

WI: 793590-1

Nieuw op NP

WM ARCHIEF

Opdrachtgever:

Expertisecentrum Maasvlakte 2

Effecten van landaanwinning Maasvlakte 2 op het slibtransport langs de Nederlandse kust

Verslag modelonderzoek

november 2001

Opdrachtgever:

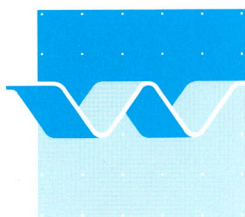
Expertisecentrum Maasvlakte 2

Effecten van landaanwinning Maasvlakte 2 op het slibtransport langs de Nederlandse kust

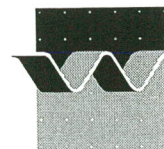
J.G. Boon en T. van Kessel

Verslag modelonderzoek

november 2001



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: Project Mainportontwikkeling Rotterdam
Expertisecentrum Maasvlakte 2

TITEL: Effecten landaanwinning Maasvlakte-2 op het slibtransport langs Nederlandse kust

SAMENVATTING:

Op basis van een eerdere studie is gebleken dat een Maasvlakte-2 een significante invloed heeft op de slibgehalten voor de Hollandse kust en op de slibtransporten naar de Waddenzee. De resultaten van deze studie, die gebaseerd zijn op berekeningen met het Zuidelijke Noordzee (ZNZ) model, bevatten echter nog een aantal onzekerheden.

Inmiddels is het meerjarig onderzoeksprogramma genaamd "Flyland, Onderzoeksprogramma Luchthaven in Zee" (ONL) van start gegaan. In dit onderzoeksprogramma is recentelijk een aanzienlijke inspanning gestoken in de verbetering van de afregeling van het ZNZ-model. In plaats van een gemiddeld getij met een constante windforcering is gewerkt met een dood/springtij cyclus met een representatieve windforcering. Dit heeft ertoe geleid dat op het gebied van de waterbeweging de overeenstemming tussen modelberekeningen en veldmetingen in het gehele modelgebied sterk is verbeterd. Daarom heeft PMR besloten om enkele Maasvlakte-2 berekeningen opnieuw uit te laten voeren met dit nieuwe instrumentarium.

De effecten van een Maasvlakte-2 op de slibhuishouding voor de Hollandse kust zijn significant. De resultaten zijn consistent met die uit het ONL-onderzoek, waarin hetzelfde model is gebruikt maar met gebruik van een grover rooster. Bij de huidige studie zijn de effecten in zuidwaartse richting sterker en in noordwaartse richting zwakker dan bij het ONL-onderzoek. Dit verschil kan veroorzaakt zijn doordat bij het ONL-onderzoek niet is gerekend met Getemd Getij, maar het de huidige debietverdeling tussen Haringvliet en Nieuwe Waterweg.

De effecten van Maasvlakte-2 op de Waddenzee zijn naar verhouding klein. De effecten die in het Voordeltagebied optreden zijn echter aanzienlijk, veel groter dan op grond van de saliniteitsverdeling alleen is te verwachten. De Maasvlakte-2 verhindert het noordwaartse slibtransport, waardoor meer materiaal gevangen wordt in de restcirculatie in het Voordeltagebied. De veranderingen van de horizontale en verticale stromingen in combinatie met de verticale turbulentie en valsnelheid spelen hierbij een belangrijke rol. De precieze mechanismen die ten grondslag liggen aan de grote effecten van Maasvlakte-2 in de Zeeuwse Voordelta (zoals de versterkte slibcirculatie) zijn momenteel nog onvoldoende duidelijk en vereisen derhalve nader onderzoek. Ook de mechanismen die ten grondslag liggen aan het effect van Getemd Getij voor de Hollandse Kust zijn nog niet geheel duidelijk.

REFERENTIES: opdracht MMTE125

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING			
1	J.G. Boon/T. van Kessel	4-10-2001						
2	J.G. Boon/T. van Kessel	22-11-2001		J.C. Winterwerp				
				ok	T. Schilperoord			
PROJECTNUMMER:		Z3215						
TREFWOORDEN:		Maasvlakte 2, slibtransport, getemd getij, zwevende stof						
INHOUD:	TEKST	34	TABELLEN	10	FIGUREN	56	APPENDICES	2
STATUS:		<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF		

Inhoud

Samenvatting samenvatting-1
1 Inleiding 1-1
1.1 Aanleiding.....	1-1
1.2 Doelstelling van het onderzoek.....	1-2
1.3 Leeswijzer	1-2
1.4 Uitvoering	1-2
2 Aanpak van het onderzoek..... 2-1
3 Modelopzet 3-1
3.1 Modelschematisatie en hydrodynamica.....	3-1
3.2 Slibmodel (ONL-SED)	3-5
3.2.1 Ruimtelijke aggregatie	3-5
3.2.2 Slibemissies	3-7
3.2.3 Sediment parameter-instellingen	3-7
4 Resultaten van scenarioberekeningen..... 4-1
4.1 Reststromen en resttransporten.....	4-1
4.2 Saliniteit	4-6
4.3 Slibconcentraties.....	4-7
4.4 Slibluxen	4-10
5 Conclusies en aanbevelingen..... 5-1
6 Referenties 6-1

Lijst van Figuren

- A-1 : Geometrie en bathemetrie G01/G02
- A-2 : Geometrie en bathemetrie GAB
- A-3 : Geometrie en bathemetrie GAN

- B-1 : Rooster van ZUNO-fijn
- B-2 : Representatieve windreeks
- B-3 : Geaggreerde schematisatie van ZUNO-fijn

- C-1: Reststroming G01
- C-2: Reststroming G02
- C-3: Reststroming GAB
- C-4: Reststroming GAN
- C-5: Verschil reststroming G01–G02; a = oppervlakte; b = bodem;
c = dieptegemiddeld.
- C-6: Verschil reststroming GAB–G02; a = oppervlakte; b = bodem;
c = dieptegemiddeld.
- C-7: Verschil reststroming GAN–G02; a = oppervlakte; b = bodem;
c = dieptegemiddeld.
- C-8: Reststroming G01 aan oppervlak (detail Hollandse kust)
- C-9: Reststroming G01 aan op 3 m vanaf bodem (detail Hollandse kust)

- D-1: Resttransport aan oppervlak en bodem voor G01
- D-2: Resttransport aan oppervlak en bodem voor G02
- D-3: Resttransport aan oppervlak en bodem voor GAB
- D-4: Resttransport aan oppervlak en bodem voor GAN
- D-5: Resttransport aan debiet geïntegreerd over diepte voor G01/G02
- D-6: Resttransport aan debiet geïntegreerd over diepte voor GAN/GAB

- E-1: Saliniteit aan oppervlak, bodem en diepte-gemiddeld voor G01
- E-2: Saliniteit aan oppervlak, bodem en diepte-gemiddeld voor G02
- E-3: Saliniteit aan oppervlak, bodem en diepte-gemiddeld voor GAB
- E-4: Saliniteit aan oppervlak, bodem en diepte-gemiddeld voor GAN

- F-1: Saliniteit langs Goeree raai
- F-2: Saliniteit langs Ter Heide raai
- F-3: Saliniteit langs Noordwijk raai
- F-4: Saliniteit langs Callantsoog raai

- G-1: Sedimentverdeling voor G01
- G-2: Sedimentverdeling voor G02
- G-3: Sedimentverdeling voor GAB
- G-4: Sedimentverdeling voor GAN

- H-1: Absolute verschil in sedimentconcentratie tussen G02-G01
- H-2: Relatief verschil in sedimentconcentratie tussen G02-G01
- H-3: Absoluut verschil in sedimentconcentratie tussen G02-GAB
- H-4: Relatief verschil in sedimenconcentratie tussen G02-GAB
- H-5: Absoluut verschil in sedimentconcentratie tussen G02-GAN
- H-6: Relatief verschil in sedimentconcentratie tussen G02-GAN

- I-1: Slibflux aan oppervlak en bodem voor G01
- I-2: Slibflux aan oppervlak en bodem voor G02
- I-3: Slibflux aan oppervlak en bodem voor GAB
- I-4: Slibflux aan oppervlak en bodem voor GAN
- I-5: Slibflux geïntegreerd over diepte voor G01/G02
- I-6: Slibflux geïntegreerd over diepte voor GAN/GAB

- J-1: Slibflux door Ter Heide raai
- J-2: Slibflux door Noordwijk raai
- J-3: Slibflux door Callantsoog raai
- J-4: Slibflux door Egmond raai
- J-5: Slibflux door Marsdiep raai

- K-1: Slibconcentratie door Ter Heide raai
- K-2: Slibconcentratie door Noordwijk raai
- K-3: Slibconcentratie door Callantsoog raai
- K-3a: Relatieve slibconcentratie t.o.v. G02 door Callantsoog raai
- K-3b: Slibconcentratie als functie van tijd door Callantsoog raai
- K-4: Slibconcentratie door Egmond raai
- K-5: Slibconcentratie door Marsdiep raai

Samenvatting

Door middel van het Project Mainportontwikkeling Rotterdam (PMR) wil de Nederlandse regering de Mainport Rotterdam versterken door ruimte te creëren voor verschillende groeisectoren in de haven. Eén van de oplossingen die door PMR wordt onderzocht is een landaanwinning ten westen van de huidige Maasvlakte. Deze landaanwinning wordt Maasvlakte-2 genoemd.

PMR heeft een aantal contracten met WL | Delft Hydraulics afgesloten om de effecten te onderzoeken van een landaanwinning op de aanslibbing in de Rotterdamse haven en op het slibtransport langs de Nederlandse kust. In deze samenvatting worden de resultaten besproken van een tweede studie naar de invloed van een landaanwinning op het slibtransport langs de Nederlandse kust en naar de Waddenzee.

Op basis van een eerdere studie (Thoolen *et al.*, 2000) is al gebleken dat een Maasvlakte-2 een significante invloed heeft op de slibgehalten voor de Hollandse kust en op de slibtransporten naar de Waddenzee. De resultaten van deze studie, die gebaseerd zijn op berekeningen met het Zuidelijke Noordzee (ZNZ) model, bevatten echter nog een aantal onzekerheden.

Inmiddels is het meerjarig onderzoeksprogramma genaamd “Flyland, Onderzoeksprogramma Luchthaven in Zee” (ONL) van start gegaan. In dit onderzoeksprogramma is recentelijk een aanzienlijke inspanning gestoken in de verbetering van de afregeling van het ZNZ-model. In plaats van een gemiddeld getij met een constante windforcering is gewerkt met een dood/springtij cyclus met een representatieve windforcering. Dit heeft ertoe geleid dat op het gebied van de waterbeweging de overeenstemming tussen modelberekeningen en veldmetingen in het gehele modelgebied sterk is verbeterd (Roelvink *et al.*, 2001). Daarom heeft PMR besloten om enkele Maasvlakte-2 berekeningen opnieuw uit te laten voeren met dit nieuwe instrumentarium.

Berekeningen zijn uitgevoerd voor de volgende scenario's:

- huidige Maasvlakte met huidig spuisce­nario van Haringvlietsluizen,
- huidige Maasvlakte met Getemd Getij spuisce­nario,
- landaanwinning zonder eigen haveningang (referentievariant 1 van PMR) met Getemd Getij,
- landaanwinning met eigen haveningang (referentievariant 2 van PMR) met Getemd Getij.

Berekende effecten

De belangrijkste conclusies van deze nieuwe berekeningen zijn:

Callantsoog en Waddenzee

In het verbeterde model komen de slibconcentraties en -fluxen langs de Nederlandse kust redelijk goed overeen met metingen. Echter voor wat betreft de Waddenzee zijn in het model de netto slibfluxen door de zeegaten duidelijk te laag. Deze discrepantie wordt

vooral nog toegeschreven aan de verwaarlozing van golfinvloed in het model. Door de te lage slibfluxen kunnen concentratie-veranderingen op de Waddenzee niet direct worden afgelezen uit de modelresultaten. In plaats hiervan wordt ervan uitgegaan dat de veranderingen in (het westelijk deel van) de Waddenzee overeenkomen met de concentratie- en fluxverandering in een zone van 5 à 10 km voor kust van Callantsoog.

Ter plaatse van Callantsoog heeft Getemd Getij een groter effect dan de aanleg van Maasvlakte-2. De verandering in de slibflux voor de twee Maasvlakte-2 varianten is relatief gering in vergelijking met het spuiregime 'Getemd Getij' (respectievelijk een afname van 4% en 9%). Als gevolg van het spuiregime 'Getemd Getij' zou de slibimport echter met circa 20% toenemen. De aanleg van een Maasvlakte-2 heeft derhalve waarschijnlijk een gering effect op de uitwisseling tussen Noordzee en Waddenzee. Dit is in overeenstemming met het effect van de Maasvlakte-2 op de slibconcentraties in de Waddenzee (voor beide varianten wordt een concentratieverlaging van 2-5 mg/l aan de bodem berekend).

Hollandse kust ten noorden van de Maasvlakte

Door Getemd Getij neemt de slibconcentratie voor de Hollandse kust toe met 5 tot 10 mg/l (10 tot 25%). Dit wordt veroorzaakt door een toegenomen kustdwars transport. Deze toename treedt op ondanks het feit dat de saliniteitsgradiënten ten zuiden van IJmuiden/Egmond licht afnemen. Het kustlangse transport wordt nauwelijks beïnvloed.

Voor de Maasvlakte-2 varianten geldt dat de slibconcentratie voor de Hollandse kust afneemt in een 10 tot 15 km brede strook. Deze afname is het sterkst voor de kust van Delfland (lokaal 30 mg/l en 50%) en wordt geleidelijk minder in noordelijke richting (circa 2 mg/l en 7% bij Callantsoog). De concentratie-afname in de kustzone wordt veroorzaakt door het blokkerende effect van de landaanwinning op het noordelijke transport, in combinatie met een afname van de saliniteitsgradiënt loodrecht op de kust. Buiten de 15 km brede kuststrook treedt een concentratie-toename op van enkele mg/l.

Zeeuwse voordelta

Door Getemd Getij neemt de slibconcentratie in de Zeeuwse voordelta toe met 5 tot 10 mg/l. Ten opzichte van de hoge achtergrondconcentratie is dit minder dan 10%. Het effect van de Maasvlakte-2 varianten is veel sterker: een toename van 20 mg/l of meer wordt berekend. Dit is een relatieve toename met wel 50 tot 100%. Het gebied met deze sterke toename reikt tot voorbij de Belgische grens en beslaat ook de gehele Oosterschelde. Het sterke effect van Maasvlakte-2 hangt samen met het feit dat in de Voordelta, naast het netto noordgaande resttransport, ook een circulerend resttransport optreedt. Dit circulerende transport blijkt door Maasvlakte-2 aanzienlijk te worden versterkt. Dit effect is voor beide Maasvlakte-2 varianten ongeveer even sterk.

Het berekende effect in de Oosterschelde is minder betrouwbaar, omdat het modelrooster waarschijnlijk te grof is voor een goede reproductie van de slibuitwisseling door de Oosterscheldedekering.

Het sterke effect in de Zeeuwse voordelta is niet opgetreden in een eerdere studie (Thoolen *et al.*, 2000). Dit zou toegeschreven kunnen worden aan het feit dat in die studie nog niet is gerekend met een springtij-doodtij-cyclus en variabele windcondities.

Betrouwbaarheid

De oorzaken die ten grondslag liggen aan de bovengenoemde effecten, zoals de versterkte slibcirculatie in de Zeeuwse voordelta ten gevolge van de aanleg van een Maasvlakte-2 en het relatief grote noordwaartse effect van Getemd Getij, zijn momenteel nog onvoldoende duidelijk en vereisen nader onderzoek. Dit wordt mede veroorzaakt doordat tegelijkertijd vele niet-lineaire processen optreden die elkaar soms versterken en soms verzwakken. Het is daarom moeilijk om eenduidige oorzaken aan te wijzen.

In de huidige studie is een aantal processen verwaarloosd, waaronder:

- de invloed van golven, die de reststroming en de transporttijden langs de Hollandse kust en naar de Waddenzee kunnen beïnvloeden en daarnaast effect hebben op de waterbodem uitwisseling;
- de invloed van een over het getij variërend debiet door de Haringvlietssluis en door de Nieuwe Waterweg (er is nu alleen een constant rivierdebet opgelegd);
- de invloed van een over een langere tijd variërend rivierdebet (o.a. hoogwaterpieken);
- de invloed van een over een langere tijd variërende windcondities die van grote invloed kunnen zijn op het slibtransport.

Van elk van deze processen moet worden opgemerkt dat het effect hiervan niet op voorhand verwaarloosbaar is. Dat deze processen tot nu toe niet zijn meegenomen is vooral vanwege de toename van de complexiteit van de berekeningen. Tot nu toe zijn de belangrijkste processen geïmplementeerd. Toevoeging van nieuwe processen kan tot andere kwantitatieve resultaten leiden, maar er wordt geen sterk effect meer verwacht op de kwalitatieve resultaten in de Hollandse kustzone.

Het toegepaste variabele windveld is statistisch gezien representatief voor een heel jaar. Desondanks is het mogelijk dat de hierbij optredende resttransporten en looptijden niet volledig representatief zijn voor een gemiddeld jaar. Dit kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt doordat in de toegepaste 14-daagse windcyclus verschillende windcondities elkaar sneller opvolgen dan in werkelijkheid.

Een laatste kanttekening ten aanzien van de betrouwbaarheid van de resultaten is dat de noordwaarts gerichte reststroming langs de Hollandse kust in het model mogelijk wordt onderschat (ondanks de afregeling in ONL kader). Dit wordt met name geconcludeerd uit vergelijking met meetresultaten bij Noordwijk. Het reststroompatroon in de Zeeuwse voordelta kan door het ontbreken van veldmetingen helaas niet worden getoetst. Uitgaande van een onderschatting van de noordwaartse reststroming langs de gehele Nederlandse kust, is het mogelijk dat de effecten op de slibhuishouding in de huidige studie zijn overschat ten zuiden van de Maasvlakte en onderschat ten noorden van de Maasvlakte.

I Inleiding

I.1 Aanleiding

Om het ruimtetekort in mainport Rotterdam op te lossen, is in juli 1997 door het kabinet het startsignaal gegeven voor een procedure waarin verschillende oplossingsalternatieven dienen te worden onderzocht. Vanuit het Project Mainportontwikkeling Rotterdam (PMR) zijn inmiddels PKB+/MER procedures ingezet voor de oplossingen ‘landaanwinningen’ en ‘intensiever gebruik van het bestaande Rotterdamse gebied’. Om de overheid hierover van deskundig advies te voorzien, is het Expertise Centrum (EC-PMR) opgericht.

Eén van de onderwerpen van studie is de invloed van een landaanwinning Maasvlakte-2 op het transport van slib en aanslibbing. Locale effecten, dat wil zeggen in of in de directe nabijheid van het Rotterdamse havengebied, zijn gerapporteerd door De Kok (1999) en Van Kessel en Merckelbach (2000a, 2000b). Grootschalige effecten van een de Maasvlakte-2 op de slibgehalten voor de Hollandse kust en het slibtransport naar de Waddenzee zijn in opdracht van EC-PMR onderzocht door Thoolen *et al.* (2000). Op basis van de laatstgenoemde studie is gebleken dat een Maasvlakte-2, alsmede het ‘Getemd Getij’ spuibeheer van de Haringvlietsluizen, een significante invloed heeft op de slibgehalten voor de Hollandse kust en op de slibtransporten naar de Waddenzee.

Op een aantal punten heeft deze studie echter onduidelijke en onverklaarbare resultaten opgeleverd. Zo is het effect van de Maasvlakte-2 variant GAN groter dan die van variant GAB, terwijl de eerstgenoemde minder ver in zeewaartse richting is uitgebouwd. Bovendien laten de twee toegepaste modellen, het Zuidelijke Noordzee (ZNZ) model en het Waddenzee (WZ) model, soms tegenstrijdige resultaten zien op het punt van slibconcentratieverdeling en reststroom-patronen. Deze lijken te worden veroorzaakt door een onvoldoende nauwkeurigheid van het ZNZ-model in het Waddenzeegebied, onder andere op het punt van geulschematisatie, bodemruwheid en tijdstap.

Dit heeft ertoe geleid dat voor EC-PMR deze modelresultaten onvoldoende bruikbaar zijn voor de benodigde MER-rapportage.

Inmiddels is in 2000 het meerjarig onderzoeksprogramma genaamd “Flyland, Onderzoeksprogramma Luchthaven in Zee” van start gegaan. (in het vervolg van deze rapportage ONL genoemd). Binnen het ONL project richt het thema ‘Mariene Ecologie en Morfologie’ zich op :

- het aangeven van effecten (op korte en lange termijn) van de aanleg van een luchthaveneiland en de daaraan gerelateerde zandwinning voor het kust- en zeesysteem (zowel voor het ecosysteem als de morfologie);
- het aangeven van mogelijkheden tot minimaliseren van effecten en het verbeteren van de toestand van kust en zee door aanbevelingen voor situering en vormgeving van het eiland.

In dit onderzoeksprogramma is inmiddels een aanzienlijke inspanning gestoken in de verbetering van de afregeling van het ZNZ-model. In plaats van een gemiddeld getij met een constante windforcering is gewerkt met een dood/springtij cyclus met een representatieve windforcering. Dit heeft ertoe geleid dat op het gebied van de waterbeweging de overeenstemming tussen modelberekeningen en veldmetingen in het hele modelgebied sterk is verbeterd (Roelvink *et al.*, 2001). Daarom is besloten om enkele Maasvlakte-2 berekeningen opnieuw uit te voeren met dit nieuwe instrumentarium.

Voor het in ONL kader ontwikkelde instrumentarium geldt dat een deel van de onzekerheden met betrekking tot modellering van de slibhuishouding in de Noordzee is weggenomen. Echter, met name wat betreft de effecten van Maasvlakte-2 op slibconcentraties in de Voordelta zijn er nog vraagpunten. Dit heeft ook gevolgen voor de slibfluxen naar het noorden en de Waddenzee.

Het definitieve antwoord op de vraag naar de gevolgen van Maasvlakte-2 op de slibhuishouding is, gegeven de huidige stand van techniek, op dit moment nog niet te geven. Het gebruik van het in ONL kader ontwikkelde instrumentarium geeft echter wel een breder gedragen wetenschappelijke basis waarin een deel van de nu nog bestaande onzekerheden zijn weggenomen.

Het onderzoek is uitgevoerd zoals besproken tijdens het overleg tussen medewerkers van het Expertisecentrum en WL | Delft Hydraulics van 6 juli 2001 en conform de offerteaanvraag dd. 10 juli 2001.

1.2 Doelstelling van het onderzoek

Het doel van deze studie wordt als volgt omschreven:

Kwantificeren van de effecten van de aanleg van een tweede Maasvlakte op de saliniteit en slibverspreiding in de Hollandse kustzone en de Waddenzee.

Om de effecten van de aanleg van de tweede Maasvlakte op de saliniteit en slibverspreiding te onderzoeken, is gebruikt gemaakt van het instrumentarium zoals dat in het ONL project is opgesteld.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt allereerst een beknopte omschrijving gegeven van de methode van aanpak van het onderzoek. In hoofdstuk 3 volgt een beschrijving van de modelopzet. In hoofdstuk 4 worden de modelresultaten van de scenario-berekeningen besproken. Tenslotte volgen in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen.

I.4 Uitvoering

Het project is van WL| DELFT HYDRAULICS zijde uitgevoerd door J.G. Boon (projectleider), P. Thoolen, J. van Beek en T. van Kessel in de maanden augustus en september 2001. Van de zijde van de opdrachtgever, het EC-PMR, zijn T. Blokland en B. Hoogeboom de projectbegeleiders.

2 Aanpak van het onderzoek

Om de effecten van de aanleg van de Maasvlakte-2 varianten op de saliniteit en slibverspreiding te kwantificeren, wordt gebruikt gemaakt van de in het vorige Maasvlakte project gedefinieerde scenario's (Thoolen *et al.*, 2000). Deze scenario's omvatten twee Maasvlakte-2 varianten en twee varianten voor het spuiregime van het Haringvliet.

De scenario's zijn als volgt samengesteld:

- huidige Maasvlakte met huidige spuiregime van het Haringvliet 'LPH 84' (G01);
- huidige Maasvlakte met getemd getij spuiregime van het Haringvliet (referentie: G02);
- Maasvlakte-2 variant met eigen haveningang en getemd getij (GAB = referentievariant 2 van PMR);
- Maasvlakte-2 variant zonder eigen haveningang en met getemd getij (GAN = referentievariant 1 van PMR).

In de Figuren A-1, A-2 en A-3 staat de geometrie van de huidige Maasvlakte en van de twee Maasvlakte-2 varianten GAB en GAN weergegeven. In de GAB-variant, waarin tevens de Noorderdam is verlengd, steekt de tweede Maasvlakte het verste uit in zee.

Voor elk scenario is de waterbeweging berekend met het ONL-Flow model op het zogenaamde ZUNO-fijn rooster voor een volledige springtij/doodtij cyclus. De bijbehorende slibpatronen zijn vervolgens berekend met het ONL-Sed model conform de ONL-methodiek (zie hoofdstuk 3). De gevolgen van de veranderende stromingen en slibpatronen ten opzichte van de referentiesituatie zijn vervolgens gekwantificeerd door het absolute en relatieve verschil met de referentie-berekening (G02) te bepalen.

Voor een consistente vergelijking is voor alle scenario's de benodigde modelinvoer identiek verondersteld, met uitzondering van de geometrie en de debietverdeling tussen de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet. Voor de modelopzet, randvoorwaarden, windforcering en emissies worden de gegevens uit het ONL-project gebruikt. In de huidige studie is geen verdere calibratie van het model uitgevoerd.

3 Modelopzet

In dit hoofdstuk wordt de modelopzet en rekenmethodiek beschreven zoals die in deze studie is toegepast.

3.1 Modelschematisatie en hydrodynamica

Ten behoeve van het berekenen van de waterbeweging en de slibverspreiding in de Nederlandse kustwateren is het ZUNO-model ontwikkeld. Het model strekt zich uit vanaf de raai Cherbourg-Portsmouth tot aan de raai tussen Schotland en Denemarken. Het ZUNO modelrooster bestaat uit een kromlijinig coördinatenstelsel met de hierop gediscretiseerde waarden voor bodemligging en ruwheden. Om de reketijden enigszins acceptabel te houden, is in ONL kader het fijne ZUNO rooster 2×2 in de horizontaal vergrofd voor de berekening van de diverse eiland-scenario's.

In Figuur B-1 staat het ZUNO-fijn modelrooster weergegeven. Het hydrodynamische rekenrooster bevat 308×130 roosterpunten en bevat 10 sigma-lagen in de verticaal met ruim 16.000 actieve rekenpunten in het horizontale vlak. In Tabel 3.1 staan de specificaties van de modelschematisatie samengevat.

Tabel 3.1 : Specificatie van het ZUNO-fijn model.

	ZUNO-fijn	SED
Horizontale dimensies	130 × 308	
Verticale verdeling	laag 1: 4%	laag 1 = 1+2:
	laag 2: 5.9%	9.9%
	laag 3: 8.7%	laag 2 = 3+4+5:
	laag 4: 12.7%	40.1%
	laag 5: 18.7%	
	laag 6: 18.7%	laag 3 = 6+7+8:
	laag 7: 12.7%	40.1%
	laag 8: 8.7%	
	laag 9: 5.9%	laag 4 = 9+10:
	laag 10: 4%	9.9%
Rekenelementen (per laag)	16.016	ca. 12.000

Voor de rivieren zijn de volgende constante langjarig gemiddelde zoetwaterdebieten gehanteerd (Tabel 3.2). Bij de Maasmond en de Haringvlietssluzen is sprake van een continue en constante zoetwaterlozing. Het in- en uitgaand getijdebiet is verwaarloosd.

In de hydrodynamische opzet voor de scenario's G02, GAN en GAB is rekening gehouden met de toekomstige beleidsplannen om de Haringvliet-sluzen permanent open te laten staan ten behoeve van het herstel van de natuurlijke dynamiek in het Haringvliet. Er is hierbij uitgegaan van het 'Getemd Getij' lozingsprogramma waarbij het zoetwaterdebiet via de Haringvlietssluzen 1034 m³/s bedraagt en via de Nieuwe Waterweg 1166 m³/s. De overige zoetwaterdebieten zijn voor alle scenario's identiek verondersteld.

Tabel 3.2 : Langjarig gemiddelde zoetwaterdebieten van de rivieren *

Rivier	Zoetwaterdebiet (m ³ /s)
Westerschelde	130
Oosterschelde	13
Haringvliet	660
Nieuwe Waterweg	1540
IJmuiden	80
Kornwerderzand	250
Den Oever	200
Ems	125
Weser	326
Elbe	726
Humber	246
Thames	82
Tyne	41
Tees	21
Forth	63
Wash	48
Solent	15
Seine	461

* waarden uit Thoolen *et al.*, 2000 en Boon *et al.*, 1997.

De calibratie en verificatie van de waterbeweging van het ZUNO-fijn model is in ONL kader uitvoerig beschreven in diverse deelrapporten (Roelvink *et al.*, 2001a en 2001b). De getijbeweging uit zich voor de Hollandse kust als een lopende golf, waarbij de waterstand en stroomsnelheid echter niet volledig in fase zijn. De vertikaal gemiddelde maximale vloedsnelheid is ongeveer 0.7 m/s naar het noorden en de ebsnelheid ongeveer 0.5 m/s naar het zuiden. Parameters die gehanteerd zijn om de modellen te verifiëren zijn: de astronomische componenten (amplitude en fase) van de waterstanden in een groot aantal stations, de stroomsnelheden in een aantal raaien voor de Hollandse kust, en de debieten door het Marsdiep. De toegepaste modellen zijn goed in staat deze parameters te voorspellen, met een foutenmarge van de hoofdcomponenten van minder dan 10%. Daarnaast is gekeken naar de transporten door het Kanaal, de reistijd vanaf het Kanaal naar de Hollandse kust en de debieten door het Marsdiep. De in de literatuur gangbare waarden worden gereproduceerd.

Windaandrijving

Gevoeligheidsanalyse in het ONL-onderzoek heeft aangetoond dat de stoftransporten zeer gevoelig zijn voor de opgelegde windcondities en de variatie hierin. Een constante wind leidt tot zeer afgetekende patronen die erg gevoelig zijn voor verstoringen, zoals een Maasvlakte-2. Er is in ONL-kader dan ook uitgebreide aandacht besteed aan het opstellen van een windaandrijving met de juiste gemiddelde schuifspanning en ook de correcte variatie daarin. De conclusie is dat een simulatieduur van minstens een jaar nodig is om de juiste variatie in alle patronen weer te geven. Voor het weergeven van de gemiddelde patronen kon volstaan worden met een simulatieduur voor de waterbeweging van circa twee weken (doodtij-springtij cyclus). Voor deze periode is een representatieve windreeks toegepast. Op basis van het gemiddelde van en de variatie in windschuifspanningen in een

30-jarige windtijdreeks, is een periode van 16 dagen geselecteerd waarin dit gemiddelde en deze variatie goed konden worden gereproduceerd. Het geschematiseerde windveld is in Figuur B-2 weergegeven.

De 'kustrivier' is de zoete uitstroming van de Rijn die als een variabele pluim gemiddeld in noordwaartse richting langs de kust stroomt. De residuele (over het getij gemiddelde) stroming in dit gebied wordt bepaald door wind, Coriolis-effecten en dichtheidsverschillen, die door de variatie in wind en afvoer beide sterk variëren. De dichtheidsverschillen hebben een effect op de verticale turbulentiestructuur, waarbij soms gelaagdheid optreedt. Dit beïnvloedt dan weer de windgedreven stromingen. Daarnaast leiden horizontale gradiënten in dichtheid tot circulatiepatronen, waarbij de onderstroom naar de kust gericht is. Deze stroming heeft een zeer belangrijk invloed op het transport van onder andere slib en vislarven.

Aan de hand van metingen in een aantal raaien, is uitgebreid naar de weergave van de gemiddelde reststroming en van de variatie daarin gekeken. In het algemeen konden deze goed worden weergegeven, met uitzondering van situaties met harde wind uit noordelijke richtingen. In dat geval werden reststromingen overschat door het model. Als gevolg hiervan was het berekende netto Kanaaldebiet veel te laag en waren de transporttijden te lang in vergelijking met literatuurgegevens. Dit wordt vermoedelijk vooral veroorzaakt doordat het model een te sterke zuidwaartse reststroming bij noordelijke wind berekent in vergelijking met veldwaarnemingen. In het model worden de effecten van golven op het stromingsregime en de water-bodemuitwisseling niet meegenomen. Waarschijnlijk is de verklaring voor deze afwijking dat bij noordelijke wind hoge golven optreden (vanwege lange strijklengtes), waarvan de invloed op het verticale snelheidsprofiel in het model niet wordt meegenomen.

Om deze effecten te omzeilen, zijn de eerste 2 dagen van de 16-daagse windreeks met sterke noordelijke winden (zie Figuur B-2) niet meegenomen. Nadat het model is ingespeeld, worden met een uurlijks interval de hydrodynamische gegevens voor een volledige springtij-doodtij cyclus opgeslagen ten behoeve van de slibberekeningen. Voor de slibverspreidingsberekeningen wordt lineair geïnterpoleerd tussen de op uurbasis beschikbare hydrodynamische gegevens, afgezien van de verticale diffusie waarvan de minimale waarde wordt geselecteerd over het uurlijkse tijdsinterval.

Aannames

In de hydrodynamische berekeningen is een aantal processen verwaarloosd, te weten:

- de invloed van golven, die uitwisseling van slib tussen water en bodem, de reststroming, en de transporttijden langs de Hollandse kust en naar de Waddenzee kunnen beïnvloeden;
- golfgedreven stroming direct langs de kust;
- de invloed van een over het getij variërend debiet door de Haringvlietsluizen en door de Nieuwe Waterweg (er is nu alleen een constant rivierdebiet opgelegd, dus komberging is verwaarloosd);
- de invloed van een over een langere tijd variërend rivierdebiet (o.a. hoogwaterpieken).

Alhoewel deze processen zeker invloed zullen hebben op de grootte van de berekende effecten, wordt niet verwacht dat ze de kwalitatieve resultaten sterk beïnvloeden. Hiernaar zal in ONL-kader echter nader onderzoek worden verricht.

Kanttekeningen bij calibratie hydrodynamisch model

In ONL-kader is veel aandacht besteed aan calibratie en validatie van het hydrodynamische model (Roelvink *et al.*, 2001a en 2001b). Metingen en berekeningen van reststroming en saliniteitsverdeling vertonen een goede overeenstemming. Voor de validatie is het model aangestuurd met reële wind- en getijforcering. Hiernaast wordt in WL | Delft Hydraulics / MARE (2001e) een studie gerapporteerd naar loop- en verblijftijden op de Noordzee en langs de Nederlandse kust van diverse waterbronnen, zoals het Kanaal, de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet. De modelresultaten zijn in overeenstemming met de huidige inzichten op dit punt.

Voor de huidige berekeningen is echter gebruik gemaakt van een geschematiseerde windaandrijving, dat wil zeggen een 14-daagse periode met variabele wind die statistisch gezien representatief is voor een heel jaar (zie bovenstaande). Mogelijkerwijs resulteert deze representatieve windaandrijving in reststroomgroottes en looptijden die niet volledig representatief zijn voor een gemiddeld jaar. Dit zou veroorzaakt kunnen worden doordat de modelrespons op winden uit een bepaalde richting te sterk of te zwak is.

De volgende kanttekeningen zijn te plaatsen.

- De noordwaarts gerichte reststroming langs de Hollandse kust wordt mogelijk enigszins onderschat. Het ontbreken van golfinvloed zou hieraan mede debet kunnen zijn. De berekende dieptegemiddelde looptijd bedraagt circa 2 maanden. De reststroomsnelheid 20 km uit de kust nabij het oppervlak bedraagt circa 4 cm/s noordwaarts ter hoogte van Noordwijk (zie de Figuren C-8 en C-9, hetgeen in overeenstemming is met veldwaarnemingen (De Ruiter *et al.*, 1991). Ter hoogte van Den Helder bedraagt de reststroomsnelheid tenminste het dubbele. De looptijd langs de Hollandse kust in de oppervlaktelaag wordt op basis hiervan geschat op circa 4 weken.
- De saliniteit in de Zeeuwse voordelta is lokaal aan de lage kant ten opzichte van langjarige HISTOS veldmetingen (Van der Giessen en Kollé, 1989), maar valt ruim binnen de gemeten boven- en benedengrenzen (zie Tabel 3.3).

In ONL-kader zal verder worden onderzocht in hoeverre reststromingen en looptijden op basis van de geconstrueerde 14-daagse ‘representatieve’ windreeks afwijken van langjarige gemiddelden.

Tabel 3.3: Gemeten en berekende saliniteit (in g/l) op een drietal locaties in de Zeeuwse voordelta; bron: Van der Giessen en Kollé (1989). Station OS-10 ligt in de Oosterscheldemonding in de Roompot, dicht onder de kust van Walcheren. Station OS-15 ligt enkele km ten westen van OS-10. Station Raan ligt bij de vlakte van Raan in de voordelta van de Westerschelde.

jaar	station	min	max	gem.
1978	OS-10	30.7	33.9	32.3
1981	OS-10	28.5	34.7	31.6
1982	OS-10	29.8	33.4	31.6
gem.	OS-10	29.7	34.0	31.8
berekend	OS-10			31.5
1984	OS-15	30.7	34.3	32.5
1985	OS-15	30.0	33.6	31.8
1987	OS-15	29.8	34.3	32.0
gem.	OS-15	30.1	34.1	32.1
berekend	OS-15			31.5
1983	Raan	31.2	35.2	33.2
1984	Raan	31.8	35.4	33.6
1985	Raan	30.3	34.7	32.5
1987	Raan	31.6	35.2	33.4
gem.	Raan	31.2	35.1	33.2
berekend	Raan			>32.0

3.2 Slibmodel (ONL-SED)

Teneinde de waterbewegingsgegevens geschikt te maken als invoer voor de ONL-SED toepassing, zijn de gegevens uit het ONL-FLOW model vertaald naar grootheden geschikt voor het SED model. Het betreft hier informatie die van belang is voor het transport, zoals stroomsnelheden (in 3 dimensies), waterstanden, volumes, verticale diffusies en bodemschuifspanningen.

De resultaten van deze koppeling van het hydrodynamische databestand worden in het SED model elke 14 dagen herhaald om een langere simulatieperiode door te kunnen rekenen. Bij deze methodiek is het van belang dat de waterstanden aan het begin en aan het eind van de te herhalen periode zo goed mogelijk bij elkaar aansluiten (cyclisch) om fouten in de massabalans en daarmee in de concentratie te voorkomen. De sluitfout over een doortij-/springtijcyclus, die een maat is voor het volumebehoud in het model, bedraagt minder dan een paar procent. De consequentie van het gebruik van een 14-daagse periode is dat effecten van variabele condities, zoals wind en rivierdebieten die op een langere tijdsschaal optreden, niet in de waterbeweging worden meegenomen.

3.2.1 Ruimtelijke aggregatie

Horizontaal

Gelet op de grote hoeveelheid rekenelementen in het fijnmazige ZUNO-fijn rooster, bedraagt de rekentijd van het ONL-SED model ongeveer een week om tot dynamisch evenwicht te komen. Het is evident dat een dergelijk rooster qua rekentijd en gegevensopslag onhanteerbaar is voor het uitvoeren van de simulaties. Vanuit praktische

overwegingen is het daarom noodzakelijk om het rekenrooster en de onderliggende hydrodynamica ruimtelijk te aggregeren. Bij het aggregeren worden cellen uit het ZUNO-fijn rooster samengevoegd tot grotere cellen. De eigenschappen van de samengenomen rekencellen volgen uit de eigenschappen van de onderliggende rekencellen. Voor de berekeningen levert dit een grote winst op in de rekentijd gekoppeld aan een relatief gering verlies aan nauwkeurigheid.

De verwachting is dat de effecten van een uitbreiding van de Maasvlakte zich beperken tot de Nederlandse kustzone. Effecten verder op zee zijn niet te verwachten. Daarom is een aggregatie gehanteerd waarin de 35 km brede kustzone vanaf de Belgische tot aan de Duitse kust niet is samengenomen. Verder uit de kust, waar de gradiënten gewoonlijk kleiner zijn, worden de rekelementen op regelmatige wijze samengenomen met verschillende stapgroottes (Tabel 3.4).

Tabel 3.4: Horizontale roosteraggregatie in verschillende deelgebieden (long-shore × cross-shore)

Deelgebied	Aggregatie niveau
Kustzone 0-35 km	geen (i.e. 1×1)
Continentale kustzone 35-70 km	3×1
Zuidelijke Noordzee	3×2
Noordelijke Noordzee	4×2

De aggregatie-exercitie heeft uiteindelijk geleid tot een rekenrooster zoals afgebeeld in Figuur B-3. Het totaal aantal actieve rekelementen in het horizontale vlak is hierbij gereduceerd van ruim 16.000 tot circa 12.000.

Tenslotte is gecontroleerd of door de uitgevoerde aggregatie van de rekelementen de stoftransportpatronen voor de Nederlandse kust niet essentieel veranderen. Hiertoe zijn twee modelexperimenten uitgevoerd met een conservatieve tracer vanuit de Nieuwe Waterweg met en zonder aggregatie. Hieruit is gebleken dat de uitgevoerde aggregatie nauwelijks invloed heeft op het stofverspreidingspatroon voor de Nederlandse kust (WL | Delft Hydraulics MARE, 2001a). De zogenaamde ‘East Anglia pluim’ wordt hierdoor echter wel beïnvloed.

Verticaal

Naast de horizontale aggregatie is verticale aggregatie toegepast. De originele 10-lagen verdeling is hierbij getransformeerd tot een 4-lagen systeem met een verdeling van 10%, 40%, 40% and 10% van de waterkolom van oppervlak naar bodem (zie Tabel 3.1). In het kader van het speurwerkprogramma “grootschalig 3D-slibtransport” zijn diverse simulaties uitgevoerd met betrekking tot de verticale aggregatie (Boon *et al.*, 2001). Hierbij is geconstateerd dat het 4-lagen model vergelijkbare resultaten produceert als het niet-geaggregeerde 10-lagen model.

3.2.2 Slibemissies

De gehanteerde slibemissies staan vermeld in Tabel 3.5.

Tabel 3.5: Langjarig gemiddelde rivierdebieten en slibvrachten

	Debiet m³/s	Vracht g/s	Vracht kton/yr	Conc. mg/l
Rivieren				
Westerschelde	130	2473	78	19.0
Haringvliet	660	3900	123	5.9
Nieuwe Waterweg	1540	21404	675	13.9
Kornwerderzand	200	5708	180	28.5
Den Oever	250	6976	220	27.9
Ems	125	2695	85	21.6
Weser	326	12842	405	39.4
Elbe	726	26319	831	36.3
Humber	246	4122	130	16.8
Thames	82	2473	78	30.2
Tyne	41	1585	50	38.7
Tees	21	920	29	43.8
Forth	63	3076	97	48.8
Wash	48	4122	130	85.9
Seine	461	14587	460	31.6
Totaal rivier			3572	
Kusterosie				
Holderness		82440	2602	
Norfolk		95312	3008	
Suffolk		101476	3202	
Channel		63420	2001	
Total coastal			10813	
Bed-erosie				
Vlaamse Banken		63420	2001	
Total input			16386	
Randvoorwaarden				
Atlantic				2
Dover Strait				5–12

3.2.3 Sediment parameter-instellingen

In het Partheniades-Krone concept speelt de bodemschuifspanning een essentiële rol in de bepaling of er sedimentatie of erosie plaatsvindt. De bodemschuifspanning wordt hierbij bepaald door stroming en windgedreven golven. Sedimentatie treedt op indien de bodemschuifspanning lager is dan een kritische waarde. Anderzijds kan erosie optreden indien de schuifspanning groter wordt dan een (andere) kritische waarde. Aangezien de getijsnelheden proportioneel zijn met de schuifspanning, is het de verwachting dat netto

sedimentatie optreedt in diepe gebieden met lage snelheden aan de bodem en tijdelijke sedimentatie in gebieden met gematigde snelheden. Ondiepe gebieden kunnen daarentegen ook weer een bron van sediment zijn indien tijdens stormcondities het eerder gesedimeteerde materiaal weer wordt opgewerveld.

De effecten van stormcondities en verhoogde bodemschuifspanningen door golven worden niet in het model meegenomen.

In het ONL onderzoek zijn diverse gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd naar de optimale parameterinstelling voor slib (WL | Delft Hydraulics MARE, 2001a en 2001b). Hieruit is gebleken dat met de onderstaande parameterinstelling de berekende slibconcentraties redelijk tot goed in overeenstemming waren met de langjarige slibmetingen uit het DONAR bestand. De lage waarden voor de kritische schuifspanningen voor erosie en sedimentatie compenseren ten dele het verwaarlozen van golfeffecten.

Kritische schuifspanning voor sedimentatie	: 0.1 Pa
Kritische schuifspanning voor erosie	: 0.1 Pa
Valsnelheid	: 0.25 mm/s
Erosiesnelheid	: $10 \text{ kg/m}^2\text{d} \approx 0.1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{s}$.

4 Resultaten van scenarioberekeningen

Door de aanleg van de Maasvlakte-2 zal het stromingspatroon voor de Hollandse kust veranderen. Tevens is de verwachting dat slibgehalten ten gevolge van het gewijzigde stromingsregime veranderen. De resultaten van de scenario's op de waterbeweging en het slibtransport worden in dit hoofdstuk beschreven in termen van:

- restsnelheden en resttransporten;
- saliniteit;
- slibconcentraties;
- slibfluxen.

Telkens wordt eerst het effect van 'Getemd Getij' (G02) besproken ten opzichte van de huidige situatie (G01), vervolgens het effect van de Maasvlakte-2 varianten (GAB en GAN) ten opzichte van de referentieberekening 'Getemd Getij' (G02).

4.1 Reststromen en resttransporten

De berekende reststromen (over 14-daagse doortij/springtij-periode) voor de vier scenario's staan ruimtelijk weergegeven in de Figuren C-1 tot en met C-4. De verschillen in reststroming tussen de diverse scenario's en referentiescenario G02 worden weergegeven in de Figuren C-5 tot en met C-8. In elke figuur staan de reststromen aan het oppervlak (zwart), aan de bodem (rood) en dieptegemiddeld weergegeven. Typische waarden voor de restsnelheden in de omgeving van de Maasmond zijn circa 10 cm/s aan het oppervlak en 5 cm/s aan de bodem. Aan de bodem is de reststroming kustwaarts gericht, terwijl aan het oppervlak de reststroming langs de Hollandse kust ten noorden van de Maasmond naar het noorden is gericht. In de Voordelta is de reststroming aan het oppervlak echter van de kust af gericht. Om de resttransporten overzichtelijk weer te kunnen geven, zijn in de Figuren D-1 t/m D-4 de restdebieten over verschillende deelgebieden gepresenteerd. De over de diepte geïntegreerde restdebieten zijn weergegeven in Figuur D-5 en D-6.

Huidige situatie (G01) versus referentie-situatie 'Getemd Getij' (G02)

Als gevolg van de verandering in de debietverdeling tussen de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet is een verandering in de circulatiepatronen te verwachten. De debietverdeling tussen Haringvliet en Nieuwe Waterweg staat weergegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 : Gehanteerde debietverdeling tussen de Nieuwe Waterweg en Haringvliet voor G01 en G02

	G01 (m ³ /s)	G02 (m ³ /s)
Nieuwe Waterweg	1540	1034
Haringvliet	660	1166
Totaal	2200	2200

Het langjarige debiet van de Nieuwe Waterweg is in het Getemd Getij scenario (G02) gereduceerd van 70% tot 47% van de totale zoetwateraanvoer. De Haringvliet-afvoer is hierbij toegenomen van 30% naar ruim 50%.

Uit Figuur C-5 en de vergelijking tussen de Figuren C-1 en C-2 valt te constateren dat de noordwaarts gerichte reststromen aan het oppervlak nabij de Maasmond voor de G02 iets zijn afgenomen. Daarnaast is de restcirculatie tussen de Maasmond en Scheveningen minder geprononceerd aanwezig in de referentiesituatie (G02).

Om een beter inzicht te krijgen in de veranderingen van de resttransporten zijn in de Figuren D-1 en D-2 de netto restdebieten over verschillende deelgebieden aan het oppervlak en aan de bodem weergegeven. In Figuur D-5 staan de diepte-geïntegreerde restdebieten gepresenteerd. De waterbalans over de verschillende deelgebieden moet uit oogpunt van massabehoud exact kloppend zijn. Door numerieke afrondingen en doordat de gehanteerde spring/doodtij waterbeweging niet precies sluitend is, zijn er kleine afwijkingen in de waterbalans aanwezig van maximaal 1%. Deze kleine afwijkingen in de waterbalans hebben geen gevolgen voor de verdere berekeningsresultaten.

In de Tabellen 4.2 en 4.4 staan de restdebieten weergegeven door de verschillende raaien loodrecht op de Hollandse kust aan het oppervlak en aan de bodem voor de scenario's G01 en G02.

Tabel 4.2: Restdebieten door raaien loodrecht op kust
(in m3/s, + is noord, – is zuid). Raailengte 60 km.

Raai	km uit de kust	G01 opper	G02 opper	G01 bodem	G02 bodem	G01 totaal	G02 Totaal
Appelzak (nabij grens met België)	0-20	1989	1982	1120	1114	15418	15331
	20-60	5967	6062	2661	2656	37632	37445
	Totaal	7956	8004	3781	3770	53050	52776
Goeree	0-5	156	155	73	72	960	913
	5-20	1815	2027	184	178	4420	3957
	20-60	5106	4884	1715	1751	27411	27779
	Totaal	7077	7066	1972	2001	32791	32649
Noordwijk	0-5	451	437	105	98	2400	2298
	5-20	1408	1168	118	138	5690	5030
	20-60	5605	5845	315	403	19749	20467
	Totaal	7464	7450	538	639	27839	27795
Den Helder	0-5	-627	-612	215	197	-771	-786
	5-20	2296	2495	531	515	10776	11115
	20-60	6700	6876	2135	2157	38486	38230
	Totaal	8369	8759	2884	2869	48491	48559

Uit Tabel 4.2 kunnen we constateren dat het totale resttransport door de raaien loodrecht uit de kust over een afstand van 60 km niet wezenlijk verschillend is voor G01 en G02. Met

andere woorden, het resttransport parallel aan de Nederlandse kust verandert niet wezenlijk door de gewijzigde debietverdeling tussen Haringvliet en Nieuwe Waterweg.

Uit nadere analyse van de Figuren D-1 en D-2 zijn echter wel opmerkelijke verschillen waar te nemen in de restdebieten dwars op de kust. Zo is in scenario G02 een toename te zien van de restdebieten aan de oppervlakte *van de kust af* in het Voordeltagebied, dat omspannen wordt door de Appelzak- en Goeree-raaien loodrecht op de kust. Aan de bodem is juist een toename van het resttransport *naar de kust toe* in dit deelgebied waar te nemen.

De waterbeweging wordt bepaald door het getij, windgedreven stroming, Coriolis-effecten en zoet-zout gedreven dichtheidsstromen. Aangezien de wind- en getijgedreven stroming voor beide scenario's identiek is, moeten veranderingen ten gevolge van Getemd Getij vooral worden toegeschreven aan een verandering van de dichtheidsstromen en de verticale turbulentiestructuur nabij de Maasmond en het Haringvliet.

Door de toename van het zoetwaterdebiet in het Haringvliet (G02), zullen de horizontale saliniteitsgradiënten in de Haringvliet voordelta toenemen, waardoor de gravitatiecirculatie eveneens toeneemt. Dit betekent dat in de Haringvliet voordelta in principe zowel de *naar de kust toe* gerichte stroming aan de bodem als de *van de kust af* gerichte stroming aan het oppervlak toeneemt. Echter, door het toegenomen spuidebiet is de reststroming sterker westwaarts gericht, zelfs aan de bodem.

In het gebied tussen Hoek van Holland en IJmuiden treedt het tegenovergestelde verschijnsel op (zie figuur C-5b). De afname van het debiet van de Nieuwe Waterweg (G02) in combinatie met de verdunning van het zoete water uit het Haringvliet zorgt ervoor dat het kustwaarts gerichte transport aan de bodem afneemt. Deze afname treedt met name op tussen 10 en 20 km vanaf de kust. Aangezien het transport in langsrichting niet wezenlijk verandert, zal uit oogpunt van volumebehoud het dwarstransport aan het oppervlak voor G02 ook afnemen.

Voor de Noordhollandse kust, die omspannen wordt door de IJmuiden- en Den Helder-raaien, treedt bij G02 een toename van de bodemgerichte reststroming op. Dit komt omdat ten noorden van IJmuiden/Egmond de saliniteitsgradiënt loodrecht op de kust toeneemt. Rondom de Waddenzee zijn er geen significante verschillen meer waarneembaar in het resttransport tussen de huidige situatie G01 en de referentie-situatie G02.

Samengevat kunnen we concluderen dat het effect van een verschuiving in de debietverdeling tussen de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet het kustlangsgericht netto resttransport nauwelijks beïnvloedt. Ten gevolge van de veranderende saliniteitsgradiënten zal de dichtheidsgedreven stroming echter wel veranderen, hetgeen een grote invloed heeft op het netto dwarstransport richting de kust. Deze veranderingen blijken in grote mate bepalend te zijn voor de berekende veranderingen in de slibpatronen.

Maasvlakte-2 varianten GAN en GAB versus referentie-situatie G02

In de Figuren C-3 en C-4 staan de reststromen voor de twee Maasvlakte-2 varianten GAB en GAN weergegeven. De verschillen in reststroming GAB-G02 en GAN-G02 staan respectievelijk in de Figuren C-6 en C-7 weergegeven. De resttransporten aan het oppervlak

en aan de bodem over de verschillende deelgebieden staan grafisch weergegeven in de Figuren D-3 en D-4. In Tabel 4.3 en 4.4 staan de restddebieten over verschillende raaien voor het GAN- en GAB-scenario gepresenteerd.

Tabel 4.3: Restdebieten door raaien loodrecht op kust voor G02, GAB en GAN-variant (in m³/s, + is noord, - is zuid)

Raai	km uit de kust	G02 opper	GAB opper	GAN opper	G02 bodem	GAB bodem	GAN bodem
Appelzak	0–20	1982	1973	1980	1114	1103	1112
	20–60	6062	6162	6079	2656	2647	2654
	Totaal	8004	8135	8059	3770	3750	3766
Goeree	0–5	155	110	141	72	34	53
	5–20	2027	2134	1904	178	129	245
	20–60	4884	5319	5634	1751	2081	1813
	Totaal	7066	7563	7679	2001	2244	2111
Noordwijk	0–5	437	432	465	98	118	104
	5–20	1168	1082	1075	138	245	207
	20–60	5845	4903	5852	403	803	408
	Totaal	7450	6417	7392	639	1166	719
Den Helder	0–5	–612	–661	–630	197	228	216
	5–20	2495	2539	2422	515	519	537
	20–60	6876	6869	7092	2157	2215	2192
	Totaal	8759	8747	8884	2869	2962	2945

Het effect van een Maasvlakte-2 (zowel GAN als GAB) op de restsnelheden is het meest waarneembaar aan het oppervlak. De Maasvlakte-2 blijkt het noordwaarts gerichte transport te hinderen en de zoetwaterpluim te verbreden. Hierdoor veranderen behalve de saliniteitsgradiënten dwars op de kust ook de langsgradiënten. Voor de kust van Goeree en de Grevelingen is bij GAB en GAN de restsnelheid sterker zuidwaarts gericht in vergelijking met G02. Dit doet zich voor zowel in de oppervlakte- en bodemlaag als gemiddeld over de diepte.

Uit Tabel 4.3 en 4.4 kunnen we constateren dat voor GAB de restdebieten aan het oppervlak door de Noordwijk-raai aanzienlijk afnemen en aan de bodem juist toenemen (14% afname aan het oppervlak en 82% toename aan de bodem). Dit wordt veroorzaakt door de verbreding van de zoetwaterpluim door de Maasvlakte-2 en de hierdoor veranderende dichtheidsstromen. Dit fenomeen doet zich in veel minder sterke mate voor in de GAN-variant, die minder ver uitsteekt in zee en waarin de Noorderdam niet is verlengd. Hierdoor is de afbuiging van de zoetwaterpluim kleiner (zie Figuur A-2 en A-3).

Tabel 4.4: Restdebieten door raaien loodrecht op kust voor G01, G02, GAB en GAN (in m³/s, + is noord, - is zuid)

g01	laag 1	laag 2	laag 3	laag 4	totaal
TH(59.1km)	1.06E+04	1.79E+04	7.65E+01	-9.50E+01	2.84E+04
NW(61.6km)	7.46E+03	1.58E+04	4.00E+03	5.38E+02	2.78E+04
EG(58.7km)	7.78E+03	1.78E+04	6.72E+03	1.09E+03	3.33E+04
CL(55.3km)	7.29E+03	2.09E+04	1.30E+04	2.34E+03	4.35E+04
MARSD.	-9.26E+02	-1.48E+03	1.87E+03	5.26E+02	-9.58E+00
EIERL.	-1.27E+01	-8.00E+01	-8.32E+01	-1.38E+01	-1.90E+02
VLIES.	-4.18E+01	1.43E+00	1.84E+02	3.91E+01	1.83E+02
AMELA.	-5.88E+00	8.82E+01	1.48E+02	1.96E+01	2.50E+02
FRIES.	-2.65E+01	-4.83E+01	-2.04E+01	-5.81E+00	-1.01E+02

g02	laag 1	laag 2	laag 3	laag 4	totaal
TH(59.1km)	1.07E+04	1.75E+04	3.76E+02	6.37E+01	2.87E+04
NW(61.6km)	7.45E+03	1.56E+04	4.11E+03	6.39E+02	2.78E+04
EG(58.7km)	7.72E+03	1.82E+04	6.61E+03	9.30E+02	3.34E+04
CL(55.3km)	7.51E+03	2.07E+04	1.31E+04	2.40E+03	4.37E+04
MARSD.	-9.11E+02	-1.46E+03	1.83E+03	5.14E+02	-2.62E+01
EIERL.	-1.22E+01	-7.82E+01	-8.16E+01	-1.36E+01	-1.86E+02
VLIES.	-2.90E+01	2.67E+01	1.69E+02	3.39E+01	2.00E+02
AMELA.	-7.36E+00	8.46E+01	1.48E+02	1.97E+01	2.45E+02
FRIES.	-2.64E+01	-4.78E+01	-1.96E+01	-5.65E+00	-9.95E+01

gab	laag 1	laag 2	laag 3	laag 4	totaal
TH(59.1km)	9.07E+03	1.73E+04	2.46E+03	3.31E+02	2.92E+04
NW(61.6km)	6.42E+03	1.41E+04	6.15E+03	1.17E+03	2.78E+04
EG(58.7km)	7.83E+03	1.82E+04	7.00E+03	1.00E+03	3.40E+04
CL(55.3km)	7.08E+03	2.04E+04	1.36E+04	2.51E+03	4.36E+04
MARSD.	-9.51E+02	-1.52E+03	1.90E+03	5.38E+02	-3.45E+01
EIERL.	-1.26E+01	-7.94E+01	-8.24E+01	-1.37E+01	-1.88E+02
VLIES.	-4.56E+01	1.19E+00	2.07E+02	4.51E+01	2.08E+02
AMELA.	-7.69E+00	8.36E+01	1.48E+02	1.97E+01	2.43E+02
FRIES.	-2.69E+01	-4.97E+01	-2.13E+01	-5.96E+00	-1.04E+02

gan	laag 1	laag 2	laag 3	laag 4	totaal
TH(59.1km)	9.72E+03	1.64E+04	1.88E+03	4.51E+02	2.84E+04
NW(61.6km)	7.39E+03	1.53E+04	4.26E+03	7.19E+02	2.76E+04
EG(58.7km)	8.67E+03	1.93E+04	5.91E+03	7.39E+02	3.46E+04
CL(55.3km)	7.73E+03	2.09E+04	1.34E+04	2.48E+03	4.45E+04
MARSD.	-9.40E+02	-1.51E+03	1.89E+03	5.34E+02	-2.07E+01
EIERL.	-1.25E+01	-7.93E+01	-8.26E+01	-1.37E+01	-1.88E+02
VLIES.	-3.80E+01	1.16E+01	1.86E+02	3.91E+01	1.99E+02
AMELA.	-8.62E+00	8.17E+01	1.48E+02	2.00E+01	2.42E+02
FRIES.	-2.69E+01	-4.99E+01	-2.15E+01	-6.04E+00	-1.04E+02

4.2 Saliniteit

In de Figuren E-1 t/m E4 staan de over de springtij-doodtij gemiddelde saliniteitsverdeling voor de 4 scenario's aan het oppervlak, aan de bodem en dieptegemiddeld weergegeven. In de figuren is eveneens het absolute verschil met de referentiesituatie (G02) dieptegemiddeld weergegeven.

Huidige situatie (G01) versus referentie-situatie 'Getemd Getij' (G02)

In Figuur E-1 is het verschil tussen G01 en G02 weergegeven. Zoals verwacht neemt in de referentiesituatie (G02) ten zuiden van de Maasvlakte het zoutgehalte af met 0.25–1 ppt door de veranderde debietverdeling ten opzichte van G01. Ten noorden van de Maasvlakte neemt het zoutgehalte juist toe met circa 0.25–0.5 ppt, omdat de grotere afvoer van zoet water via de Haringvlietsluizen meer menging veroorzaakt tussen zoet en zout water. De toename van de saliniteit voor de Hollandse kust treedt op tot Egmond. Ten noorden hiervan is langs de kust tot aan het Marsdiep sprake van enige afname van de saliniteit. In de Waddenzee zijn geen verschillen meer in het zoutgehalte waar te nemen.

Maasvlakte-2 varianten GAN en GAB versus referentie-situatie G02

Ten gevolge van de aanleg van de Maasvlakte-2 (variant GAB of GAN) treedt opstuwung op van zoet water afkomstig van het Haringvliet. Het zoete water uit de Haringvliet wordt hierdoor verder uit de kust geduwd. Bij GAB vindt ten gevolg van de verlenging van de Noorderdam ook de uitstroming van zoet water vanuit de Nieuwe Waterweg verder uit de kust plaats. Door deze effecten wordt de zoetwaterpluim ten noorden van de Maasvlakte breder, waardoor er meer verdunning met zout zeewater optreedt. Hierdoor is een toename van de saliniteit voor de kust van Delfland te verwachten. Daarnaast wordt bij GAN tijdens eb het zuidwaarts transport vanuit de Nieuwe Waterweg gehinderd door de uitbreiding van de Maasvlakte. Het effect hiervan op de saliniteit is minder goed voorspelbaar. Door het opstuwende effect van Maasvlakte-2 op het zoete water vanuit de Haringvlietmond, wordt ten zuiden van de Maasvlakte een afname van de saliniteit verwacht.

Uit Figuur E-3 blijkt dat de saliniteit voor de GAB-variant ten zuiden en ten westen van de Maasvlakte afneemt met enkele ppt en ten noorden van de Maasvlakte toeneemt met circa 1ppt (conform de verwachtingen). Bij variant GAN, zonder de verlenging van de Noorderdam, is echter geen verzouting voor de Hollandse kust waarneembaar. Mogelijk blijft bij GAN de uitstroompluim van de Nieuwe Waterweg dicht tegen de kust aan zitten dan bij G02. Het is mogelijk dat de schematisatie van de waterbeweging door de Maasmond (namelijk een constant zoetwaterdebiet in plaats van een heen- en weergaand getijdebiet) een onnauwkeurigheid veroorzaakt in de saliniteitsverdeling voor de Zuid-Hollandse kust.

Opvallend is de verhoging van de saliniteit voor de kust van Goeree bij GAN ten opzichte van GAB. Het uitstroompunt van zoet water uit de Nieuwe Waterweg wordt bepaald door de positie van de kop van de Noorderdam. Vanaf deze kop moet bij GAN een deel van het zoete water tijdens eb een grotere afstand afleggen in de richting van Goeree dan bij GAB.

Er zal daarom meer opmenging plaatsvinden, hetgeen een verklaring kan zijn voor de hogere saliniteit bij GAN.

Direct ten westen van de Maasvlakte is er duidelijk sprake van een verzoeting van een paar ppt in vergelijking met de G02 -variant. Het obstakel Maasvlakte-2 buigt het zoete water vanuit het Haringvliet blijkbaar af van de kust.

De totale vracht aan zoet water vanuit de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet is voor beide modelberekeningen identiek (2200 m³/s). Vanuit het oogpunt van massabehoud is het dan ook te verwachten dat er zich ergens voor de kust een omslagzone bevindt waarbuiten het water zoeter zal zijn dan in de G02-situatie. In de Figuren F-1 t/m F-4 is de saliniteit langs een aantal raaien gepresenteerd. Uit deze figuren blijkt dat het omslagpunt voor variant GAB ligt tussen de 10 en 20 km uit de Hollandse kust (10 km bij Ter Heide en 20 km bij Noordwijk). Aangezien de hoeveelheid zout in de waterkolom evenredig is met de waterdiepte, is de verzoeting in het diepere offshore-gebied veel kleiner dan de optredende near-shore verzouting (uitgedrukt in aantal ppt's).

Samengevat kunnen we constateren dat het effect van een Maasvlakte-2 op de saliniteit bepaald wordt door een combinatie van aspecten. In Tabel 4.5 is deze oorzaak-gevolg relatie kwalitatief weergegeven.

Tabel 4.5: Oorzaak/gevolg van de aanleg Maasvlakte-2 op de saliniteit rondom Maasvlakte 2

	Ten zuiden van MV2	Ten westen van MV2	Ten noorden van MV2
Verlenging Noorderdam	zoeter	zoeter	zouter
Afbuiging/blokkade zoet water uit Haringvliet	zoeter	zoeter	zouter
Afbuiging/blokkade zoet water uit NWW	zouter	zoeter	zoeter

De daadwerkelijke optredende verandering van het saliniteitspatroon hangt af van de onderlinge relatieve effecten. Op grond van deze tabel kunnen we constateren dat ten westen van de Maasvlakte-2 altijd een verzoeting plaatsvindt. Dit is in overeenstemming met de verschilfiguren E-4 en E-5. Op basis van deze figuren en Tabel 4.5 lijkt de verlenging van de Noorderpier maatgevend te zijn voor de verzouting ten noorden van de Maasvlakte.

4.3 Slibconcentraties

Het slibtransport voor de Zuidhollandse kust wordt gekenmerkt door een sterk kustwaarts gedreven slibtransport nabij de bodem en door de grootschalige noordoostelijk gerichte reststroming. Het kustwaartse transport wordt veroorzaakt door dichtheidsgedreven bodemstroming. De restwervel tussen Hoek van Holland en Scheveningen houdt veel materiaal achter waarvan ieder getij een gedeelte naar de Maasmond en de Nieuwe Waterweg wordt getransporteerd, alwaar het sedimenteert.

Als gevolg van de Maasvlakte-2 zal het stromingsregime zich wijzigen, waardoor een verandering in het sedimentatiepatroon optreedt. Eerdere berekeningen hadden als resultaat dat door de verlenging van de Noorderdam de aanslibbing in de Maasmond bij variant GAB sterk toeneemt met een factor 2.3 à 5.5 onder gemiddelde condities (zie De Kok 1999 en Kessel 2001a,b). Dit is een toename met 3 à 13 miljoen ton/jaar.

In de onderhavige modelberekeningen is echter verondersteld dat al het slib dat in de Maasmond sedimenteert, na baggeren teruggestort wordt in zee, waardoor de toename van de sedimentatie in de Maasmond uiteindelijk weinig invloed zal hebben op de slibconcentraties in de kustzone. Wel kan de fasering van slibtransport over de seizoenen hierdoor beïnvloed worden, doordat baggeractiviteiten op discrete momenten plaatsvinden. Ook heeft het baggeren en storten tot gevolg dat slib vanuit de kustnabije zone wordt verplaatst naar grotere afstand uit de kust (namelijk naar de stortlocatie). Verder blijft een deel van het gestorte slib in de bodem van de stortlocatie ‘gevangen’, zodat dit deel permanent aan het kustlangse transport wordt onttrokken. Deze effecten van het sedimenteren en baggeren van slib in de Maasmond zijn dus buiten beschouwing gelaten in de modelberekeningen.

Tevens is verondersteld dat het sediment dat bezinkt ten noorden van de Maasvlakte en in de Haringvlietmond tijdens stormcondities weer in suspensie zal worden gebracht. Op grond hiervan is in de scenarioberekeningen de sedimentatie in het Maasmondgebied en in de Haringvlietmond kunstmatig uitgezet door lokaal een zeer lage kritische waarde voor sedimentatie te hanteren.

In de Figuren G-1 t/m G-4 staan de over de springtij-doodtijcyclus gemiddelde slibconcentraties ruimtelijk weergegeven voor oppervlak, bodem en dieptegemiddeld. In de Figuren H1 t/m H-6 staan de absolute en relatieve verschillen met de referentiesituatie (G02) weergegeven. In de Figuren K-1 t/m K-6 staan tenslotte de slibconcentraties langs verschillende raaien weergegeven. Relatieve concentratieveranderingen in de Callantsoograai ten opzichte van referentie G02 worden getoond in Figuur K-3a.

Om behalve van de ruimtelijke variabiliteit ook een indruk te geven van de temporele variabiliteit, worden in Figuur K-3b slibconcentraties weergegeven in de Callantsoograai gedurende een hele springtij/doodtij-cyclus.

Huidige situatie (G01) versus referentie-situatie ‘Getemd Getij’ (G02)

In vergelijking met de huidige situatie is in de referentiesituatie (G02) rondom de Maasvlakte een afname van circa 10–20 mg/l waarneembaar met een toename voor de Zeeuwse en Hollandse kust van circa 5–10 mg/l (Figuur H-1). Deze toename komt overeen met minder dan 10% voor de Zeeuwse kust en 25 tot 50% voor de Hollandse kust. In de Haringvlietmond is de berekende toename minder dan 5 mg/l, waarschijnlijk ten gevolge van het verdunnende effect van het voor G02 verhoogde zoetwaterdebiet door de sluisen. Het effect voor de Zeeuwse kust kan worden verklaard door de toename van het kustwaarts gerichte bodemtransport (zie figuur I-1 en I-2) als gevolg van de gewijzigde dichtheidsverschillen. Deze toename kan maar in beperkte mate worden verklaard door veranderingen in de reststroomsnelheid nabij de bodem (zie figuur D-1, D-2 en C-5b). De verhoogde slibconcentratie draagt ook bij aan de verhoogde kustwaartse slibflux nabij de

bodem. Deze kan mogelijk mede veroorzaakt zijn door de verminderde noordwaartse reststroming nabij de bodem in de Voordelta voor G02, waardoor meer slib in de Voordelta blijft hangen.

Voor de toename van de slibconcentratie voor de Hollandse kust is ten zuiden van IJmuiden/Egmond geen eenduidige verklaring beschikbaar. Immers in dit kustvak is op een afstand > 10 km uit de kust sprake van een afname van de saliniteitsgradiënt loodrecht op de kust. Ook nemen de kustwaartse bodemreststroming en het kustwaartse bodemtransport af. Men zou daarom een afname van de slibconcentratie voor de kust verwachten, die echter alleen ten zuiden van Scheveningen daadwerkelijk optreedt.

Ten noorden van IJmuiden/Egmond treedt wel een toename op van de kustwaartse reststroming en slibflux nabij de bodem, waardoor het hier wel ‘verklaarbaar’ is dat de slibconcentratie in de kustzone toeneemt bij G02 (Fig. D-1 en D-2; I-1 en I-2).

Voor de afname van de slibconcentratie in een vrij groot gebied rond de Maasvlakte is geen eenvoudige verklaring te geven.

Maasvlakte-2 varianten GAN en GAB versus referentie-situatie G02

De effecten van de Maasvlakte-2 varianten (GAB en GAN) staan in Figuren H-3 t/m H-6. Grote effecten zijn waarneembaar in de Voordelta: toename met 20 mg/l of meer, hetgeen overeenkomt met een relatieve toename van 50–100%. Het gebied met deze sterke toename reikt tot voorbij de Belgische grens en beslaat ook de gehele Oosterschelde en in mindere mate de Westerschelde. Door de aanleg van een Maasvlakte-2 wordt het transport vanuit het zuiden richting het noorden gehinderd en afgebogen. De zuidwaartse component van de reststroming voor de kust van Goeree wordt versterkt. Opvallend is dat de concentratietoename in de Zeeuwse voordelta voor de varianten GAB en GAN ongeveer even sterk is, terwijl de saliniteitsveranderingen ten opzichte van G02 zich voor GAB over een groter gebied uitstrekken dan GAN. Opvallend is ook dat het gebied waarin een sterke concentratietoename is berekend zowel bij GAB als bij GAN veel groter is dan het gebied waarin een verandering van het tijdsgemiddelde reststroombeeld wordt waargenomen.

Ten aanzien van de berekende verandering van de slibconcentratie in de Oosterschelde moet worden opgemerkt dat deze niet betrouwbaar is. Het model is namelijk niet gevalideerd op de uitwisseling door de mond van de Oosterschelde en het rekenrooster is waarschijnlijk te grof om de water- en slibuitwisseling door de Haringvlietmond goed te beschrijven. Het Neeltje Jans eiland midden in de monding van de Oosterschelde is bijvoorbeeld niet opgenomen in de het rooster. Uit een separaat uitgevoerde vergelijking tussen de met het model berekende slibconcentraties en in situ gemeten slibconcentraties, is gebleken dat de gemeten slibconcentraties bij de ingang van de Oosterschelde een veel sterkere oostwaartse afname vertonen dan de berekende concentraties (Kessel, 2001c). Dit wijst erop dat nog geen betrouwbare conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van concentratieveranderingen in de Oosterschelde.

Voor de Zuid-Hollandse kust ten noorden van Hoek van Holland neemt de concentratie bij GAB en GAN met gemiddeld 10–20 mg/l af in een 10 km brede zone (25 à 50% afname). Buiten deze zone is een gebied waar te nemen waar de concentraties stijgen met ongeveer 50–100% (zie Figuur H-4). Dit omslagpunt ligt ter hoogte van Ter Heijde zo’n 10 km uit de

kust voor de GAB-variant en 15 km uit de kust voor de GAN-variant (zie Figuur K-1). Dus bij GAN is de breedte van het invloedsgebied groter, maar de invloed dichtbij de kust is kleiner. Opmerkelijk is dat bij GAN de saliniteitsverandering voor de Hollandse kust er heel anders uitziet dan bij GAB, terwijl de verandering van de slibconcentraties voor de kust toch veel overeenkomst vertoont. Voor de kust van Callantsoog vertoont het slibgehalte bij GAB en GAN een afname van resp. 6 % en 8%.

De resultaten zijn consistent met die uit het ONL onderzoek, waarin hetzelfde model is gebruikt maar met gebruik van een grover rooster en met de huidige debietverdeling (G01) tussen het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg (WL | Delft Hydraulics/MARE, 2001c en d). De resultaten van beide studies zijn vergelijkbaar, maar bij de huidige studie zijn de effecten in zuidwaartse richting sterker en in noordwaartse richting zwakker dan bij het ONL-onderzoek. Dit verschil kan samenhangen met het verschil in debietverdeling tussen Haringvliet en Nieuwe Waterweg.

In de vorige Maasvlakte studie (Thoolen *et al.*, 2000) waren als gevolg van een Maasvlakte 2 echter geen grote verschillen in de slibconcentraties in het Voordeltagebied geconstateerd. Een belangrijk verschil is dat in de vorige studie gewerkt is met een cyclisch getij met constante windaandrijving, terwijl in ONL een volledige springtij-doodtij cyclus is toegepast en een variabele wind. Dit veroorzaakt grote verschillen in stroomsnelheden en verticale menging. Variaties in de horizontale en verticale concentratieverdeling zijn derhalve veel groter dan in het geval van een enkelvoudig getij en constante wind. Een indruk van dergelijke variaties over de springtij-doodtij cyclus kan worden verkregen op basis van Figuur K-3b.

Samengevat constateren wij dat de effecten van een Maasvlakte-2 op de slibconcentratieverdeling significant zijn en consistent met het ONL onderzoek. De veranderingen in concentraties zijn groter dan op het eerste gezicht op grond van verschillen in de saliniteit en restdebiet is te verwachten. Zeer opmerkelijk is de hoge concentratietoename in het Voordeltagebied als gevolg van een Maasvlakte-2. De veranderingen in de horizontale en verticale menging spelen een bepalende rol in de wijze waarop slib zich gedraagt. Met de uitgevoerde berekeningen zijn de achterliggende mechanismen en oorzakelijke verbanden echter onvoldoende te doorgronden en vereisen derhalve nader onderzoek.

4.4 Slibluxen

Om tot een beter inzicht te komen naar de effecten van de Maasvlakte, zijn in de Figuren I-1 t/m I-6 de slibfluxen over de verschillende deelgebieden voor de vier scenario's weergegeven.

Uit de figuren is duidelijk een circulatie van slibfluxen waar te nemen in het Voordeltagebied, zowel aan het oppervlak als aan de bodem. Op 5 en 20 km vanaf de kust treedt er bij de bodem een kustwaartse flux op, terwijl bij het oppervlak de flux van de kust af is gericht. Ter hoogte van Appelzak is tussen 0 en 20 km een noordwaarts gericht slibtransport, terwijl tussen 20 en 60 km het transport zuidwaarts is gericht. Ook in de Goeree-raai treedt binnen 20 km vanaf de kust een horizontale circulatie van slib op. Een

vergelijking met de figuren met de restdebietverdeling (Figuren D-1 t/m D-6) geeft een noordwaarts netto debiet langs de gehele Appenzak- en Goeree-raai.

Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door de concentratieverdeling gedurende de springtij/doodtij cyclus. Tijdens maximale stroomsnelheden (lees maximale verticale menging) zal het slib goed over de diepte gemengd zijn. Tijdens kentering daarentegen is de verticale menging minimaal waardoor verticale concentratiegradiënten toenemen en eventueel tijdelijke sedimentatie kan optreden. Door de verschillen in de concentratieverdeling tussen afgaand en opkomend tij kan het netto slibtransport zuidwaarts zijn gericht terwijl het restdebiet noordwaarts is gericht.

Tabel 4.6: *Slibfluxen in kton per jaar door de verschillende raaien*
 (+ noordwaarts, - zuidwaarts)

Raai	km uit de kust	G01 (opp)	G01 (bodem)	G02 (opp)	G02 (bodem)	GAB (opp)	GAB (bodem)	GAN (opp)	GAN (bodem)
Appenzak	0-20	+1565	+1159	+1615	+1219	+2035	+1598	+1900	+1486
	20-60	-109	-466	-150	-517	-509	-802	-419	-707
	<i>totaal</i>	<i>+1456</i>	<i>693</i>	<i>+1465</i>	<i>+702</i>	<i>+1526</i>	<i>+796</i>	<i>+1481</i>	<i>+779</i>
Goeree	0-5	+458	+759	+435	+723	+342	+255	+768	+852
	5-20	+344	-466	+444	-452	+787	-483	+617	-808
	20-60	+1029	+19	+1106	-8	+1121	+34	+1231	-136
	<i>totaal</i>	<i>+1831</i>	<i>+312</i>	<i>+1985</i>	<i>263</i>	<i>+2250</i>	<i>-194</i>	<i>+2616</i>	<i>-92</i>
Noordwijk	0-5	+292	+59	+351	+60	+162	+42	+195	+40
	5-20	+287	-18	+314	-17	+262	+47	+207	+25
	20-60	+460	-32	+418	-16	+349	+133	+353	+24
	<i>totaal</i>	<i>+1039</i>	<i>+9</i>	<i>+1083</i>	<i>+27</i>	<i>+773</i>	<i>+222</i>	<i>+755</i>	<i>+89</i>
Den Helder	0-5	-323	+140	-350	+145	-352	+164	-333	+161
	5-20	+315	+240	+391	+275	+389	+288	+364	+265
	20-60	+695	+390	+670	+401	+686	+410	+683	+392
	<i>totaal</i>	<i>+687</i>	<i>+770</i>	<i>+711</i>	<i>+821</i>	<i>+723</i>	<i>+862</i>	<i>+714</i>	<i>+818</i>

In Tabel 4.6 staan voor de raaien de slibfluxen gepresenteerd. Uit deze tabel valt te constateren dat de circulatie van slibfluxen in de beide Maasvlakte-2 varianten sterk toenemen. Door de aanleg van Maasvlakte-2 wordt het noordwaartse slibtransport sterk gehinderd, hetgeen tot een aanmerkelijke verhoging leidt van de slibconcentratie ten zuiden van de Maasvlakte-2.

In de Figuren J-1 t/m J-4 staan de slibfluxen door de raaien weergegeven per strekkende kilometer. Tot aan circa 10 km uit de Nederlandse kust zijn de slibfluxen van G02 het grootst en voor de GAB-variant het laagst. Dit is consistent met de concentratieverdeling van de scenario's.

De cumulatieve slibflux (in kton/jaar) door de verschillende raaien en Waddenzeegaten staan weergegeven in Tabel 4.7. Voor zowel de GAB als GAN-variant is een sterke afname in de slibflux door de Ter Heide en Noordwijk-raai ten opzichte van de referentie situatie (G02) waar te nemen.

Tabel 4.7 : Totale, diepte-geïntegreerde slibfluxen door raaien en Waddenzee gaten
(kton/jaar)

	G01	G02	GAB	GAN
Ter Heijde raai	4225	4537	3821	3160
Noordwijk raai	4223	4591	3982	3456
Egmond raai	4678	5241	5397	5025
Callandsoog raai	6485	7144	7373	7065
Marsdiep	-98	-45	-17	-14
Eierlandse gat	-141	-127	-108	-111
Vliestroom	53	103	152	111
Amelandse gat	135	130	137	122
Friesche zeegat	-62	-64	-55	-60
totale flux door Waddenzee gaten	-113	-3	109	48

Op basis van de TESO-metingen wordt een grote netto slibimport door het Marsdiep verondersteld. De berekende diepte-geïntegreerde slibflux door het Marsdiep is echter exporterend voor alle scenario's. Dit wordt veroorzaakt door de geringe verticale concentratiegradiënt van slib ter plaatse van het Marsdiep, waardoor de importerende slibflux nabij de bodem te gering is in vergelijking met de exporterende oppervlaktelaag. Daarnaast is de gehanteerde resolutie en de schuifspanningsformulering in combinatie met het ontbreken van golfmodellering, het model onvoldoende in staat om het sedimentatie- en erosie-gedrag in een hoog-dynamisch gebied als de Waddenzee nauwkeurig te beschrijven (met name plaat-geul interacties). Hierdoor wordt het ruimtelijk en temporeel gedrag van slib en de uitwisseling met de Noordzee niet goed weergegeven (WL | Delft Hydraulics/MARE, 2001a). Dit blijkt ook uit de totale slibflux door alle zeegaten van de Waddenzee, die volgens tabel exporterend is voor G01. Door het uitbreiden van het slibmodel met meer meerdere slibfracties en een goede beschrijving van de plaat-geul interacties in combinatie met actuele meteorologische forcering kan waarschijnlijk een aanzienlijke verbetering in de beschrijving van de uitwisseling tussen Noordzee en Waddenzee worden verkregen.

Omdat de netto slibflux door de zeegaten van de Waddenzee niet goed wordt gereproduceerd door het model, zijn de slibconcentraties die binnen de Waddenzee zijn berekend onbetrouwbaar. Er mogen daarom op grond van de figuren in dit rapport geen directe conclusies worden getrokken ten aanzien van slibconcentraties op de Waddenzee.

Om ondanks deze onbetrouwbaarheid toch uitspraken te kunnen doen over effecten op de Waddenzee, is in ONL kader in overleg met het programmabureau Flyland besloten om op dit moment de slibflux door de 10 km brede Callantsoog raai als representatieve maat te beschouwen voor de Noordzee-Waddenzee uitwisseling. Het effect van Maasvlakte-2 op de slibflux bij Callantsoog is echter afhankelijk van de breedte van de kustzone die wordt gekozen. Dit komt doordat Maasvlakte-2 tot 7 km vanuit de kust een toename van de slibconcentratie veroorzaakt en op grotere afstand een afname van de slibconcentratie (zie figuur K-3a). Het effect van Getemd Getij is minder gevoelig voor de keuze van de breedte van de kustzone.

In Tabel 4.8 is de slibflux door de 10 km brede Callantsoog raai weergegeven, en tevens de verandering van de slibconcentratie dicht bij de kustlijn van Callantsoog. Uit deze tabel kunnen we constateren dat de procentuele verandering in de slibflux en de slibconcentratie als gevolg van de twee Maasvlakte-2 varianten relatief gering is (een afname tussen 4% en 9%). Het spuiregime ‘Getemd Getij’ zou de slibflux en de slibconcentratie echter met circa 20% doen toenemen. De aanleg van een Maasvlakte-2 heeft derhalve waarschijnlijk een gering effect op de uitwisseling tussen Noordzee en Waddenzee.

Het is overigens onverklaard waarom Getemd Getij bij Callantsoog (en volgens de ONL-afpraak dus ook op de Waddenzee) een groter effect op de slibconcentraties heeft dan de Maasvlakte-2 varianten. Op grond van de verandering van de saliniteitsverdeling voor de Hollandse kust zou men dit grotere effect niet verwachten.

Tabel 4.8 : *Slibflux door 10 km brede Callantsoog-raai loodrecht op de kust en
slibconcentratie binnen 3 km vanaf de kustlijn van Callantsoog (zie ook Fig. K-3a)*

Scenario	Slibflux (Mton/jaar)	Fluxverschil met G02	Concentratieverschil met G02
G01	1.88	−21%	−18%
G02	2.37		
GAB	2.26	−4%	−6%
GAN	2.16	−9%	−8%

In Tabel 4.9 worden de effecten van Getemd Getij en de Maasvlakte-2 varianten samengevat. Hierbij wordt opgemerkt dat in de tabel het *gemiddelde* effect over 16 à 20 km lange raaien wordt gepresenteerd. Het effect in een deel van de raai (bijv. dicht bij de kust) kan sterk afwijken van het gemiddelde effect. De gemiddelde concentratie voor variant GAB ter hoogte van de raai Goeree geeft een vertekend beeld. De beperkte toename van de slibconcentratie is de som van een afname vlak onder de kust en een sterke toename verder uit de kust. Elders in de Zeeuwse voordelta is de concentratietoename vergelijkbaar met die voor variant GAN.

Tabel 4.9: *Dieptegemiddelde slibconcentraties (in mg/l) en fluxen (in Megaton/jaar) voor de raaien
Callantsoog, Noordwijk en Goeree; raailengte respectievelijk 19.7, 20.3 en 15.6 km.*

Raai	G01		G02		GAB		GAN	
	conc.	flux	conc.	flux	conc.	flux	conc.	flux
Callantsoog	5.3	2.86	6.2	3.60	6.6	3.72	6.1	3.45
Noordwijk	11.4	2.74	14.1	3.13	9.1	2.26	8.8	2.04
Goeree	65.7	1.28	64.7	1.16	72.0	0.97	119.2	0.06
	<i>Relatief t.o.v. G02</i>				<i>(G02= 1)</i>			
Callantsoog	0.85	0.79			1.06	1.03	0.98	0.96
Noordwijk	0.81	0.88			0.65	0.72	0.62	0.65
Goeree	1.02	1.10			1.11	0.84	1.84	0.05

Samengevat kunnen we constateren dat de effecten van een Maasvlakte-2 op de slibhuishouding voor de Zeeuwse en Hollandse kust significant zijn. De effecten op de Waddenzee zijn naar verhouding klein. Met name de effecten in het Voordeltagebied zijn

erg groot, veel groter dan op grond van de saliniteitsverdeling alleen is te verwachten. Een Maasvlakte-2 versterkt de restcirculatie in het Voordeltagebied, waardoor meer slib gevangen wordt en het noordwaartse transport vermindert. Complexe horizontale en verticale verdelingen spelen hierbij een belangrijke rol. De precieze mechanismen en oorzakelijke verbanden zijn momenteel nog onvoldoende duidelijk. De resultaten zijn echter consistent met die uit het ONL-kader.

5 Conclusies en aanbevelingen

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen uit dit onderzoek zijn hieronder samengevat. Eerst worden de effecten van het Getemd Getij (simulatie G02) besproken ten opzichte van de huidige situatie (G01), vervolgens de effecten van de Maasvlakte-2 varianten GAB en GAN ten opzichte van simulatie G02. Telkens worden eerst de veranderingen van de reststroming bediscussieerd, vervolgens die van de saliniteitsgradiënten, slibconcentraties en -fluxen. Tenslotte volgen algemene conclusies en aanbevelingen.

Omdat de netto slibfluxen door de Waddenzeegaten niet goed worden gerepresenteerd door het model, worden uit de berekende concentraties in de Waddenzee geen directe conclusies getrokken. Verondersteld wordt dat de effecten op de slibconcentraties in het westelijk deel van de Waddenzee ongeveer gelijk zijn aan de effecten in de kustzone bij Callantsoog.

Getemd Getij (G02) t.o.v. huidige situatie (G01)

Reststroming

De noordwaarts gerichte reststroming aan het oppervlak nabij de Maasmond is voor Getemd Getij iets toegenomen. Daarnaast is de restcirculatie tussen de Maasmond en Scheveningen minder sterk aanwezig (Fig. C-5).

Het totale resttransport door raaien loodrecht op de kust over een afstand van 60 km is niet wezenlijk verschillend voor G01 en G02. Het resttransport parallel aan de Nederlandse kust verandert derhalve niet significant door de gewijzigde debietverdeling tussen Haringvliet en Nieuwe Waterweg.

Er zijn echter wel opmerkelijke verschillen waar te nemen in het kustdwarse restdebiet. Zo is in scenario G02 een toename te zien van de restdebieten aan de oppervlakte van de kust af in het Voordeltagebied. In dit gebied is aan de bodem juist een toename van het resttransport naar de kust toe waar te nemen. Dit wordt veroorzaakt door de veranderde saliniteitsgradiënten die de dichtheidsgedreven stroming sterk beïnvloeden en daarmee het netto dwarstransport nabij de bodem in de richting van de kust. Deze veranderingen zijn in grote mate bepalend voor veranderingen in de slibpatronen.

Saliniteit

Voor Getemd Getij neemt het zoutgehalte ten zuiden van de Maasvlakte af met 0.25–1 ppt ten gevolge van de veranderde debietverdeling. Ten noorden van de Maasvlakte neemt het zoutgehalte juist toe met circa 0.25–0.5 ppt. Echter ten noorden van Egmond vertoont het zoutgehalte voor de kust enige afname. In de Waddenzee zijn geen verschillen meer waarneembaar in het zoutgehalte.

Slibconcentraties

Ten opzichte van de huidige situatie G01 neemt voor de Getemd Getij situatie de slibconcentratie rondom de Maasvlakte af met circa 10–20 mg/l. Voor de Zeeuwse en Hollandse kust neemt de concentratie echter toe met circa 5–10 mg/l. Deze effecten kunnen

worden verklaard door de locale toename van het kustwaarts gerichte bodemtransport als gevolg van de gewijzigde saliniteitsverdeling. De saliniteitsgradiënten veranderen echter niet eenduidig. Zo is ten zuiden van IJmuiden/Egmond de saliniteitsgradiënt bij G02 wat kleiner dan bij G01, terwijl ten noorden hiervan sprake is van het tegenovergestelde. De verandering van de slibconcentratie in de Callantsoograai wordt verondersteld representatief te zijn voor die in het westelijke deel van de Waddenzee. Voor G02 neemt de slibconcentratie hier met circa 20% toe.

Slibfluxen

Er treedt een sterke circulatie van slib op in het Voordeltagebied, zowel aan het oppervlak als aan de bodem. Ter hoogte van Appenzak is tussen 0 en 20 km uit de kust het slibtransport noordwaarts gericht, terwijl tussen 20 en 60 km het transport zuidwaarts is gericht. De restdebietverdeling laat echter een noordwaarts netto debiet langs de gehele Appenzak-raai zien. Ook in de Goeree-raai treedt binnen 20 km vanaf de kust een horizontale circulatie van slib op, terwijl het restdebiet langs de gehele raai noordwaarts is. Deze tegenstelling kan worden verklaard uit de slibconcentratieverdeling gedurende de springtij/doodtij-cyclus. Tijdens maximale stroomsnelheid zal het slib goed over de diepte gemengd zijn. Tijdens kentering daarentegen is de verticale menging kleiner, waardoor de verticale concentratiegradiënten toenemen en er tijdelijke sedimentatie kan optreden. Door de verschillen in de concentratieverdeling tussen afgaand en opkomend tij kan het netto slibtransport zuidwaarts zijn gericht, terwijl het restdebiet noordwaarts is gericht.

Maasvlakte-2 varianten GAB en GAN t.o.v. Getemd Getij (G02)

Reststroming

Het effect van een Maasvlakte-2 (GAN en GAB) op de restsnelheden is het sterkst waarneembaar aan het oppervlak. De Maasvlakte-2 hindert het noordwaarts gerichte transport en veroorzaakt een verbreding van de zoetwaterpluim. Hierdoor veranderen behalve de saliniteitsgradiënten dwars op de kust ook de langsgradiënten. Door de verbreding van de zoetwaterpluim in de Maasvlakte-2 varianten en de hierdoor veranderde dichtheidsstromen nemen de restdebieten door de Noordwijckraai aanzienlijk af aan het oppervlak en toe aan de bodem. Dit fenomeen is voornamelijk zichtbaar in de GAB-variant (14% afname aan het oppervlak en 82% toename aan de bodem), die het verste in zee uitsteekt en waarin tevens de Noorderdam is verlengd. Hierdoor is de afbuiging van de zoetwaterpluim voor deze variant het grootst.

Saliniteit

Ten gevolge van de aanleg van de Maasvlakte-2 varianten (GAB en GAN) treedt opstuwning op van zoet water afkomstig van het Haringvliet. Tevens stroomt in de GAB-variant met de verlengde Noorderdam het water vanuit de Nieuwe Waterweg verder in zee uit. Daarnaast wordt bij GAN het zuidwaartse transport vanuit de Nieuwe Waterweg gehinderd door de uitbreiding van de Maasvlakte.

Het effect van een Maasvlakte-2 op de saliniteit wordt bepaald door een combinatie van factoren, zoals verlenging van de Noorderdam, waardoor het zoete water verder in zee uitmondt, afscherming van zoet water vanuit het Haringvliet tijdens opkomend tij en blokkade van zoet water vanuit de Nieuwe Waterweg tijdens afgaand tij. Door de

Maasvlakte-2 wordt de zoetwaterpluim breder, waardoor er meer verdunning met zout zeewater optreedt. Ten westen van de Maasvlakte-2 vindt voor beide varianten een verzoeting plaats van enkele ppt's. Daarnaast lijkt de verlenging van de Noorderpier in de GAB-variant maatgevend te zijn voor de verzouting ten noorden van de Maasvlakte. De plaatsafhankelijke toe- en afname van de saliniteit in de Nederlandse kustzone ten opzichte van de referentiesituatie G02 bedraagt maximaal enkele ppt's. De effecten op de saliniteit strekken zich beide varianten uit vanaf de Voordelta tot aan de Waddenkust. In de Waddenzee zelf zijn geen verschillen meer in het zoutgehalte waar te nemen ten opzichte van de referentie situatie. Ten noorden van de Maasvlakte treedt bij GAB als gevolg van de verbreding van de zoetwaterpluim een verzouting op van circa 1 ppt. Deze verzouting ten noorden van de Maasvlakte is niet waarneembaar in de GAN-variant zonder de verlenging van de Noorderdam.

Slibconcentraties

Als gevolg van het gewijzigde stromingsregime voor de Maasvlakte-2 varianten en het hieraan gerelateerde slibtransport wordt in een circa 10–15 kilometer brede strook langs de Zuid-Hollandse kust ten noorden van Hoek van Holland de slibconcentratie met 25–50% gereduceerd. Aangezien de totale aanvoer van slib vanuit de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet identiek is in alle scenario's, vindt buiten de 15 kilometer kuststrook een geringe concentratietoename plaats van enkele milligrammen per liter. Voor de kust van Callantsoog neemt de slibconcentratie bij GAB en GAN af met resp. 6% en 8%.

In de gehele Zeeuwse Voordelta (tot voorbij de Belgische grens) is een geprononceerde toename van de slibconcentratie berekend (meer dan 20 mg/l en tussen 50 en 100%). Deze toename is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat door de aanleg van de Maasvlakte-2 een versterking optreedt van de zuidwaartse component in de reststroming voor de kust van Goeree en Grevelingen. Dit heeft tot gevolg dat er meer slib 'gevangen' blijft in de slibcirculatie die bij G02 reeds in de Voordelta aanwezig is. Het is opmerkelijk dat het gebied waarin de slibconcentratie toeneemt veel groter is dan het gebied waarin de reststroming significant verandert.

Het is opmerkelijk dat bij GAB en GAN de effecten op de slibconcentraties veel overeenkomst vertonen, terwijl de effecten op de saliniteitsverdeling vrij sterk verschillen.

Slibfluxen

De circulatie van slibfluxen in het Voordeltagebied neemt voor beide Maasvlakte-2 varianten sterk toe. Tot aan circa 10 km uit de Nederlandse kust zijn de slibfluxen voor de G02-variant het grootst en voor de GAB-variant het laagst. Dit is consistent met de concentratieverdeling van de scenario's. Voor zowel de GAB- als GAN-variant is een sterke afname van de slibflux door de Ter Heide- en Noordwijkraai ten opzichte van de referentie situatie (G02) waar te nemen.

Omdat de slibfluxen door de zeegaten naar de Waddenzee in het huidige model niet goed worden weergegeven, is in ONL-kader besloten om de slibflux door de 10 km brede Callantsoog raai als representatieve maat te beschouwen voor de uitwisseling tussen Noordzee en Waddenzee.

De verandering van de slibflux door 10 km van de Callantsoograai voor de twee Maasvlakte-2 varianten is relatief gering in vergelijking met de referentiesituatie (voor GAB en GAN respectievelijk 4% en 9%, terwijl de slibconcentratie bij de kust afneemt met resp. 6% en 8%). Daarom wordt verwacht dat de aanleg van een Maasvlakte-2 een gering effect heeft op de slibuitwisseling tussen Noordzee en Waddenzee.

Algemene conclusies en aanbevelingen

De effecten van een Maasvlakte-2 op de slibhuishouding voor de Hollandse kust zijn significant. De resultaten zijn consistent met die uit het ONL-onderzoek, waarin hetzelfde model is gebruikt maar met gebruik van een grover rooster. Bij de huidige studie zijn de effecten in zuidwaartse richting sterker en in noordwaartse richting zwakker dan bij het ONL-onderzoek. Dit verschil kan veroorzaakt zijn doordat bij het ONL-onderzoek niet is gerekend met Getemd Getij, maar met de huidige debietverdeling tussen Haringvliet en Nieuwe Waterweg.

De effecten van Maasvlakte-2 op de Waddenzee zijn naar verhouding klein. De effecten die in het Voordeltagebied optreden zijn echter aanzienlijk, veel groter dan op grond van de saliniteitsverdeling alleen is te verwachten. De Maasvlakte-2 verhindert het noordwaartse slibtransport, waardoor meer materiaal gevangen wordt in de restcirculatie in het Voordeltagebied. De veranderingen van de horizontale en verticale stromingen in combinatie met de verticale turbulentie en valsnelheid spelen hierbij een belangrijke rol.

De precieze mechanismen die ten grondslag liggen aan de grote effecten van Maasvlakte-2 in de Zeeuwse Voordelta (zoals de versterkte slibcirculatie) zijn momenteel nog onvoldoende duidelijk en vereisen derhalve nader onderzoek. Ook de mechanismen die ten grondslag liggen aan het effect van Getemd Getij voor de Hollandse Kust zijn nog niet geheel duidelijk.

Verklaringen voor effecten van Getemd Getij en Maasvlakte 2 zijn in eerste instantie gezocht in veranderingen van saliniteitsgradiënten (die weer leiden tot veranderingen in reststroomsnelheden en resttransporten van slib). Er moet echter worden geconstateerd dat het verband tussen verandering van saliniteit en slibconcentraties niet altijd duidelijk is, of soms tegenstrijdig. Zo is het opvallend dat de verandering van de saliniteitsverdeling in de Voordelta en voor de Hollandse kust bij GAN er heel anders uit ziet dan bij GAB, terwijl de verandering van de slibconcentraties veel overeenkomst vertonen. Dat bij GAN de slibconcentratie voor de kust van Delfland sterk afneemt terwijl de saliniteitsgradiënt loodrecht op de kust weinig verandert, wijst er op dat veranderingen van de slibconcentratie voor de kust van Delfland meer worden veroorzaakt doordat de slibstroom als gevolg van de landaanwinning verder uit de kust is geduwd, dan door een verandering van de saliniteitsgradiënt.

In de huidige studie is een aantal processen verwaarloosd, waaronder:

- de invloed van golven, die de uitwisseling van slib tussen water en bodem, de reststroming en de transporttijden langs de Hollandse kust en naar de Waddenzee kunnen beïnvloeden;

- de invloed van een over het getij variërend debiet door de Haringvlietsluizen en door de Nieuwe Waterweg (er is nu alleen een constant rivierdebiet opgelegd);
- de invloed van een over een langere tijd variërend rivierdebiet (o.a. hoogwaterpieken).

Alhoewel deze processen zeker invloed zullen hebben op de grootte van de berekende effecten, wordt niet verwacht dat ze de kwalitatieve resultaten, zoals de aanzienlijk verhoogde slibconcentratie in de Zeeuwse voordelta, sterk beïnvloeden. Zonder deze effecten wordt immers al een bevredigende overeenstemming gevonden tussen de modelresultaten en veldmetingen. Hierbij zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen.

- Er is gebruik gemaakt van een geschematiseerde windaandrijving, dat wil zeggen een 14-daagse periode met variabele wind die statistisch gezien representatief is voor een heel jaar. Mogelijkerwijs resulteert deze representatieve windaandrijving in reststroomgroottes en looptijden die niet volledig representatief zijn voor een gemiddeld jaar. Dit kan veroorzaakt worden doordat in de 14-daagse cyclus verschillende windcondities elkaar sneller opvolgen dan in de werkelijkheid.
- De noordwaarts gerichte reststroming langs de Hollandse kust wordt mogelijk enigszins onderschat. Het ontbreken van golfinvloed zou hieraan debet kunnen zijn. De berekende dieptegemiddelde looptijd bedraagt circa 2 maanden. De reststroomsnelheid 20 km uit de kust nabij het oppervlak bedraagt circa 4 cm/s noordwaarts ter hoogte van Noordwijk, hetgeen in overeenstemming is met veldwaarnemingen (De Ruiter *et al.*, 1991). Ter hoogte van Den Helder bedraagt de reststroomsnelheid tenminste het dubbele. De looptijd langs de Hollandse kust in de oppervlaktelaag wordt op basis hiervan geschat op circa 4 weken.
- De saliniteit in de Zeeuwse voordelta is lokaal aan de lage kant ten opzichte van langjarige veldmetingen (Van der Giessen en Kollé, 1989), maar valt ruim binnen de gemeten boven- en benedengrenzen.

Er wordt aanbevolen om de invloed van de bovengenoemde processen te kwantificeren door aanvullende berekeningen uit te voeren. Tevens kan dan de invloed van stormcondities worden onderzocht.

Tenslotte kan worden opgemerkt dat alle tot nog toe uitgevoerde studies naar de invloed van een tweede Maasvlakte op het slibtransport ten noorden van de Maasvlakte-2 vergelijkbare effecten laten zien. De kans dat de berekende effecten in werkelijkheid niet zullen optreden, maar een gevolg zijn van fouten in de aanpak of het instrumentarium wordt daardoor steeds kleiner en het berekende resultaat steeds waarschijnlijker.

Ten aanzien van de effecten ten zuiden van de Maasvlakte-2 geeft het huidige onderzoek en het ONL-onderzoek een heel ander beeld dan de voorgaande onderzoeken. Hier is kans op onjuistheden in de voorspellingen dus groter. Ten aanzien van het effect van Getemd Getij is de consistentie tussen de onderzoeken minder groot dan ten aanzien van de effecten van Maasvlakte-2, maar met betrekking tot Getemd Getij zijn ook minder onderzoeken uitgevoerd.

6 Referenties

Boon, J.G., 2001

Grootschalig slibtransport in de Noordzee. Verslag van speurwerk Z2844
(in voorbereiding)

Giessen, A. van der en Kollé, G.J., 1989.

De variabiliteit van het zoetwatergehalte voor de Zuidnederlandse kust en de Deltawateren.
Nota GWAO-89.002. Dienst Getijdewateren, Rijkswaterstaat.

Kessel, T. van, Merckelbach, 2001a

Effect of land reclamation Maasvlakte-2 on silt transport and siltation, Phase 3. Siltation in
Rotterdam harbour: reference situation and effects of discharge regime Haringvliet sluices.
Final report. WL | Delft Hydraulics report no. Z2874.30.

Kessel, T. van, 2001b.

Effect of land reclamation Maasvlakte-2 on silt transport and siltation, Phase 4. Local
effects on siltation in Rotterdam harbour. Final report. WL | Delft Hydraulics report no.
Z2874.40.

Kessel, T. van, 2001c

Vergelijking metingen en berekeningen sliconcentraties Oosterschelde. WL | Delft
Hydraulics, memo 26 oktober 2001

Kok, J.M. de, 1999.

Effecten van de aanleg van een tweede Maasvlakte op de aanslibbing in het
Maasmondgebied. Resultaten van het Maasmondgebied. Rapport RIKZ/99.013. RWS.

Salden, R.M., 1998

Een model voor het transport van slib in de Nederlandse kustzone. Een hulpmiddel bij
scenario studies naar kustuitbreidingsplannen. RIKZ/OS-98.119X

Thoolen P., Kessel, T. van, J.C. Winterwerp, 2001.

Effect of land reclamation Maasvlakte-2 on silt transport and siltation. Phase 2: Large scale
effects along the Dutch coast and in the Wadden Sea. Final report. WL | Delft Hydraulics
report no. Z2874.20.

Roelvink, J.A., Th. van der Kaaij and B. G. Ruessink, 2001a

Calibration and verification of large-scale 2D/3D flow models, MARE Consortium Report
no. Z3029.11, ONL Coast and Sea studies, June 2001 (final)

Roelvink, J.A., Th. van der Kaaij, B. G. Ruessink and K.J. Bos, 2001b

Reference scenarios and design alternatives, MARE Consortium Report no. Z3029.12,
ONL Coast and Sea studies, May 2001 (draft)

Ruiter, W.P.M., A. van der Giessen, F.C. Groenendijk, 1991

Current and density structure in the Netherlands coastal zone. Instituut voor meteorologie
en oceanografie. Rijksuniversiteit Utrecht. Rapport R91-1.

WL | Delft Hydraulics / MARE , 2001a

Description and modelrepresentation T_0 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.

WL | Delft Hydraulics / MARE , 2001b

Description and modelrepresentation T_0 situation, Part 2:

Figures of the modelling results. Perceel 3, Deelproduct 2, concept. WL rapport, ref. no. Z3030.10.

WL | Delft Hydraulics / MARE, 2001c

Description & model representation of an artificial island & effects on transport and ecology. Perceel 3, Deelproduct 4, concept. WL rapport, ref. no. WL2001006 Z3030.10.

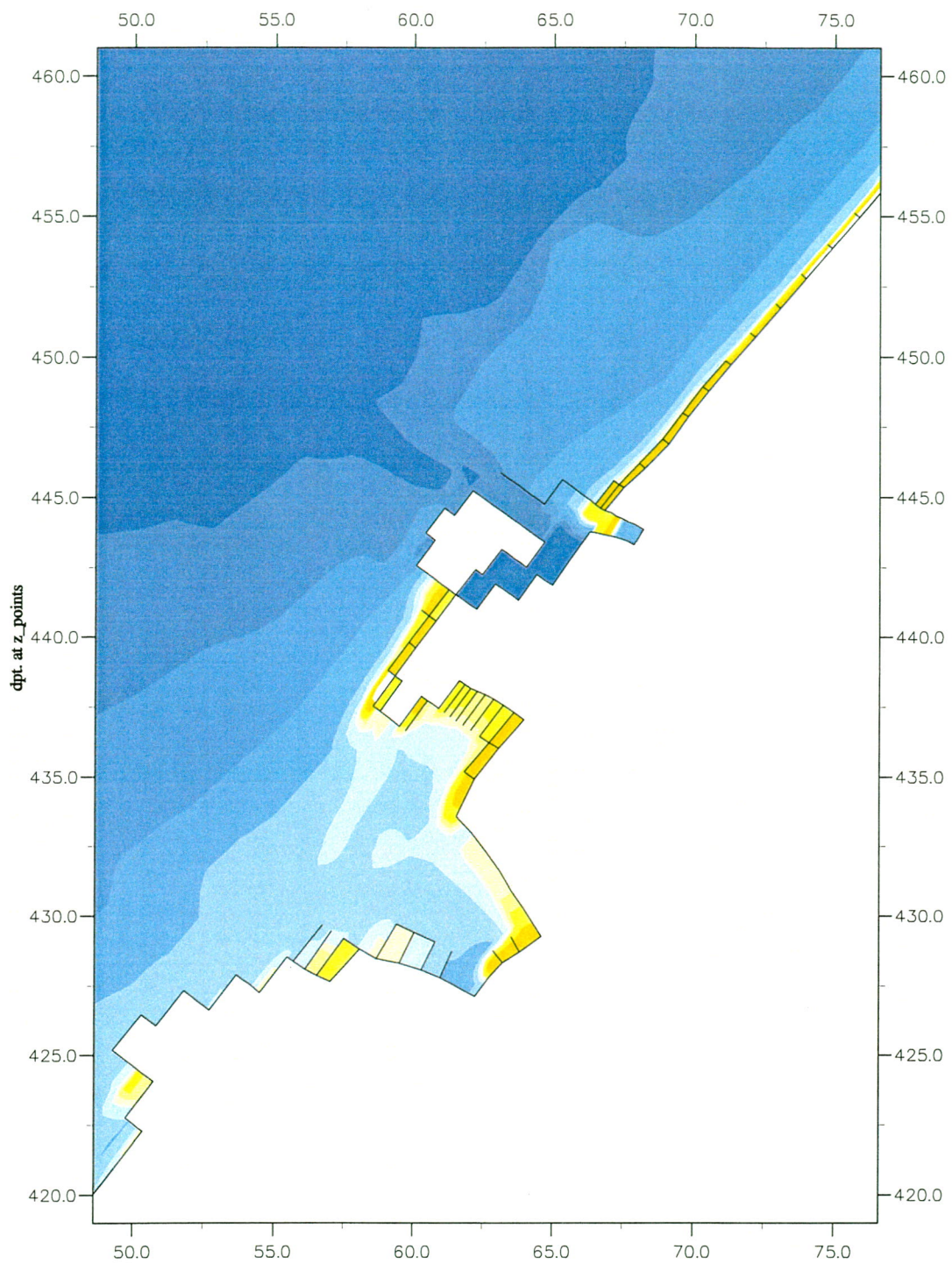
WL | Delft Hydraulics / MARE, 2001d

Description & model representation of an artificial island & effects on transport and ecology: Figures of the modelling results. Perceel 3, Deelproduct 4, concept. WL rapport, ref. no. WL2001007 Z3030.10.

WL | Delft Hydraulics / MARE ,2001e

Description & model representation T_0 situation. Part 2: Transport, nutrients and primary production. Perceel 3, Deelproduct 2, concept. WL

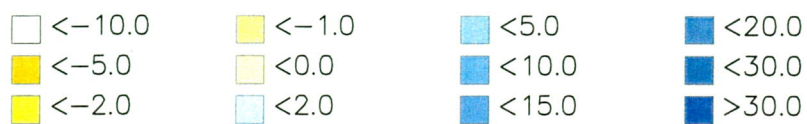
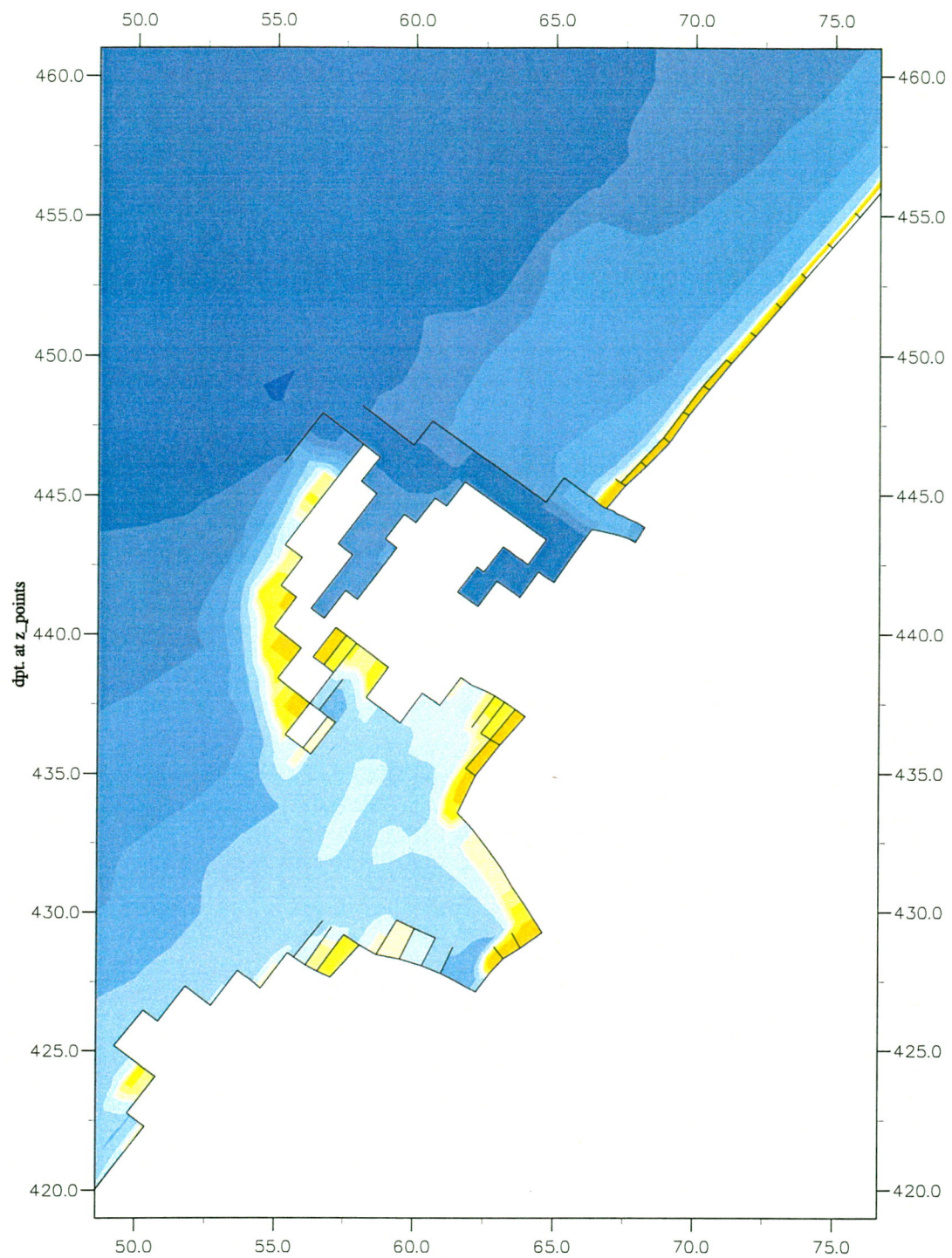
Figuren



Bathymetry and temporary dry points
 MV variant G01/G02
 New model proj Z3158

WL | DELFT HYDRAULICS

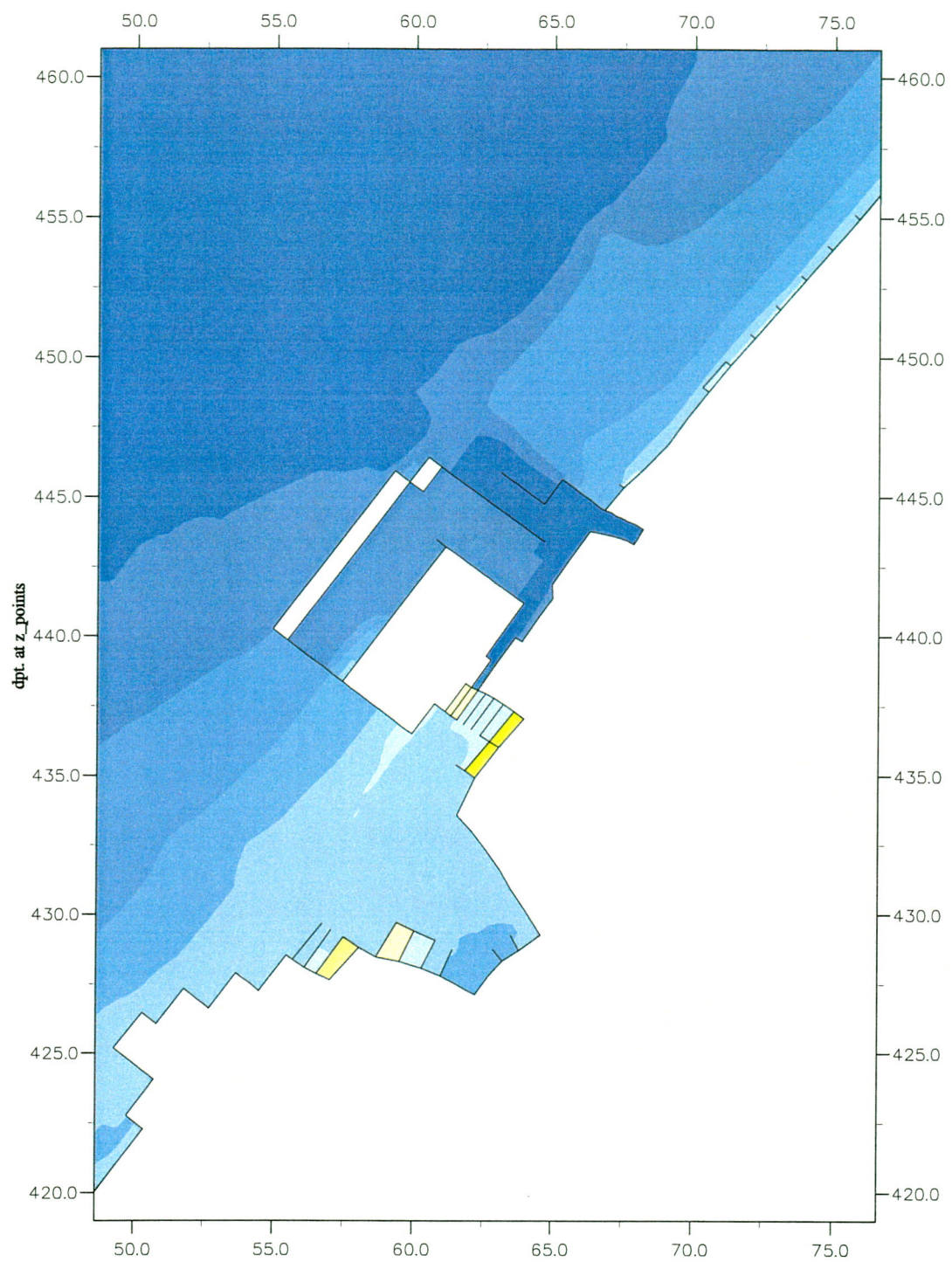
Fig. A-1



Bathymetry and temporary dry points
 MV variant GAB
 New model proj Z3158

WL | DELFT HYDRAULICS

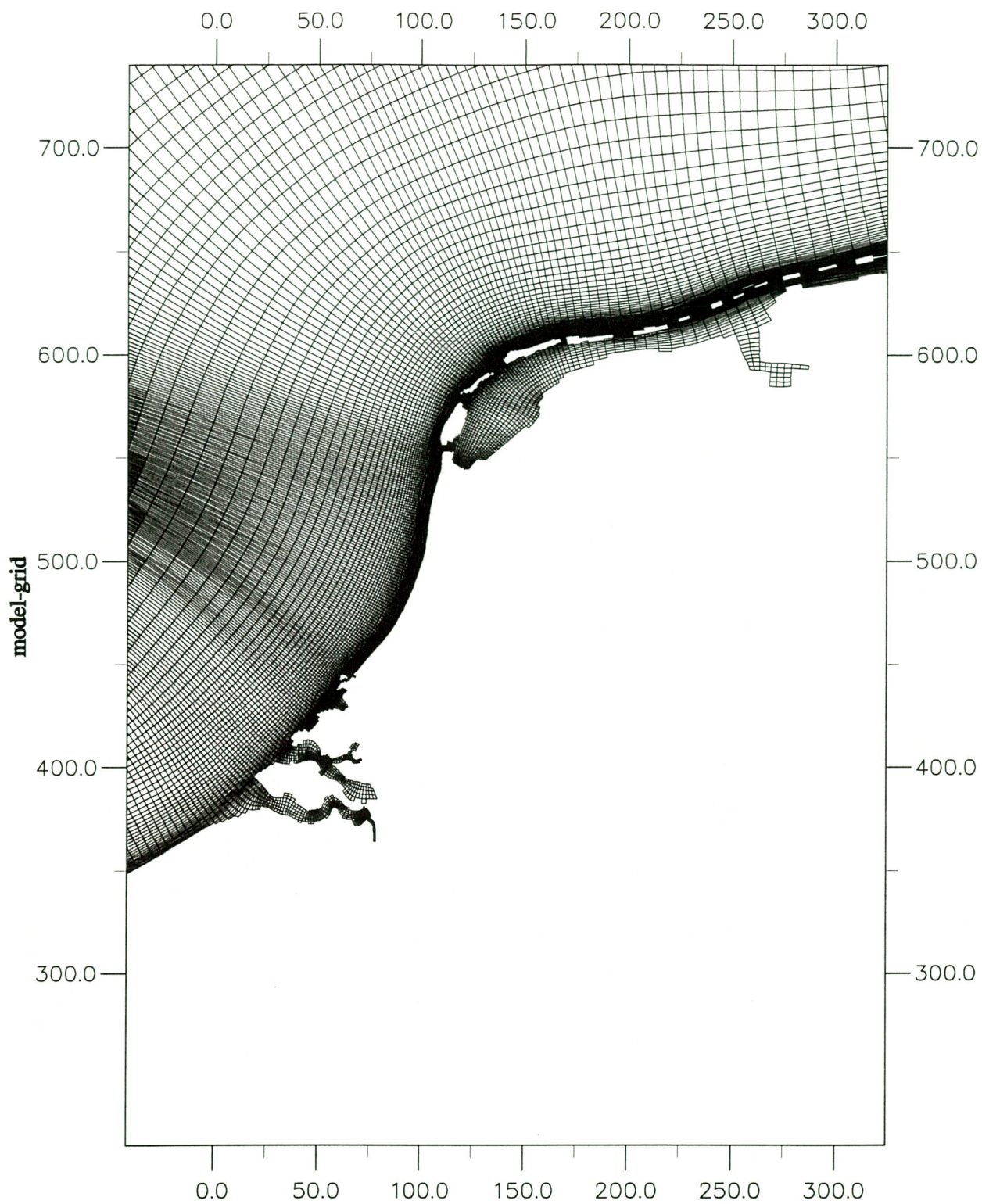
Fig. A-2



Bathymetry and temporary dry points
 MV variant GAN
 New model proj Z3158

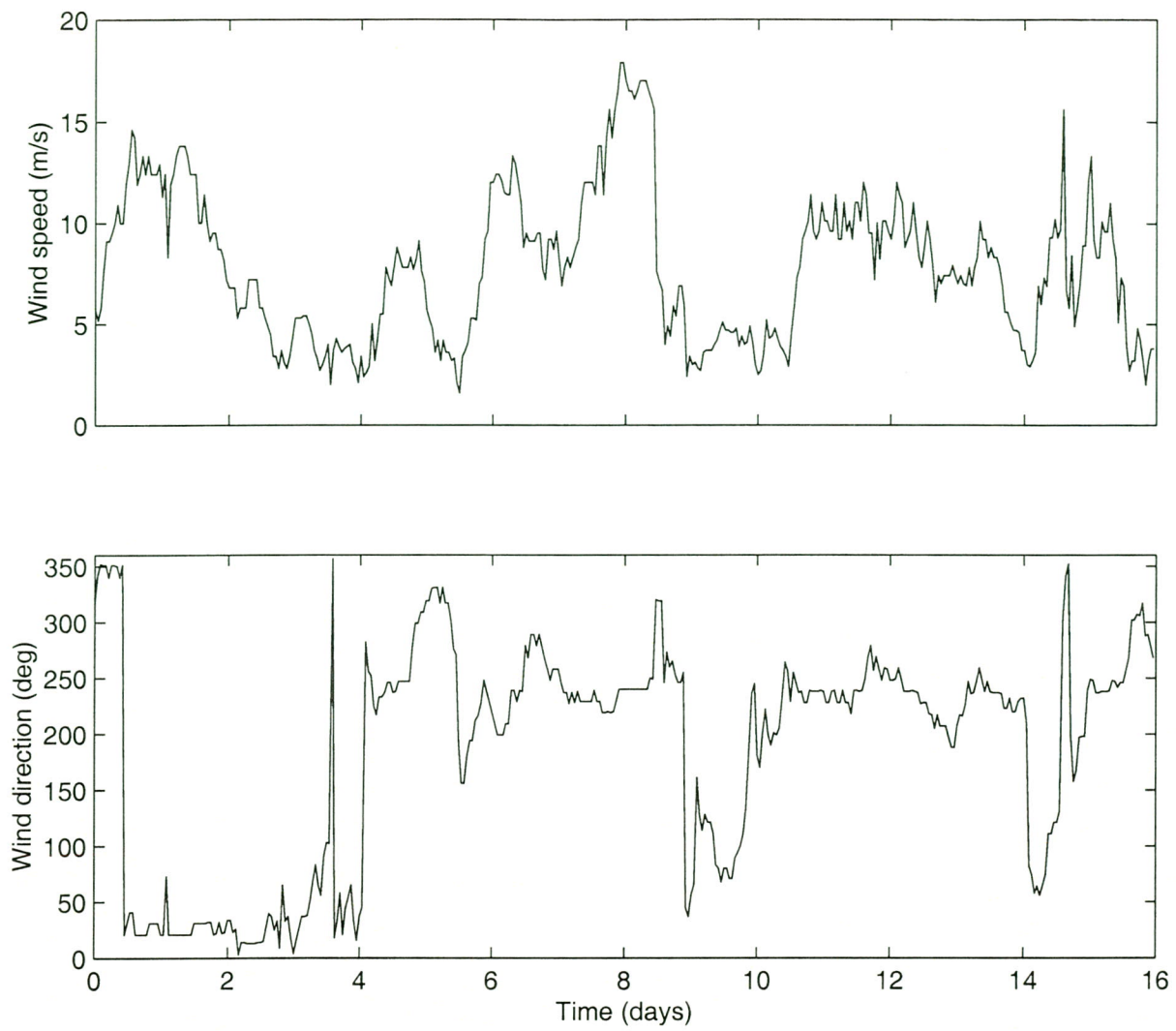
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig. A-3



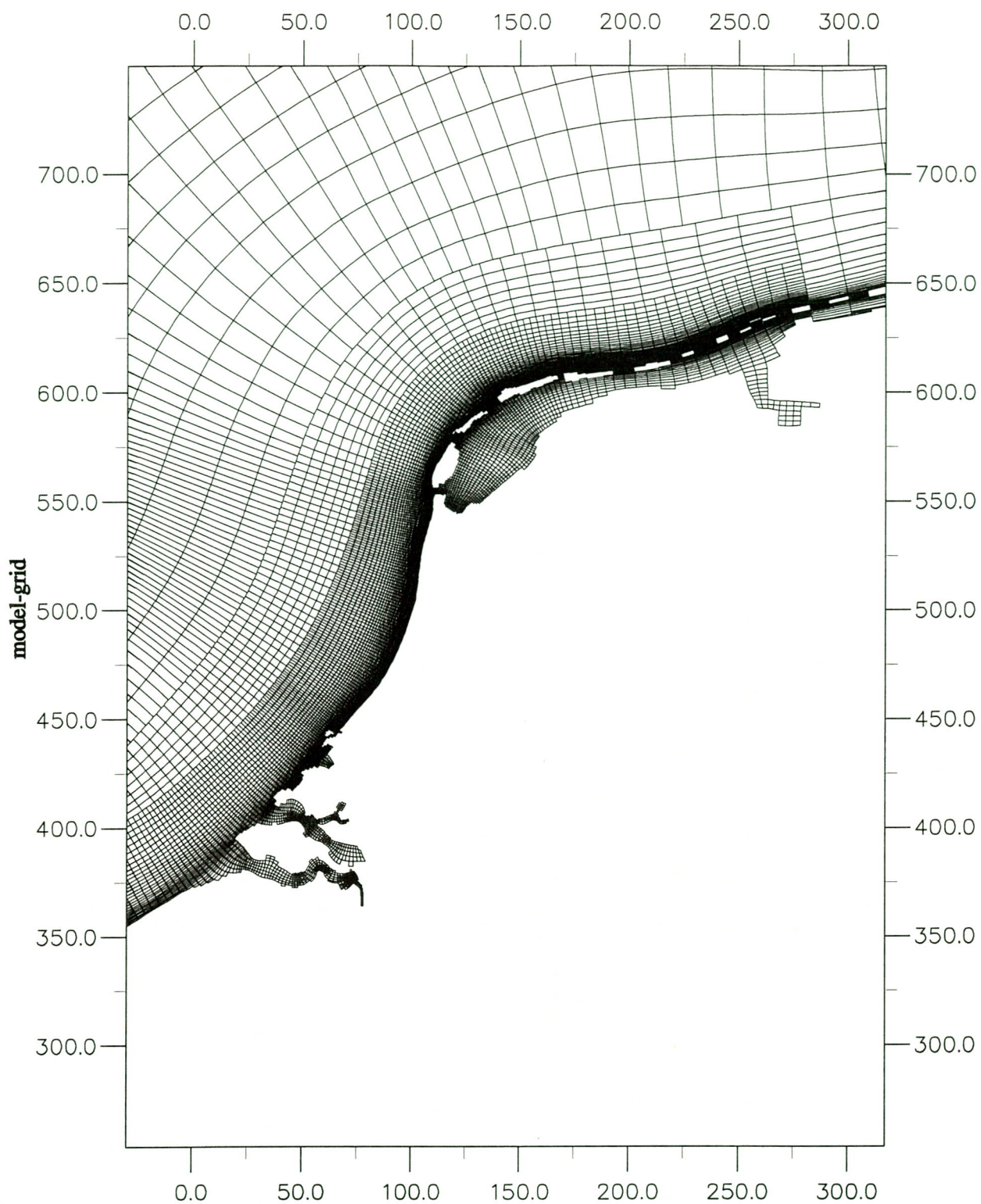
Hydrodynamic model grid

Fig: B-1



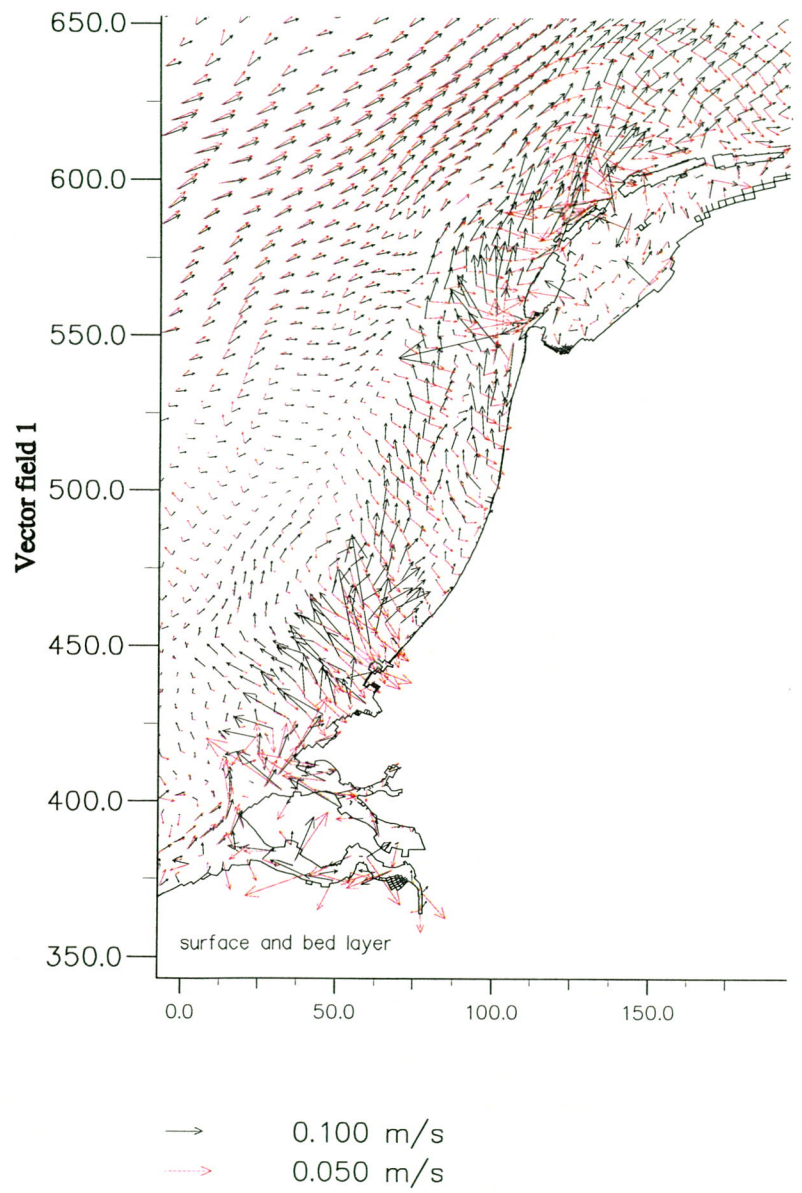
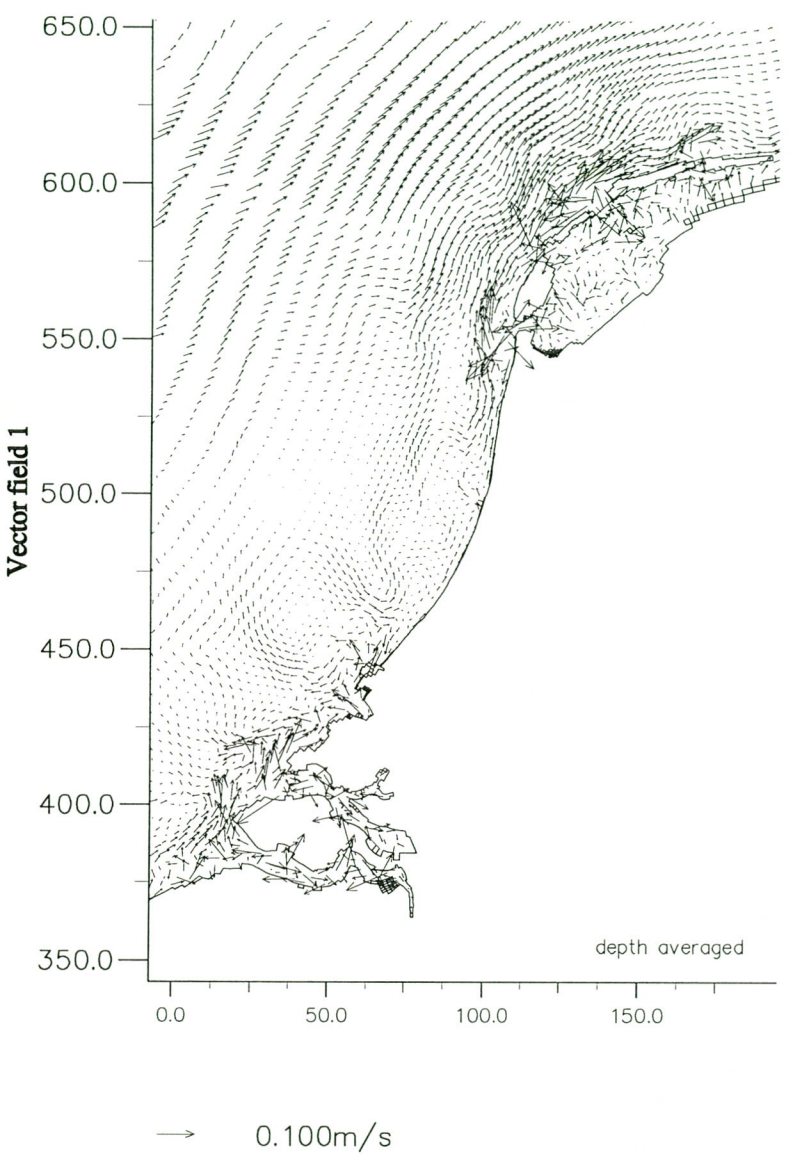
Selected 16-day representative wind speed and direction

Fig. B-2

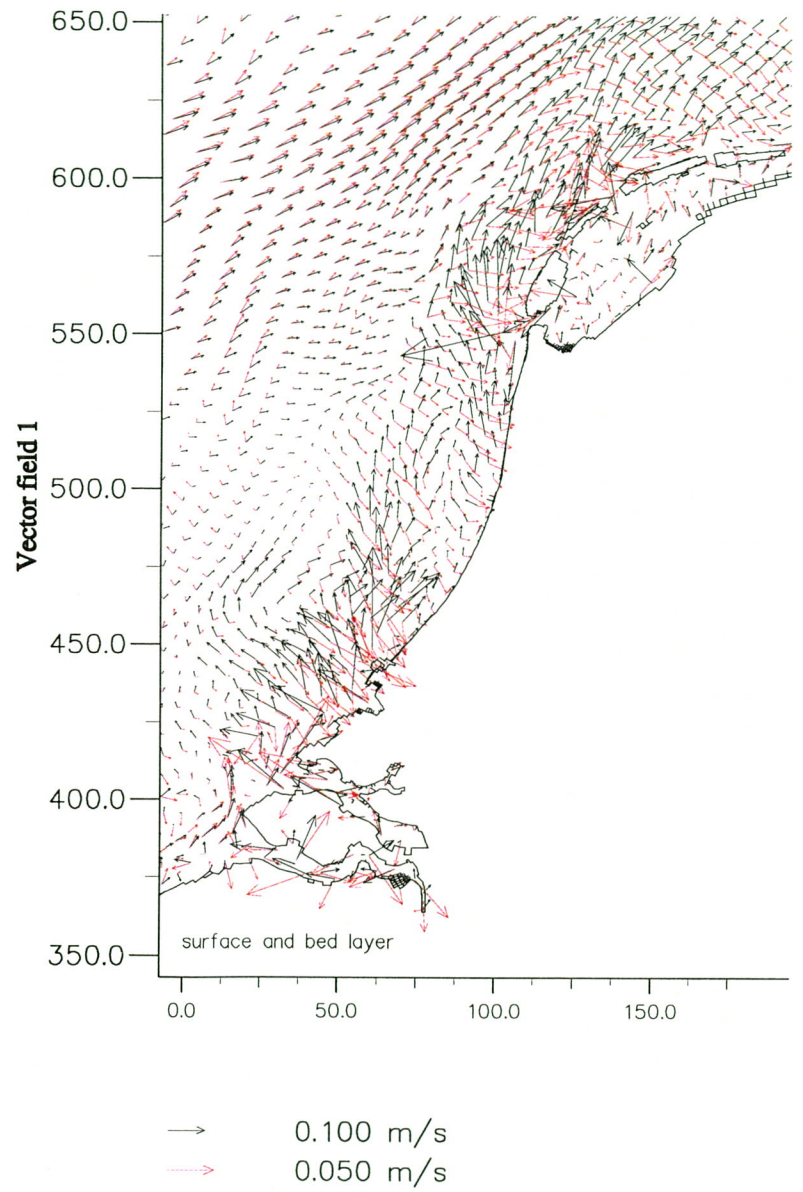
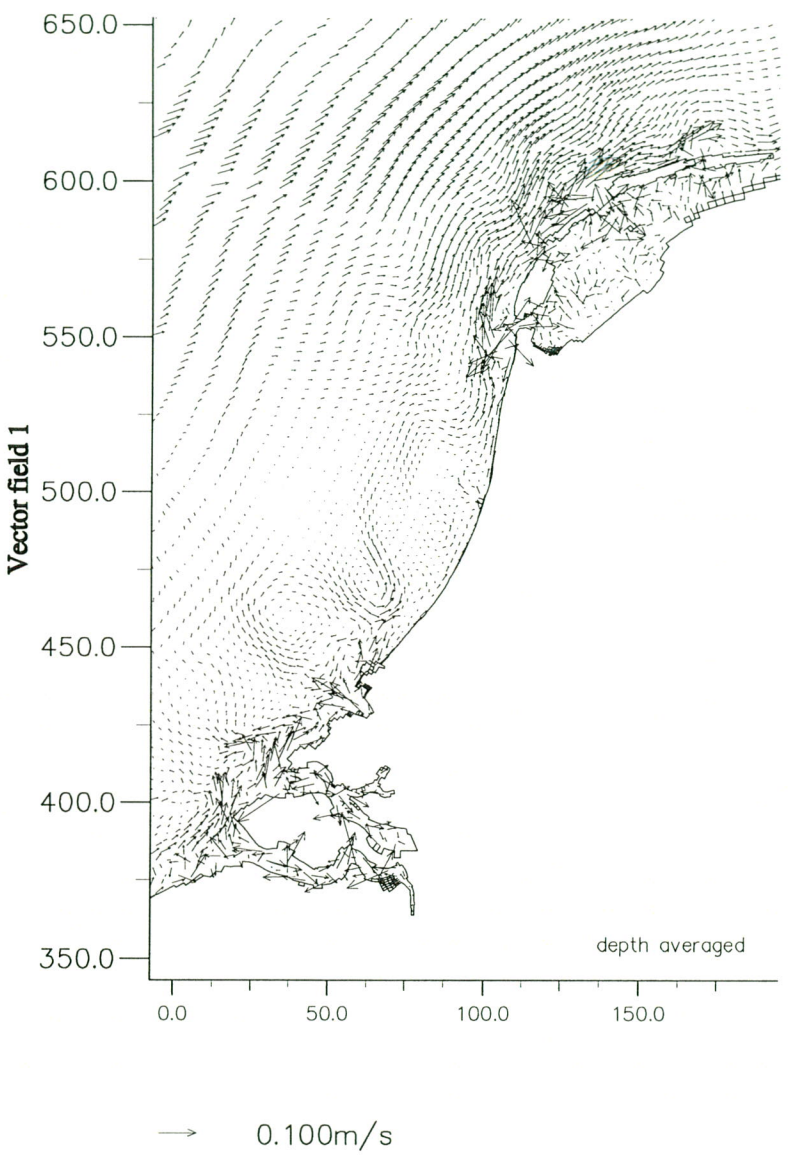


Water quality model grid

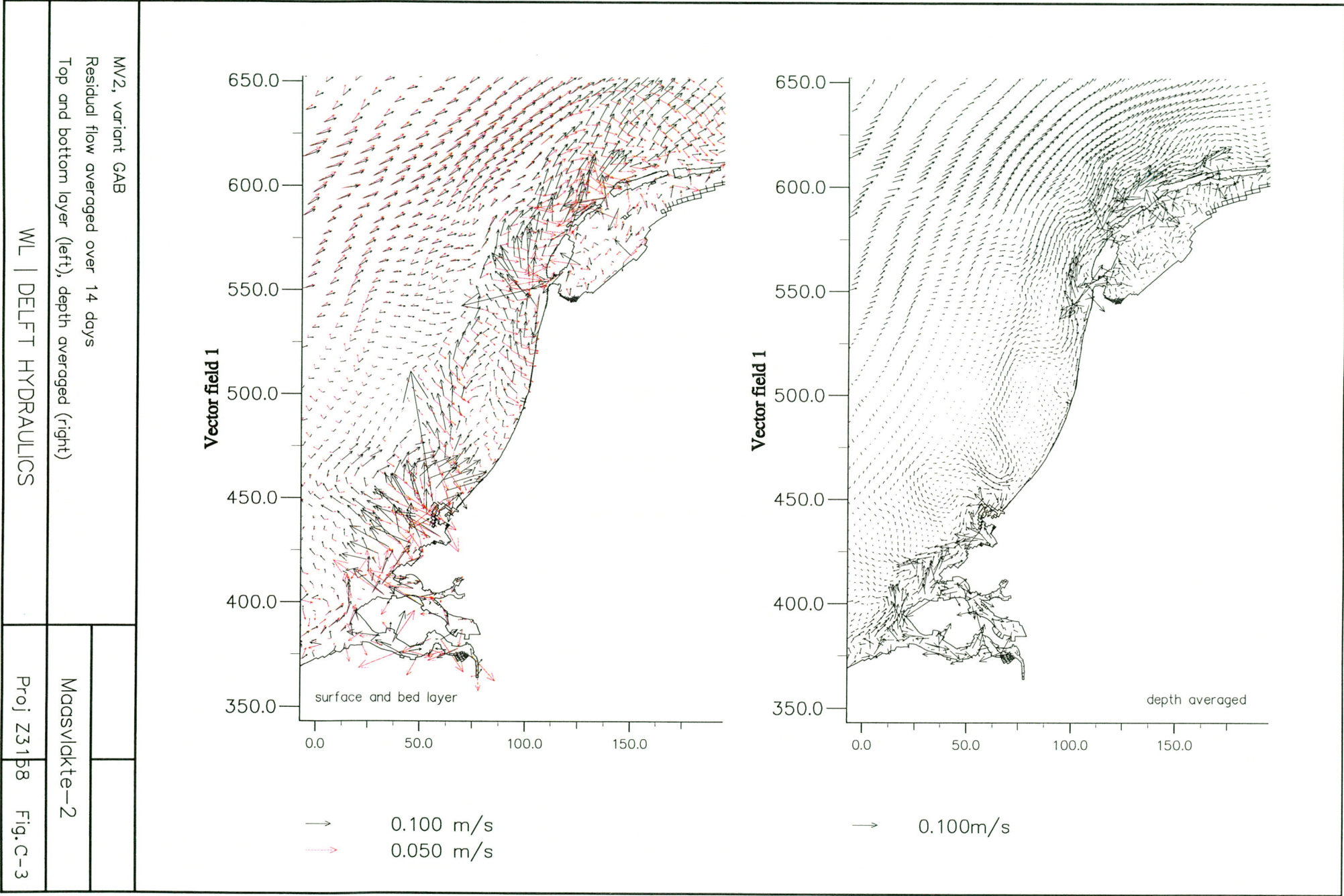
Fig: B-3

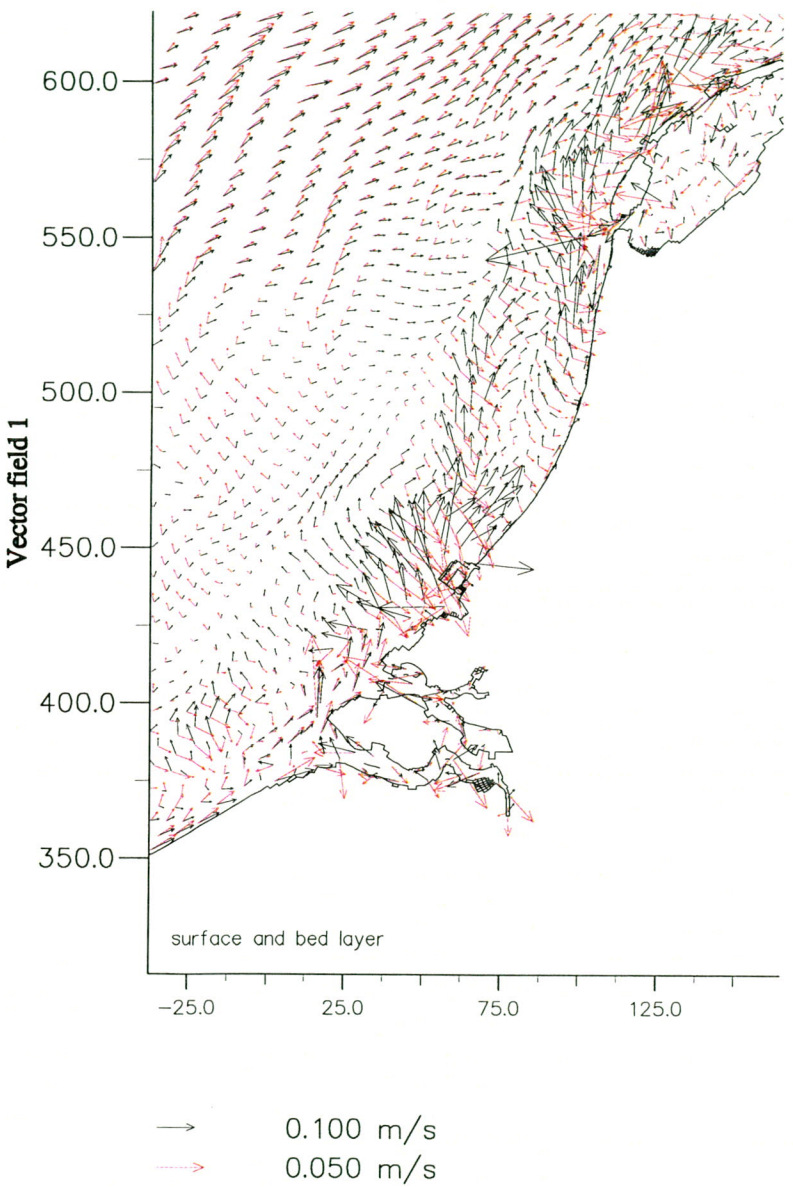
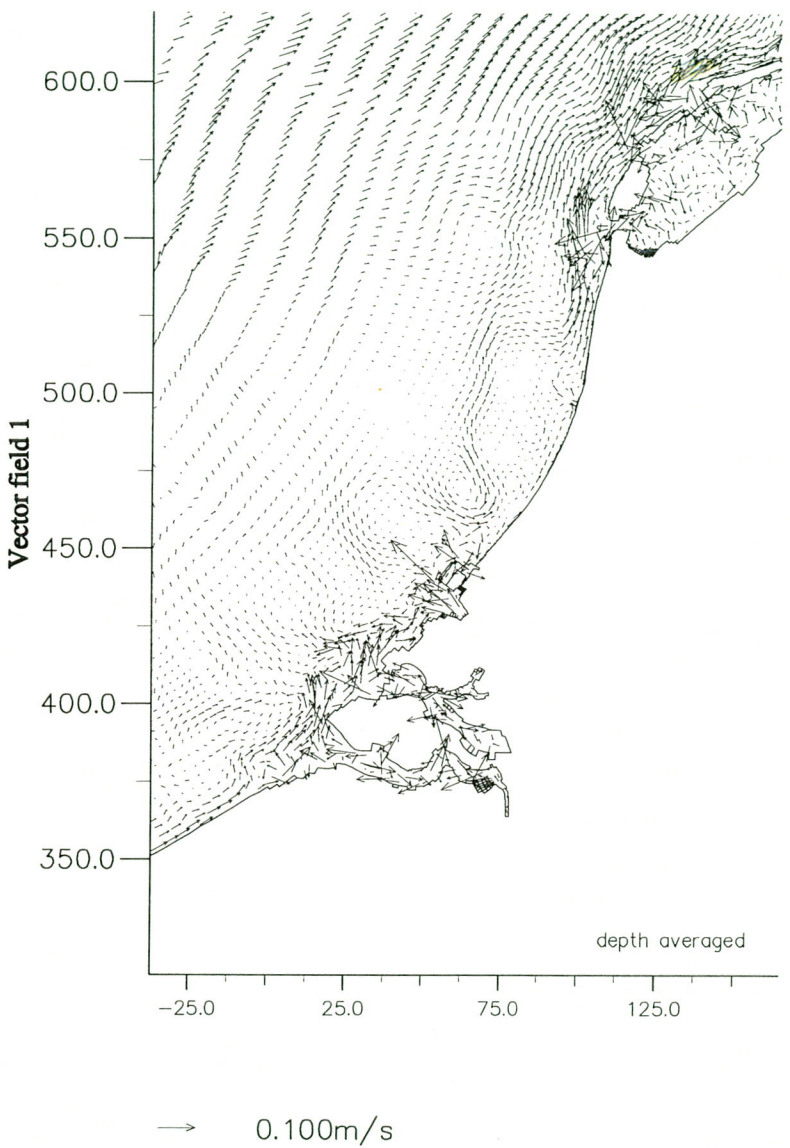


Present (G01) situation; without "MV2"		Maasvlakte-2
Residual flow averaged over 14 days		
Top and bottom layer (left), depth averaged (right)		
WL DELFT HYDRAULICS		
Proj Z3158	Fig.C-1	



Present MV situation (G02) , "Getemd Getij"			
Residual flow averaged over 14 days		Maasvlakte-2	
Top and bottom layer (left), depth averaged (right)			
WL DELFT HYDRAULICS		Proj Z3158	Fig.C-2





MV2, variant GAN

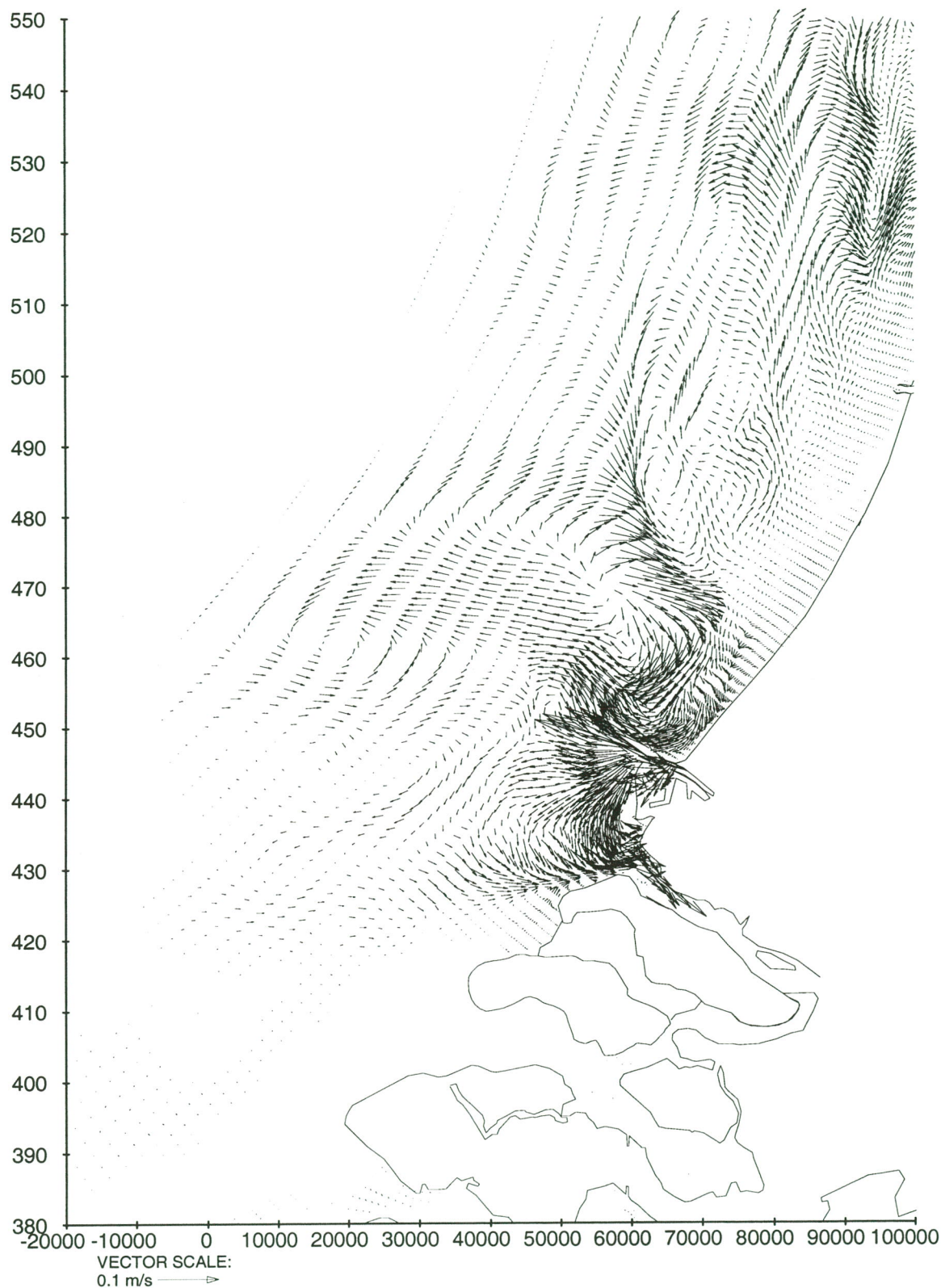
Residual flow averaged over 14 days

Top and bottom layer (left), depth averaged (right)

WL | DELFT HYDRAULICS

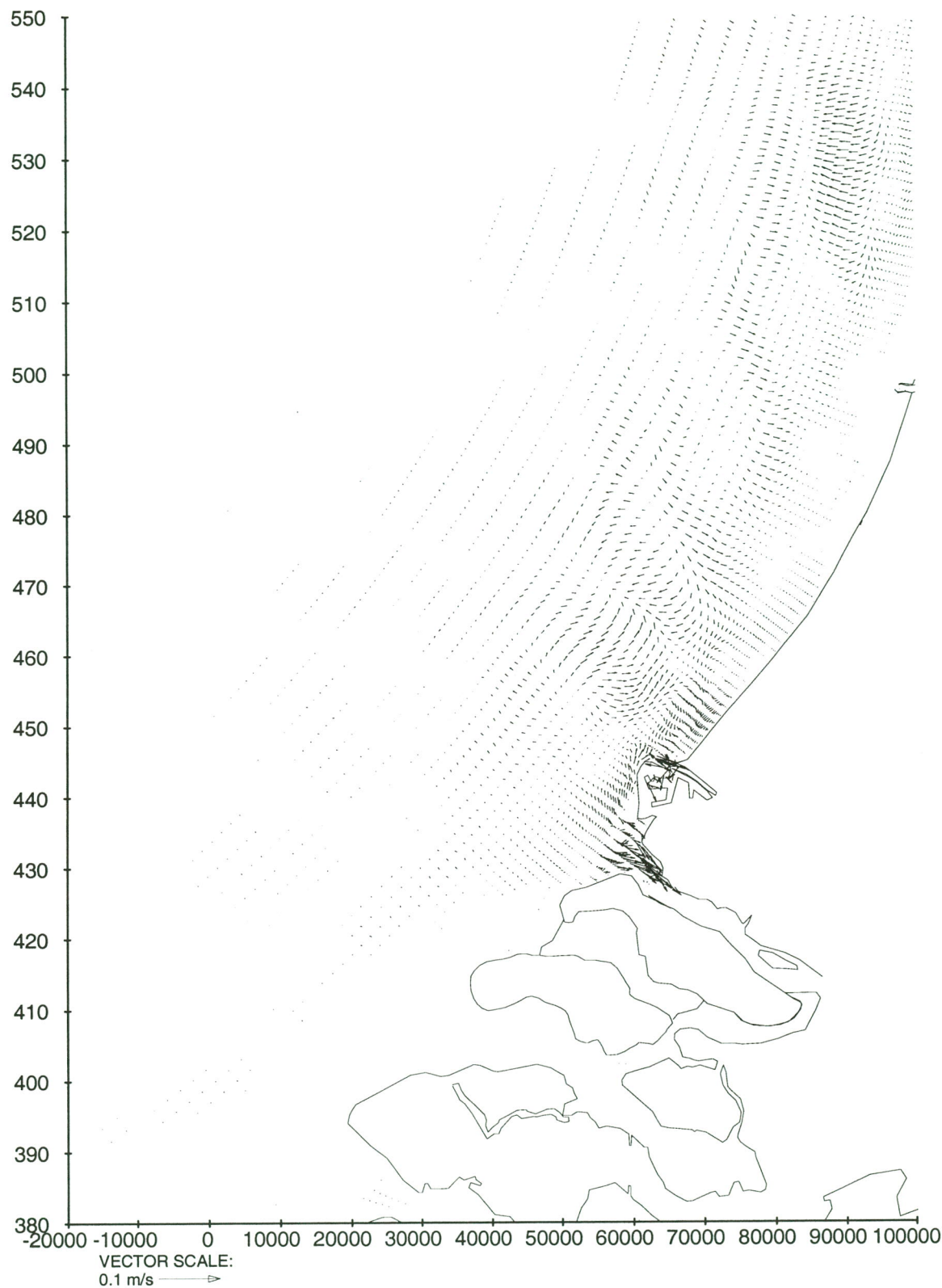
Maasvlakte-2

Proj Z3158 Fig.C-4



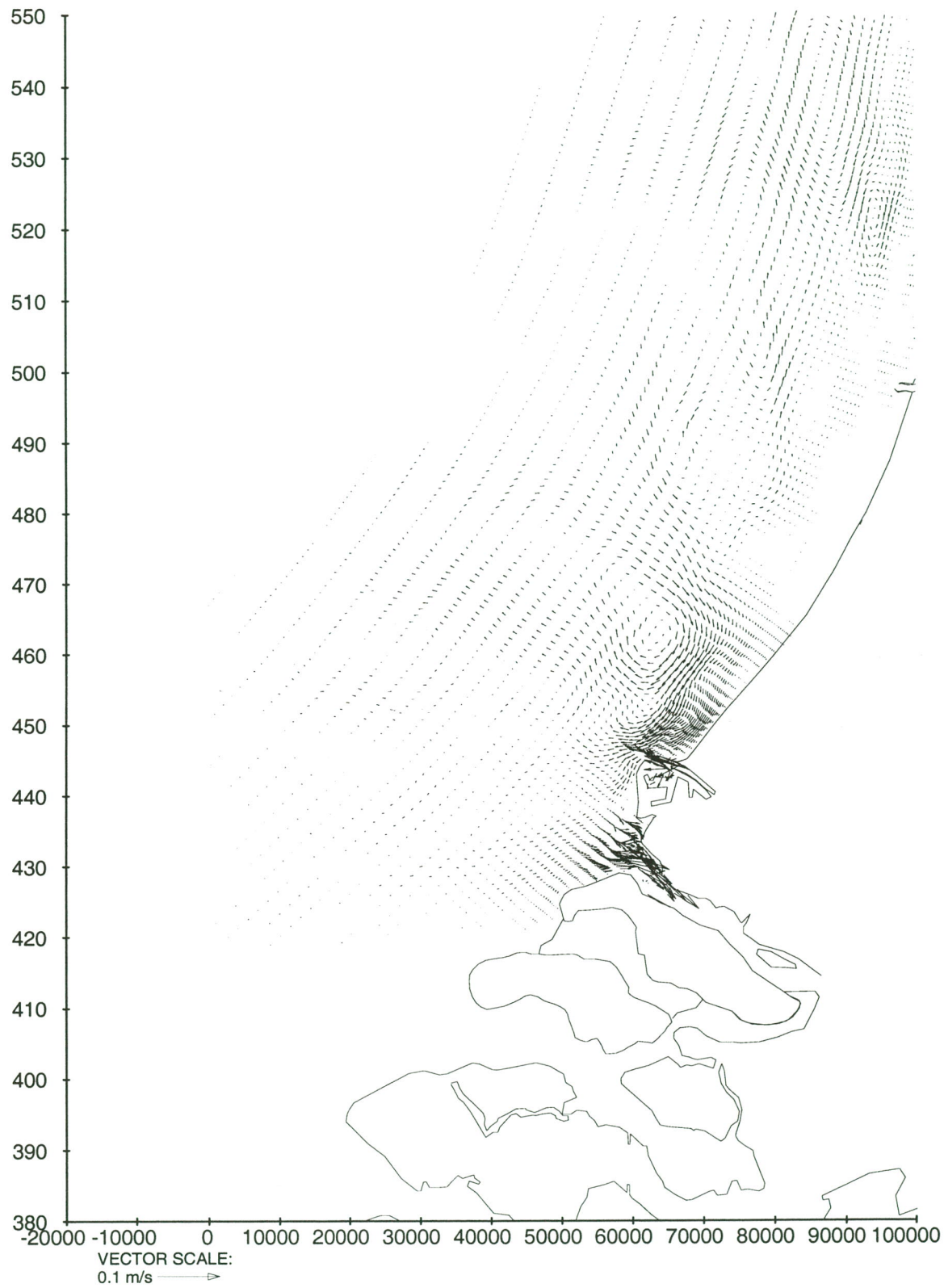
Mon Oct 8 15:18:42 MDT 2001 juherplaweb0000101.pdf

Residual currents - difference G01-G02 (surface layer)



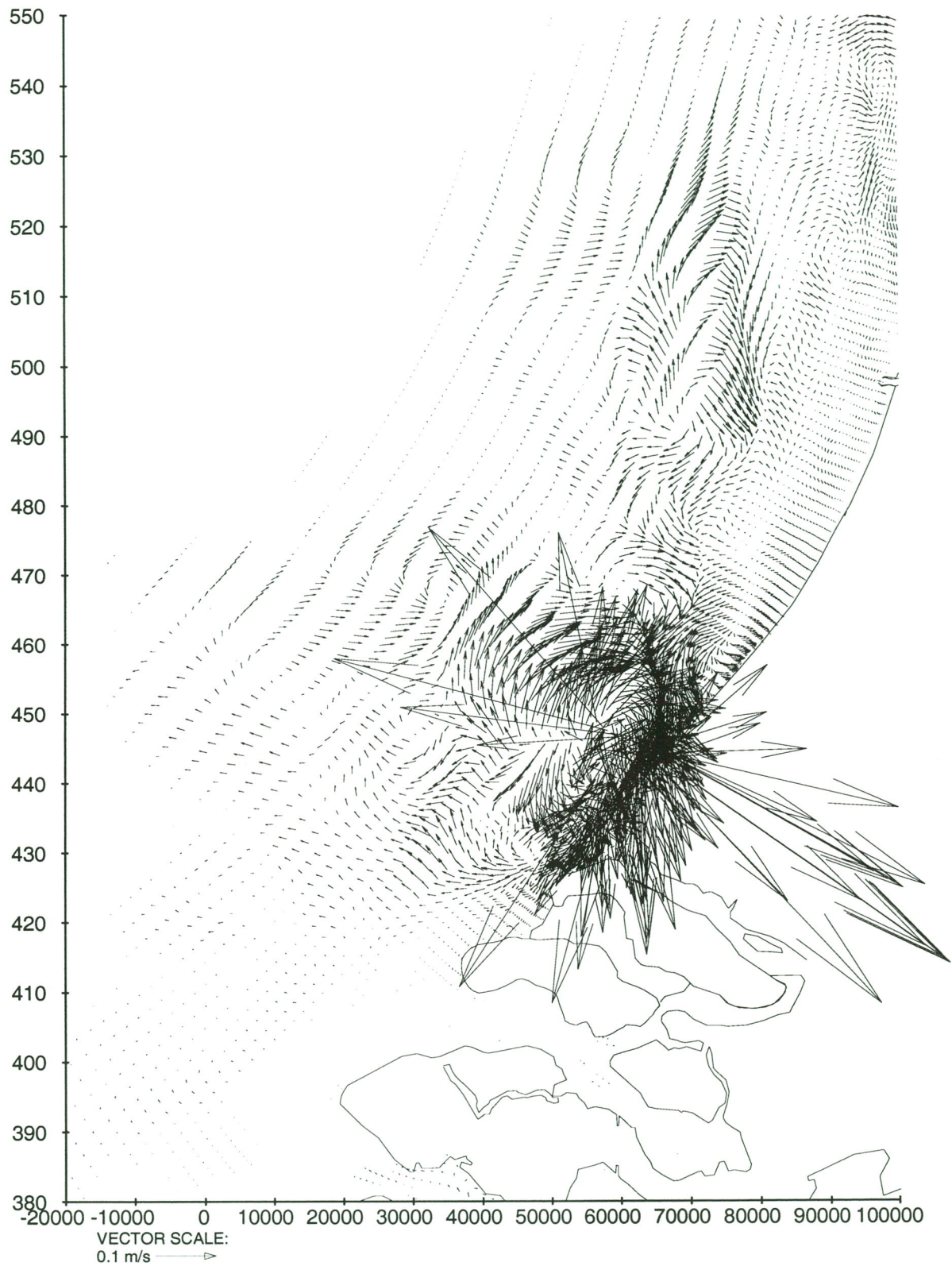
Tue Oct 9 10:55:32 MDT 2001 /u/verbeek/ocd/boon/2001.pct

Residual currents - difference G01-G02 (bottom layer)



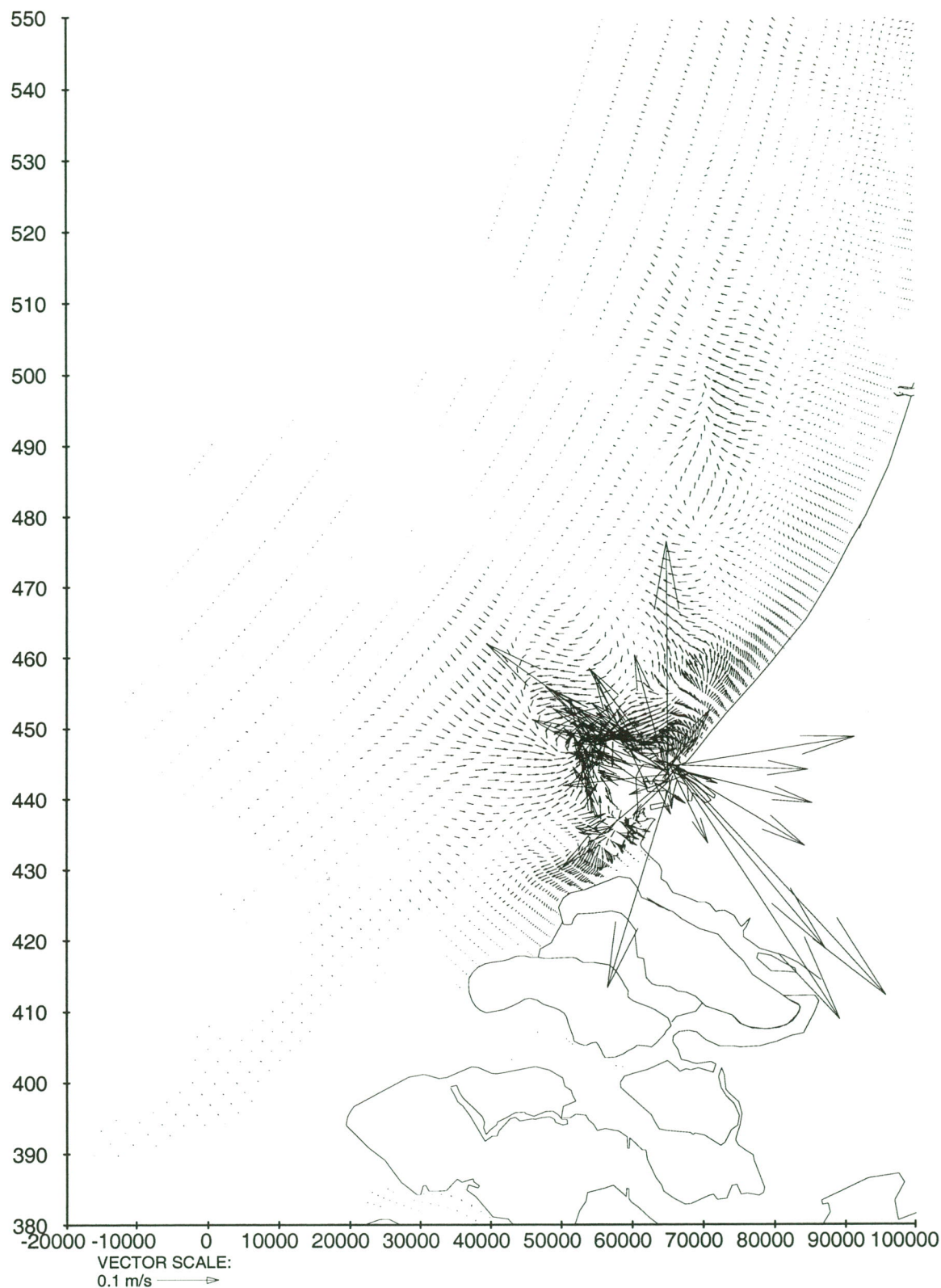
Mon Oct 8 15:04:30 MDT 2001 /u/verbeke/ocd/boon/0001.pct

Residual currents - difference G01-G02 (depth averaged)		
WL delft hydraulics	Z-3158	Fig. C-5c



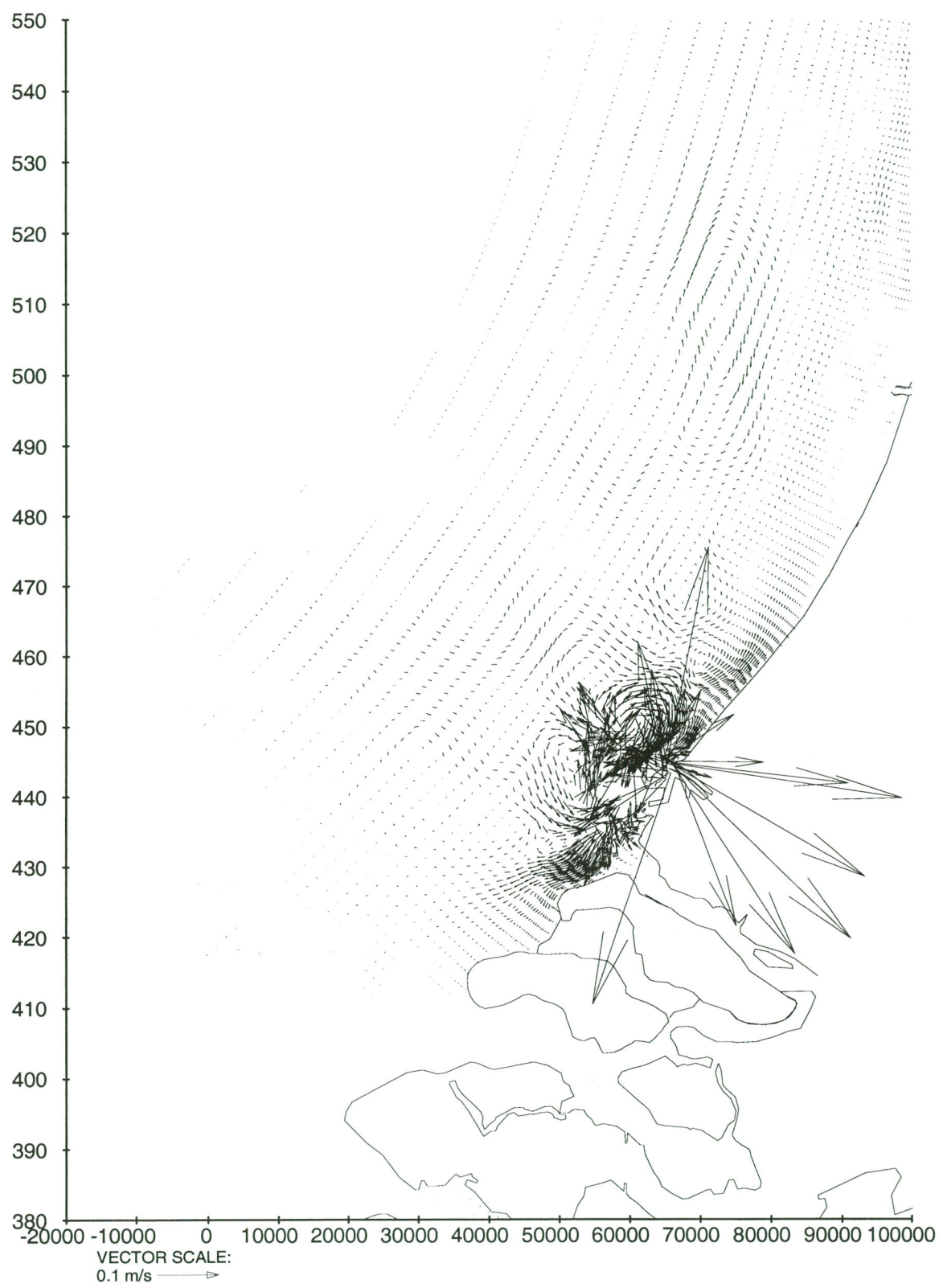
Mon Oct 8 15:18:55 MDT 2001 /u/verplaseoct08oct0103.pct

Residual currents - difference GAB-G02 (surface layer)		
WL delft hydraulics	Z-3158	Fig. C-6a



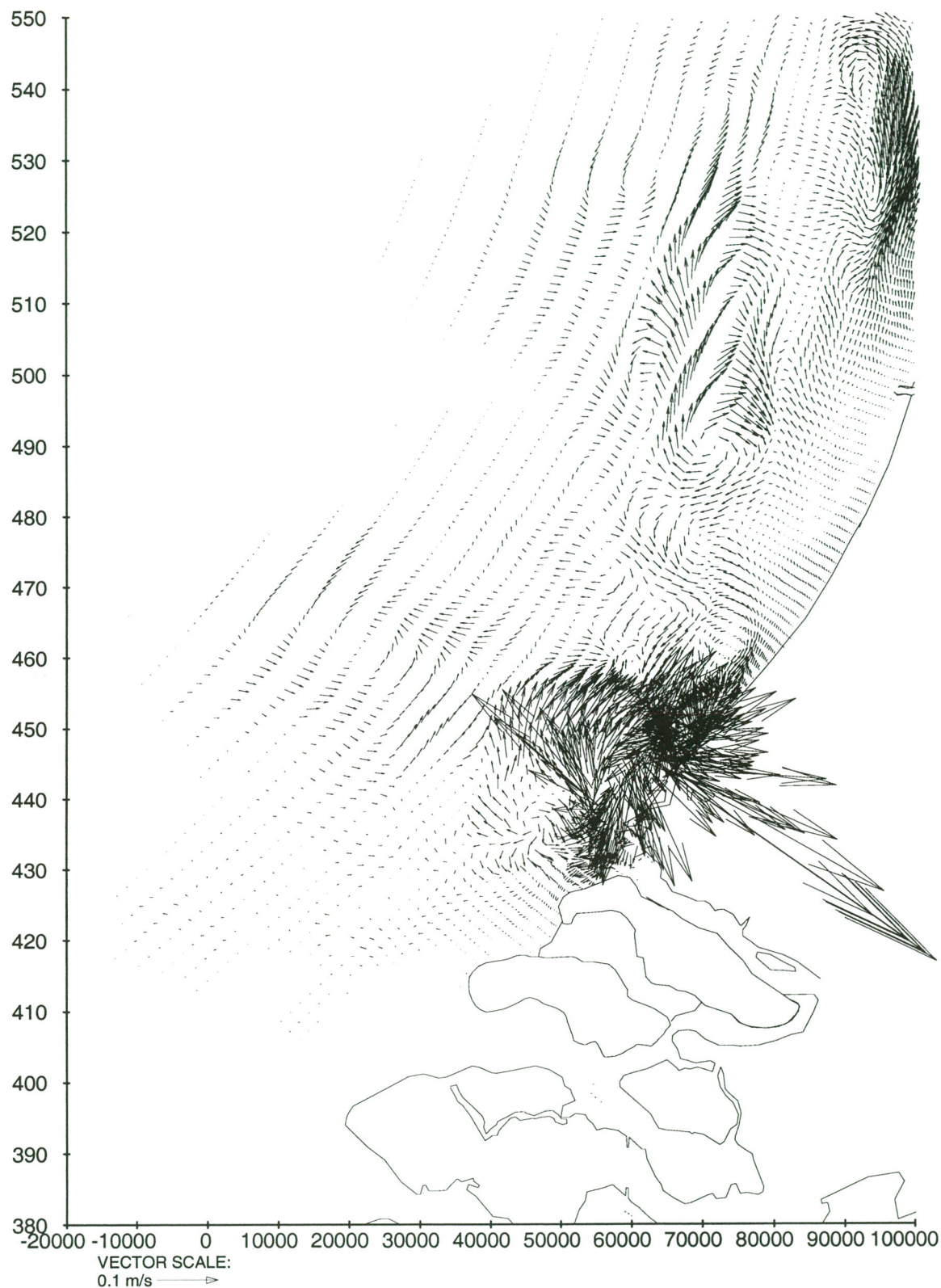
Tue Oct 9 10:55:43 MDT 2001 u:\wp\paw\c\paw\c033.pdf

Residual currents - difference GAB-G02 (bottom layer)



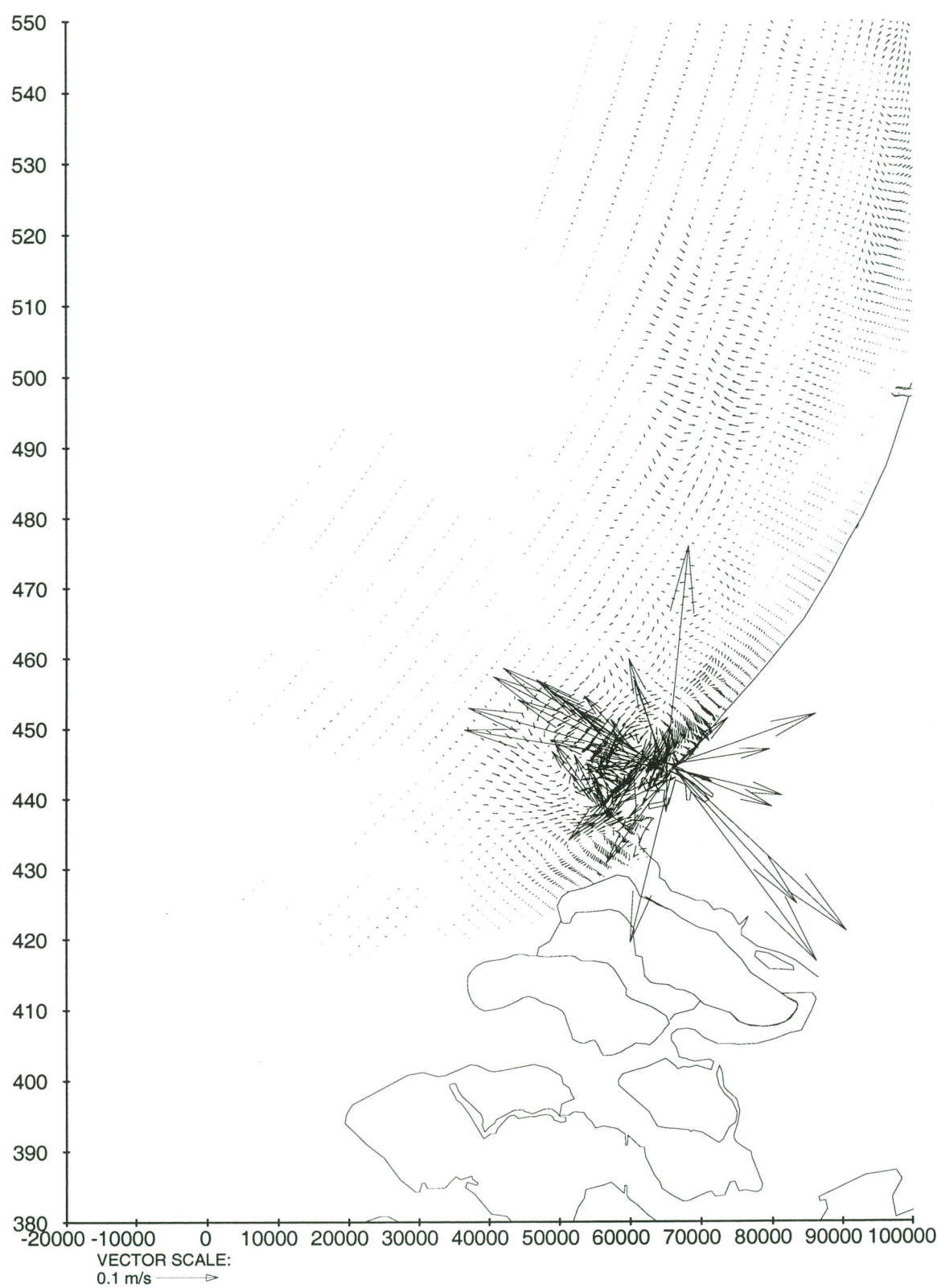
Mon Oct 8 15:04:37 MDT 2001 /u/verplew/oct10oct1003.jpg

Residual currents - difference GAB-G02 (depth averaged)		
WL delft hydraulics	Z-3158	Fig. C-6c



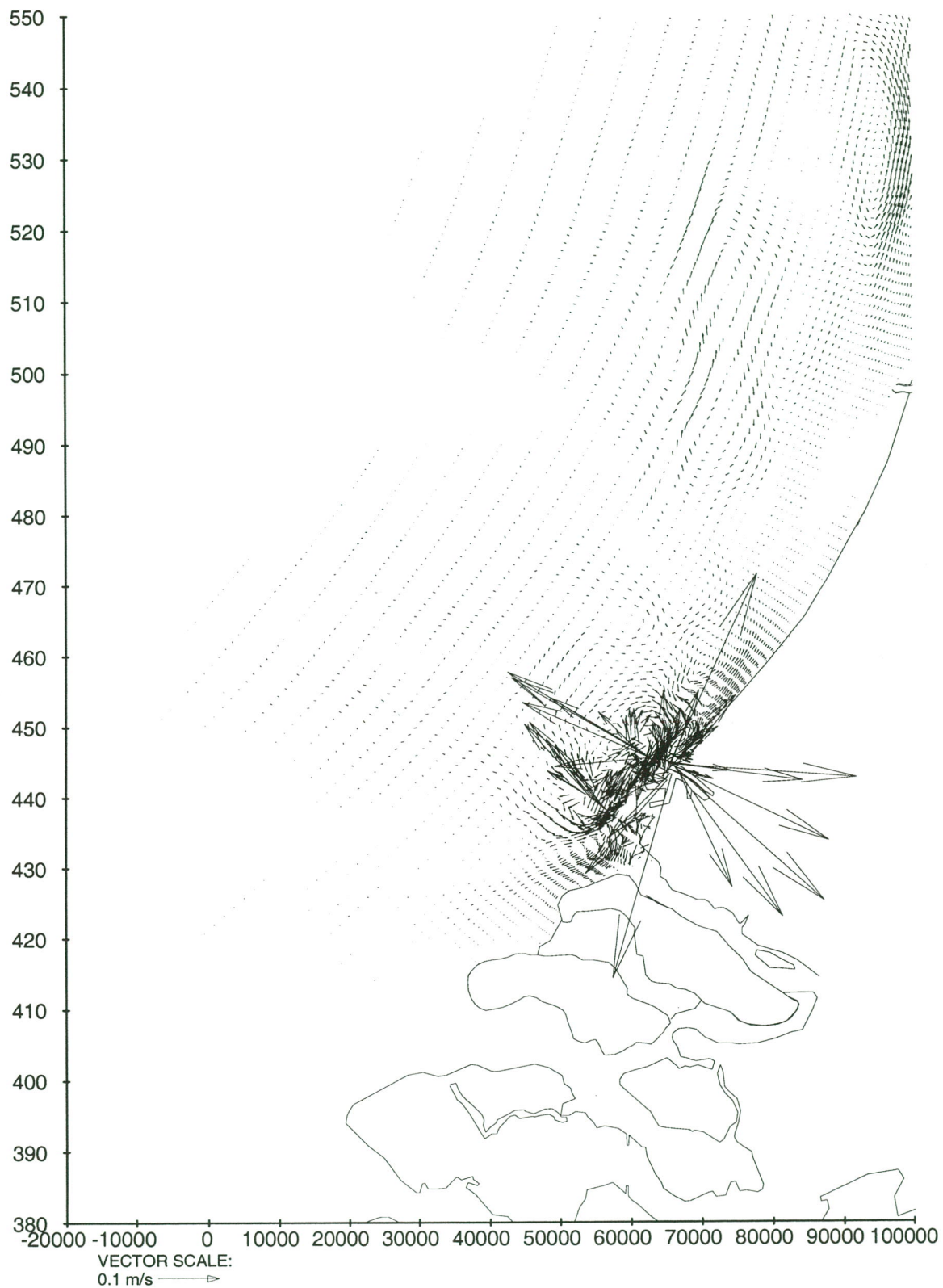
Mon Oct 8 15:19:04 MDT 2001 i:\v\p\del\del\gan01105.pdf

Residual currents - difference GAN-G02 (surface layer)



Tue Oct 9 10:55:55 MDT 2001 /u/verplee/oct10oct/2005.pct

Residual currents - difference GAN-G02 (bottom layer)		
WL delft hydraulics	Z-3158	Fig. C-7b



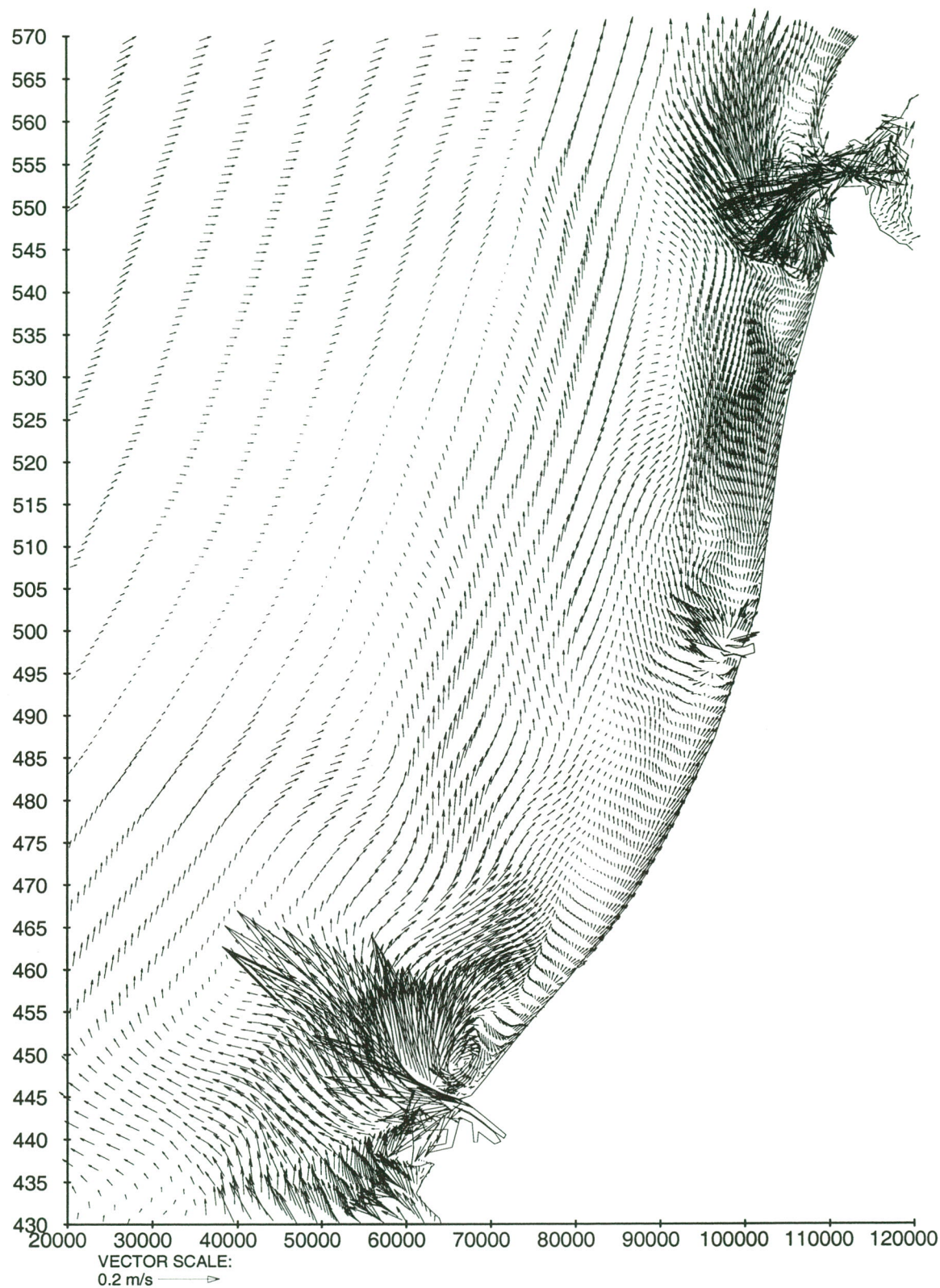
Mon Oct 8 15:04:44 MDT 2001 /u/verpae/ochoon/005.pst

Residual currents - difference GAN-G02 (depth averaged)

WL | delft hydraulics

Z-3158

Fig. C-7c



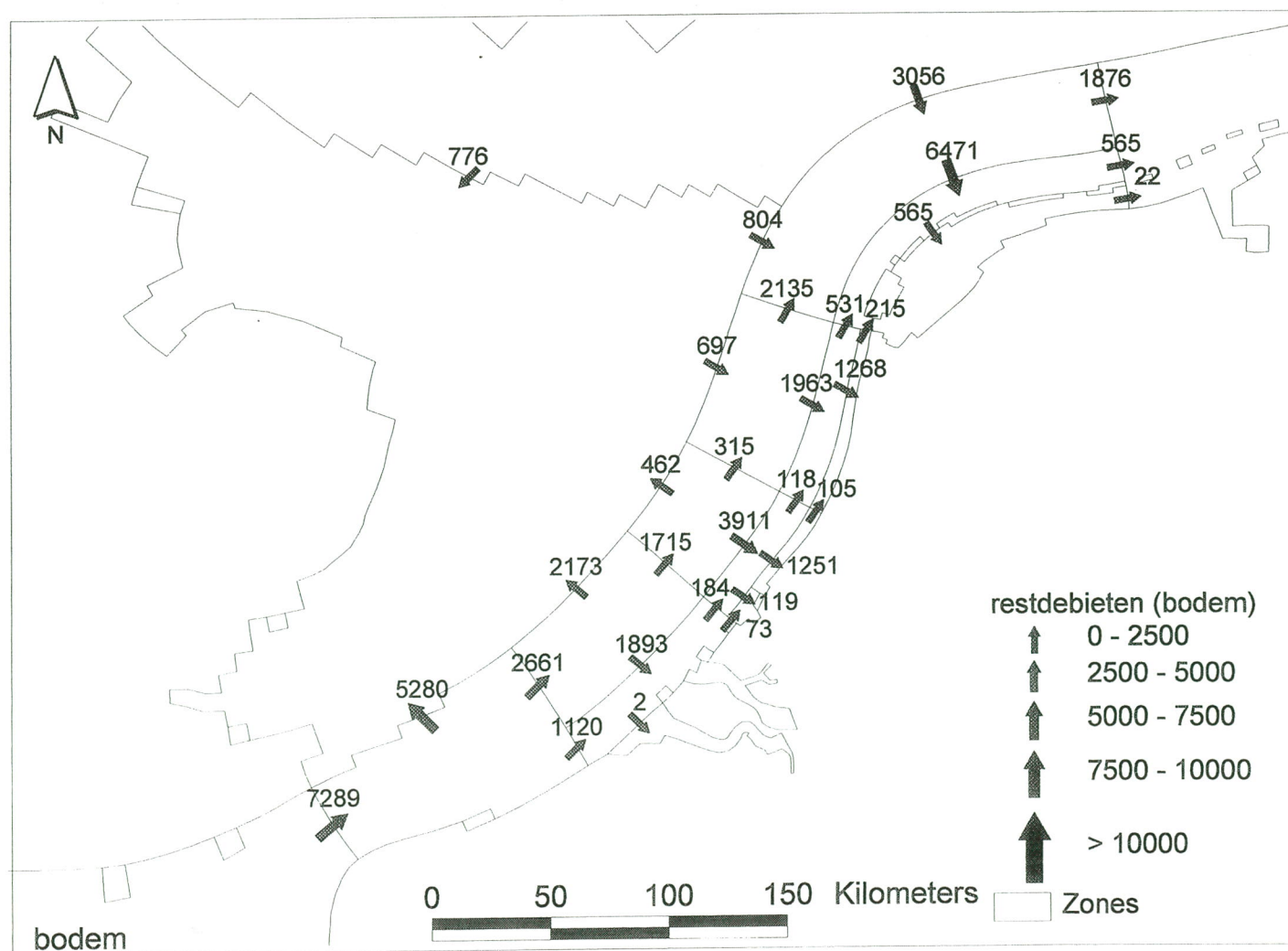
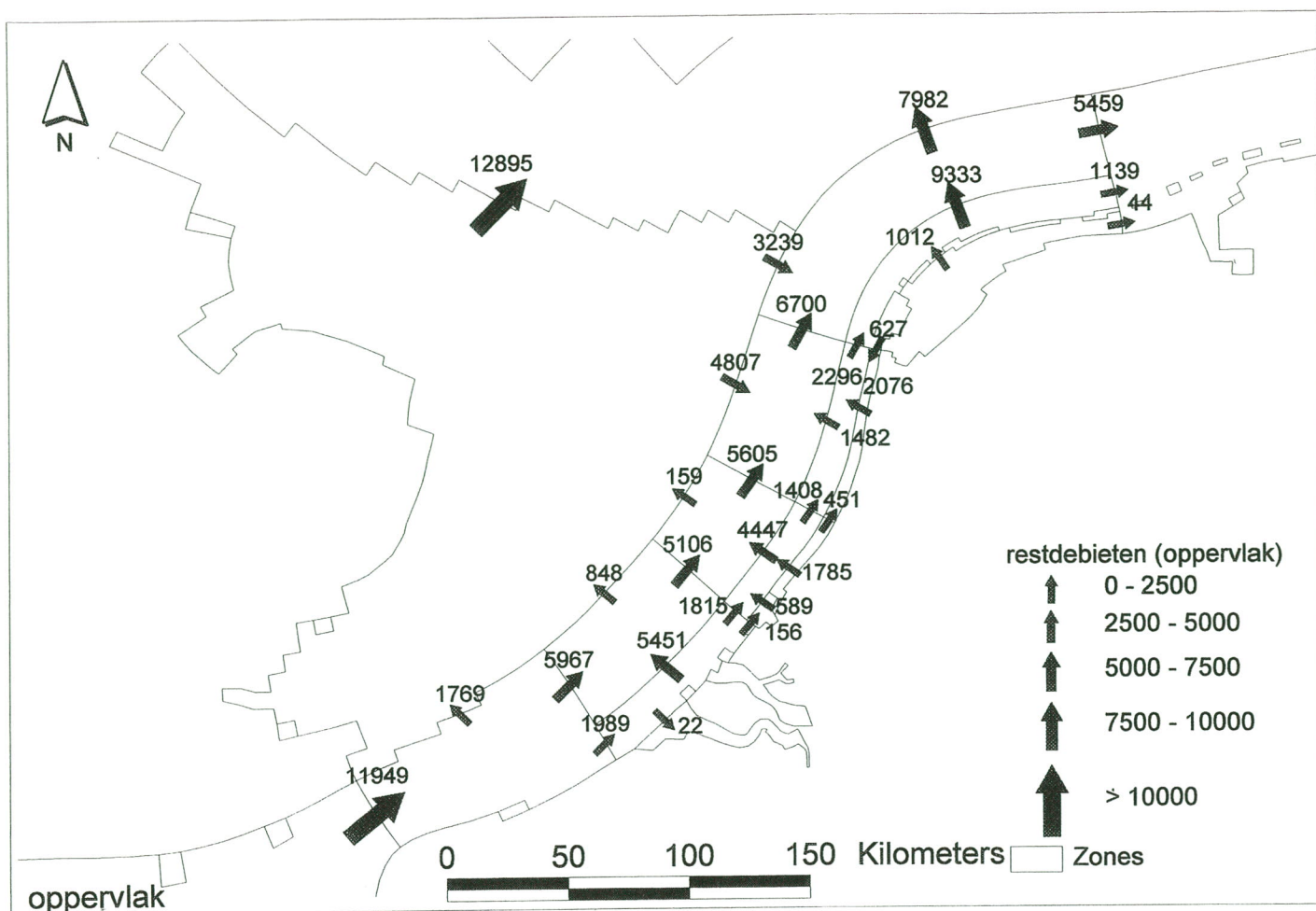
Tue Oct 9 16:45:45 MDT 2001 j:\wv\p\ac\oct\boonv1102.pct

Residual currents - G01 (surface layer)	run : g01	
WL delft hydraulics	Z-3158	Fig. C-8



Residual currents - G01 (at ca. 3m from bottom)

run : g01



D-1: Restdebieten aan oppervlak aan bodem voor G01 (m³/s)