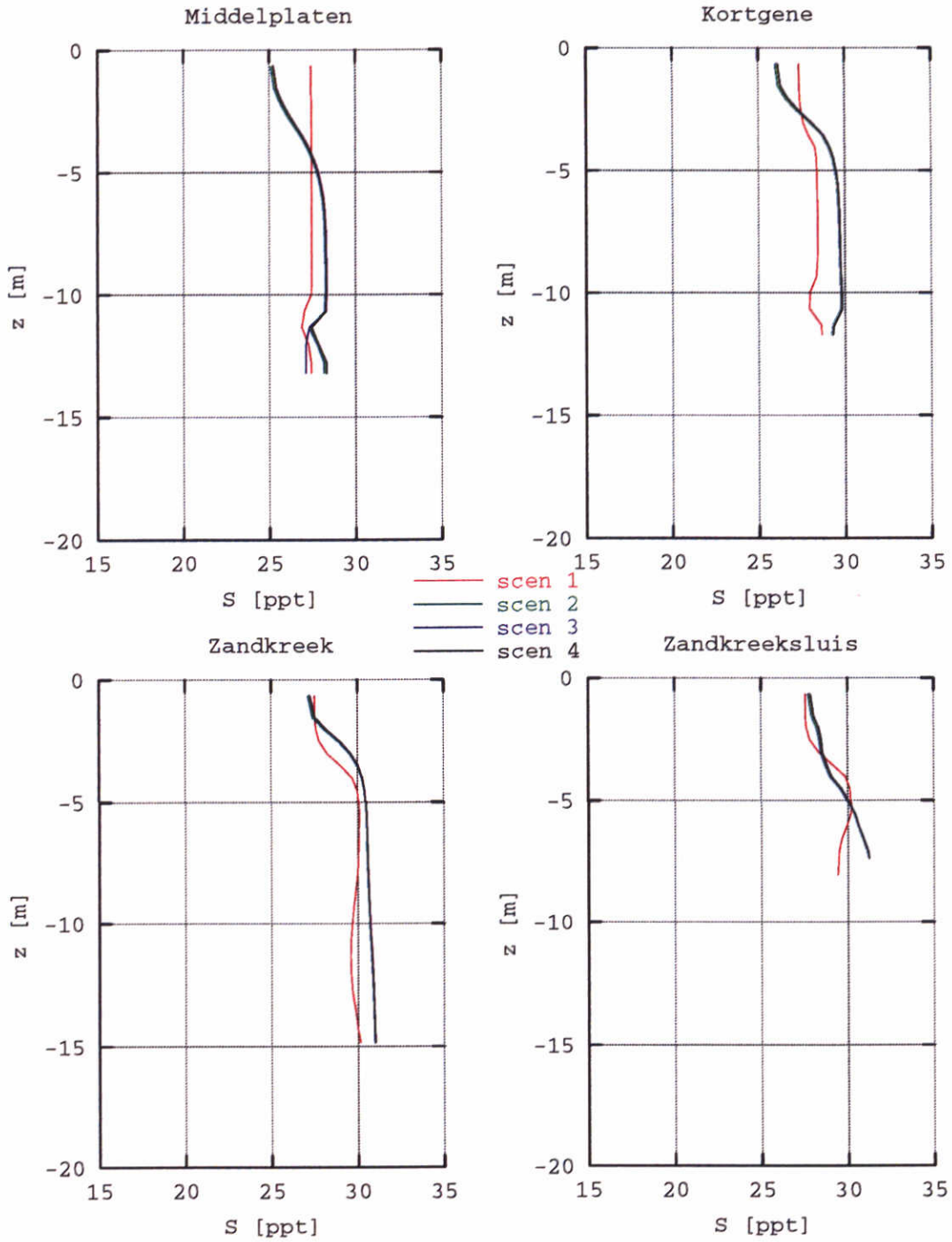
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
Saliniteitsprofielen 16 augustus 1995  
vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.7a

Saliniteit op 16-08-95



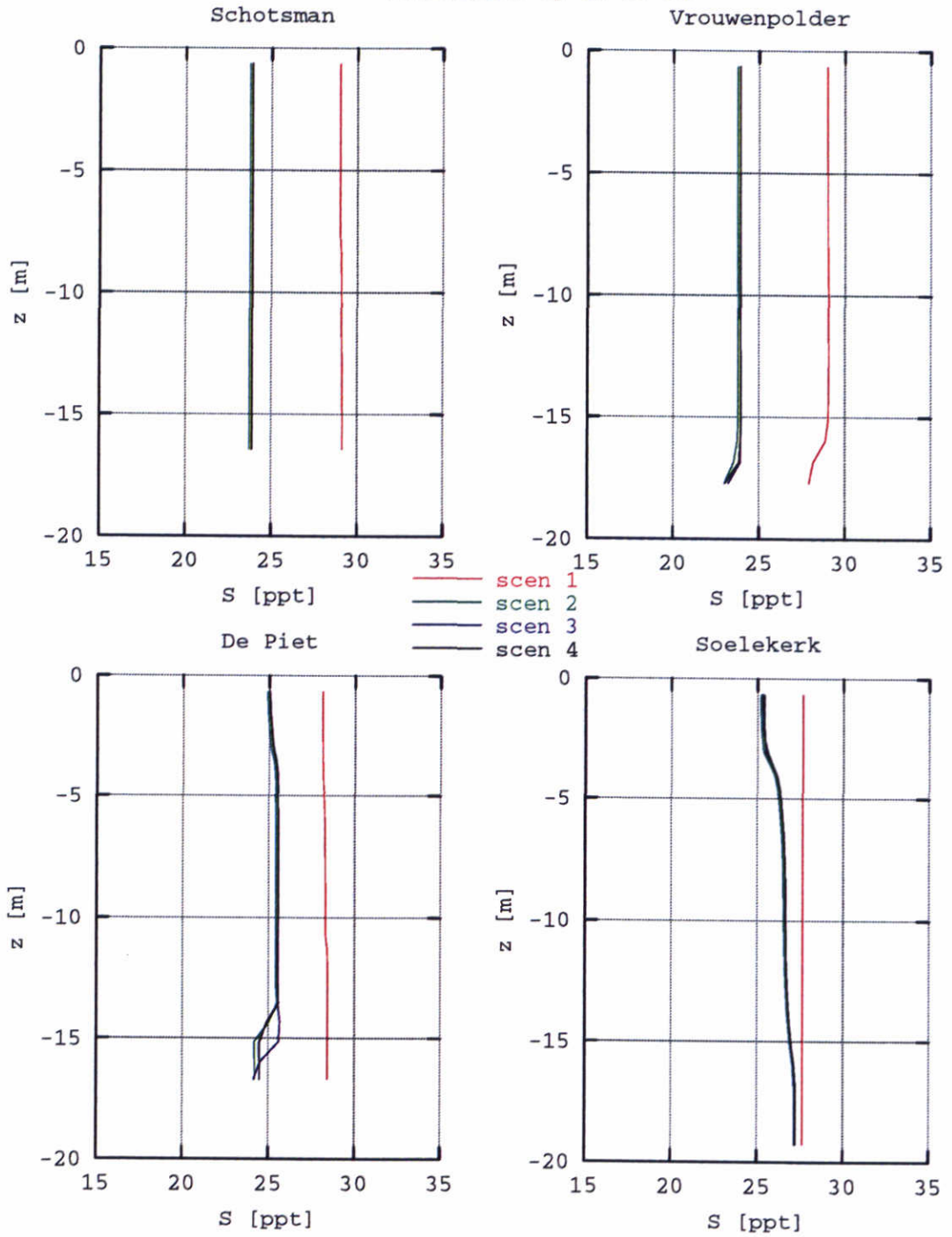
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 16 augustus 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.7b

Saliniteit op 11-09-95



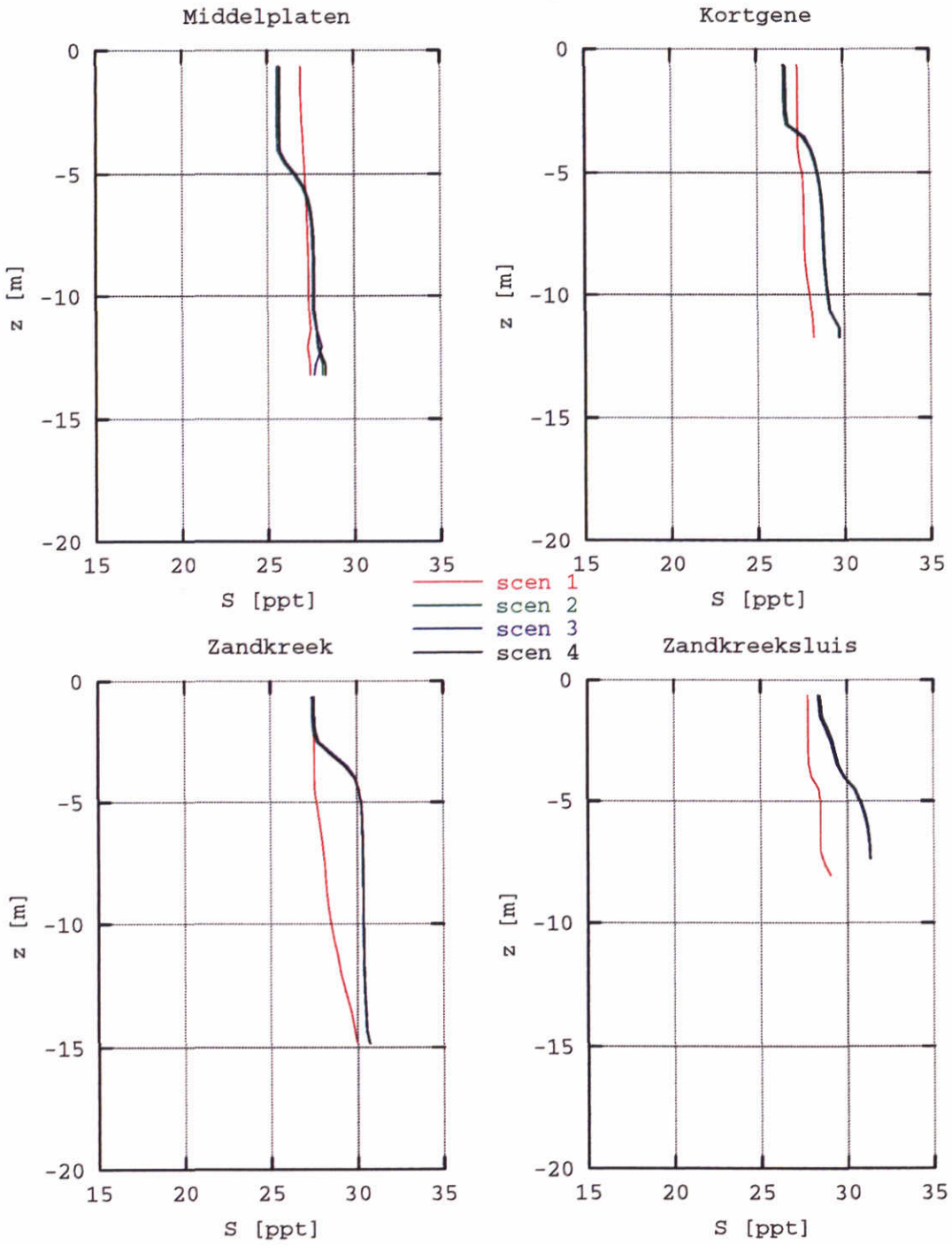
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
Saliniteitsprofielen 11 september 1995  
vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.8a

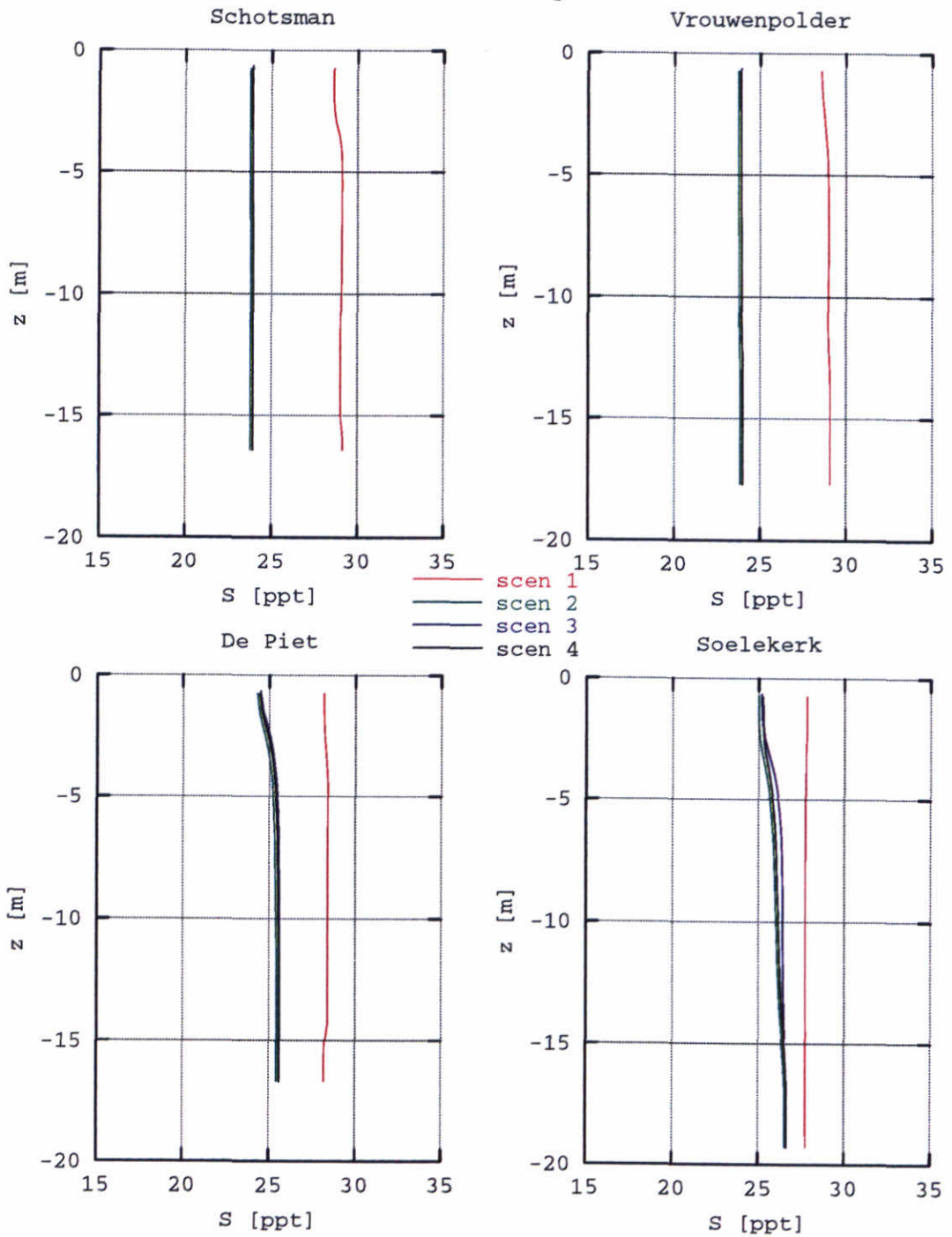
Saliniteit op 11-09-95



Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 11 september 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

Saliniteit op 10-10-95



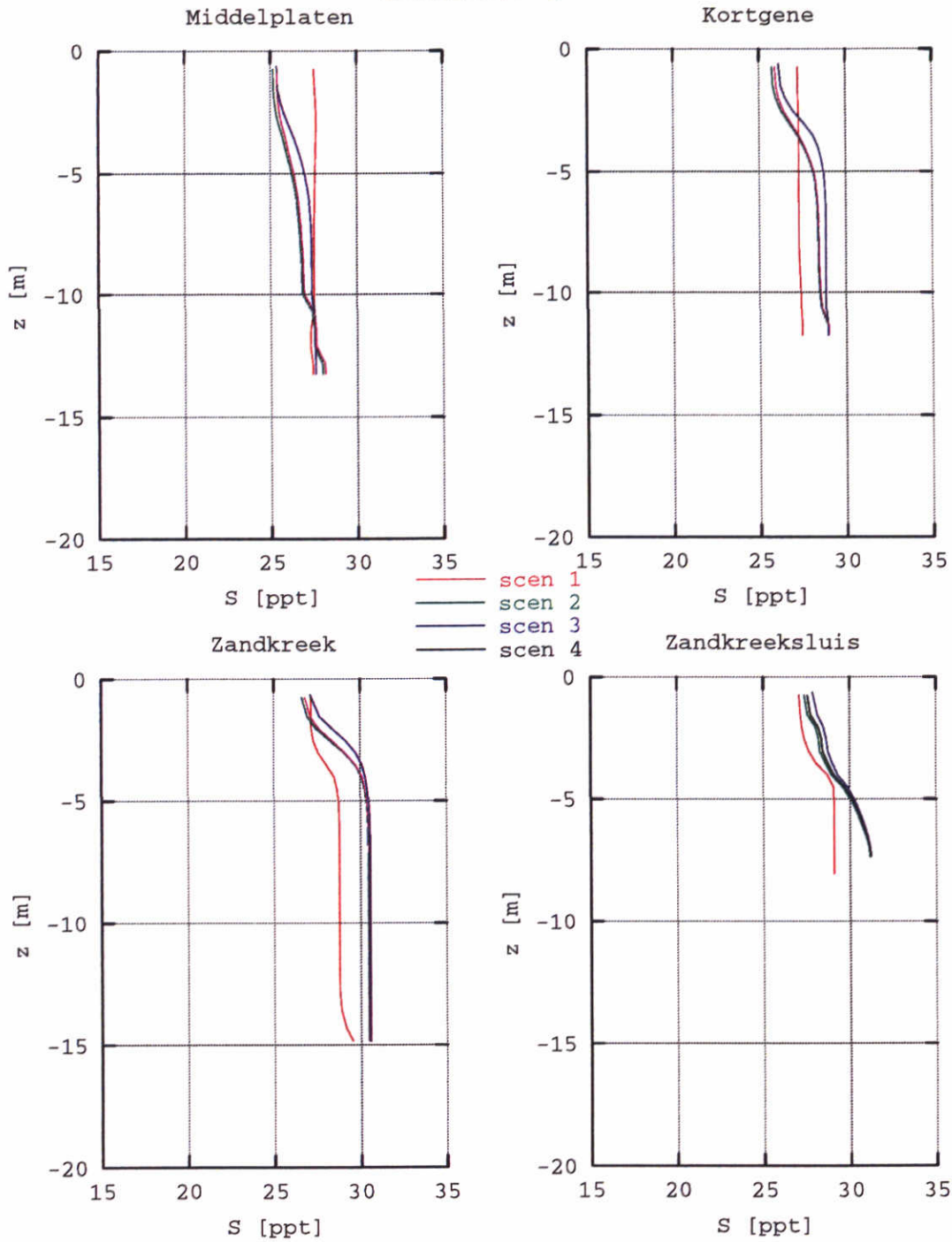
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 10 oktober 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.9a

Saliniteit op 10-10-95



Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 10 oktober 1995  
 vergelijking scenario's

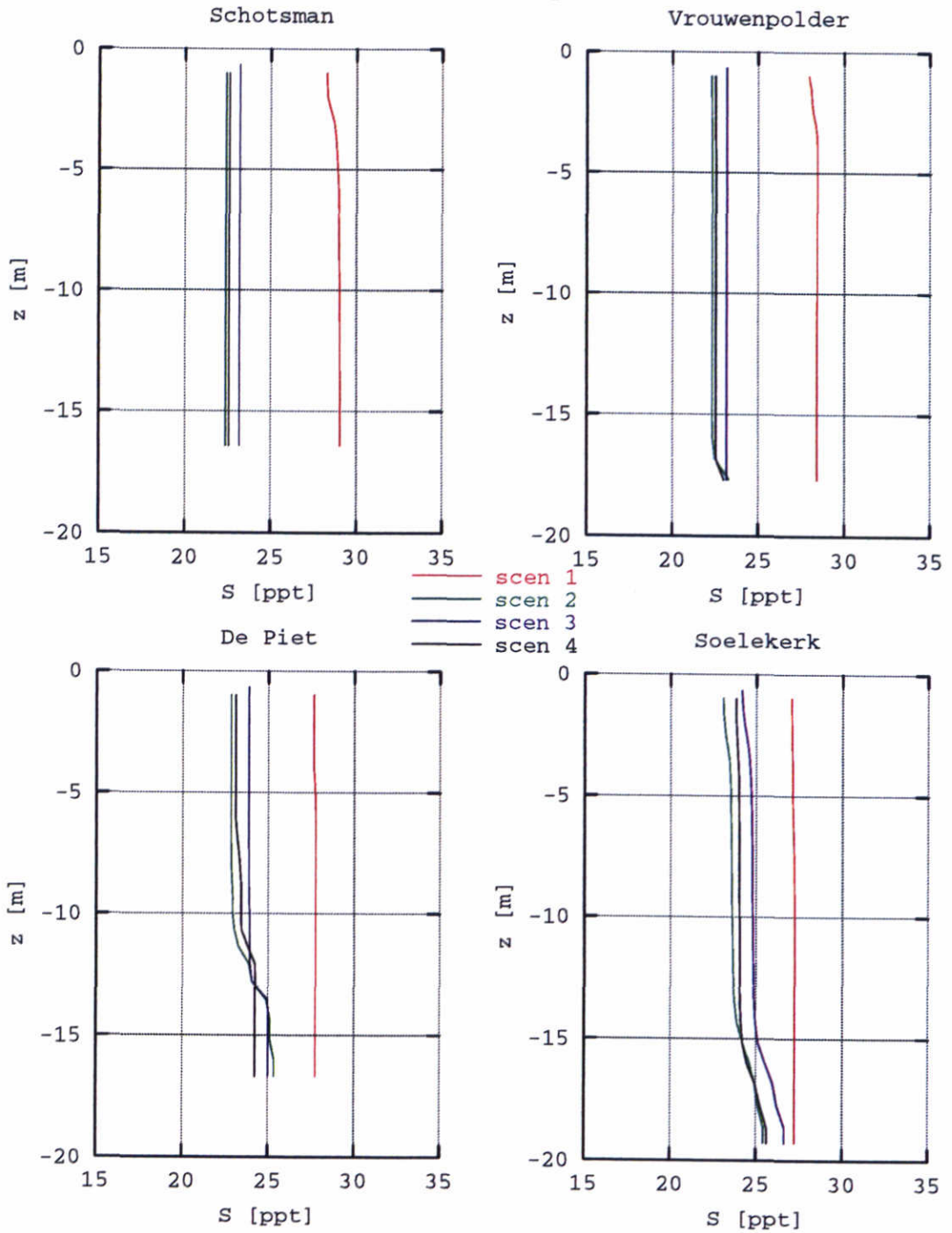
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.9b



Saliniteit op 07-12-95



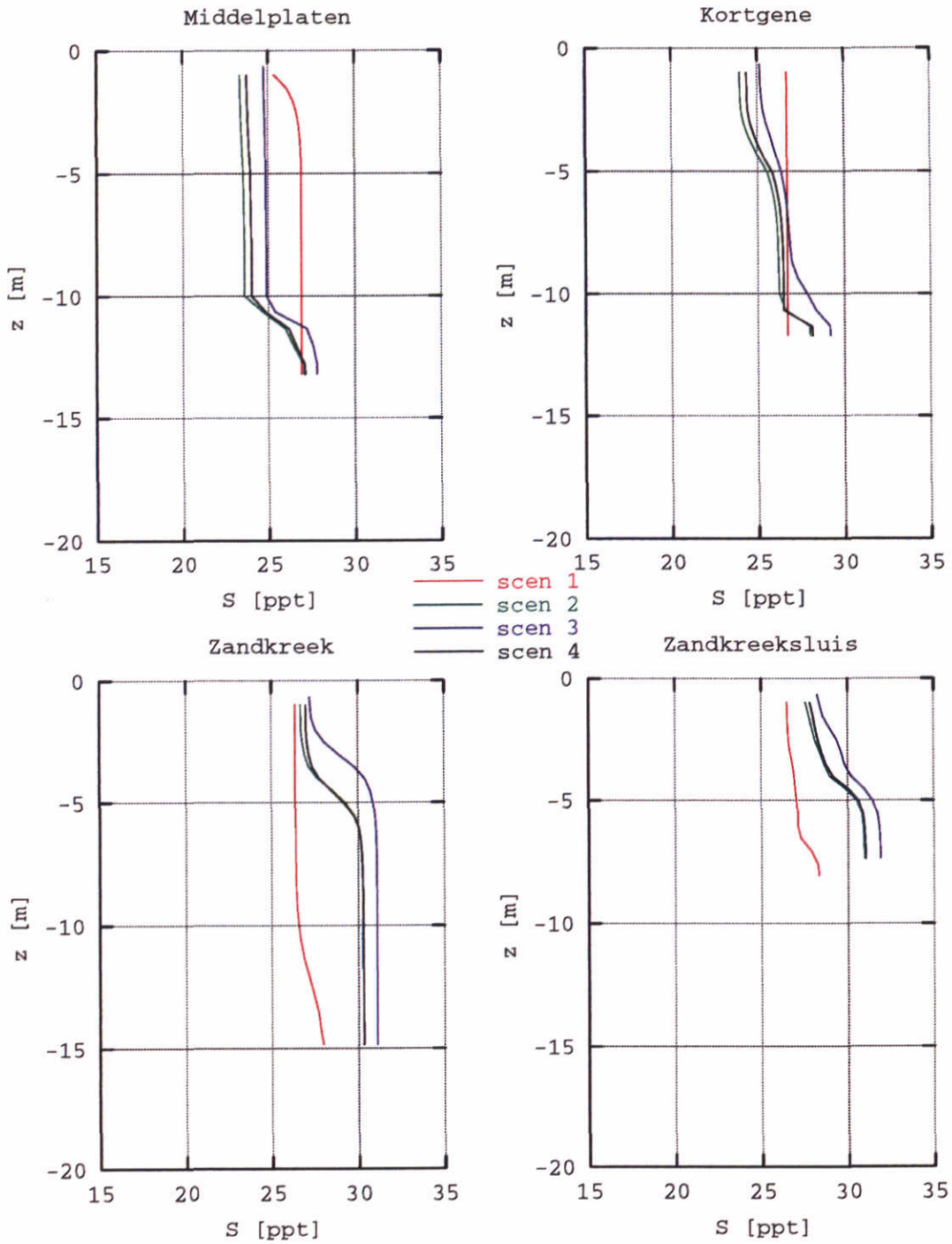
Scenario-berekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 7 december 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.10a

Saliniteit op 07-12-95



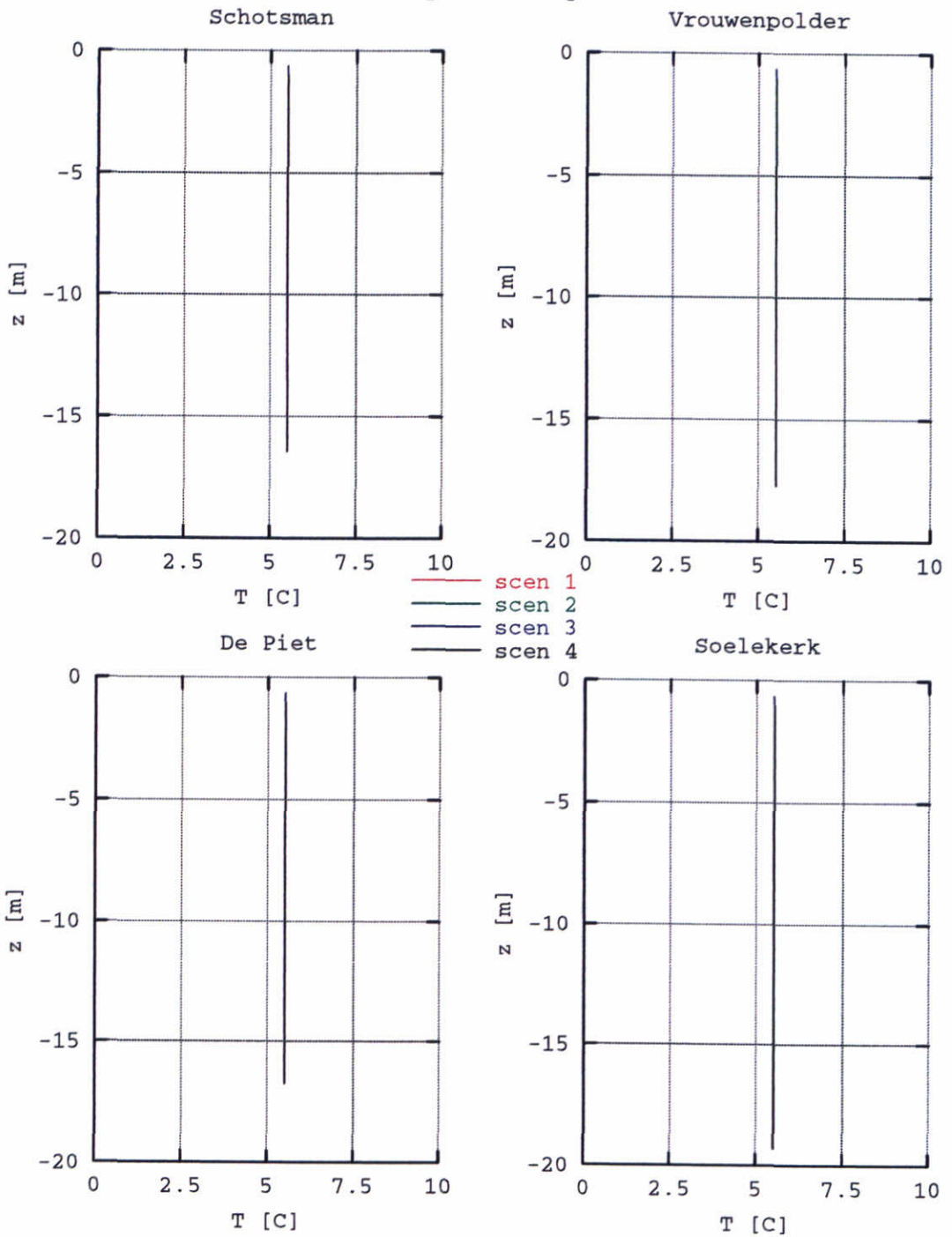
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Saliniteitsprofielen 7 december 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.10b

Temperatuur op 30-01-95



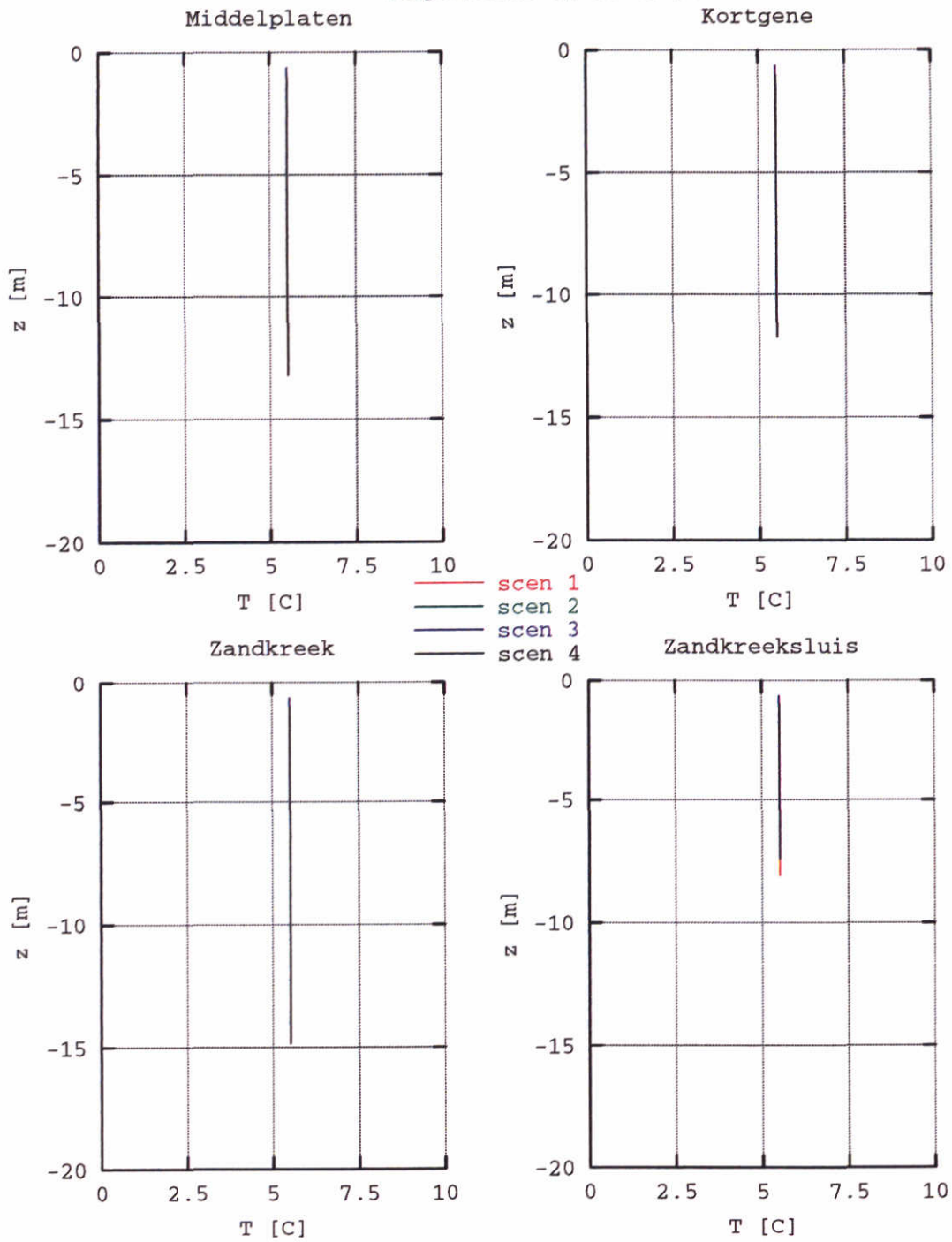
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 30 januari 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.11a

Temperatuur op 30-01-95



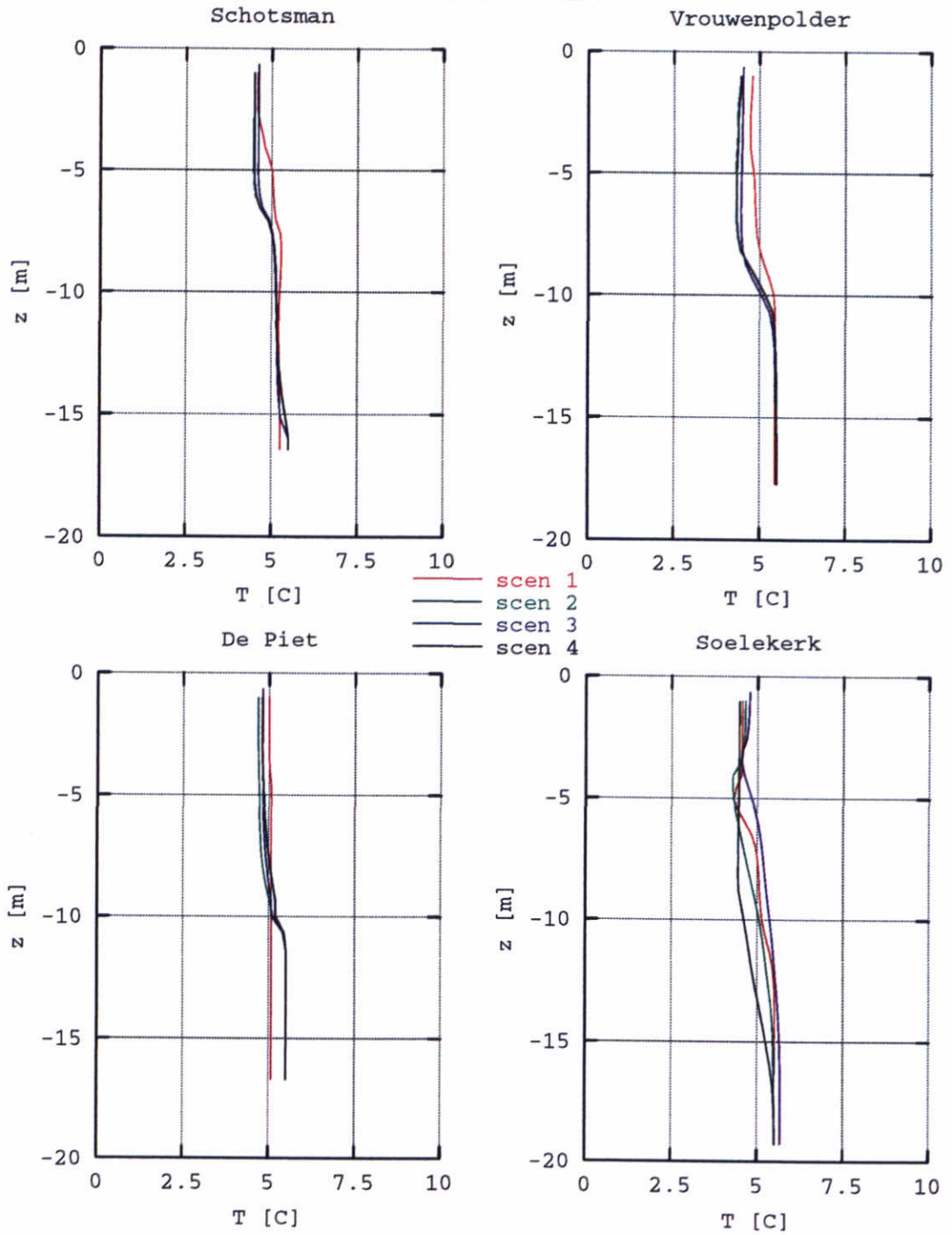
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 30 januari 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.11b

Temperatuur op 11-02-95



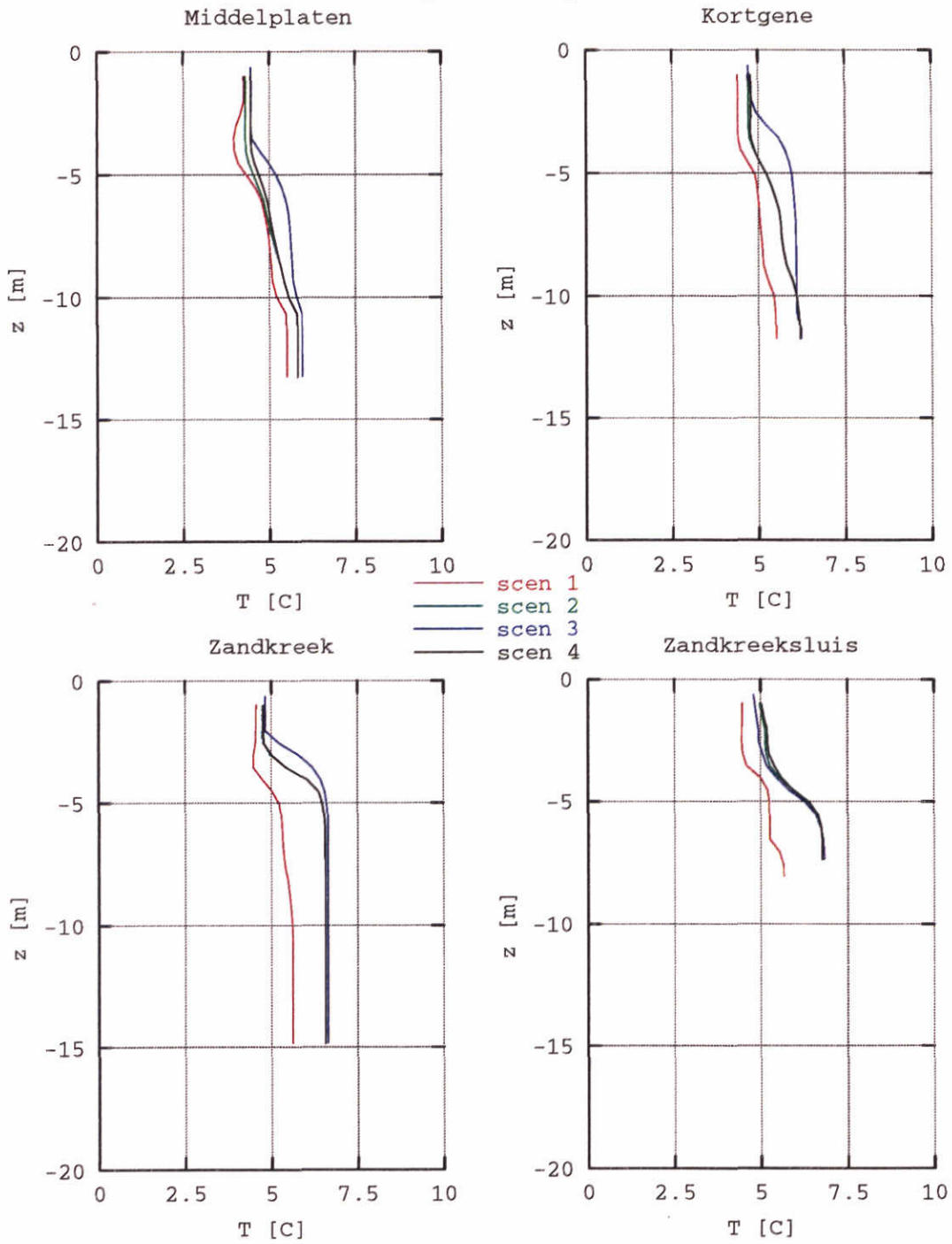
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 11 februari 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.12a

Temperatuur op 11-02-95



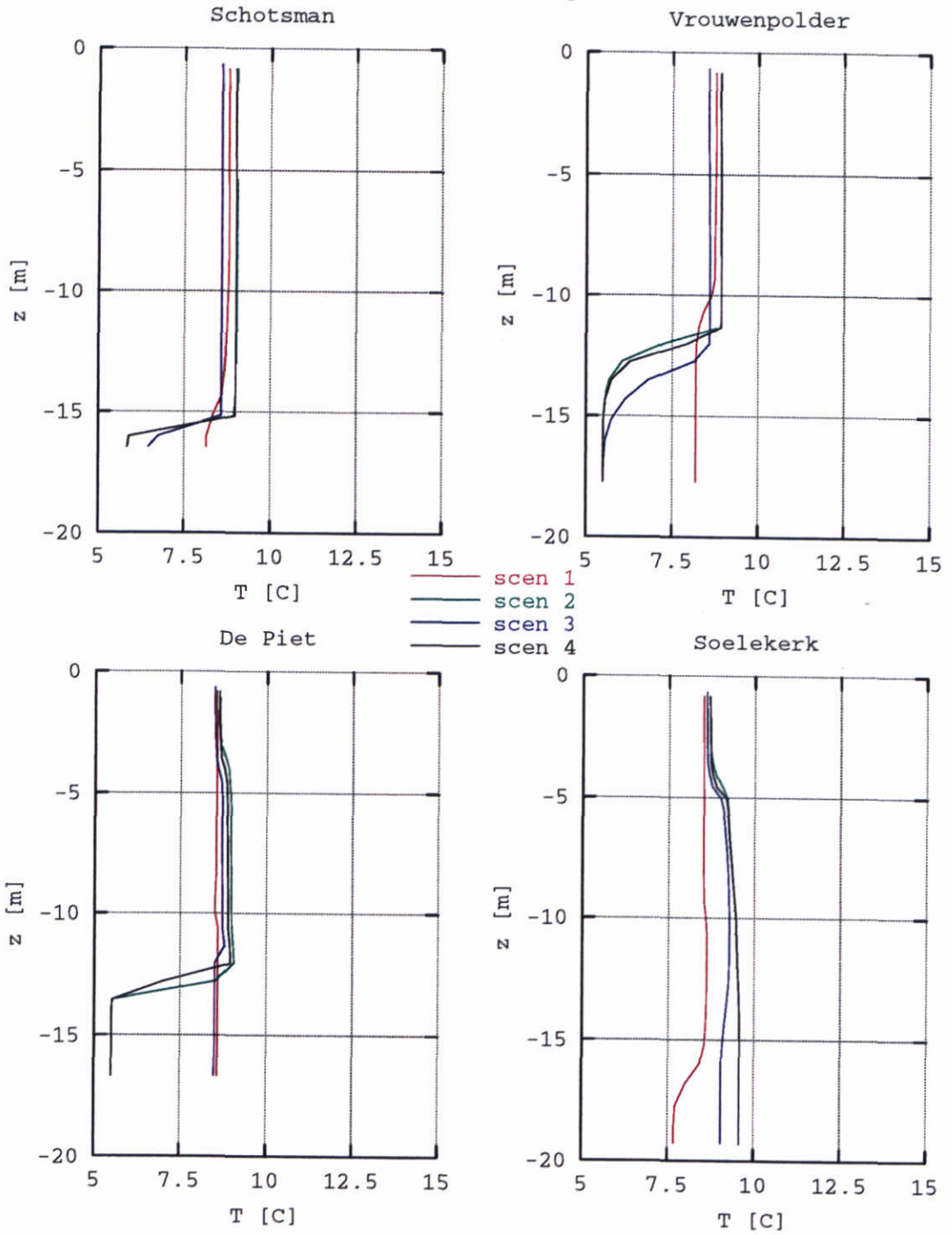
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 11 februari 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.12b

Temperatuur op 27-03-95



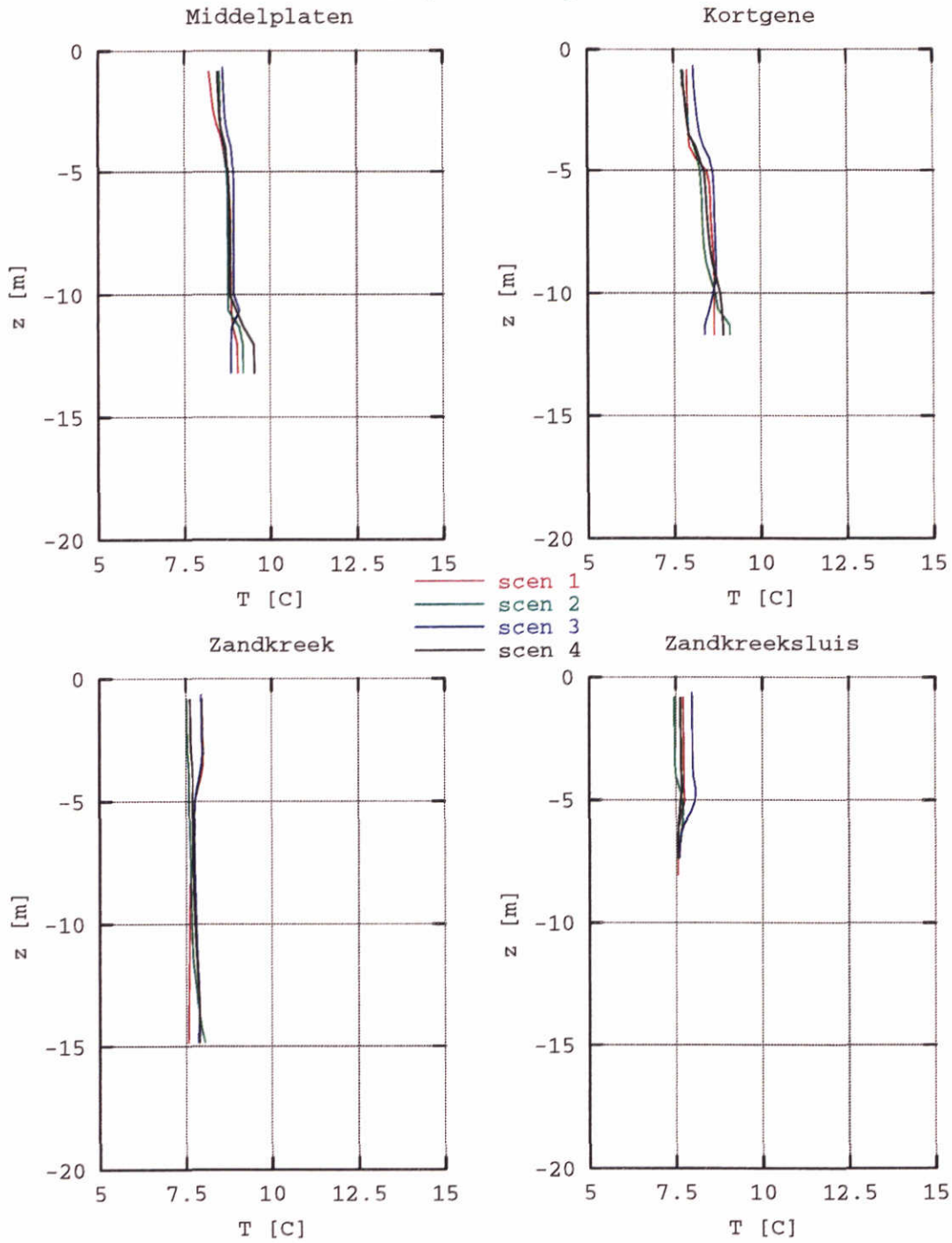
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 27 maart 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.13a

Temperatuur op 27-03-95



Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 27 maart 1995  
 vergelijking scenario's

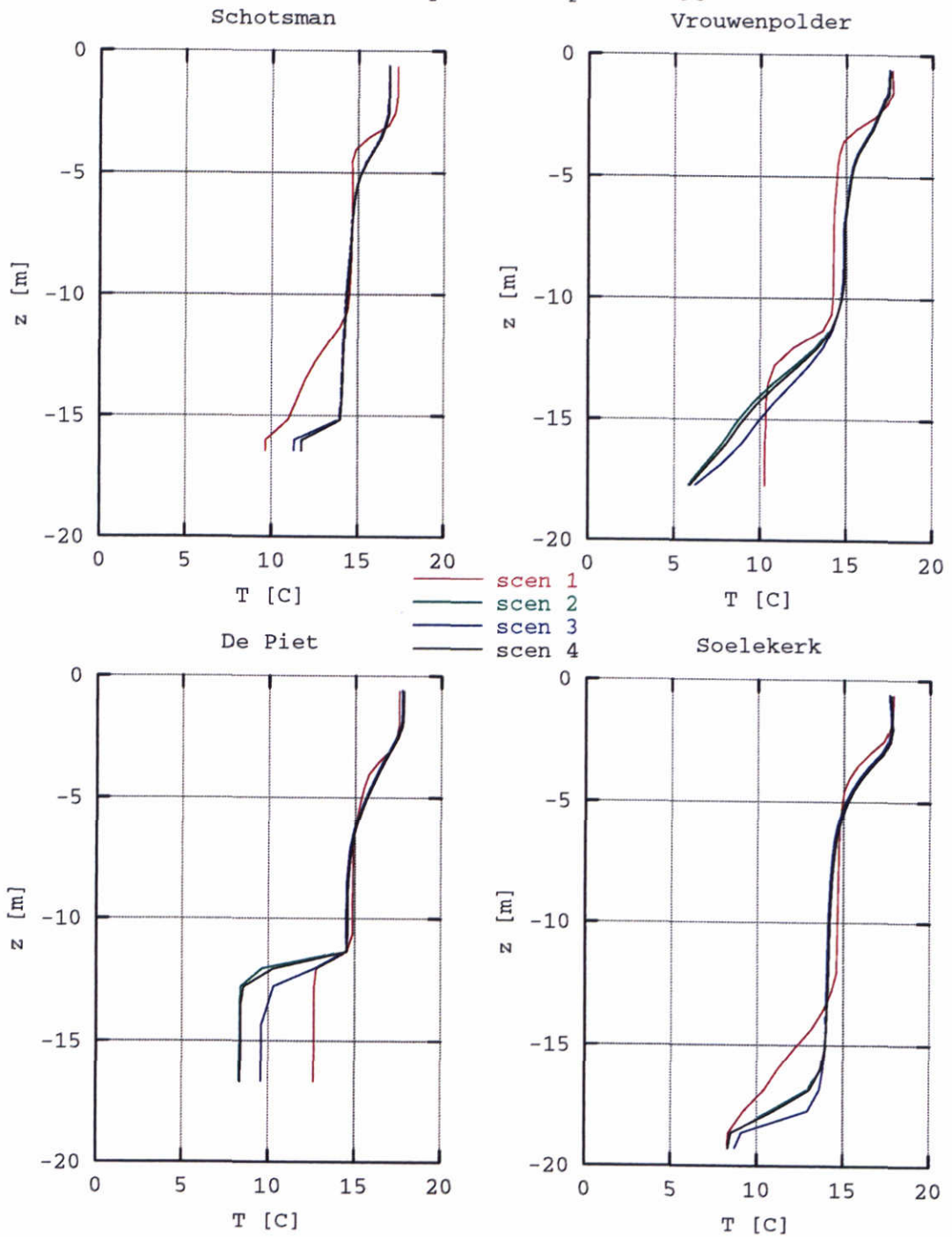
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.13b



Temperatuur op 23-05-95



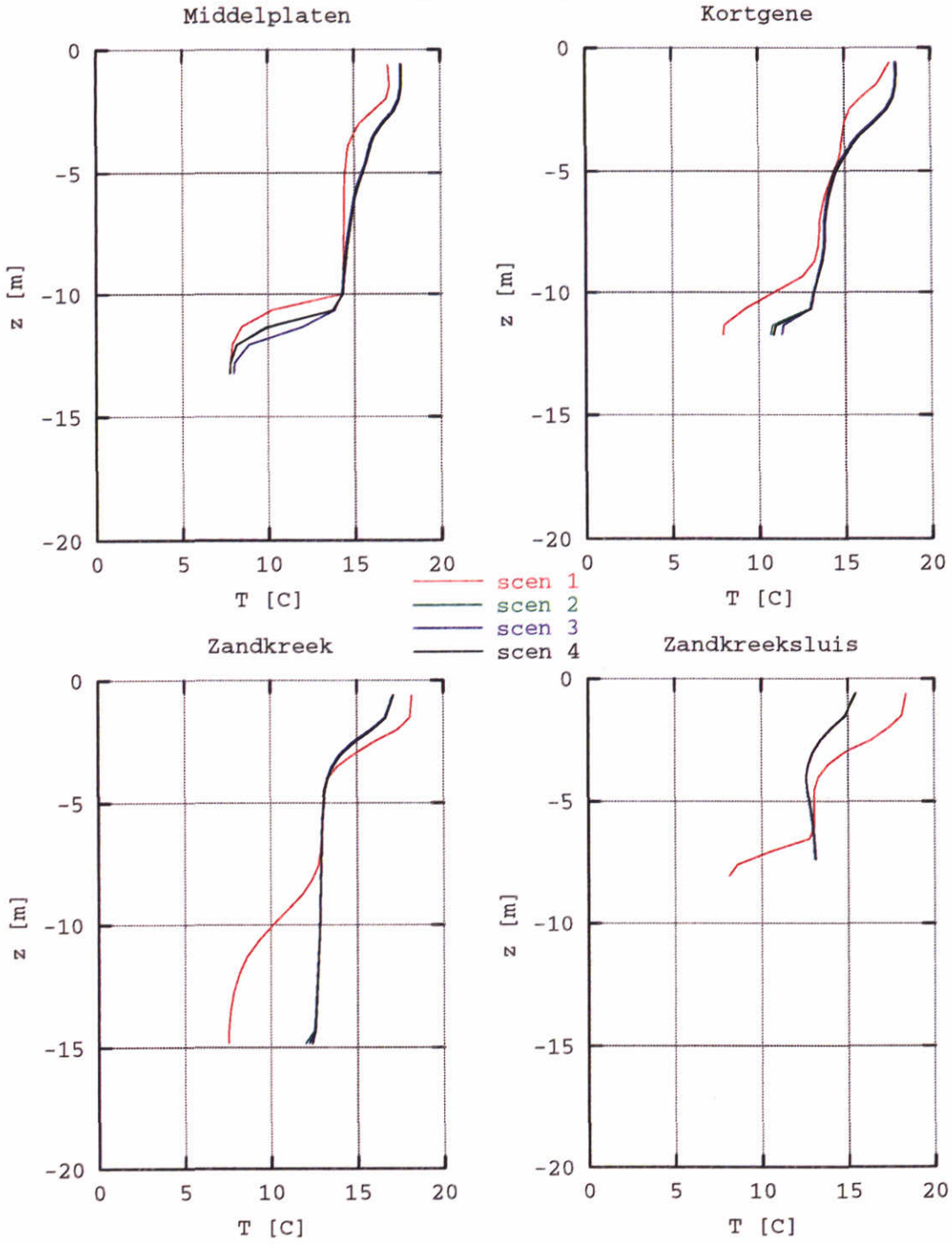
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 23 mei 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.14a

Temperatuur op 23-05-95



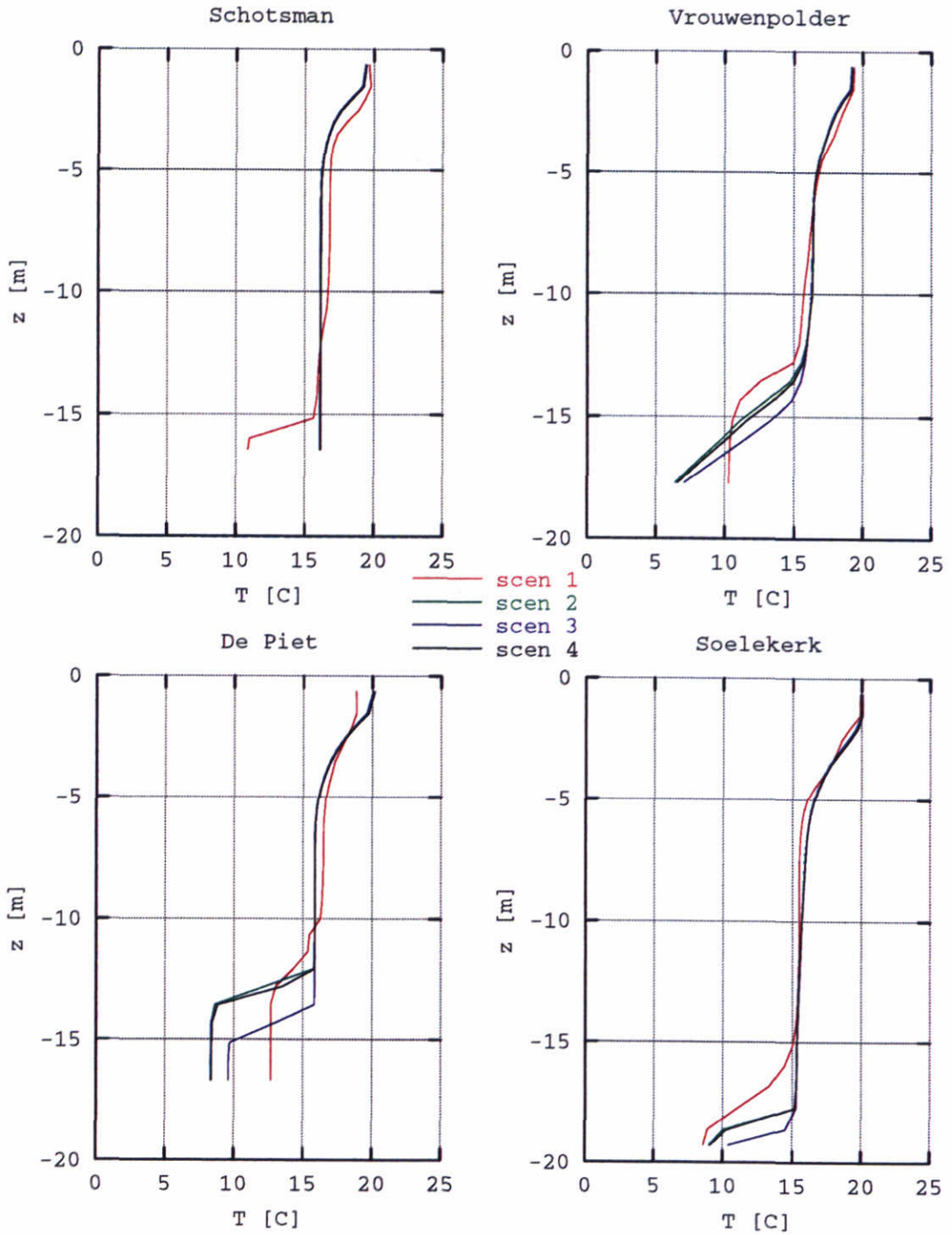
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 23 mei 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.14b

Temperatuur op 20-06-95



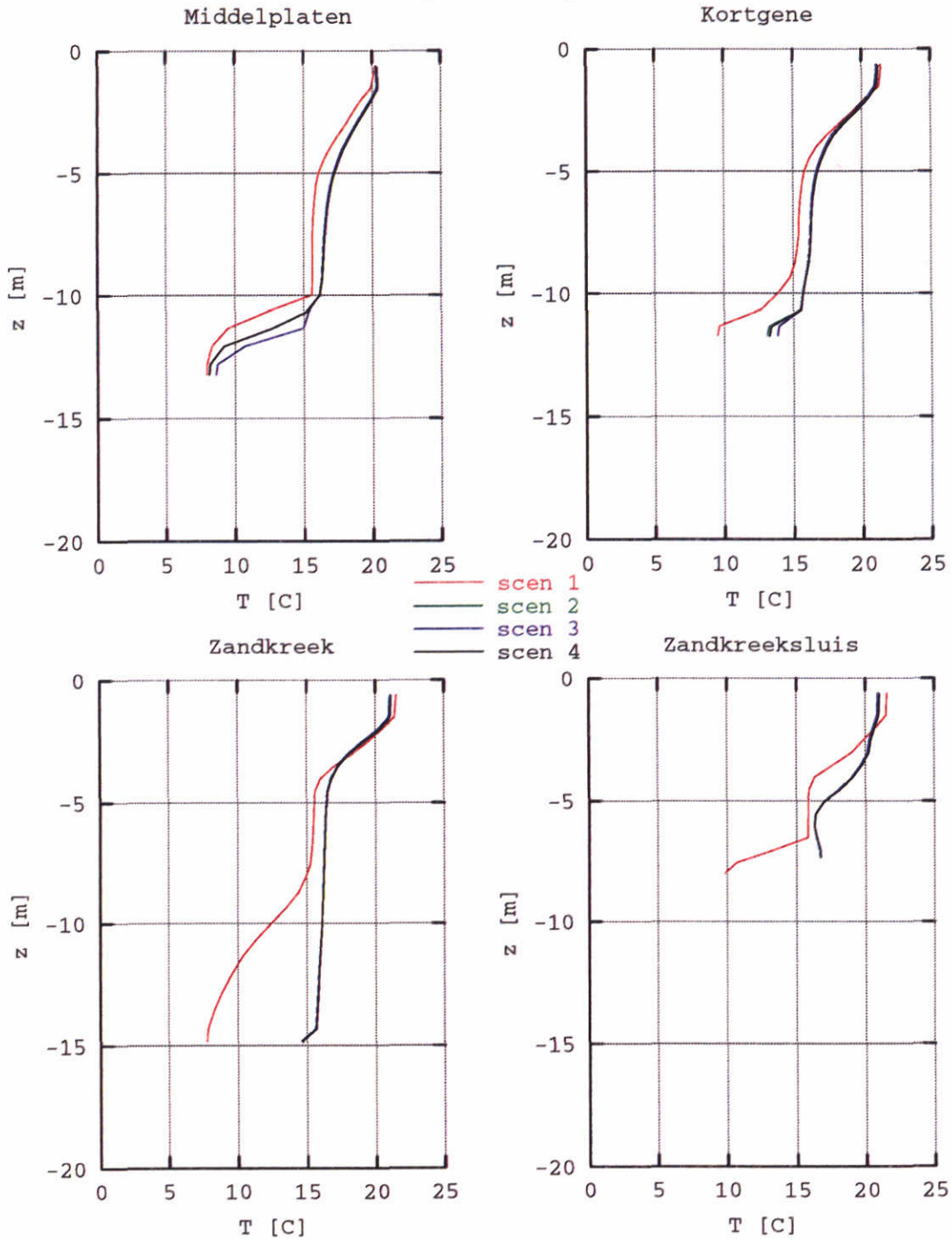
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 20 juni 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.15a

Temperatuur op 20-06-95



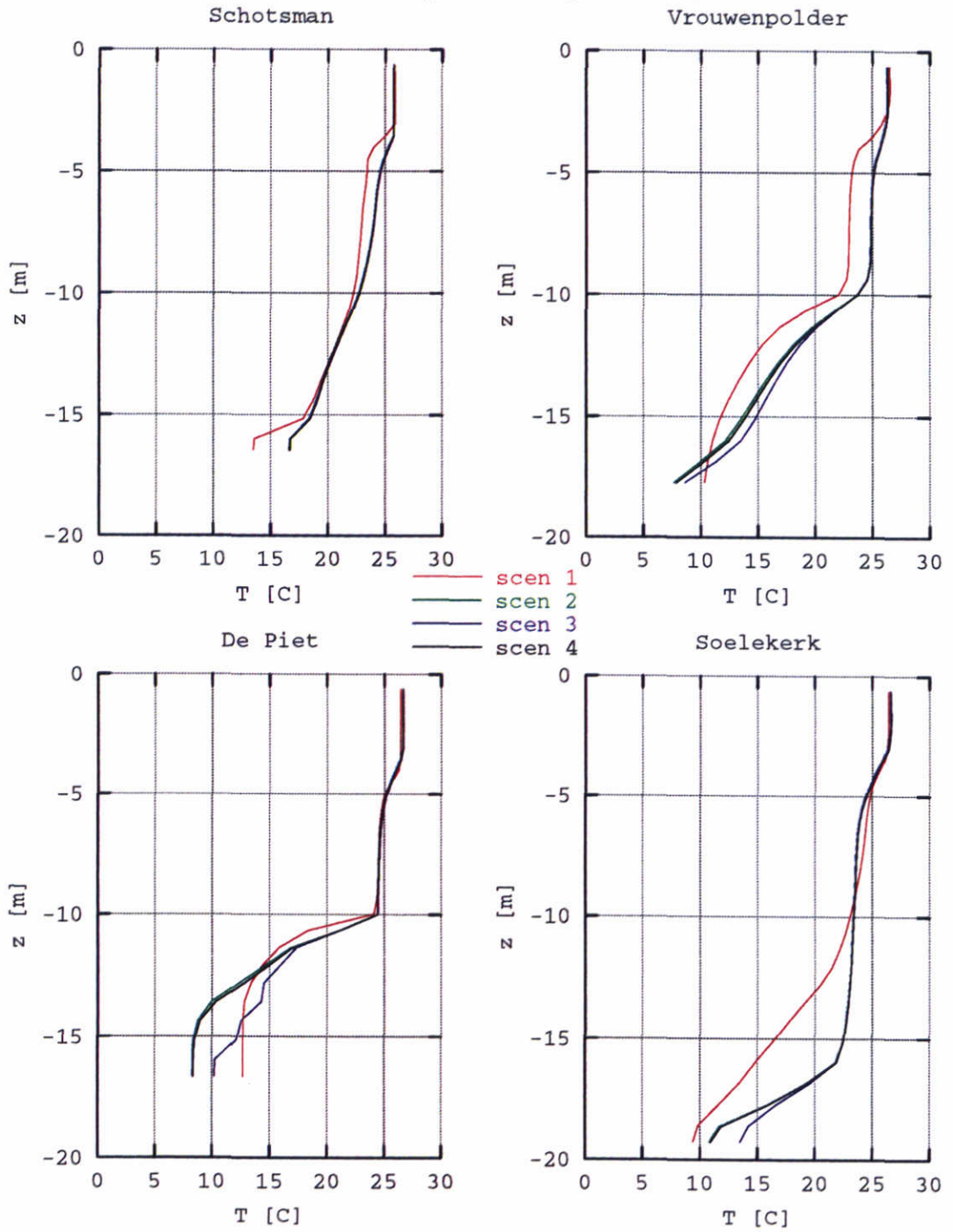
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 20 juni 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.15b

Temperatuur op 25-07-95



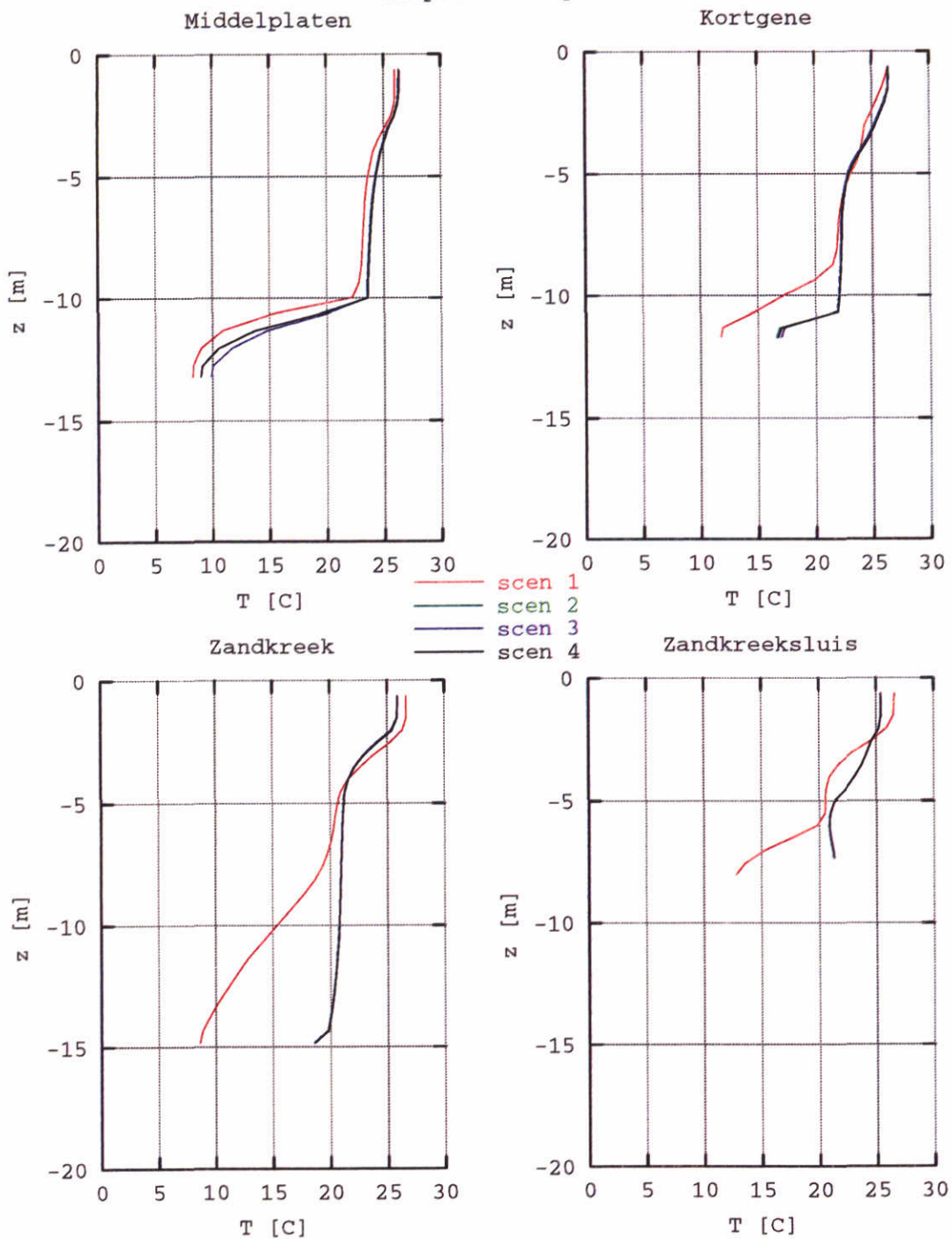
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 25 juli 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.16a

Temperatuur op 25-07-95



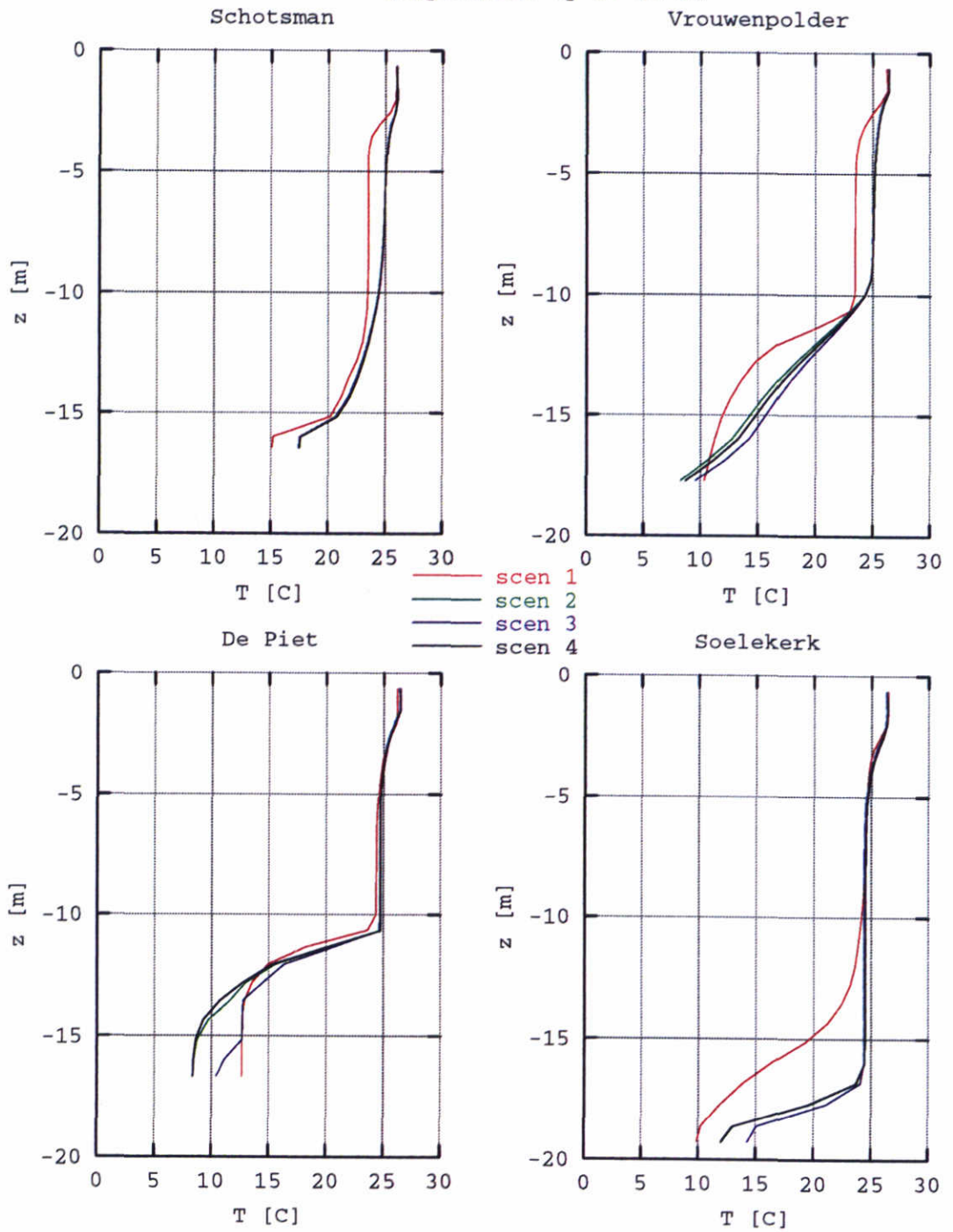
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 25 juli 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.16b

Temperatuur op 16-08-95



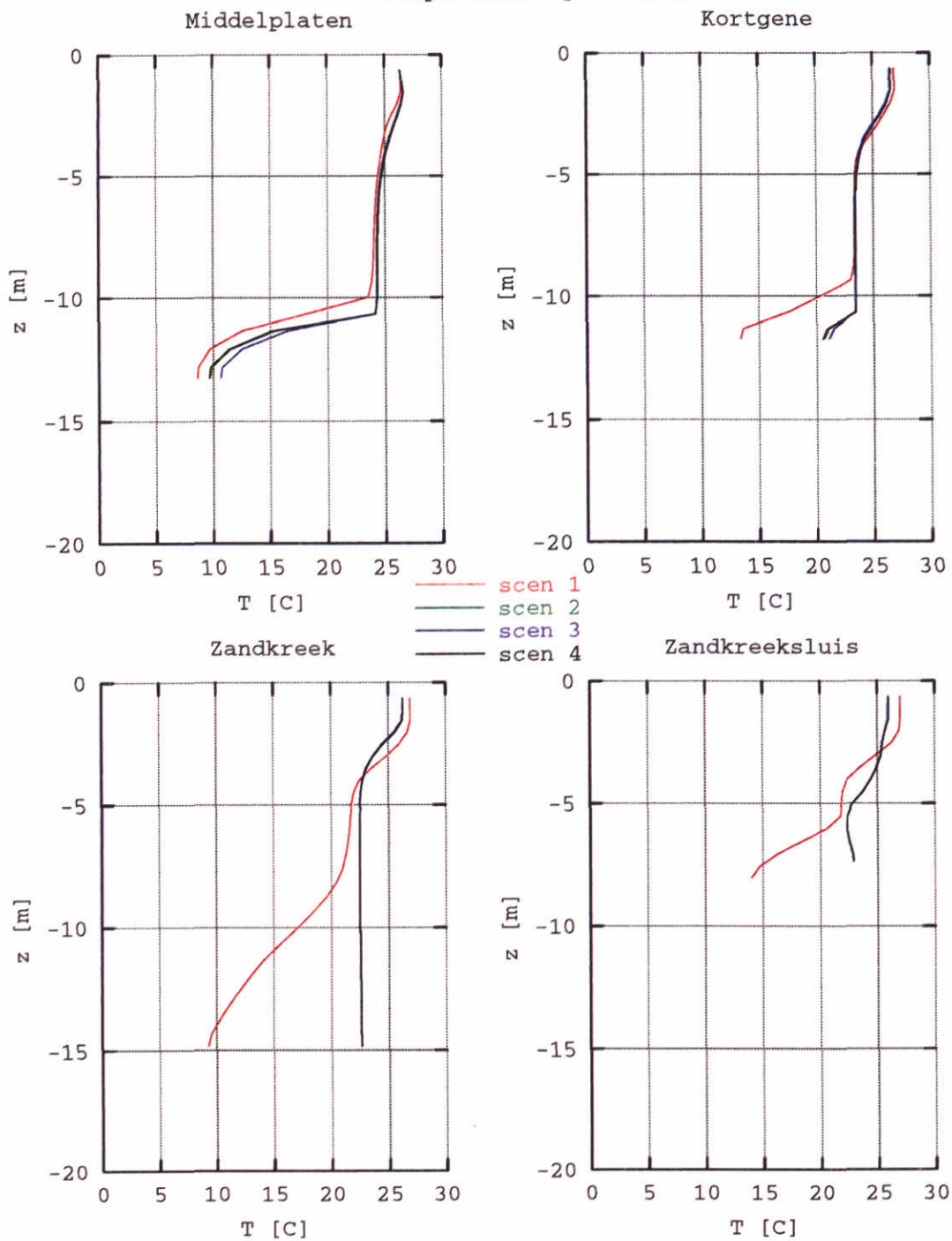
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 16 augustus 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.17a

Temperatuur op 16-08-95



Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 16 augustus 1995  
 vergelijking scenario's

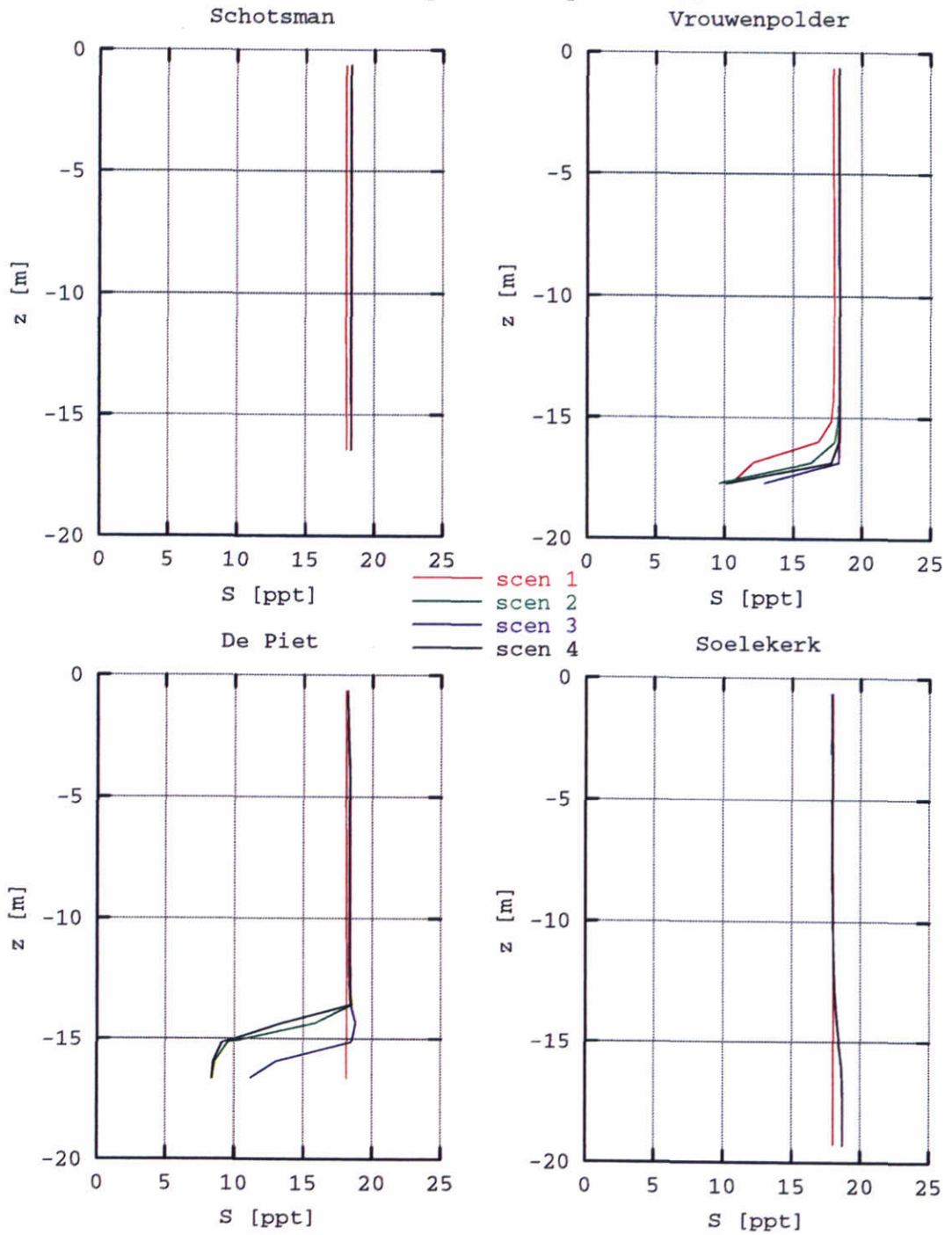
Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.17b



Temperatuur op 09-11-95



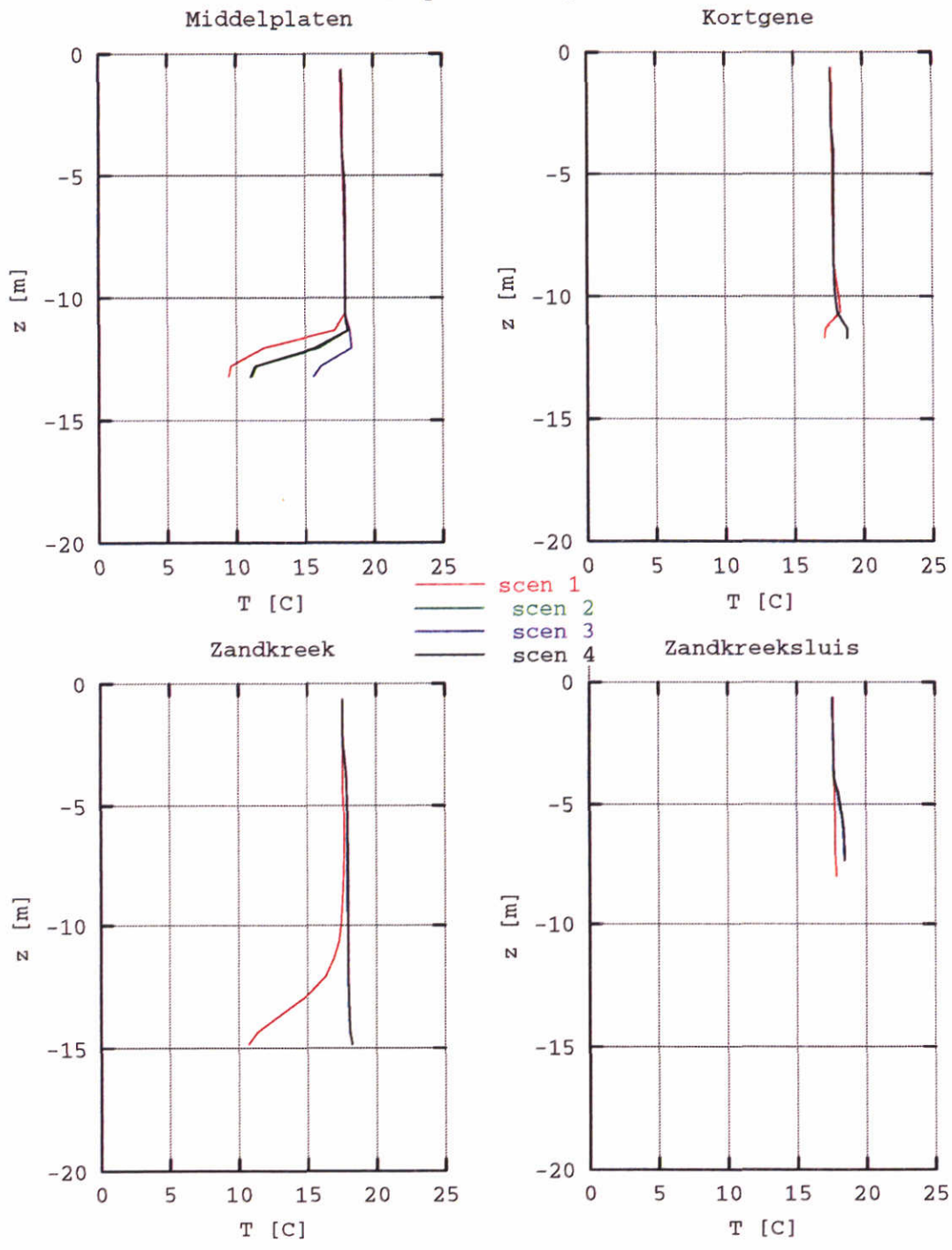
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 11 september 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.18a

Temperatuur op 11-09-95



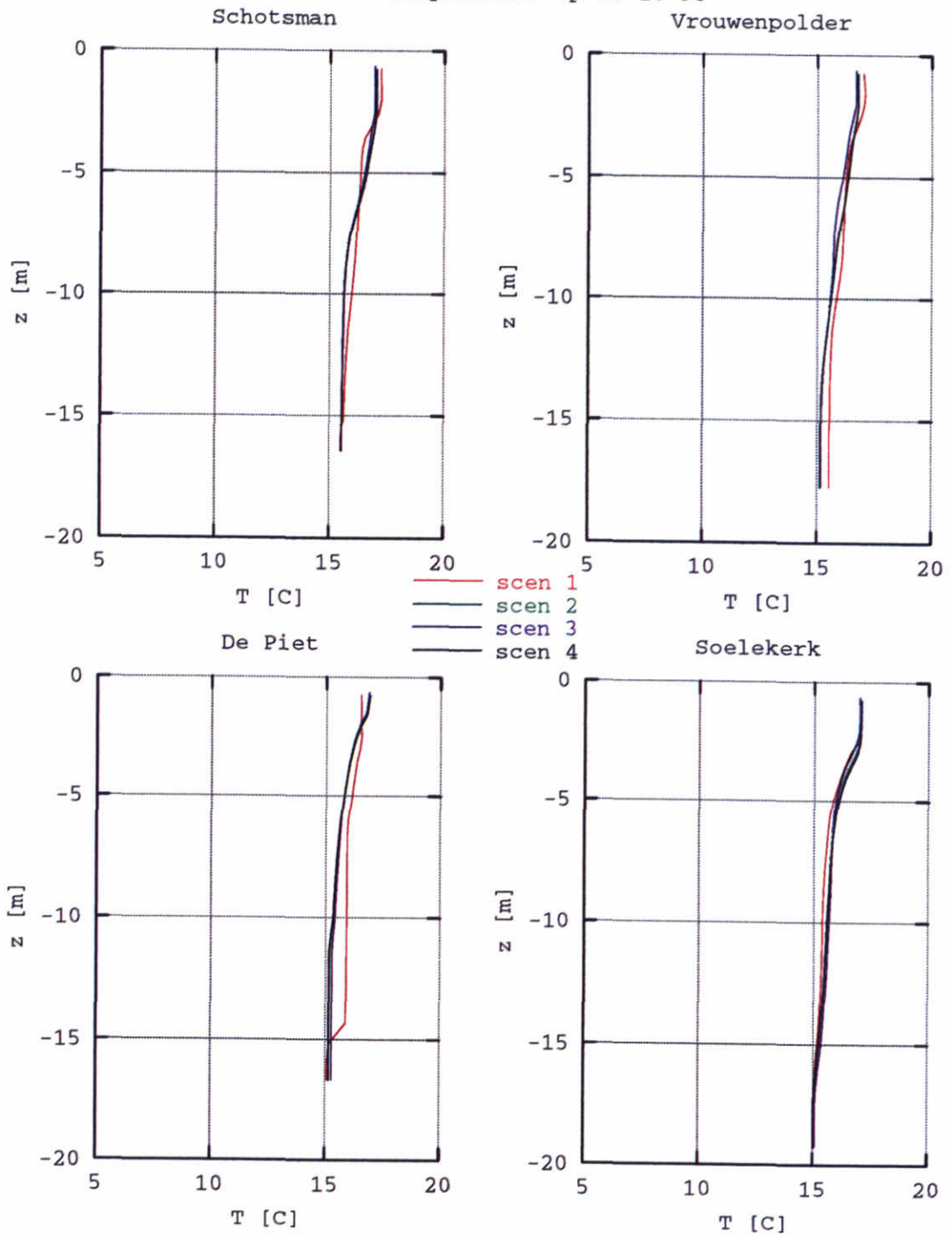
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 11 september 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.18b

Temperatuur op 10-10-95



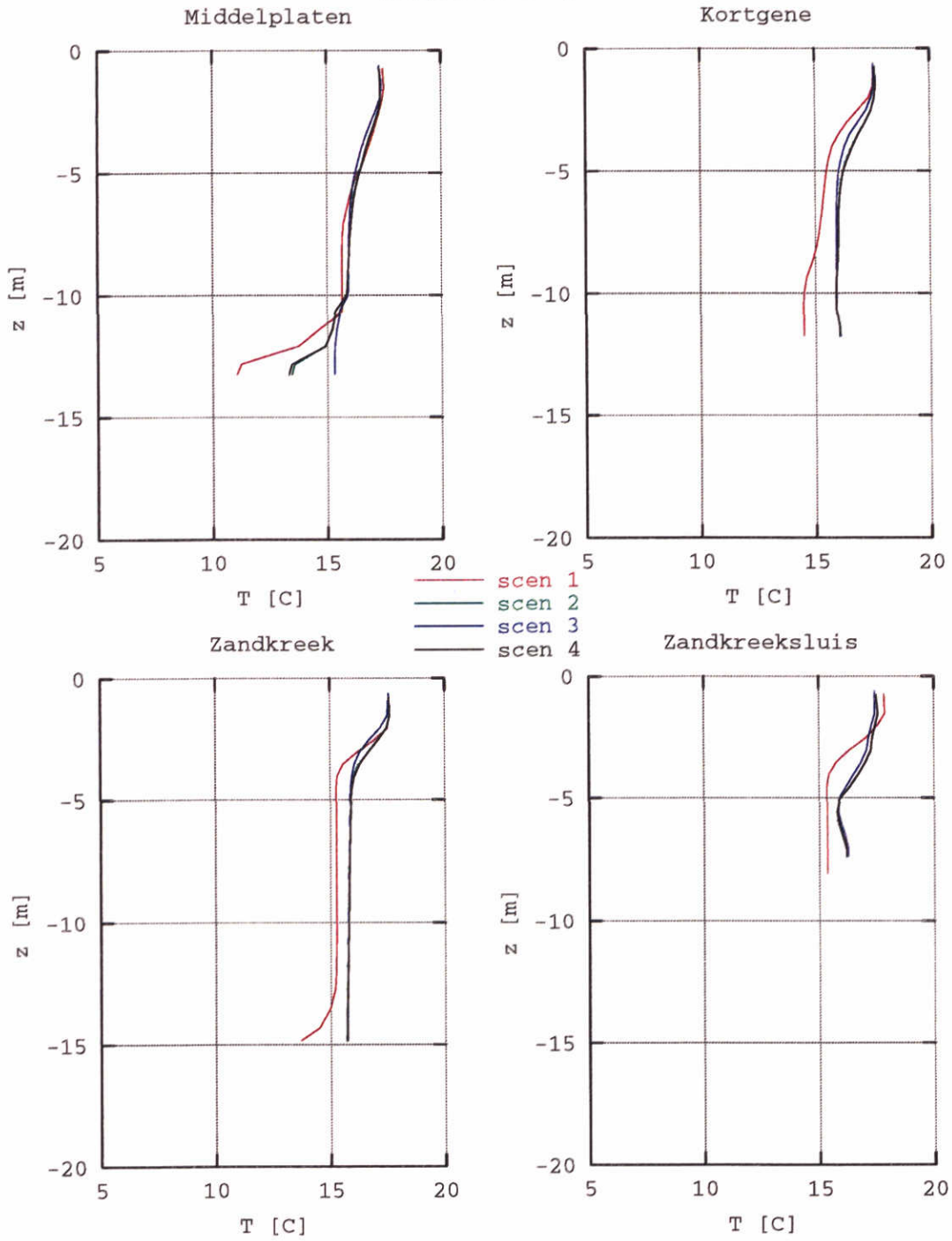
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 10 oktober 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.19a

Temperatuur op 10-10-95



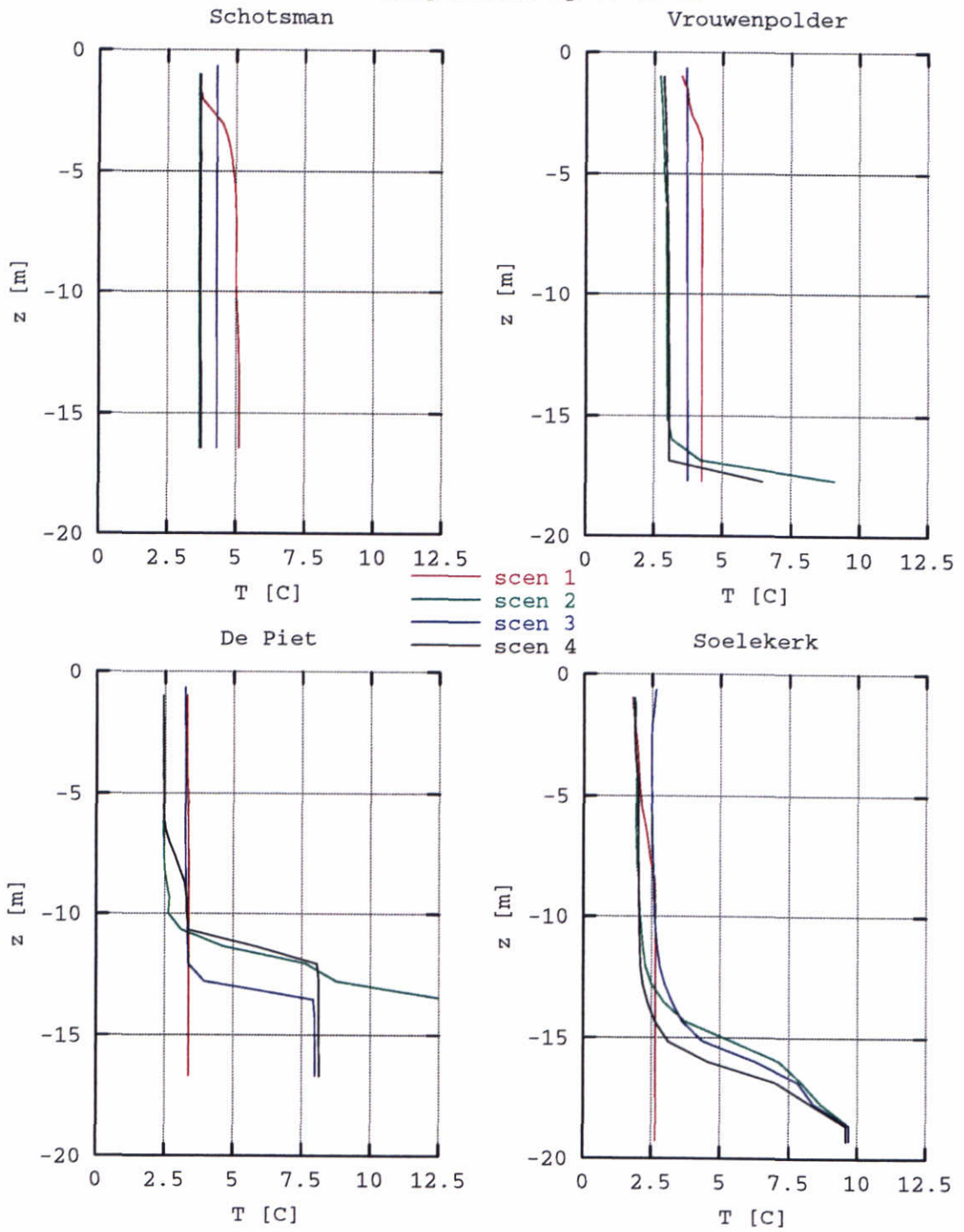
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 10 oktober 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.19b

Temperatuur op 07-12-95



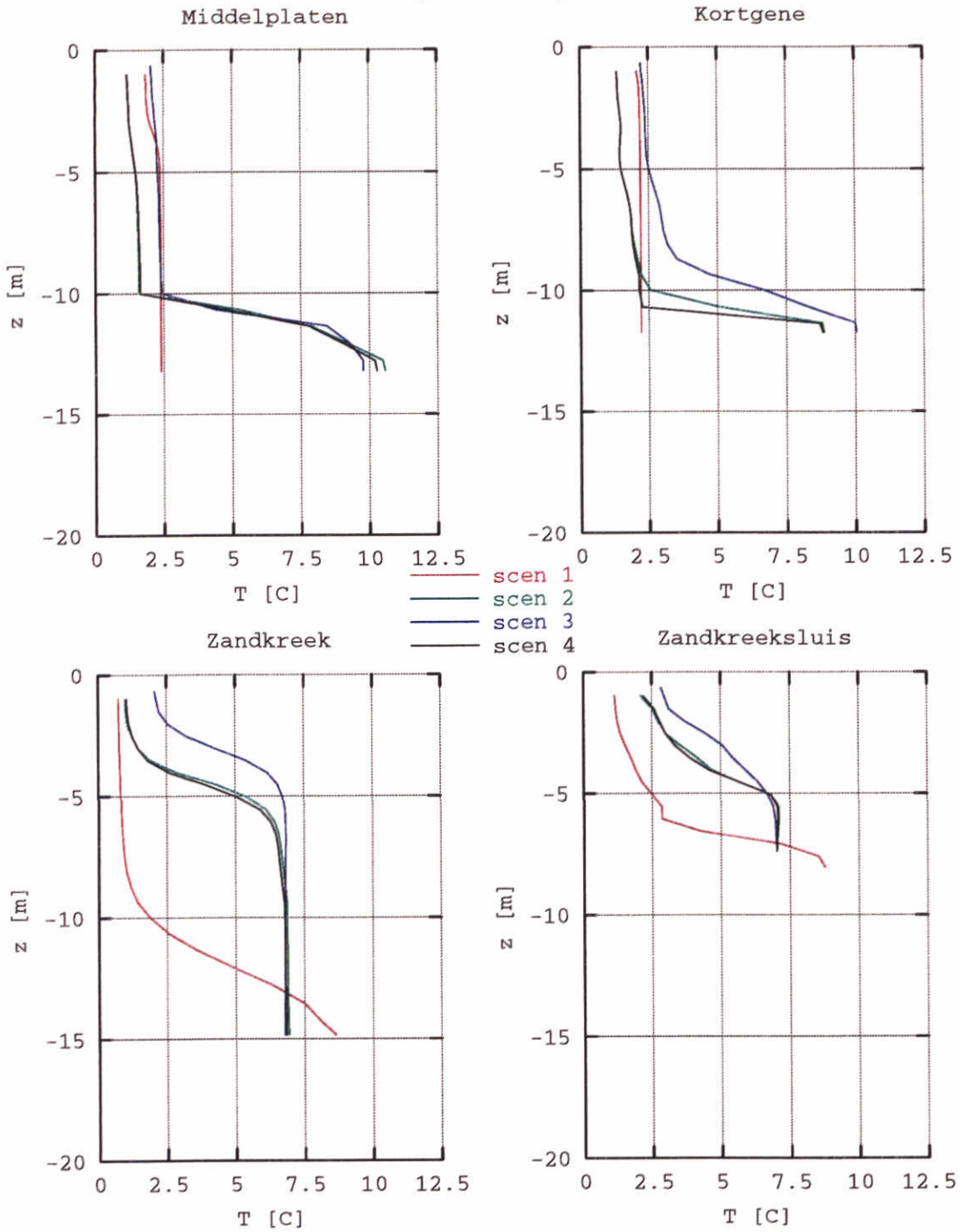
Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 7 december 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

Figuur 6.20a

Temperatuur op 07-12-95

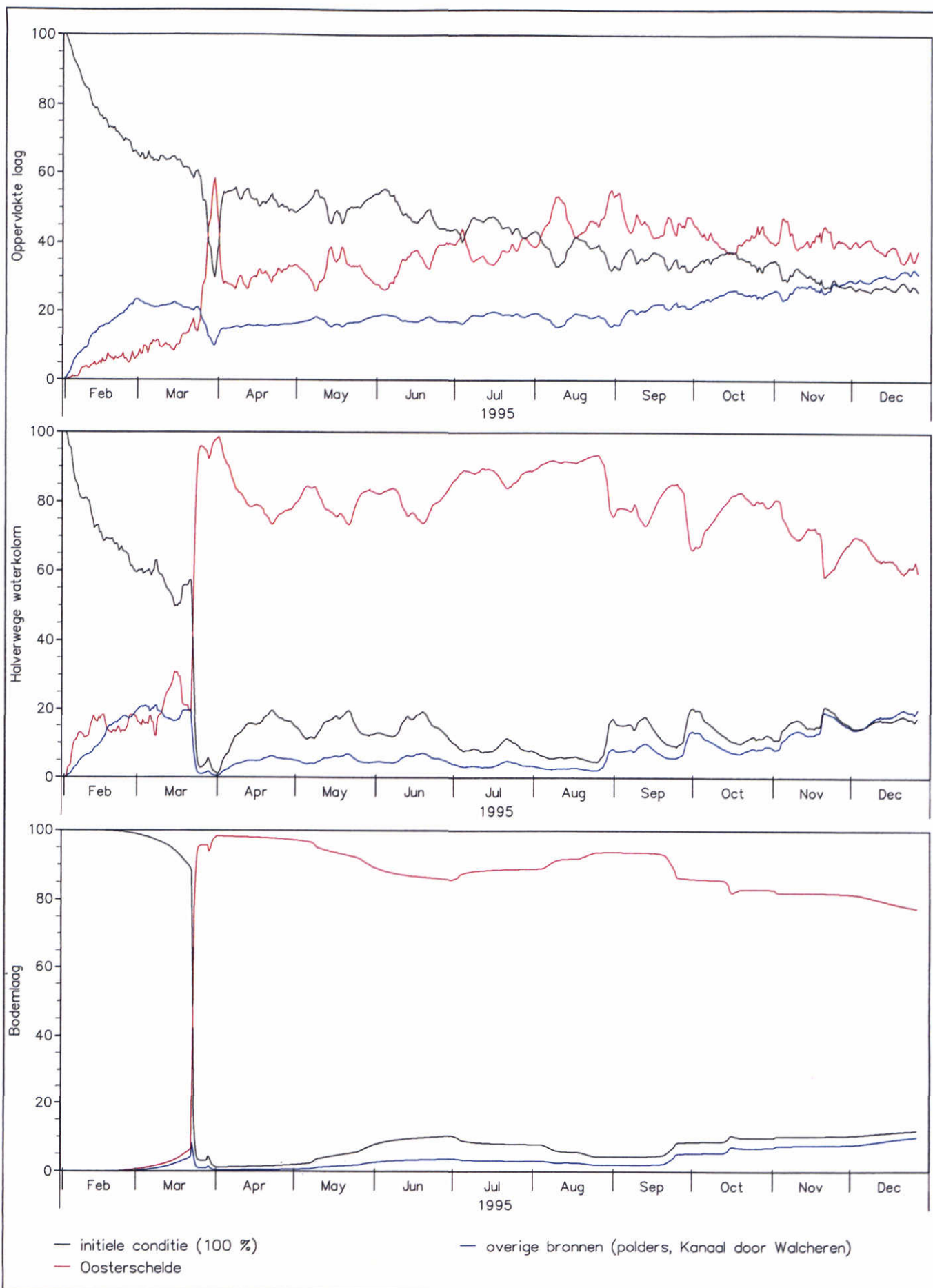


Scenarioberekeningen hydrodynamica  
 Temperatuurprofielen 7 december 1995  
 vergelijking scenario's

Z 2921

WL | Delft Hydraulics

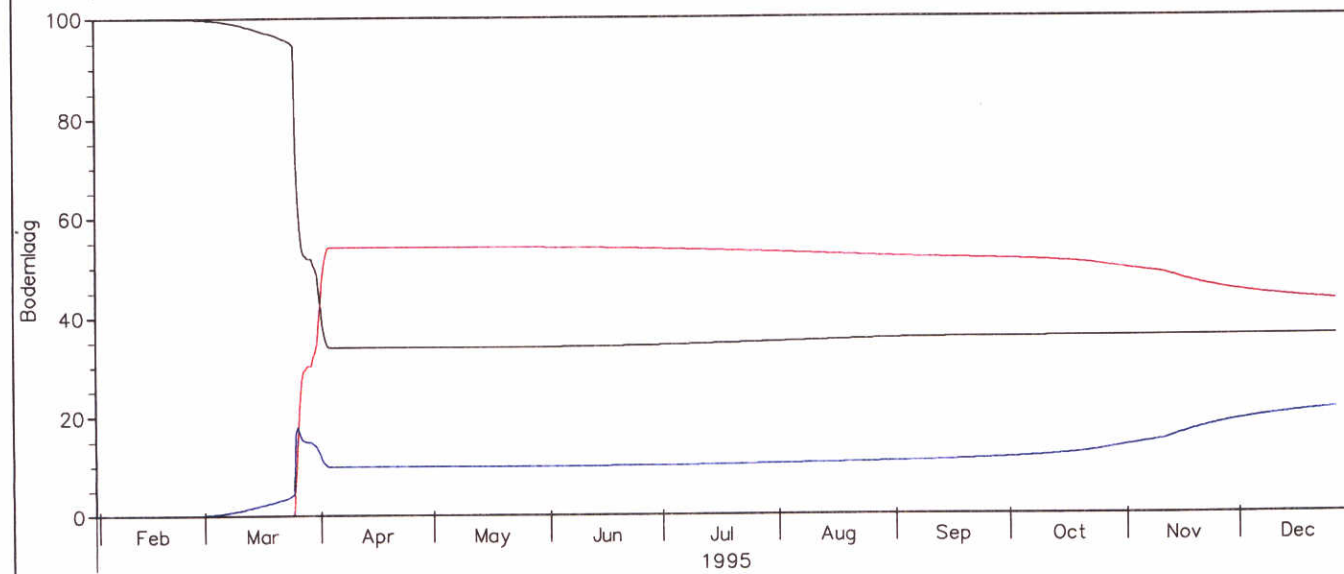
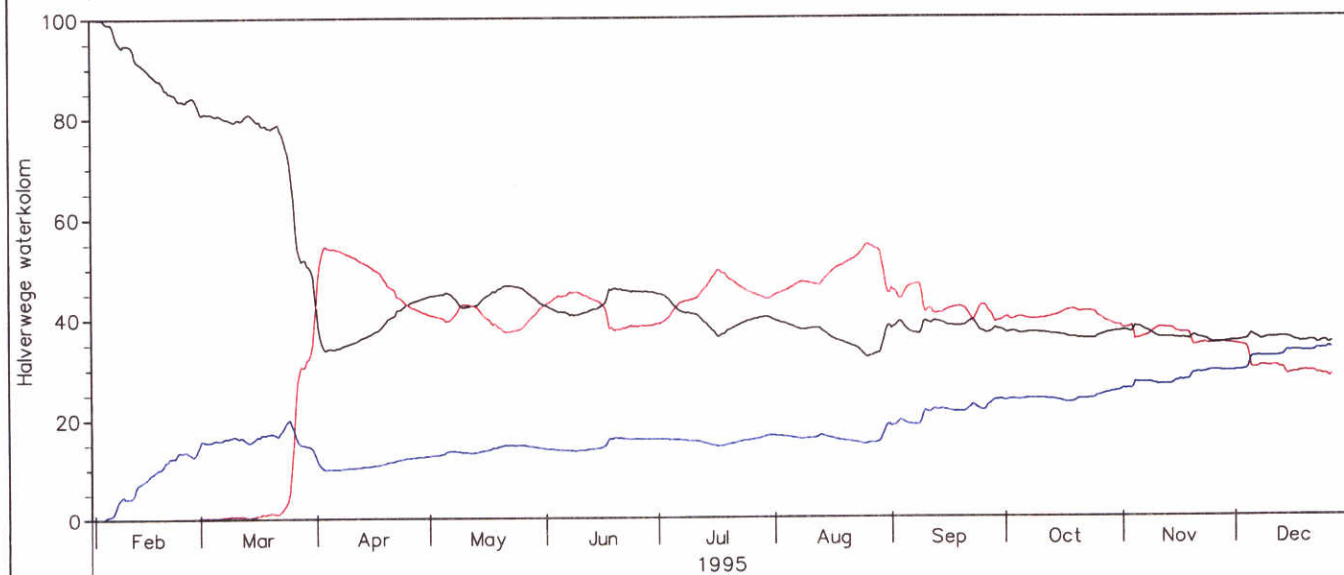
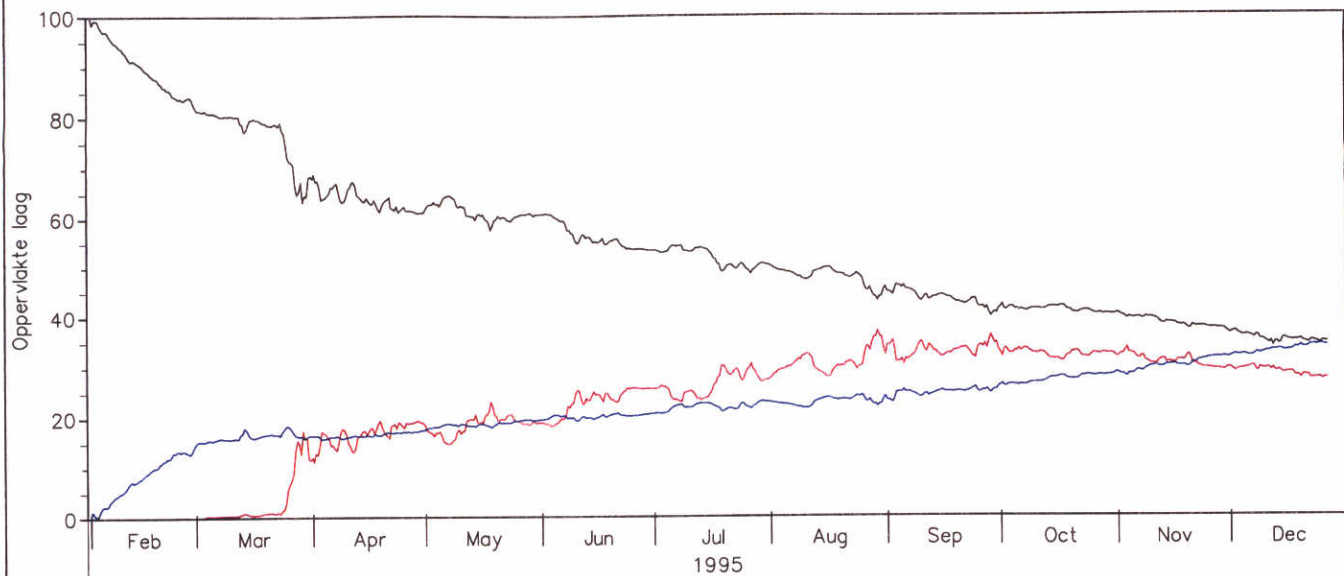
Figuur 6.20b



Tracers Zandkreek – percentuele afkomst van water in nominale berekening  
 zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig  
 Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



— initiele conditie (100 %)  
 — Oosterschelde

— overige bronnen (polders, Kanaal door Walcheren)

Tracers Soelekerke – percentuele afkomst van water in nominale berekening

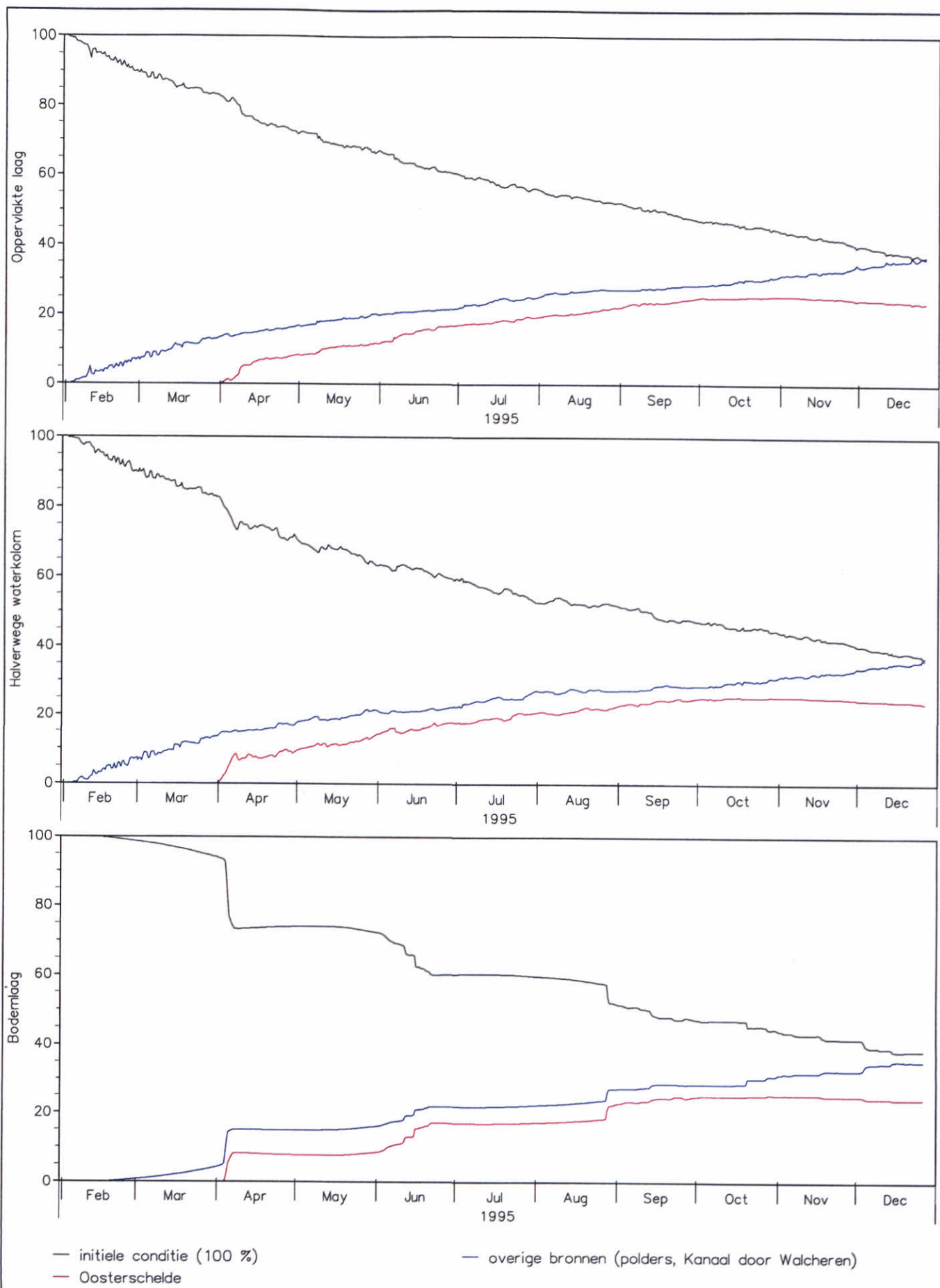
zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921

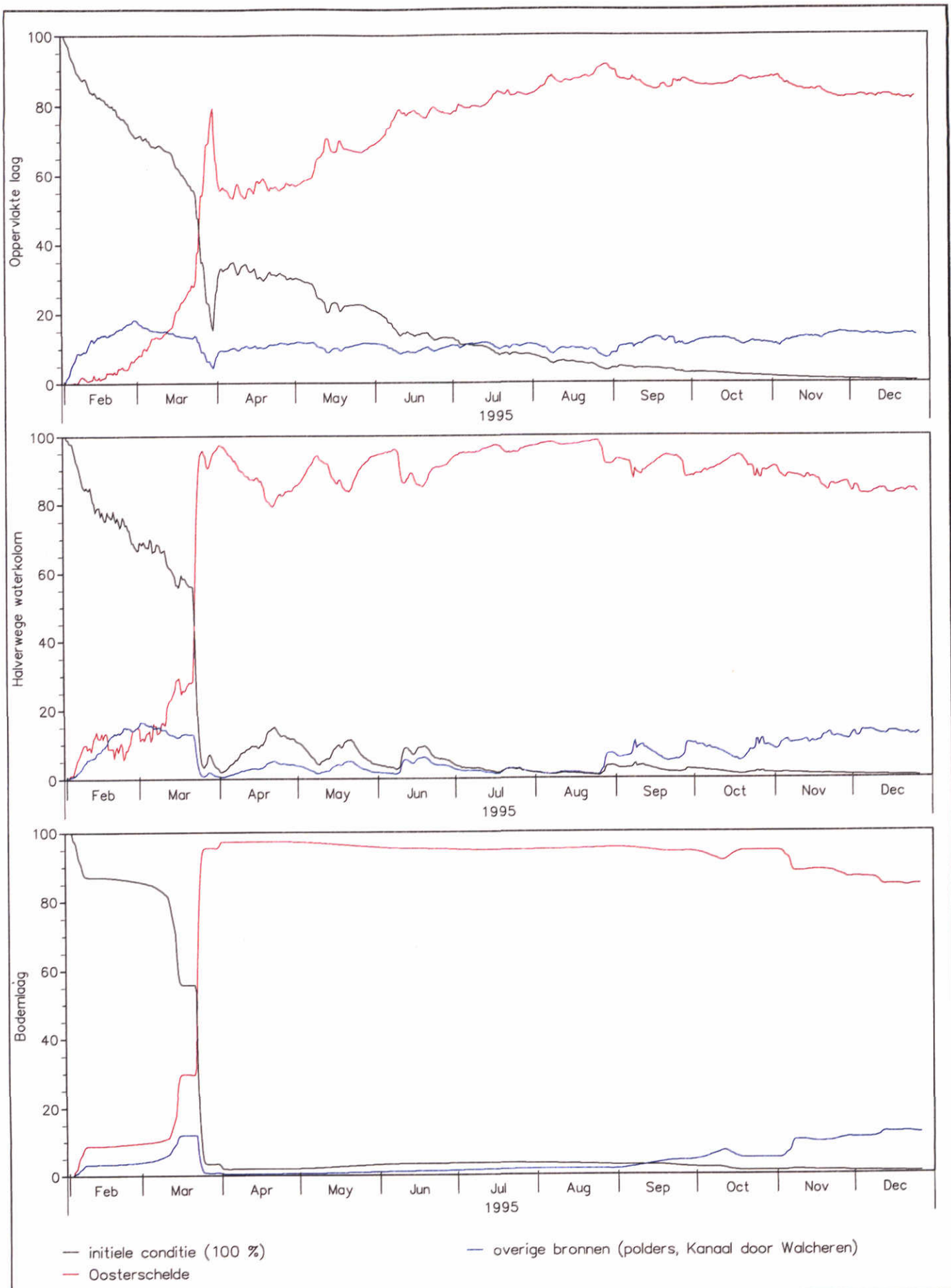
Veerse Meer





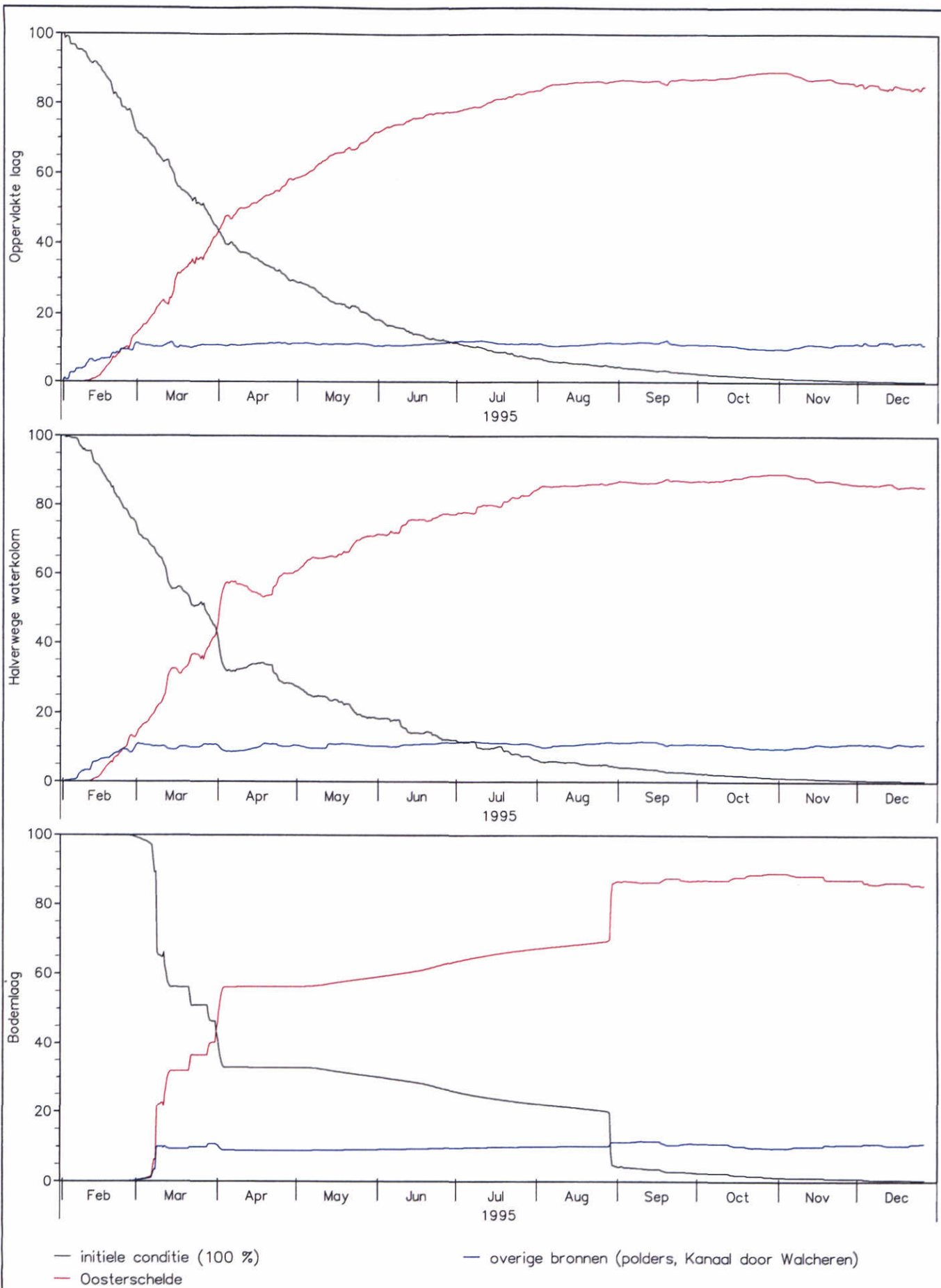
Tracers Vrouwenpolder – percentuele afkomst van water in nominale berekening  
 zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig  
 Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921  
 Veerse Meer



Tracers Zandkreek – percentuele afkomst van water in scenario 1  
 zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig  
 Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921	
Veerse Meer	

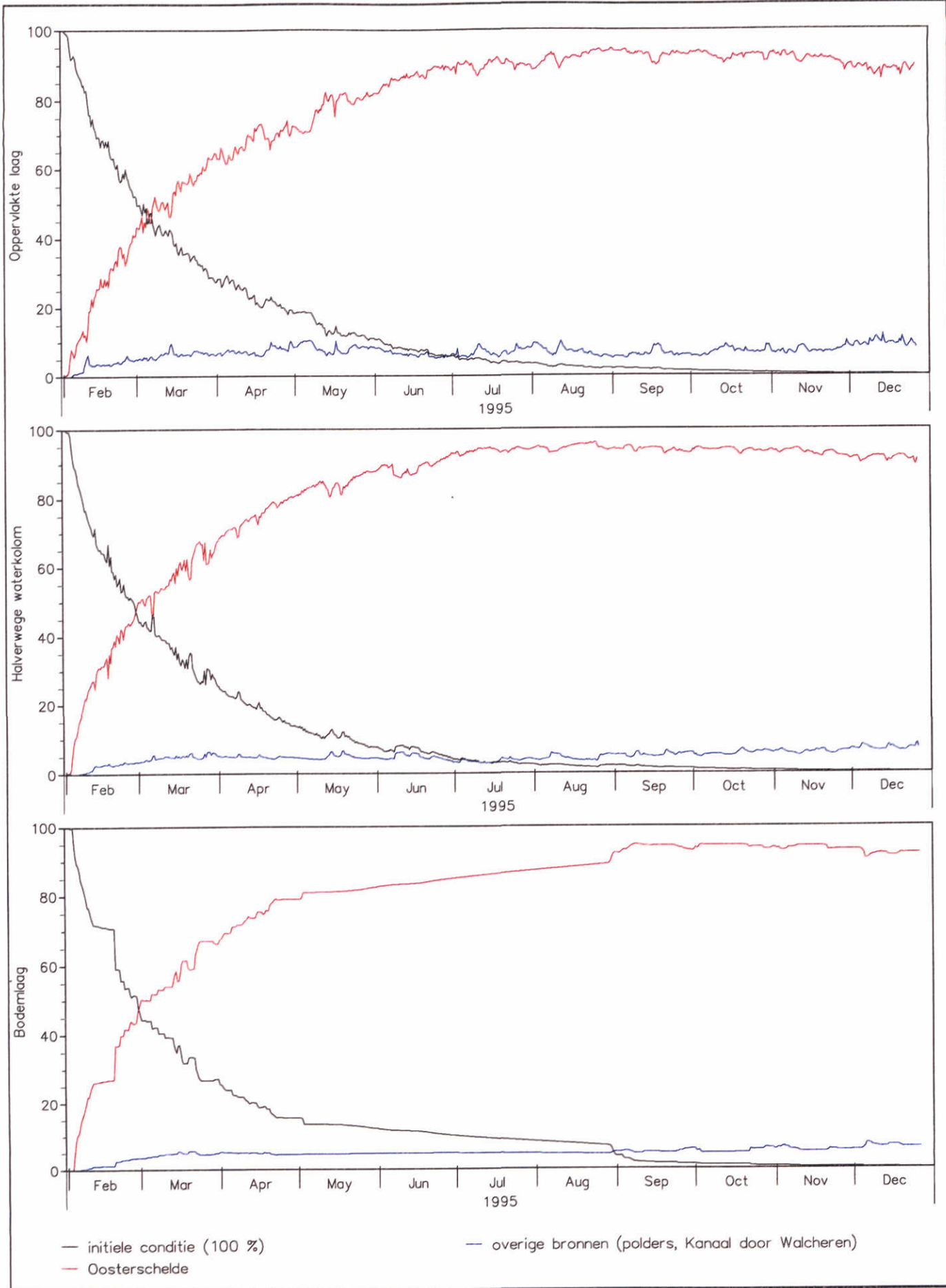


Tracers Soelekerke – percentuele afkomst van water in scenario 1  
 zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

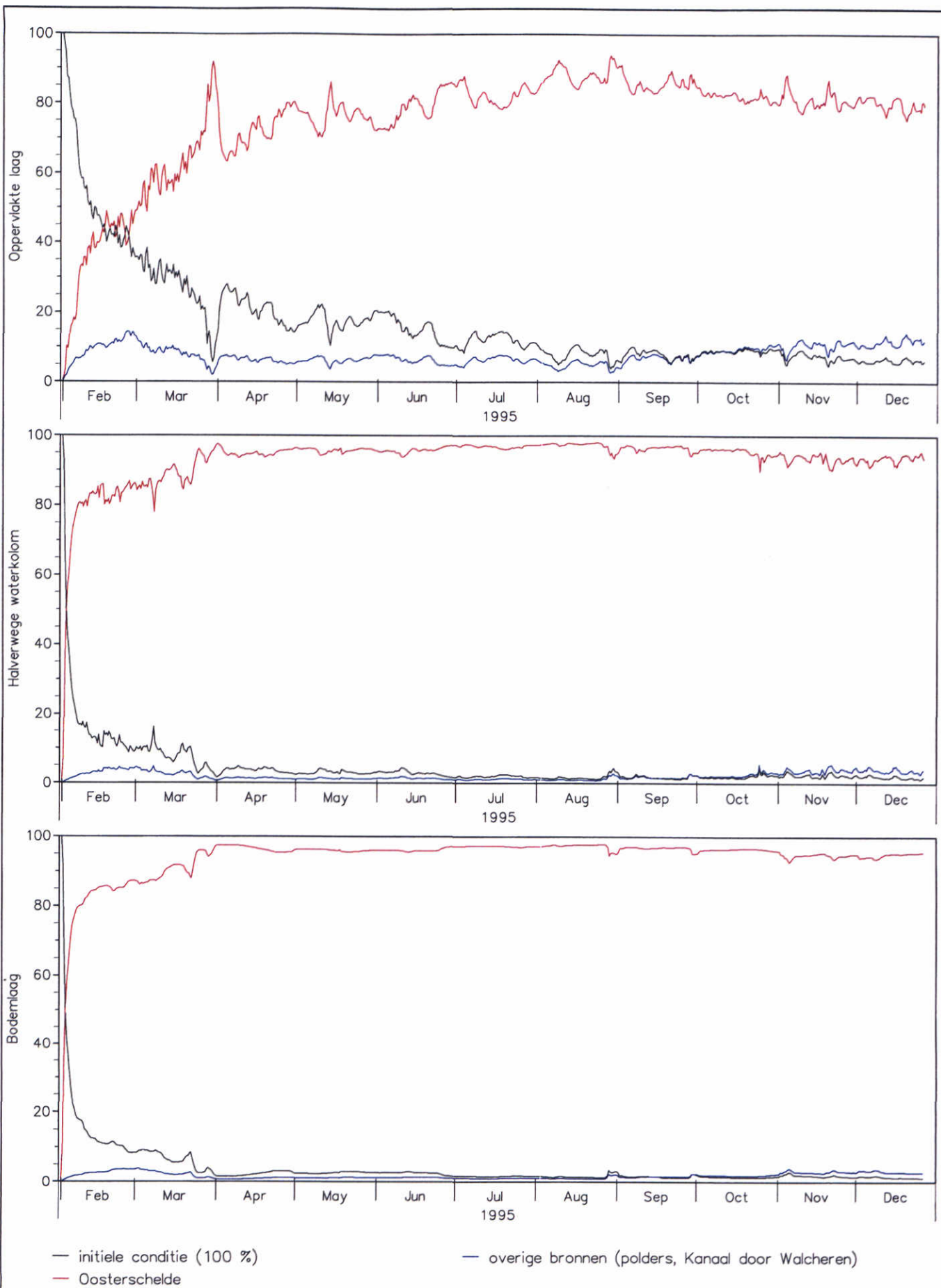
Z2921

Veerse Meer



Tracers Vrouwenpolder – percentuele afkomst van water in scenario 1  
 zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig  
 Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921	
Veerse Meer	



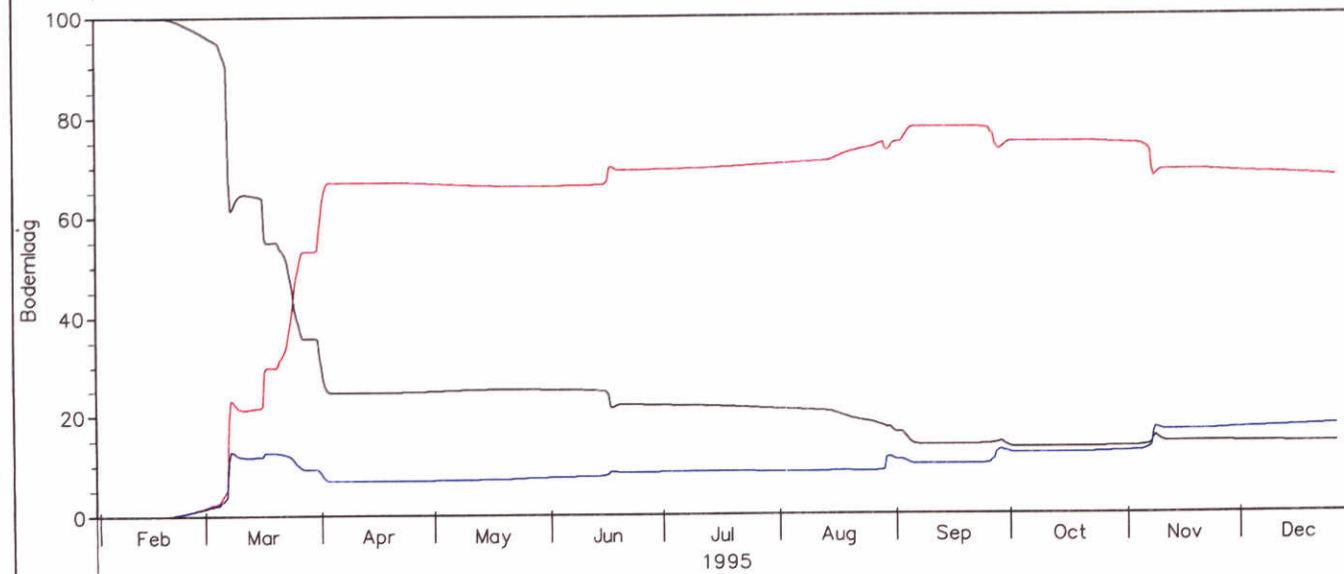
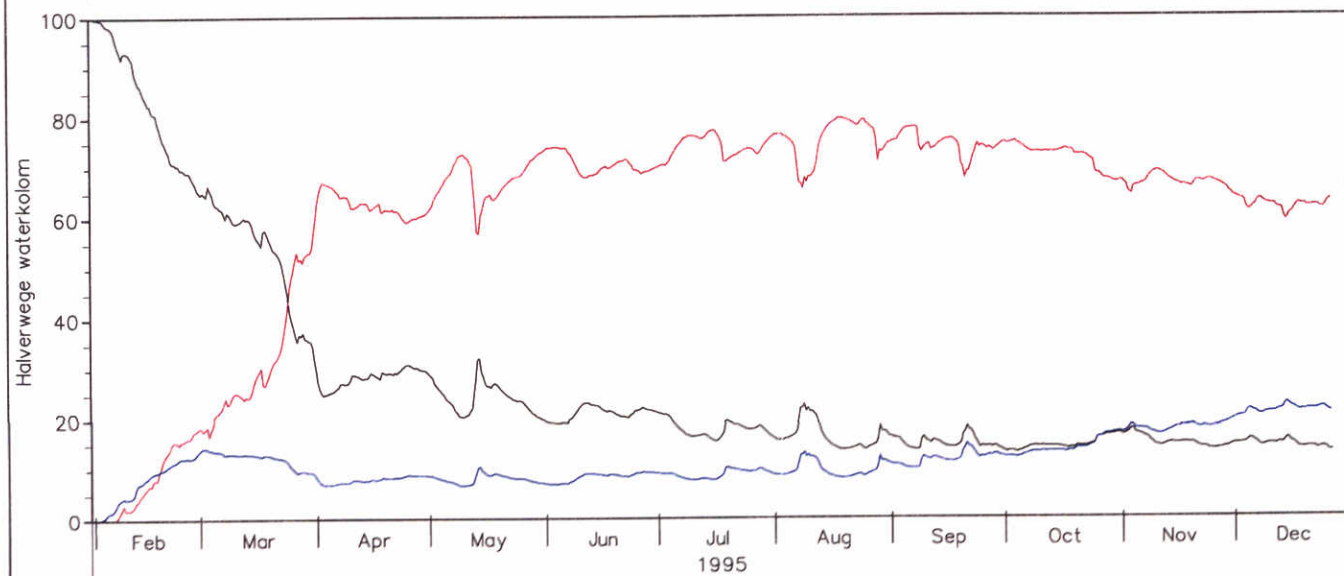
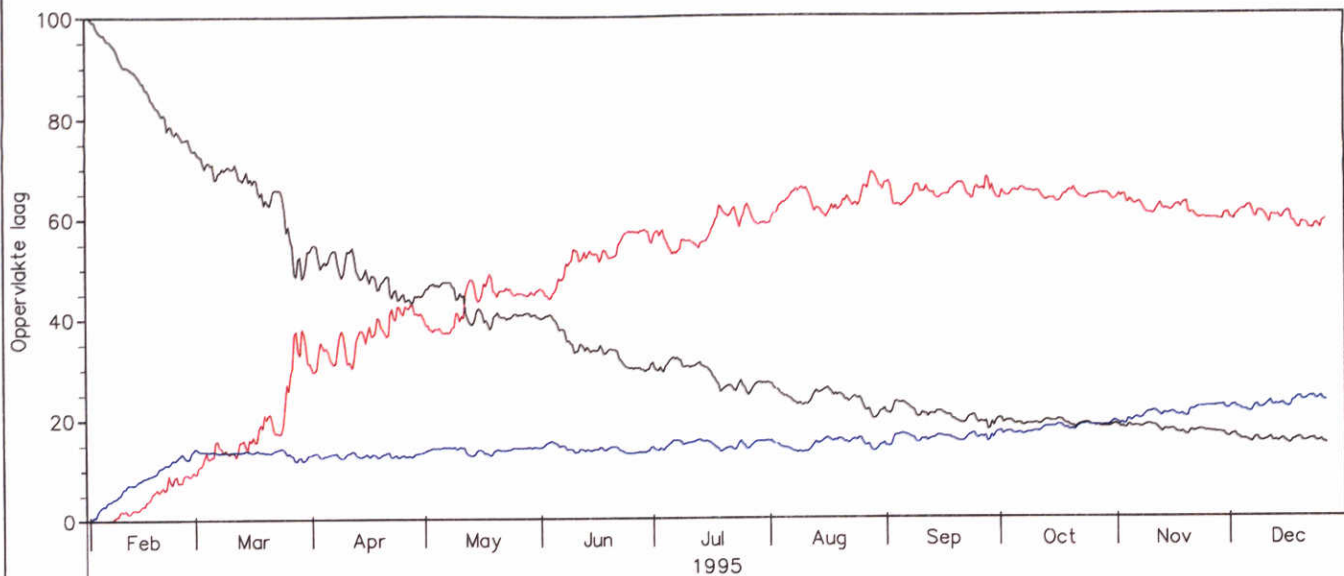
Tracers Zandkreek – percentuele afkomst van water in scenario 2

zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



— initiele conditie (100 %)  
 — Oosterschelde

— overige bronnen (polders, Kanaal door Walcheren)

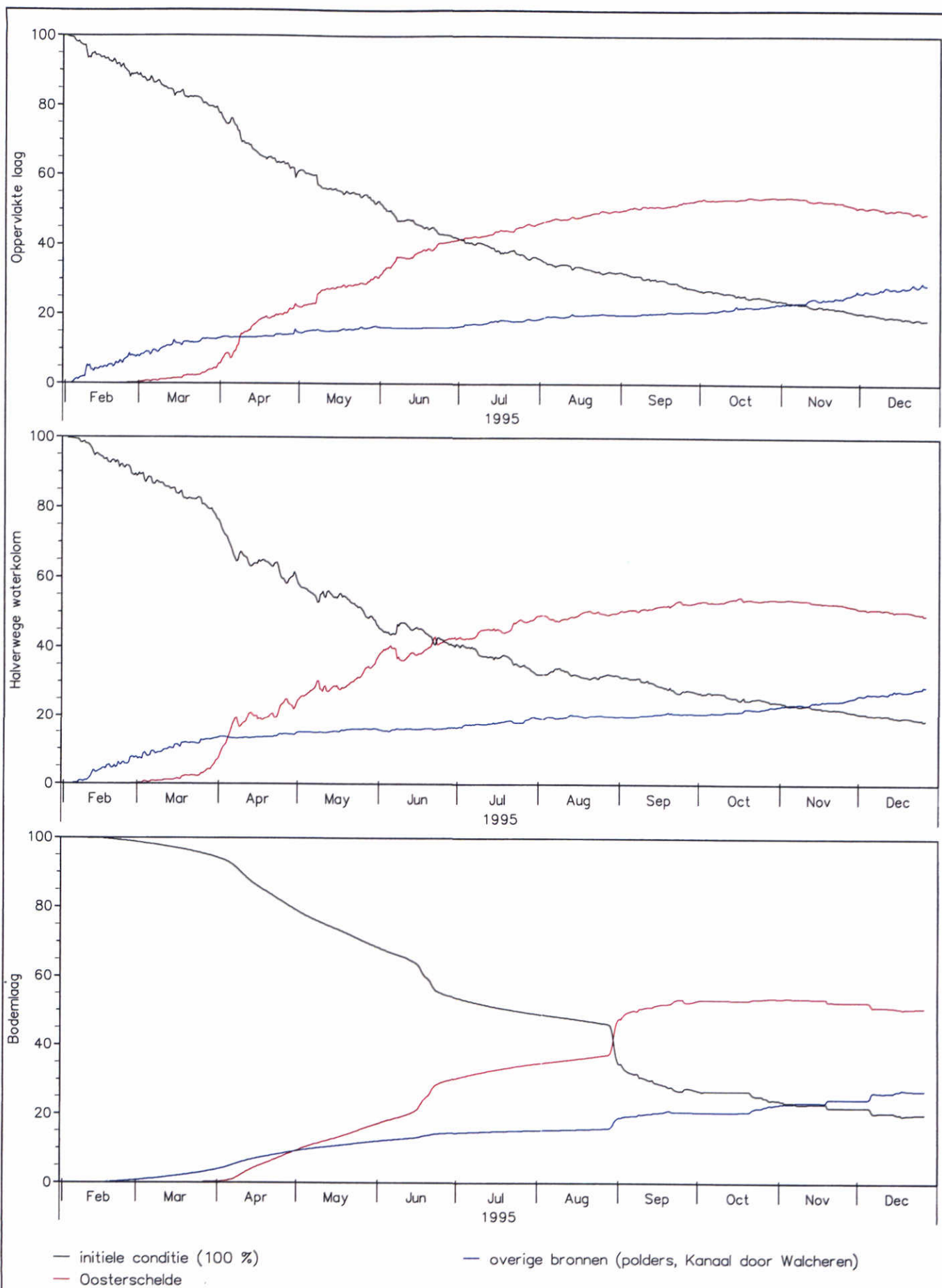
Tracers Soelekerke – percentuele afkomst van water in scenario 2

zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



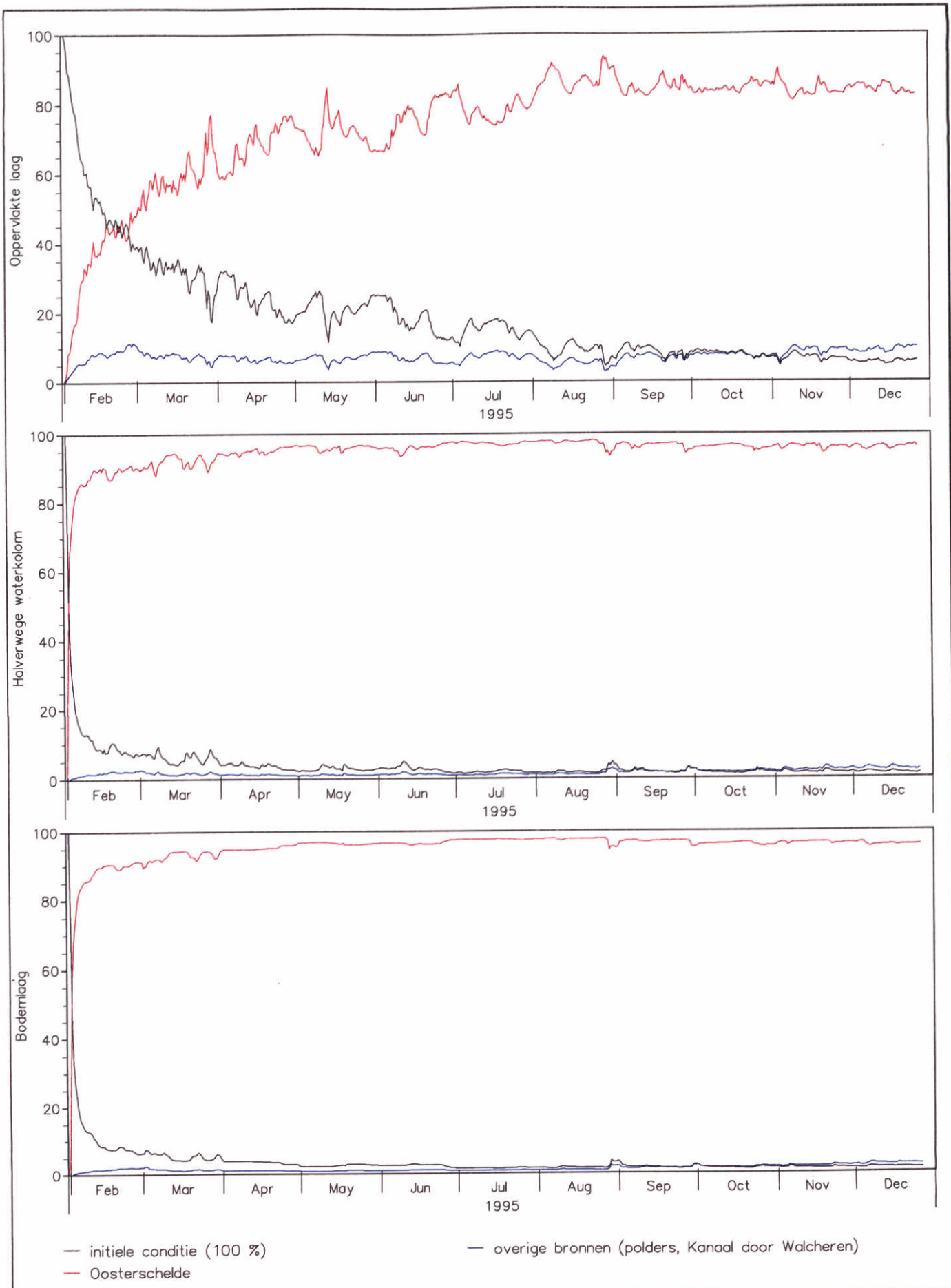
Tracers Vrouwenpolder – percentuele afkomst van water in scenario 2

zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921

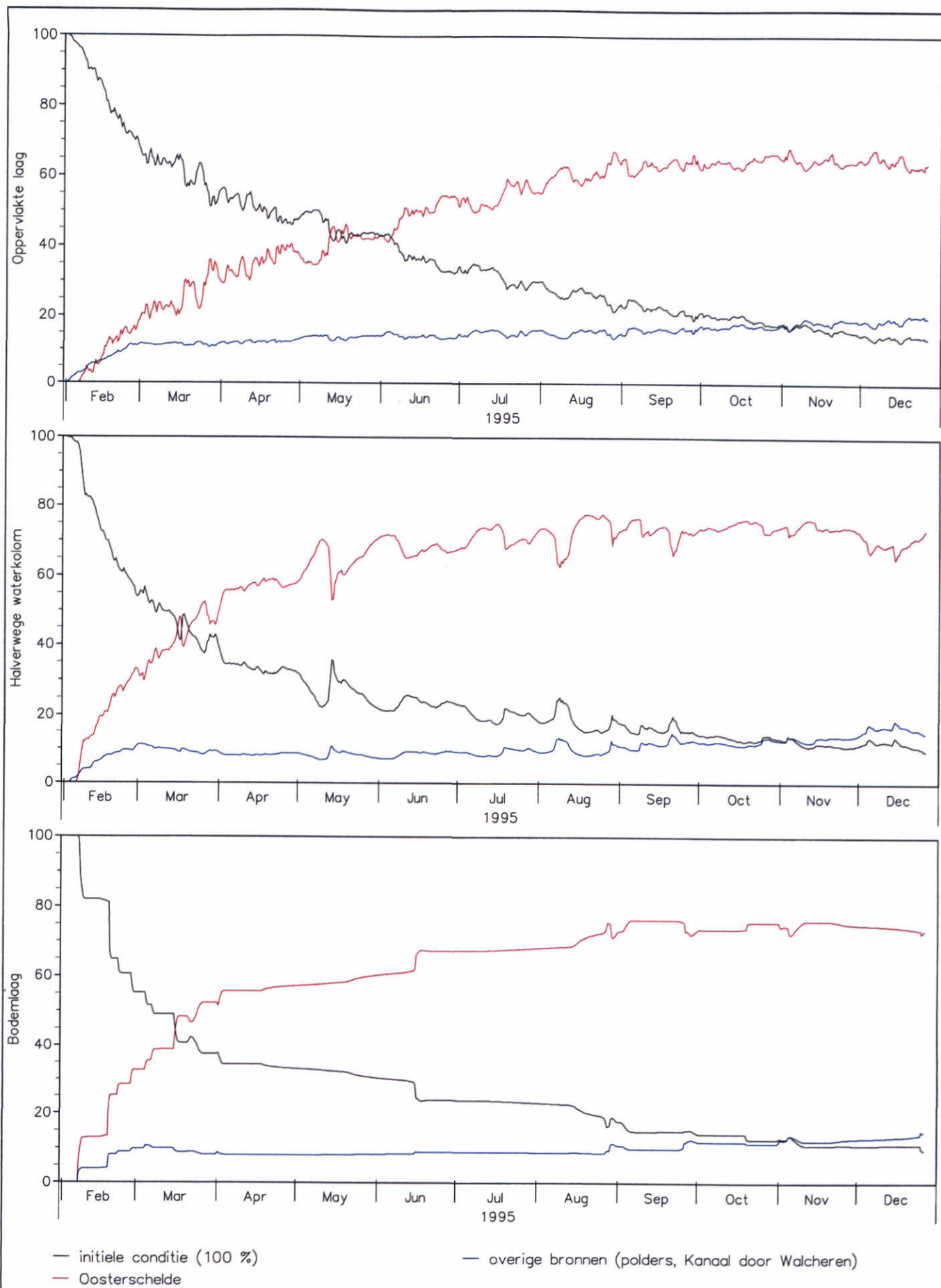
Veerse Meer



Tracers Zandkreek – percentuele afkomst van water in scenario 3  
 zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig  
 Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921  
 Veerse Meer





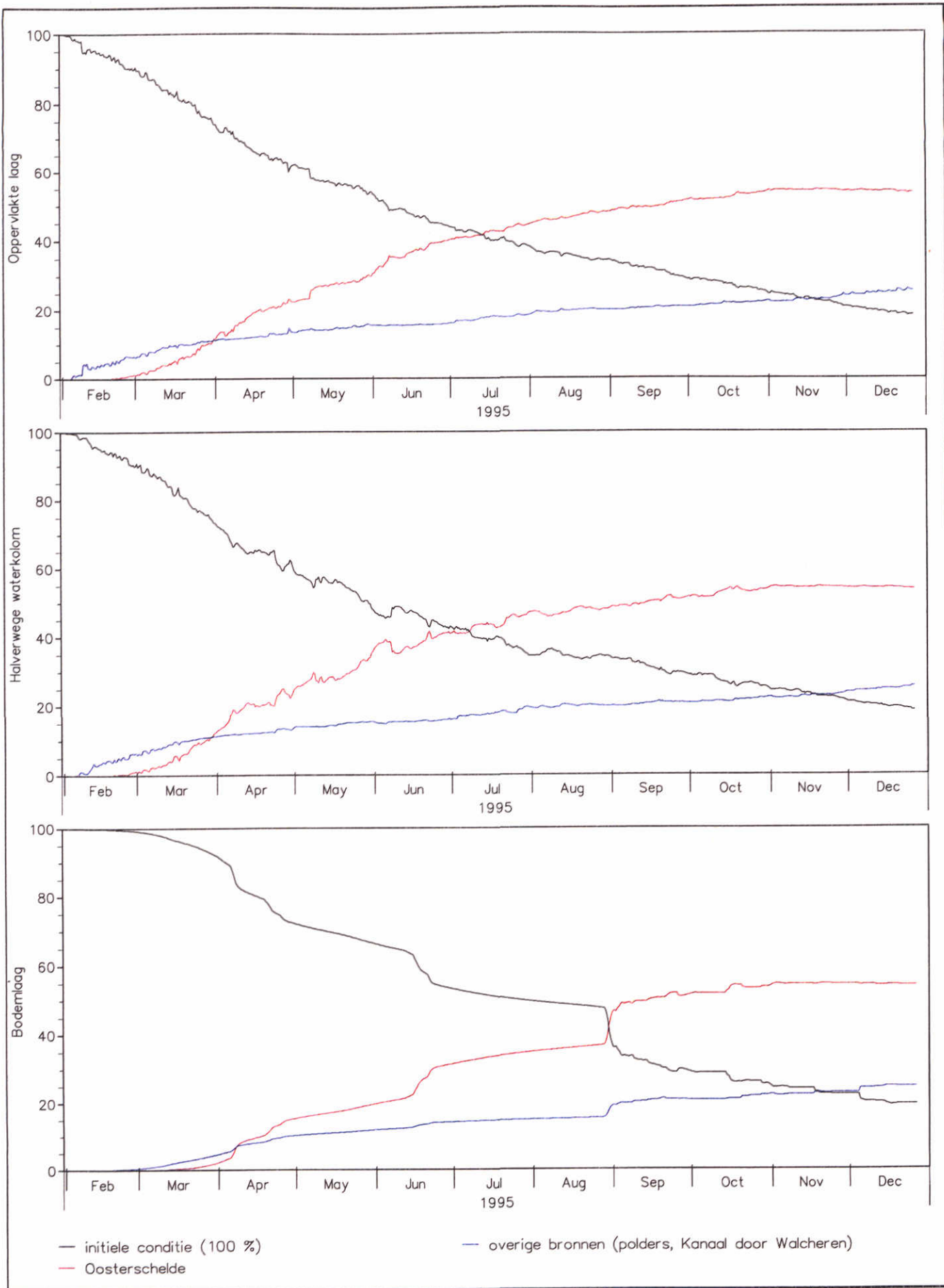
Tracers Soelekerke – percentuele afkomst van water in scenario 3

zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer

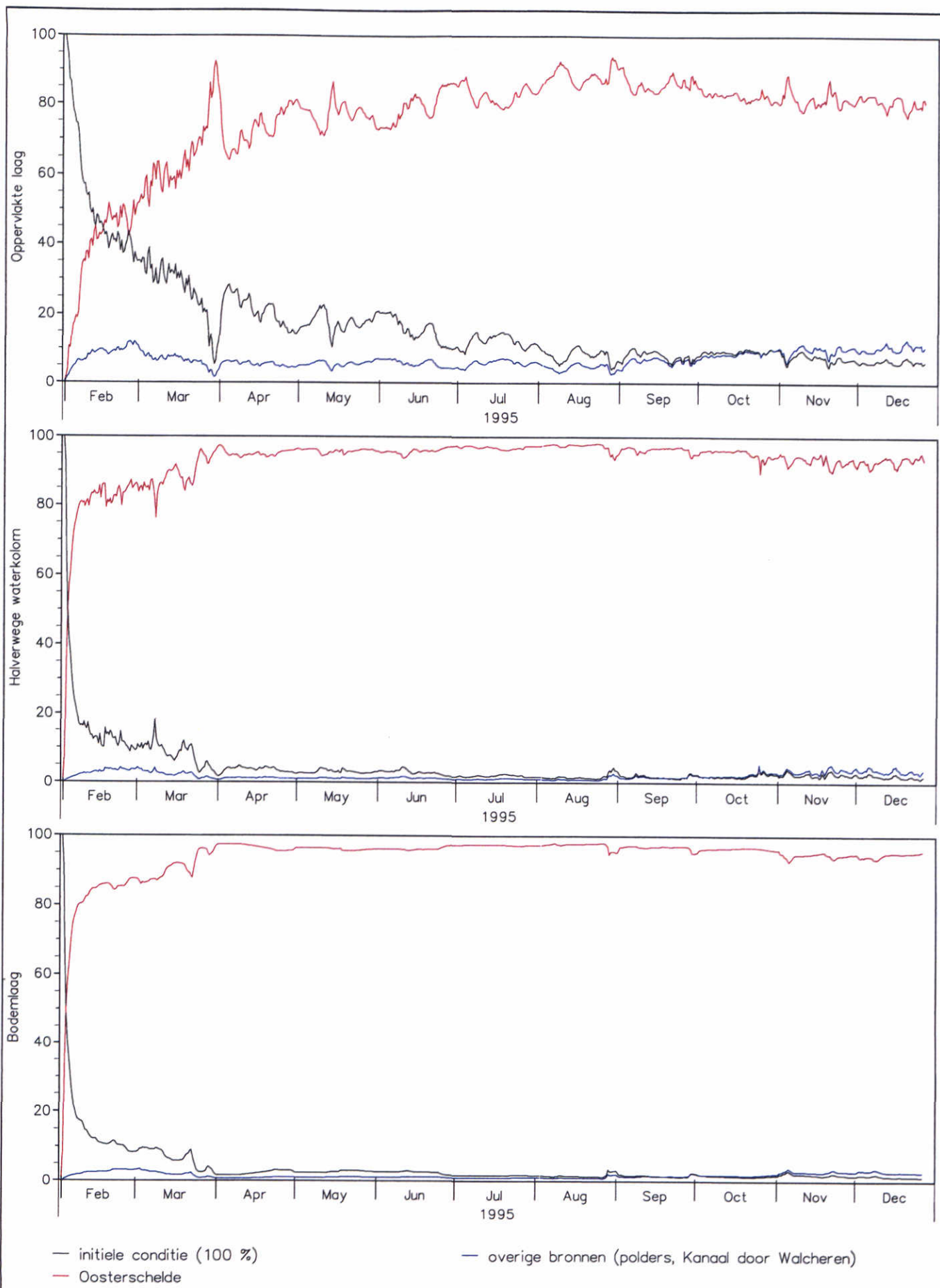


Tracers Vrouwenpolder – percentuele afkomst van water in scenario 3

zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921	
Veerse Meer	
Fig. 7.4c	



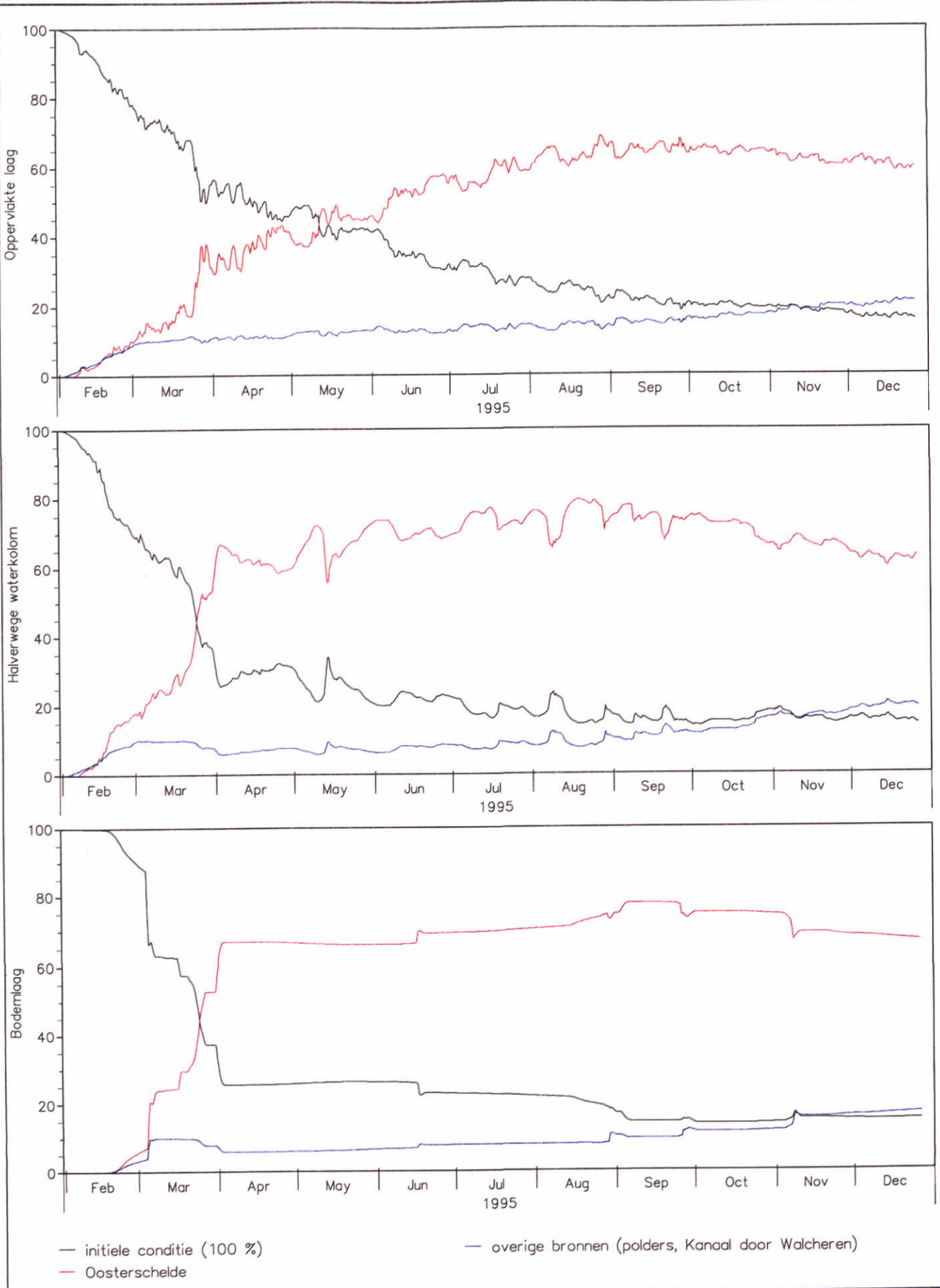
Tracers Zandkreek – percentuele afkomst van water in scenario 4

zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

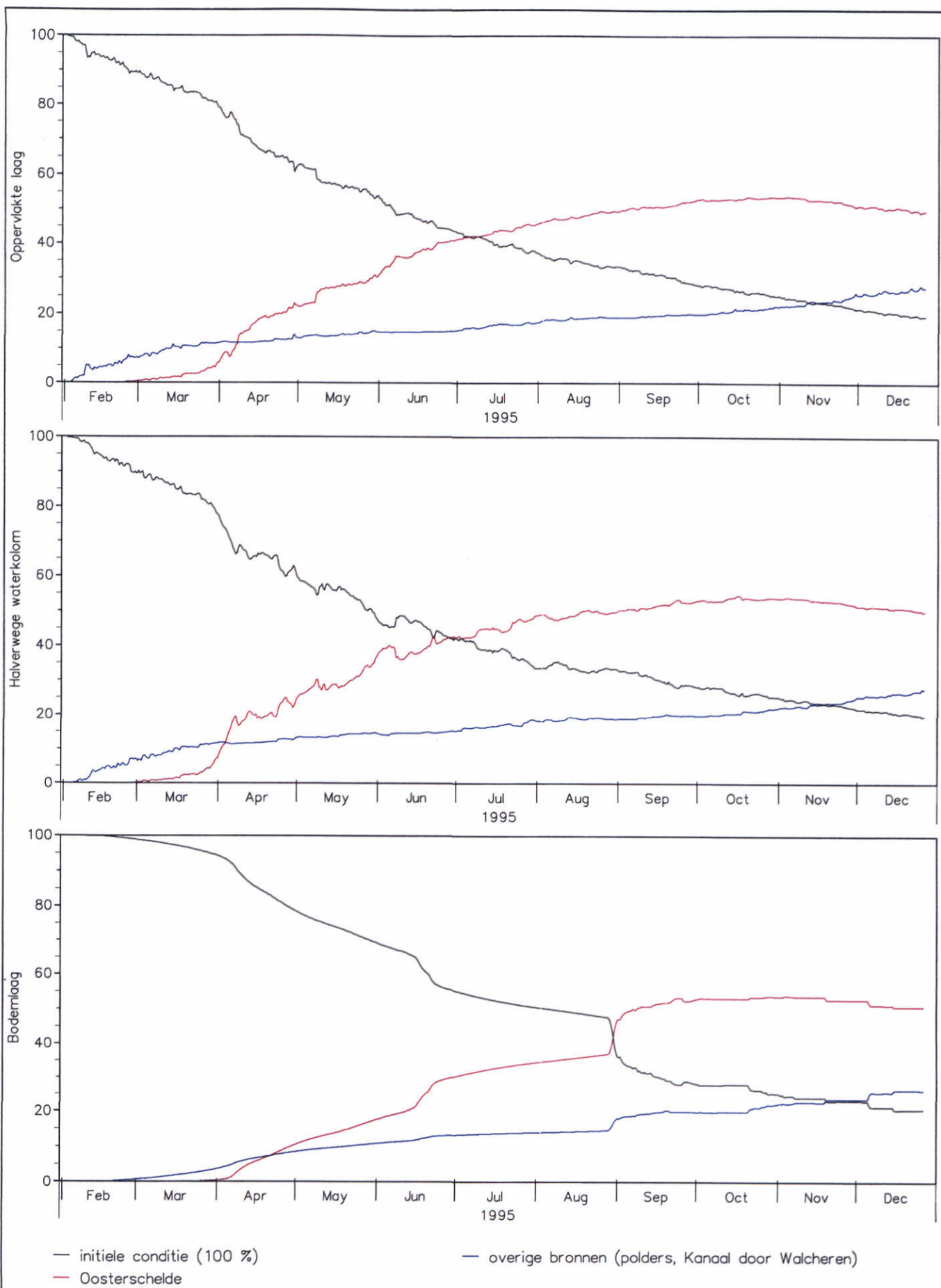
Z2921

Veerse Meer



Tracers Soelekerke – percentuele afkomst van water in scenario 4  
 zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig  
 Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921	
Veerse Meer	



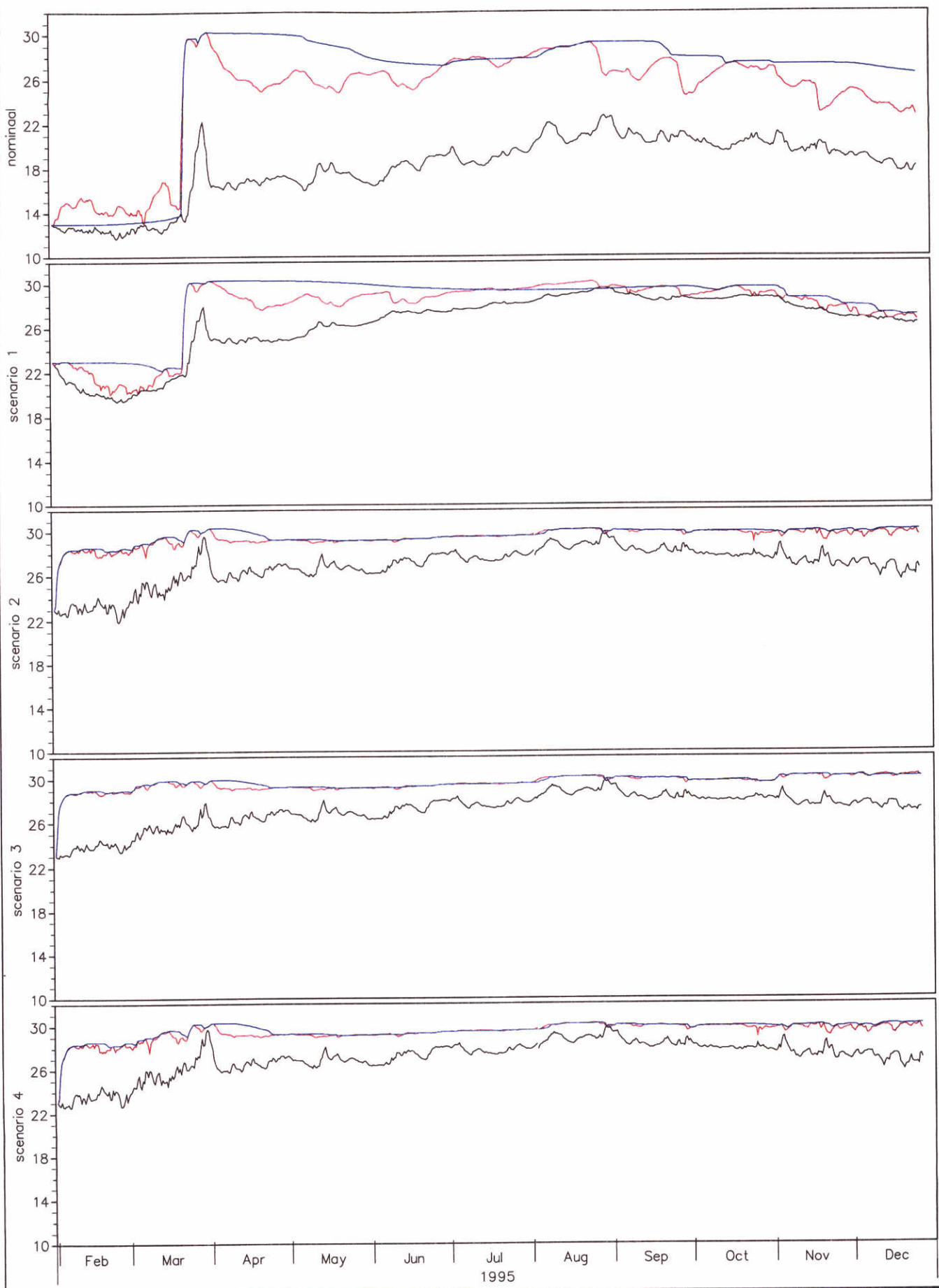
Tracers Vrouwenpolder – percentuele afkomst van water in scenario 4

zwart: initieel; rood: Oosterschelde; blauw: overig

Boven: oppervlakte laag; Midden: halverwege waterkolom; Onder: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



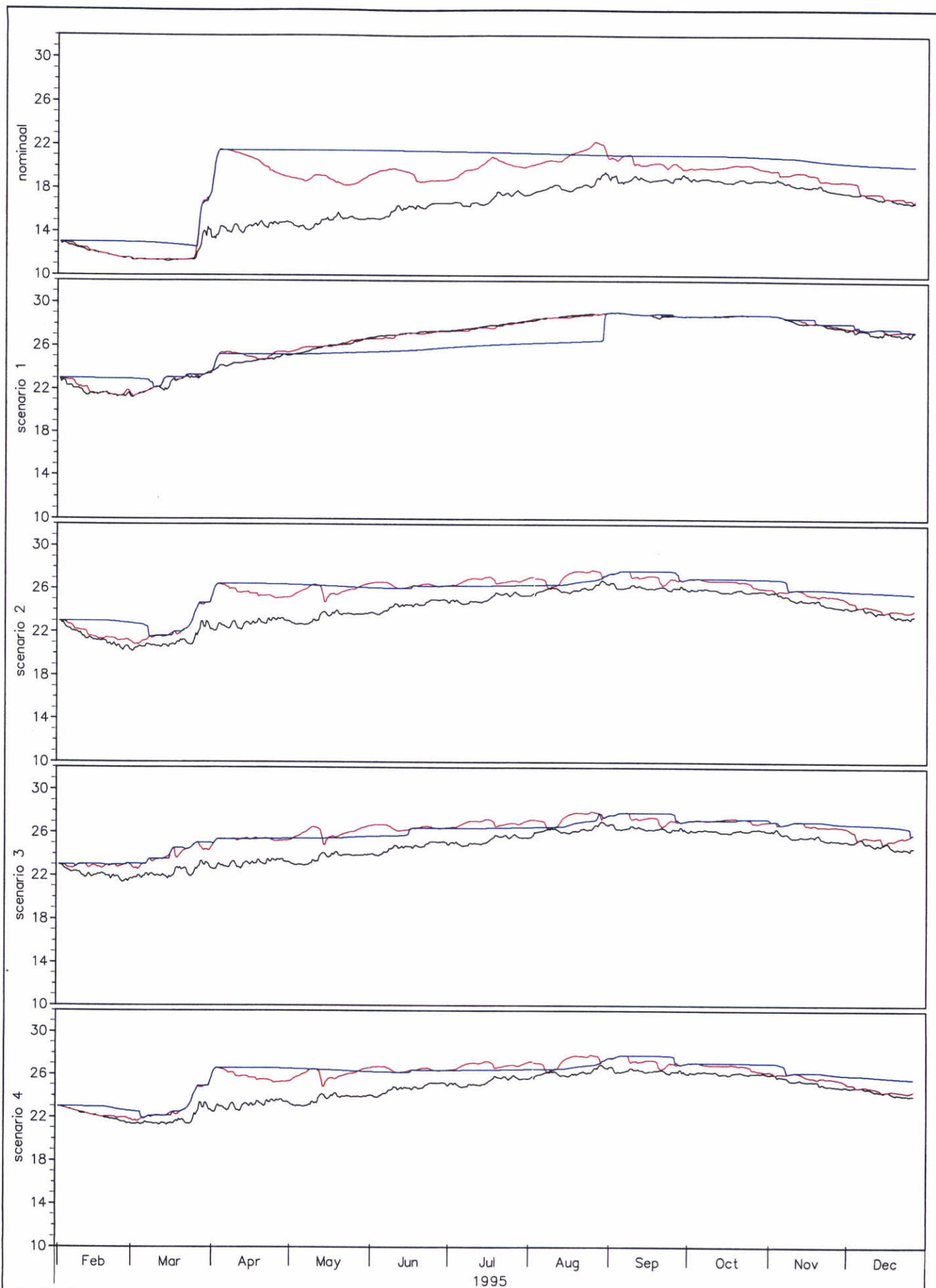
Saliniteit (ppt) – Zandkreek

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



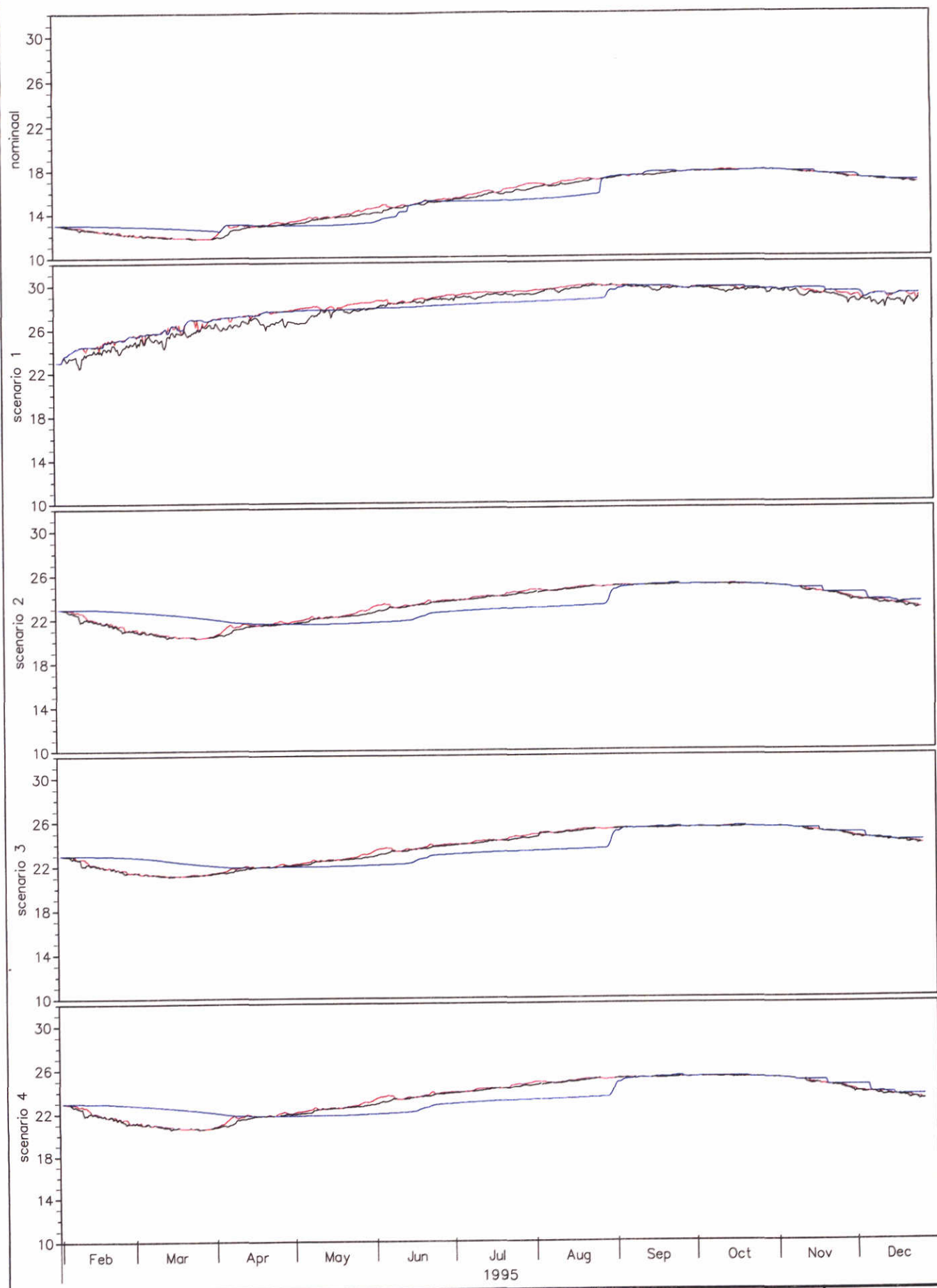
Saliniteit (ppt) – Soelekerk

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

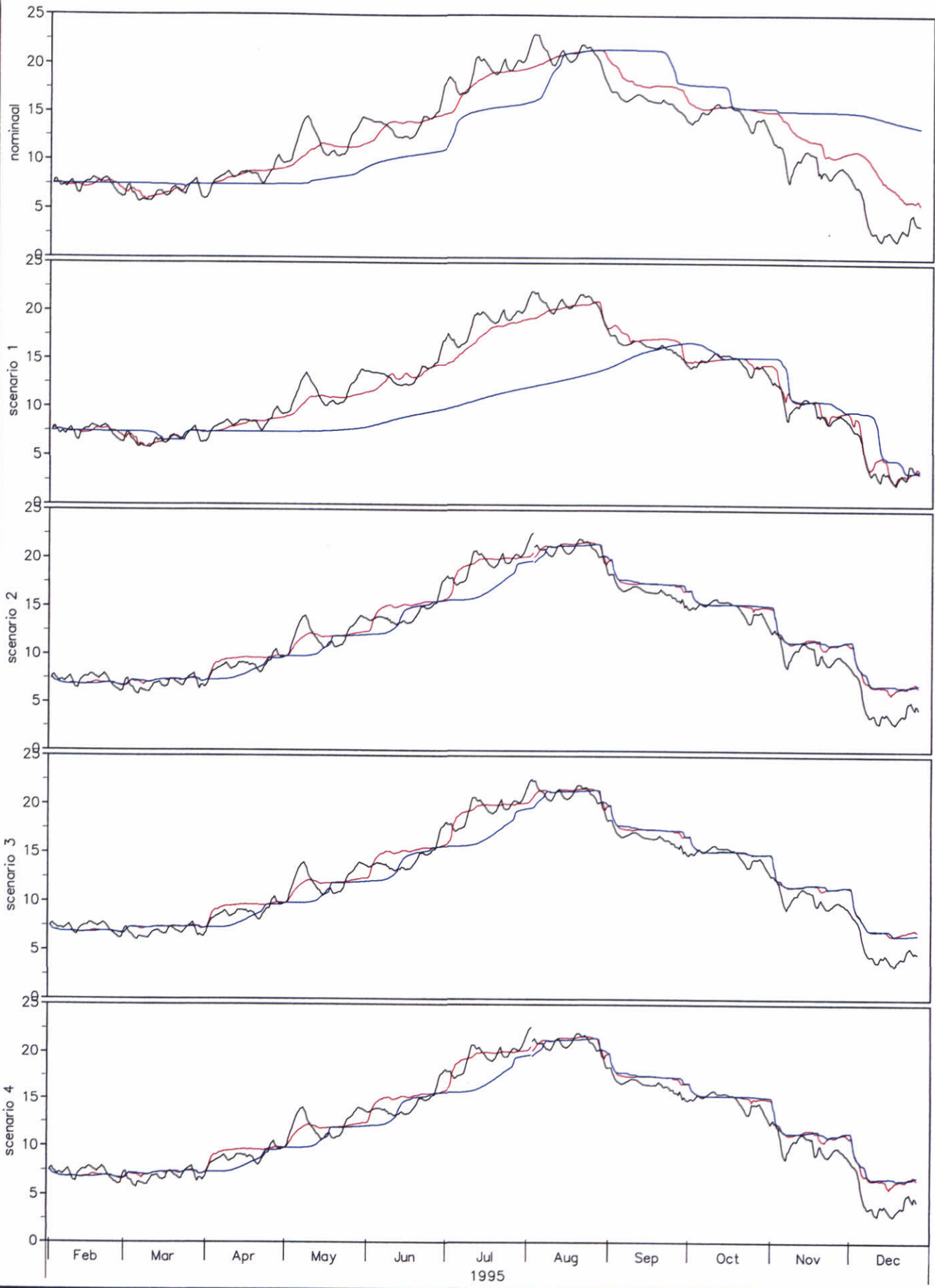
Veerse Meer



Saliniteit (ppt) – Vrouwenpolder  
 Vergelijking nominale en scenario berekeningen  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

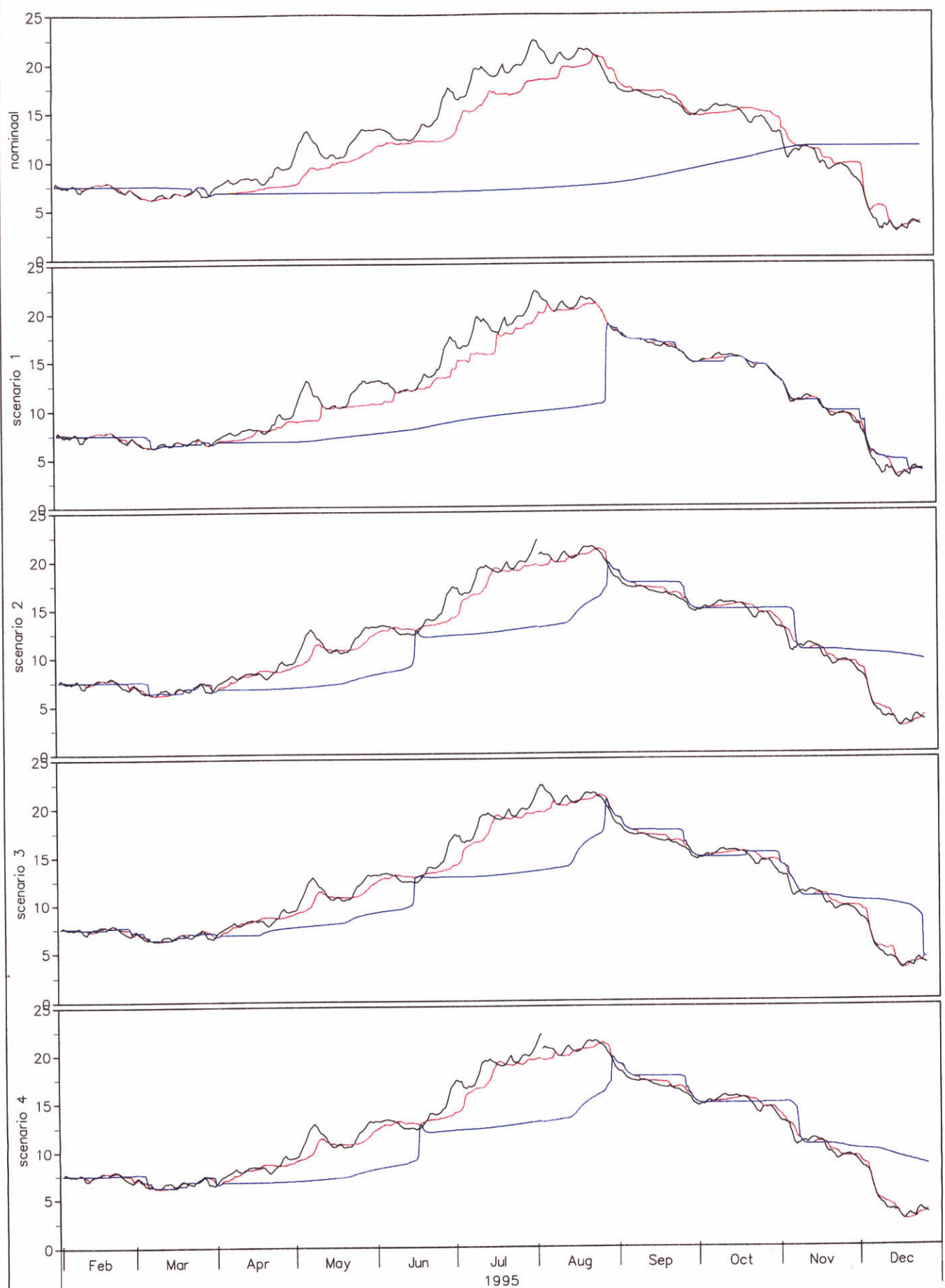
Z2921  
 Veerse Meer





Temperatuur (oC) – Zandkreek  
 Vergelijking nominale en scenario berekeningen  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

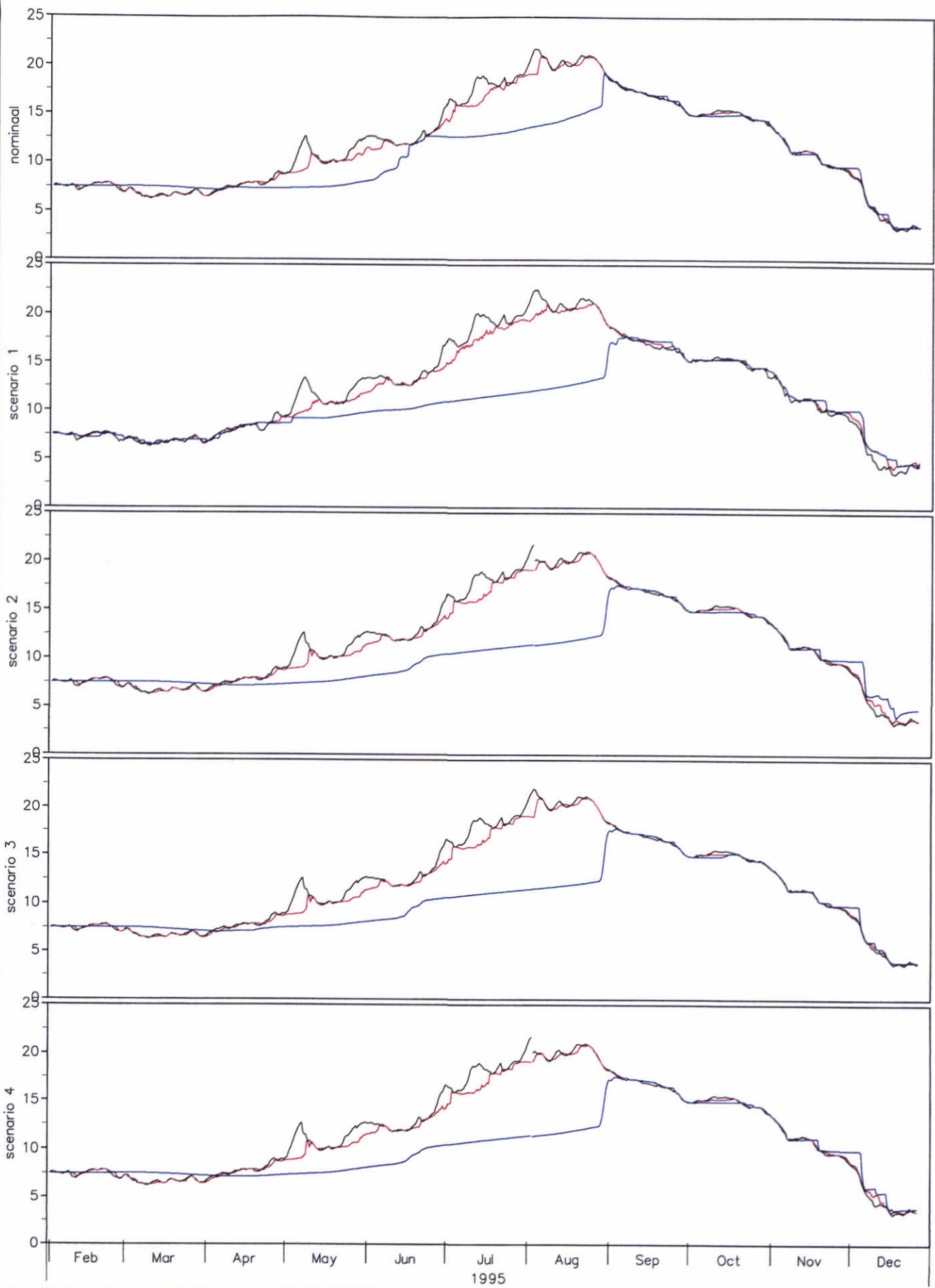
Z2921  
 Veerse Meer



Temperatuur (oC) – Soelekerk  
 Vergelijking nominale en scenario berekeningen  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemiaag

Z2921

Veerse Meer



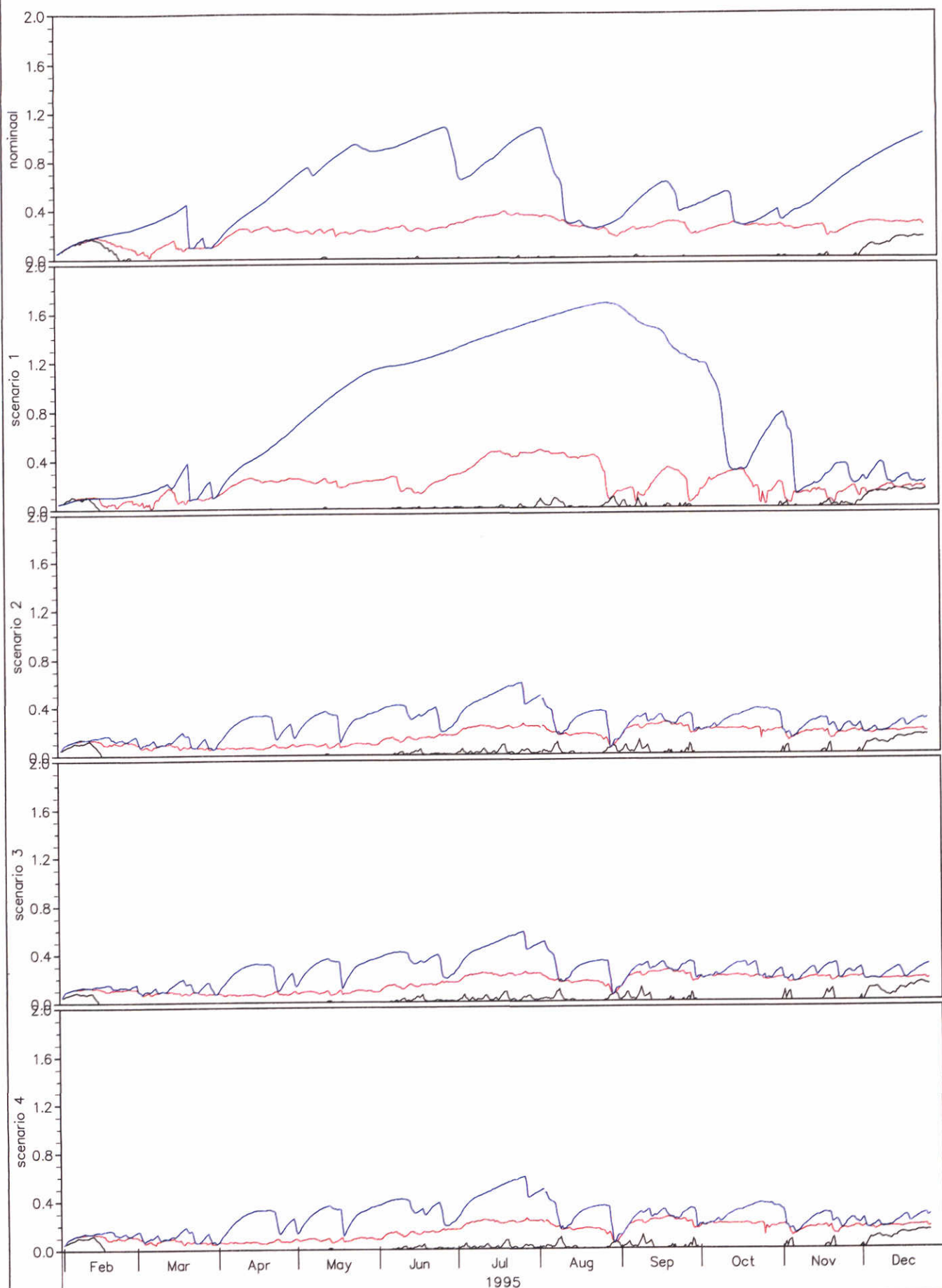
Temperatuur (oC) – Vrouwenpolder

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



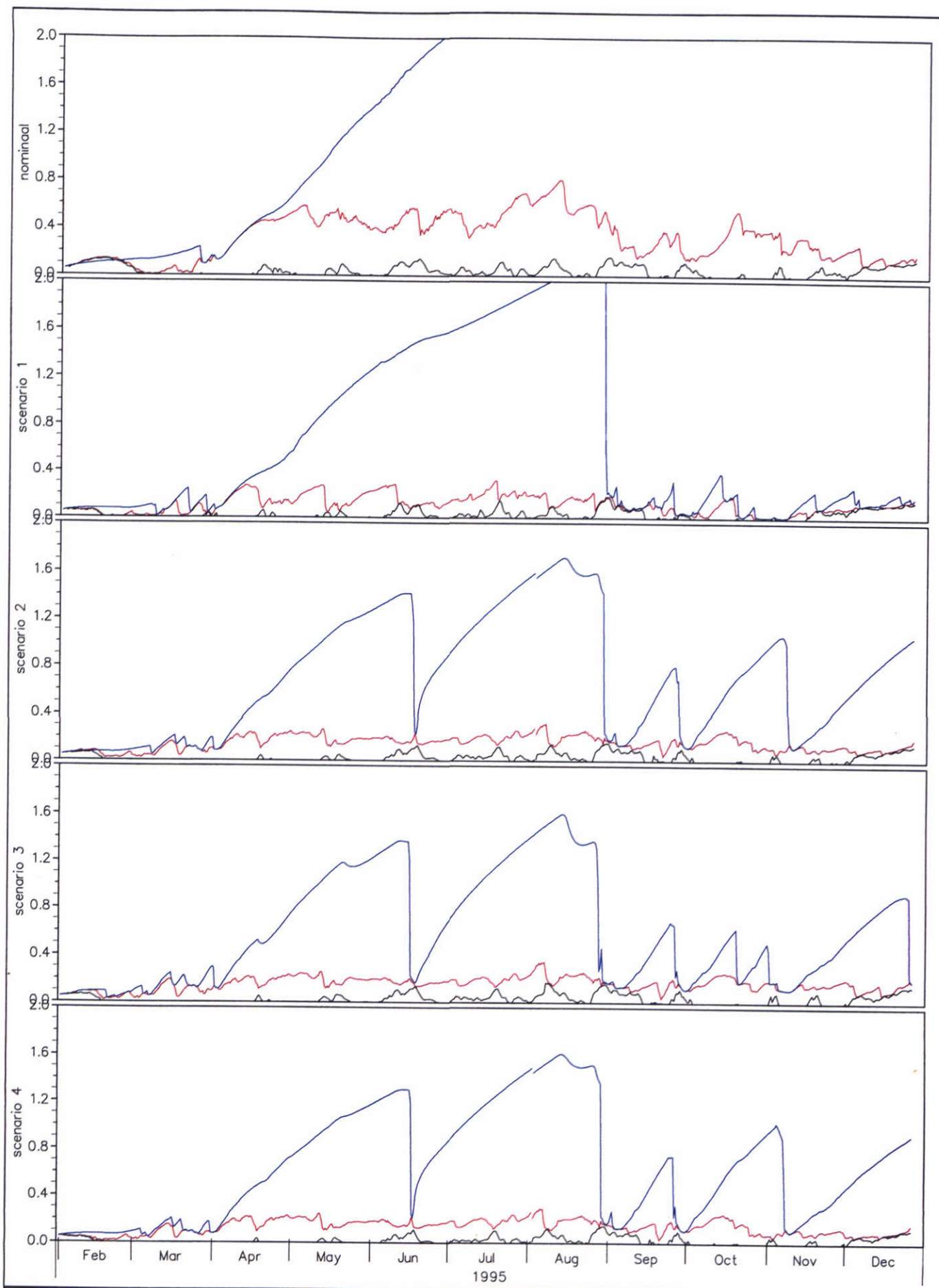
Ammonium (mg N/l) – Zandkreek

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppeervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



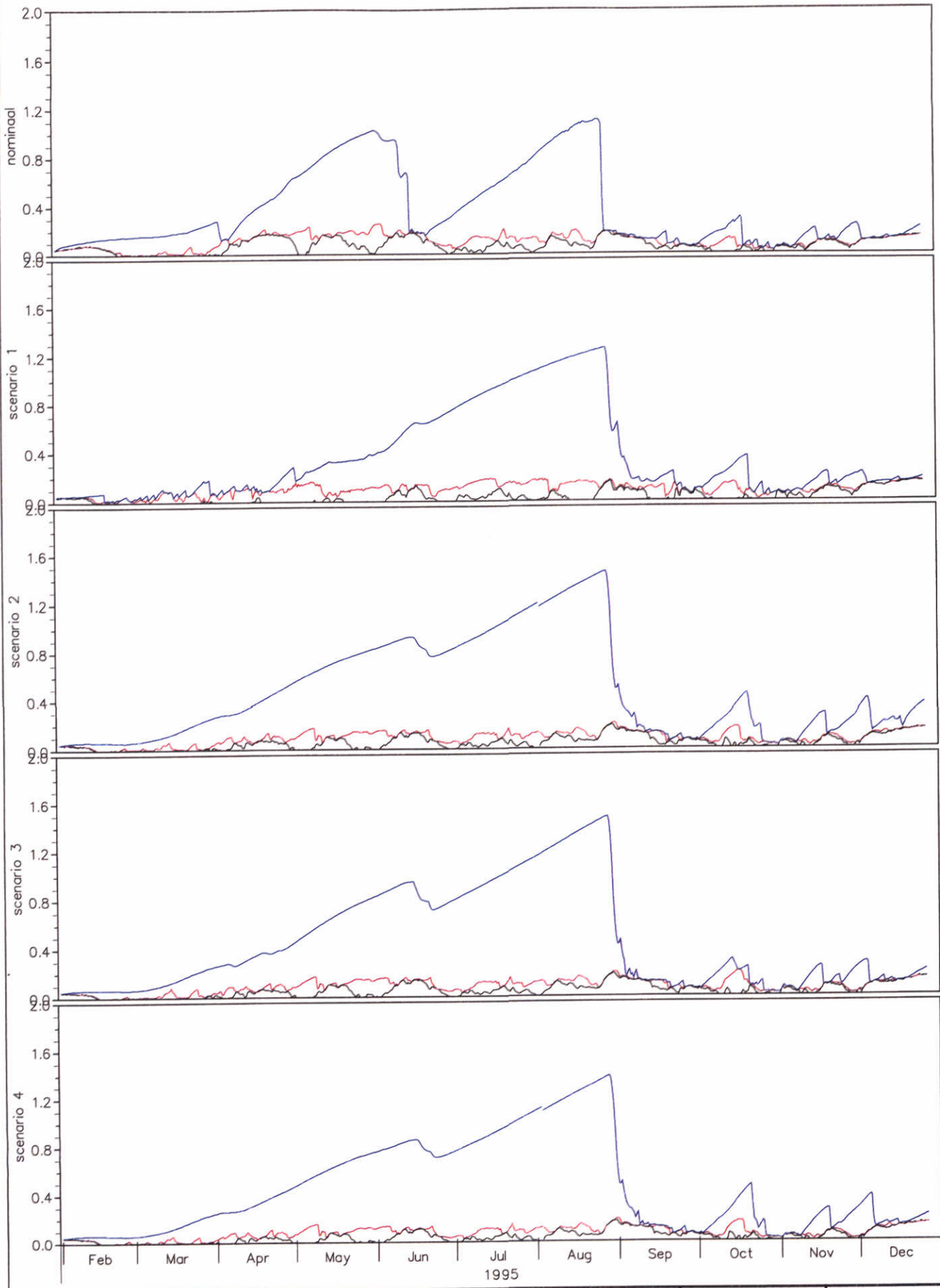
Ammonium (mg N/l) – Soelekerk

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

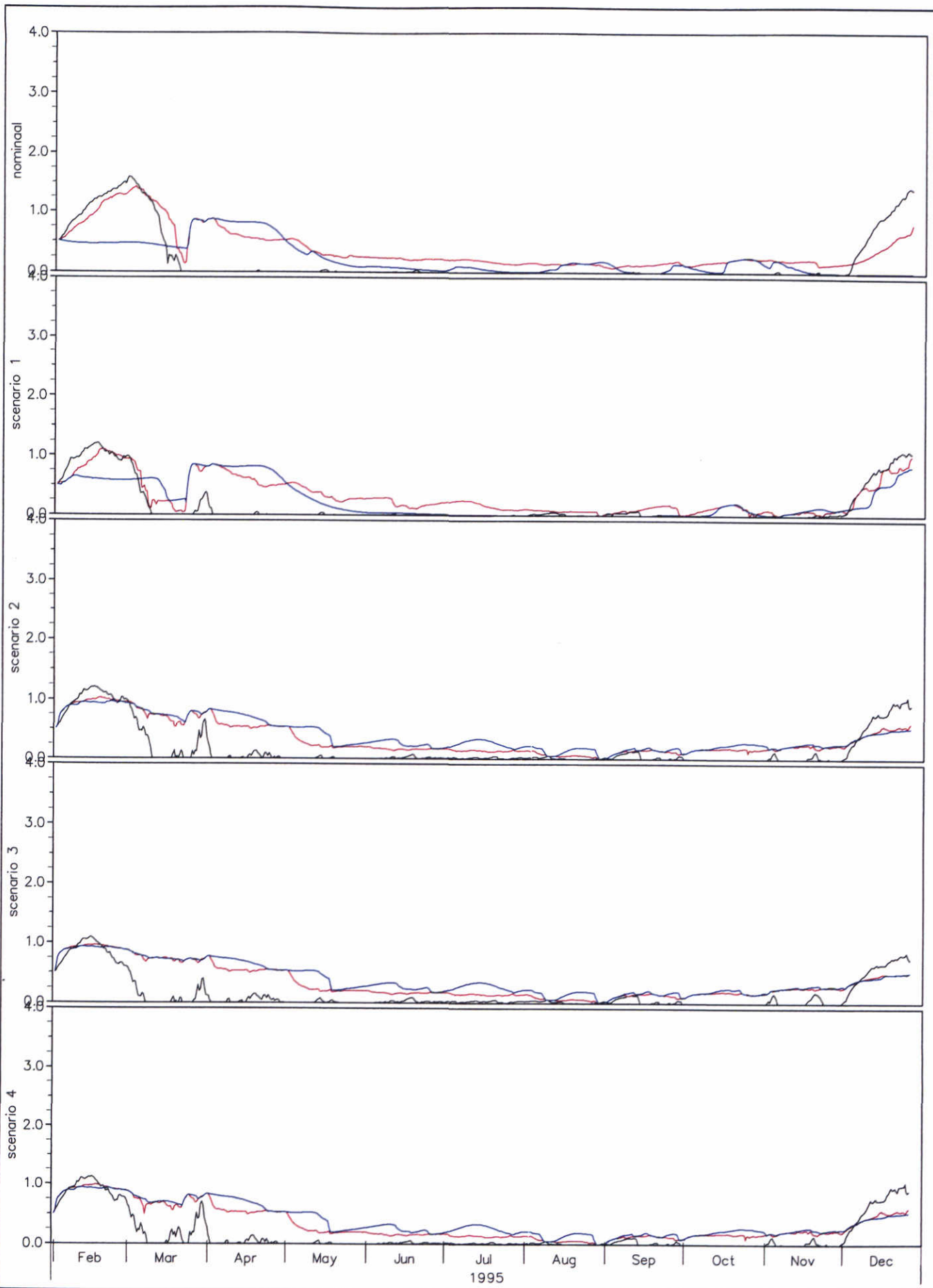
Veerse Meer



Ammonium (mg N/l) – Vrouwenpolder  
 Vergelijking nominale en scenario berekeningen  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



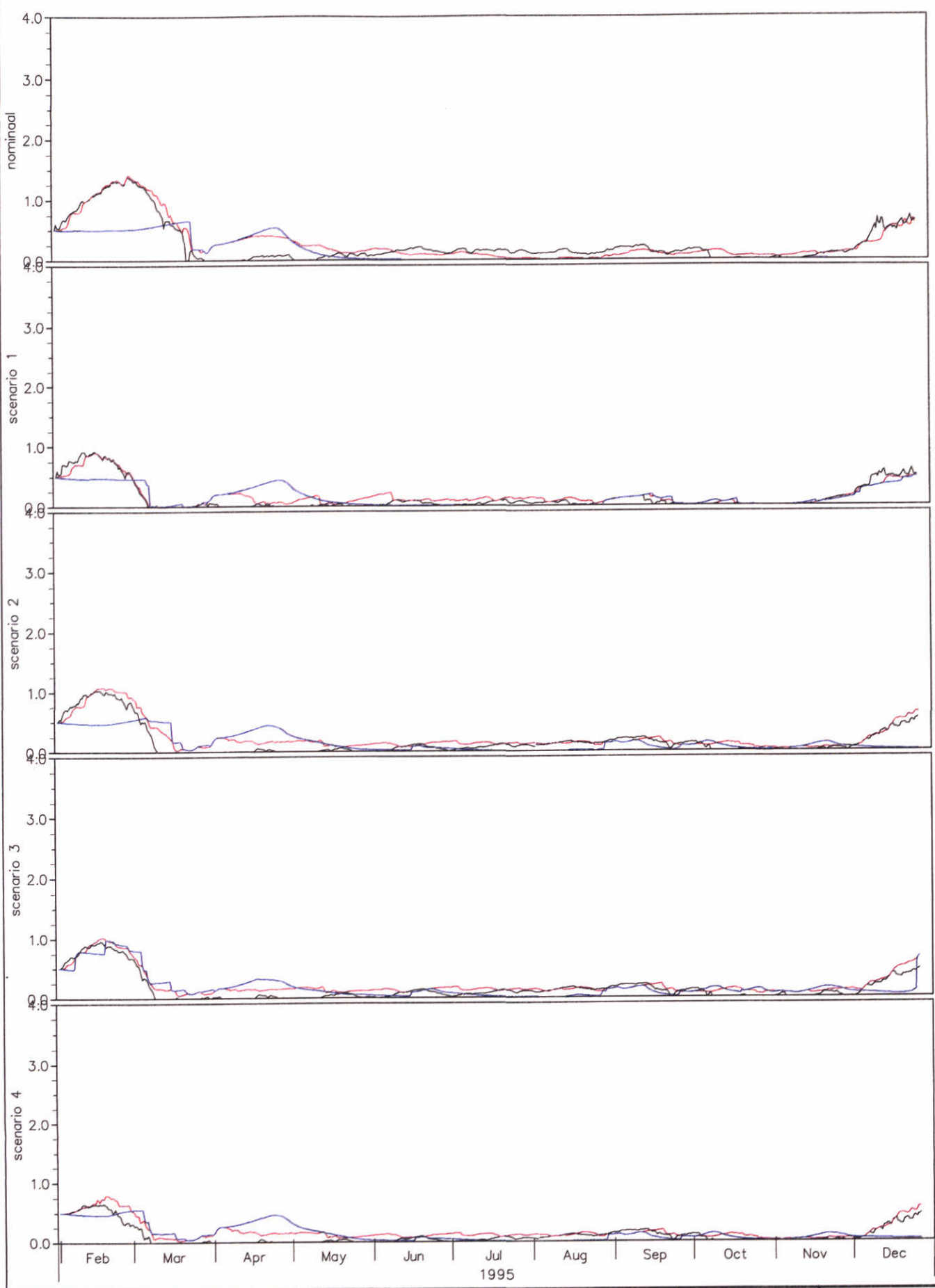
Nitrat (mg N/l) – Zandkreek

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer

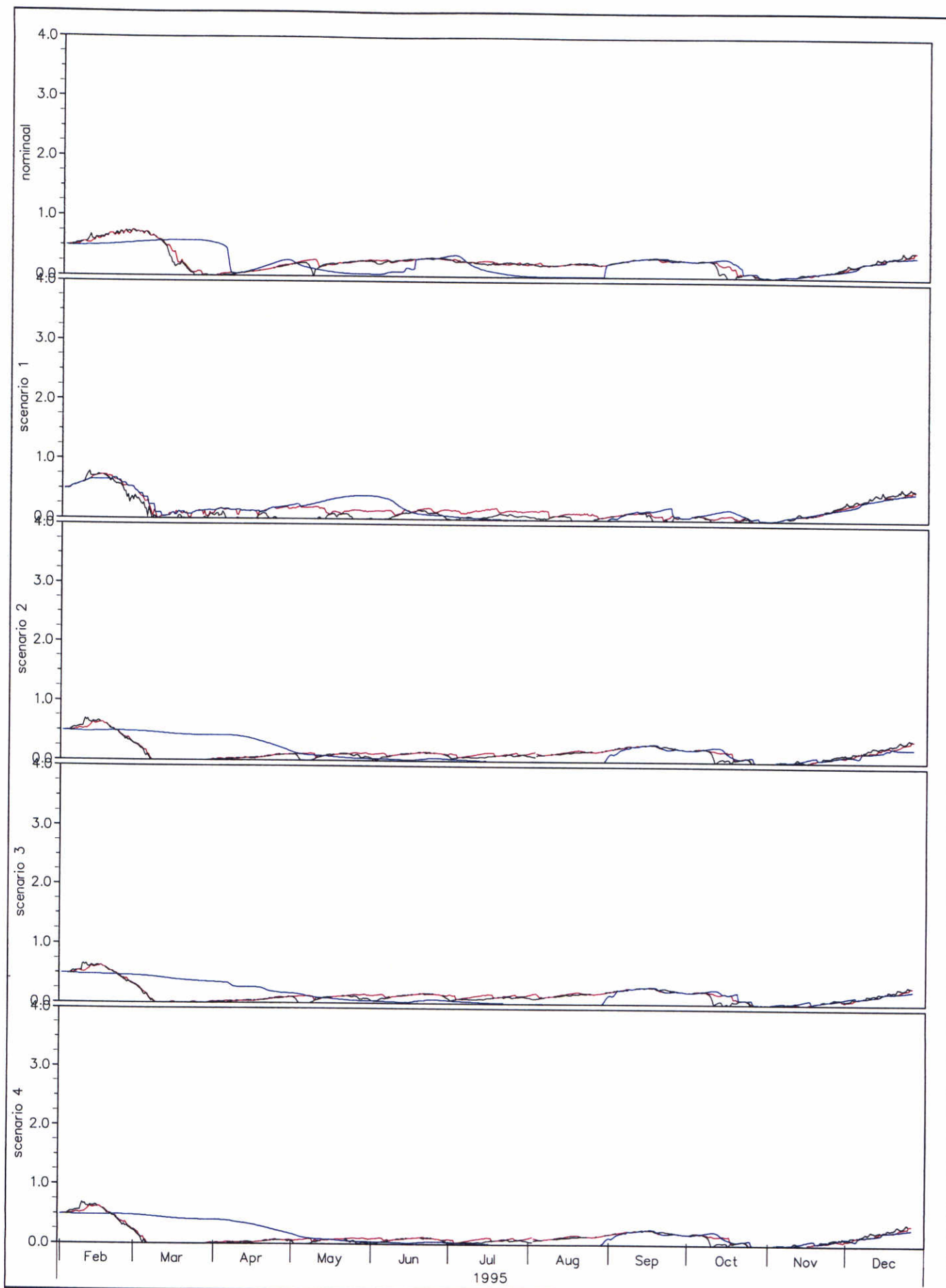


Nitraat (mg N/l) – Soelekerk  
 Vergelijking nominale en scenario berekeningen  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer





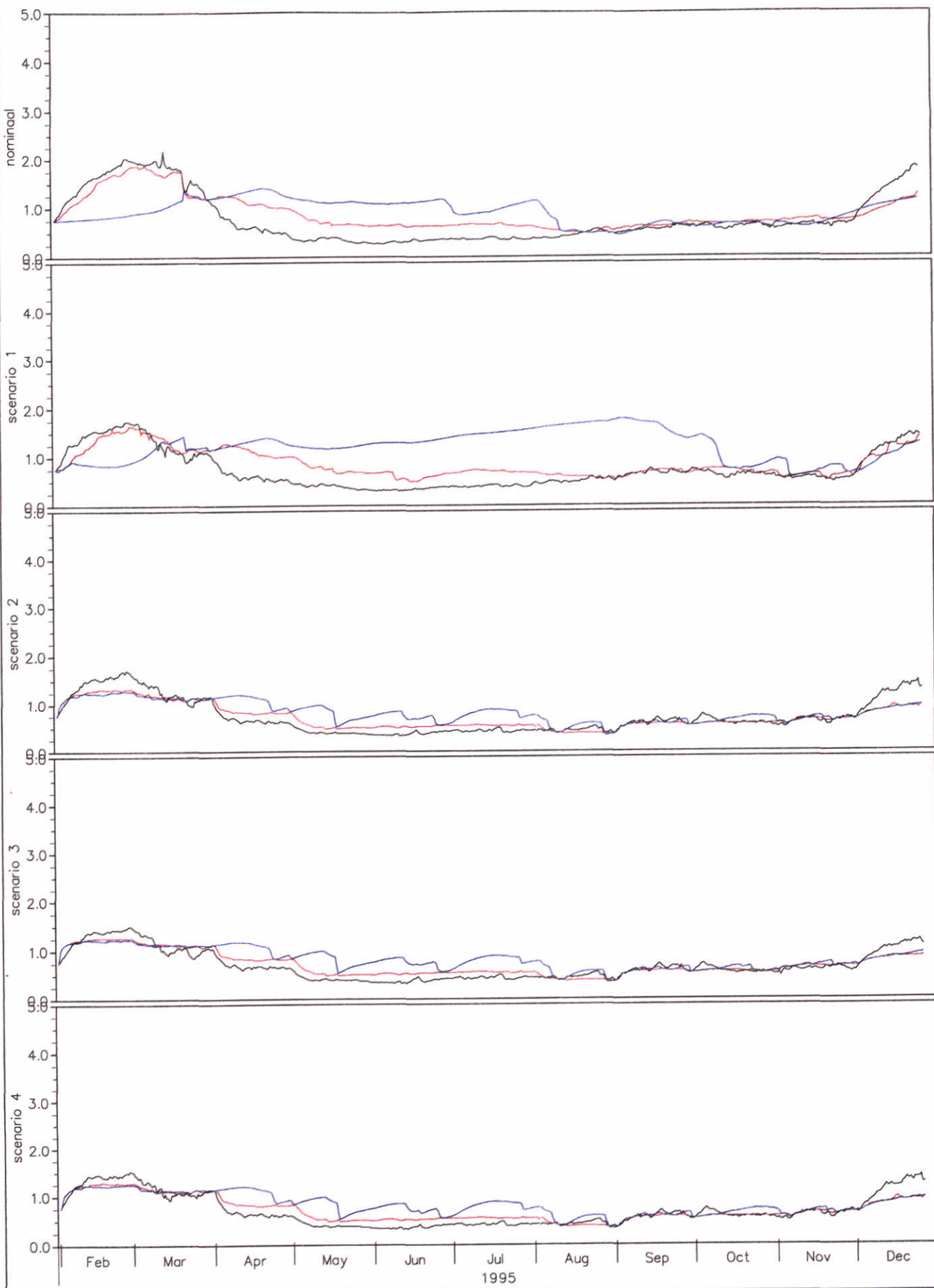
Nitraat (mg N/l) – Vrouwenpolder

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



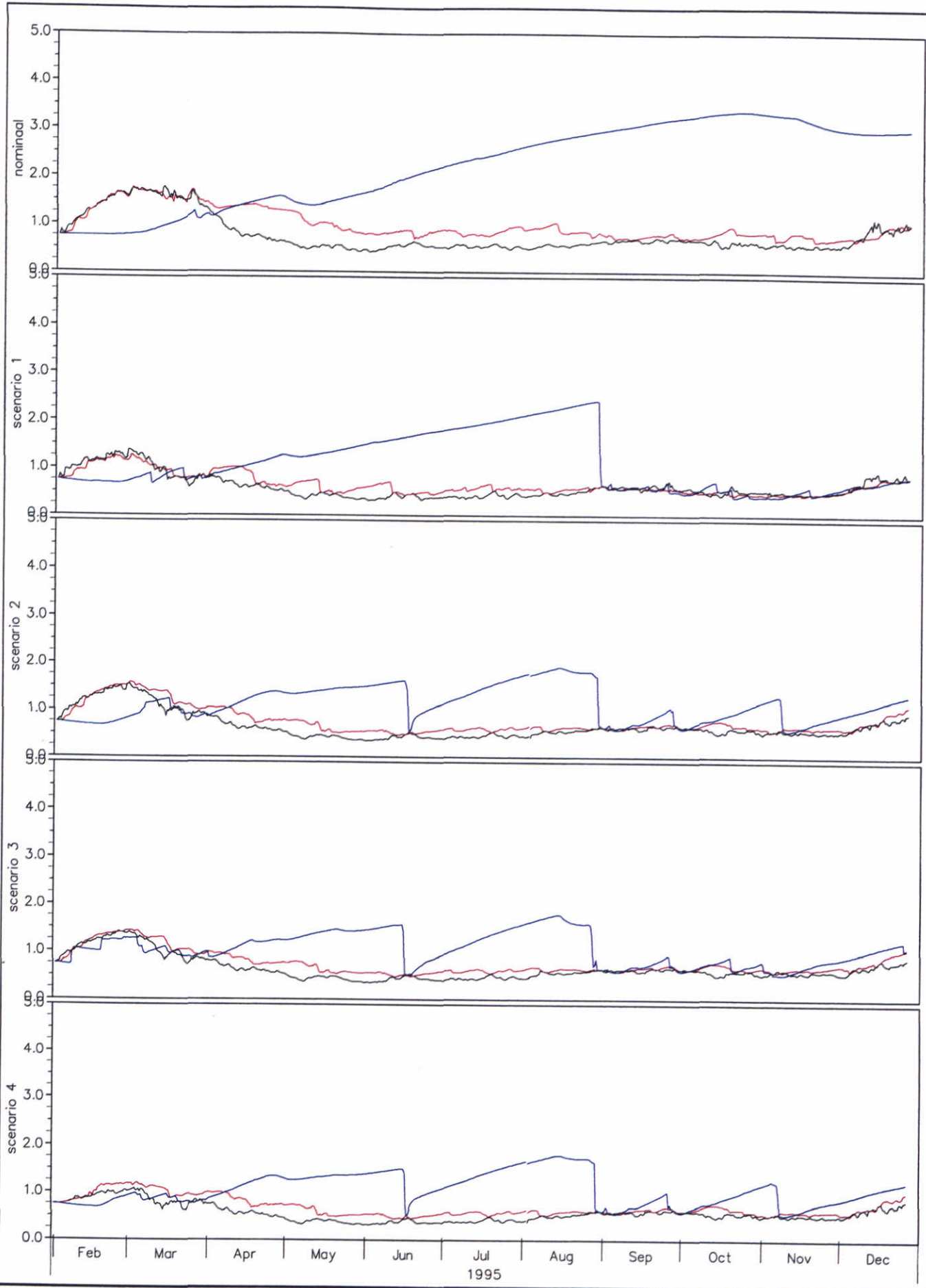
Totaal stikstof (mg N/l) – Zandkreek

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



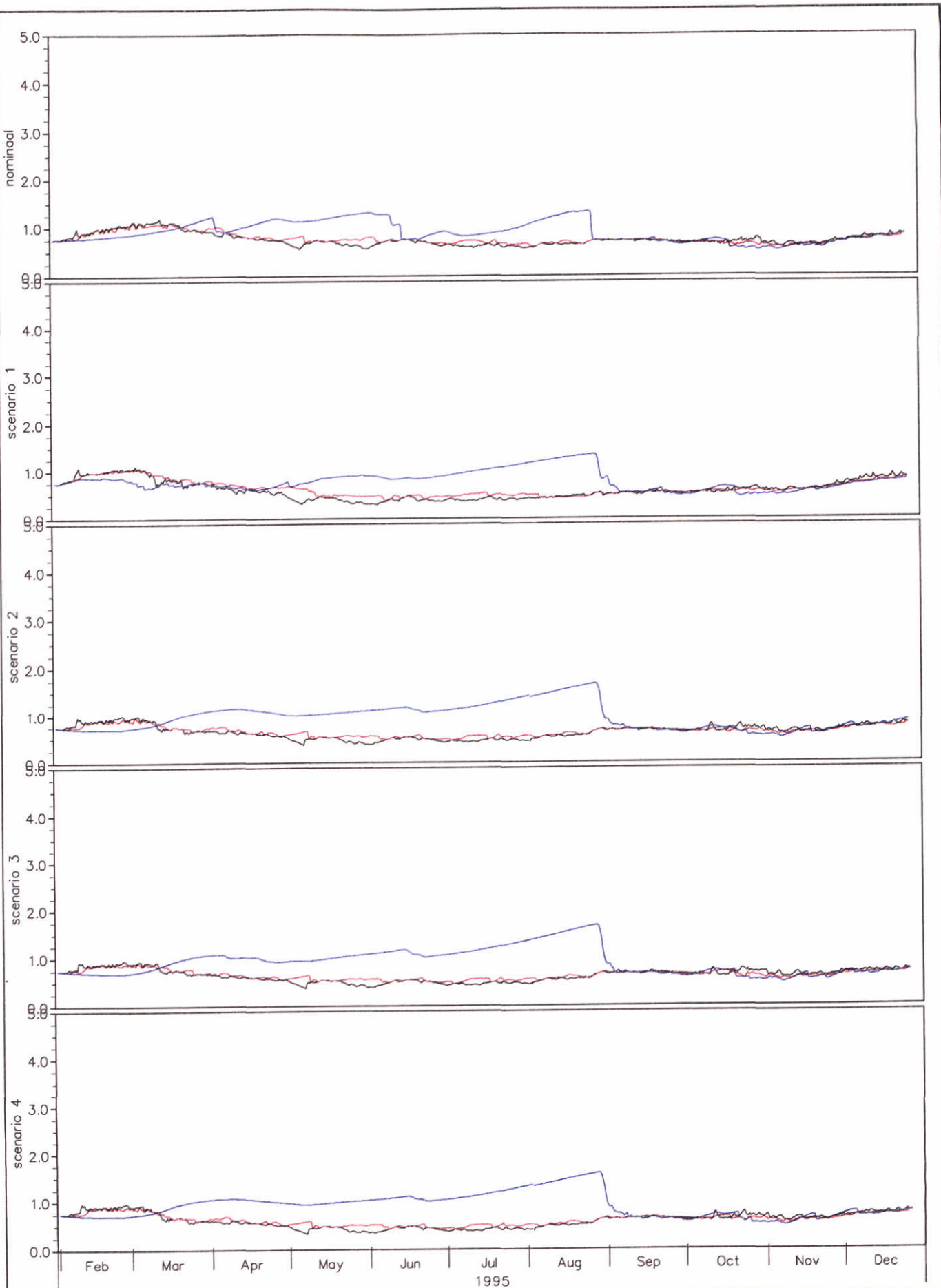
Totaal stikstof (mg N/l) – Soelekerk

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

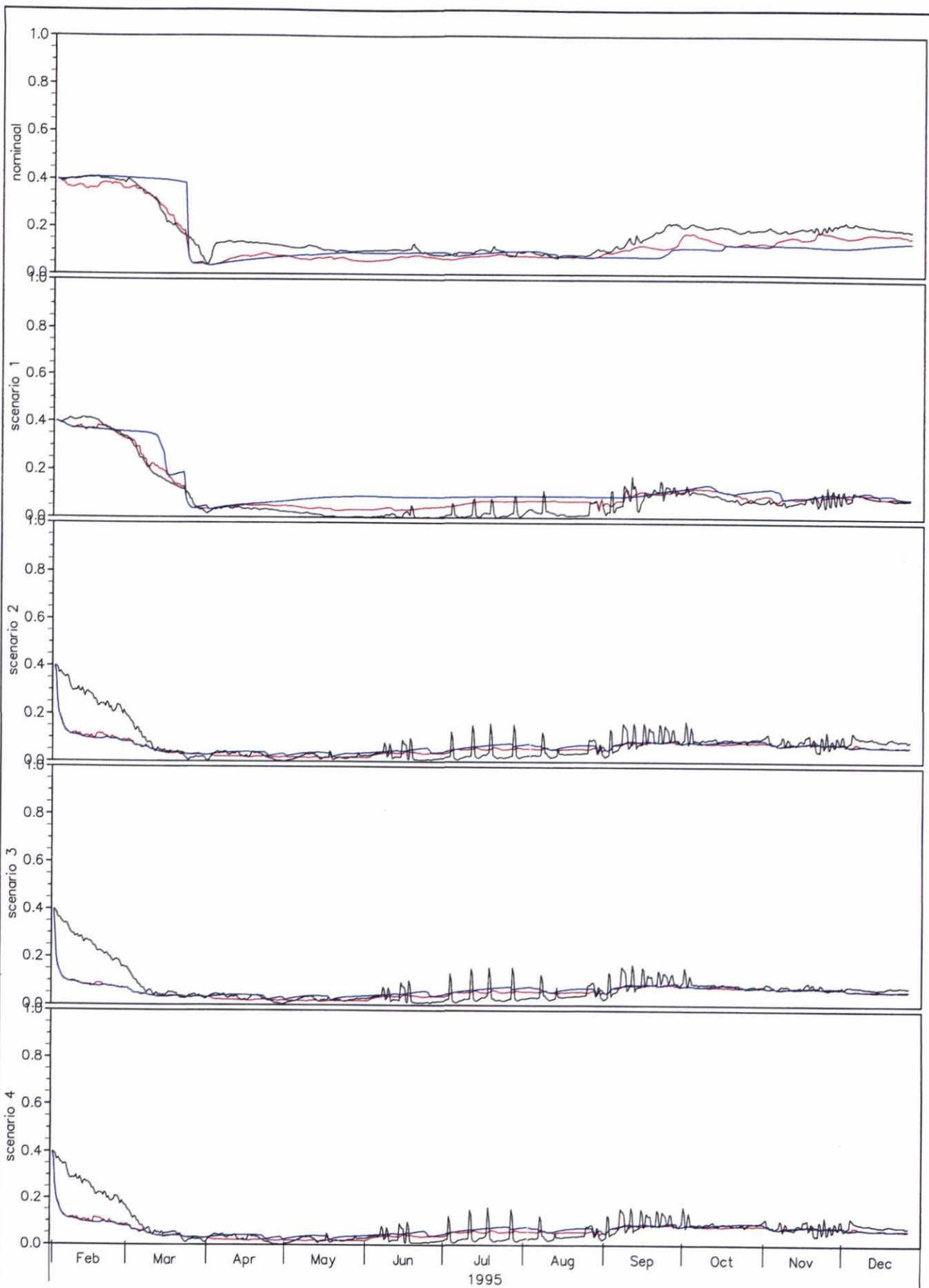
Z2921

Veerse Meer



Totaal stikstof (mg N/l) – Vrouwenpolder  
 Vergelijking nominale en scenario berekeningen  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921  
 Veerse Meer



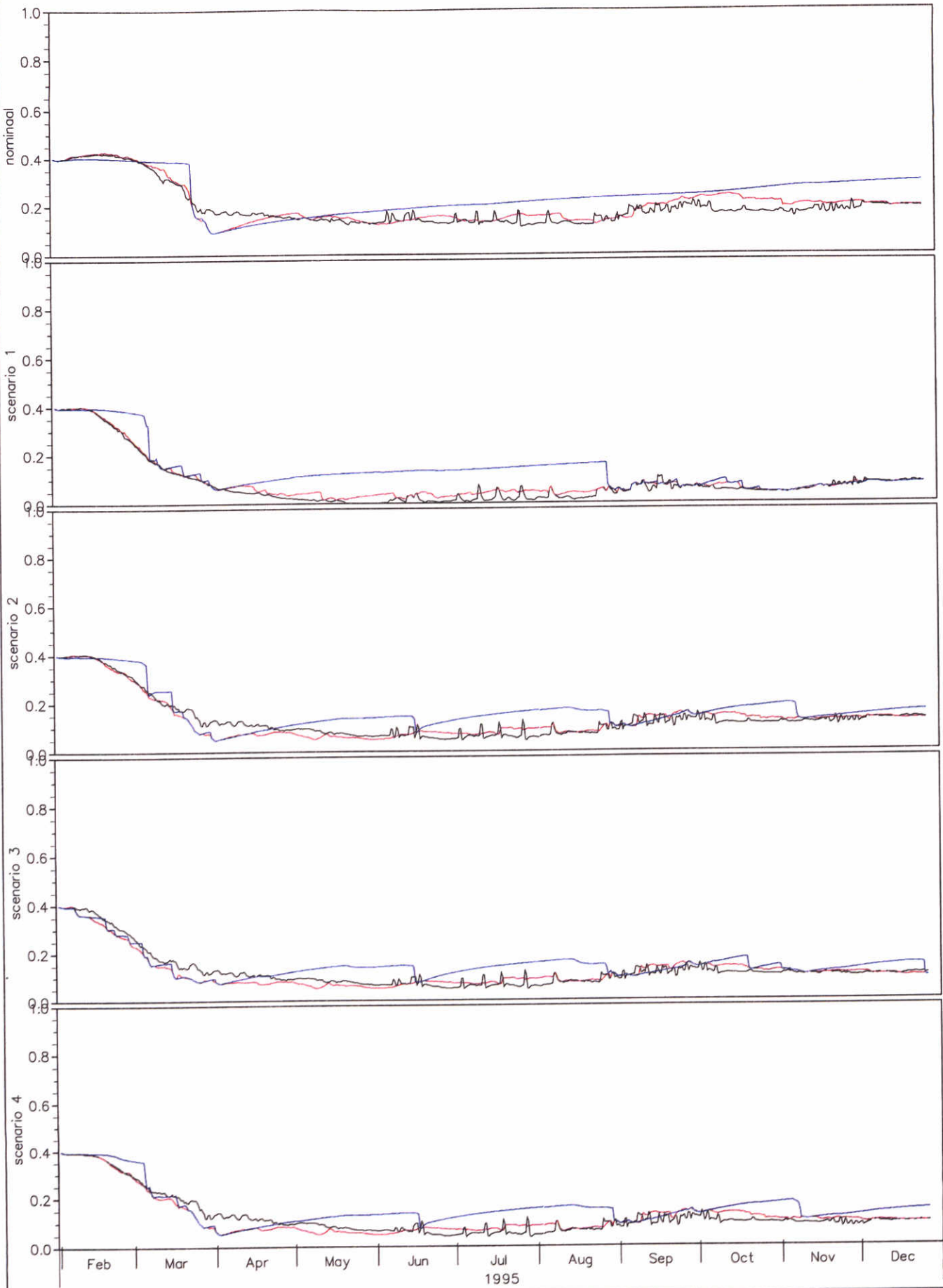
Ortho-fosfaat (mg P/l) – Zandkreek

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



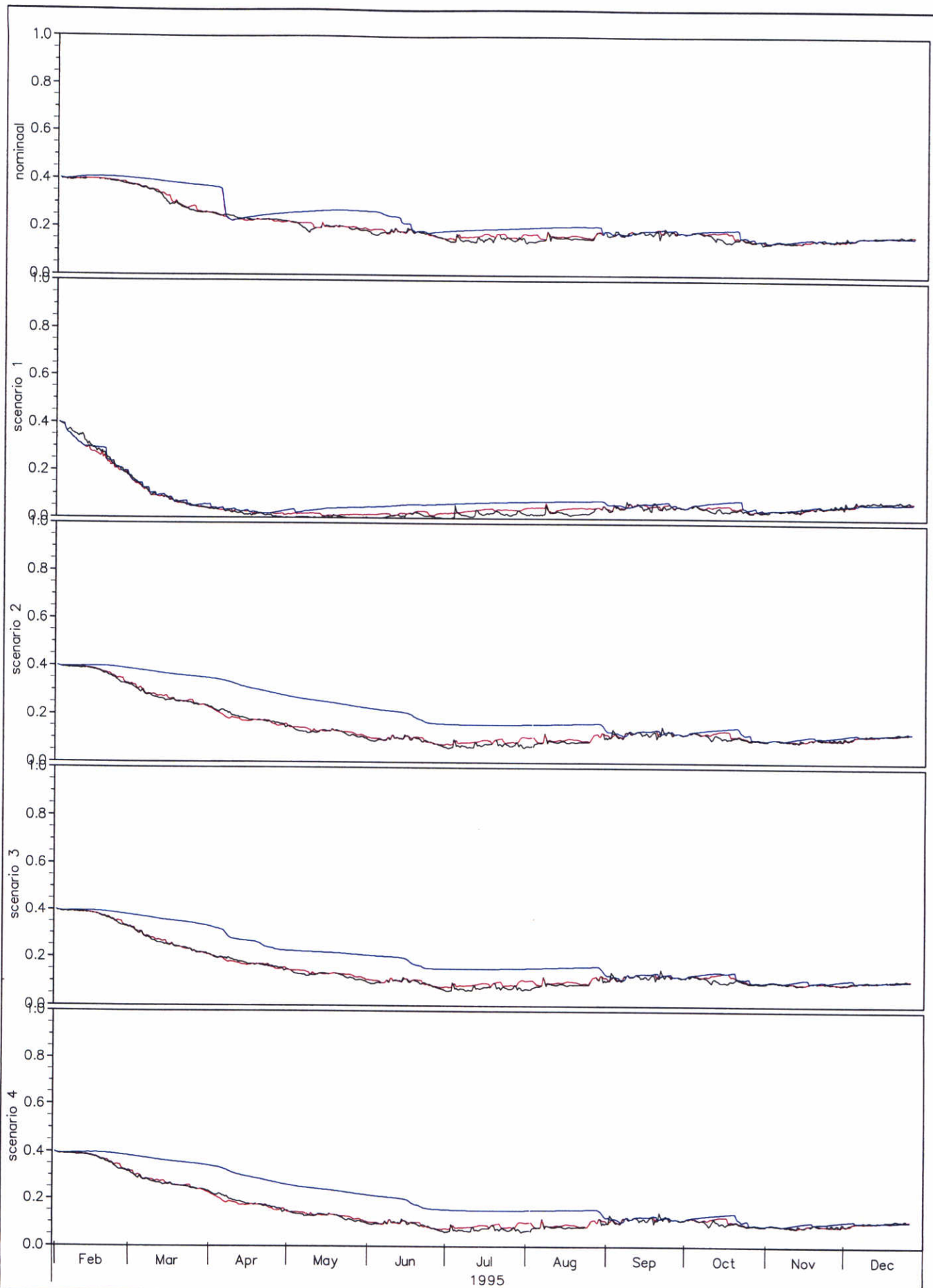
Ortho-fosfaat (mg P/l) – Soelekerk

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



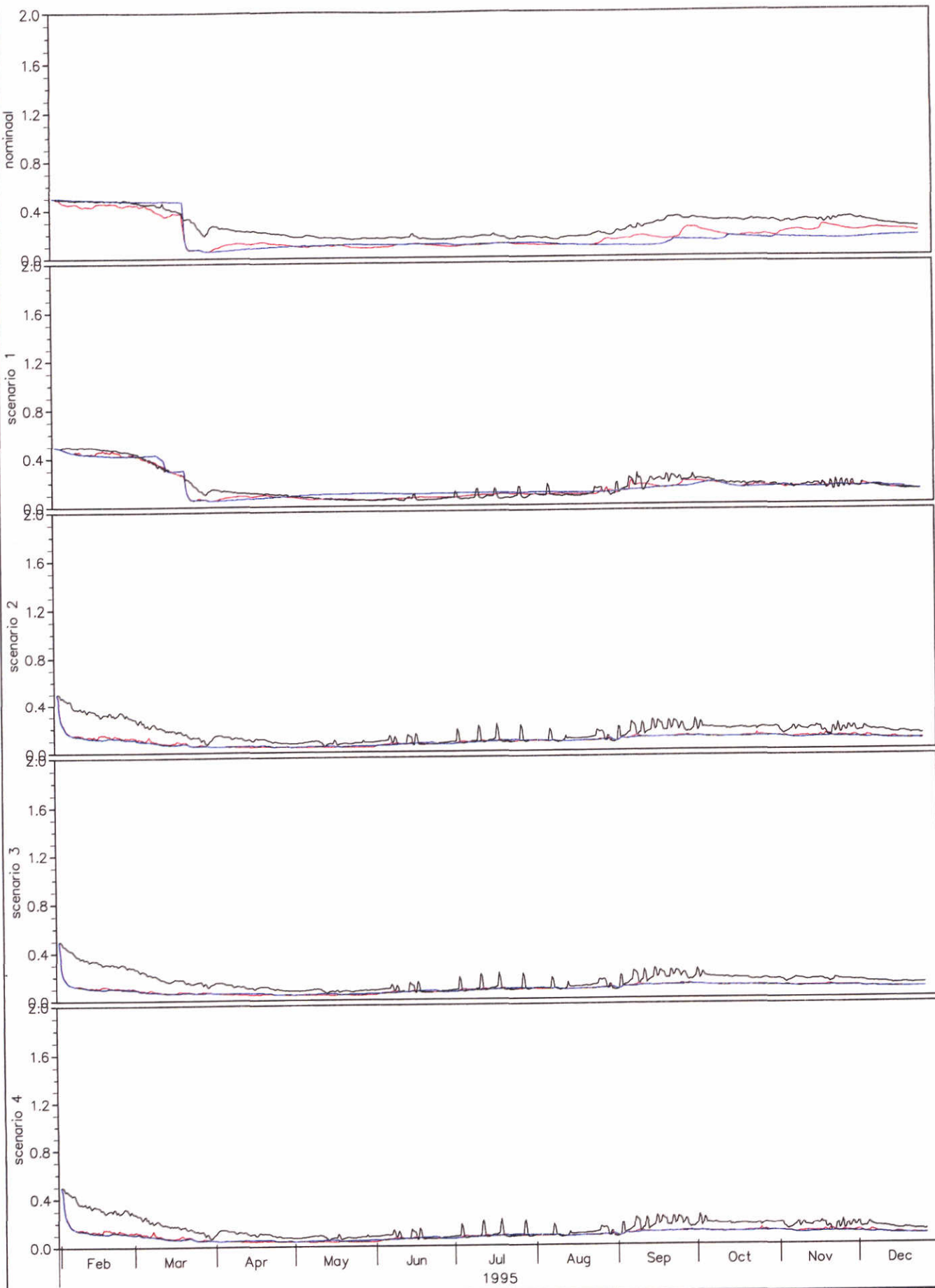
Ortho-fosfaat (mg P/l) – Vrouwenpolder

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer

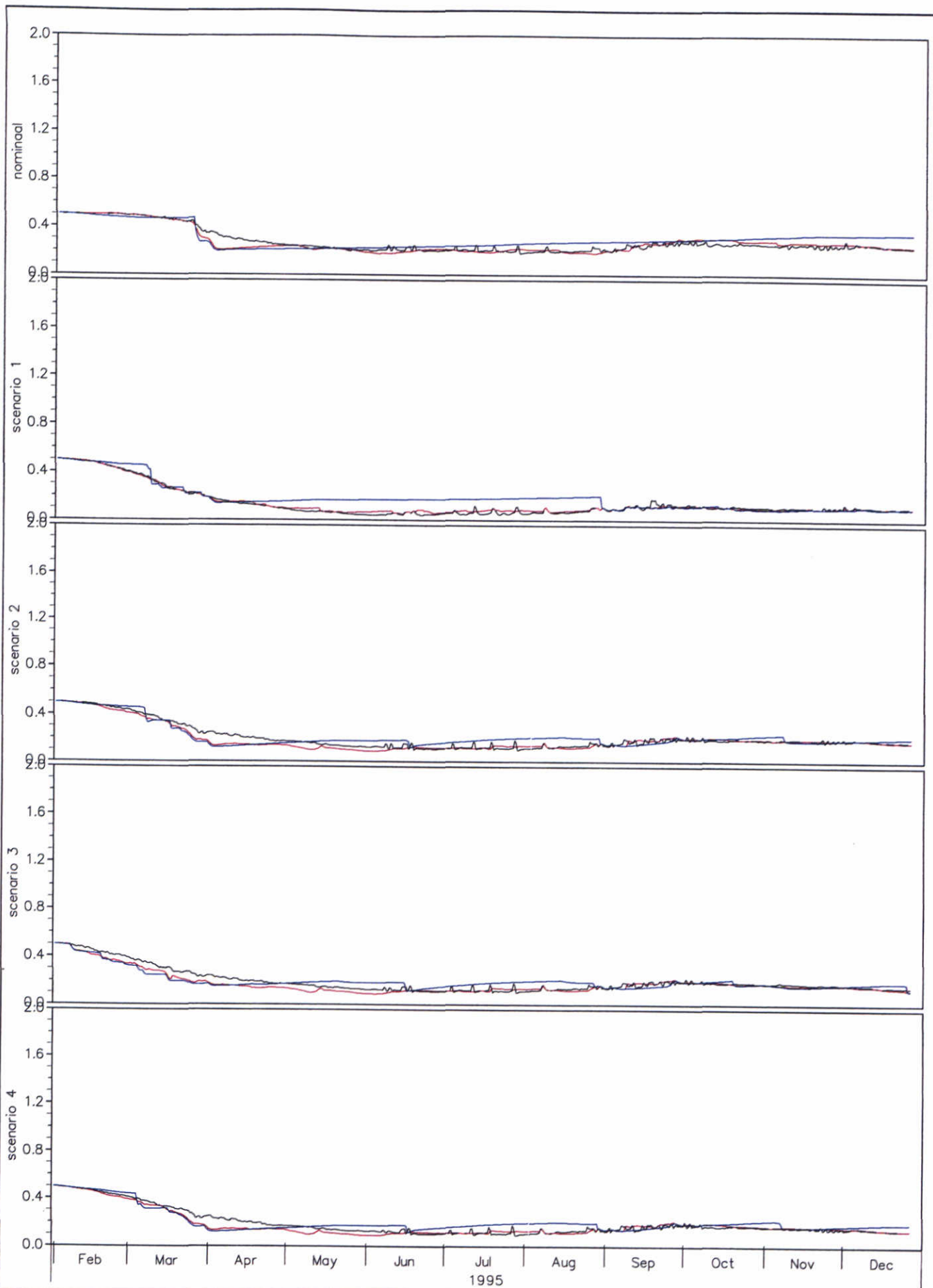


Totaal fosfor (mg P/l) – Zandkreek  
 Vergelijking nominale en scenario berekeningen  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer





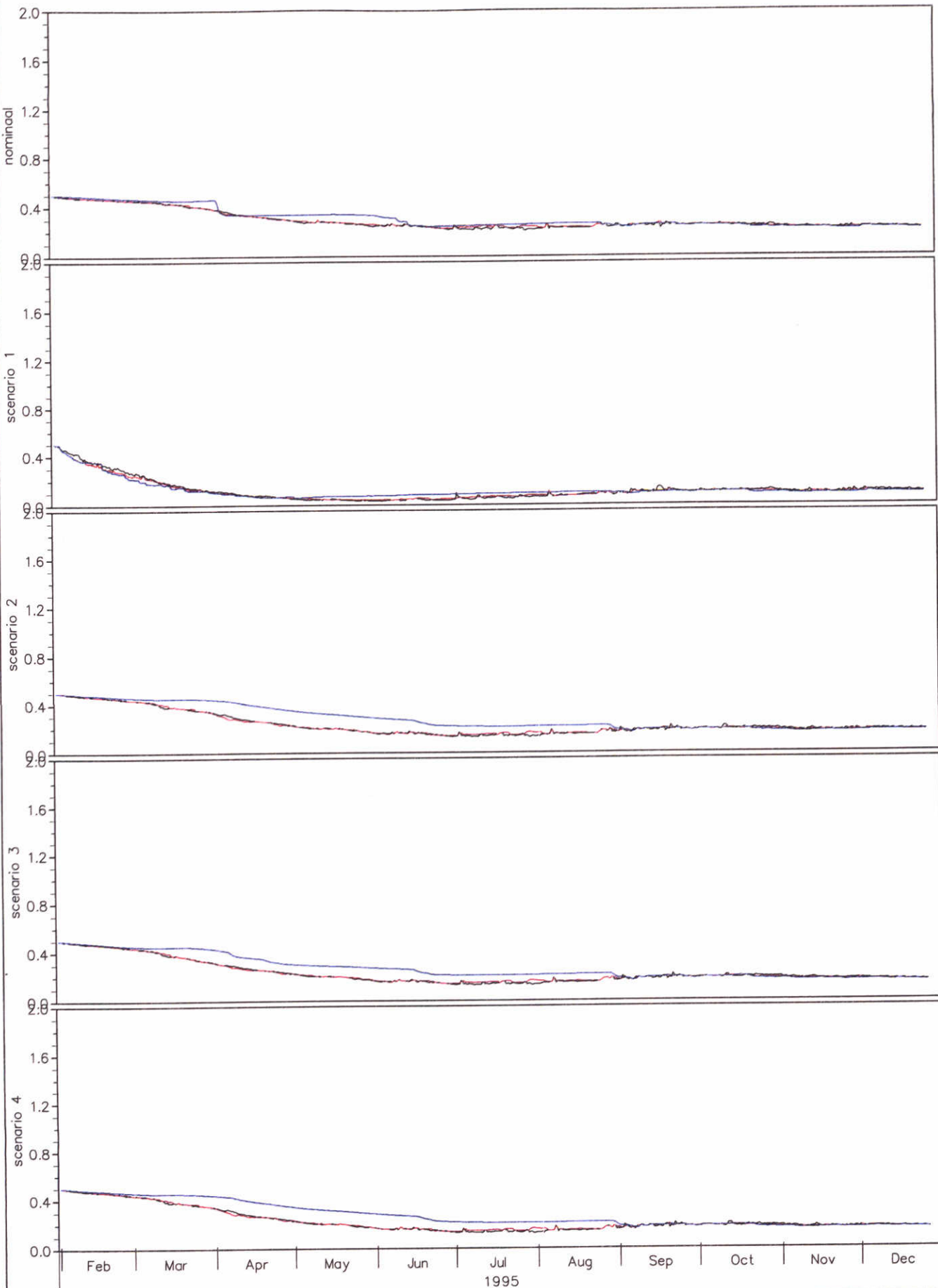
Totaal fosfor (mg P/l) – Soelekerk

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



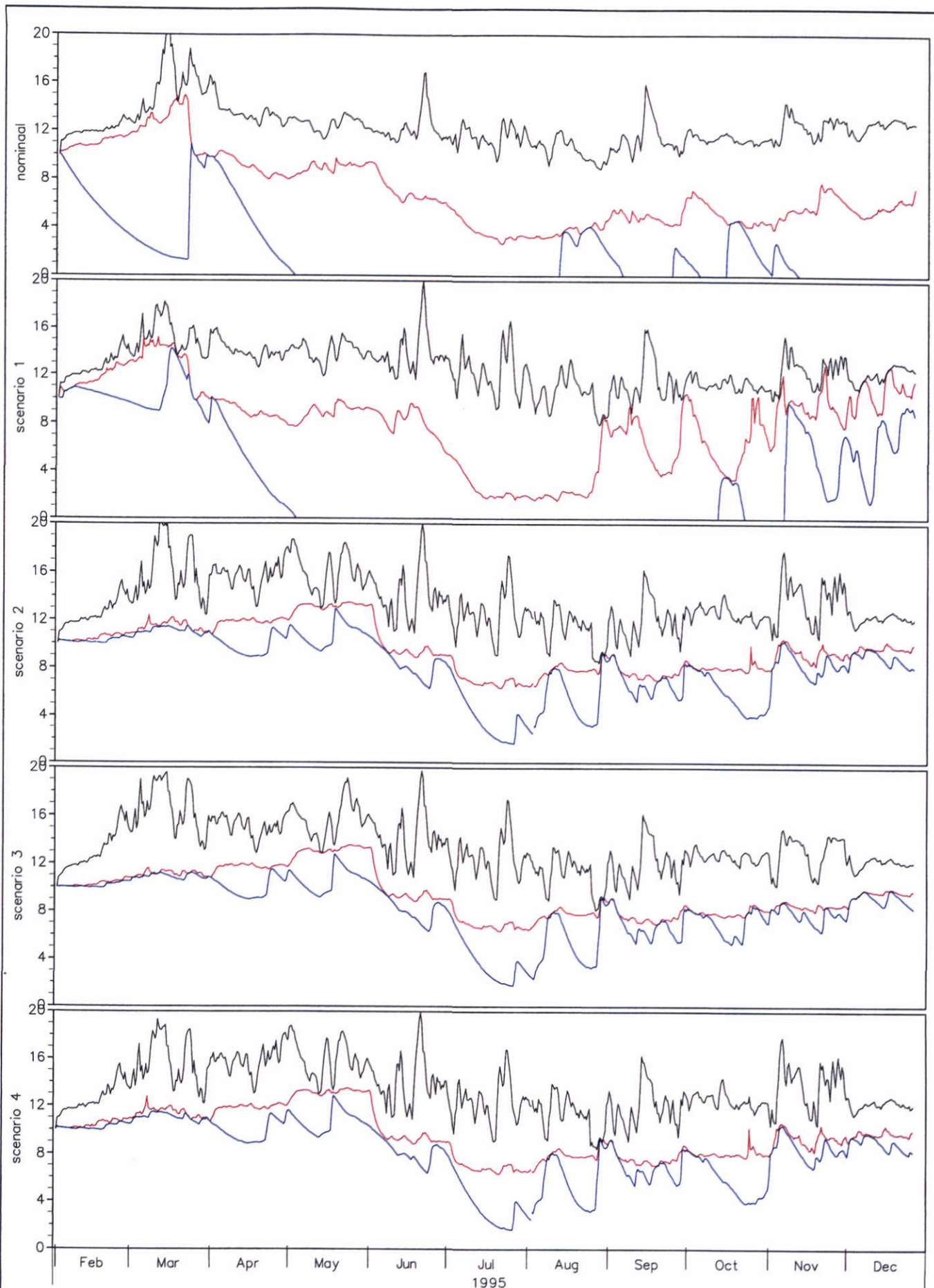
Totaal fosfor (mg P/l) – Vrouwenpolder

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

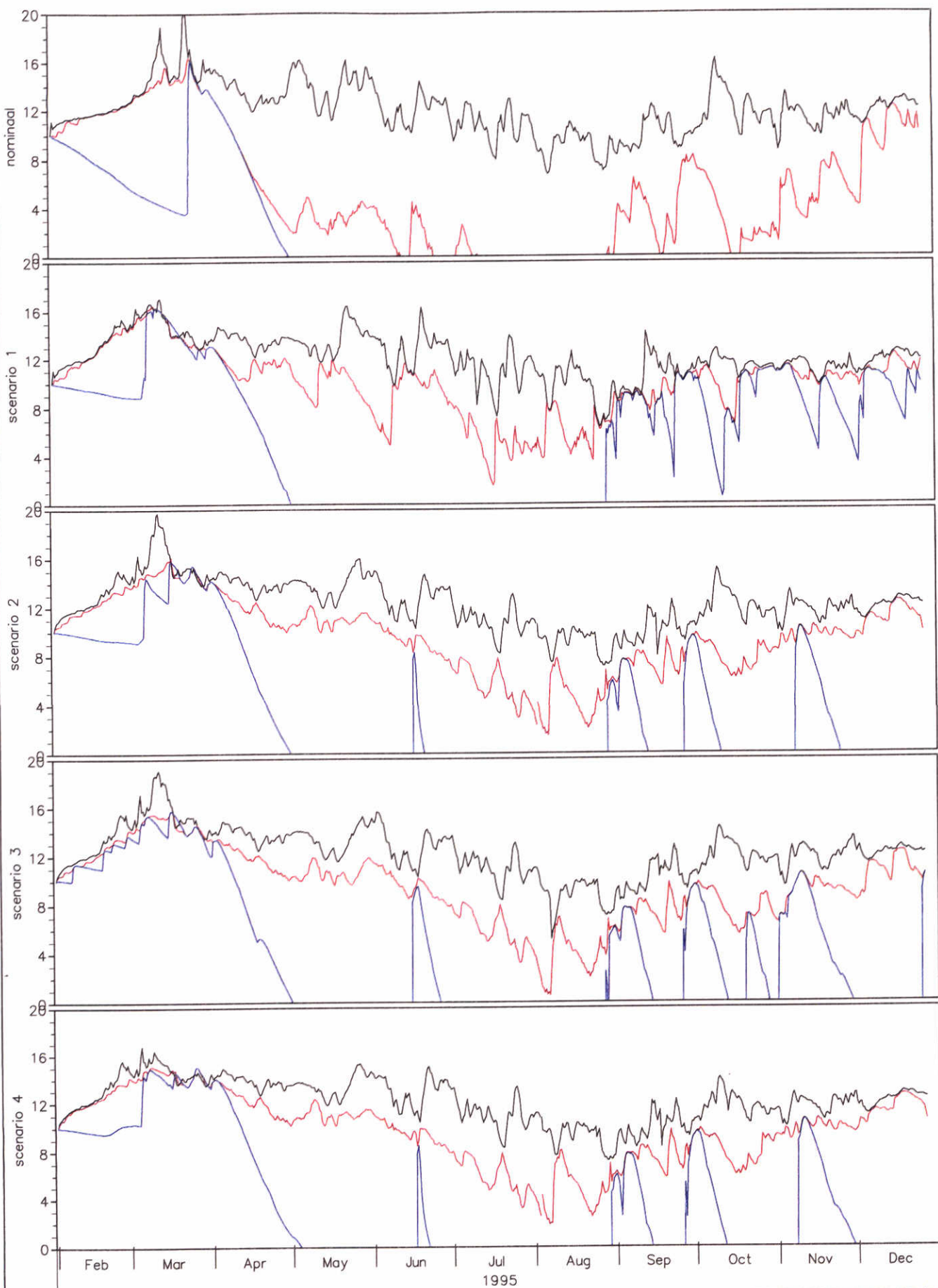
Z2921

Veerse Meer



Zuurstof (mg/l) – Zandkreek  
 Vergelijking nominale en scenario berekeningen  
 zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921  
 Veerse Meer



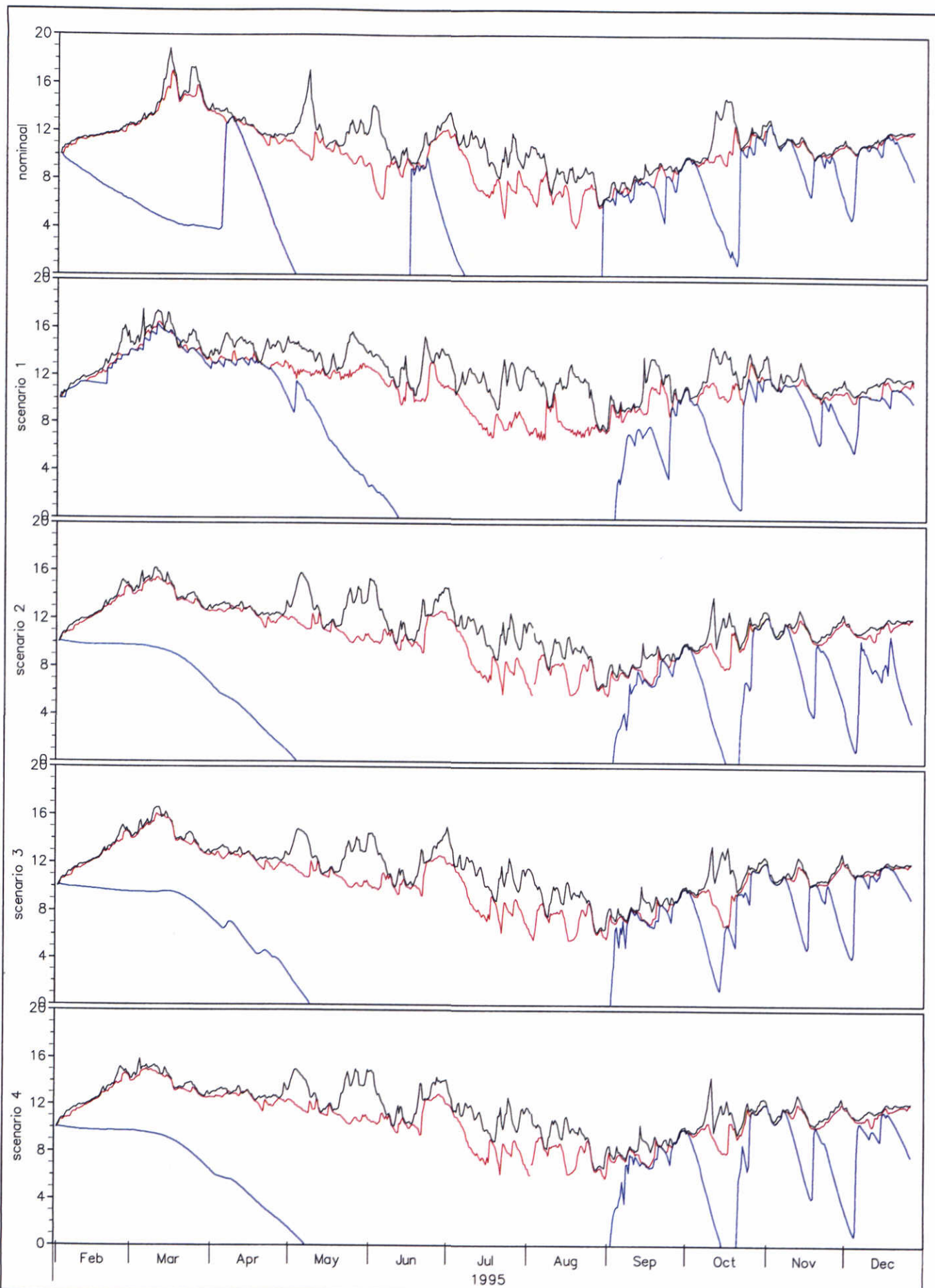
Zuurstof (mg/l) – Soelekerk

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemplaag

Z2921

Veerse Meer



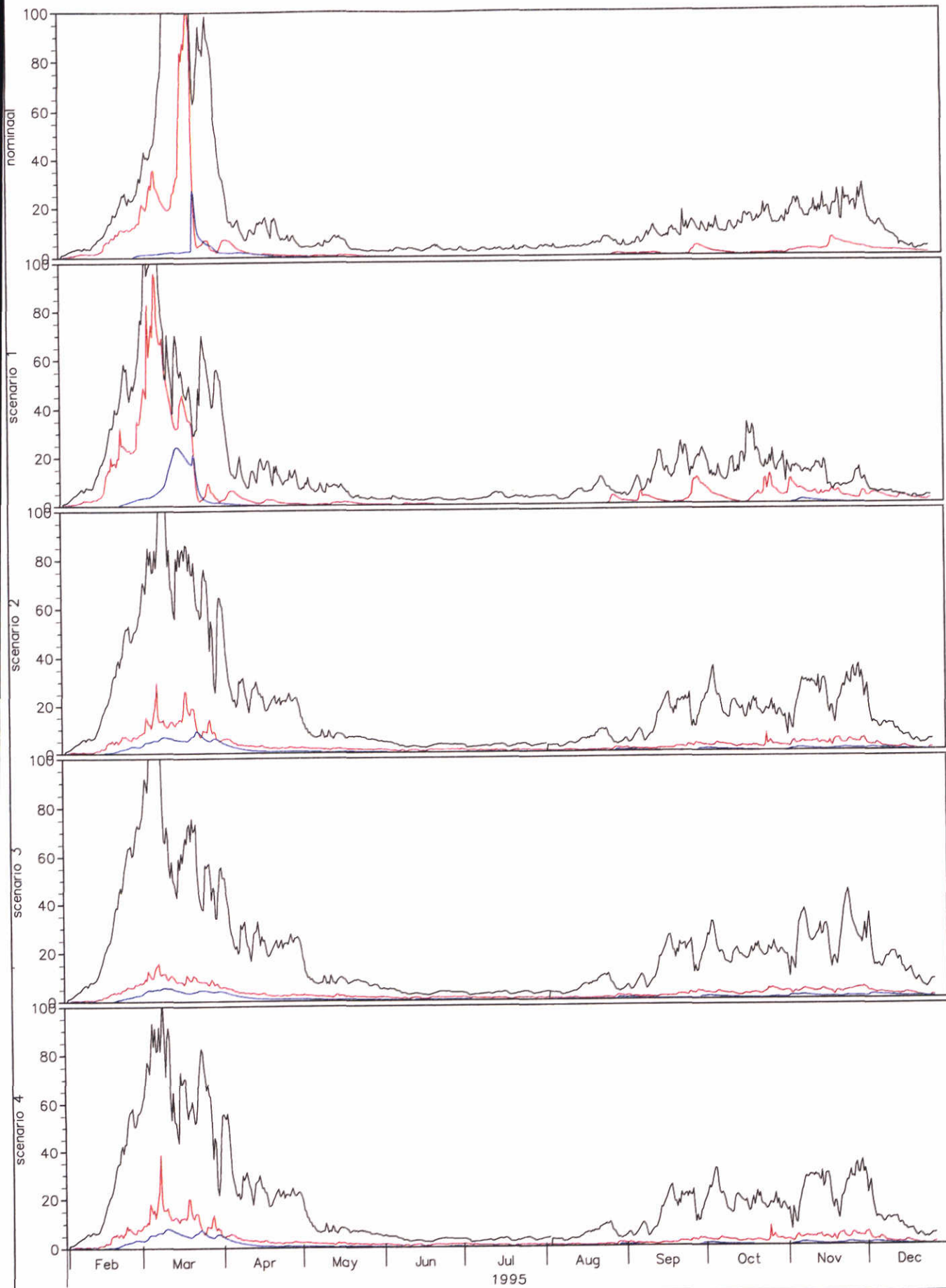
Zuurstof (mg/l) – Vrouwenpolder

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



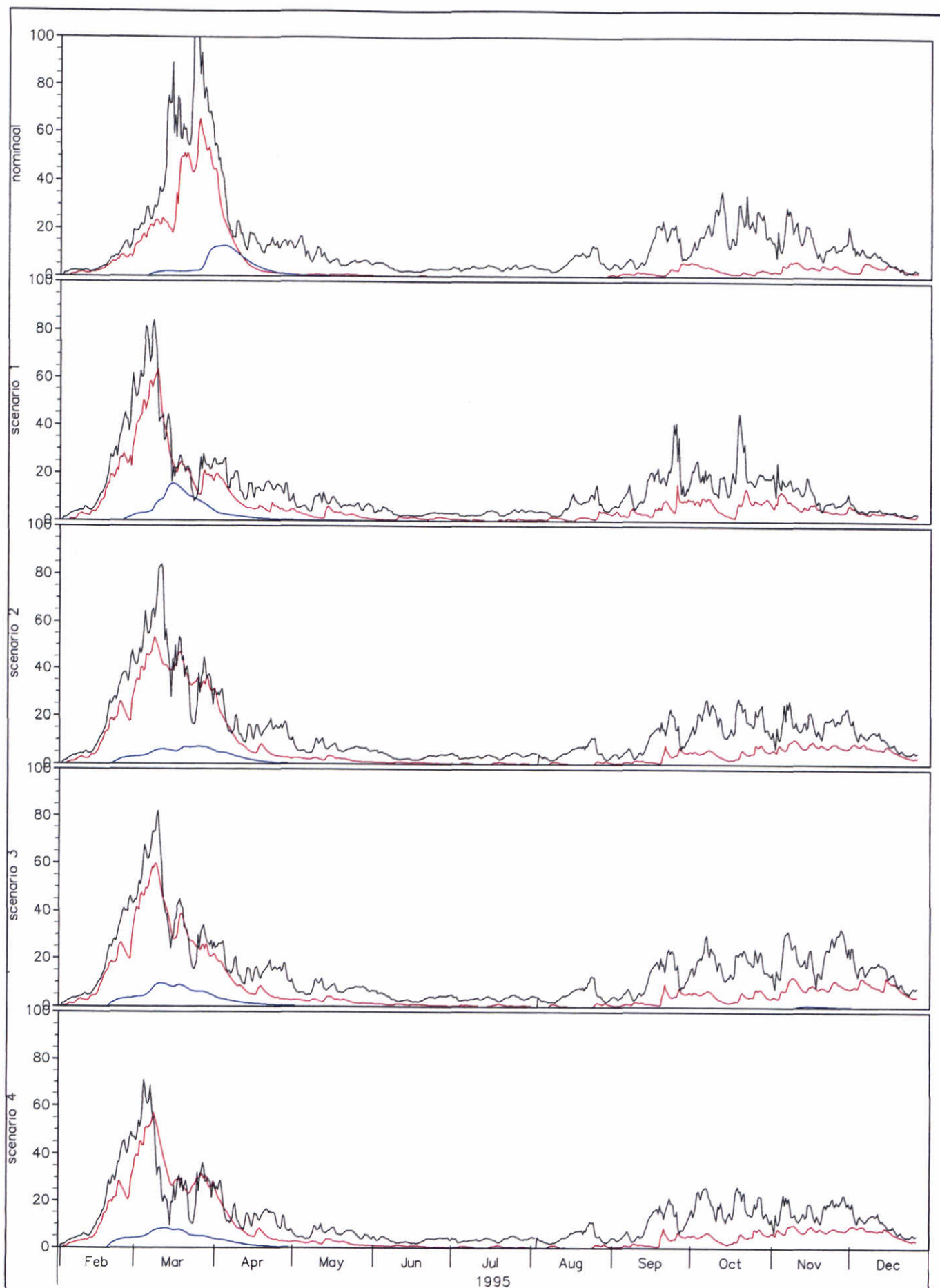
Chlorofyl-a ( $\mu\text{g/l}$ ) – Zandkreek

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemplaat

Z2921

Veerse Meer



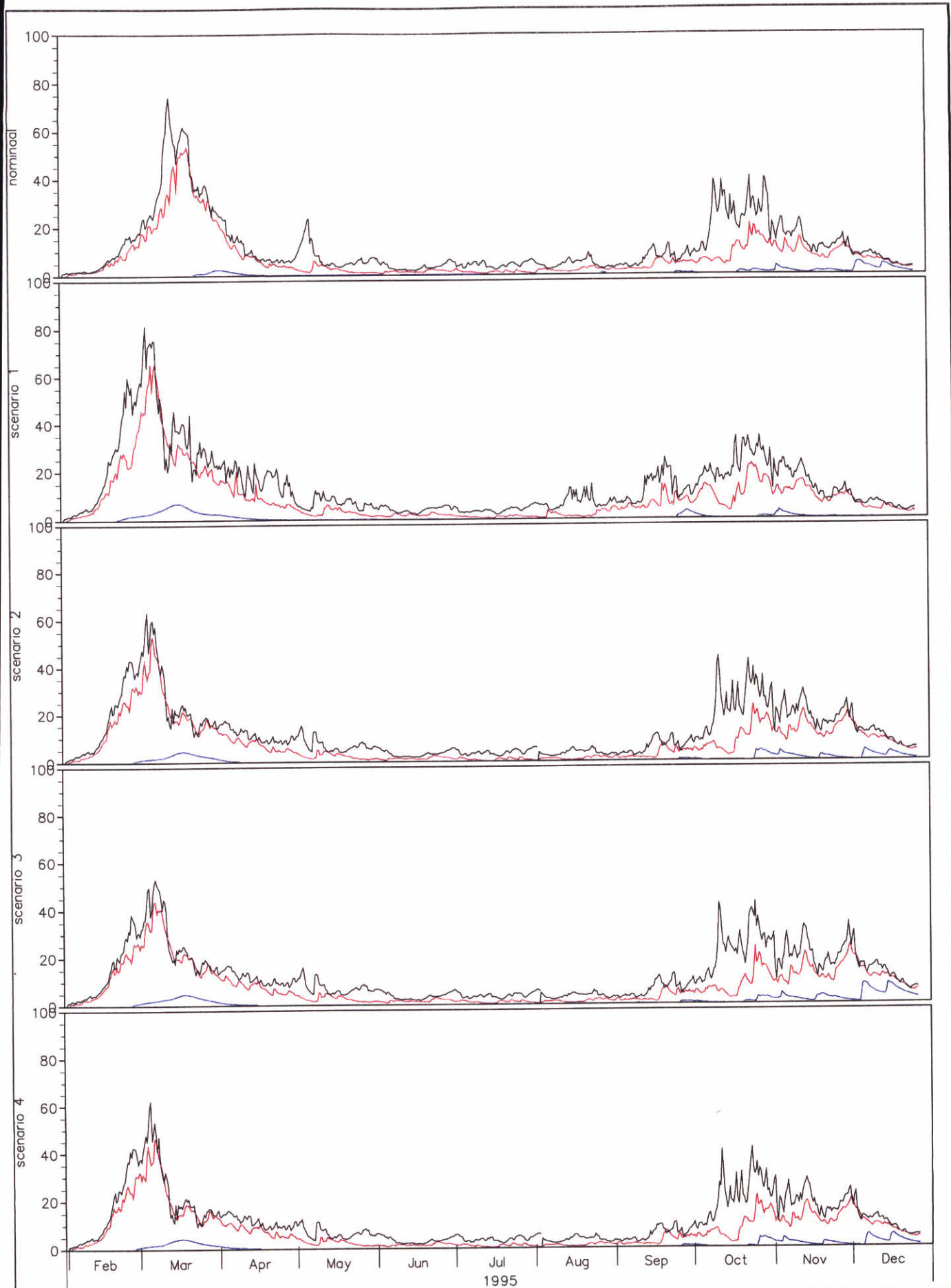
Chlorofyl-a (ug/l) - Soelekerk

Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



Chlorofyl-a (ug/l) – Vrouwenpolder

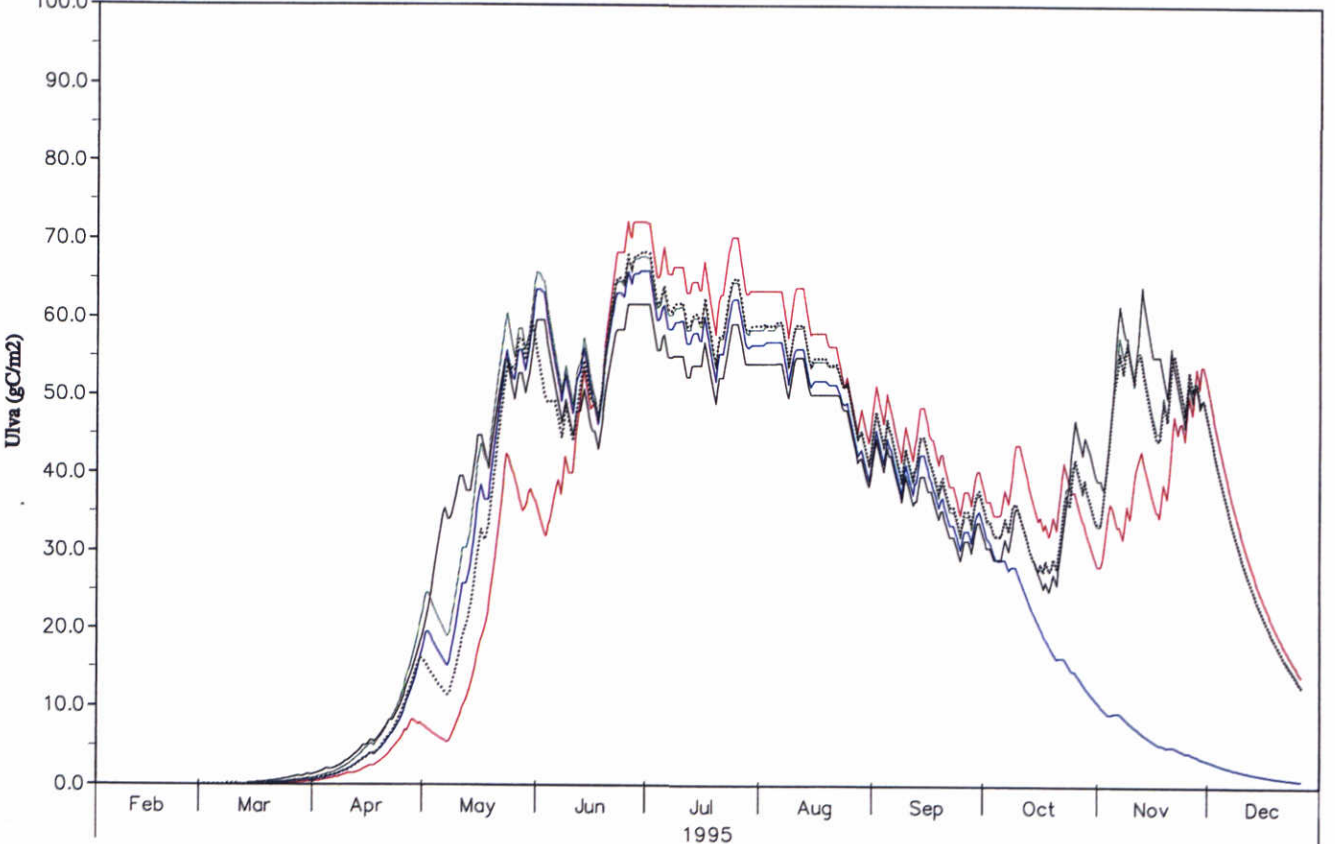
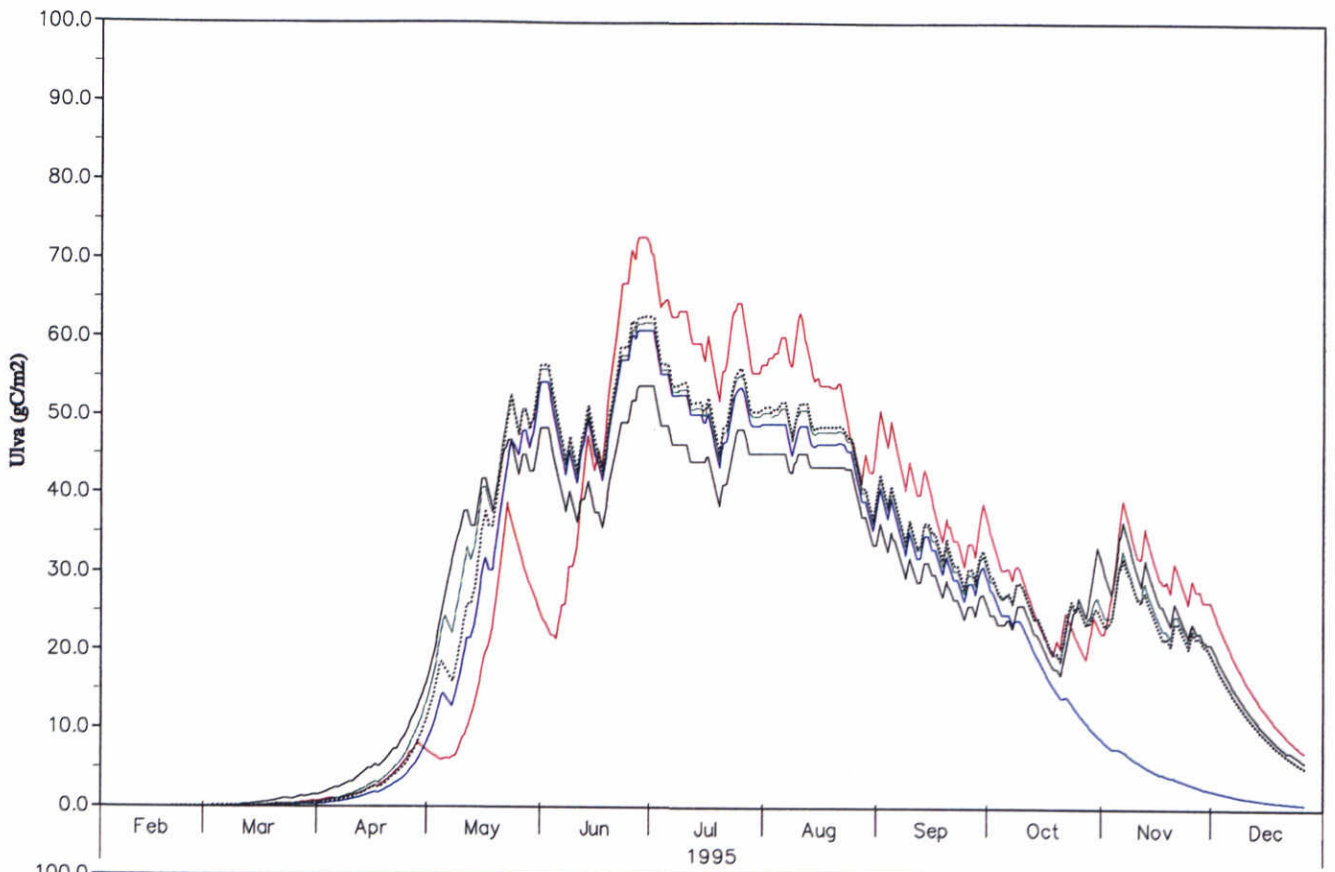
Vergelijking nominale en scenario berekeningen

zwart: oppervlakte laag; rood: halverwege waterkolom; blauw: bodemlaag

Z2921

Veerse Meer



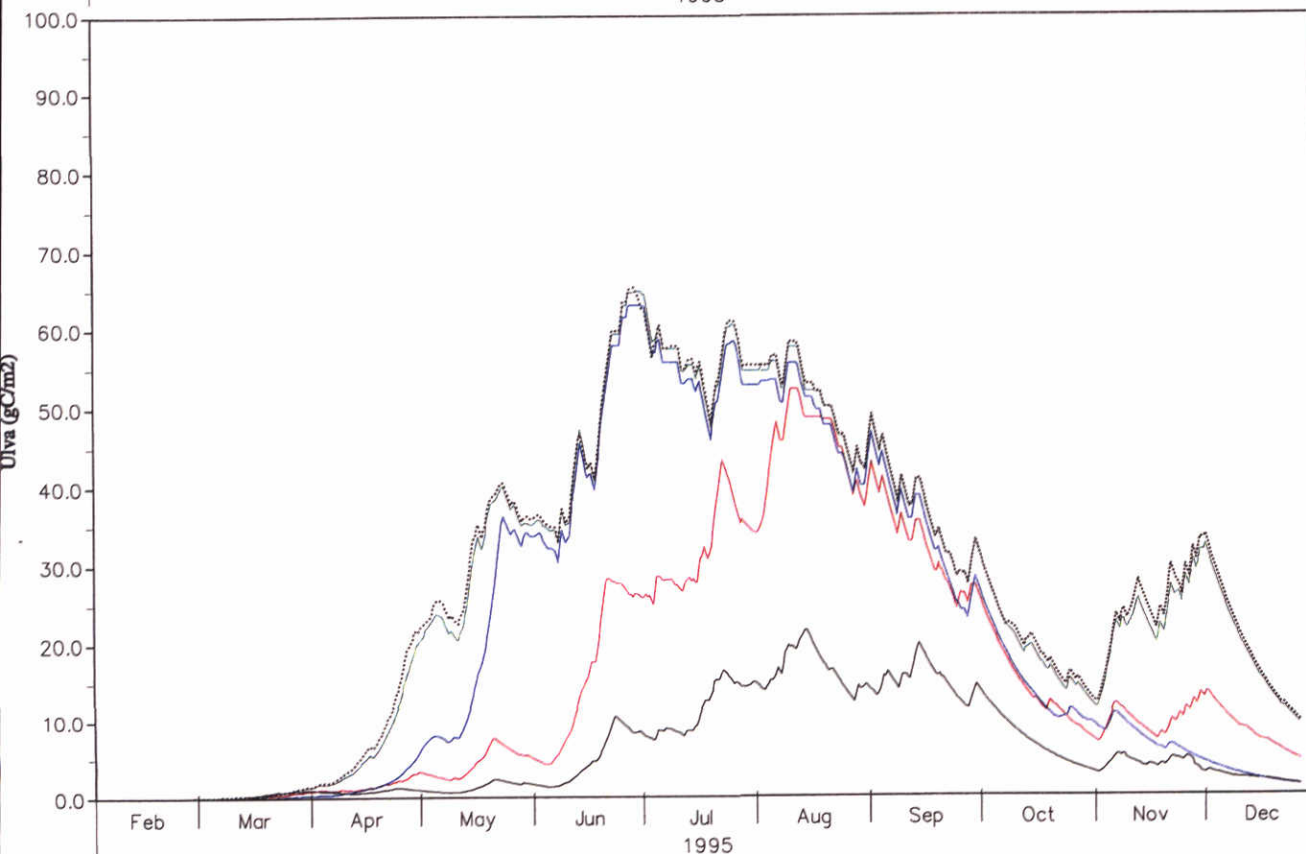
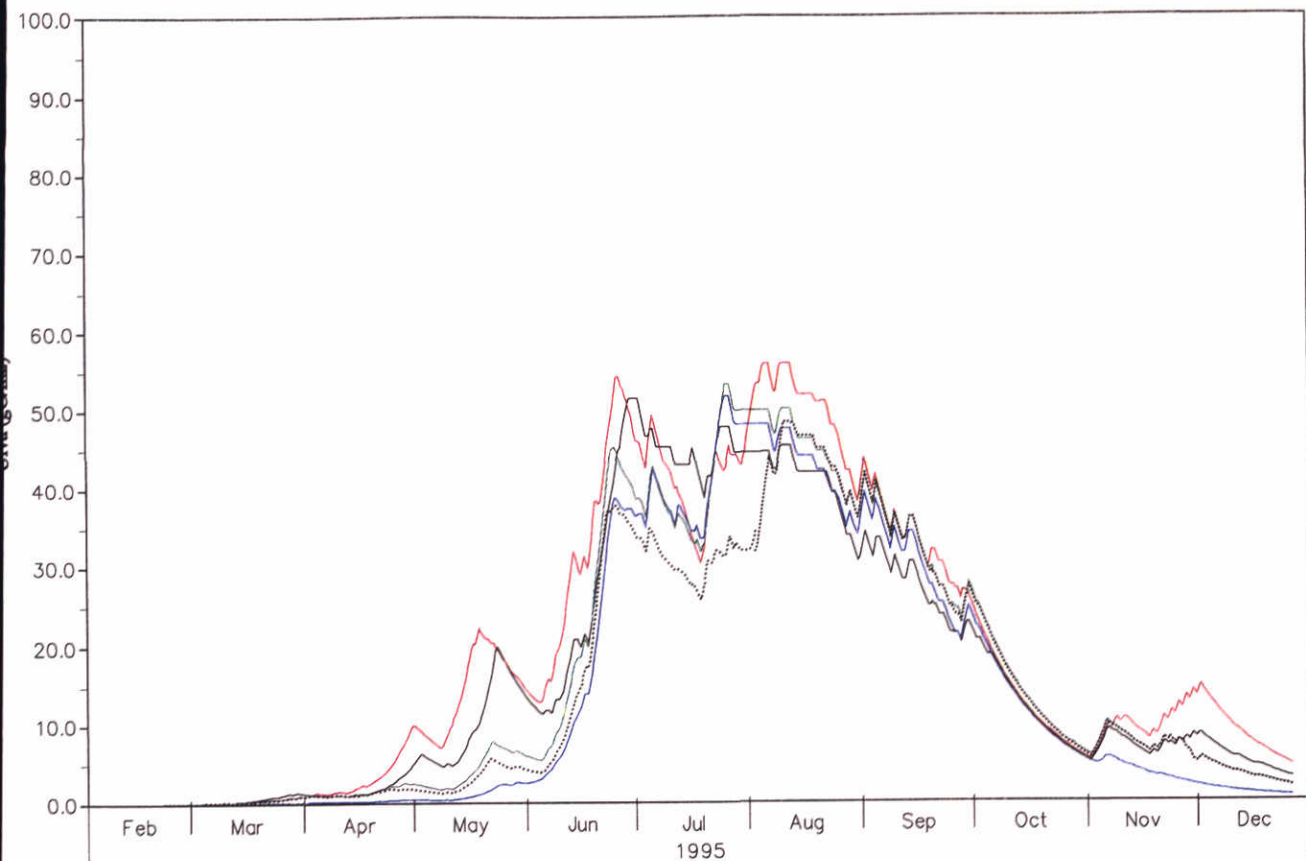


- nominale berekening: geen uitwisseling, variabel peil
- scenario 1: doorspoeling, variabel peil
- scenario 2: uitwisseling, variabel peil
- scenario 3: uitwisseling, vast peil
- ..... scenario 4: uitwisseling, variabel peil, afleiding De Piet

Ulva (gC/m<sup>2</sup>)

Boven: ter hoogte van de Veersedam; Onder: ten zuiden van Haringvreter

Z2921	
Veerse Meer	
vm09c	Fig. 7.15



- nominale berekening: geen uitwisseling, variabel peil
- scenario 1: doorspoeling, variabel peil
- scenario 2: uitwisseling, variabel peil
- scenario 3: uitwisseling, vast peil
- scenario 4: uitwisseling, variabel peil, afleiding De Piet

Ulva (gC/m<sup>2</sup>)

Boven: nabij Middelplaten; Onder: ter hoogte van de Zandkreekdam

Z2921

Veerse Meer



## **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](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://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](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

