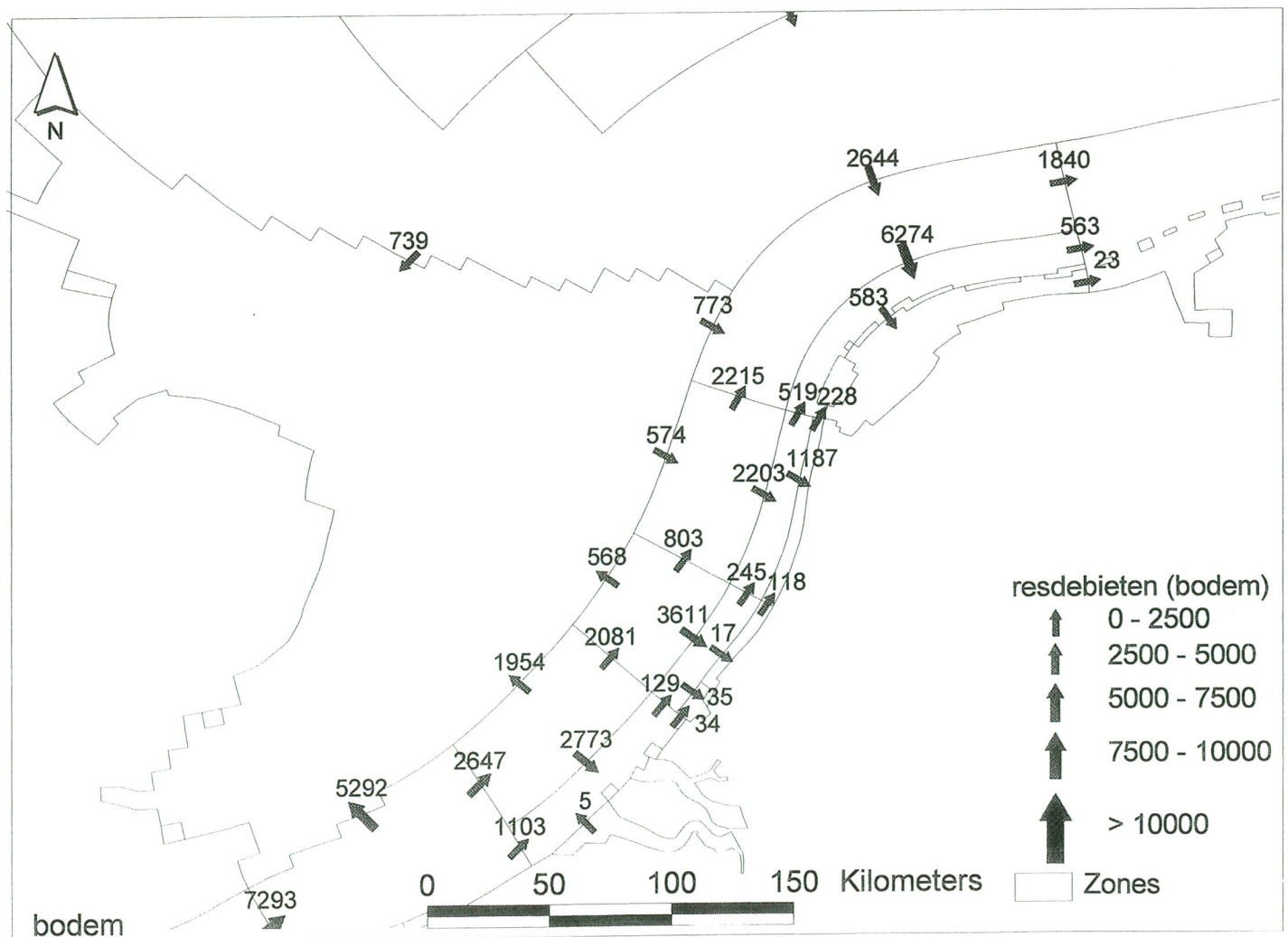
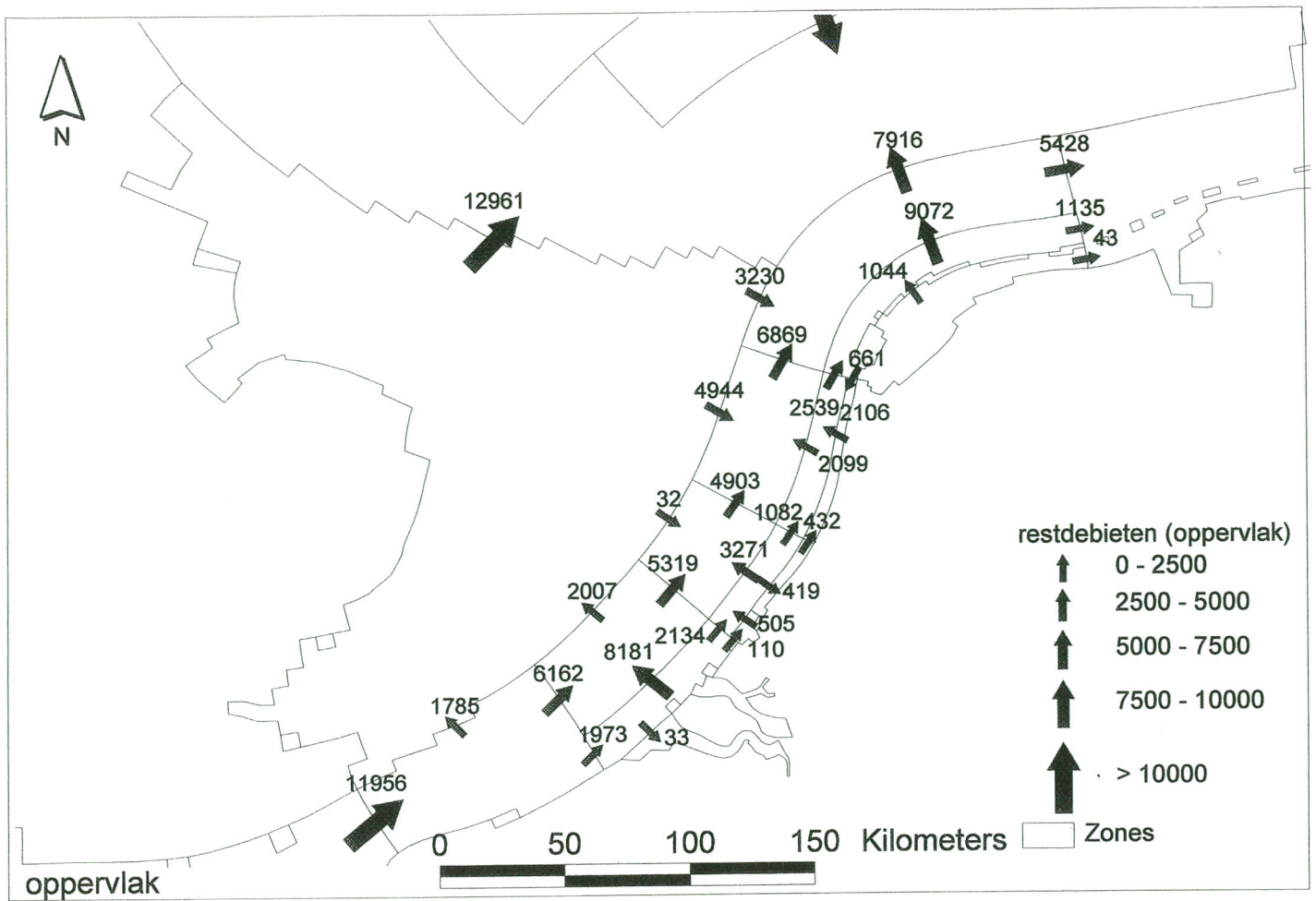
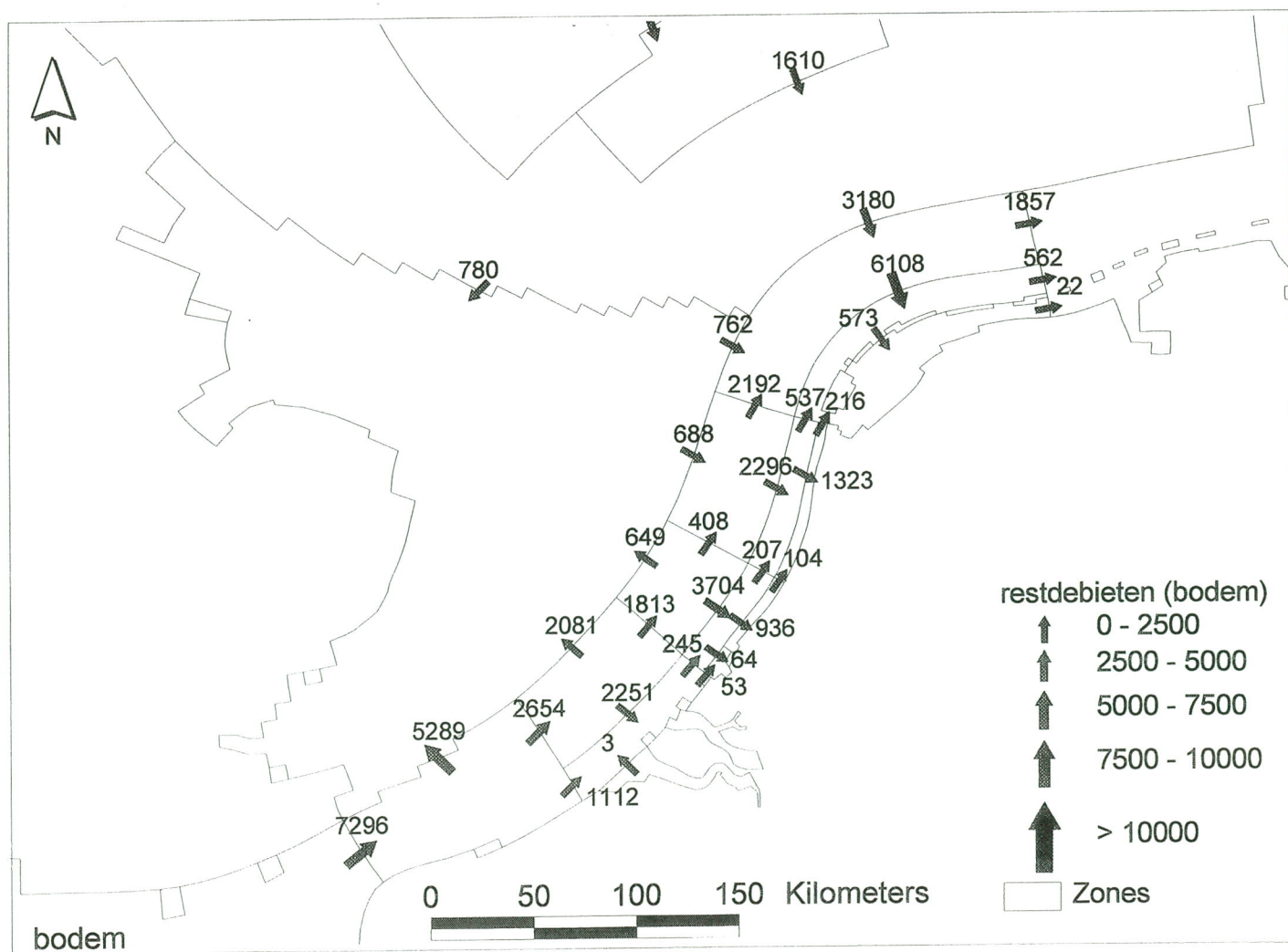
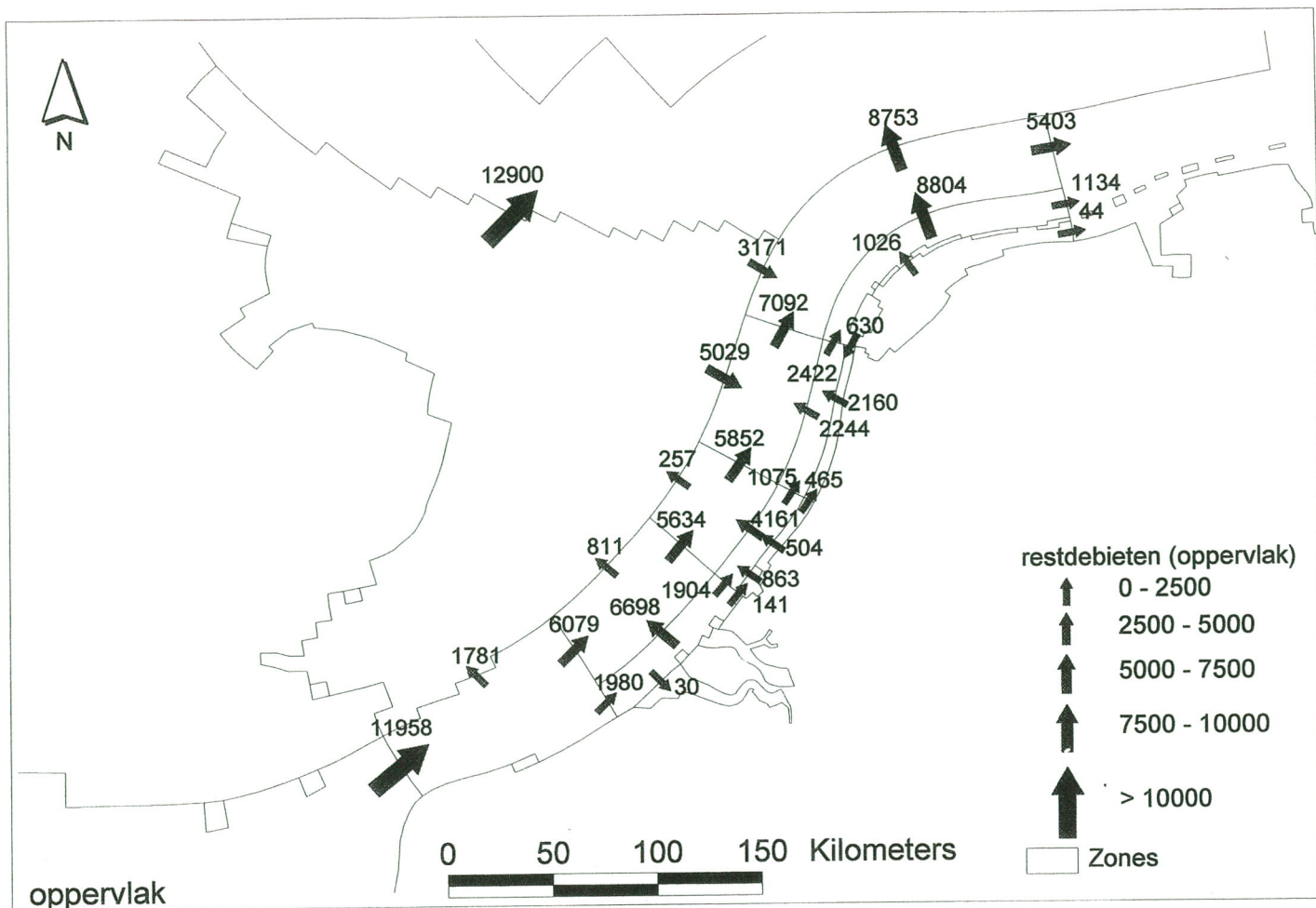


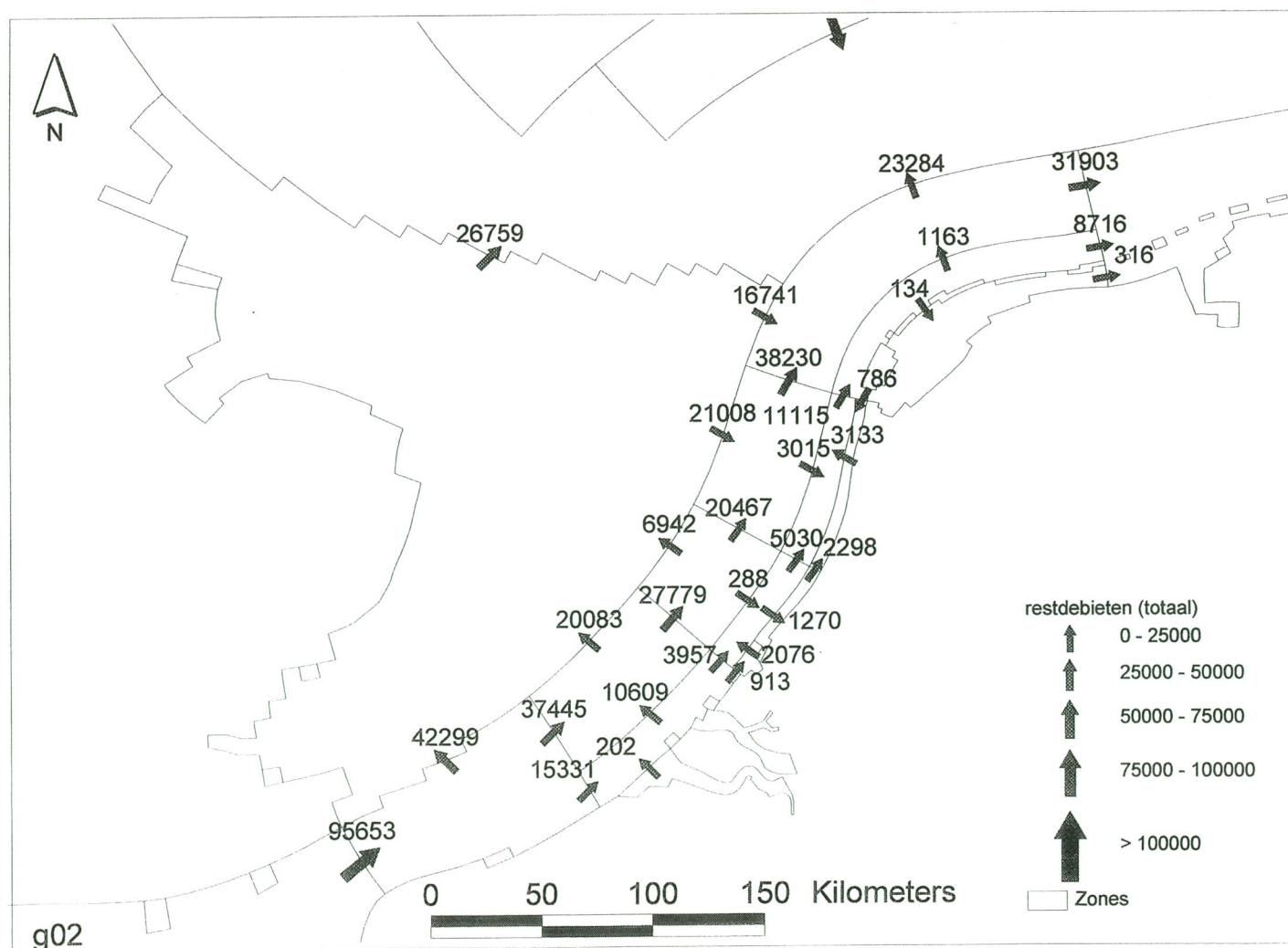
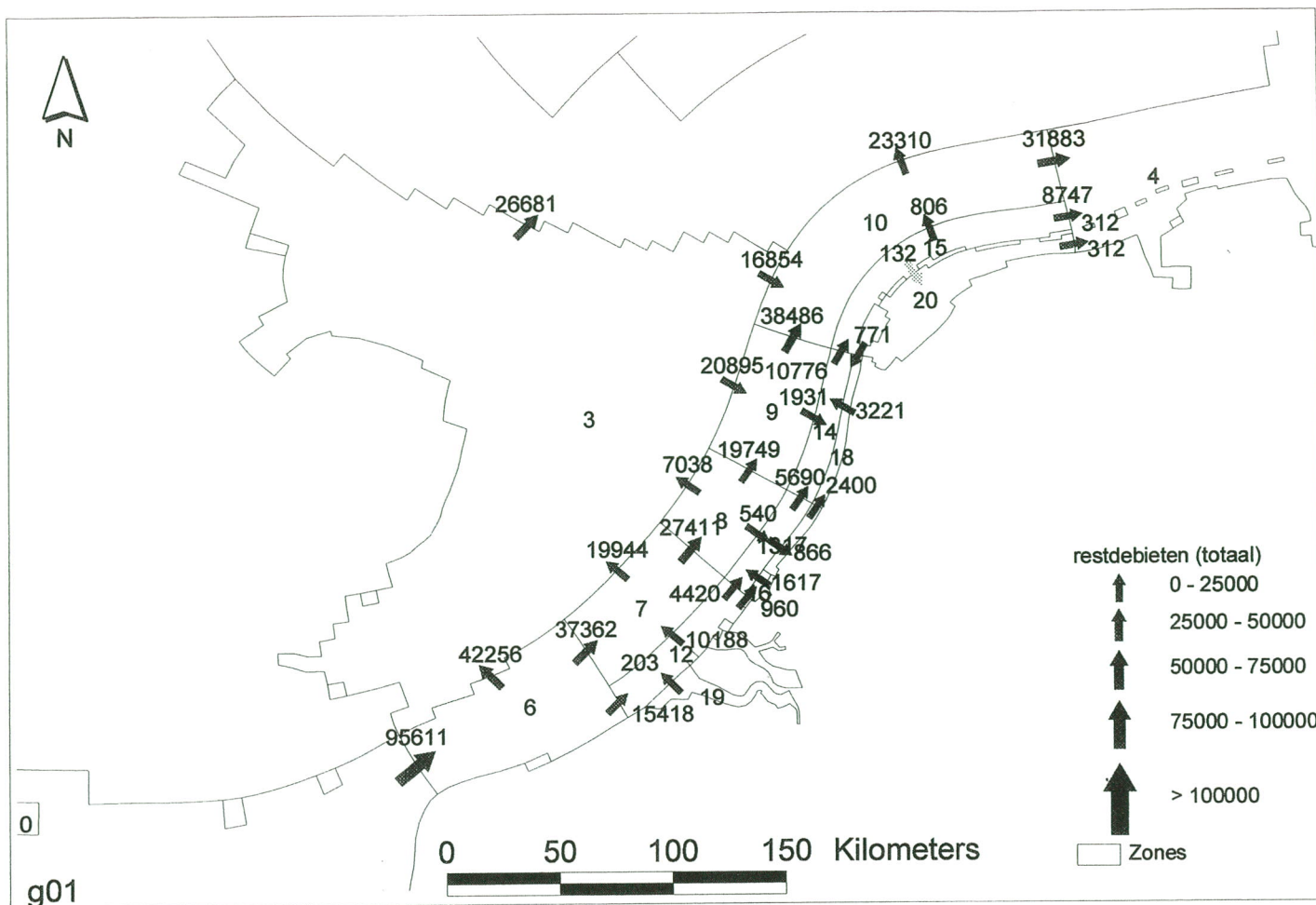
D-2: Restdebieten aan oppervlak aan bodem voor G02 (m³/s)



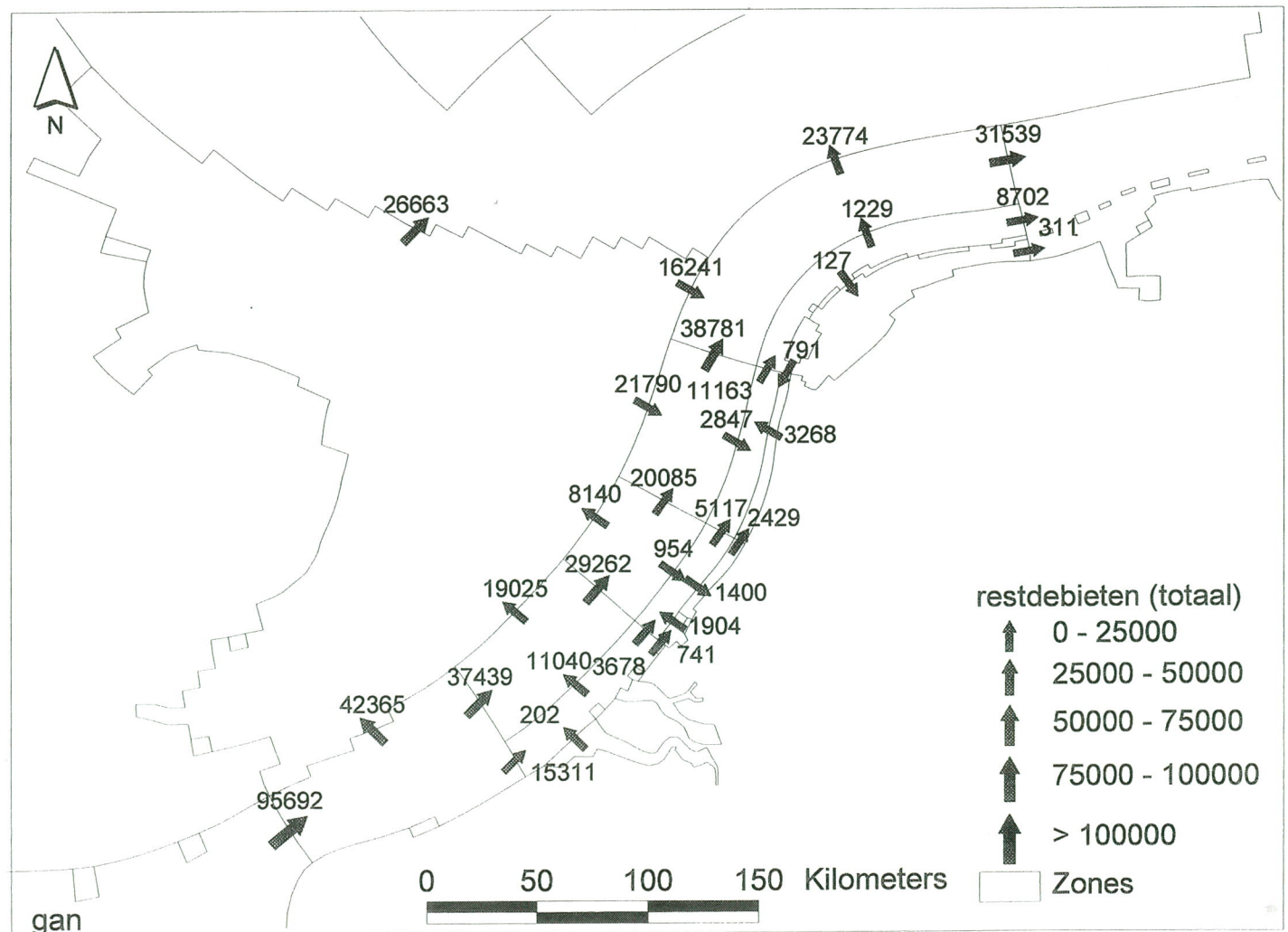
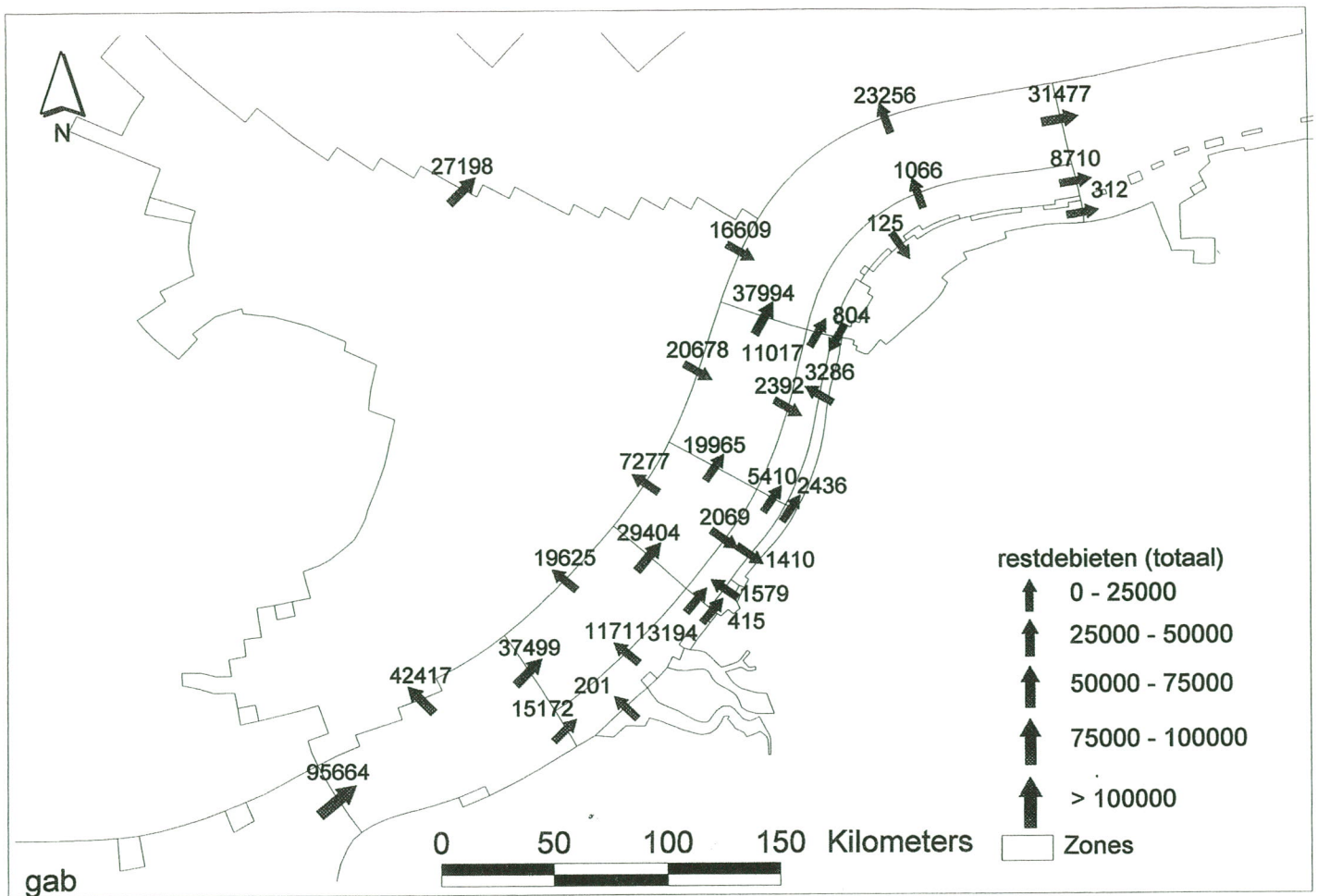
D-3: Restdebiets aan oppervlak aan bodem voor GAB (m³/s)



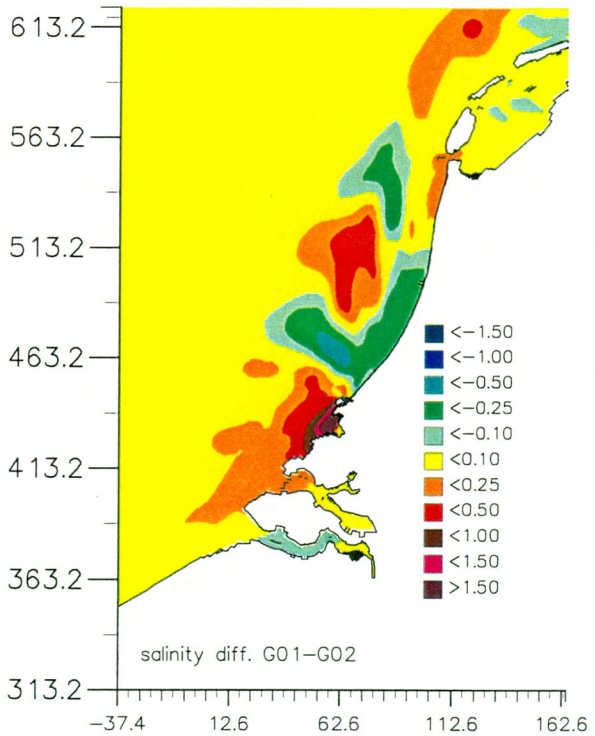
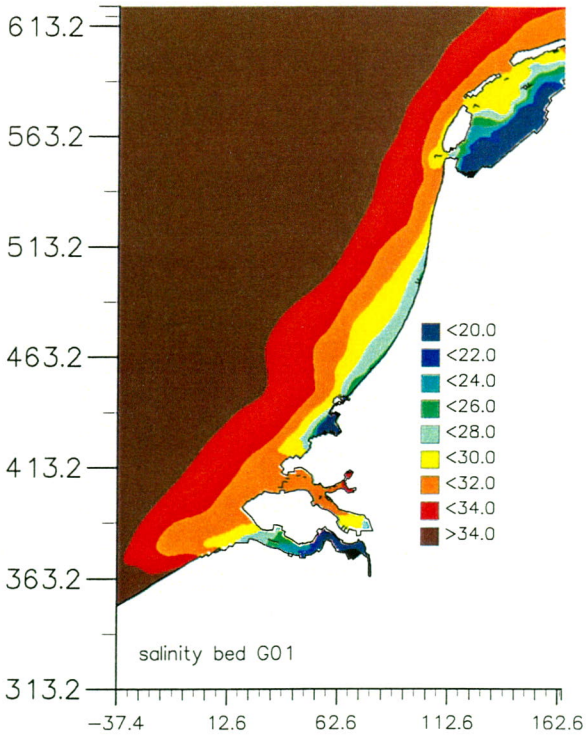
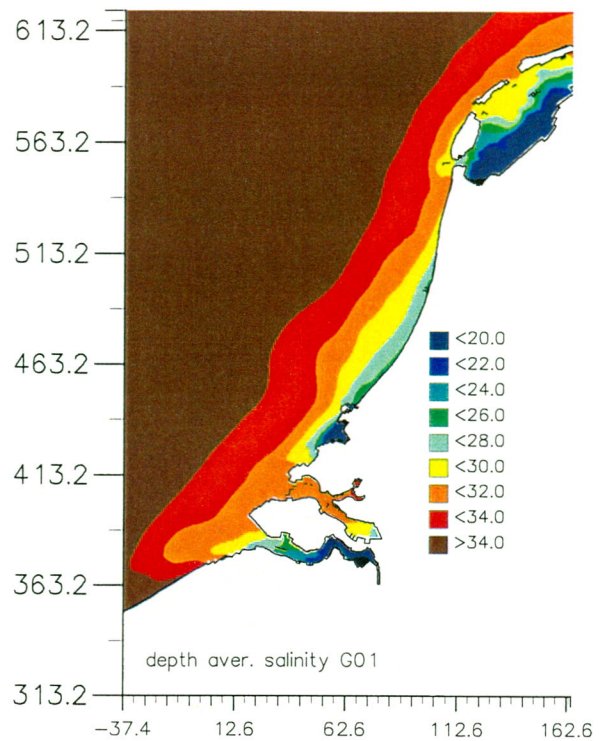
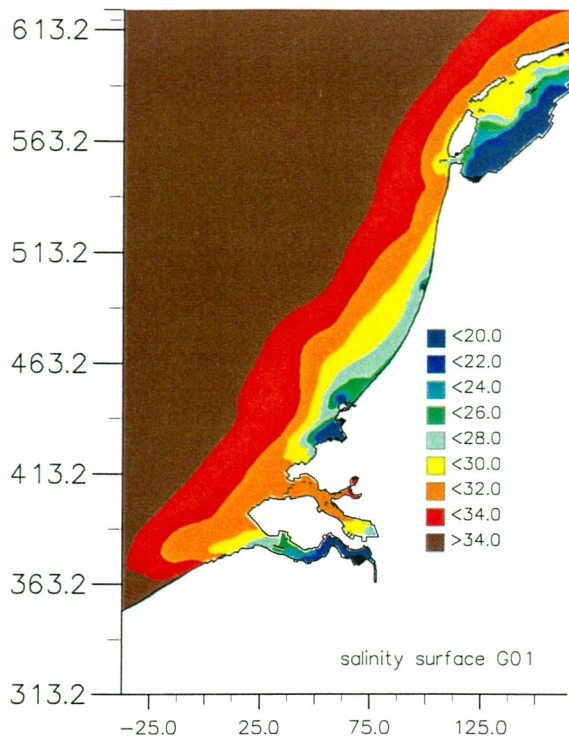
D-4: Restdebiets aan oppervlak aan bodem voor GAN (m³/s)



D-5: Restdebiets over de diepte geïntegreerd voor G01/G02 (m³/s)



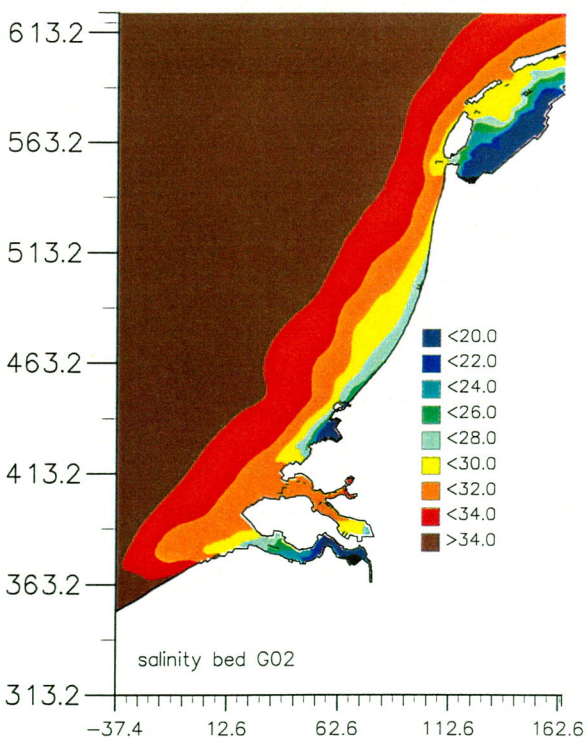
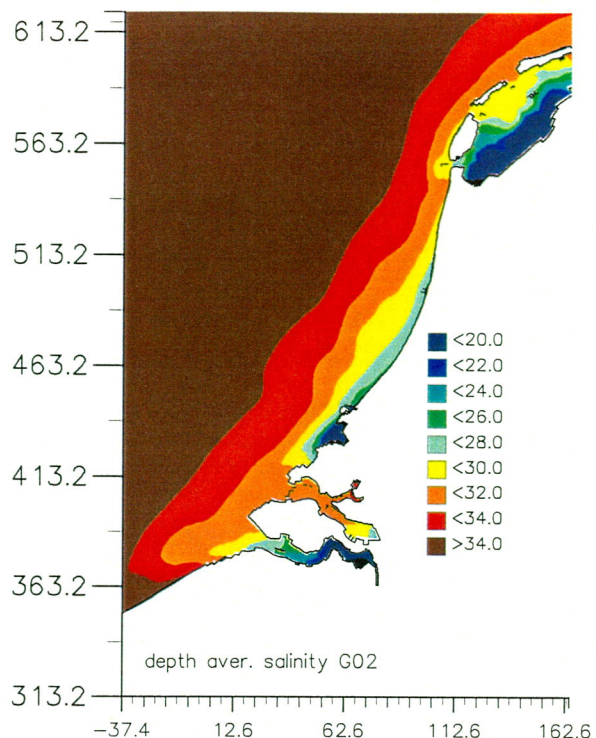
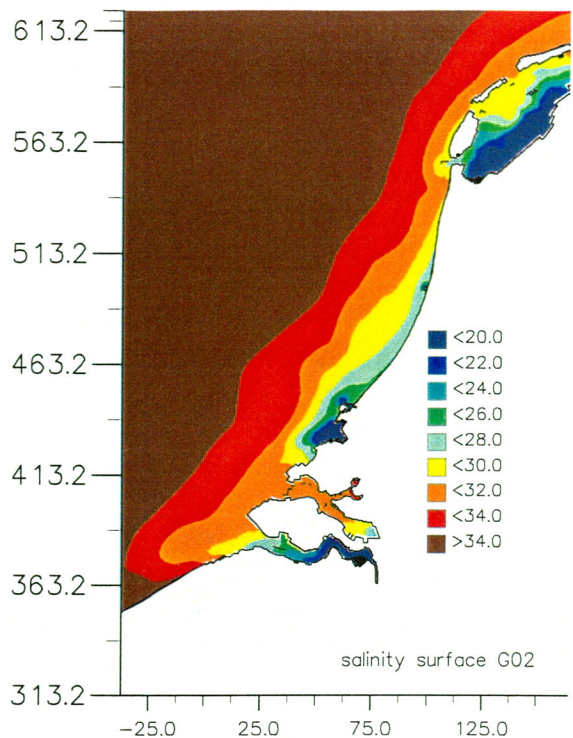
D-6: Restdebiets over de diepte geïntegreerd voor GAB/GAN (m³/s)



Present (G01) situation; without "MV2"

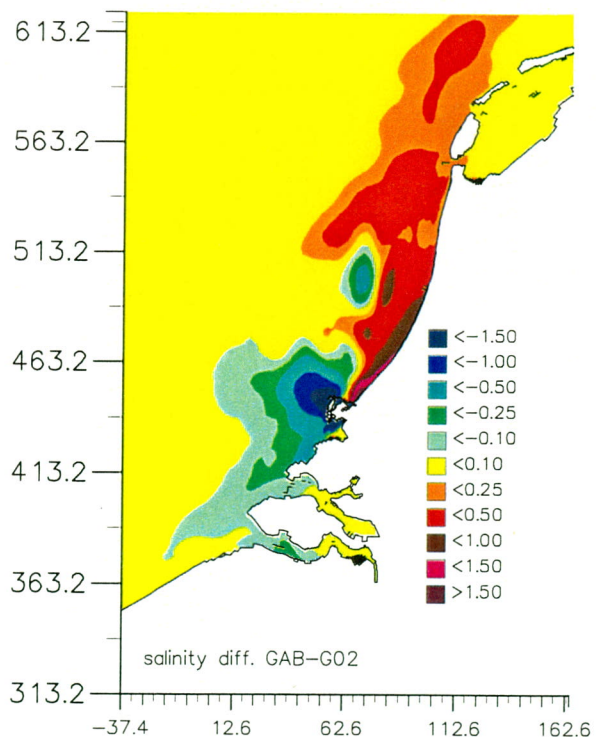
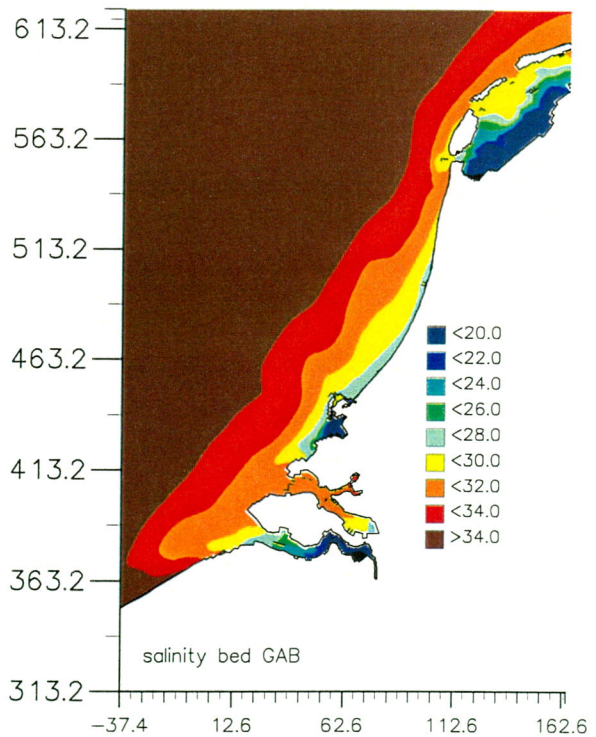
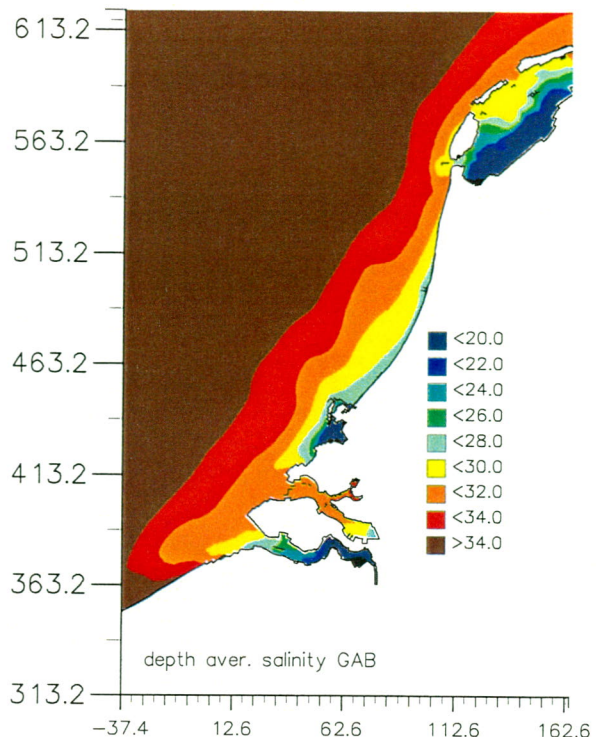
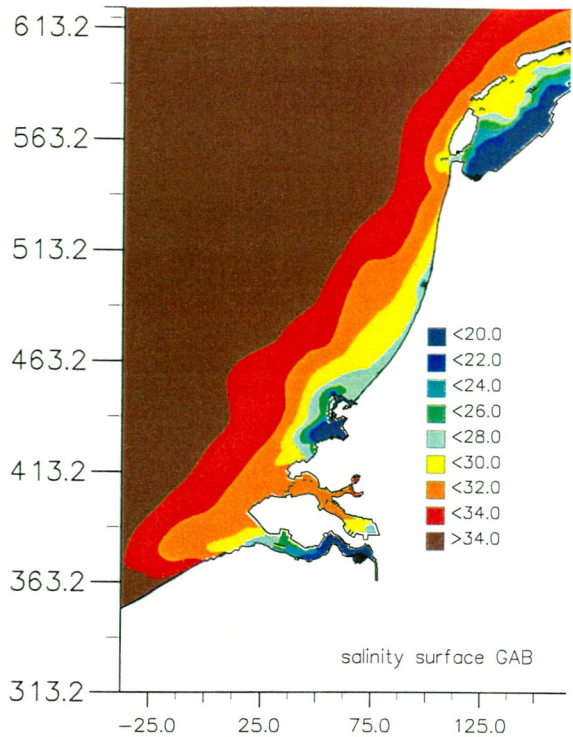
Salinity averaged over 14 days, top and bottom layer,
depth averaged and difference with G02

Maasvlakte-2



Present MV2 situation (G02), "Getemd Getij"
 Salinity averaged over 14 days, top and bottom layer,
 depth averaged

Maasvlakte-2



MV2, variant GAB''

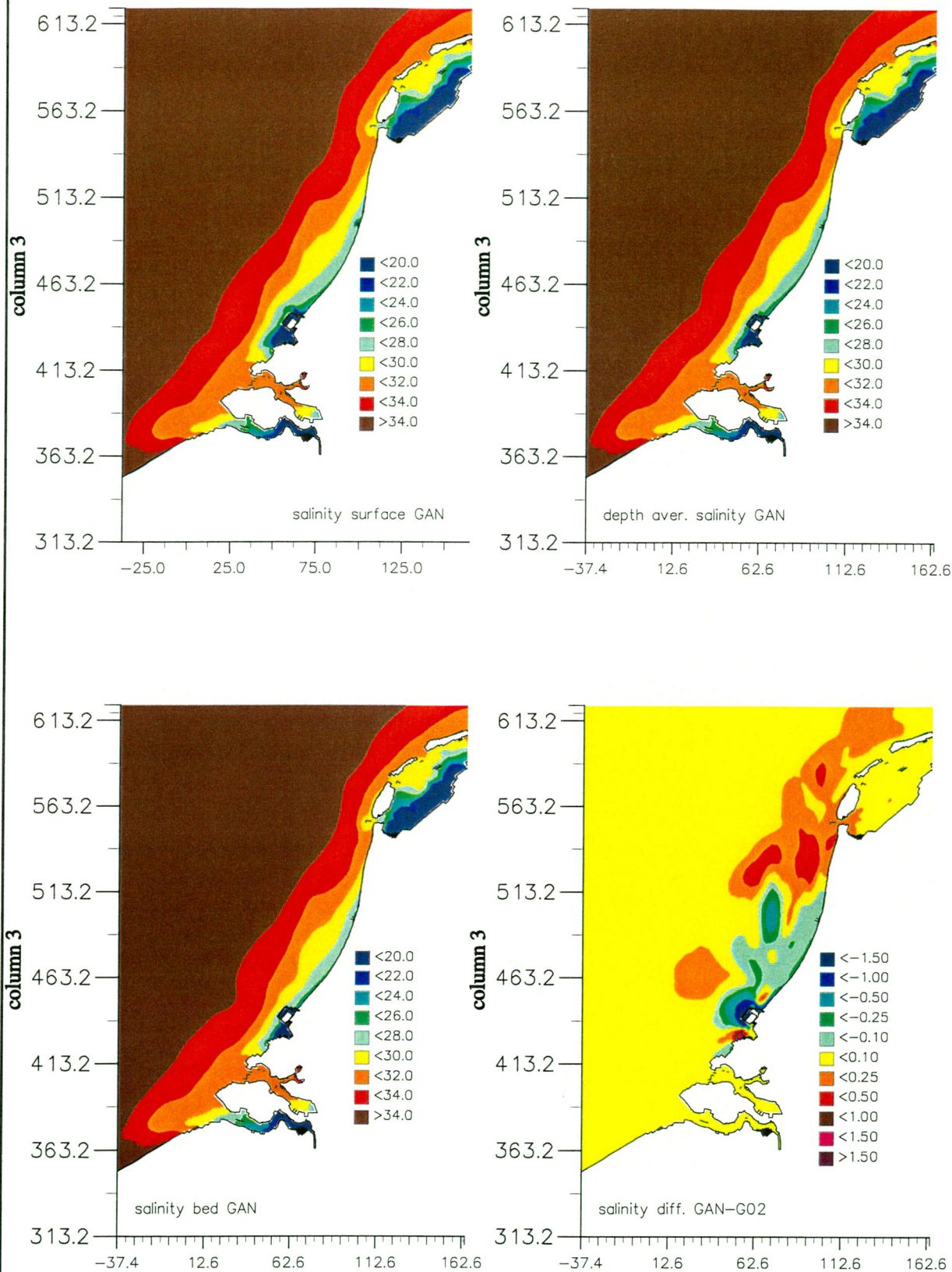
Salinity averaged over 14 days, top and bottom layer,
depth averaged and difference with G02

Maasvlakte-2

WL | DELFT HYDRAULICS

Proj Z3158

Fig e-3



MV2, variant GAN''

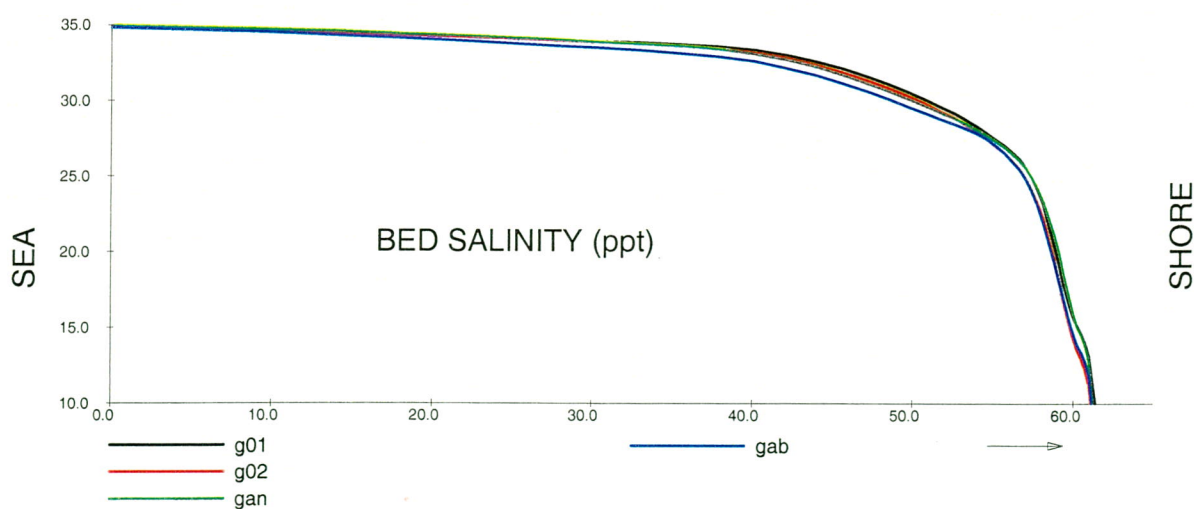
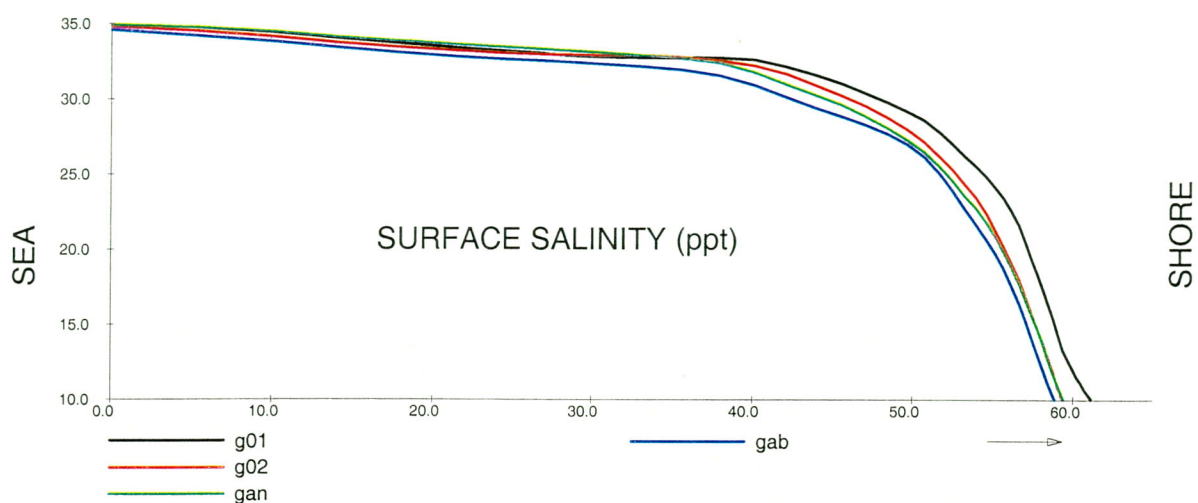
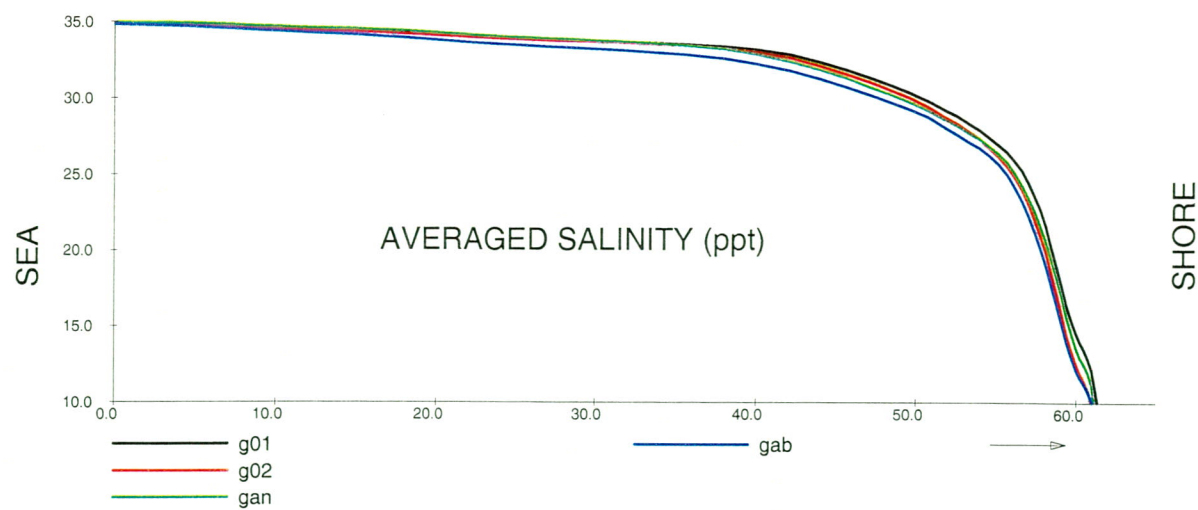
Salinity averaged over 14 days, top and bottom layer,
depth averaged and difference with G02

Maasvlakte-2

WL | DELFT HYDRAULICS

Proj Z3158

Fig e-4



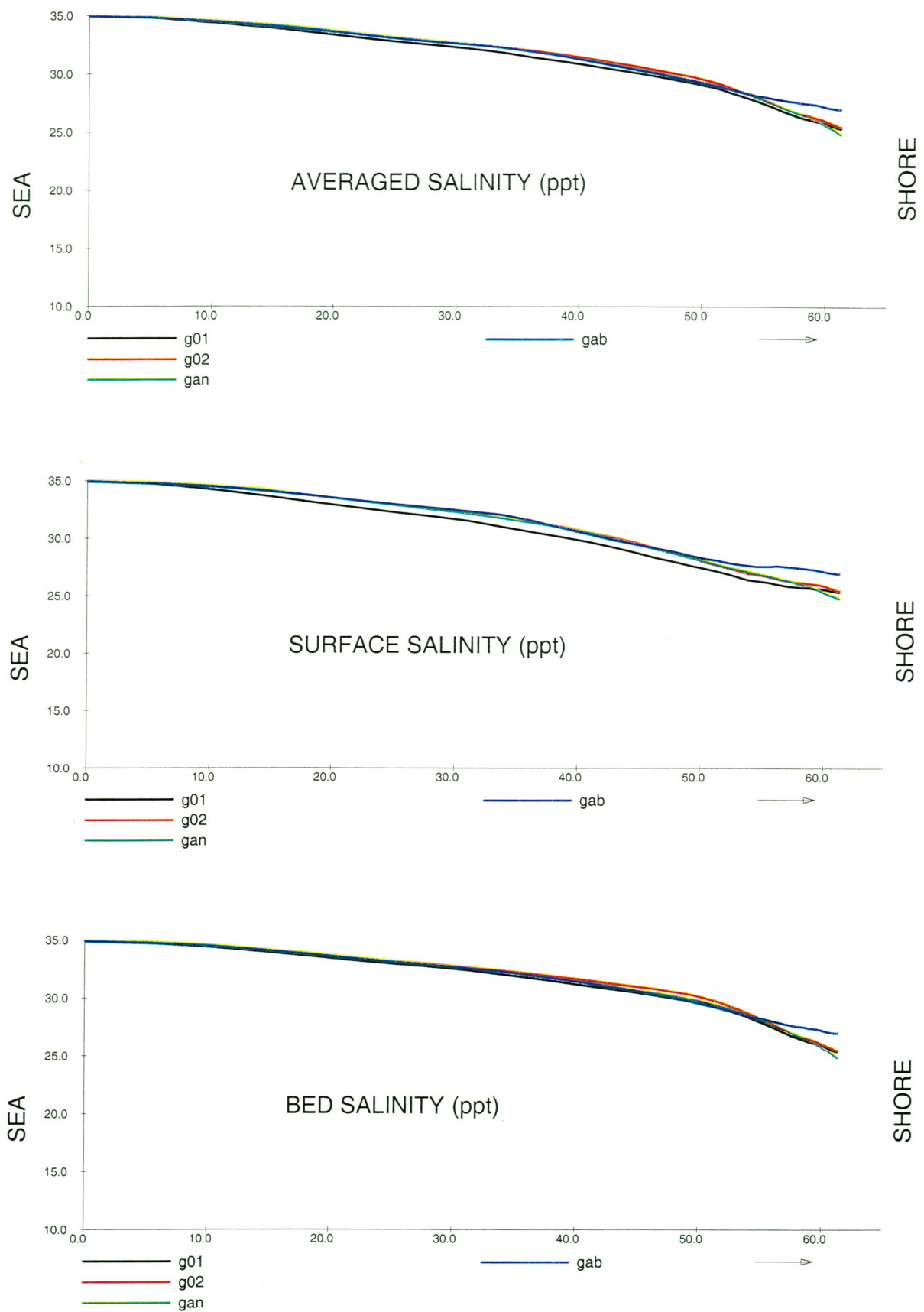
Tue Sep 25 16:49:00 MDT 2001 /u/kasjelle/jphun001.pct

Cross shore salinity distribution
Section Goeree

2001-09-25
16:11:43

DELFT HYDRAULICS

fig F-1



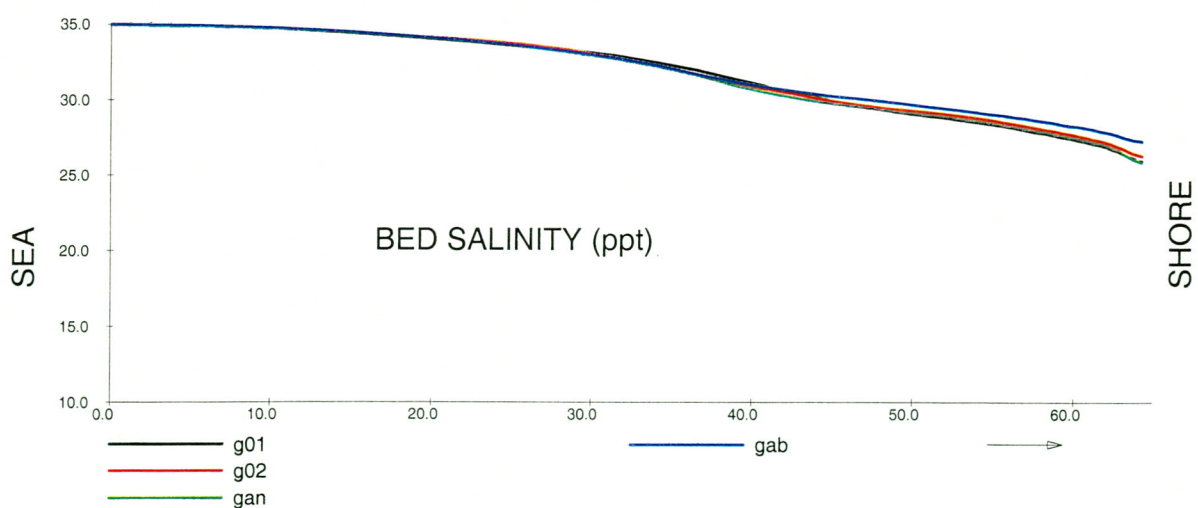
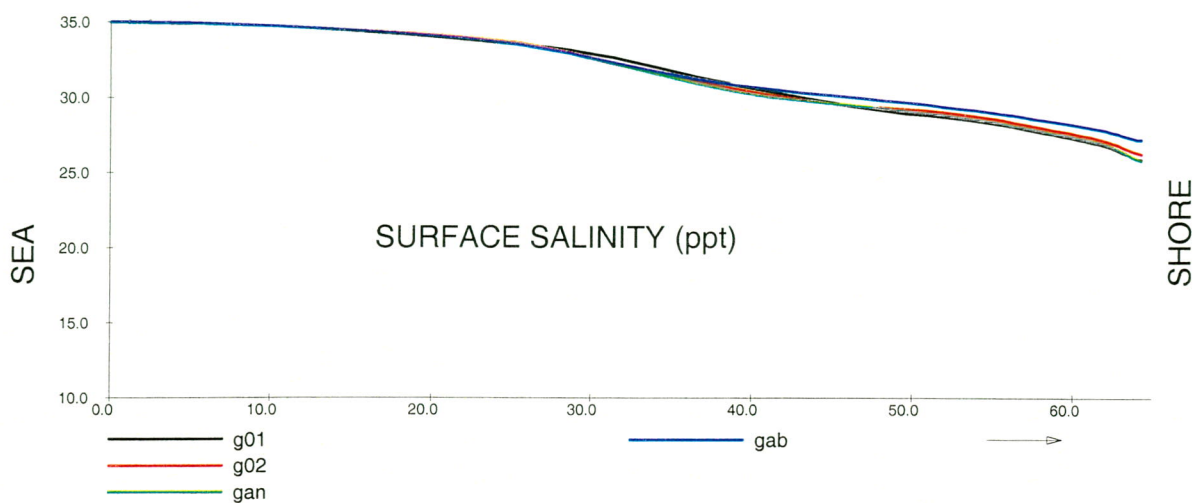
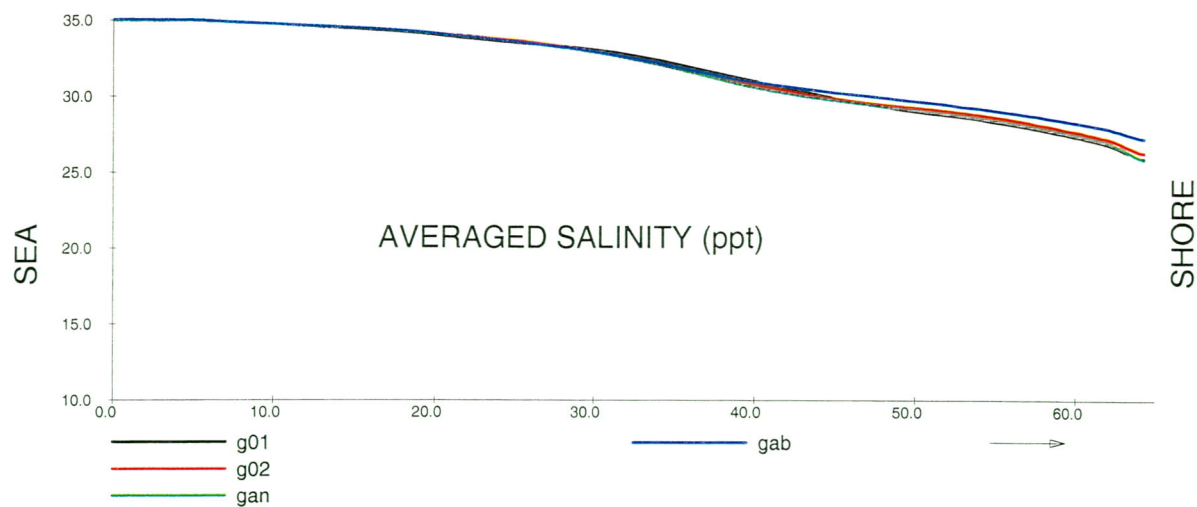
Tue Sep 25 16:49:02 MDT 2001 /ukaaaj/efter/gan/902.pst

Cross shore salinity distribution
Section Ter Heide

2001-09-25
16:11:43

DELFT HYDRAULICS

fig F-2



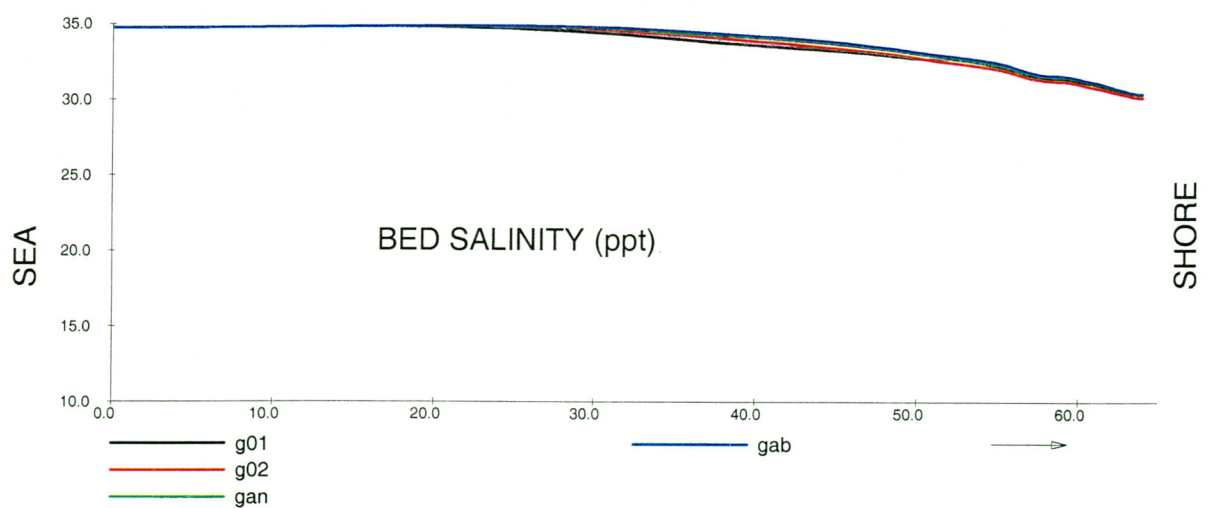
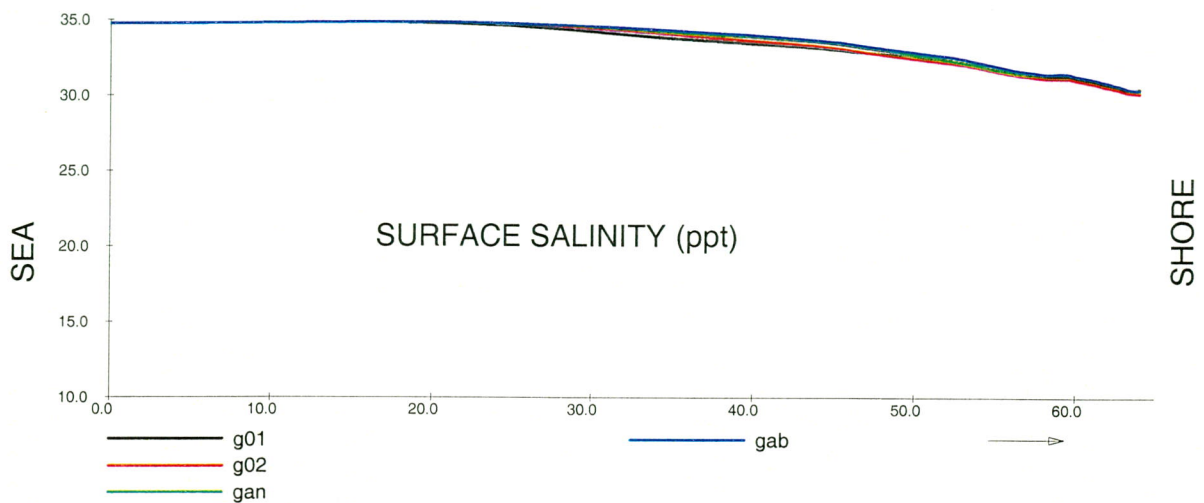
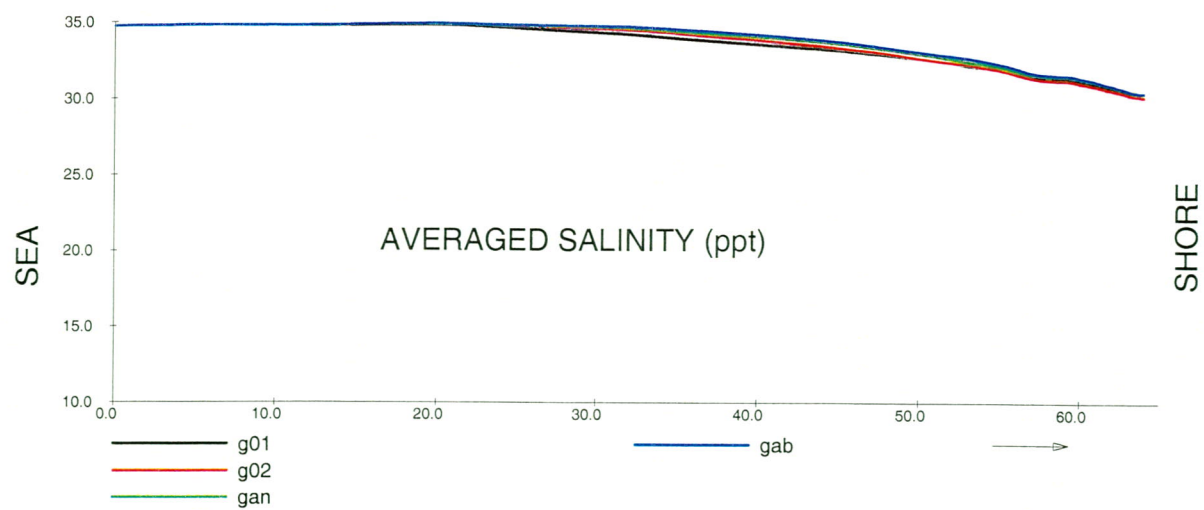
Tue Sep 25 16:49:04 MDT 2001 /u/kauai/efre/john003.pct

Cross shore salinity distribution
Section Noordwijk

2001-09-25
16:11:43

DELFT HYDRAULICS

fig F-3



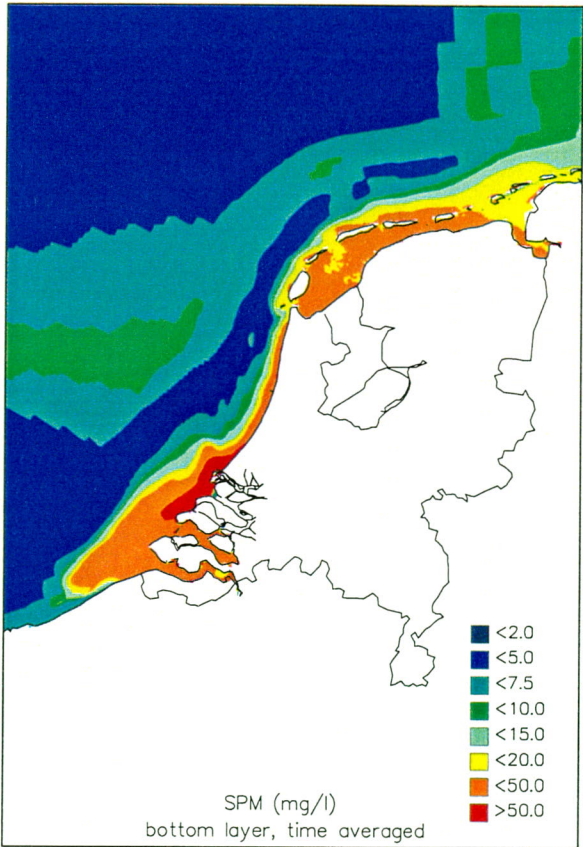
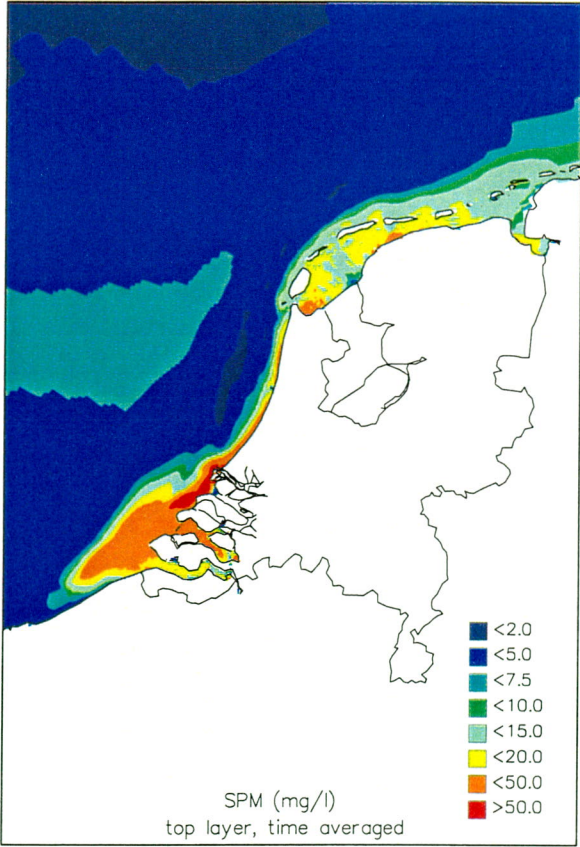
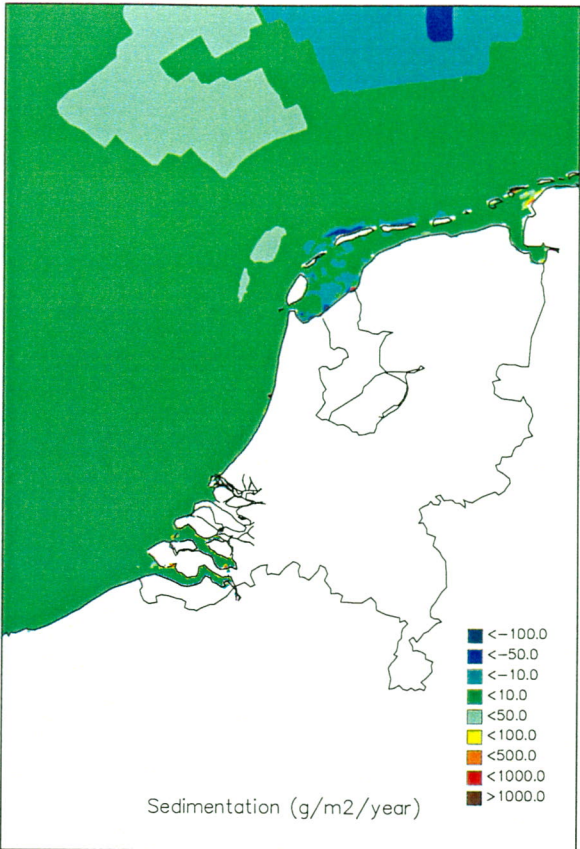
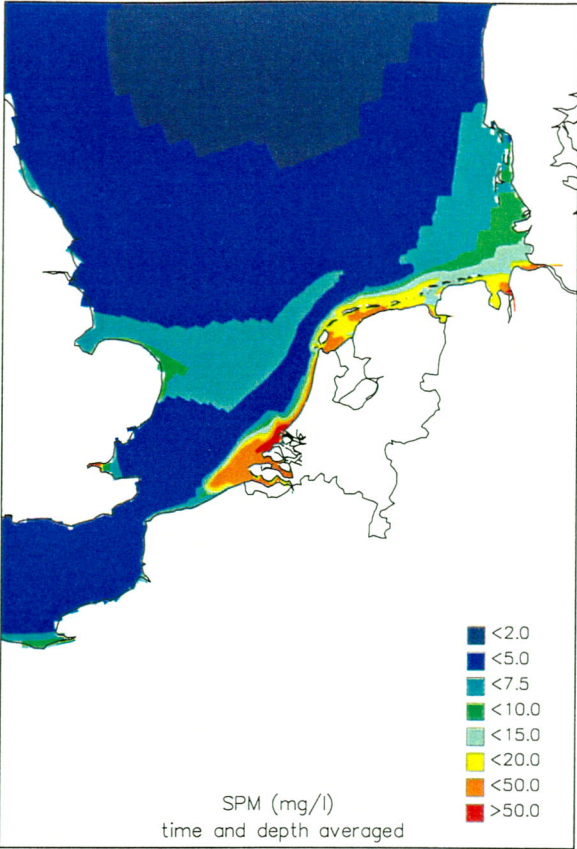
Tue Sep 25 16:49:06 MDT 2001 /u/aaaj/ef/chaun004.pct

Cross shore salinity distribution
Section Callantsoog

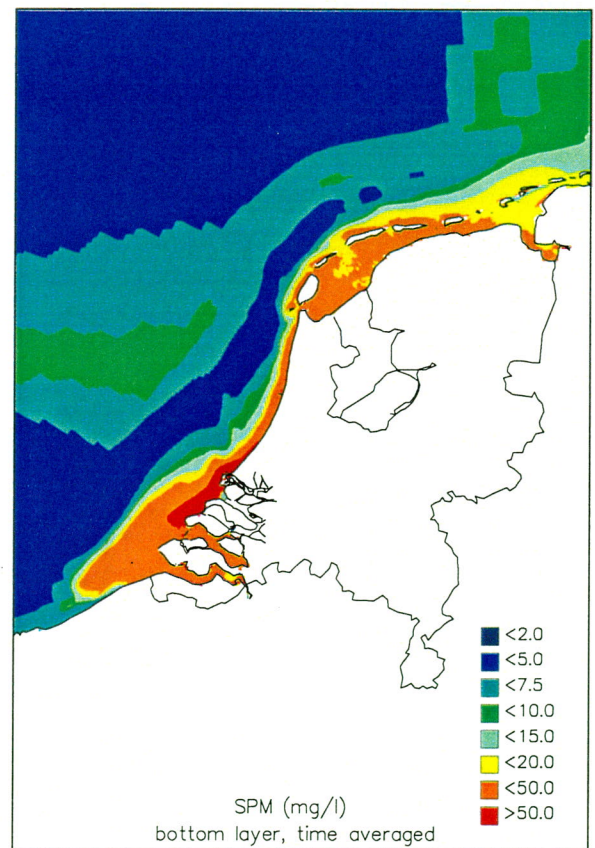
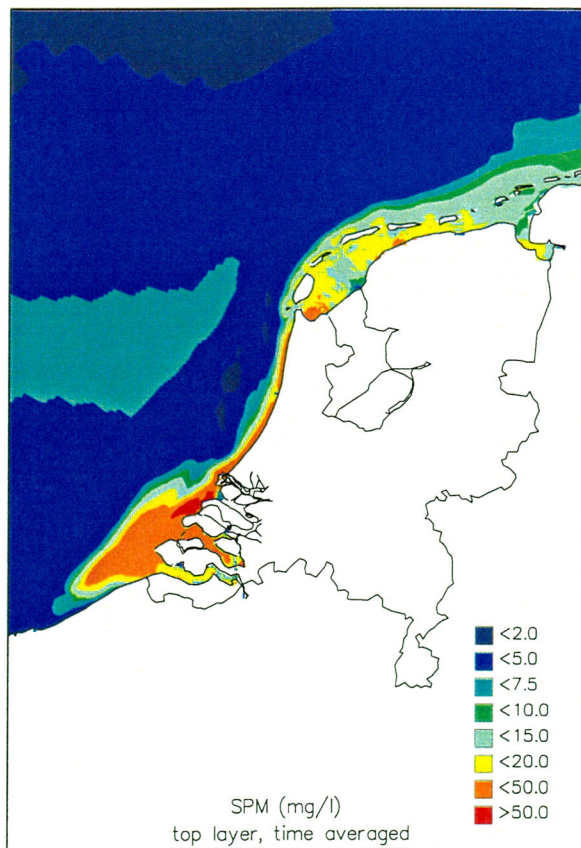
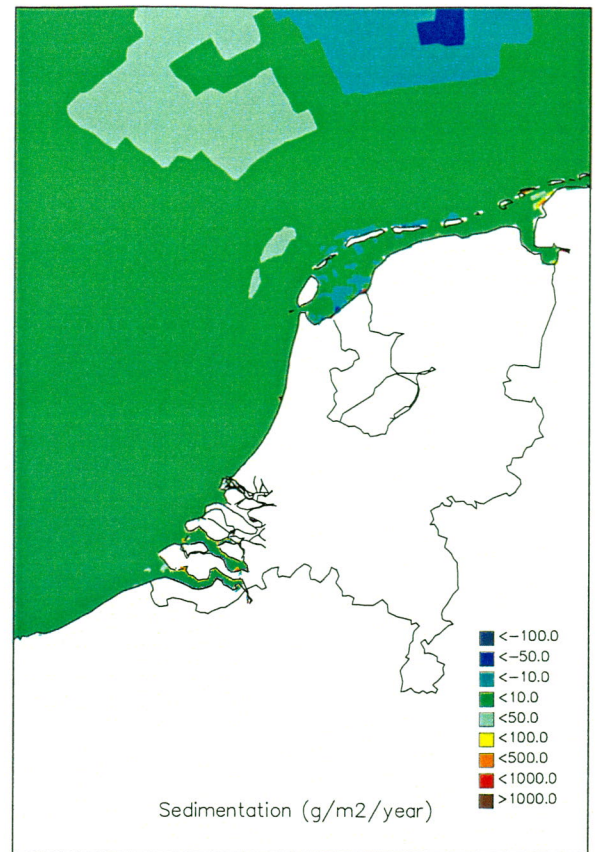
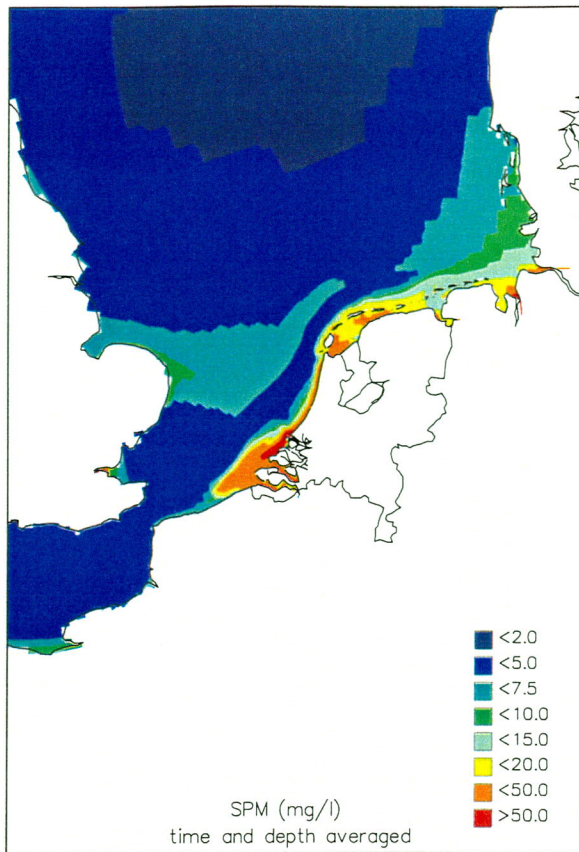
2001-09-25
16:11:43

DELFT HYDRAULICS

fig F-4



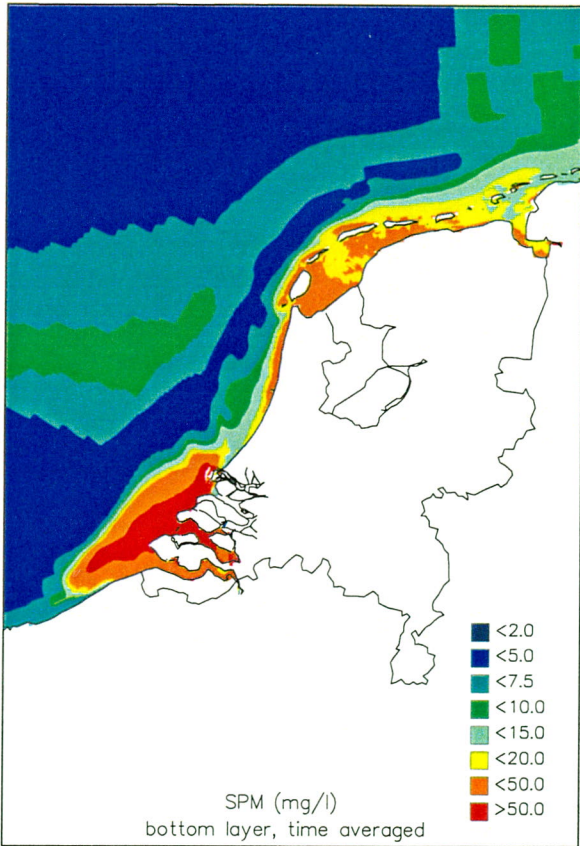
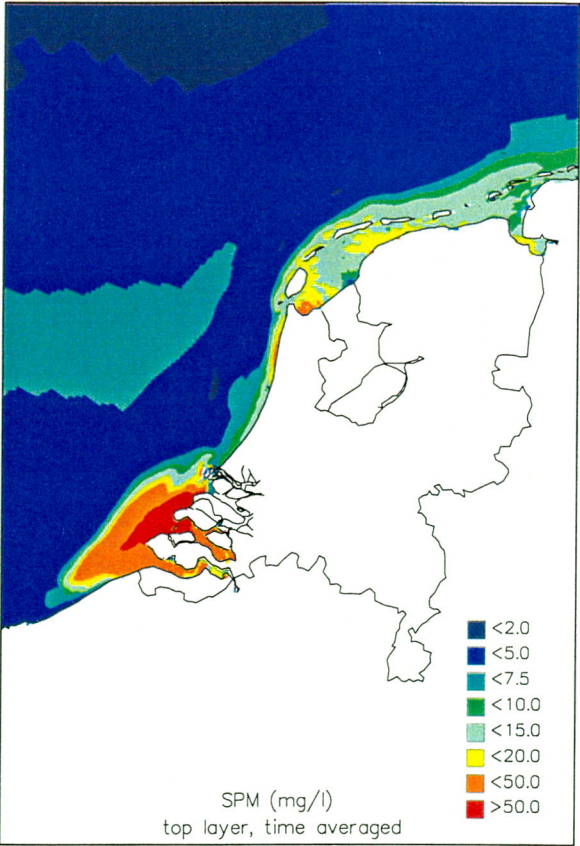
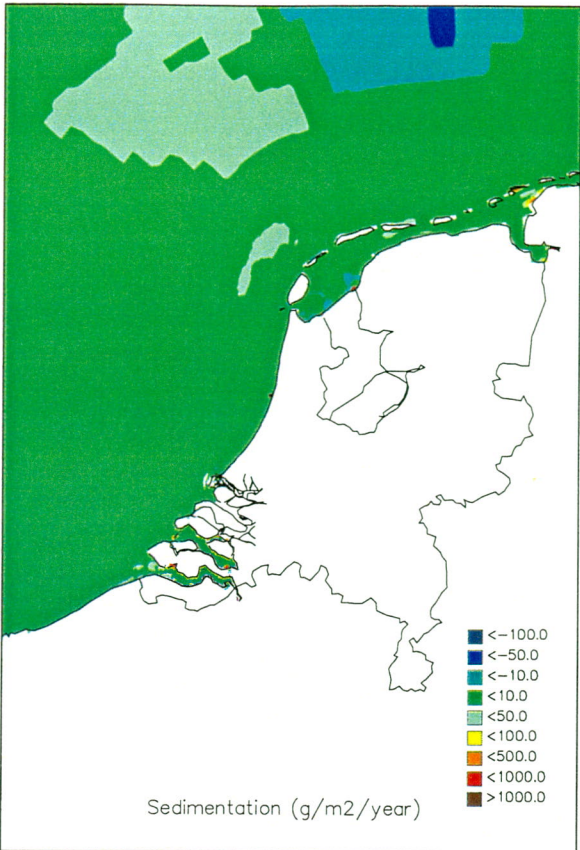
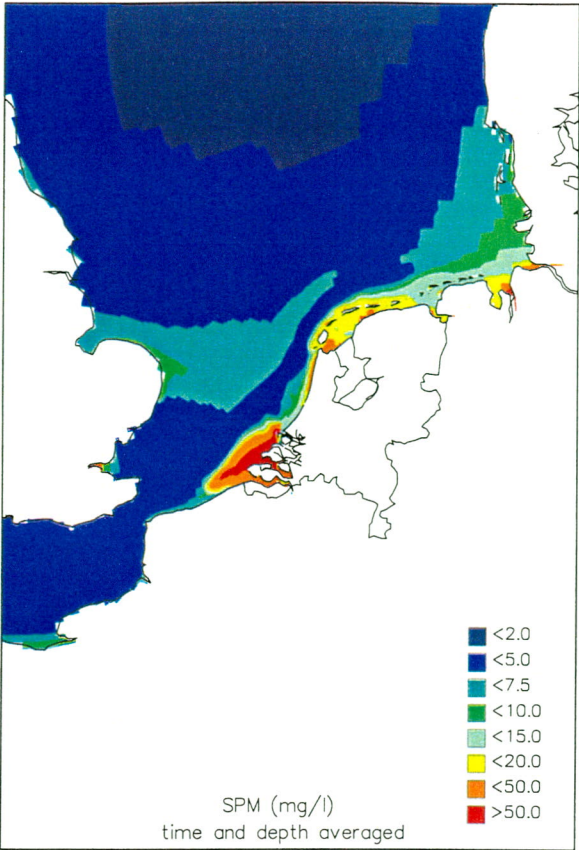
Sediment distribution for g01	g01-s18	
	Z3158	
WL DELFT HYDRAULICS	Fig. G-1	

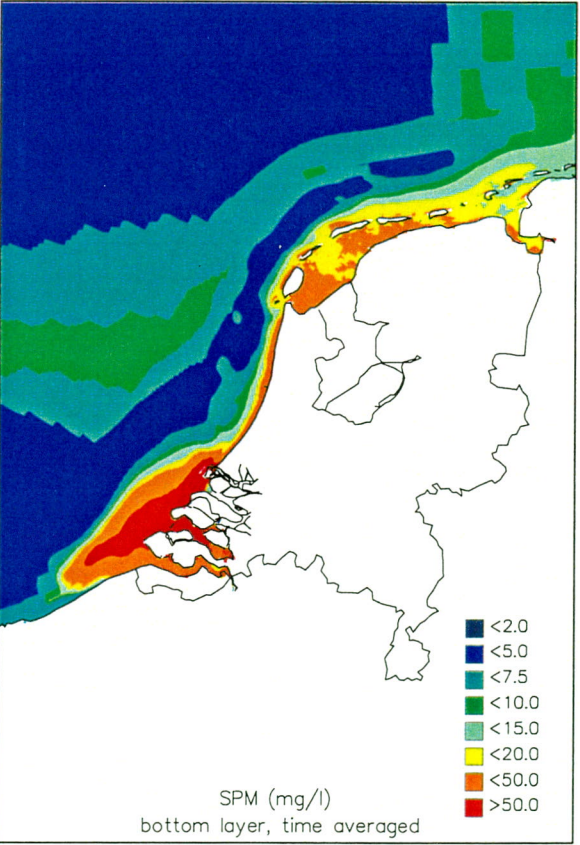
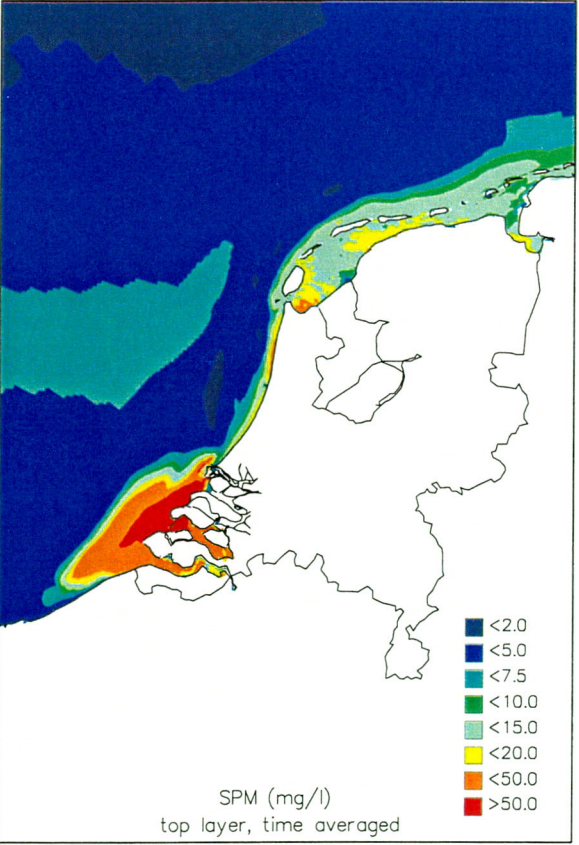
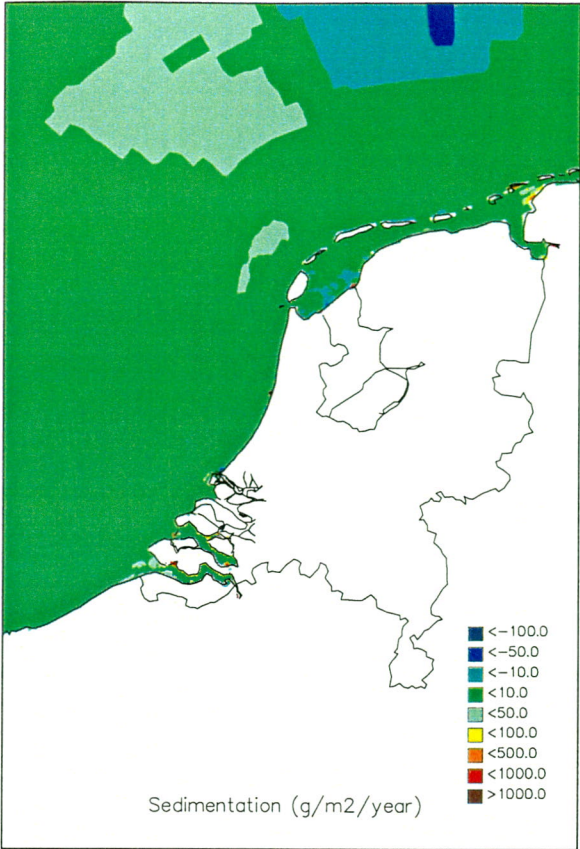
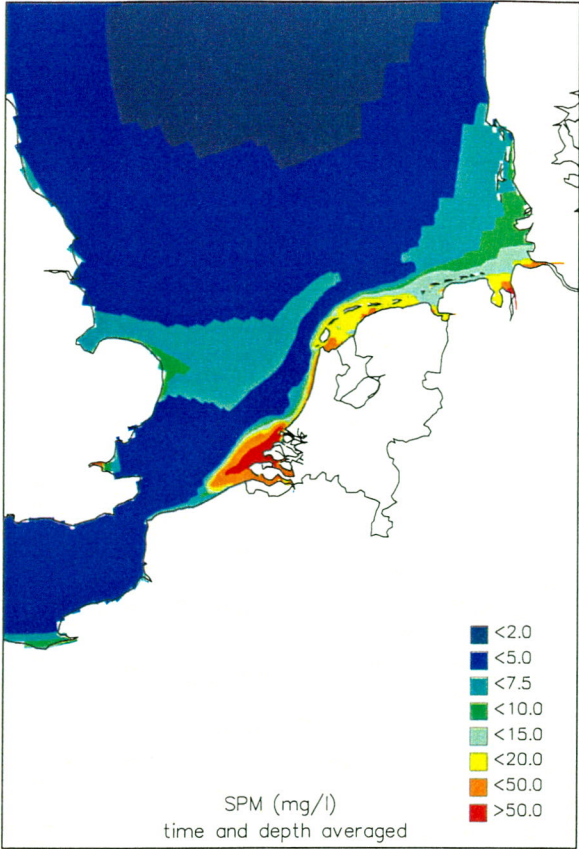


Sediment distribution for g02

g02-s18

Z3158

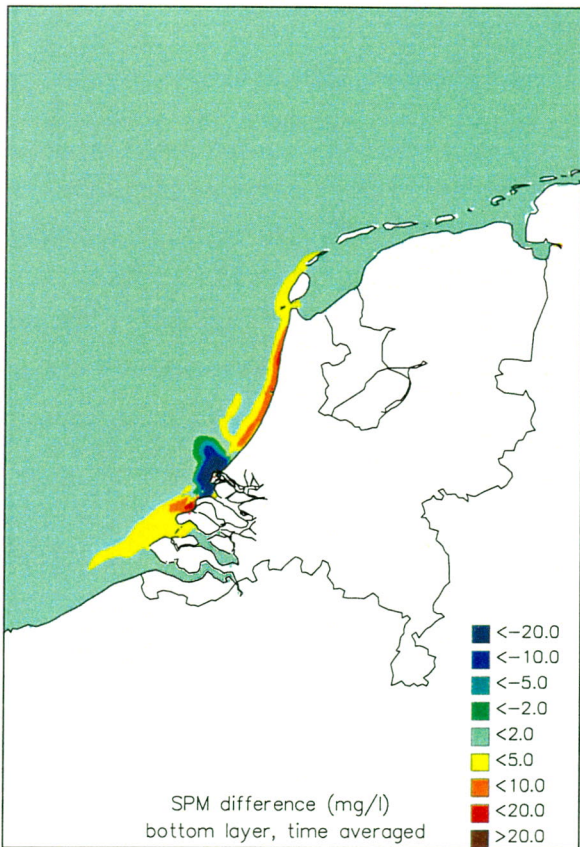
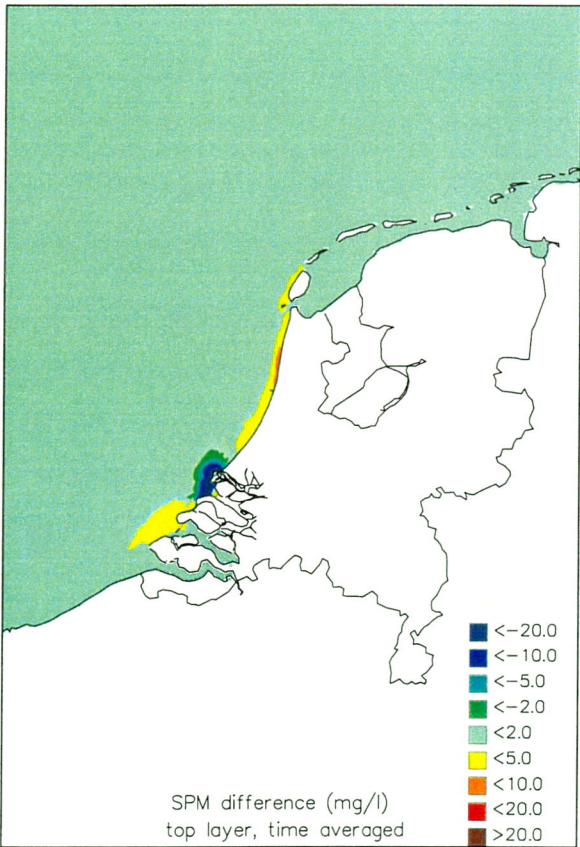
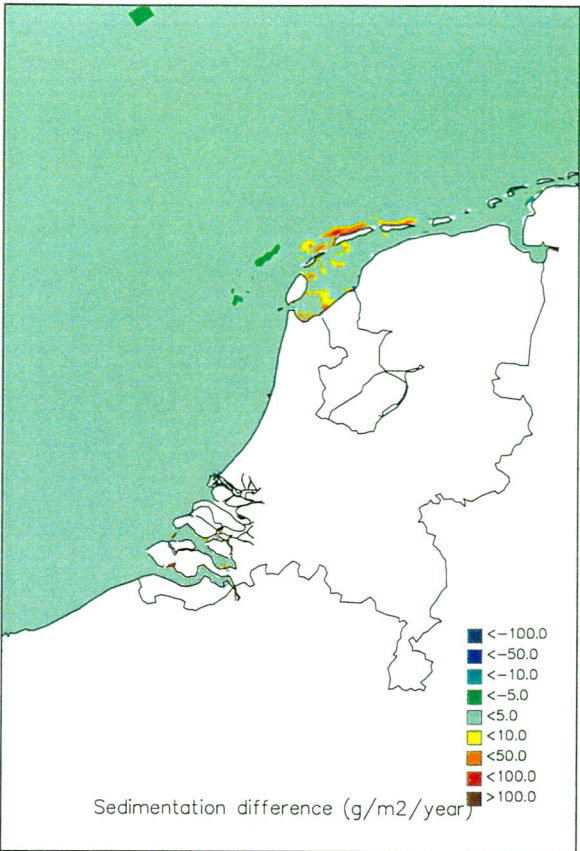
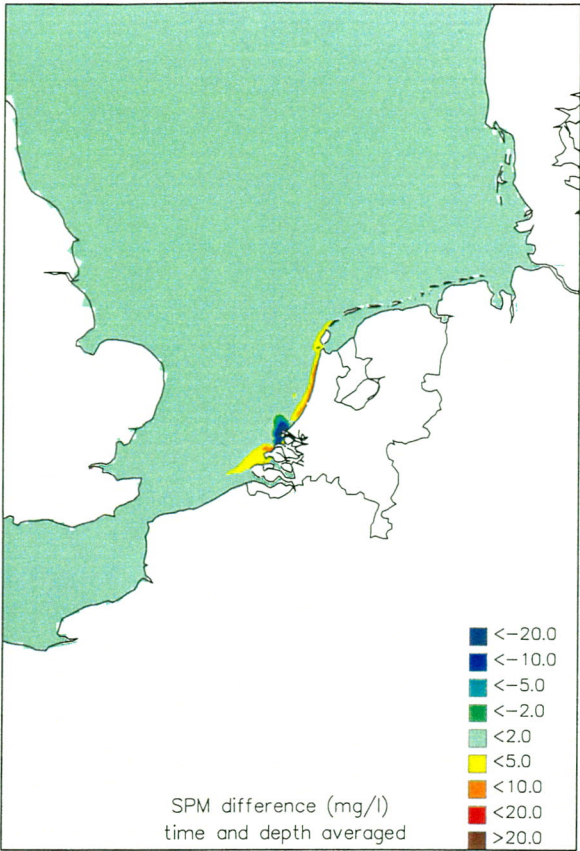




Sediment distribution for gan

gan-s18

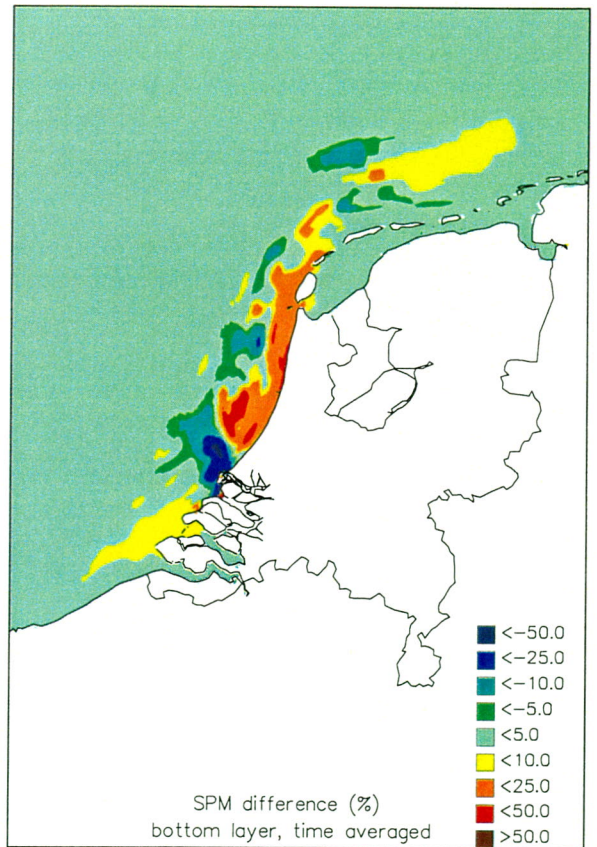
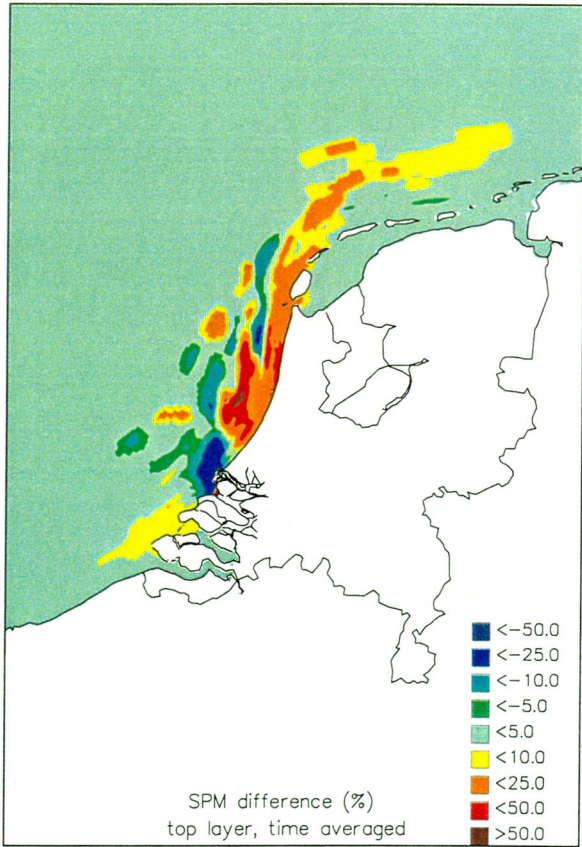
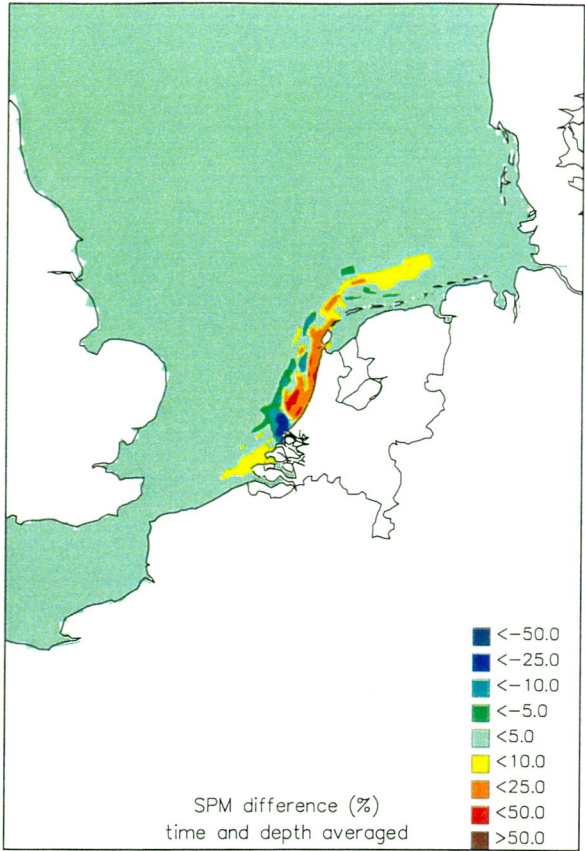
Z3158



Absolute difference in sediment distribution for g02 - g01

g02-g01-diff

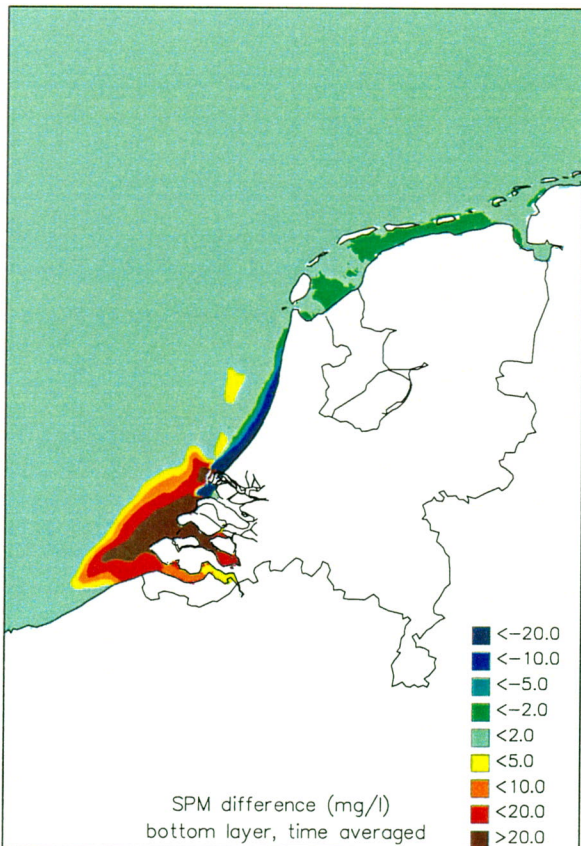
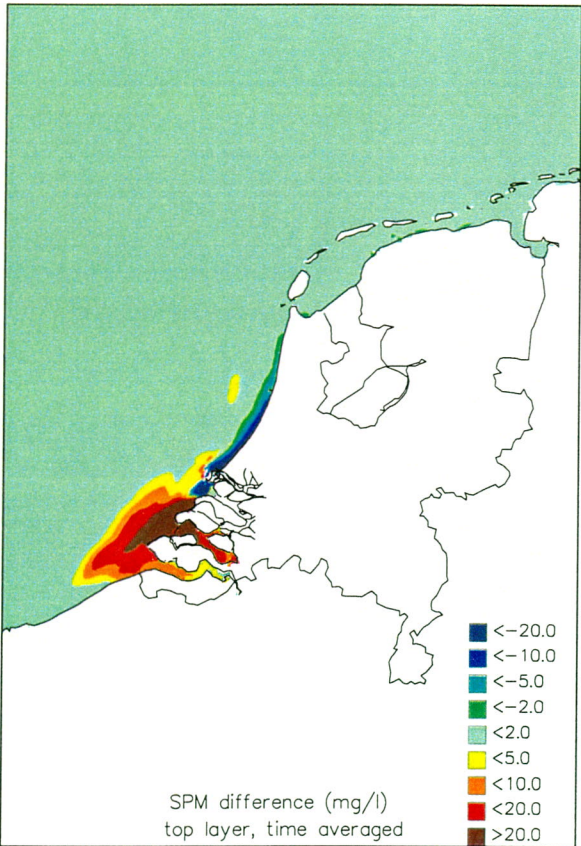
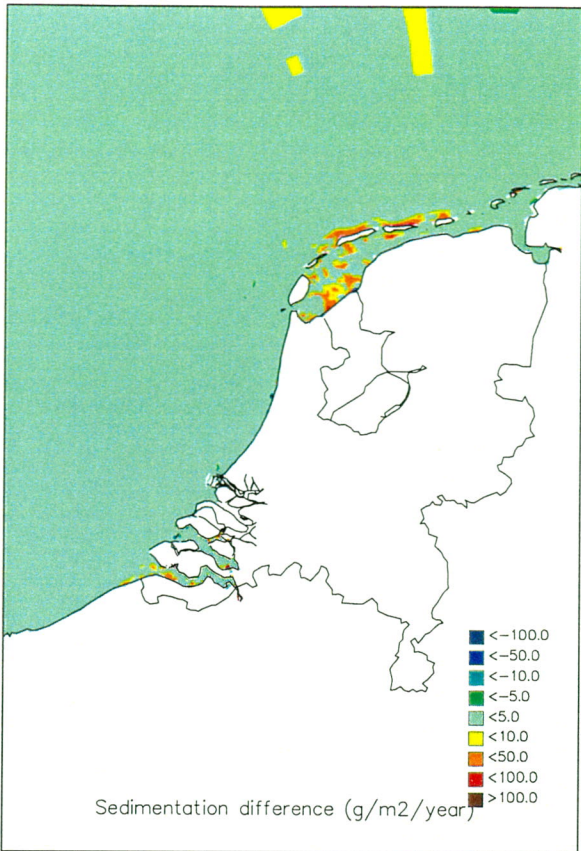
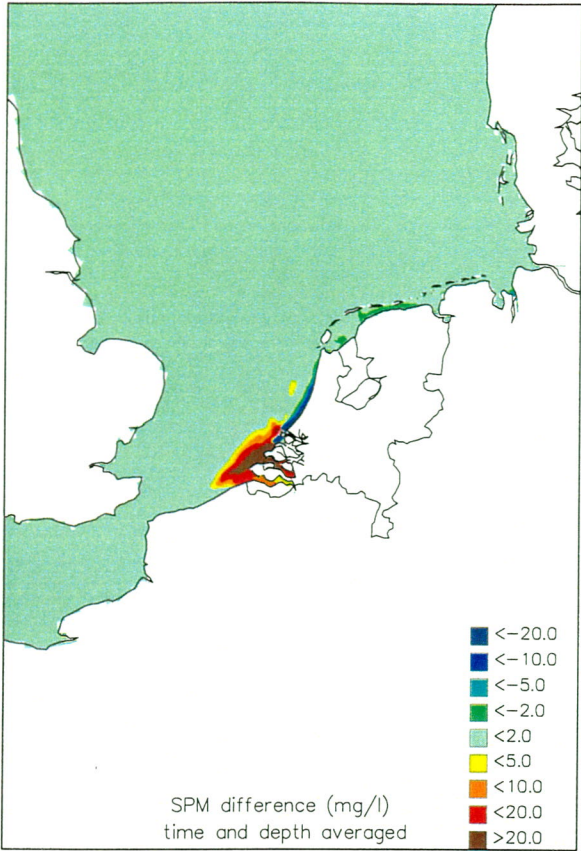
Z3158



Relative difference in sediment distribution for g02 - g01

g02-g01-diffr

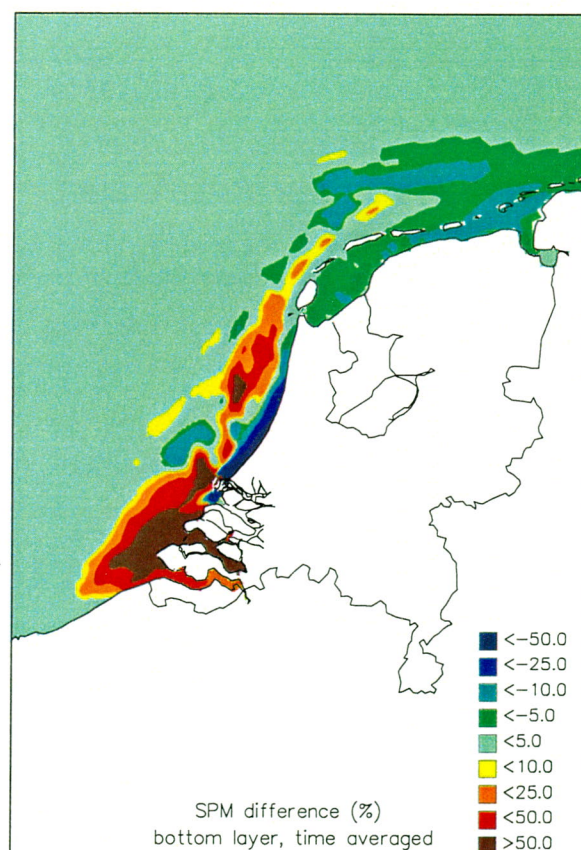
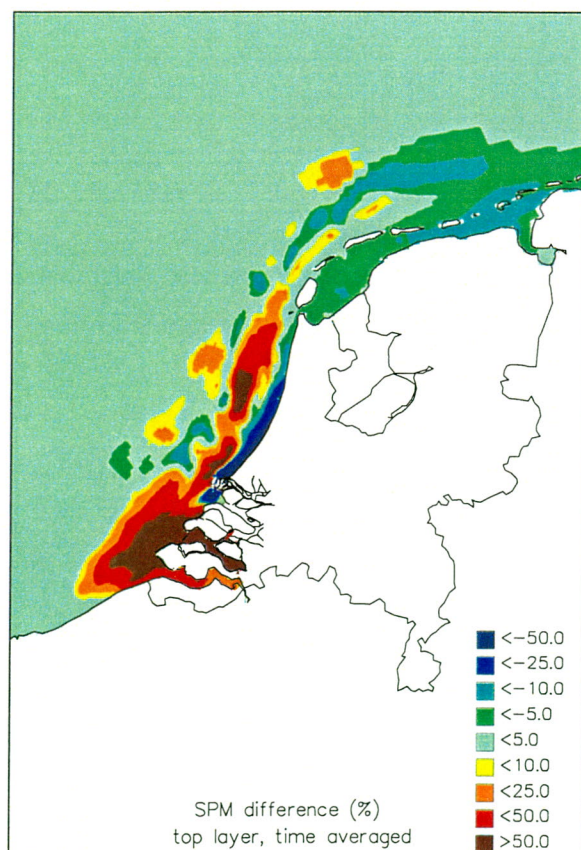
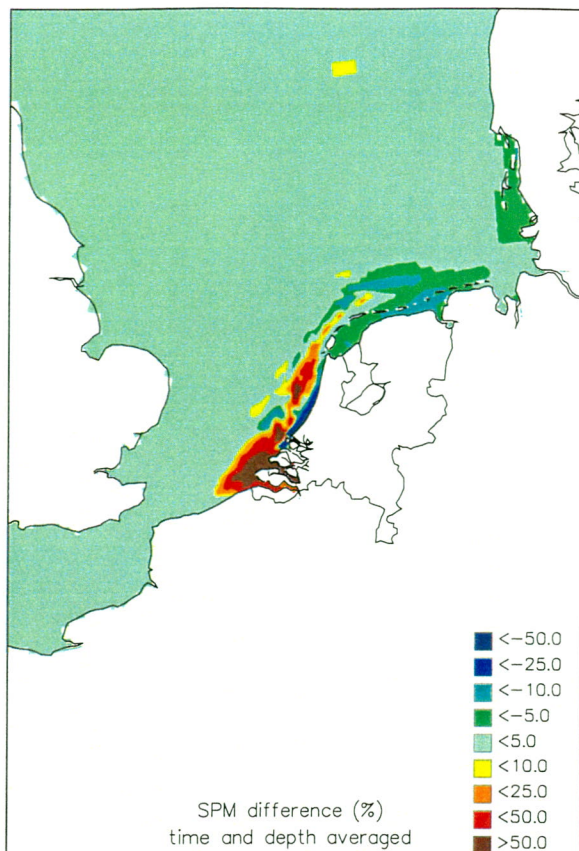
Z3158



Absolute difference in sediment distribution for gab - g02

gab-g02-diff

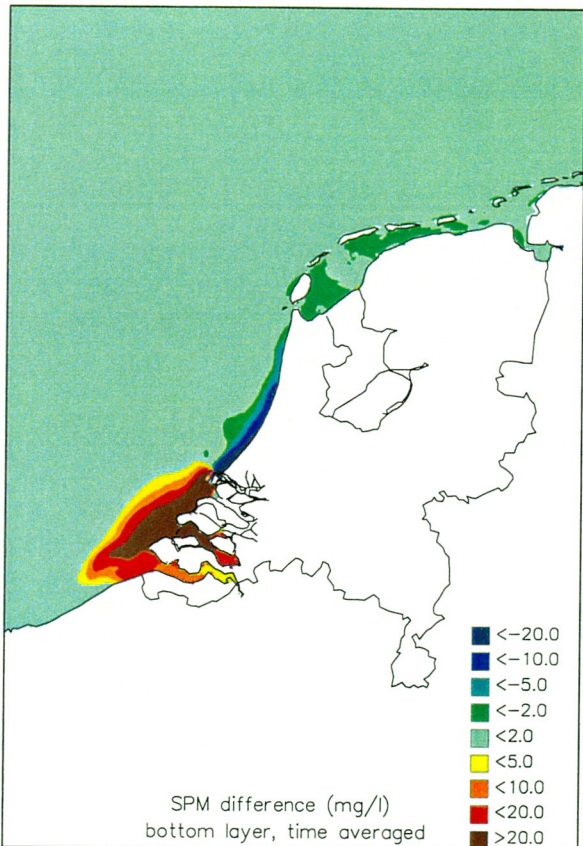
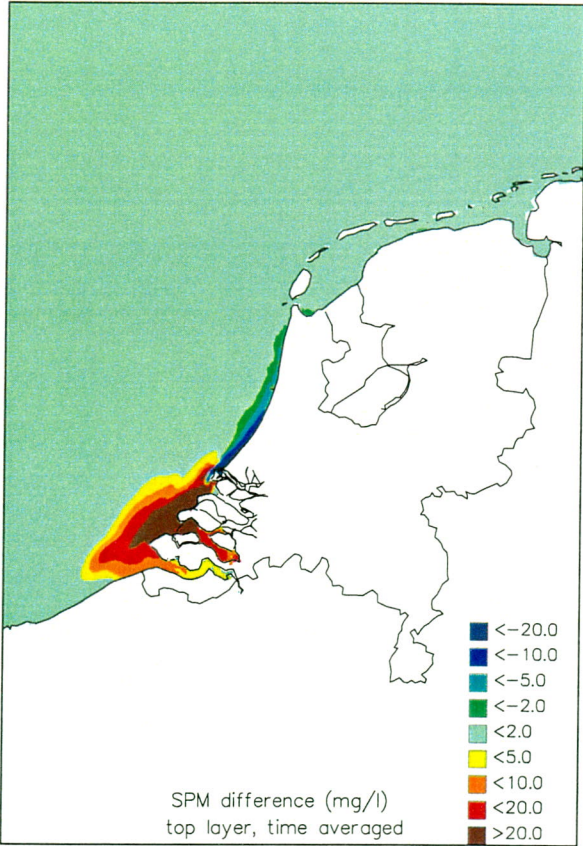
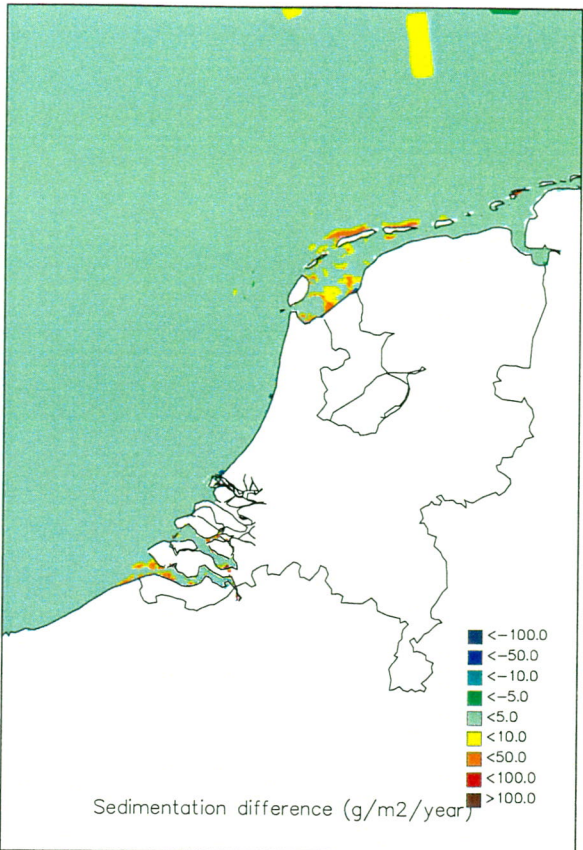
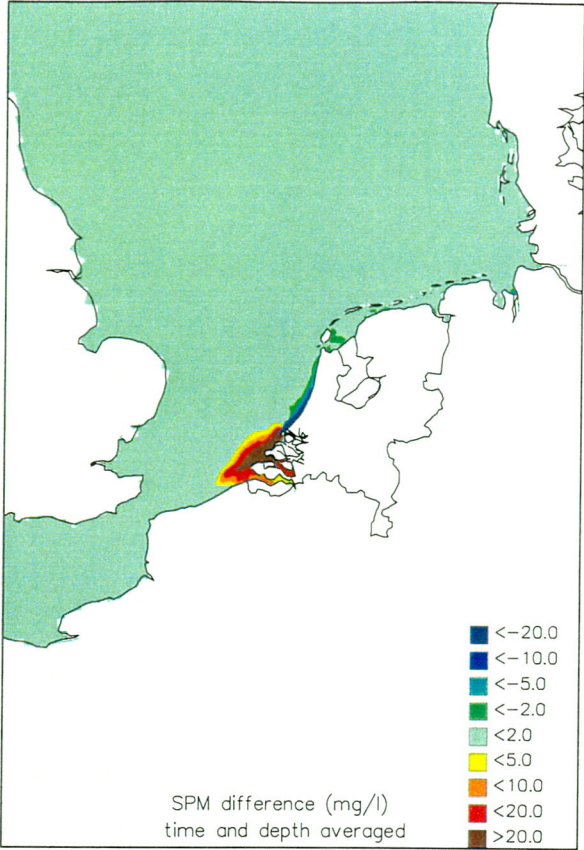
Z3158



Relative difference in sediment distribution for gab - g02

gab-g02-diffr

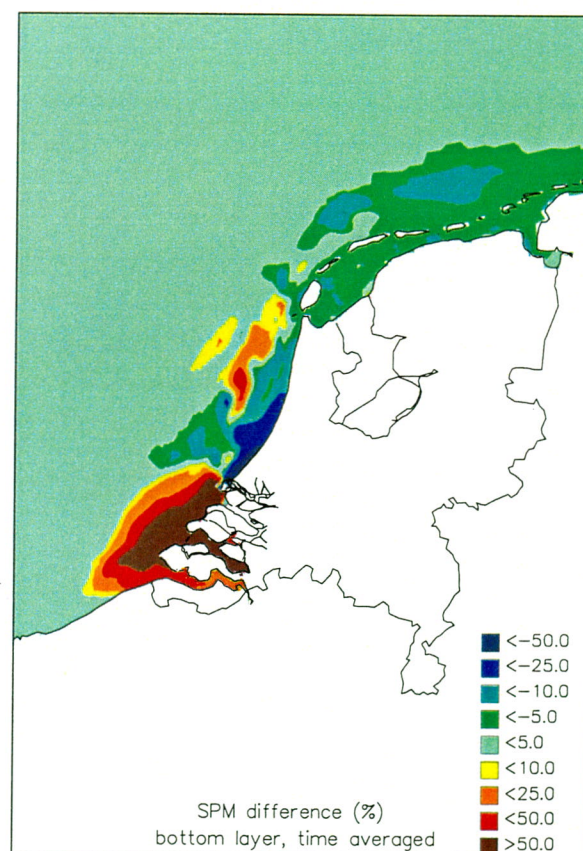
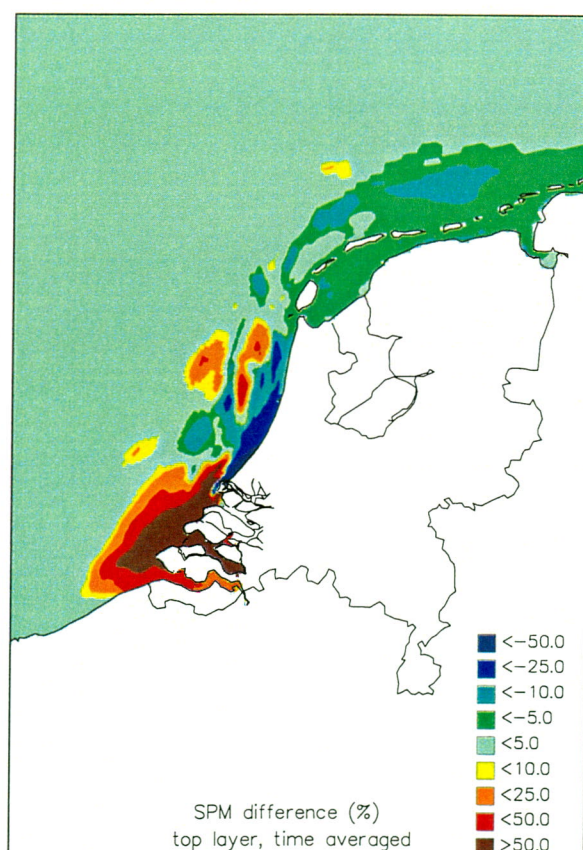
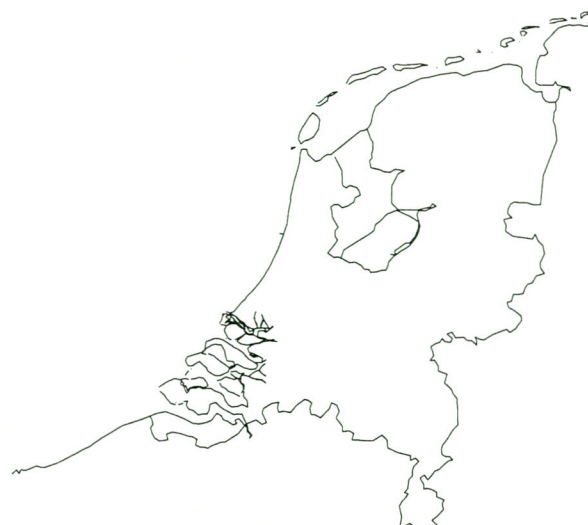
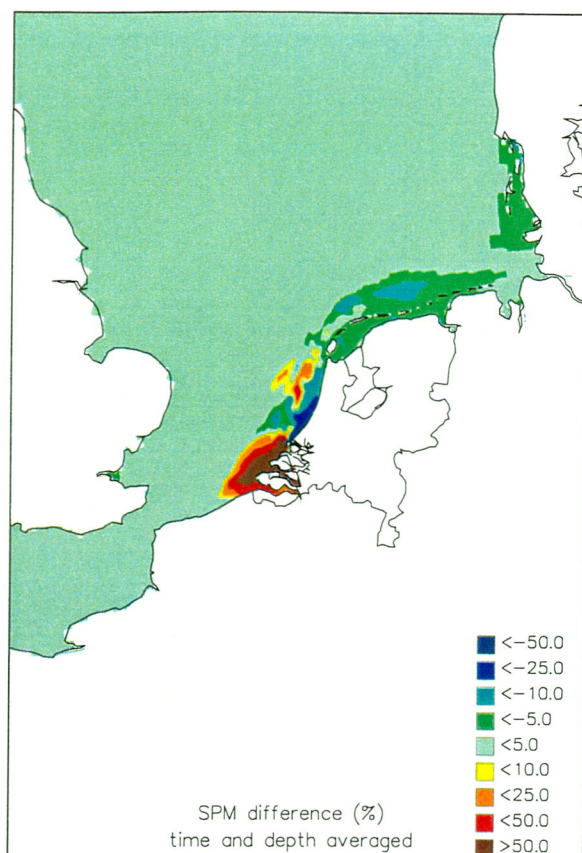
Z3158



Absolute difference in sediment distribution for gan - g02

gan-g02-diff

Z3158



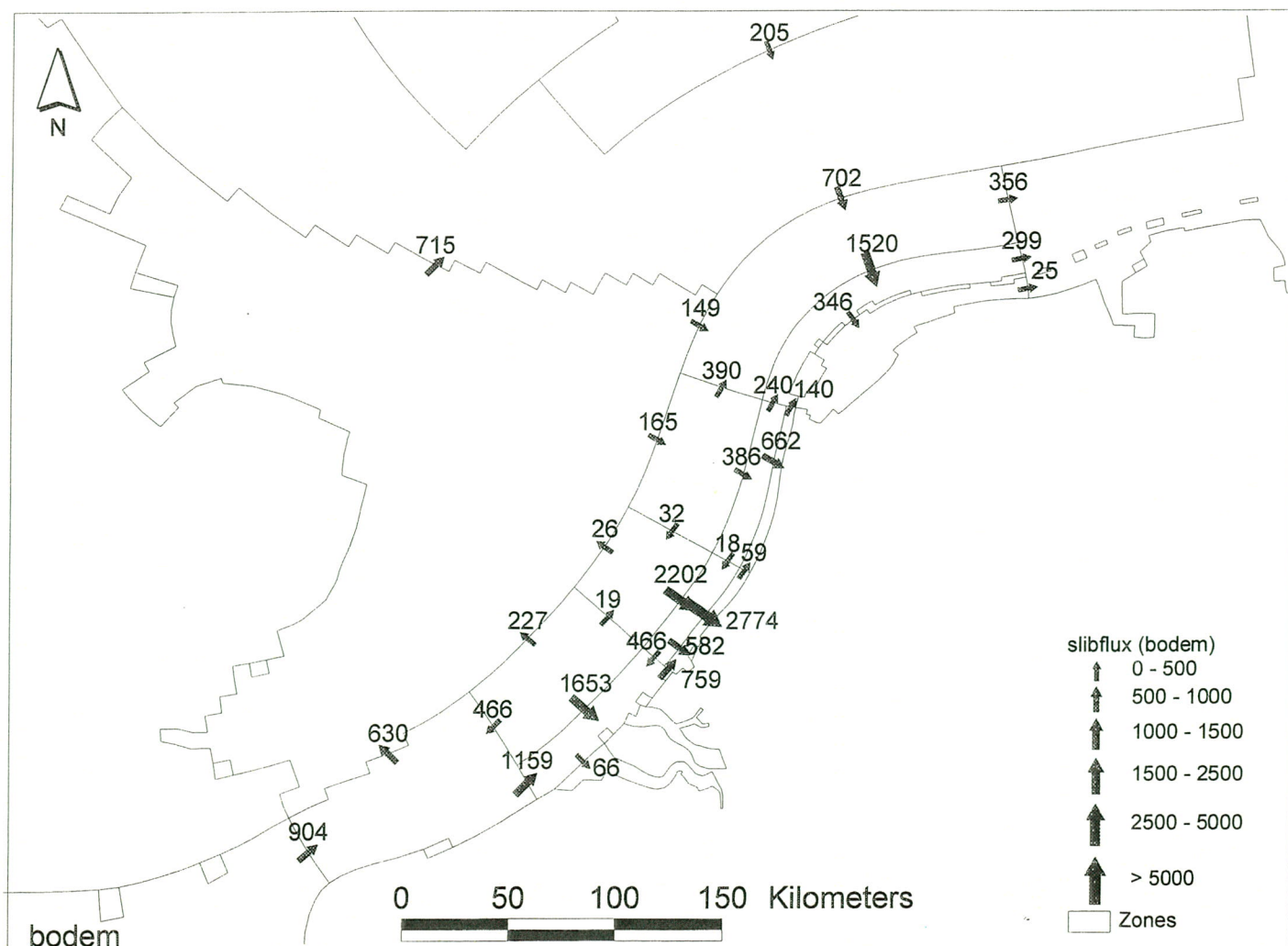
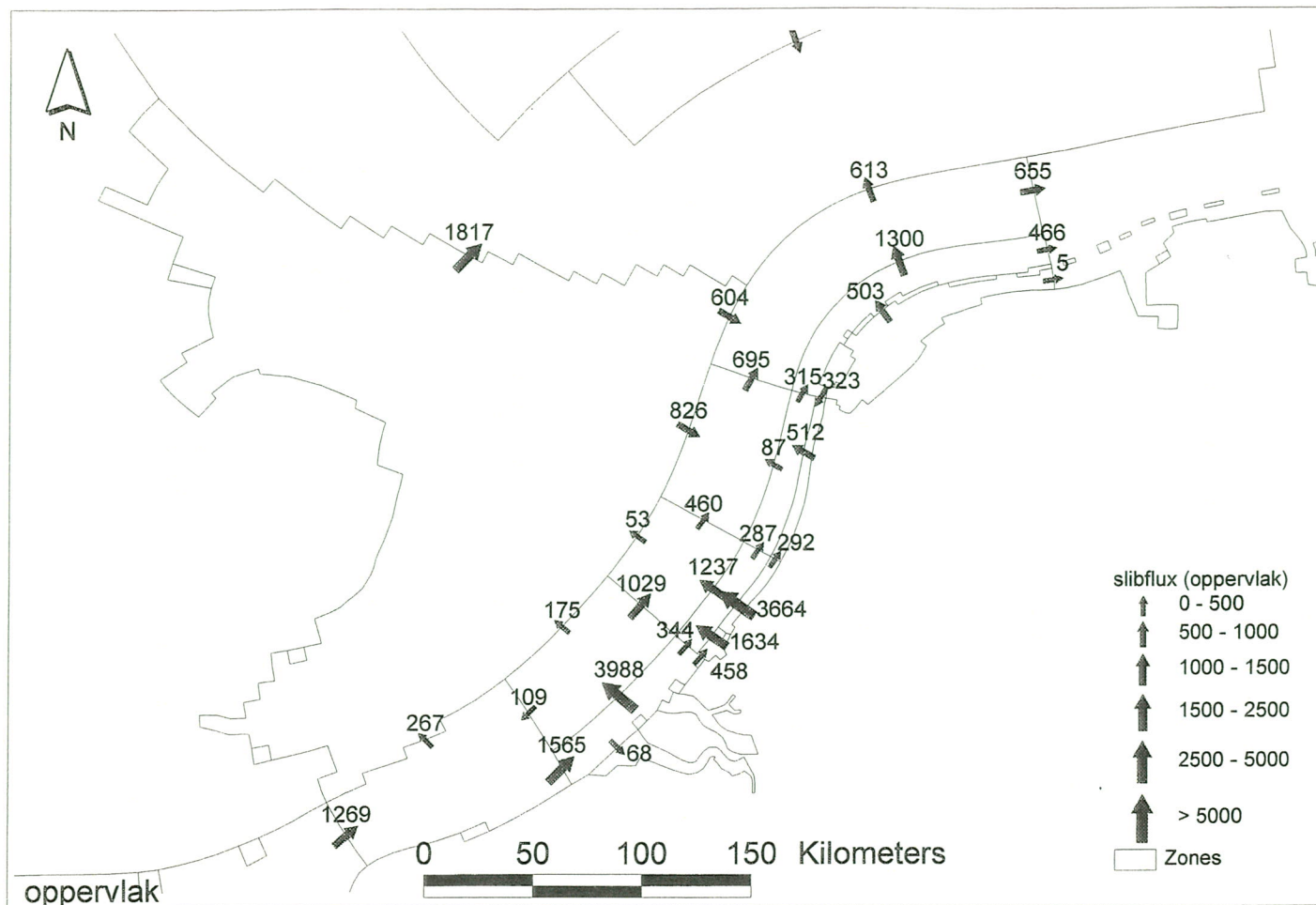
Relative difference in sediment distribution for gan - g02

gan-g02-diffr

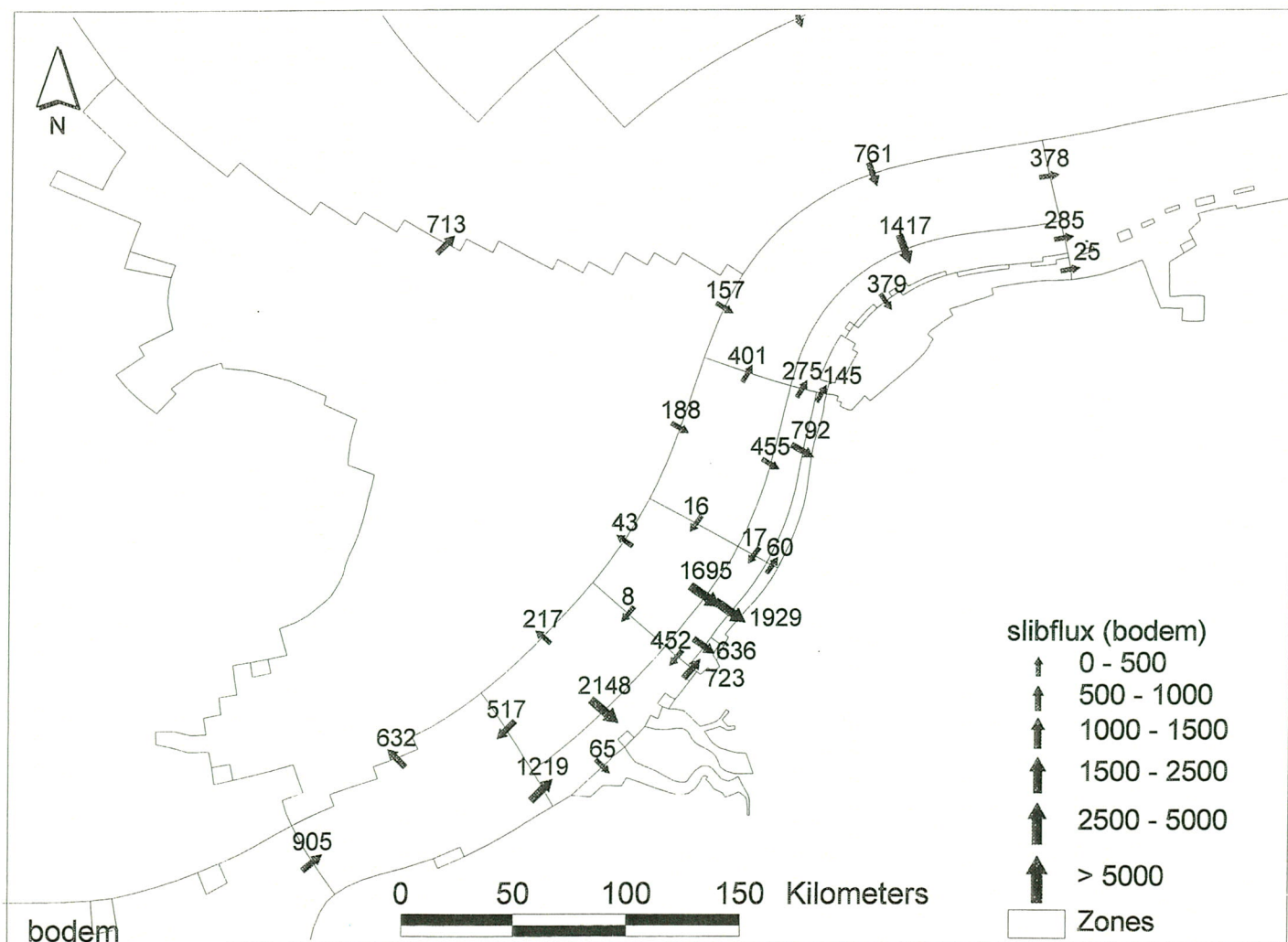
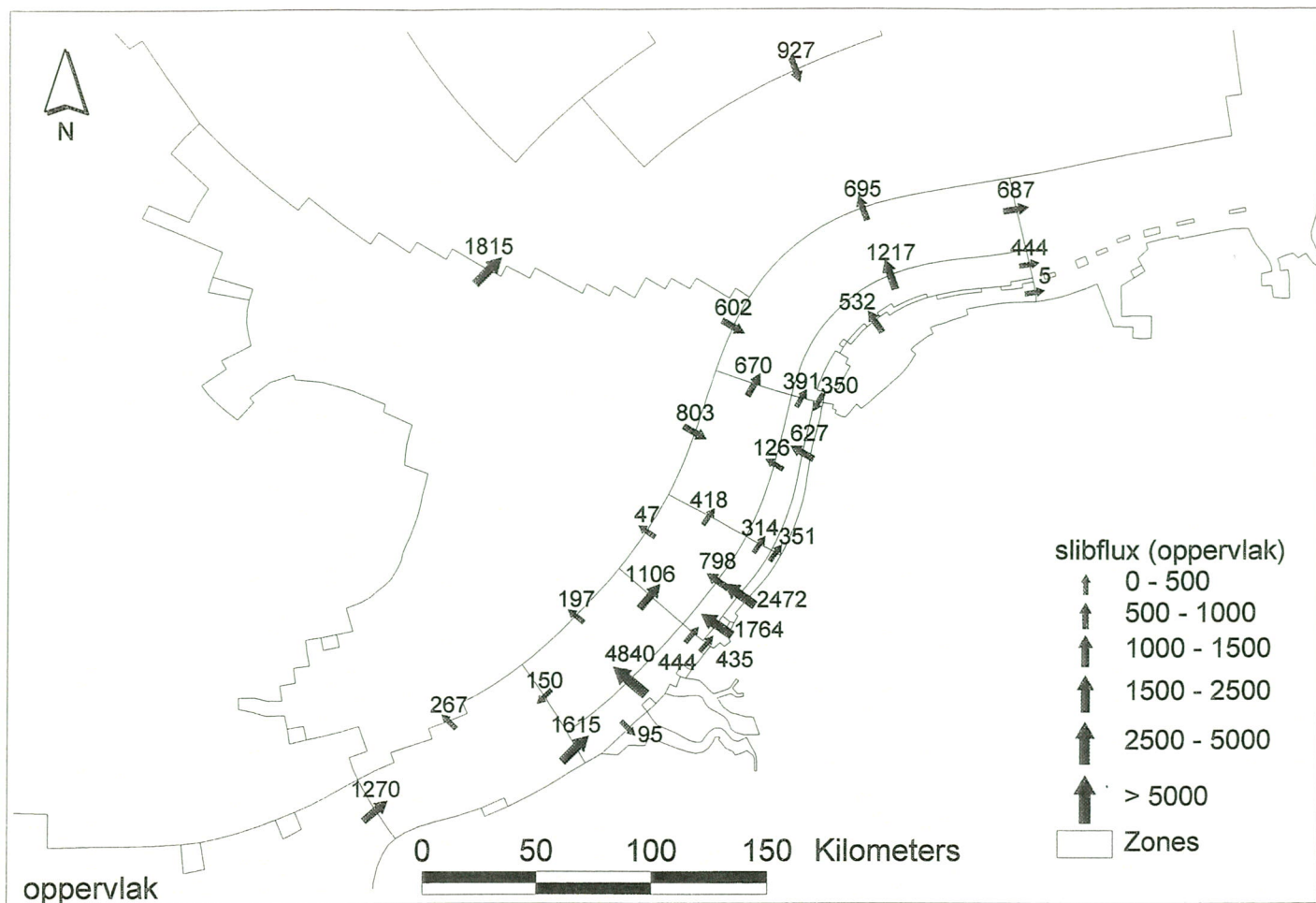
Z3158

WL | DELFT HYDRAULICS

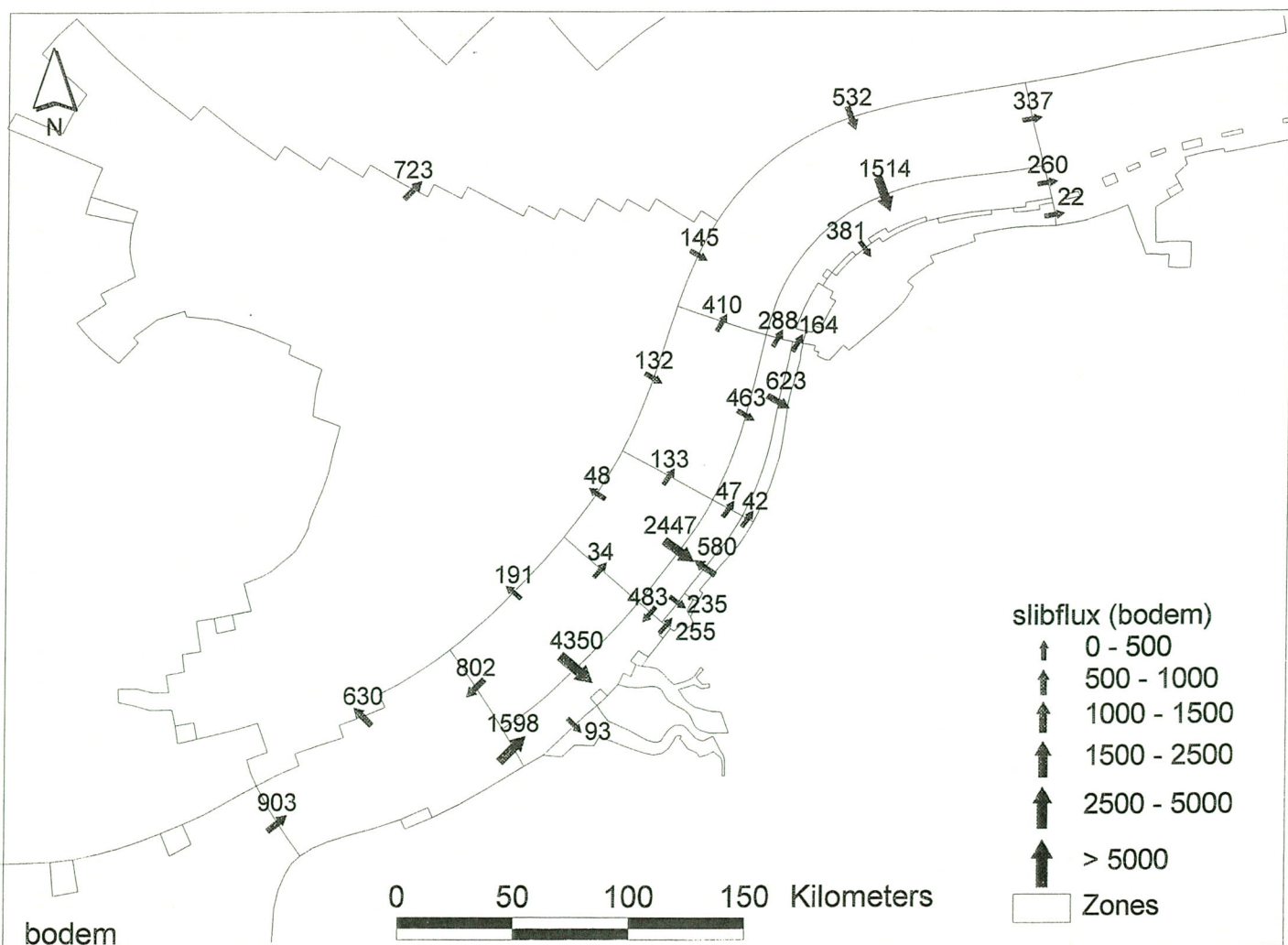
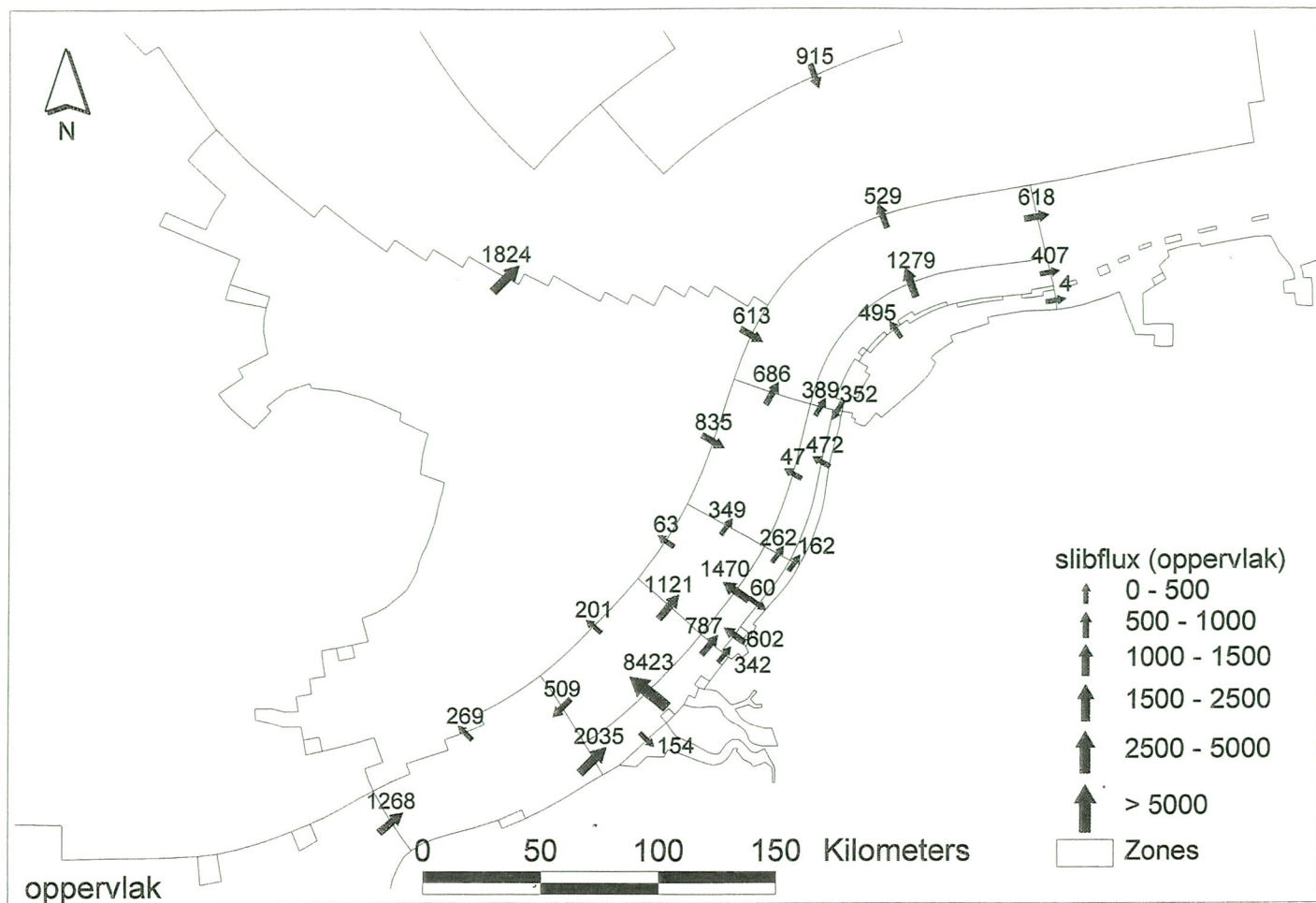
Fig. H-6



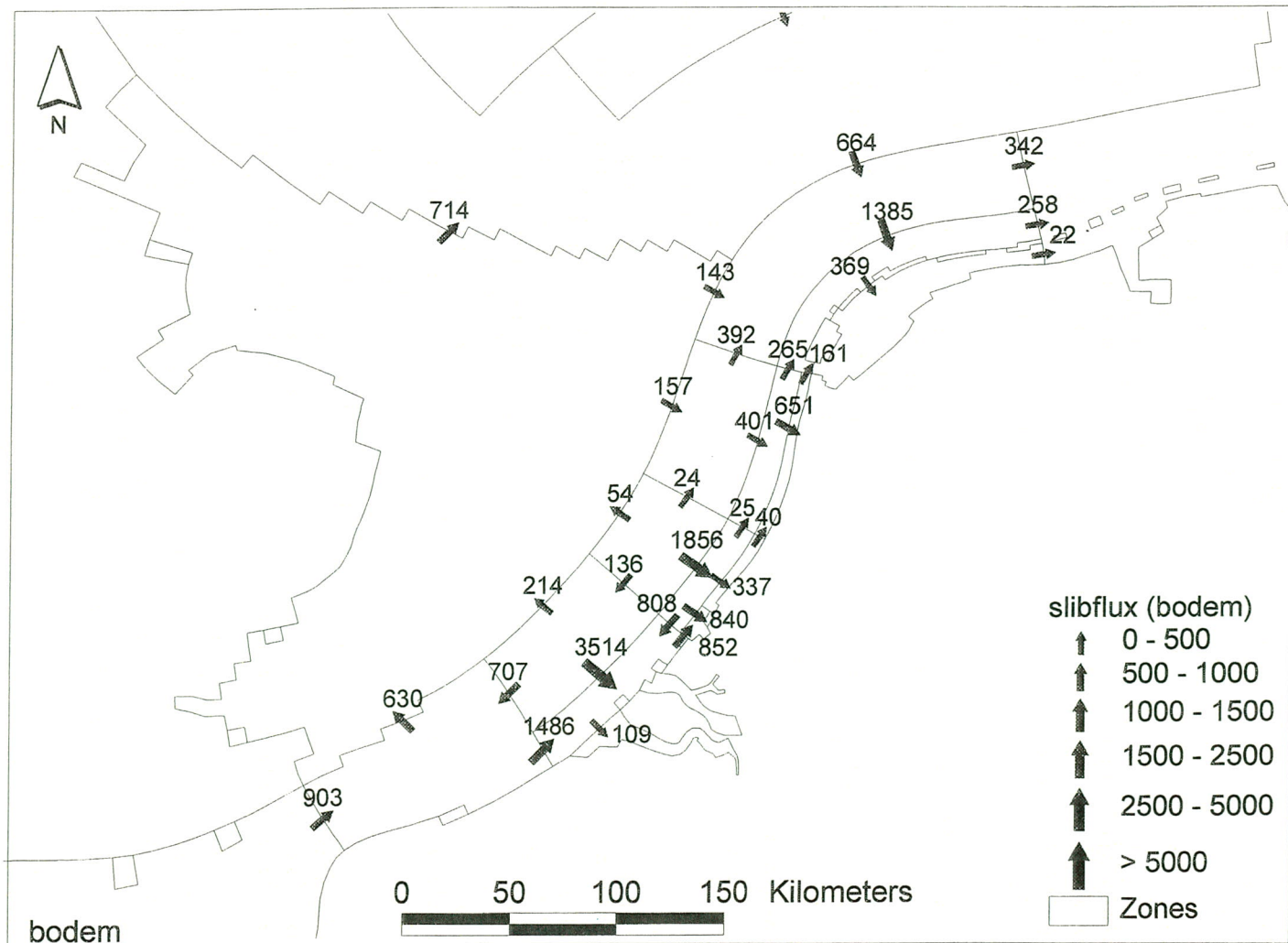
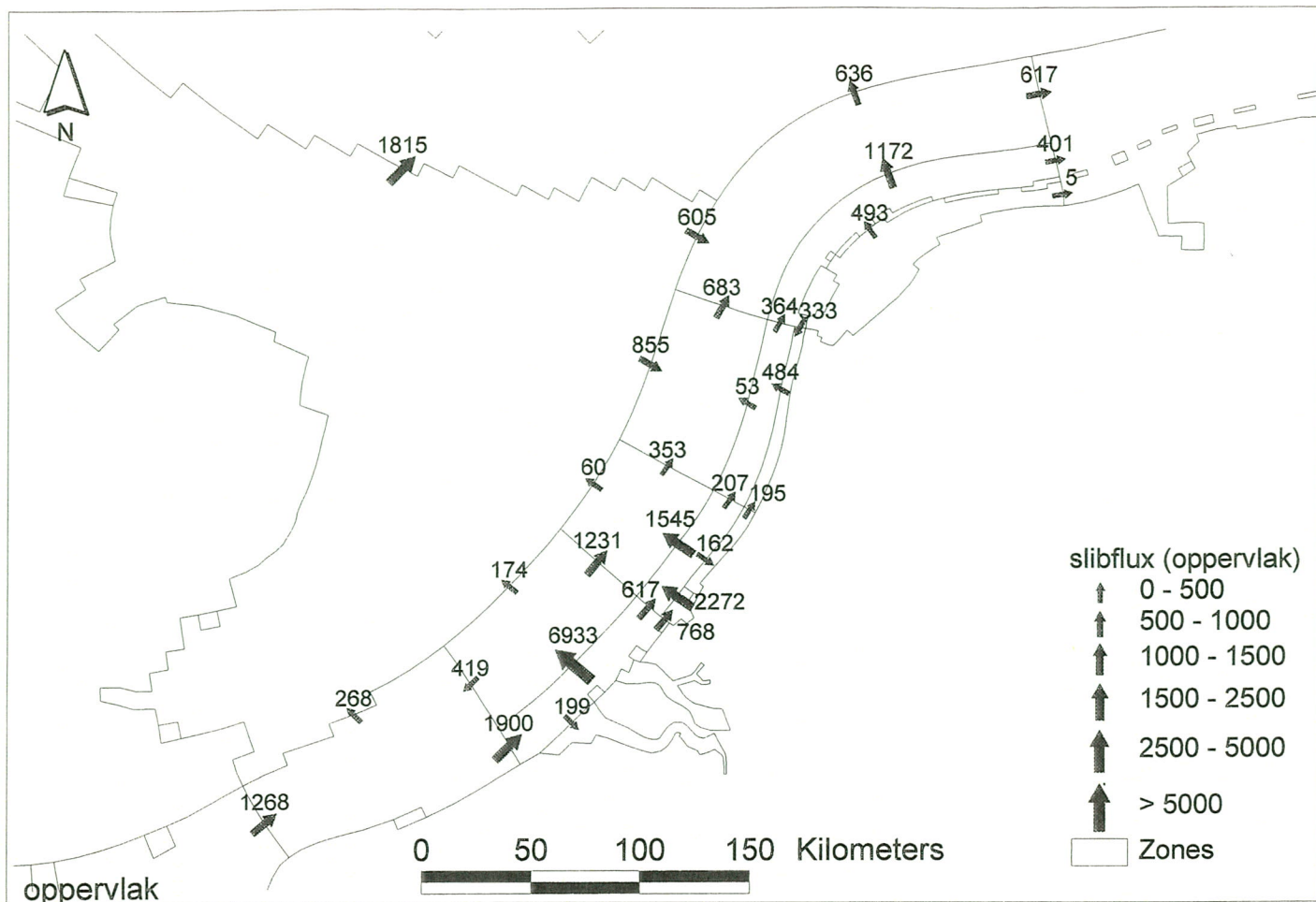
I-1: Slibflux aan oppervlak aan bodem voor G01 (Kton/jaar)



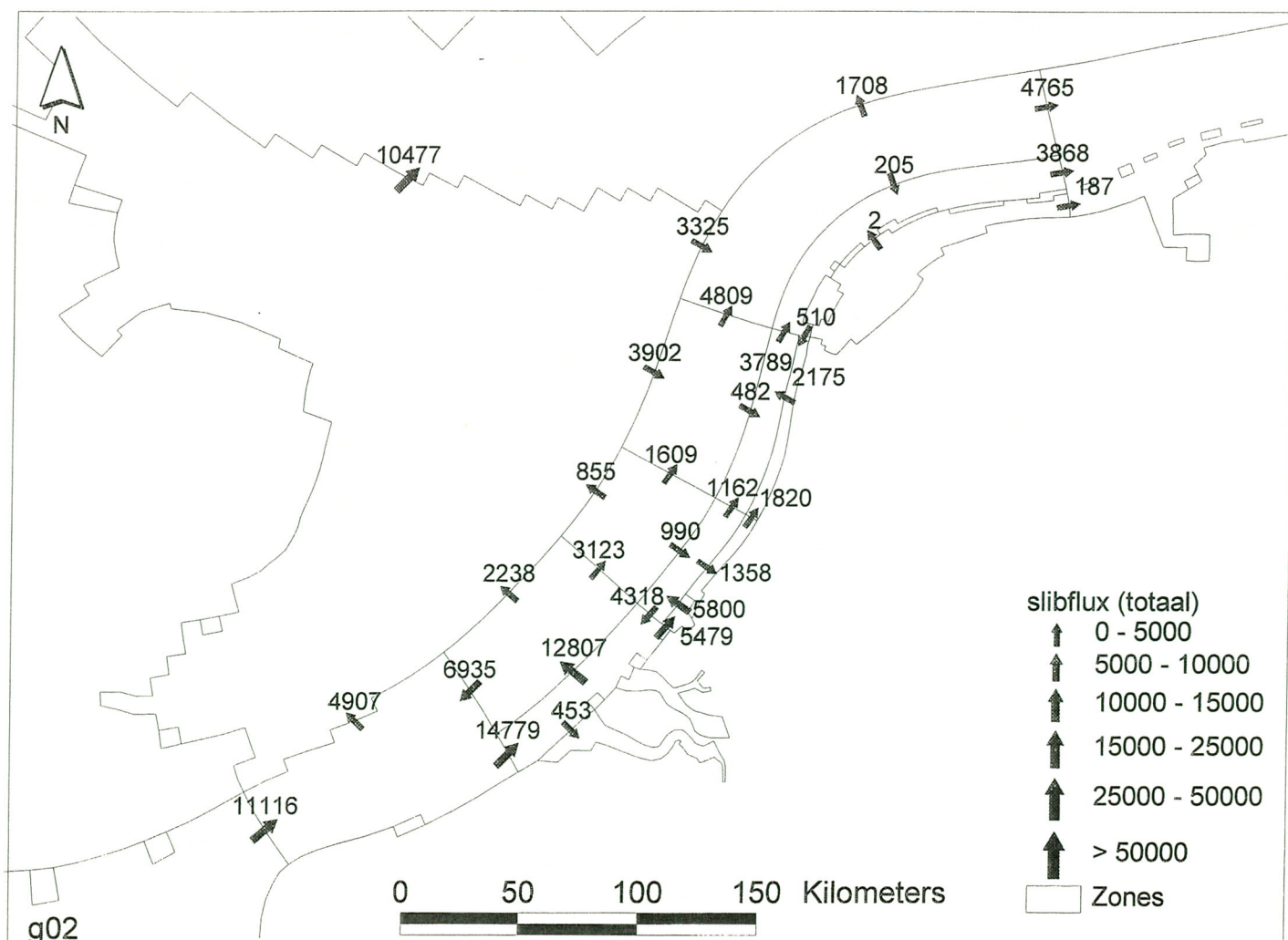
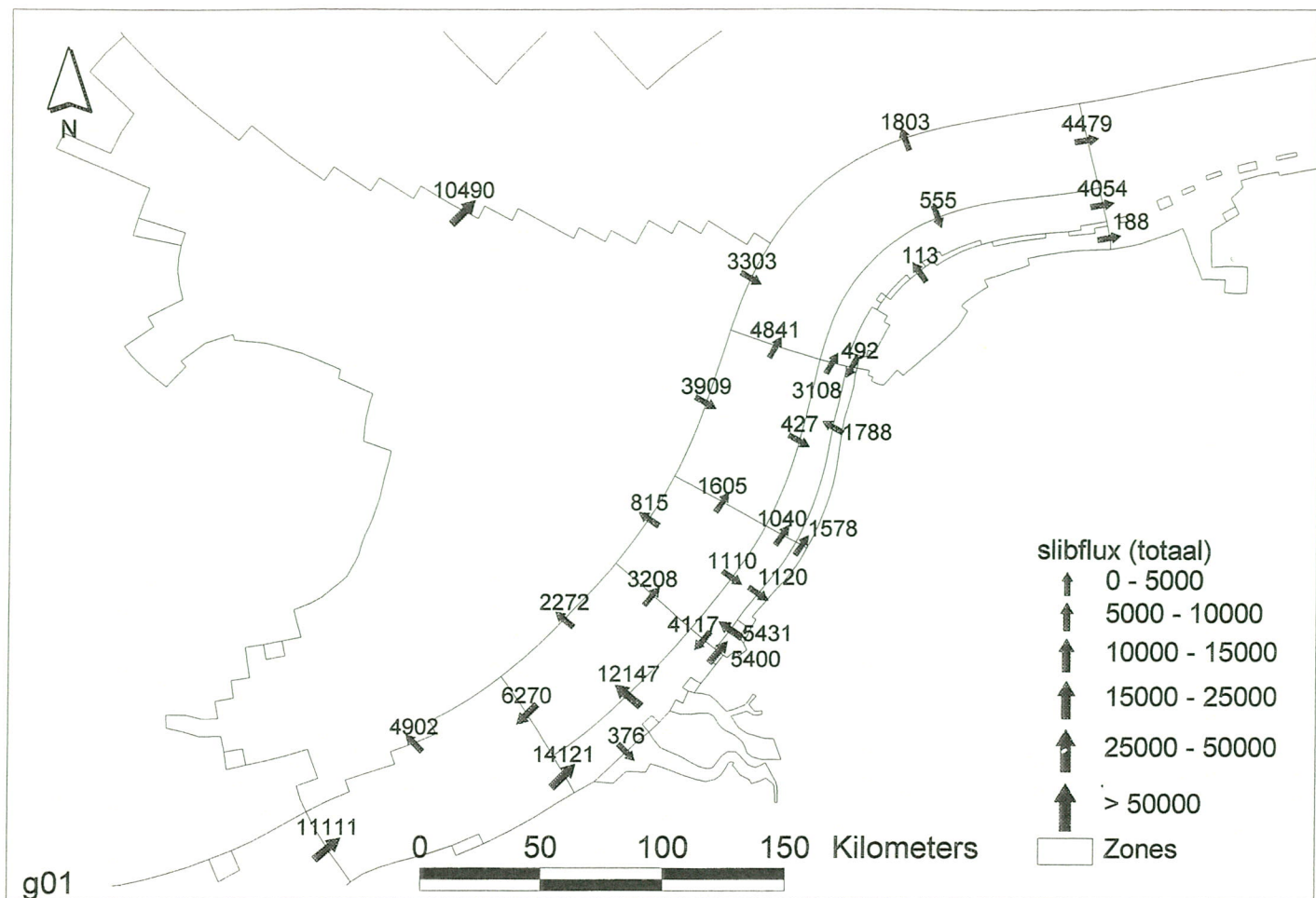
I-2: Slibflux aan oppervlak en bodem voor G02 (Kton/jaar)



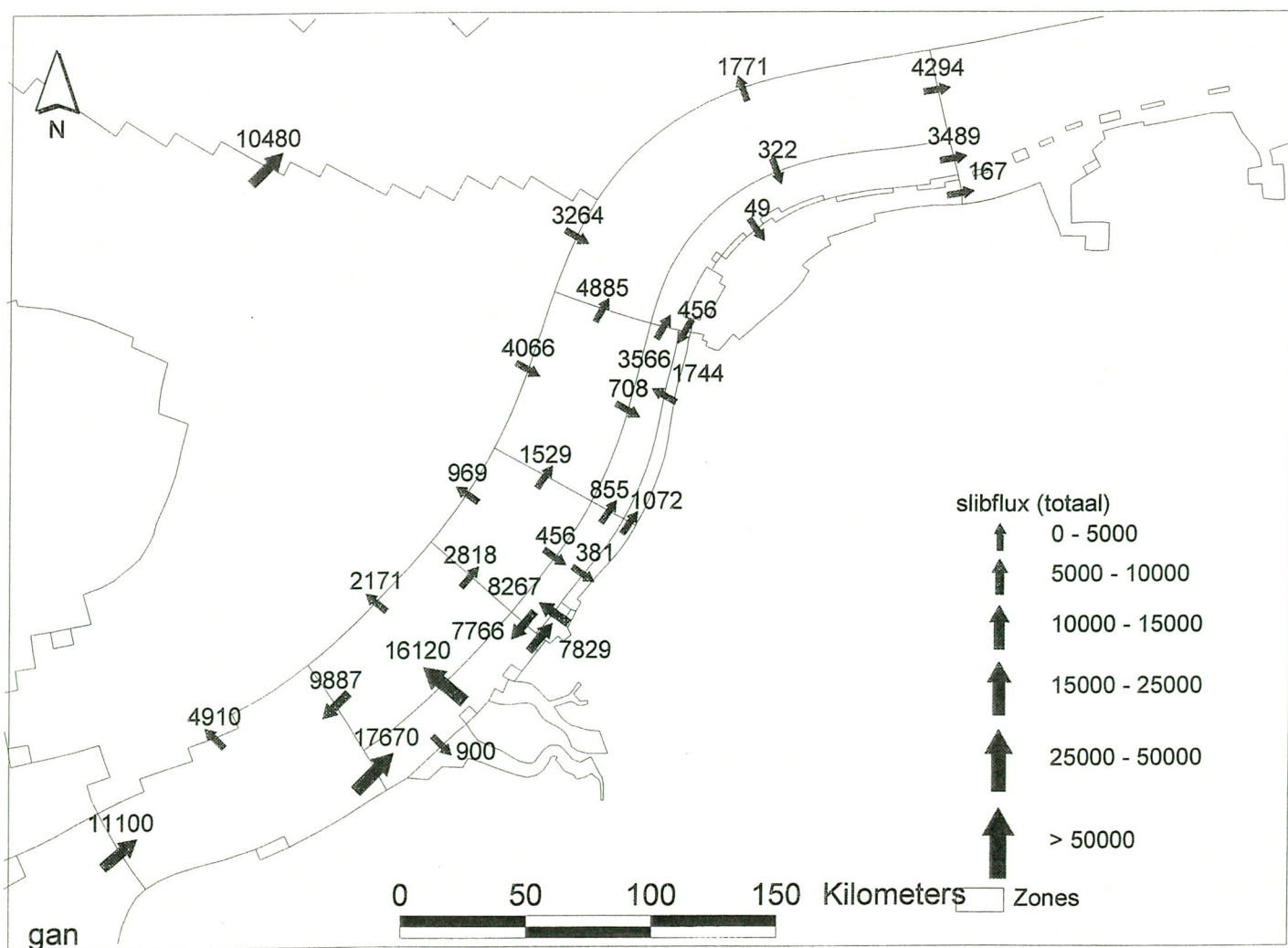
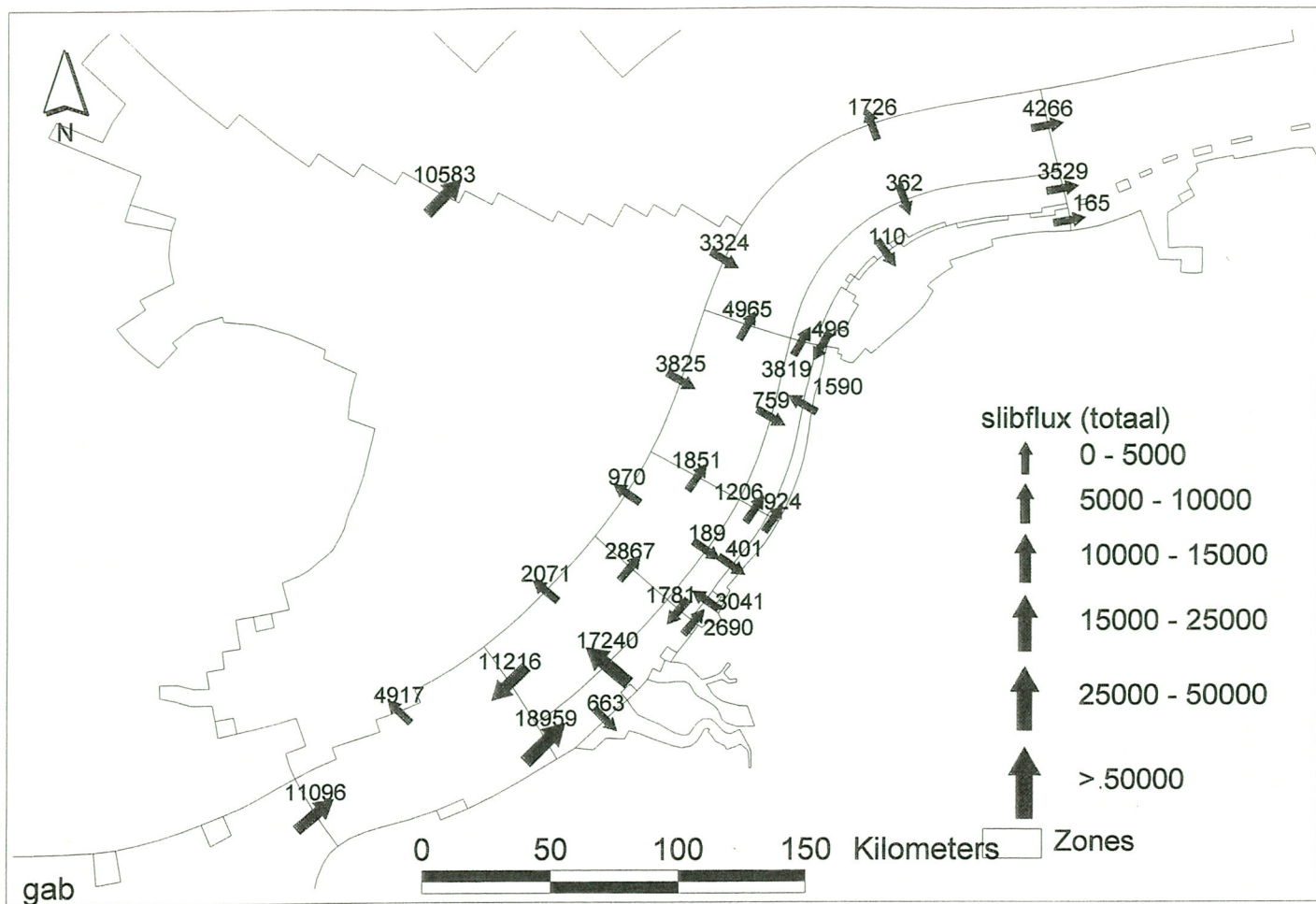
I-3: Slifflux aan oppervlak en bodem voor GAB (Kton/jaar)



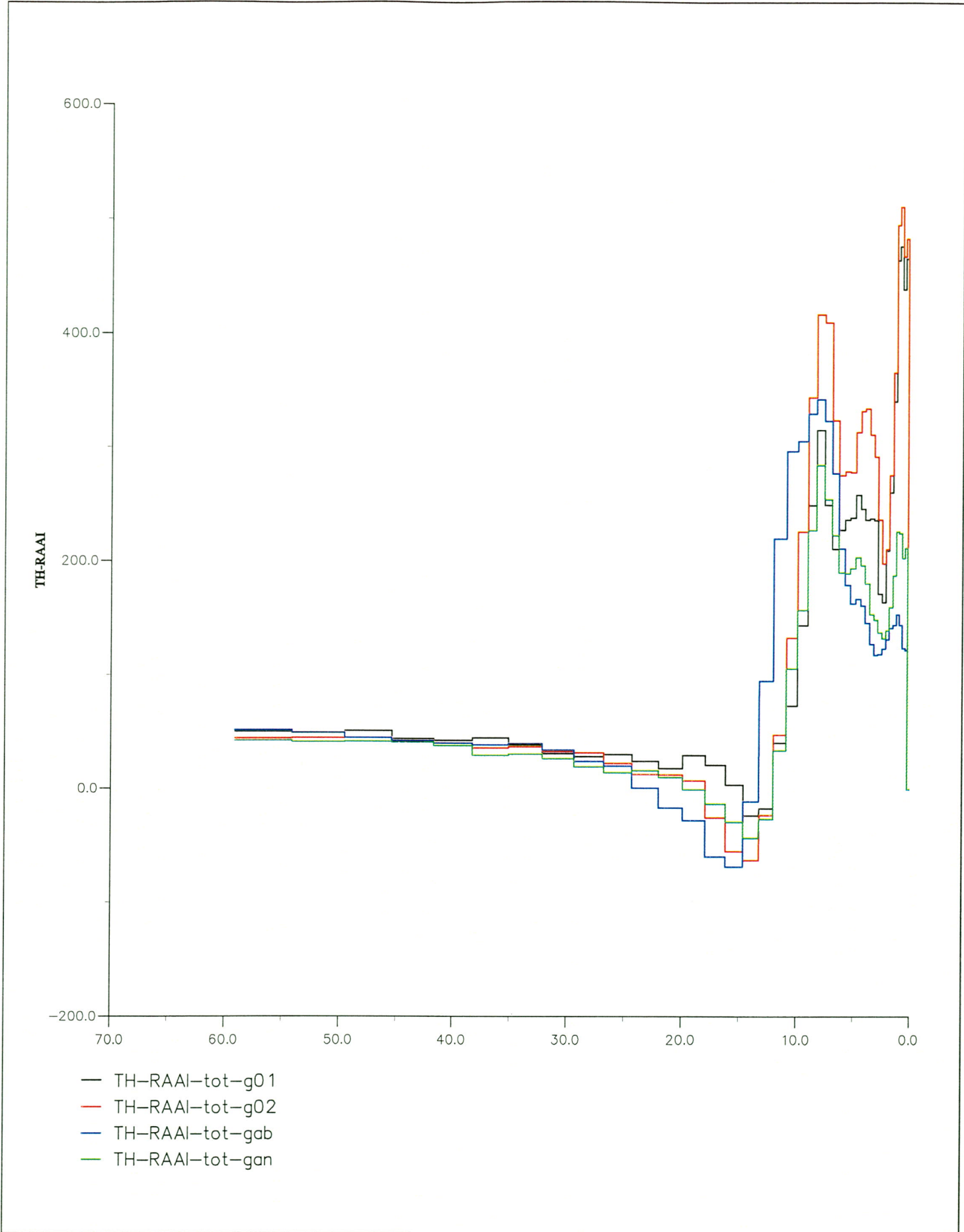
I-4: Slibflux aan oppervlak en bodem voor GAN (Kton/jaar)



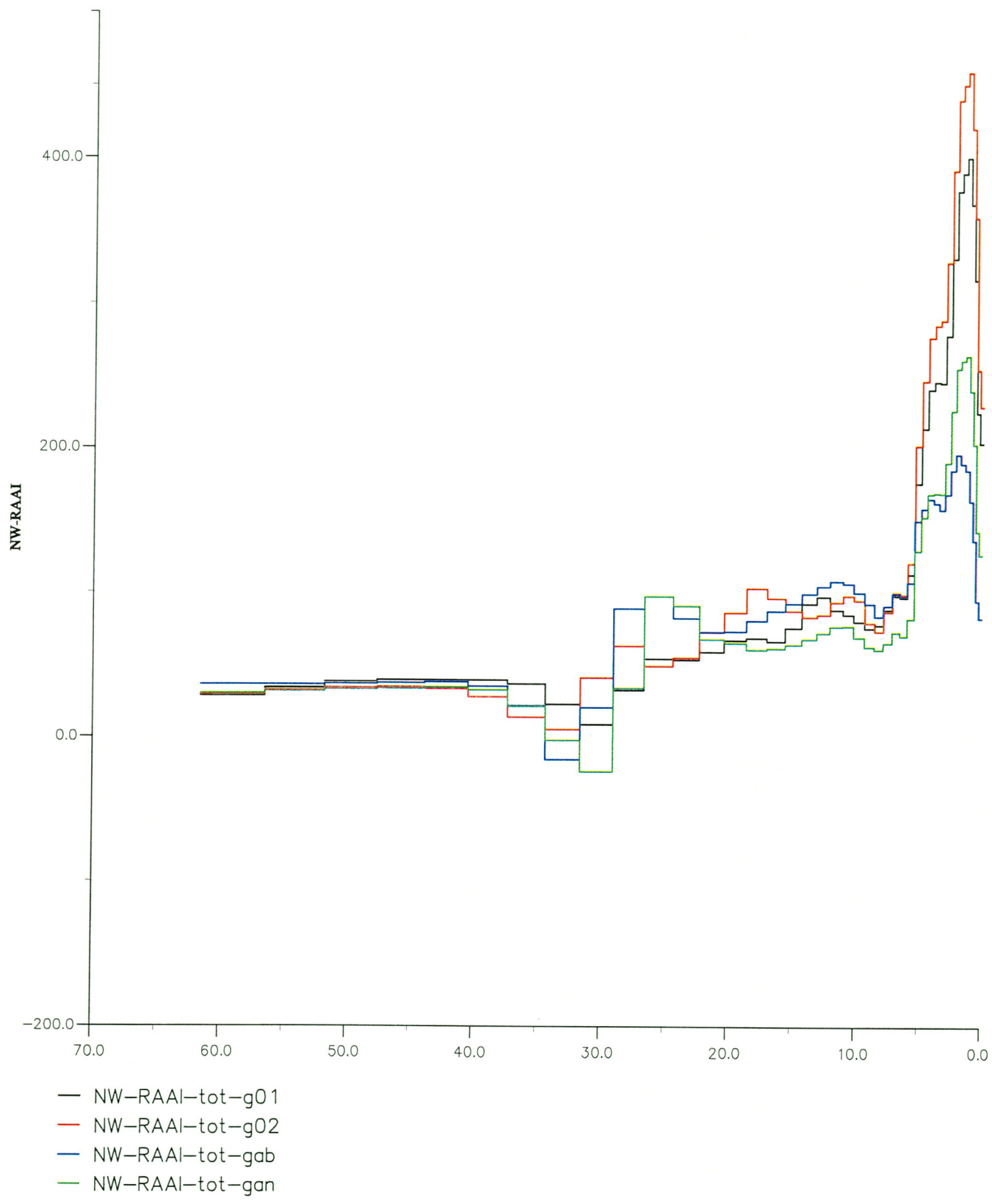
I-5: Slibflux over de diepte geïntegreerd voor G01/G02 (Kton/jaar)



I-6: Slibflux over de diepte geïntegreerd voor GAB/GAN (Kton/jaar)

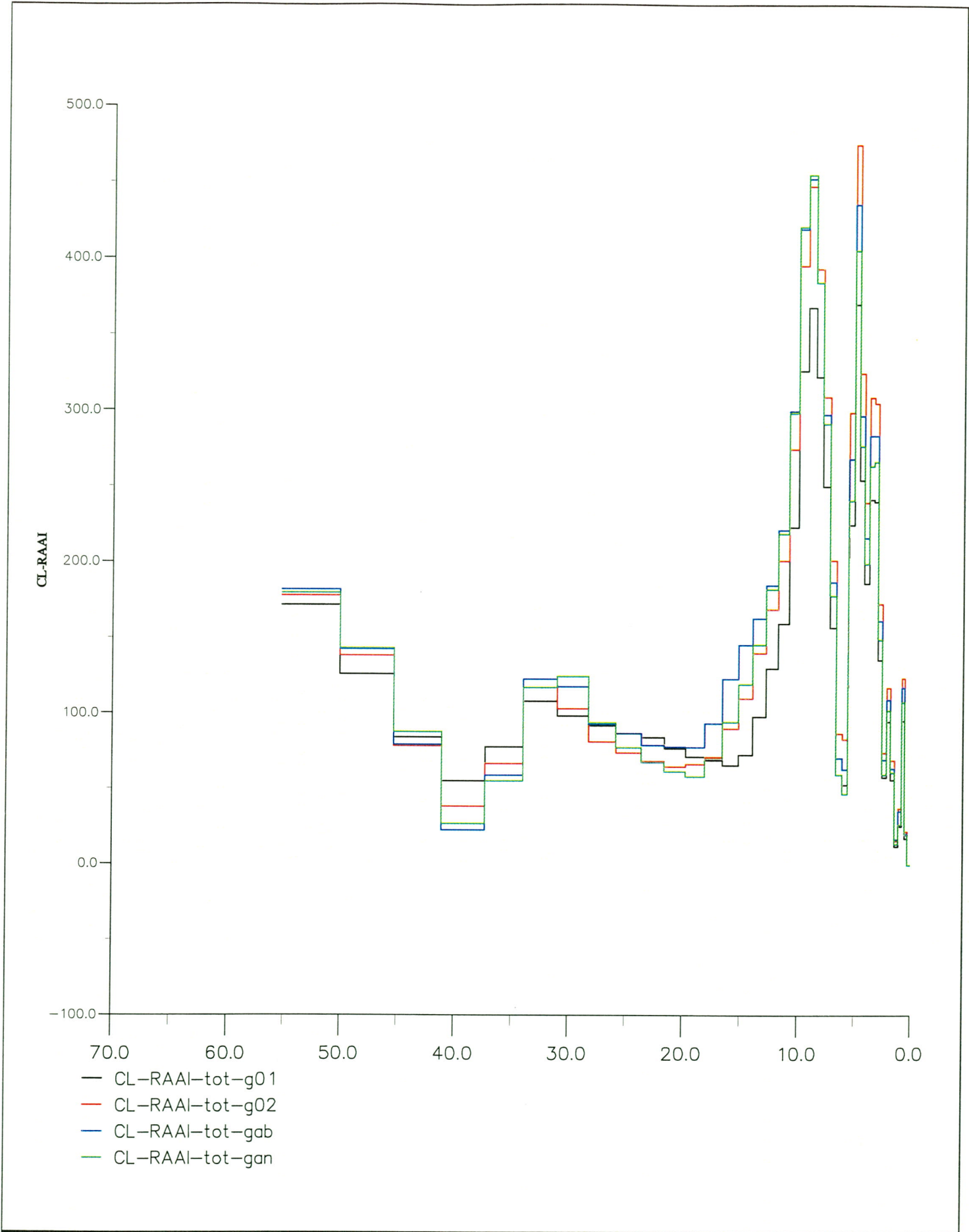


SPM flux (kton/year/km) through Ter Heijde transect positive: northward transport; negative: southward transport for scenario g01, g02, gab and gan		
	Z3158	
WL Delft Hydraulics	Fig. J-1	

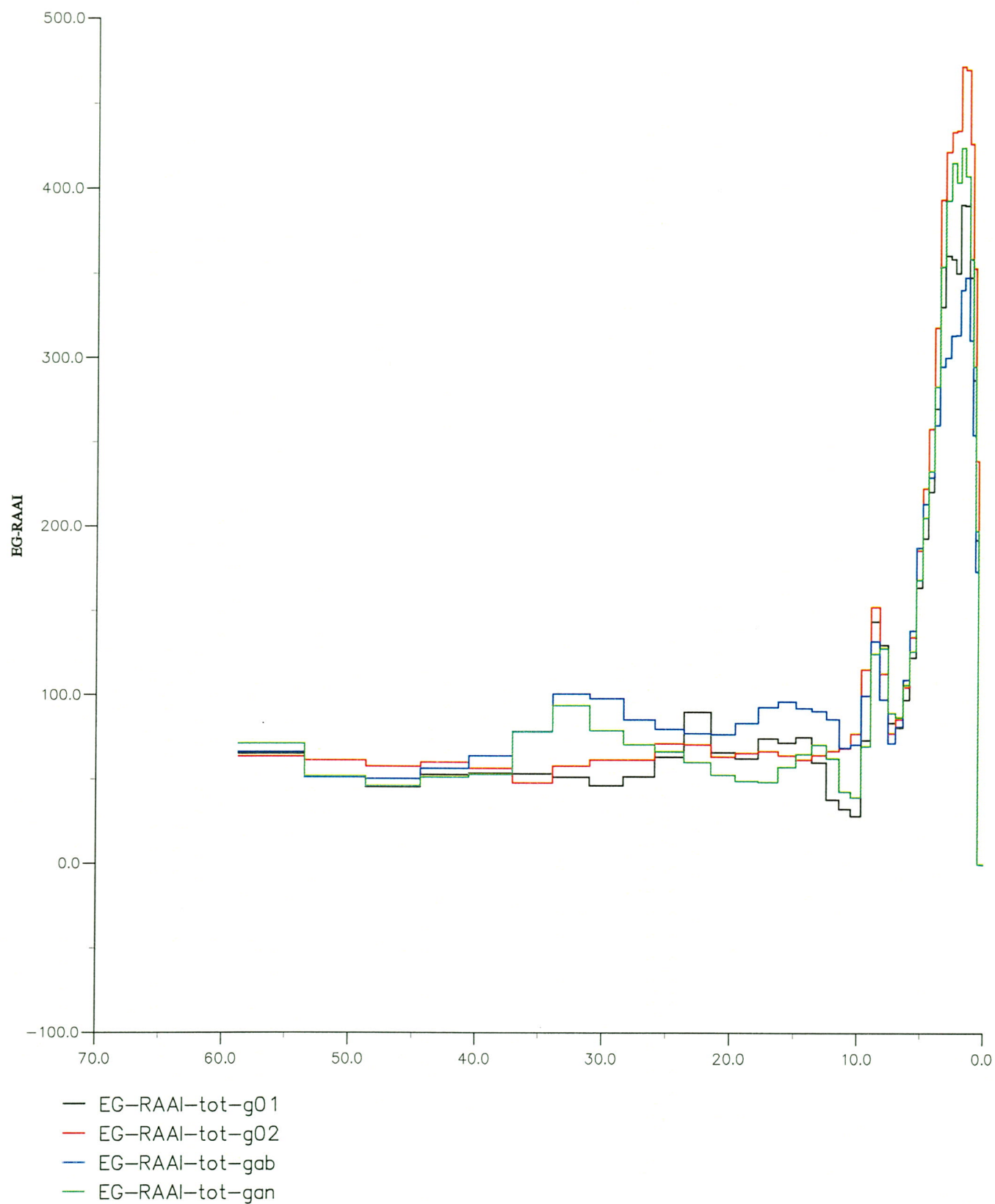


SPM flux (kton/year/km) through Noordwijk transect
positive: northward transport; negative: southward transport
for scenario g01, g02, gab and gan

Z3158

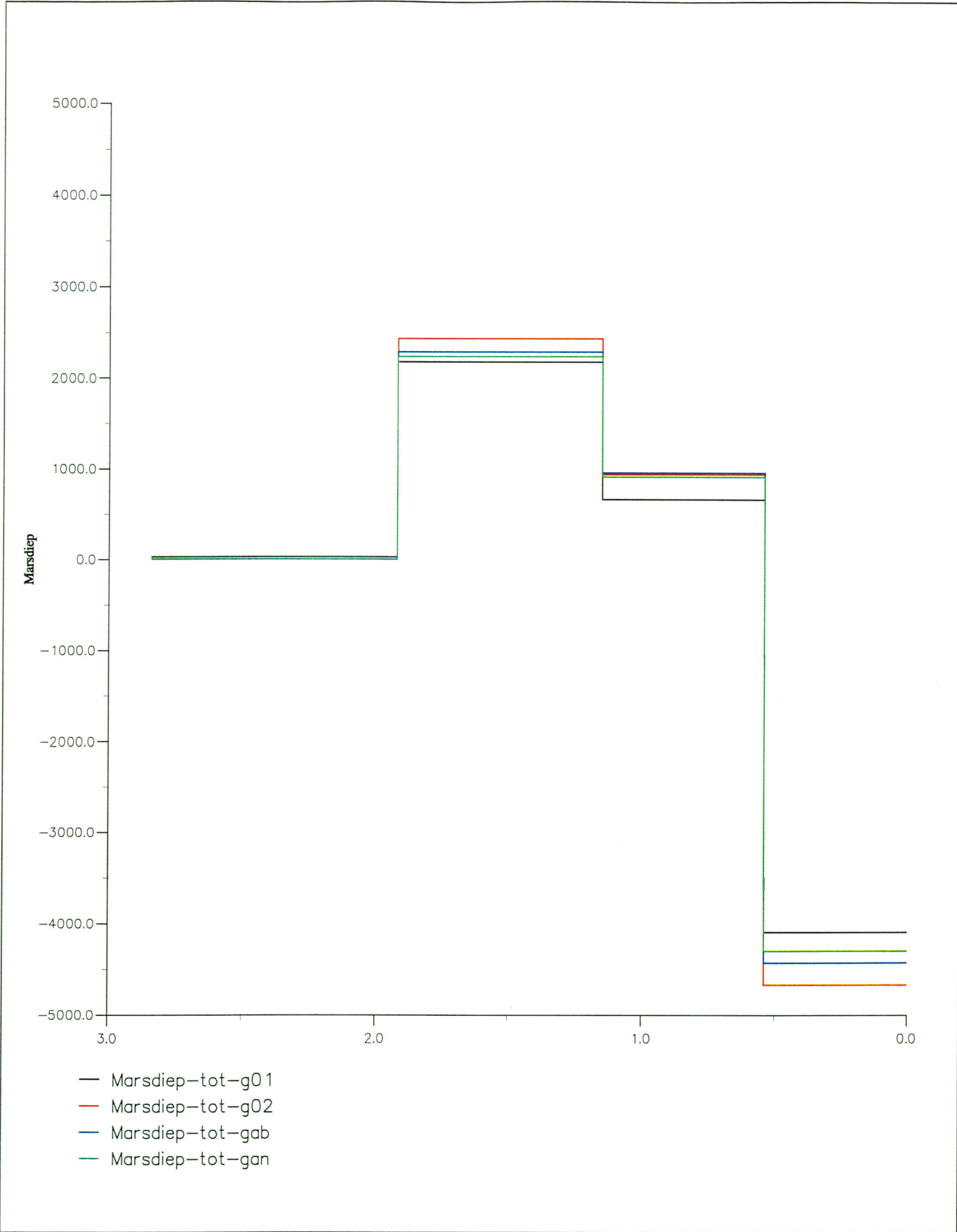


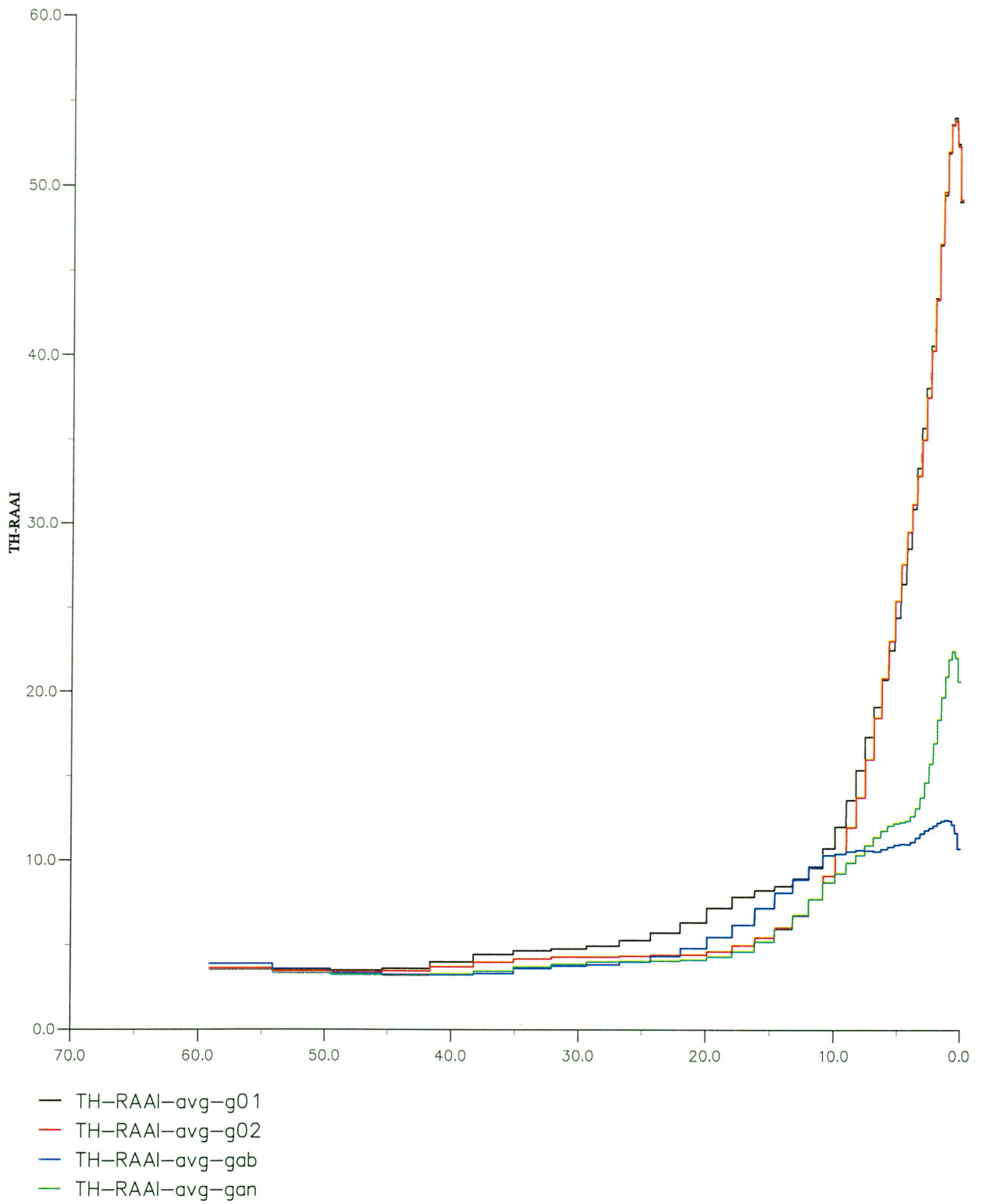
SPM flux (kton/year/km) through Callantsoog transect positive: northward transport; negative: southward transport for scenario g01, g02, gab and gan		
	Z3158	
WL Delft Hydraulics	Fig. J-3	



SPM flux (kton/year/km) through Egmond transect
 positive: northward transport; negative: southward transport
 for scenario g01, g02, gab and gan

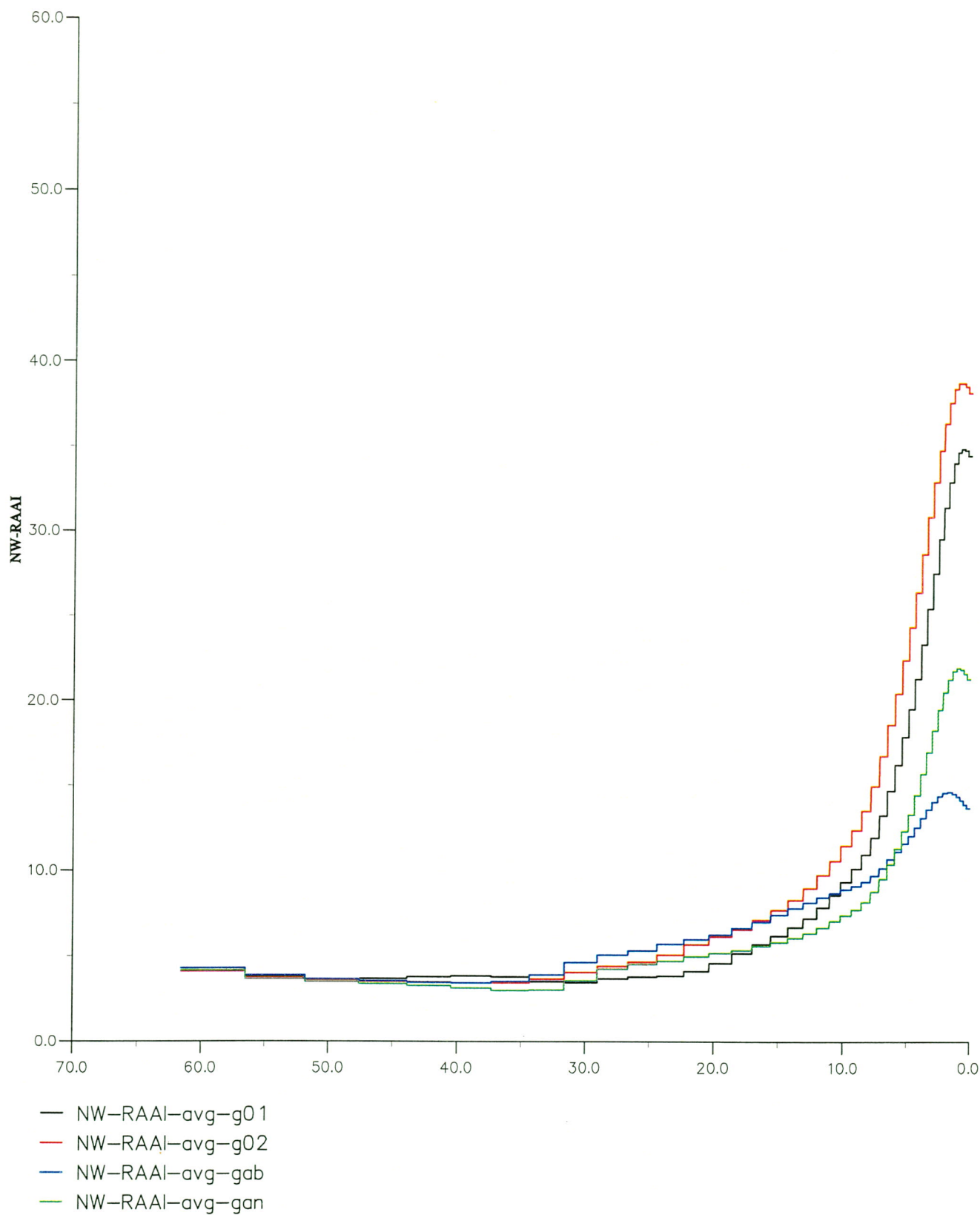
Z3158





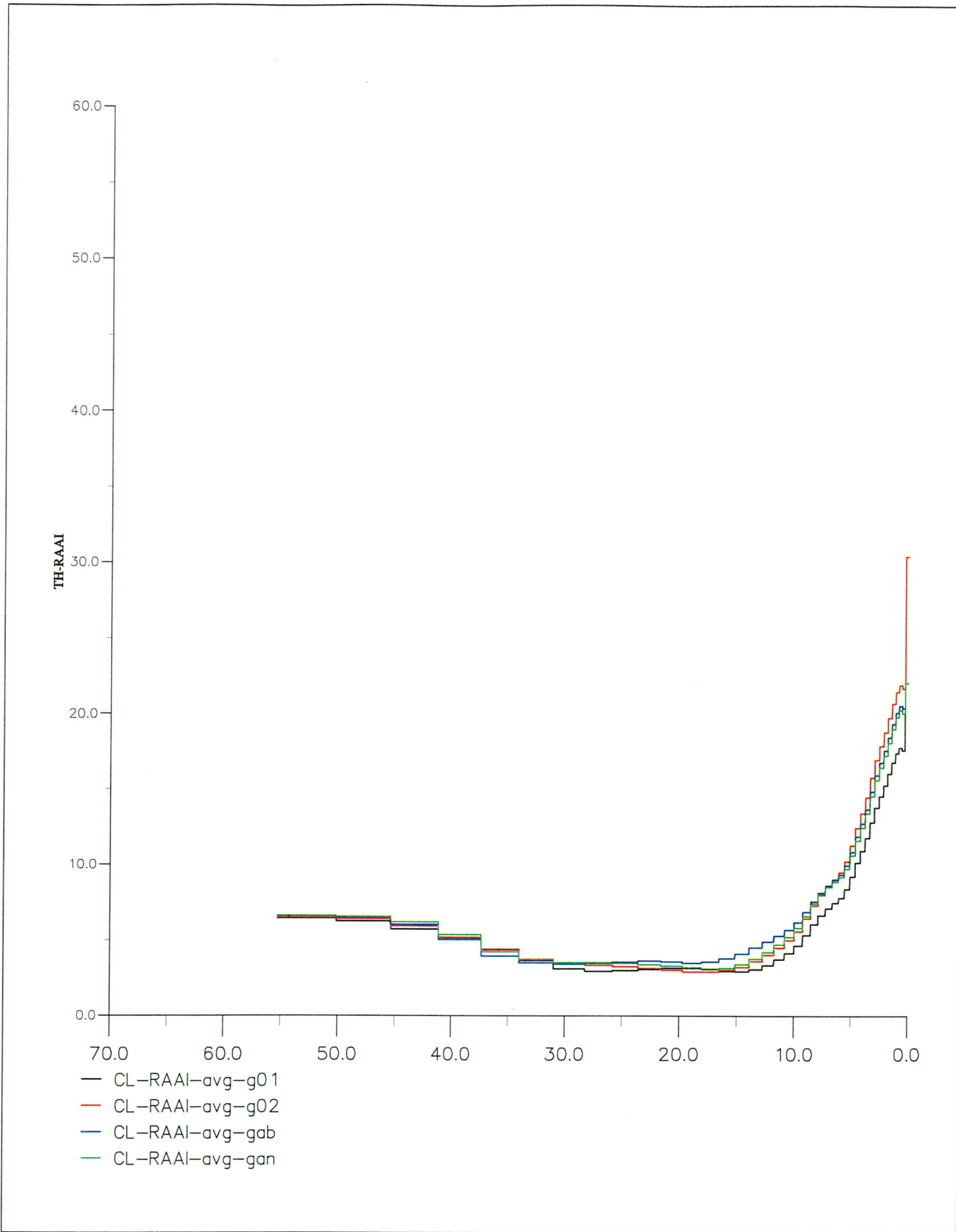
SPM concentration (mg/l) along the Ter Heijde transect
time and depth averaged concentration
for scenario g01, g02 , gab and gan

Z3158

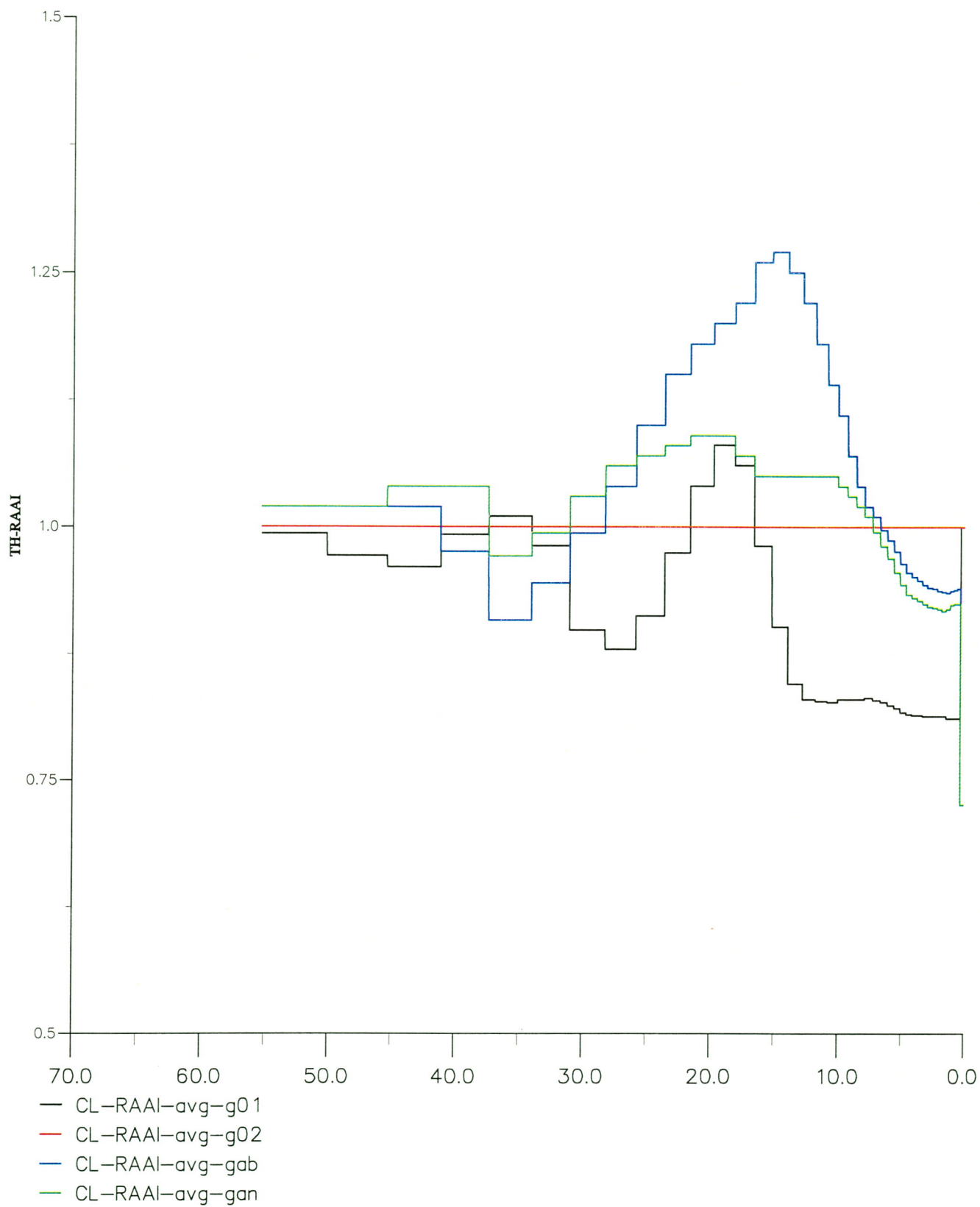


SPM concentration (mg/l) along the Noordwijk transect
time and depth averaged concentration
for scenario g01, g02 , gab and gan

Z3158

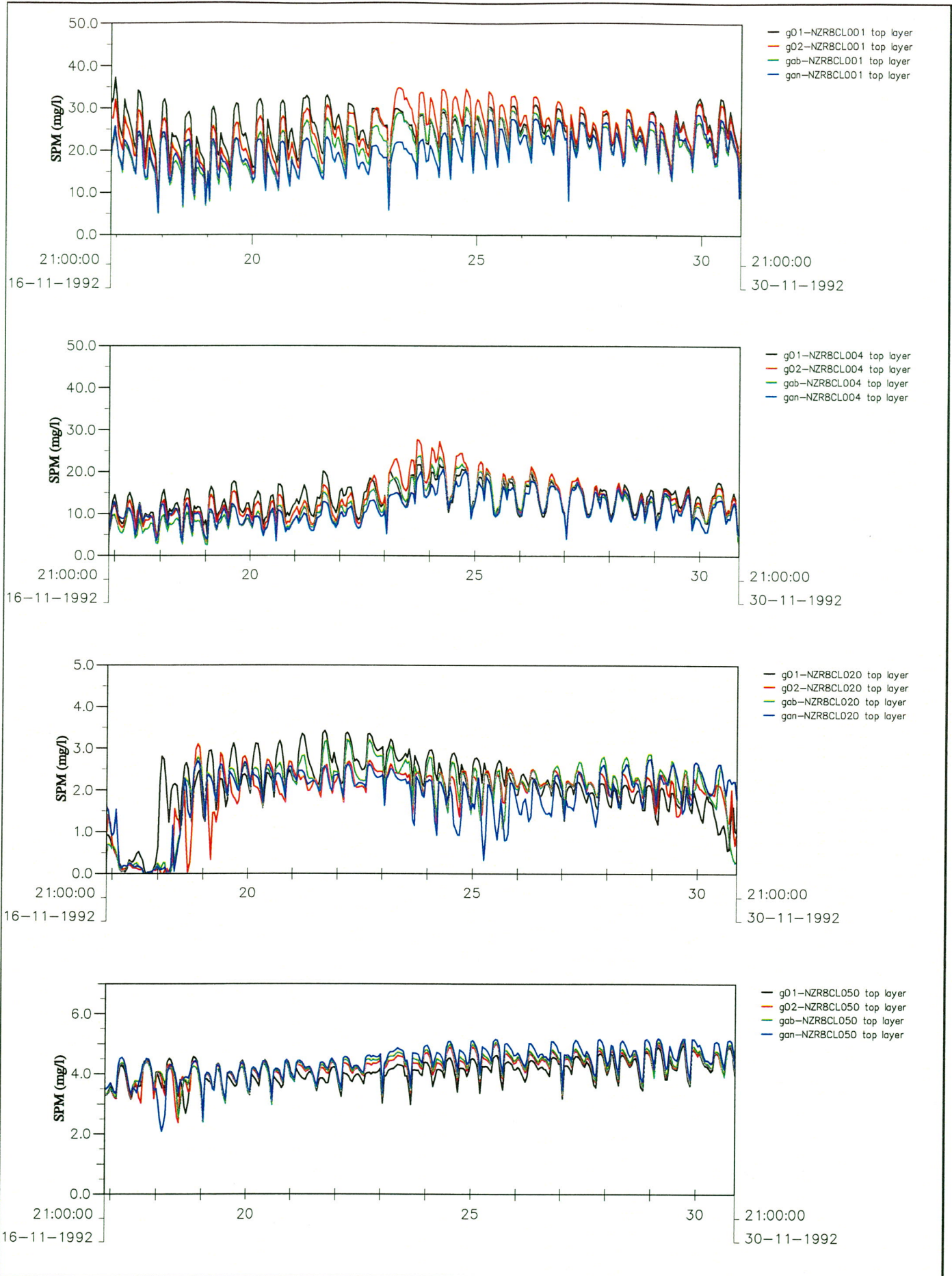


SPM concentration (mg/l) along the Callantsoog transect time and depth averaged concentration for scenario g01, g02 , gab and gan		
	Z3158	
WL Delft Hydraulics	Fig. K-3	



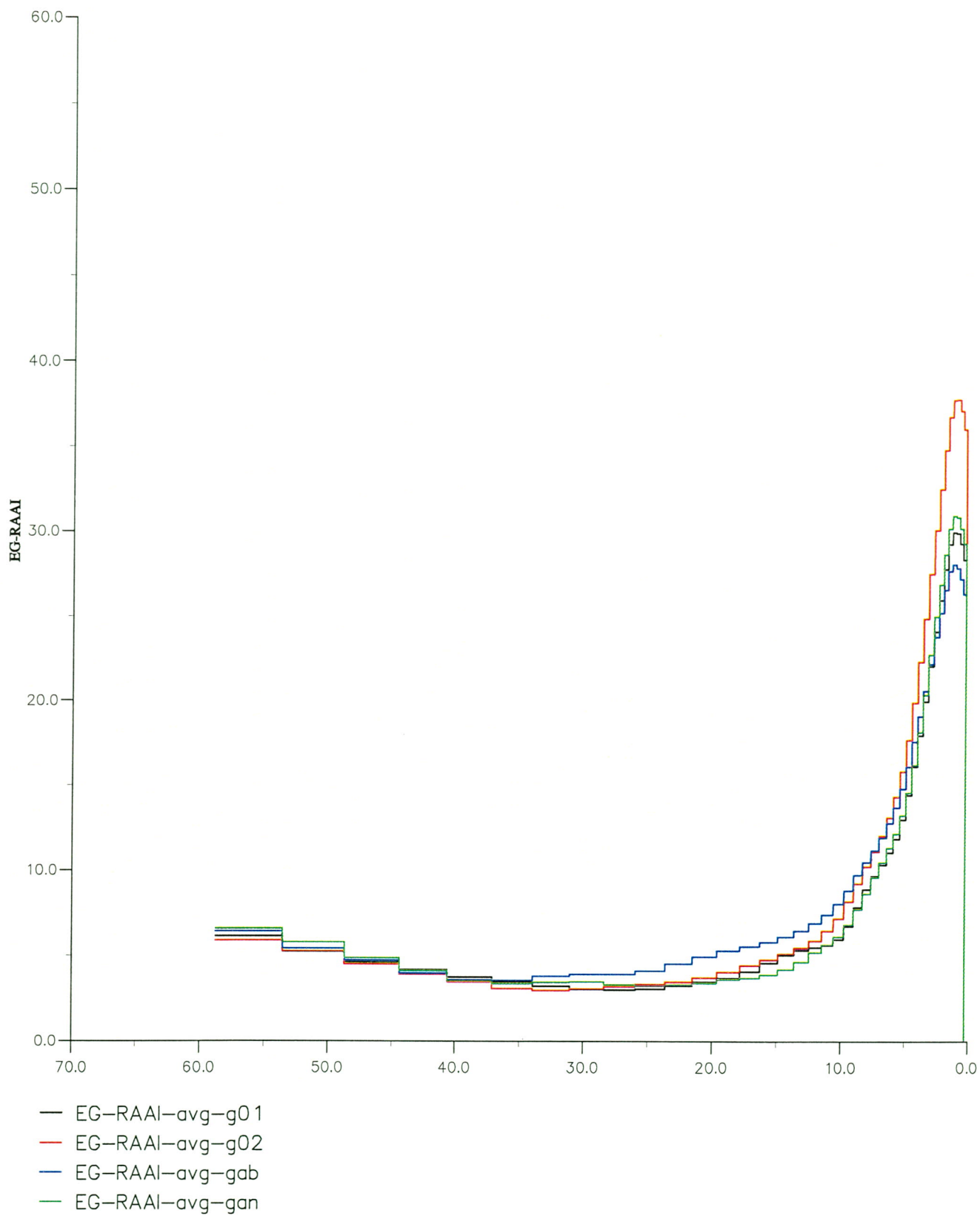
SPM concentration relative to g02 (-) along the Callantsoog transect
time and depth averaged concentration
for scenario g01, g02 , gab and gan

Z3158



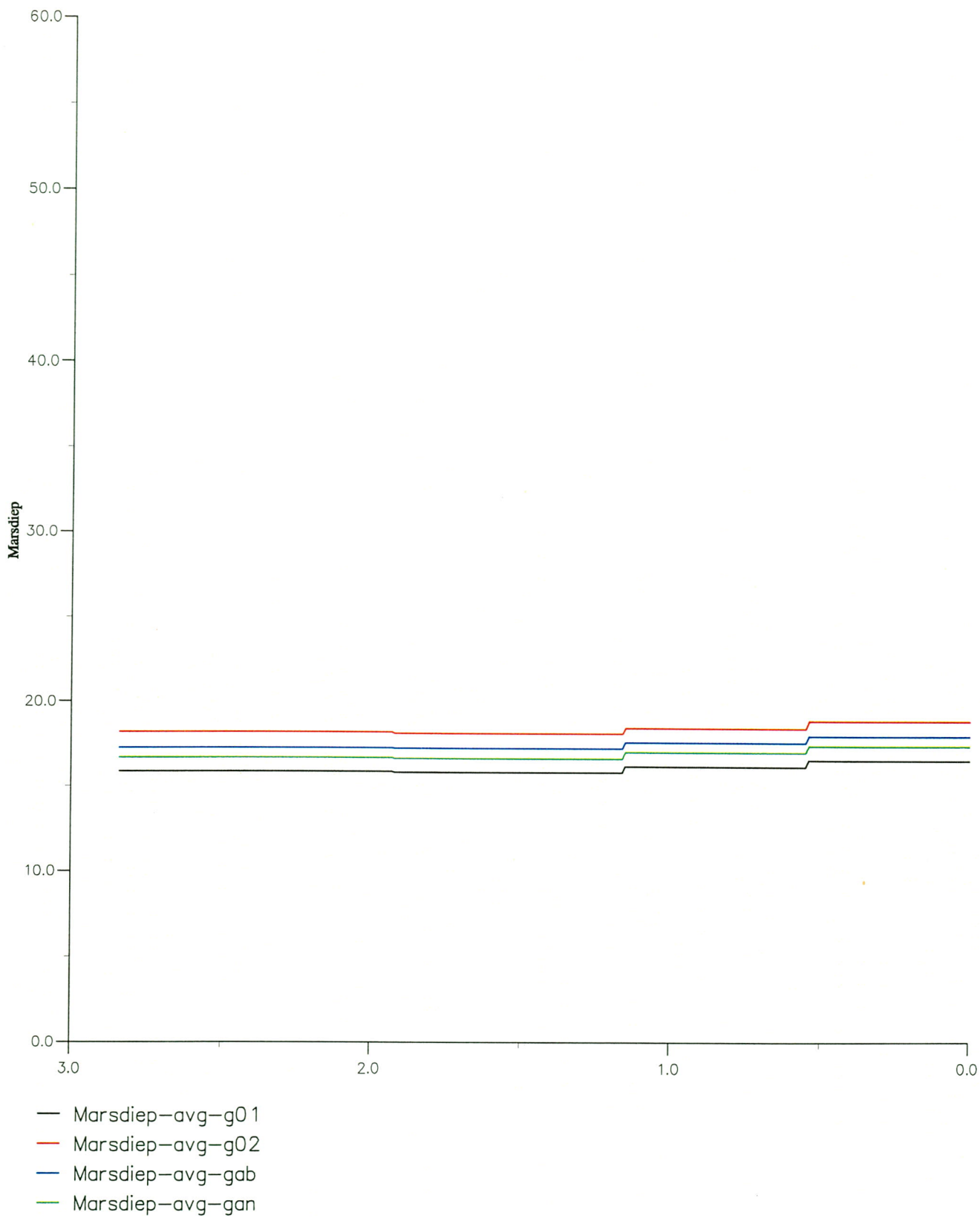
SPM (mg/l) top layer for scenarios g01, g02, gab and gan
Stations at 1, 4, 20 and 50 km in the Callandssoog transect
*) not the final spring neap cycle

Z3158



SPM concentration (mg/l) along the Egmond transect
time and depth averaged concentration
for scenario g01, g02 , gab and gan

Z3158



SPM concentration (mg/l) along the Marsdiep transect
time and depth averaged concentration
km 0 is the Den Helder side of Marsdiep

Z3158



Aan : T. Blokland
Van : T. van Kessel
Betreft : Vergelijking metingen en berekeningen slibconcentratie Oosterschelde
Datum : 26 oktober 2001
Kopie : J. Boon, H. Winterwerp, J. van Beek, T. van der Kaaij
Afhandeling: t.k.n.



Vergelijking tussen metingen en berekeningen van slibconcentraties in de Oosterschelde

Samenvatting

Uit een recent uitgevoerde studie van WL | Delft Hydraulics naar effecten van landaanwinning Maasvlakte-2 op het slibtransport langs de Nederlandse kust (Boon en Van Kessel, 2001) volgt een sterke toename van de slibconcentraties in het Zeeuwse en Zuidhollandse voordeltagebied. De resultaten van het model in de Zeeuwse (voor)delta waren nog slechts beperkt getoetst met veldmetingen, omdat de hoofdaandacht bij de modelontwikkeling uitging naar de Hollandse kust. Daarom heeft het Expertisecentrum PMR opdracht gegeven voor een vergelijking tussen modelresultaten en metingen in de Oosterschelde. Deze vergelijking wordt beschreven in de onderhavige notitie.

De met het ZNZ-model berekende diepte-gemiddelde slibconcentratie in de Oosterscheldemonding is globaal een representatieve waarde voor gemeten concentraties in het winterseizoen. De berekende oppervlakte concentratie in de Oosterscheldemonding en in het Oosterschelde bekken is hoger dan de gemiddelde gemeten concentraties in de winterperiode. Waarschijnlijk is de lage valsnelheid hieraan debet, in combinatie met mogelijk afwijkende transportfluxen. De berekende concentratie-afname in oostelijke richting van het Oosterscheldebekken is minder sterk dan de gemeten afname. Dit betekent dat de berekende relatieve concentratietoename als gevolg van Maasvlakte-2 achterin de Oosterschelde minder betrouwbaar is dan in de Oosterscheldemonding.

De met het ZNZ-model berekende concentratietoename dient in het perspectief te worden geplaatst van de grote natuurlijke variabiliteit. De gemiddelde concentratie gedurende de winterperiode is veelal een factor 4 of meer hoger dan die in de zomerperiode. Tijdens springtij is de concentratie circa 50% hoger dan tijdens doottij. Tijdens stormen komen extra hoge concentraties voor. Hiernaast is in de jaren '80 de slibconcentratie in het Oosterscheldebekken aanzienlijk afgenomen door de constructie van de stormvloedkering.

Er wordt aanbevolen om ook nog een toetsing op water- en slibfluxen door de Oosterscheldemonding uit te voeren. Hierin kunnen onnauwkeurigheden voorkomen, omdat het modelrooster eigenlijk te grof is voor een goede representatie van de stormvloedkering.

Inleiding

Recent is een studie uitgevoerd naar de effecten van een landaanwinning ten behoeve van de Maasvlakte-2 op het slibtransport langs de Nederlandse kust (Boon en Van Kessel, 2001). De berekeningsresultaten van het voor deze studie gebruikte numerieke model laten een opmerkelijk groot effect zien ten zuiden van de Maasvlakte. De berekende gemiddelde slibconcentratie in het Zeeuwse en Zuidhollandse voordeltagebied neemt sterk toe (met meer dan 20 mg/l).

Er is uitvoerig aandacht besteed aan de calibratie en validatie van het gebruikte model, het Zuidelijke Noordzee (ZNZ)-model, met name in het kader van de Flyland-studie (zie o.a. Roelvink et al., 2001 en WL | Delft Hydraulics / MARE, 2001). Tot nog toe is de aandacht echter met name uitgegaan naar effecten langs de Hollandse kust ten noorden van de Maasvlakte. Er is slechts een beperkte vergelijking gemaakt tussen berekende en gemeten slibconcentraties in het Zeeuwse en Zuidhollandse (voor)deltagebied.

In deze notitie wordt een dergelijke vergelijking uitgebreider gemaakt. De nadruk ligt hierbij op het Oosterscheldebekken, omdat het ecologisch functioneren hiervan een aandachtspunt is van veel beleidsstudies en uitvoerende maatregelen. De overeenkomsten en verschillen tussen gemeten en berekende slibconcentraties in de Oosterschelde worden verondersteld representatief te zijn voor rest van het Zeeuwse en Zuidhollandse deltaggebied.

Werkwijze

Op een viertal locatie in de Oosterschelde is voor de berekening G01 (huidige situatie) de slibconcentratie als functie van de tijd weggeschreven naar een bestand. Dit bevat per locatie en per laag uurlijkse gegevens over een volledige doottij-springtijcyclus. Het slibverspreidingsmodel bevat vier lagen in de vertikaal met een verdeling 10% (bodem), 40%, 40% en 10% (oppervlakte). De geselecteerde locaties zijn (zie ook Figuur 8, subfiguur linksboven):

- A. in de Oosterscheldemonding voor de stormvloedkering;
- B. westelijk deel van de Oosterschelde achter de stormvloedkering;
- C. middenin de Oosterschelde enkele km ten oosten van de Zeelandbrug;
- D. achterin de Oosterschelde circa 5 km ten oosten van Yerseke.

De berekeningsresultaten worden vergeleken met metingen van de zwevende stof concentratie in de Oosterschelde in de periode 1990–1999 uit het DONAR-databestand (Tabel A). Deze meetgegevens zijn door RIKZ toegeleverd. Hiernaast is ook in belangrijke mate gebruik gemaakt van de waarnemingen gerapporteerd door Ten Brinke en Dronkers (1993) (Figuren 8 en 9), Ten Brinke (1988) (Figuren 10, 11 en 12) en Ten Brinke (1993) (Figuren 13, 14 en 15).

Resultaten

Veldwaarnemingen

Saliniteit

In Tabel A (zie bijlage) staan de meetgegevens uit het DONAR-databestand voor de periode 1990–1999 weergegeven voor de parameters saliniteit en zwevende stof voor het gebied Oosterschelde. De gemiddelde saliniteit over deze jaren bedraagt 30.8 ppt. De saliniteit varieert van 26.5 tot 33.7 ppt, waarbij de uitbijter van 18.6 ppt in 1995 is genegeerd. De saliniteitsgegevens worden in Figuur 7 grafisch weergegeven.

Zwevend stof

De gemiddelde zwevende stof concentratie 1 m onder het wateroppervlak bedraagt over deze periode 8.7 mg/l. De concentratie varieert van 4 tot 46 mg/l, waarbij de uitbijter van 221 mg/l in 1999 is genegeerd. Het is echter mogelijk dat deze meetwaarde tijdens een zware storm nabij de Oosterscheldemonding is gemeten. In dat geval is de waarde niet onrealistisch, zie Figuur 13. Het verloop van de zwevende stof concentratie wordt in Figuur 6 grafisch weergegeven.

De bovenstaande jaar- en gebiedsgemiddelde gegevens zijn ongeschikt om een indruk te krijgen van de ruimtelijke en temporele variabiliteit van de verspreiding van zoet water en slib. Hiertoe moeten de onderliggende metingen worden geanalyseerd. Deze zijn echter niet op zeer korte termijn leverbaar. Een analyse van de ruimtelijke en temporele concentratievariaties in het Oosterscheldebekken is daarom gebaseerd op de gegevens ontleend aan Ten Brinke en Dronkers (1993), Ten Brinke (1988) en Ten Brinke (1993). Alleen variaties in slibconcentratie zijn bestudeerd, omdat:

- a) onvoldoende saliniteitsgegevens in de voornoemde bronnen beschikbaar zijn;
- b) de gemeten en berekende gemiddelde saliniteit een goede overeenkomst vertoont;
- c) deze korte studie slechts beperkt van omvang kan zijn.

Figuur 8 toont het verloop van de slibconcentratie nabij het wateroppervlak op een aantal locaties in de Oosterschelde in de periode 1980–1989. Hieruit blijkt dat er een sterke seizoensdynamiek bestaat. In de winterperiode worden in de monding concentraties bereikt tot circa 60 mg/l, terwijl in de zomerperiode de concentratie slechts 5–10 mg/l bedraagt. Uit de subfiguurreeks A–E blijkt dat de concentratie in oostelijke richting een afname vertoont. Tenslotte suggereert Figuur 8 dat de slibconcentratie in de Oosterschelde tijdens en na de aanleg van de stormvloedkering (voltooid in 1987) is afgenomen. Buitengaats (subfiguur A) is deze trend niet waarneembaar.

Figuur 9 toont samengevat ongeveer dezelfde informatie, echter nu voor de periode 1987–1990, dus na voltooiing van de stormvloedkering. Deze metingen kunnen dus als representatief worden beschouwd voor de huidige situatie. De geconstateerde afname van de slibconcentratie in oostelijke richting doet zich alleen in de winterperiode voor. In de zomerperiode is nauwelijks een afname waarneembaar. Verder valt op dat de concentratie in meetpunt 1, het verste op zee gelegen, veel lager is dan in meetpunt 2, dat dicht bij de Oosterscheldemonding ligt. Klaarblijkelijk heeft de dichtheidsgedreven stroming, die het slib aan de bodem naar de kust transporteert, in positie 1 al veel aan kracht verloren.

In Tabel 1 staan de getalswaarden van de concentratie voor dezelfde periode (1987–1990), opgesplitst in een zomer- en winterperiode en voor verschillende fasen in het getij. In de winter bedraagt de getijgemiddelde concentratie achter de stormvloedkering 17.2 ± 10.3 mg/l, in de zomerperiode slechts 6.3 ± 4.6 mg/l. Gemiddeld over de Oosterschelde is de concentratie in de winter (11.5 mg/l) een factor 2.1 groter dan in de zomer (5.4 mg/l).

	3 (west)	4 (midden)	5 (oost)
a. zomer (april-september)			
HW kentering	6.7 ± 2.4	4.6 ± 2.2	4.7 ± 1.7
max. ebstroming	5.7 ± 1.8	5.4 ± 2.2	5.1 ± 2.7
LW kentering	5.3 ± 2.3	4.4 ± 1.7	5.0 ± 2.4
max. vloedstroming	7.5 ± 5.2	6.1 ± 2.6	4.6 ± 2.4
getij-gemiddeld	6.3 ± 4.6	5.1 ± 3.2	4.9 ± 2.7
b. winter (oktober-maart)			
HW kentering	21.8 ± 11.6	9.3 ± 3.8	6.2 ± 3.1
max. ebstroming	15.0 ± 4.2	11.4 ± 5.3	4.4 ± 2.1
LW kentering	10.8 ± 4.2	8.8 ± 3.2	9.4 ± 5.7
max. vloedstroming	21.0 ± 15.3	12.0 ± 5.3	7.5 ± 3.2
getij-gemiddeld	17.2 ± 10.3	10.4 ± 4.8	6.9 ± 3.5

Tabel 1: Gemiddelde gemeten slibconcentratie (mg/l) aan de oppervlakte in de Oosterschelde over de periode april 1987 – december 1990. Bron: Ten Brinke en Dronkers (1993).

De Figuren 10–12 tonen diepte-gemiddelde concentratie- en snelheidsmetingen met een hoge tijdsresolutie (elke 10 min) voor een 3- tot 4-tal getijden in respectievelijk het westelijke deel (B), het middengebied (C) en het oostelijke deel (D) van de Oosterschelde. De concentratie vertoont een zwakke positieve correlatie met de stroomsnelheid en ijlt hierop iets na.

Figuur 13 toont de slibconcentratie in de Oosterscheldemonding tijdens storm in de periode februari-maart 1990. Hieruit blijkt dat onder zeer extreme omstandigheden (springtij, windkracht 10) in de Oosterscheldemonding de gemiddelde concentratie circa 100 mg/l bedraagt, terwijl piekconcentraties tot zo'n 160 mg/l worden waargenomen. Bij gemiddeld getij en windkracht 8 bedraagt de gemiddelde concentratie circa 60 mg/l.

Figuur 14 toont de relatie tussen het golfklimaat en de slibconcentratie in de Oosterscheldemonding in de periode oktober 1988 – juni 1990. Het golfklimaat laat zien dat de gemiddelde golfhoogte in de winter groter is dan in de zomer en, opvallender, dat de zuidwestelijke richtingscomponent in de winterperiode veel dominanter is dan in de zomerperiode. Het ruwere golfklimaat in de winter van 1990 resulteert in circa 50% hogere concentraties dan in de winter van 1989 (respectievelijk circa 60 en 40 mg/l).

Tenslotte toont Figuur 15 de concentratievariatie in de Oosterscheldemonding over een springtij-doodtijcyclus, zowel in de zomer- als in de winterperiode van 1990. Hieruit blijkt het volgende:

- in de winterperiode is de vloedconcentratie tijdens springtij zo'n 20% hoger dan de ebconcentratie;
- in de zomerperiode is de ebconcentratie 5 à 10% hoger dan de vloedconcentratie;

- c) in de winter is de concentratie tijdens springtij circa 100% hoger dan tijdens doortij en in de zomer circa 50% hoger;
- d) in 1990 is de concentratie in de winter circa een factor 5 à 8 hoger dan in de zomer.

Vergelijking met berekeningsresultaten

Saliniteit

In Tabel 2 wordt de berekende en gemeten gemiddelde saliniteit in de Oosterschelde getoond. Op basis hiervan is te concluderen dat de gemiddelde berekende saliniteit in de Oosterschelde (30.8 ppt) goed overeenkomt met de gemiddelde gemeten saliniteit (eveneens 30.8 ppt). Op basis van deze saliniteitsgegevens kan derhalve niet worden geconcludeerd dat het zuidwaartse transport van zoet water uit het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg wordt overschat in de berekeningen.

	monding	achter dam	midden	achterin	gemiddeld
berekend:	31.2	31.4	31.4	29.2	30.8
gemeten:					30.8

Tabel 2: Diepte-gemiddelde saliniteit (ppt) in Oosterschelde: berekende waarden met het ZNZ-model gemiddeld over een springtij-dootijcyclus (zie ook Fig. 5) en gemeten waarden gemiddeld over de periode 1990–1999 (uit DONAR-bestand, zie Tabel A).

Slibconcentratie

In de Tabellen 3a en 3b staan de met het ZNZ-model berekende slibconcentraties weergegeven, respectievelijk diepte-gemiddeld en aan de oppervlakte. De dieptegemiddelde concentratie bedraagt 40 mg/l in de monding en neemt in oostelijke richting geleidelijk af tot 24 mg/l. De concentratie van 40 mg/l in de monding is een redelijke waarde voor een winterperiode. Voor een zomerperiode is deze waarde echter veel te hoog: een diepte-gemiddelde waarde van circa 10 mg/ is dan redelijk.

De berekende gemiddelde oppervlakteconcentratie in de Oosterschelde bedraagt volgens Tabel 1b 25.1 mg/l. De gemeten jaargemiddelde concentratie volgens DONAR bedraagt 8.7 mg/l. Als op grond van Tabel 1 wordt aangenomen dat de concentratie in de winter een factor 1.4 hoger ligt dan jaargemiddeld, dan volgt uit DONAR een gemiddelde winterconcentratie in de periode 1990–1999 van 12.2 mg/l. Dit komt redelijk overeen met de gemiddelde winterconcentratie in de periode 1987–1990 van 11.5 mg/l volgens Tabel 1. De met het model berekende concentratie is derhalve ongeveer een factor 2 hoger dan de gemeten winterconcentratie.

Dit betekent dat de berekende concentratie aan de oppervlakte is ook voor een winterperiode te hoog is. Dit volgt ook uit een vergelijking van Tabel 3b met Tabel 1 en Figuur 9. In het westelijke deel van de Oosterschelde wordt de concentratie met een factor 2 overschat (33 mg/l berekend ten opzichte van 17 mg/l gemeten). In de Oosterscheldemonding is de overschatting echter minder sterk. In punt 2 van Figuur 9 bedraagt de gemeten oppervlakteconcentratie 30 mg/l, hetgeen weinig lager is dan de berekende concentratie van 34.2 mg/l. Uit het bovenstaande volgt dat de in het model toegepaste valsnelheid van 0.25 mm/s mogelijk te laag is voor de Oosterschelde. Andere aspecten kunnen hierbij ook een rol spelen, zoals verschillen tussen de berekende en in werkelijkheid optredende verticale dispersie en water- en slibflux door de Oosterscheldemonding. Deze zijn echter niet onderzocht.

De verhouding tussen de concentratie aan de bodem en de diepte-gemiddelde concentratie bedraagt in de berekeningen 1.16, gemiddeld over de Oosterschelde. Metingen wijzen echter op een verhouding van 1.28 (Ten Brinke, 1988).

	monding	achter dam	midden	achterin
gemiddelde:	40.3	37.6	28.3	23.9
minimum:	34.5	32.9	18.7	20.0
maximum:	49.1	43.9	32.2	25.6
sigma:	2.5	2.3	1.7	1.3

Tabel 3a: Diepte-gemiddelde slibconcentraties (mg/l) in de Oosterschelde berekend met het ZNZ-model over een springtij-doodtijcyclus (zie ook Fig. 5).

	monding	achter dam	midden	achterin
gemiddelde:	34.2	33.4	21.3	20.7
minimum:	12.1	16.4	2.2	9.3
maximum:	45.3	41.1	31.0	23.9
sigma:	5.0	3.5	7.8	2.5

Tabel 3b: Slibconcentraties (mg/l) aan de oppervlakte in de Oosterschelde berekend met het ZNZ-model gemiddeld over een springtij-doodtijcyclus (vergelijk met Tabel 1).

Zowel uit de metingen als uit de berekeningen blijkt dat de slibconcentratie in oostelijke richting afneemt (Vergelijk Tabel 3 met Figuur 9). In de berekeningen is deze afname echter minder sterk dan volgens de metingen (zie Figuur 18). Waarschijnlijk is dit een gevolg van de lage valsnelheid in het model in combinatie met een mogelijk afwijkende slibflux door de Oosterscheldemonding. De standaardafwijking, een maat voor de variaties in slibconcentratie, vertoont zowel in de metingen als in de berekeningen een afname in oostelijke richting.

In de Figuren 1 t/m 5 staat de berekende slibconcentratie als functie van de tijd uitgezet voor de vier geselecteerde locaties. Zowel de concentratie in de oppervlaktelaag, de bodemlaag als gemiddeld over de diepte worden getoond. Figuur 0 toont het waterstands- en snelheidsverloop in dezelfde periode. De berekende concentratievariaties over het getij zijn minder sterk dan de gemeten variaties (vergelijk met Fig. 10–12 en Tabel 1). Dit is waarschijnlijk te wijten aan een te lage valsnelheid in de berekeningen (0.25 mm/s). Ook de berekende variaties over de springtij-doodtijcyclus zijn minder sterk dan de gemeten variaties (zie Figuur 15). Dit is waarschijnlijk te wijten aan de lage kritische schuifspanning voor erosie en depositie (0.1 Pa). Deze is zo laag gekozen om gedeeltelijk te compenseren voor het niet modelleren van golfinvloeden. Hierdoor zal tijdens doodtij relatief weinig slib bezinken, waardoor de concentratie in de waterkolom niet veel lager wordt dan tijdens springtij.

Invloedsfactoren

Golven

In het numerieke ZNZ-model is het effect van golven verwaarloosd. Met name in ondiepe gebieden tijdens perioden met harde wind is het effect van golven op de opwerveling van slib vanaf de bodem echter wel belangrijk. Dit is ten dele gecompenseerd door een lage waarde te kiezen voor de kritische schuifspanning voor erosie (0.1 Pa), zodat gemiddeld genomen toch voldoende opwerveling plaatsvindt en er geen onrealistisch grote netto sedimentatie optreedt. Een neveneffect is wel dat in het model tijdens rustige perioden depositie wordt onderschat en resuspensie wordt overschat. Dit verschijnsel draagt waarschijnlijk in belangrijke mate bij aan de sterke overschatting van de slibconcentratie in de Oosterschelde tijdens rustige condities.

Valsnelheid

De in het model toegepaste valsnelheid bedraagt 0.25 mm/s. Een hogere valsnelheid zou tot te grote verticale concentratiegradiënten op de Noordzee kunnen leiden. Deze valsnelheid is echter laag ten opzichte van *in-situ* metingen van de valsnelheid in de Oosterschelde met behulp van een onderwater videocamerasysteem (Ten Brinke, 1993). In november 1991, een periode met geringe biologische activiteit (denk bijvoorbeeld aan algengroei), bedroeg de gemeten mediane valsnelheid 0.6 tot 0.7 mm/s, terwijl in september 1991 de mediane valsnelheid 0.8 tot 2.4 mm/s bedroeg, bij een veel grotere biomassa algen (zie Tabel 4). De aanwezigheid van algen bevordert de aggregatie van slibvlokken, hetgeen de valsnelheid verhoogt.

De valsnelheid in het model is derhalve veel lager (een factor 2 tot 10) dan de gemeten valsnelheid in de Oosterschelde. In de zomerperiode is deze afwijking veel groter dan in de winterperiode. Dit is één van de mogelijke oorzaken van de afwijking tussen de berekende en gemeten slibconcentraties, met name in de zomerperiode.

	11 sep.	11 sep.	6 nov.	6 nov.
	mediaan	gemiddelde	mediaan	gemiddelde
HW kentering	2.39	3.08±2.74	0.60	0.99±1.03
max. ebstroming	0.81	1.33±1.85	0.63	0.83±0.77
LW kentering	1.14	1.31±0.93		
max. vloedstroming			0.72	0.92±0.78

Tabel 4: *In situ* valsnelheid (mm/s) op 11 september en 6 november 1991, gemeten met een onderwater videocamera in de Oosterschelde. Bron: Ten Brinke (1993)

Windaandrijving en seizoensvariaties

De waterbeweging en het slibtransport berekend met het ZNZ-model wordt mede aangedreven door een 14-daagse variabele wind die representatief wordt geacht voor een heel jaar. Hierdoor is in deze berekeningen slechts sprake van concentratievariaties binnen deze 14-daagse periode, die gedurende een jaar telkens wordt herhaald. Seizoensvariaties zoals tussen zomer en winter kunnen derhalve door het model niet worden gereproduceerd.

De in het model gebruikte 14-daagse variabele windaandrijving kent naast perioden met harde wind ook rustige perioden. Er is immers een windreeks geselecteerd die representatief is voor een meerjarige situatie, waarin ook rustige perioden voorkomen. De verwachting is dat tijdens deze rustige perioden de slibconcentratie lager wordt, zoals ook uit veldwaarnemingen blijkt, doordat er sedimentatie optreedt. Sedimentatie zal in de modelberekeningen echter maar in beperkte mate kunnen optreden doordat de rustige perioden in de 14-daagse windreeks noodzakelijkerwijs slechts kort duren (enkele dagen). Bij een waterdiepte van 20 m en een valsnelheid van 0.25 mm/s duurt het echter tenminste 1 dag voordat slib vanaf de oppervlakte de bodem heeft bereikt. Door het optreden van verticale dispersie kan dit proces echter nog aanmerkelijk langer duren. Een periode met hardere wind heeft in de tussentijd het slib dan alweer opgewoeld, zodat de slibconcentratie in de waterkolom op een relatief hoog niveau blijft gehandhaafd.

In werkelijkheid volgen de perioden met rustige en stormachtige wind elkaar gewoonlijk niet zo snel op, zodat slib wel de tijd krijgt om te bezinken. Dit zal met name in de zomerperiode optreden. Een indicatieve, nog niet gevalideerde berekening met het grove ZNZ-model, waarbij de werkelijk opgetreden wind in de periode 1 november 1988 tot 1 november 1989 is opgelegd (op uurbasis variërend) toont aan dat de waargenomen sterke seizoenscyclus dan ook wordt gereproduceerd. Figuur 16 toont de slibconcentratie bij de Vlakte van Raan (voor de kust van Walcheren) als functie van de tijd, Figuur 17 de opgelegde windsnelheid en -richting. Terwijl de slibconcentratie in de periode januari-april relatief hoog is en aan de oppervlakte waarden tot 150 mg/l bereikt, is de concentratie in de periode mei-oktober juist relatief laag (circa 25 mg/l). In het grove ZNZ-model is de invloed van golven meegenomen. In relatie hiermee is de kritische schuifspanning voor erosie verhoogd van 0.1 tot 0.5 Pa. De overige parameter-instellingen zijn identiek aan de berekeningen met het fijne ZNZ-model gerapporteerd door Boon en Van Kessel (2001).

Opmerkelijk is dat er in de zomer geen hoge concentratiepieken voorkomen, zowel in de metingen (Figuur 14) als in de berekeningen (Figuur 16), aangezien er ook in de zomer hoge windsnelheden voorkomen. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn de geringere dominantie in de zomerperiode van wind uit zuidwestelijke richting en de variabiliteit van bronnen buiten het Oosterscheldegebied.

Figuur 13 laat zien dat een slibconcentratie van 150 mg/l tijdens een zware storm niet ongewoon is. Een directe vergelijking met Figuur 16 is echter niet mogelijk, ten eerste omdat het hier een andere windperiode betreft (1990), ten tweede omdat het een andere locatie betreft (de Oosterscheldemonding).

Randvoorwaarde bij het Kanaal

Aan de Kanaalrand van het ZNZ-model is een in de tijd constante concentratie opgelegd, variërend van 5 mg/l midden op zee tot 12 mg/l nabij de kust. In werkelijkheid kan deze concentratie variëren over de seizoenen. De seizoensdynamiek in het slibaanbod in het Kanaal wordt in het model dus verwaarloosd. Dit kan, met een tijdsvertraging in verband met de transporttijd, ook invloed hebben op het concentratieverloop in de Oosterscheldemonding.

Conclusies

Een vergelijking tussen de gemeten gemiddelde saliniteit in de Oosterschelde in de periode 1990–1999 en de met het ZNZ-model berekende saliniteit laat een goede overeenkomst zien. De gemiddelde saliniteit bedraagt zowel in de metingen als in de berekeningen 30.8 ppt. Op basis hiervan kan derhalve niet worden geconcludeerd dat het zuidwaartse transport van zoet water uit de Haringvliet en de Nieuwe Waterweg in de berekeningen wordt overschat.

De gemeten slibconcentratie laat een sterke seizoensdynamiek zien. In de zomerperiode bedraagt de dieptegemiddelde slibconcentratie in de Oosterscheldemonding circa 10 mg/l, terwijl de concentratie in de winterperiode wel 40 mg/l bedraagt. In winters met veel harde wind uit zuidwestelijke richting kan de concentratie verder toenemen: zo is voor de winter van 1990 een diepte-gemiddelde concentratie van circa 60 mg/l geregistreerd.

De met het ZNZ-model berekende diepte-gemiddelde concentratie in de Oosterscheldemonding (40 mg/l) is globaal een representatieve waarde voor het winterseizoen. De seizoensdynamiek wordt door het model in het geheel niet gereproduceerd, doordat gebruik is gemaakt van een representatieve 14-daagse windaandrijving. Hierdoor wordt de jaargemiddelde concentratie met circa een factor 2 overschat. Berekeningen met een reële windaandrijving uitgevoerd met het grove ZNZ-model laten wel een duidelijke seizoensdynamiek zien.

Naast de dominante seizoensdynamiek laten de slibconcentratiemetingen ook een duidelijk verloop zien over het getij en de springtij-doodtijcyclus. De berekeningen vertonen een dergelijk verloop slechts in beperkte mate. De getijdynamiek wordt in de berekeningen beperkt door de lage valsnelheid (0.25 mm/s) in combinatie met de gehanteerde kritische waarde voor sedimentatie en erosie. *In-situ* metingen laten een valsnelheid zien van 0.6 tot 0.7 mm/s bij een geringe biomassa algen (winter) en 0.8 tot 2.4 mm/s bij een grote biomassa algen (zomer). De in het model gehanteerde lage valsnelheid is echter noodzakelijk om de op de Noordzee waargenomen beperkte verticale concentratiegradiënten te reproduceren.

De springtij-doodtijdynamiek wordt in de berekeningen beperkt door de lage waarde voor de kritische schuifspanning voor erosie (0.1 Pa). Hierdoor treedt er tijdens doodtij relatief weinig netto sedimentatie op, waardoor de concentratie in de waterkolom hoog blijft. De lage waarde van 0.1 Pa is gekozen ter compensatie van het ontbreken van golfmodellering.

De met het ZNZ-model berekende concentratie aan de oppervlakte in de Oosterscheldemonding is aan de hoge kant, zelfs voor de winterperiode. Waarschijnlijk is de lage valsnelheid hieraan debet, in combinatie met mogelijk afwijkende transportfluxen. De berekende concentratie-afname in oostelijke richting van het Oosterscheldebekken is minder sterk dan de gemeten afname.

De geconstateerde afwijkingen tussen berekeningen en metingen betekenen niet dat de berekende concentratietoename in het Zeeuwse en Zuidhollandse voordeltagebied ten gevolge van de aanleg van Maasvlakte-2 niet zal optreden. De berekende saliniteit komt overeen met het langjarig gemiddelde en de diepte-gemiddelde concentratie in de Oosterscheldemonding is representatief voor de winterperiode. In de zomerperiode is de optredende concentratietoename waarschijnlijk veel geringe. De relatieve veranderingen hoeven echter

niet noodzakelijkerwijs kleiner te zijn. Wel heeft de berekende relatieve afwijking achterin de Oosterschelde een minder grote betrouwbaarheid dan in de Oosterscheldemonding.

De berekende concentratietoename dient in het perspectief te worden geplaatst van de grote natuurlijke variabiliteit. De gemiddelde concentratie gedurende de winterperiode is veelal een factor 4 of meer hoger dan die in de zomerperiode. Tijdens springtij is de concentratie circa 50% hoger dan tijdens doottij. De extremen variëren van minder dan 5 mg/l in de zomer tijdens doottij in een periode met weinig wind tot meer dan 150 mg/l in de winter tijdens springtij en zware storm. Hiernaast is in de jaren '80 de slibconcentratie in het Oosterscheldebekken aanzienlijk afgenomen door de constructie van de stormvloedkering.

Aanbevelingen

De volgende aanvullende activiteiten kunnen de uitgevoerde studie verder onderbouwen:

1. Ruimtelijke en temporele analyse van de DONAR-gegevens. Hiertoe moeten de onderliggende meetgegevens, op basis waarvan de hier gepresenteerde gemiddelde gegevens zijn bepaald, beschikbaar worden gesteld.
2. Het vaststellen van de bruto en netto water- en slibfluxen door de Oosterscheldemonding zoals berekend met het ZNZ-model en de vergelijking hiervan met meetgegevens.

Referenties

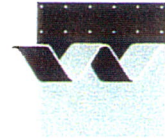
- Boon, J. en T. van Kessel (2001). Effecten van landaanwinning Maasvlakte-2 op slibtransport langs de Nederlandse kust. WL | Delft Hydraulics report no. Z3215
- Brinke, W. ten (1988). Getijgeïnduceerd slibtransport in de Oosterschelde. Nota GWA0_88.1005. BALANS nota 39. Delta instituut voor hydrobiologisch onderzoek, DGW.
- Brinke, W.B.M. ten (1993). The impact of biological factors on the deposition of fine-grained sediment in the Oosterschelde (The Netherlands). Ph.D.-thesis Rijksuniversiteit Utrecht.
- Brinke, W.B.M. ten and Dronkers, J. (1993). Physical and biotical aspects of fine-sediment import in the Oosterschelde tidal basin (The Netherlands). Netherlands Journal of Sea Research, Vol. 31, no. 1, pp. 19–36.
- DONAR-metingen RIKZ.
- Roelvink, J.A., Th. van der Kaaij and B. G. Ruessink (2001) Calibration and verification of large-scale 2D/3D flow models, MARE Consortium Report no. Z3029.11, ONL Coast and Sea studies, June 2001 (final)
- WL | Delft Hydraulics / MARE (2001). Description and modelrepresentation T0 situation, Part 1: The transport of fine-grained sediments in the southern North Sea. Perceel 3, Deelproduct 2, concept WL rapport, ref. no. Z3030.10.



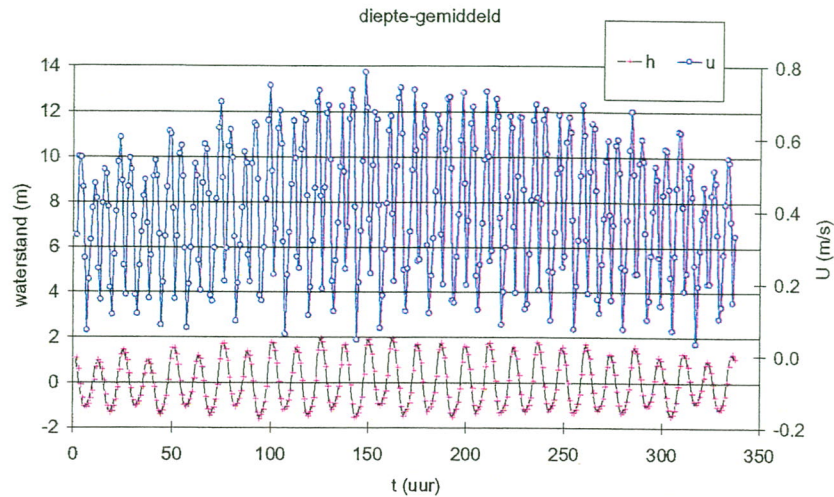
Tabellen

Parameter	Eenheid	Jaar	N	Max.	Min.	Gemiddelde	Mediaan
Saliniteit	ppt	1990	39	33.6	28.12	31.8	32.27
Saliniteit	ppt	1991	39	33.66	28.89	31.61	31.57
Saliniteit	ppt	1992	39	33.52	26.86	31.1	31.36
Saliniteit	ppt	1993	39	32.86	28.88	31.18	31.36
Saliniteit	ppt	1994	60	32.4	27.09	30.1	30.06
Saliniteit	ppt	1995	62	31.1	18.55	28.8	29.09
Saliniteit	ppt	1996	60	33.42	28.66	31.01	31.35
Saliniteit	ppt	1997	60	32.81	28.46	31.17	31.455
Saliniteit	ppt	1998	59	33.54	27.41	30.77	30.73
Saliniteit	ppt	1999	60	32.47	26.44	30.1	30.3
Zwevende-stof	mg/l	1990	39	41	2	8.4	5
Zwevende-stof	mg/l	1991	39	38	3	10.3	6
Zwevende-stof	mg/l	1992	39	34	3	7.9	6
Zwevende-stof	mg/l	1993	39	43	1	7.9	4
Zwevende-stof	mg/l	1994	60	46	2	7	5
Zwevende-stof	mg/l	1995	63	37	1	7.9	6
Zwevende-stof	mg/l	1996	60	32	2	6.7	6
Zwevende-stof	mg/l	1997	57	43	2	9.2	6
Zwevende-stof	mg/l	1998	60	37	1	7.7	4
Zwevende-stof	mg/l	1999	60	221	1	14	6

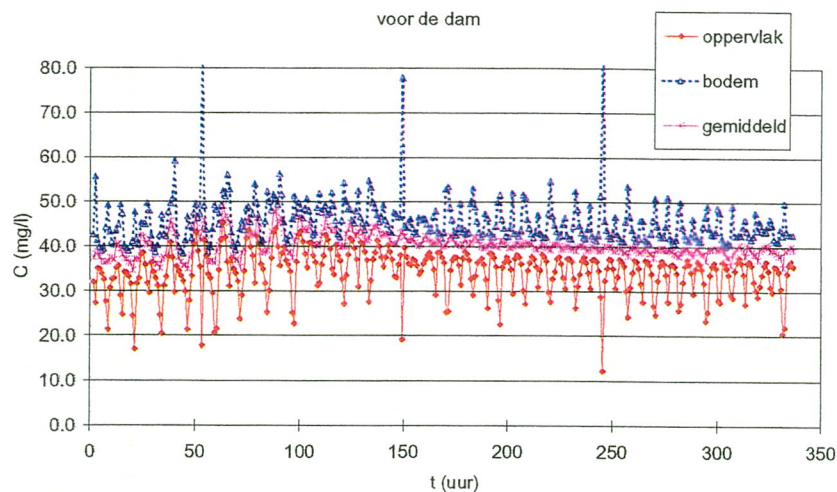
Tabel A: Gemeten saliniteit (ppt) en zwevende stof concentratie (mg/l) ruimtelijk gemiddeld over de Oosterschelde in de periode 1990–1999. Bron: DONAR-bestand RIKZ. De zwevende stof concentratie is gemeten op 1 m onder het wateroppervlak.



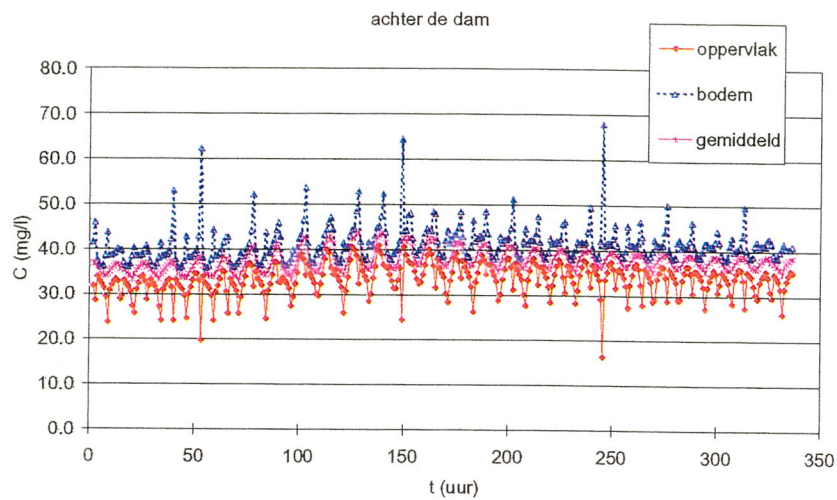
Figuren



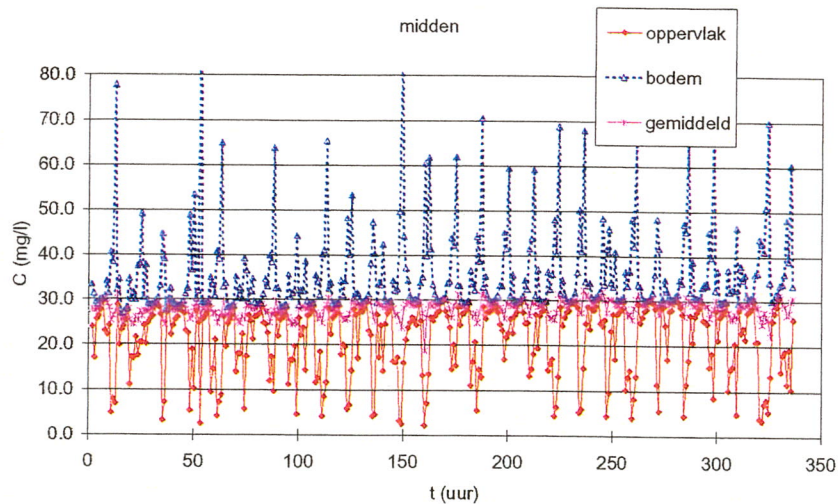
Figuur 0: Waterstand (m) en stroomsnelheid (m/s) in de monding van de Oosterschelde voor de stormvloedkering; springtij-doodtijcyclus.



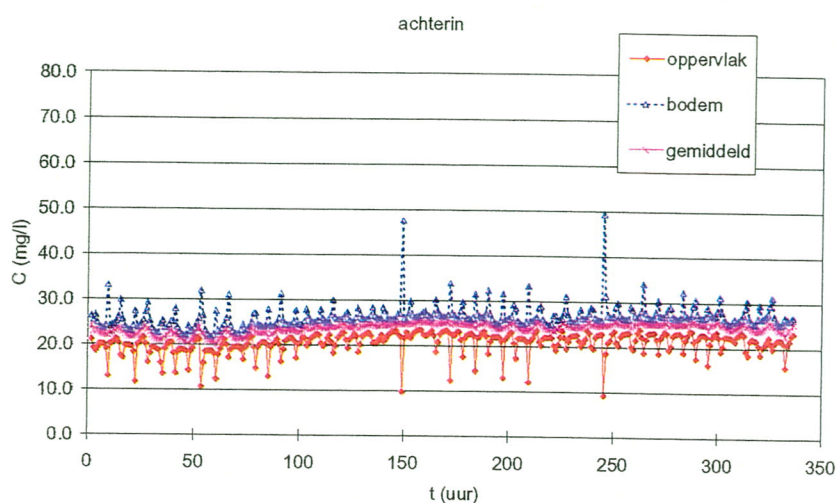
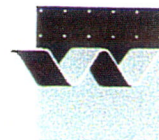
Figuur 1: Berekende slibconcentratie (mg/l) tijdens springtij-doodtijcyclus voor oppervlaktelaag, bodemlaag en diepte-gemiddeld; voor de stormvloedkering.



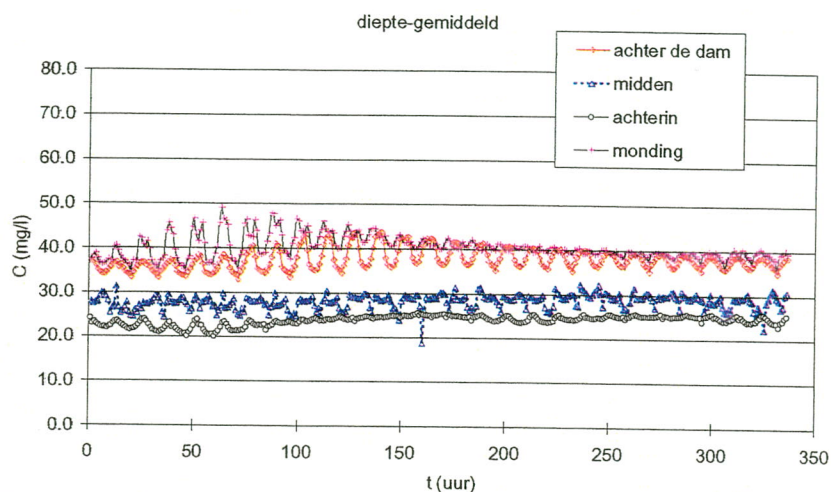
Figuur 2: Berekende slibconcentratie (mg/l) tijdens springtij-doodtijcyclus voor oppervlaktelaag, bodemlaag en diepte-gemiddeld; achter de stormvloedkering.



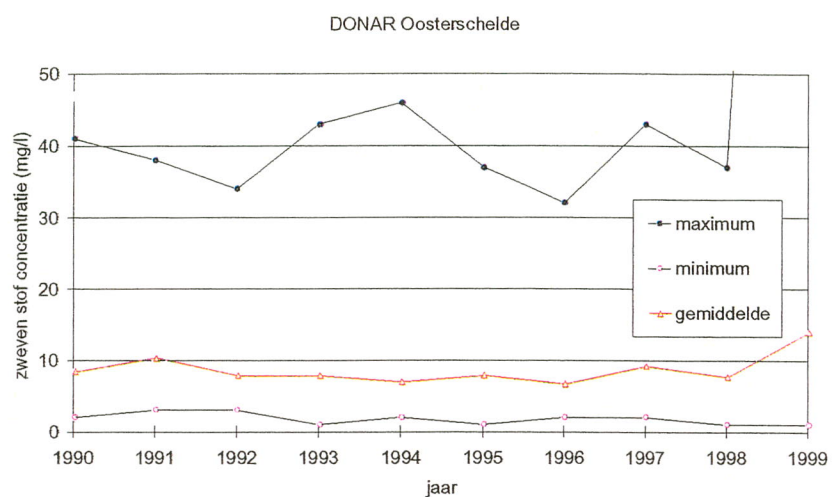
Figuur 3: Berekende slibconcentratie (mg/l) tijdens springtij-doodtijcyclus voor oppervlaktelaag, bodemlaag en diepte-gemiddeld; midden in de Oosterschelde.



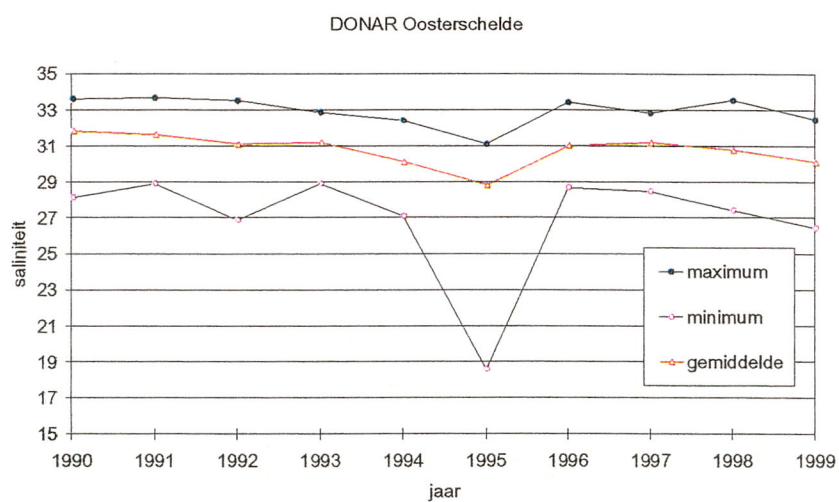
Figuur 4: Berekende slibconcentratie (mg/l) tijdens springtij-doodtijcyclus voor oppervlaktelaag, bodemlaag en diepte-gemiddeld; achterin de Oosterschelde.



Figuur 5: Berekende diepte-gemiddelde slibconcentratie (mg/l) tijdens springtij-doodtijcyclus voor een viertal locaties in de Oosterschelde.



Figuur 6: Gemeten zwevend stof gehalte (mg/l) in de Oosterschelde in de periode 1990–1999.



Figuur 7: Gemeten saliniteit in de Oosterschelde in de periode 1990–1999.

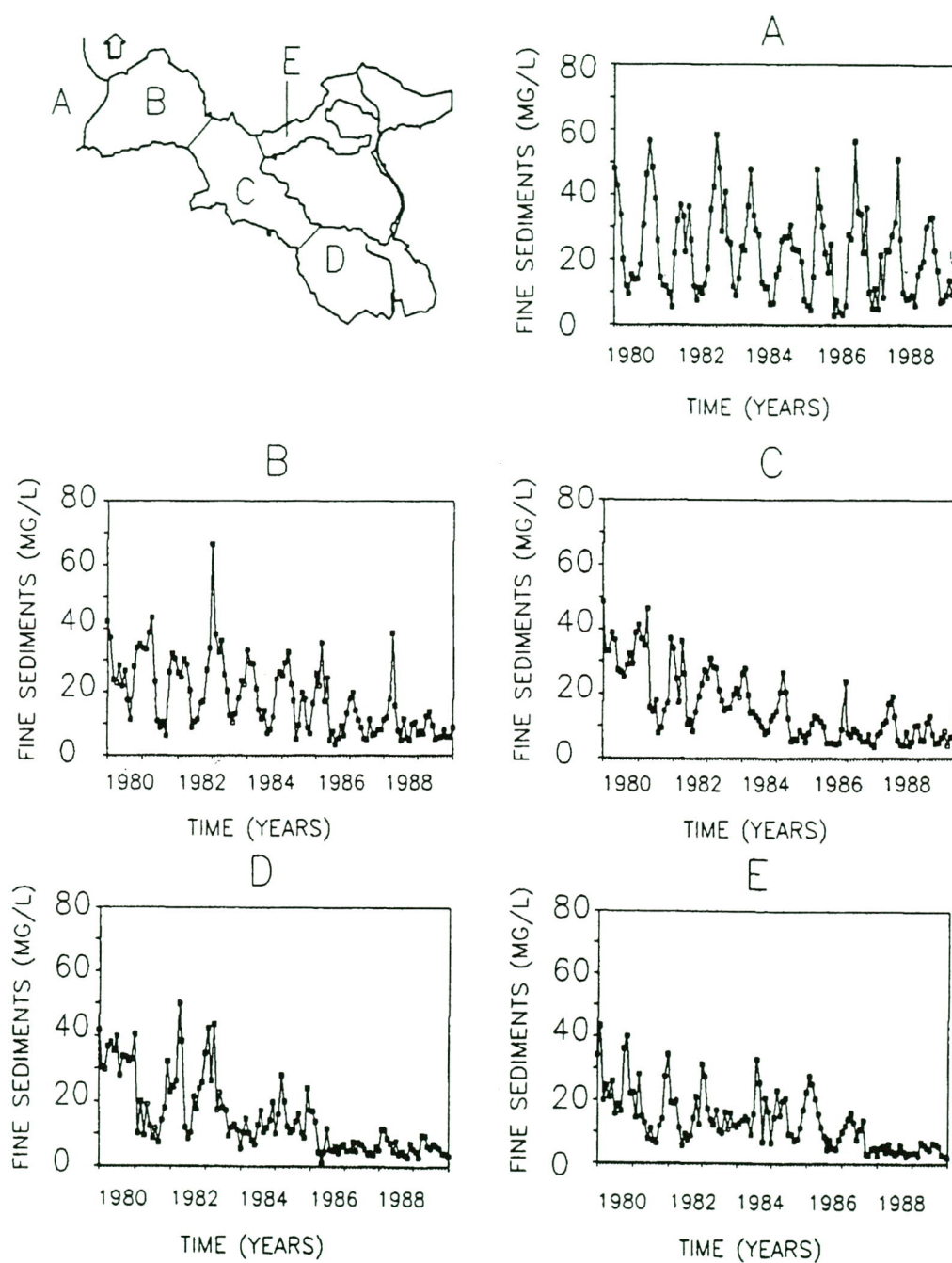


Fig. 3. Concentrations of suspended sediment $<53 \mu\text{m}$ in four compartments of the Oosterschelde (B-E) and in the North Sea (A) during 1980-1989 at 1 m below water surface.

Figuur 8: Bron: Ten Brinke en Dronkers (1993).

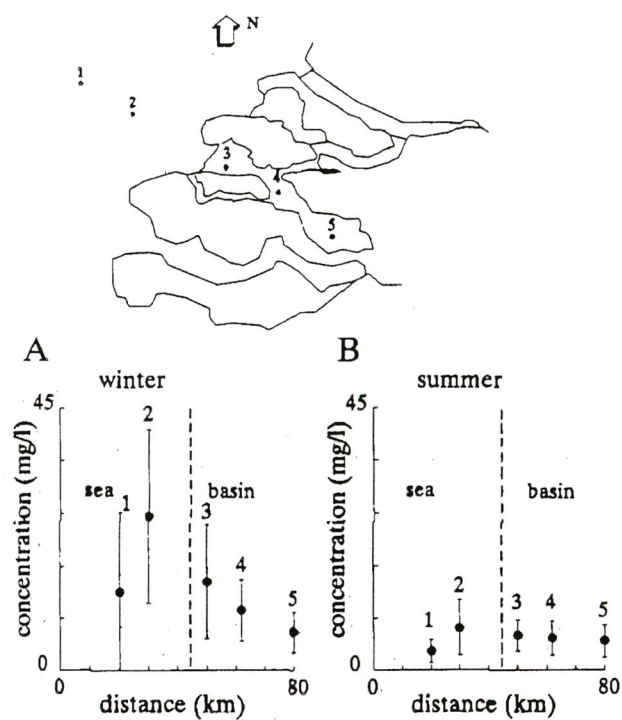
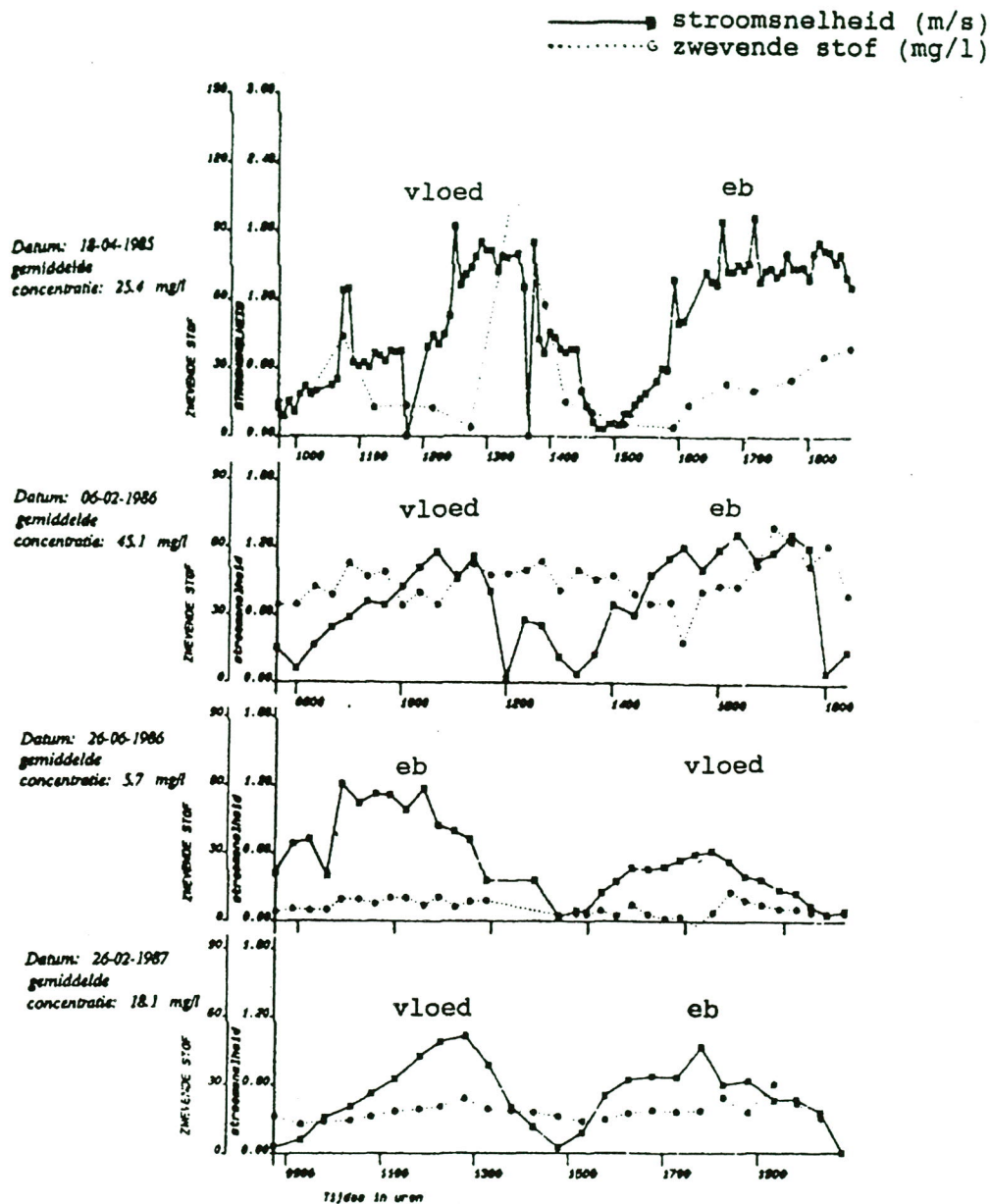


Fig. 8. Average winter (A) and summer (B) concentrations of fine suspended sediment <53 μm) during 1987-1990 at five stations in the Oosterschelde and near-coastal zone.

Figuur 9: Bron: Ten Brinke en Dronkers (1993) Concentratie nabij het wateroppervlak.

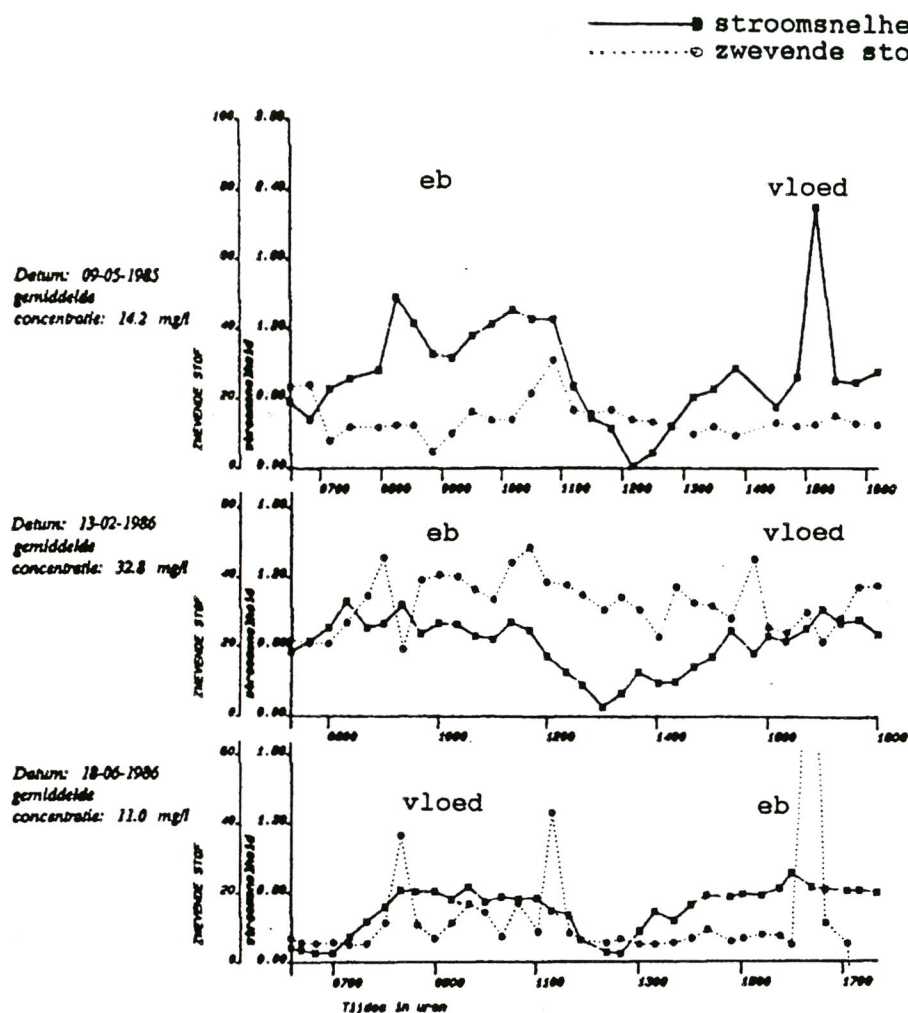
TOTAAL ZWEVENDE STOF IN DE MONDING VAN DE OOSTERSCHELDE



Figuur 11. Het verloop van de zwevende stof concentratie en de stroomsnelheid voor de metingen in de monding.

Figuur 10: Bron: Ten Brinke (1988)

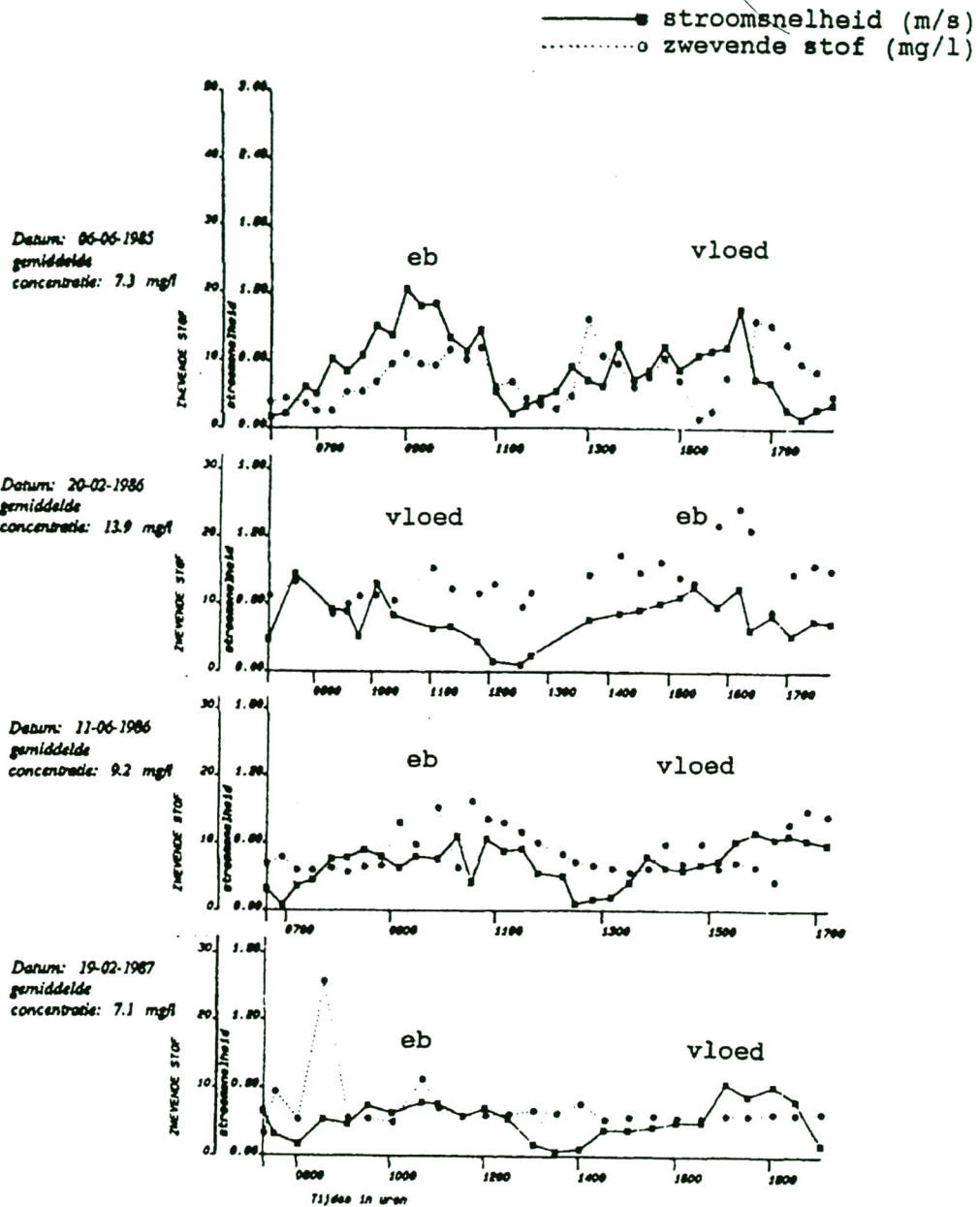
TOTAAL ZWEVENDE STOF IN HET MIDDENGEBIED VAN DE OOSTERSCHELDE



Figuur 12. Het verloop van de zwevende stof concentratie en de stroomsnelheid voor de metingen in het middengebied.

Figuur 11: Bron: Ten Brinke (1988)

TOTAAL ZWEVENDE STOF IN DE KOM VAN DE OOSTERSCHELDE



Figuur 13. Het verloop van de zwevende stof concentratie en de stroomsnelheid voor de metingen in de kom.

Figuur 12: Bron: Ten Brinke (1988)

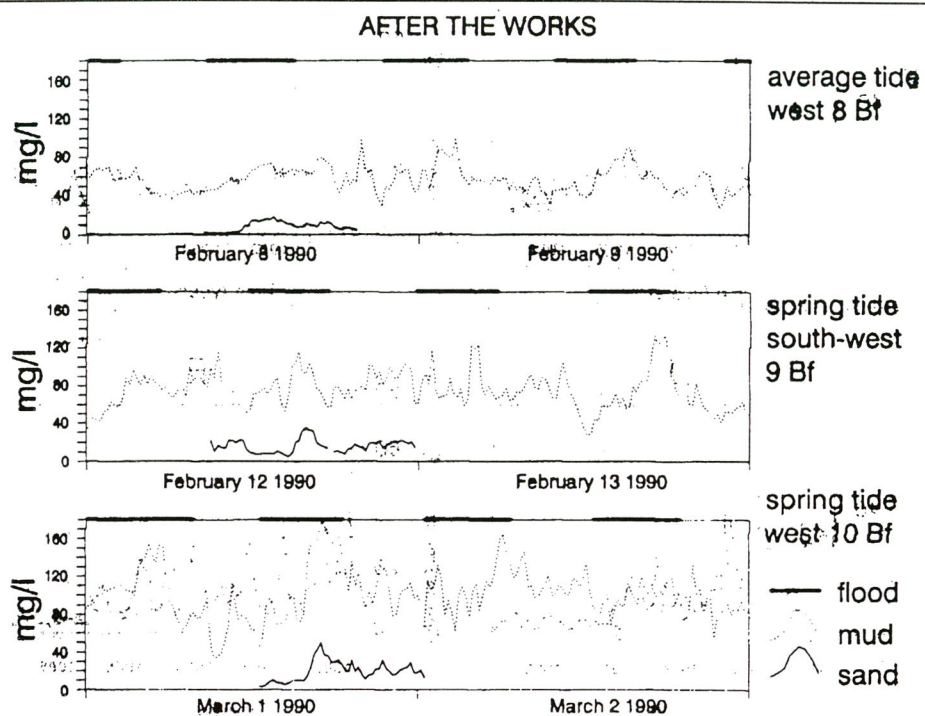


Figure 1.5 Sand and fine-grained sediment concentration in the Oosterschelde inlet during stormy weather after the works

Figuur 13: Bron: Ten Brinke (1993). Concentratie waarschijnlijk gemeten op 3 m waterdiepte

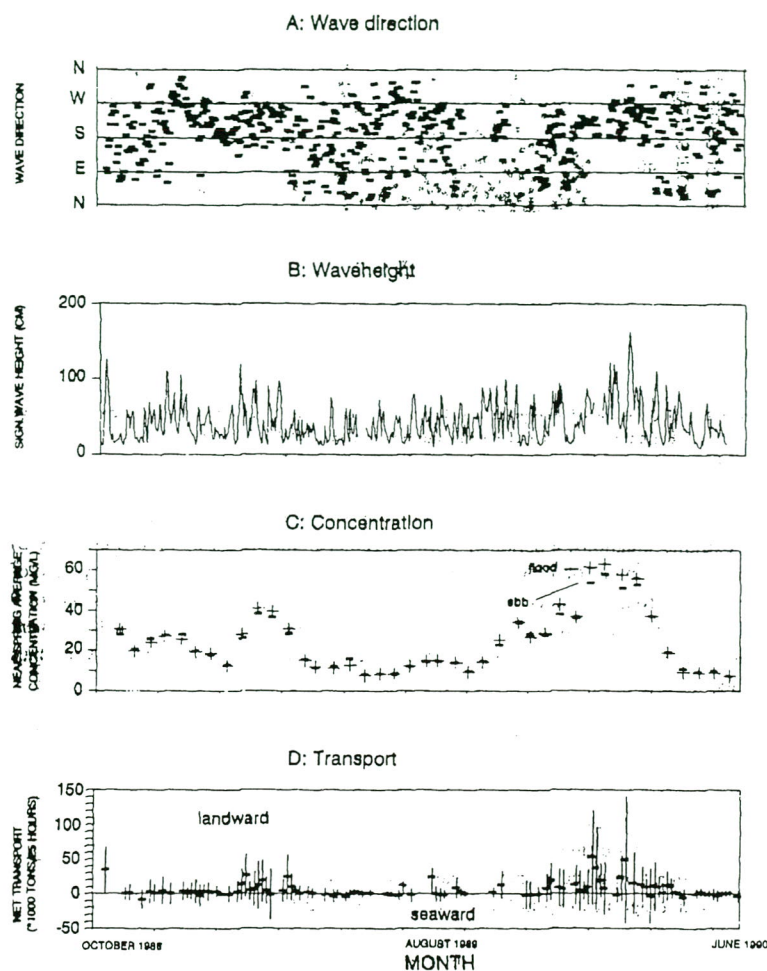


Figure 3.3 Wave climate (A-B), average neap-spring tide concentration (C), and net fine-grained sediment transport (D) in the Oosterschelde inlet during October 1988 - June 1990.

Figuur 14: Bron: Ten Brinke (1993); concentratie gemeten op 3 m waterdiepte

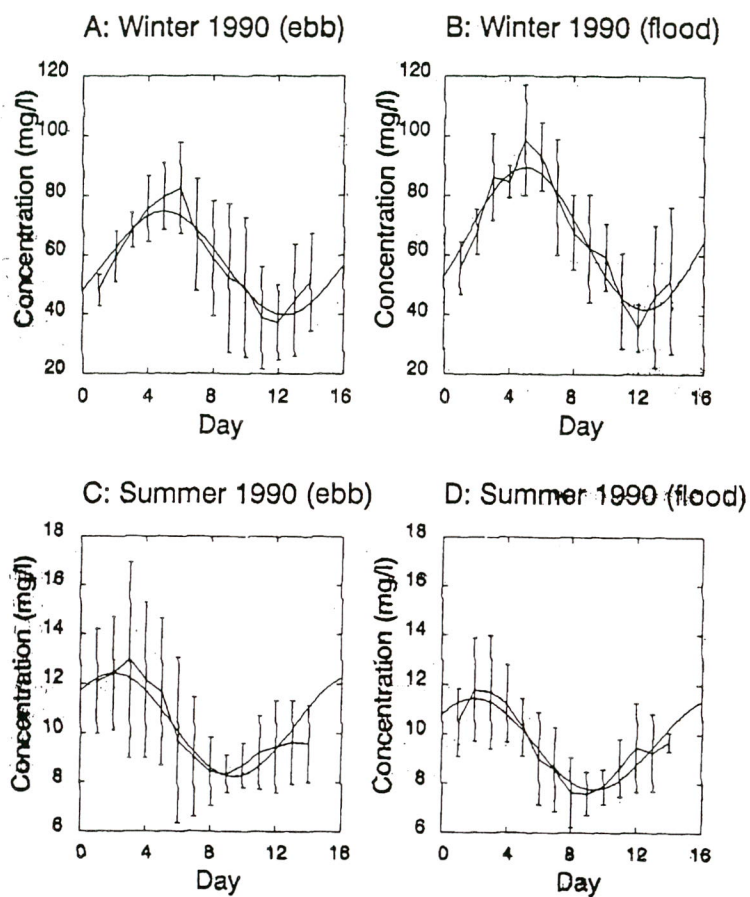
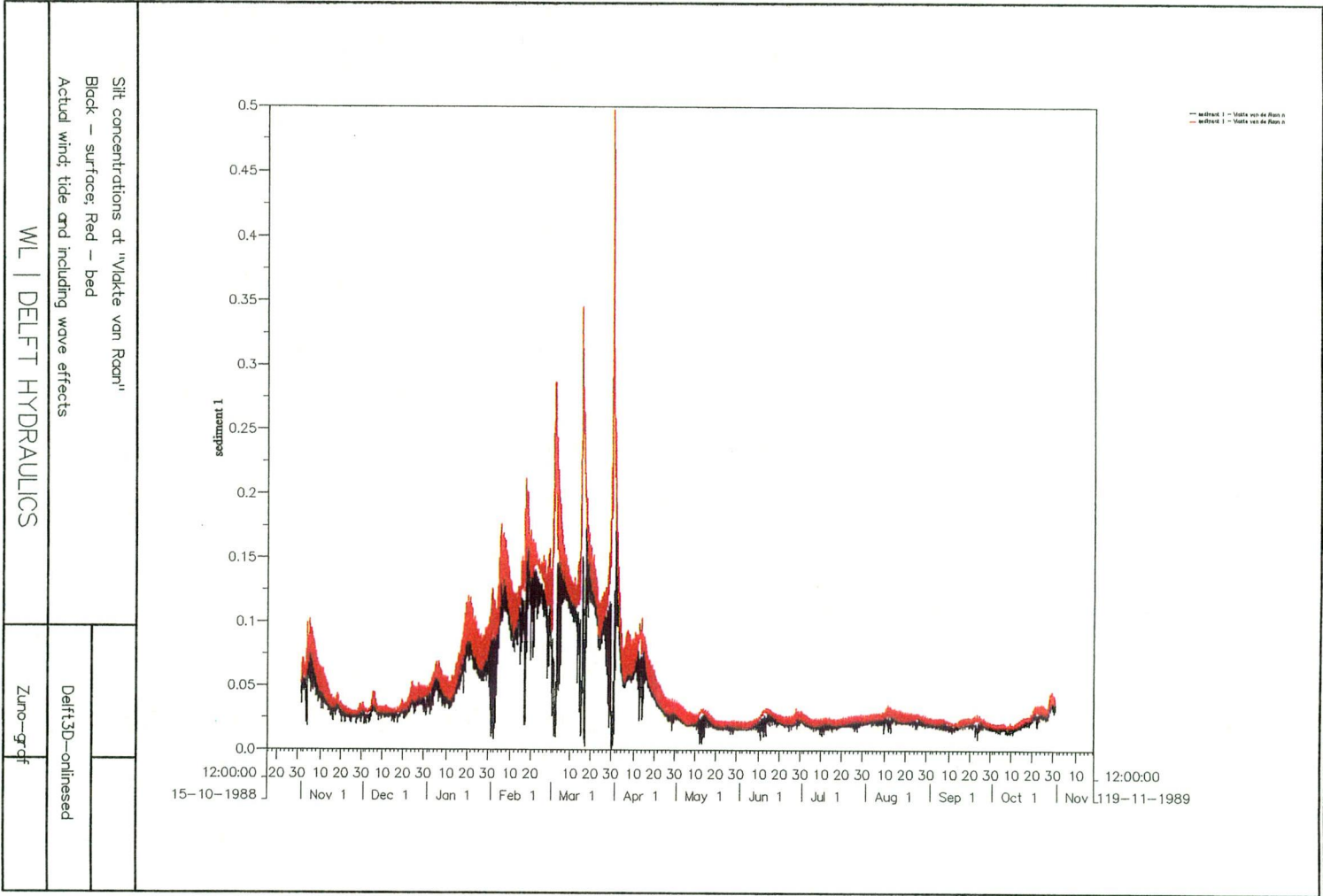
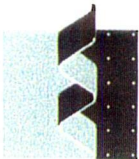
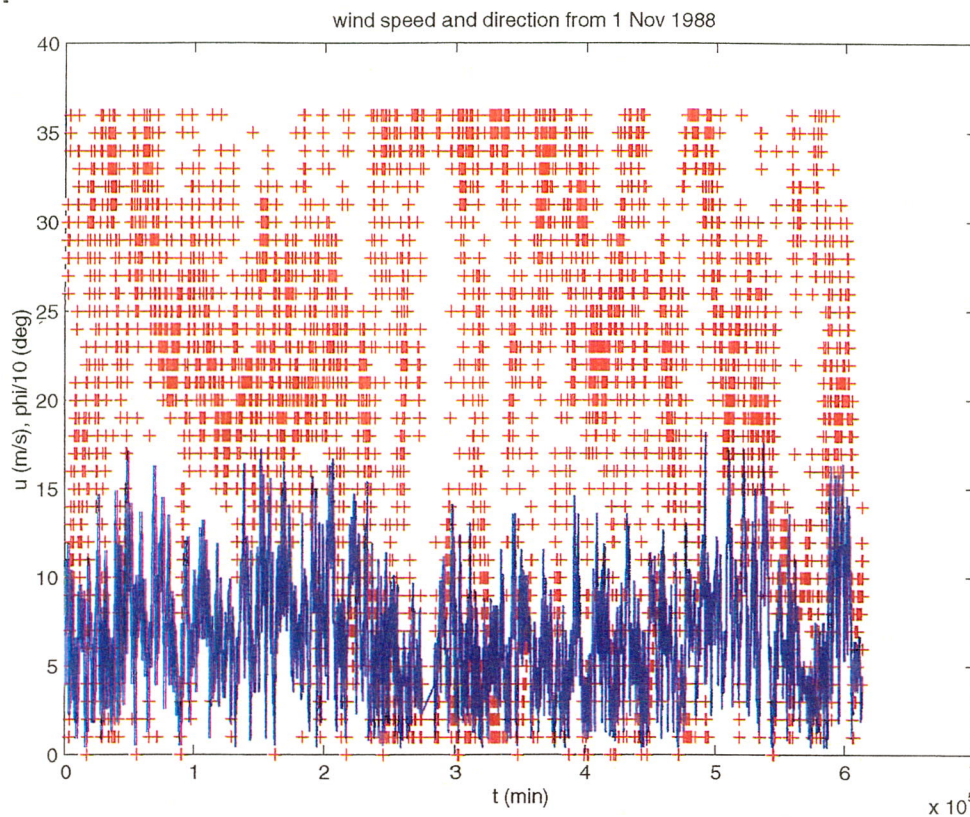
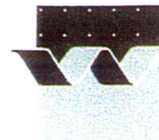


Figure 3.5 Depth-averaged fine-grained sediment concentration and standard error during the neap-spring tidal cycle for two extreme situations: rough winter (A-B) and calm summer (C-D) (note different vertical scales)

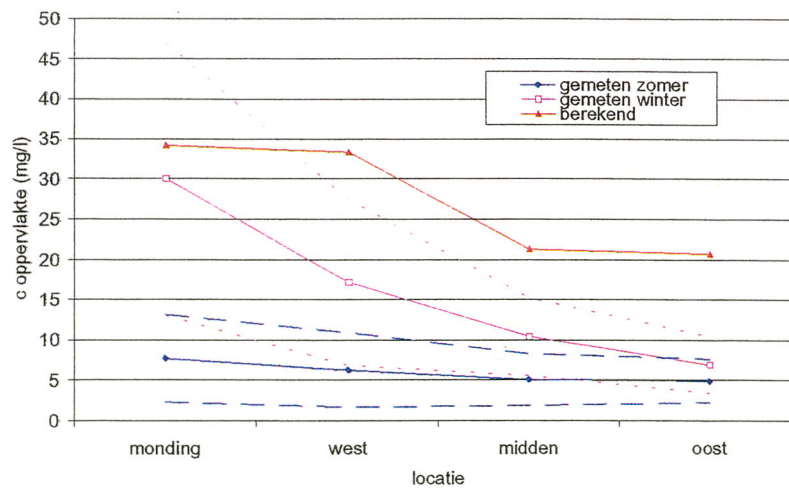
Figuur 15: Bron: Ten Brinke (1993)



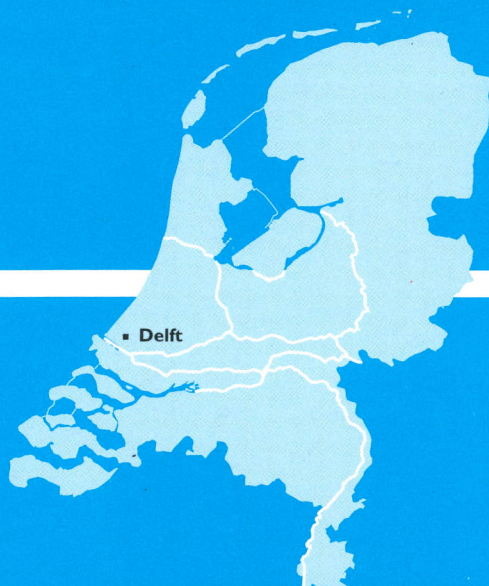
Figuur 16: Berekeningen WL met ZNZ-grof model voor een variabele wind; 1 jaar vanaf 1 november 1988.



Figuur 17: Toegepaste wind in berekeningen WL met ZNZ-grof model; vanaf 1 november 1988.



Figuur 18. Gemeten en berekende oppervlakteconcentratie op een viertal locaties in de Oosterschelde. Gestippelde lijnen zijn foutenmarges.



WL | Delft Hydraulics

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

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

