

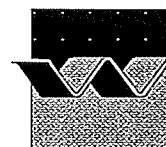
Effecten ruimtelijke aggregatie

Onderzoek naar de effecten van ruimtelijke aggregatie
op de berekening van stofverspreiding in de Westerschelde

M. Bokhorst



waterloopkundig laboratorium | WL



waterloopkundig laboratorium

OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee

TITEL: Effecten ruimtelijke aggregatie op stofverspreiding

SAMENVATTING: Bij de berekening van stoftransport wordt veelal uitgegaan van een opgelegde waterbeweging welke off-line is berekend met hydrodynamische modellen. Hierbij worden de hydrodynamische berekeningsresultaten veelal geaggregeerd in tijd en ruimte. De effecten van de ruimtelijke aggregatie op het stoftransport zijn onderzocht in relatie tot de numerieke oplosmethode van het transportmodel. Uitgangspunt waren de berekeningsresultaten van het hydrodynamische model SCALDIS400 van de Westerschelde.

Het onderzoek leidde tot de volgende conclusies en aanbevelingen:

- Verticale turbulente diffusie in combinatie met verticale schering in het horizontale snelheidsveld, is het dominante mengmechanisme in 3D transport berekeningen op basis van SCALDIS400 hydrodynamica.
- Het is zeer wel mogelijk 3D SCALDIS400 resultaten te aggregeren over de verticaal en de horizontaal zonder dat de essentie van de 3D menging wordt verloren.
- Voor geaggregeerde grids met lage resolutie in de verticaal is het aan te bevelen de flux corrected transport methode te gebruiken.

REFERENTIES: Contract RKZ-464A RAM

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
1.0	M. Bokhorst <i>MB</i>	4-12-97		R.J. Vos <i>RJV</i>	T. Schilperoort <i>TS</i>
TREFWOORDEN			INHOUD		STATUS
Westerschelde, modellering transport, ruimtelijke aggregatie hydrodynamica, numerieke methoden, Euler backward, flux corrected transport			TEKST:	10	☐ VOORLOPIG
			TABELLEN:	1	☐ CONCEPT
			FIGUREN:	36	☒ DEFINITIEF
			APPENDICES:		
			PROJECTNUMMER:	Z2353	

Inhoud

1 Inleiding	3
2 Opzet van het onderzoek.....	4
2.1 De referentieberekening	4
2.2 Verticale aggregatie	5
2.3 Horizontale aggregatie.....	5
2.4 Numerieke methoden	5
3 Resultaten.....	8
3.1 De referentieberekening	8
3.2 Verticale aggregatie	8
3.3 Horizontale aggregatie.....	9
4 Discussie.....	10
4.1 De referentie berekening	10
4.2 Verticale aggregatie	10
4.3 Horizontale aggregatie.....	10
5 Conclusies en aanbevelingen	12
6 Referenties.....	13
7 Figuren	14

I Inleiding

Bij studies naar de waterkwaliteit en ecologie in de Nederlandse kustwateren wordt door het RIKZ regelmatig gebruik gemaakt van ecologische stofstroommodellen. Het stoftransport in deze modellen wordt berekend op basis van de advectie-diffusie vergelijking waarbij het advectief transport is ontleend aan de berekeningsresultaten van hydrodynamische modellen. Veelal wordt de hydrodynamica op een fijnmaziger rooster berekend dan het stoftransport waarbij de berekeningsresultaten van het hydrodynamisch model ruimtelijk worden geaggregeerd naar een grover transportrooster. Daarnaast worden 3D hydrodynamische berekeningsresultaten veelal verticaal geaggregeerd naar een 2DH waterbeweging.

Deze ruimtelijke aggregatie filtert een deel van de fjnschalige hydrodynamische structuur uit die verantwoordelijk is voor menging. De afname van de menging door advectief transport wordt in de transportberekening gecompenseerd door extra dispersief transport toe te voegen. Afhankelijk van de gekozen numerieke oplosmethode wordt een bepaalde hoeveelheid numerieke dispersie geïntroduceerd zodat de mate waarmee extra dispersief transport moet worden toegevoegd samenhangt met de numerieke oplosmethode.

Tot nu toe is er weinig systematisch onderzoek gedaan naar de effecten van ruimtelijke aggregatie op de stofverspreiding in relatie tot de gekozen numerieke methode. Deze studie heeft als doel deze effecten te illustreren aan de hand van een voorbeeld: de Westerschelde. Voor dit watersysteem is de verspreiding van een instantane en een continue lozing berekend op basis van transportberekeningen die verschillen in de mate waarin de hydrodynamische berekeningsresultaten zijn geaggregeerd, de mate waarin dispersie is toegevoegd en de numerieke oplosmethode. Op basis van de resultaten worden conclusies en aanbevelingen geformuleerd.

Hoofdstuk 2 gaat nader in op de methodiek van het onderzoek. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de resultaten besproken. Hoofdstuk 4 geeft de discussie op basis waarvan in hoofdstuk 5 conclusies en aanbevelingen worden geformuleerd.

Het onderzoek is uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van RIKZ gedurende de periode september-november 1997 (overeenkomst RKZ-464A). De werkzaamheden werden uitgevoerd door Jan van Beek (uitvoeren berekeningen en analyse resultaten) en Marinus Bokhorst (analyse resultaten en rapportage, projectleider). Leo Postma en Robert Vos traden op als senior adviseurs. Robert Vos verzorgde tevens de interne kwaliteitscontrole. Het project is vanuit RIKZ begeleid door Roger Salden.

2 Opzet van het onderzoek

Transportmodellering in ecologische stofstroommodellen vindt plaats op basis van de advection-diffusie vergelijking waarbij advectione transporttermen veelal worden ontleend aan de berekeningsresultaten van hydrodynamische modellen. Deze resultaten worden vaak geaggregeerd in ruimte en tijd omdat anders de rekenlast te groot wordt. Hierbij wordt een deel van de kleinschalige menging uitgefilterd wat vervolgens in de transportberekening wordt gecompenseerd door diffusie toe te voegen.

De advection-diffusie vergelijking wordt numeriek opgelost waarbij verschillende methoden ter beschikking staan. Sommige numerieke oplosmethodes introduceren additionele, zogenaamde numerieke dispersie in de oplossing. De mate waarmee dit optreedt verschilt sterk per methode en is eveneens afhankelijk van de resolutie van het rekengrid en de rekentijdstap. De mate waarin door aggregatie uitgefilterde menging moet worden gecompenseerd hangt hierdoor nauw samen met de gekozen oplosmethode en de mate van aggregatie. Een probleem hierbij kan zijn dat de nauwkeurigheid van de oplossing verloren gaat.

Gegeven bovenstaande probleemstelling zijn de volgende vragen geformuleerd:

- Wat is het effect van horizontale en verticale aggregatie van hydrodynamische berekeningsresultaten op de stofverspreiding ?
- In welke mate moet additioneel dispersief transport worden ingebracht teneinde de door aggregatie uitgefilterde menging te compenseren ?
- Tot welke schaal kan ruimtelijk worden geaggregeerd zonder dat de essentie van de onderliggende hydrodynamica wordt aangetast ?
- In hoeverre wordt het antwoord op de bovenstaande vragen bepaald door de keuze van het numerieke schema ?

Aan de hand van een voorbeeldsysteem, de Westerschelde, zijn deze vragen onderzocht. Uiteraard hangt het antwoord op bovenstaande vragen nauw samen met karakteristieken van de Westerschelde zoals de bathymetrie, optredende getijstromen, verblijftijd van het zoete water, optredende verticale dichtheidsgradiënten en dergelijke.

Navolgend wordt het onderzoek uitgewerkt door een referentieberekening te definiëren (paragraaf 2.1) en achtereenvolgens de effecten van verticale aggregatie (paragraaf 2.2) en horizontale aggregatie (paragraaf 2.3) te onderzoeken in relatie tot een tweetal numerieke methoden (paragraaf 2.4).

2.1 De referentieberekening

Aan de basis van het onderzoek staat een 3D hydrodynamische berekening op het SCALDIS400 rooster van het Schelde-estuarium (Herman, P., 1995). De horizontale ruimtelijke resolutie van dit rooster is 400 bij 400 meter. Over de verticaal worden 9 equidistante sigma lagen onderscheiden. Voor een uitvoertijdstap van 5 minuten waren de resultaten voor een (bijna) cyclisch gemiddeld getij beschikbaar. Op basis van deze hydrodynamica is een 3D referentie transport berekening opgezet. Hierbij is de hydrodynamica met de koppeling SIMONA-DELWAQ (WL, 1995) met *dezelfde* ruimtelijke resolutie overgezet naar het transportmodel.

De koppeling tussen SIMONA en DELWAQ voorziet niet in de doorgifte van de berekende verticale diffusie. In de Westerschelde zorgt de turbulentie als gevolg van interactie tussen getij en bodemtopografie voor een grote verticale menging. Er treedt dan ook nauwelijks zout- en temperatuurstratificatie op. In overleg met RIKZ is besloten voor de verticale diffusie een relatief grote waarde van $10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ te kiezen.

Vervolgens is voor een continue en een instantane lozing de verspreiding berekend. De lozingen zijn gelokaliseerd in het midden van het estuarium. De continue lozing betreft een constante aanvoer van $1 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ gedurende de gehele berekening. De instantane lozing betreft een aanvoer van $10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ gedurende de eerste 5 minuten van de berekening. Over de verticaal zijn de lozingen over de lagen verdeeld door de aanvoerflux te delen door het aantal lagen. Er is gerekend met een tijdstap van 30 seconden. In de horizontaal is $1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ additionele dispersie toegevoegd.

2.2 Verticale aggregatie

De 3D hydrodynamica is over de verticaal geaggregeerd naar een 2DH transportberekening. De verschillen met de referentieberekening geven inzicht in de mate waarin de verticale structuur van het snelheidsveld de menging bepaald. Vervolgens is gekeken in welke mate additionele horizontale dispersie moet worden ingebracht teneinde de (dieptegemiddelde) resultaten van de 3D referentieberekening te benaderen.

2.3 Horizontale aggregatie

De verticaal geaggregeerde 2DH resultaten zijn verder horizontaal geaggregeerd waarbij de resolutie stapsgewijs is verkleind door achtereenvolgens regelmatig 2 bij 2, 4 bij 4 en 8 bij 8 samen te nemen. Voor iedere resolutie is een verspreidingsberekening uitgevoerd.

Een grovere ruimtelijke resolutie leidt - afhankelijk van het numerieke schema - tot een grotere additionele menging als gevolg van numerieke dispersie. De fysische menging daarentegen neemt af vanwege het feit dat op een grover rooster minder wervels (= menging) gerepresenteerd worden. Er is gekeken of en zo ja in welke mate additionele dispersie moet worden ingebracht teneinde de resultaten van de referentieberekening te benaderen.

Op een zeker moment zal de additionele menging als gevolg van numerieke effecten zo groot worden dat het niet meer mogelijk is de referentieberekening te reproduceren. Er is vastgesteld bij welke ruimtelijke resolutie dit het geval is.

2.4 Numerieke methoden

Bovenstaande berekeningen zijn uitgevoerd met DELWAQ, een softwarepakket waarmee op basis van de advectie-diffusie vergelijking het transport van in water opgeloste en gesuspenderde stoffen kan worden berekend. DELWAQ kent een gridsysteem gebaseerd op uitwisselingen tussen homogeen gemengde segmenten. Voor iedere uitwisseling tussen twee segmenten is het uitwisselingsoppervlak, de lengte tussen het middelpunt van de segmenten, het optredende debiet en een dispersiecoëfficiënt bekend. Voor ieder segment is het volume en de daarin aanwezige massa bekend.

Binnen DELWAQ zijn verschillende numerieke oplosmethoden geïmplementeerd. Er is gekozen voor twee numerieke methoden: een methode die relatief veel en een methode die relatief weinig numerieke diffusie in de horizontaal introduceert. Deze betreffen:

- Horizontale richting : Expliciet, Euler backward
Verticale richting : Impliciet, centrale discretisatie
- Horizontale richting : Flux corrected transport
Verticale richting : Impliciet, centrale discretisatie

De Euler backward methode berekend het transport volgens:

$$C_i^{t+\Delta t} = \frac{M_i^t + \left\{ \sum_{j=1}^n (Q_{j \rightarrow i}^t \cdot C_j^t - Q_{i \rightarrow j}^t \cdot C_i^t + \frac{D_{i,j}^t \cdot A_{i,j}^t}{\Delta l_{i,j}} \cdot (C_j^t - C_i^t)) \right\} \cdot \Delta t}{V_i^{t+\Delta t}}$$

Waarin:

t	tijdstip
Δt	tijdstap
M_i	massa in segment i
$Q_{j \rightarrow i}$	debiet van segment j naar i wanneer deze positief is, (ingeval van een negatief debiet: $Q_{j \rightarrow i} = 0$)
$Q_{i \rightarrow j}$	debiet van segment i naar j wanneer deze positief is, (ingeval van een negatief debiet: $Q_{i \rightarrow j} = 0$)
C_i	: concentratie in segment i
$A_{i,j}$	uitwisselingsoppervlak tussen segment i en j
$\Delta l_{i,j}$	: lengte tussen het middelpunt van segment i en j
$D_{i,j}$	: dispersiecoëfficiënt tussen i en j
Σ	: sommatie over de uitwisselingsoppervlakken tussen segmenten i en alle buursegmenten

Deze methode introduceert relatief veel numerieke diffusie in de oplossing. Dit fenomeen zal aan de hand van een voorbeeld worden toegelicht.

Stel we willen 1DH advectief transport met een debiet van $\Delta t / 2\Delta x$ modelleren waarbij de bovenstroomse randvoorwaarde gelijk is aan $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ en initieel de concentratie gelijk is aan $0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$. Onderstaande tabel geeft de theoretische concentratie en de op basis van Euler backward berekende concentraties na twee tijdstappen. Het blijkt dat Euler backward extra transport introduceert: de massa wordt “uitgesmeerd” over twee segmenten.

Segment	C_t	$C_{t+2\Delta t}$ theoretisch	$C_{t+2\Delta t}$ berekend	afwijking
i	0	1	0.75	-0.25
i+1	0	0	0.25	0.25

Dit artificiële additionele transport kan worden uitgedrukt in een diffusiecoëfficiënt, de zogenaamde numerieke diffusie:

$$D_{num} = \frac{v \cdot \Delta x - v^2 \cdot \Delta t}{2}$$

Waarin:

D_{num}	=	Numerieke diffusie	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
v	=	Stroomsnelheid	$[m \cdot s^{-1}]$
Δt	=	Tijdstap	$[s]$
Δx	=	Maaswijdte	$[m]$

De flux corrected transport methode introduceert veel minder additioneel transport. Deze methode voegt antidiffusie toe op basis van bovenstaande formule. Voor details wordt verwezen naar (WL, 1990) en (Boris, J.P. en Book, D.L., 1973).

3 Resultaten

Navolgend worden de resultaten besproken aan de hand van contourplaatjes die de berekende ruimtelijke gradiënten visualiseren. Voor alle figuren geldt dat de verspreiding van de continue lozing na 14 dagen en de instantane lozing na 4 dagen wordt gepresenteerd. De resultaten van de 3D berekeningen zijn over de verticaal gemiddeld.

3.1 De referentieberekening

Continue lozing

Figuur 1 en Figuur 5 geven de verspreiding van de continue lozing zonder dat de 3D hydrodynamica is geaggregeerd voor respectievelijk flux corrected transport en Euler backward (over de verticaal gemiddeld). De resultaten vertonen een sterke gelijkenis.

Figuur 35 en Figuur 36 geven de verspreiding wanneer $100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ additionele dispersie wordt toegevoegd. De resultaten zijn nauwelijks anders in vergelijking tot de berekeningen zonder additionele dispersie.

Instantane lozing

Figuur 9 en Figuur 13 geven de verspreiding van de instantane lozing zonder aggregatie van de 3D hydrodynamica voor respectievelijk flux corrected transport en Euler backward voor negen lagen over de verticaal gemiddeld. Hier vertonen de berekende concentratiepatronen een iets minder sterke overeenkomst. Voor Euler backward zijn de berekende gradiënten wat vlakker en wordt een lager maximum berekend.

3.2 Verticale aggregatie

Continue lozing

Figuur 2 geeft voor flux corrected transport de berekende verspreiding op basis van over de verticaal geaggregeerde hydrodynamica. Het verschil met Figuur 1 laat zien dat door de aggregatie over de verticaal een groot deel van de menging is weggevallen¹. De 2D geaggregeerde berekening geeft een hogere maximum concentratie, het verloop van de gradiënten is steiler en de concentratiepatronen vertonen een geaccidenteerder verloop.

Figuur 6 geeft voor Euler backward de berekende verspreiding op basis van over de verticaal geaggregeerde hydrodynamica. Ook hier is door de aggregatie over de verticaal een deel van de menging weggevallen. Het verschil is echter minder geprononceerd dan bij flux corrected transport.

¹ Een vergelijking tussen Figuur 1 en Figuur 2 zou de suggestie kunnen wekken dat de totale massa in het systeem verschillend is. Dit is niet het geval.

Figuur 3 en Figuur 4 geven voor flux corrected transport het resultaat wanneer respectievelijk $200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ en $500 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ dispersie wordt toegevoegd. Bij $200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ wordt de 3D verspreiding goed benaderd. Bij $500 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ is het transport in zowel de lengte- als de dwarsrichting te groot.

Voor Euler backward blijkt dat minder diffusie moet worden toegevoegd om de 3D verspreiding te benaderen: $100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (Figuur 7). Toevoeging van $500 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ leidt eveneens tot een te grote uitvlakking van de gradiënt (Figuur 8).

Instantane lozing

De resultaten voor een instantane lozing vertonen dezelfde effecten. In vergelijking tot de referentieberekeningen is er bij verticale aggregatie minder menging. (FCT: Figuur 9 versus Figuur 10, Euler: Figuur 13 versus Figuur 14). Toevoeging van dezelfde hoeveelheden dispersie geeft een minder goede benadering van de referentieberekening (FCT: Figuur 11. Euler: Figuur 15). Toevoeging van $500 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ geeft voor beide rekenschema's een overschatting van de menging (FCT: Figuur 12, Euler: Figuur 16).

3.3 Horizontale aggregatie

Continue lozing

Figuur 17 t/m Figuur 22 geven de verspreiding van de continue lozing wanneer na verticale aggregatie tot één laag tevens de horizontaal 2 bij 2, 4 bij 4 en 8 bij 8 wordt samengenomen. Er is geen dispersie toegevoegd. Voor flux corrected transport wordt in grote lijnen dezelfde verspreiding berekend in vergelijking tot de berekening waarbij de horizontaal niet wordt geaggregeerd (Figuur 2), alleen de resolutie wordt grover. Voor Euler backward wordt bij verdere horizontale aggregatie een toenemende verspreiding berekend. Bij 2 bij 2 aggregatie komt de verspreiding redelijk overeen met de 3D referentieberekening (Figuur 5). Bij 4 bij 4 en 8 bij 8 aggregatie is de verspreiding groter dan in de 3D referentieberekening.

Voor flux corrected transport is vervolgens het transport berekend met $200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ additionele horizontale dispersie (Figuur 29 t/m Figuur 31). Voor alle drie de aggregaties komt het resultaat redelijk overeen met de referentieberekening (Figuur 1).

Instantane lozing

Figuur 23 t/m Figuur 28 geven de verspreiding van de instantane lozing bij horizontale aggregatie tot één laag wanneer na verticale aggregatie tevens de horizontaal 2 bij 2, 4 bij 4 en 8 bij 8 wordt samengenomen. Uit de figuren blijkt dat bij een instantane lozing in grote lijnen dezelfde effecten optreden als voor de continue lozing.

Voor flux corrected transport is vervolgens het transport berekend met $200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ additionele horizontale dispersie (Figuur 32 t/m Figuur 34). Voor de 2 bij 2 en 4 bij 4 aggregatie komt het resultaat redelijk overeen met de referentieberekening (Figuur 5). De 8 bij 8 aggregatie geeft teveel horizontale menging.

4 Discussie

4.1 De referentie berekening

Bij 1 op 1 koppeling verschillen de berekende concentratiepatronen van een continue lozing voor Euler backward en flux corrected transport nauwelijks. De twee schema's verschillen echter sterk in de mate waarmee in de horizontaal numerieke diffusie aan de oplossing wordt toegevoegd. De Euler backward methode is een eerste orde methode met veel numerieke diffusie. De flux corrected transport methode voegt antidiffusie toe aan de eerste orde oplossing op basis van een benadering van de optredende numerieke dispersie. Deze kan gegeven de sterk variërende stroomsnelheden in tijd en ruimte natuurlijk sterk verschillen.

De maaswijdte van het SCALDIS rekengrid bedraagt 400 meter. De tijdstap van het transportmodel was 30 seconden. De stroomsnelheid varieert over de verticaal en met het in- en uitgaande tij. De gemiddelde horizontale snelheid bij vloed is geschat op $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dit levert voor Euler backward een numerieke dispersie van ca. $100 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$. Deze numerieke dispersie wordt bij de flux corrected methode gecompenseerd met een anti-diffusie term van ongeveer dezelfde grootte.

Wanneer de geschatte gemiddelde correctie van $100 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ wordt toegevoegd aan de 3D referentie berekening op basis van flux corrected transport blijkt dat nog steeds nagenoeg dezelfde concentratiepatronen worden berekend (Vergelijk Figuur 1 met Figuur 35). Op basis van dit resultaat kan worden geconcludeerd dat het horizontale diffusieve transport ondergeschikt is aan het transport door verticale turbulente diffusie in combinatie met verticale schering in het snelheidsveld. Hieruit volgt dat dat flux corrected transport voor deze berekening weinig meerwaarde heeft ten opzichte van Euler backward.

4.2 Verticale aggregatie

Wanneer het 3D resultaat vervolgens verticaal wordt geaggregeerd wordt de menging door verticale turbulente diffusie in combinatie met verticale schering in het snelheidsveld volledig uitgefilterd. De berekeningsresultaten illustreren dit overduidelijk (Figuur 2 en Figuur 6).

De berekening op basis van Euler backward laat een grotere horizontale verspreiding zien dan die op basis van flux corrected transport. Dit effect valt te wijten aan de grotere numerieke dispersie van Euler backward. Hierdoor moet voor flux corrected transport meer additionele dispersie worden toegevoegd om het verlies aan menging te compenseren. Het verschil van $100 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ komt goed overeen met de geschatte numerieke dispersie voor de Euler backward methode.

4.3 Horizontale aggregatie

Bij verdere horizontale aggregatie neemt voor Euler backward de numerieke diffusie toe, waardoor een steeds grotere verspreiding wordt berekend (Figuur 20 t/m Figuur 22). Uit het voorgaande bleek dat door toevoeging van $100 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ dispersie de menging van de 3D referentieberekening wordt gecompenseerd wanneer de horizontaal niet wordt geaggregeerd.

De numerieke dispersie bij Euler backward voor een 400 bij 400 meter grid wordt geschat op $100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, wat inclusief de compensatie van $100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ voor het uitfilteren van 3D menging het totaal op $200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ brengt. Gegeven een numerieke dispersie van ca. $200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ bij 2 bij 2 aggregatie (800 bij 800 meter), ligt het in de lijn der verwachting dat eenzelfde overeenkomst met de 3D referentieberekening wordt berekend. Dit is inderdaad het geval, de numerieke dispersie compenseert de uitgefilterde 3D menging (Figuur 20). Bij verdere aggregatie wordt de numerieke dispersie zo groot dat de verspreiding wordt overschat (Figuur 21 en Figuur 22).

De flux corrected transport methode corrigeert de optredende numerieke dispersie door antidiffusie toe te voegen. We zien dan ook dat bij verdergaande aggregatie steeds eenzelfde verspreiding wordt berekend (Figuur 17 t/m Figuur 19). De resolutie wordt (uiteraard) grover. Toevoeging van $200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ dispersie als compensatie voor het verlies aan menging door verticale aggregatie, geeft voor alle drie de aggregaties een goede overeenkomst met de referentieberekening (vergelijk Figuur 1 met Figuur 29 t/m Figuur 31).

5 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het voorgaande kunnen de volgende conclusies en aanbevelingen worden geformuleerd:

- Verticale turbulente diffusie in combinatie met verticale schering in het horizontale snelheidsveld, is het dominante mengmechanisme in 3D transport berekeningen op basis van SCALDIS400 hydrodynamica.
- Het is zeer wel mogelijk 3D SCALDIS400 resultaten te aggregeren over de verticaal en de horizontaal zonder dat de essentie van de 3D menging wordt verloren.
- Wanneer niet of alleen over de verticaal wordt geaggregeerd kan zowel met Euler backward als flux corrected transport de 3D menging worden beschreven.
- Wanneer vervolgens horizontaal wordt geaggregeerd wordt bij Euler backward de menging al snel overschat door een snelle toename van de numerieke diffusie (vanaf een resolutie van 800 bij 800 meter).
- Bij de flux corrected transport methode is dit niet het geval, er kon naar hele lage resoluties worden geaggregeerd (3,2 bij 3,2 km). Dus voor geaggregeerde grids met lage resolutie in de verticaal is het aan te bevelen de flux corrected transport methode te gebruiken.

Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden zijn onvolkomenheden in de aangeleverde hydrodynamica, de SIMONA koppelingsprogrammatuur en het pakket DIDO gesignaleerd. Deze hebben de voortgang van het project vertraagd. Om dit in de toekomst te voorkomen wordt aanbevolen maatregelen te treffen voor de volgende zaken:

- In een dedicated versie van het koppelingsprogramma is een algoritme ingebouwd wat de uitwisselingsoppervlakken tussen de DELWAQ segmenten berekend op basis van momentane SIMONA uitvoer van WAQUA. De geïntegreerde SIMONA uitvoer van WAQUA was niet correct.
- Op basis van de SIMONA uitvoer berekende het koppelingsprogramma negatieve volumina. De segmenten waarvoor dit optrad zijn tijdens dit onderzoek inactief gemaakt.
- Om de flux corrected transport methode te kunnen gebruiken moeten niet alleen de 'van' en 'naar' pointers bekend zijn, maar ook de 'van -1' en 'naar +1' pointers. Wanneer in de horizontaal regelmatig wordt geaggregeerd voorziet de koppeling niet in een algoritme die deze 'van - 1' en 'naar +1' pointers vaststelt. Deze zijn middels een naverwerkingsprogramma vastgesteld.
- De visuele presentatie van de bodemligging wordt door DIDO niet goed weergegeven. Met name bij het opzetten van een onregelmatige aggregatie is het van groot belang deze te kennen.

6 Referenties

Boris, J.P. en Book, D.L., 1973

SHASTA, *A fluid transport algorithm that works.*

Journal of Computational Physics, vol. 11, no. 1 pp. 38-69.

Herman, P., 1995

BEON *habitat project: MICRO-MACRO. Een onderzoek naar de relatie tussen hydrodynamische factoren en kleinschalige verspreiding van macro-benthos. in samenwerking met NIOO en RIKZ.*

WL rapport, Z988/Z943.

RIKZ, 1992

WAQUA *user guide (version 8.21).*

SIMONA rapport, 92-10.

WL, 1990

DELWAQ *technical reference manual.*

WL rapport, maart 1990.

WL, 1995a

DELWAQ *user manual (version 4.2).*

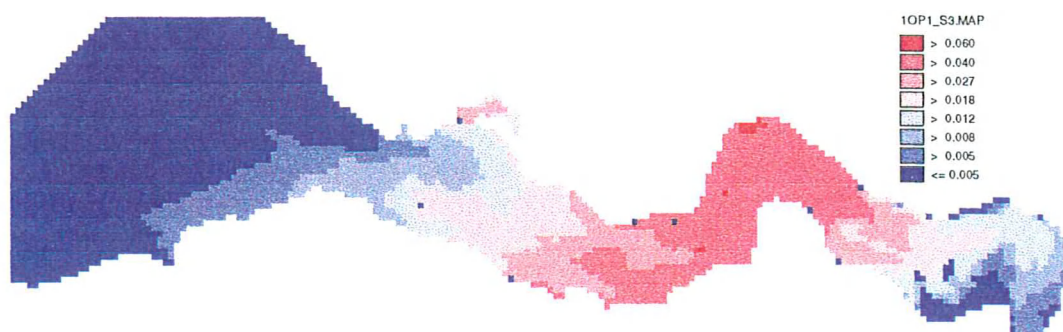
WL rapport, november 1995.

WL, 1995b

DIDO *coupling program (version 3.2).*

WL rapport, november 1996.

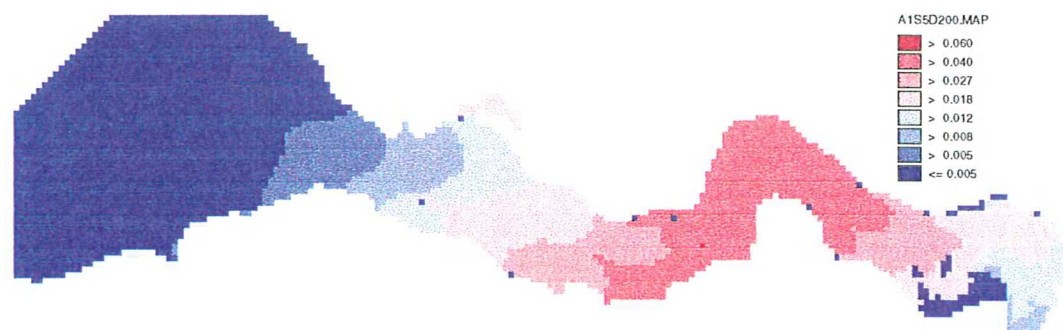
7 Figuren



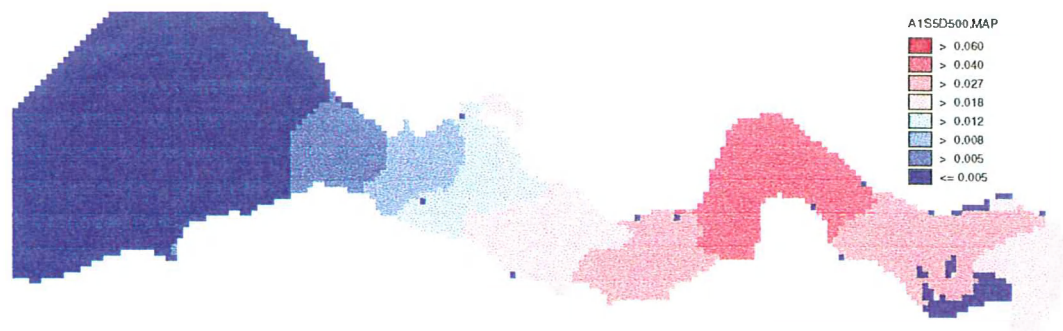
Figuur 1 3D verspreiding continue lozing na 14 dagen, resultaat over de verticaal gemiddeld.
(geen aggregatie, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



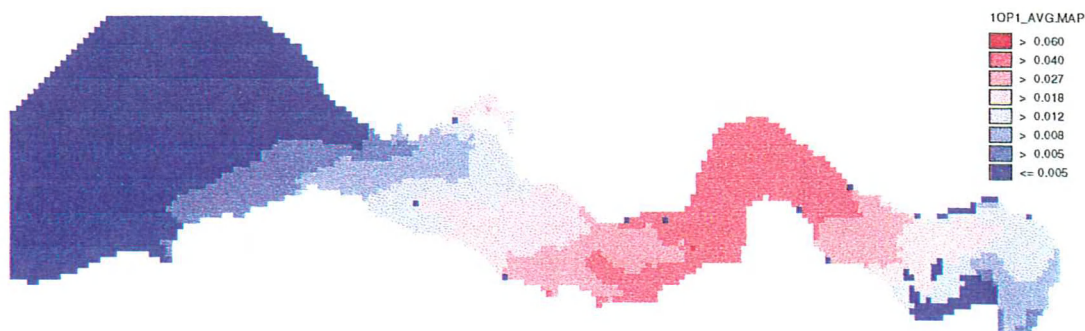
Figuur 2 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 3 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



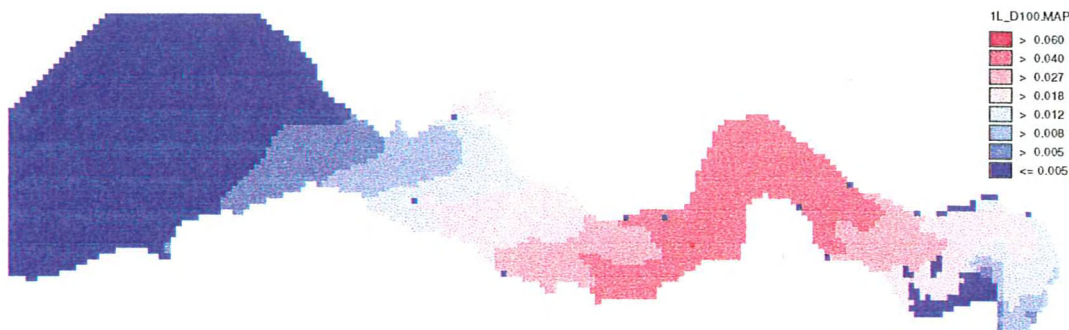
Figuur 4 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 500 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 5 3D verspreiding continue lozing na 14 dagen, resultaat over de verticaal gemiddeld.
(geen aggregatie, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



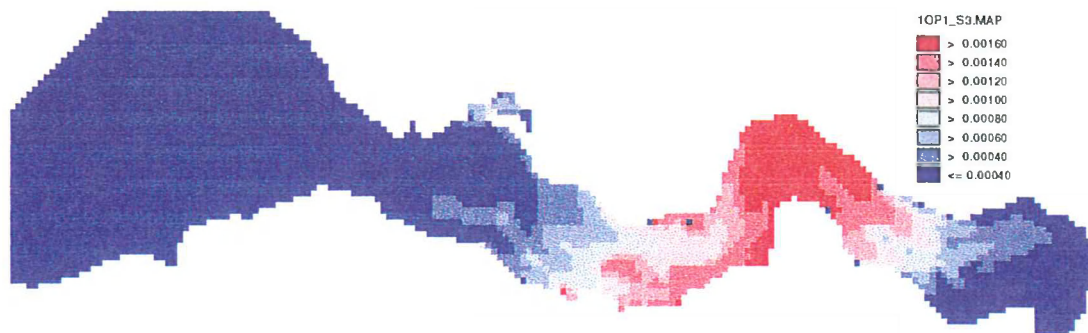
Figuur 6 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



Figuur 7 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



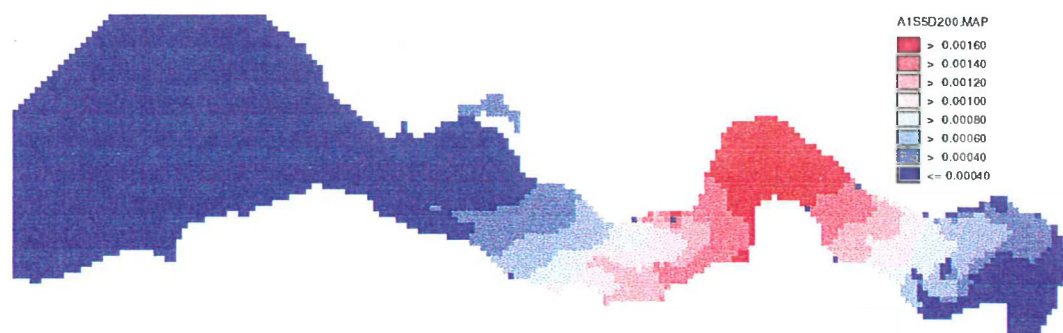
Figuur 8 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 500 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



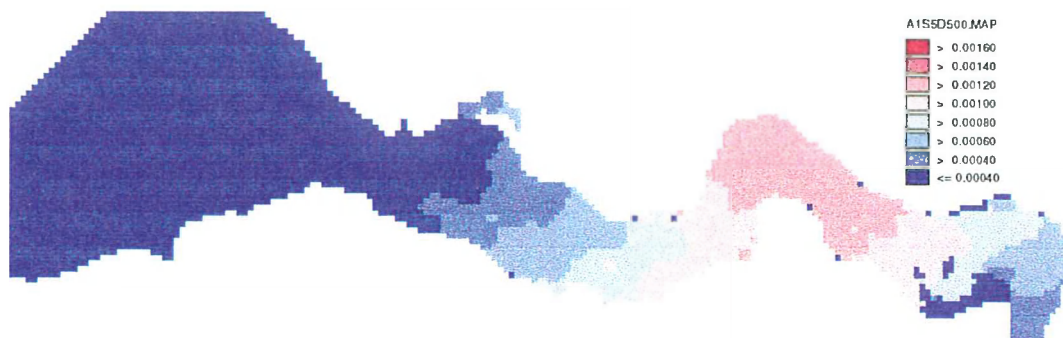
Figuur 9 3D verspreiding instantane lozing na 4 dagen, resultaat over de verticaal gemiddeld.
(Geen aggregatie, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 10 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



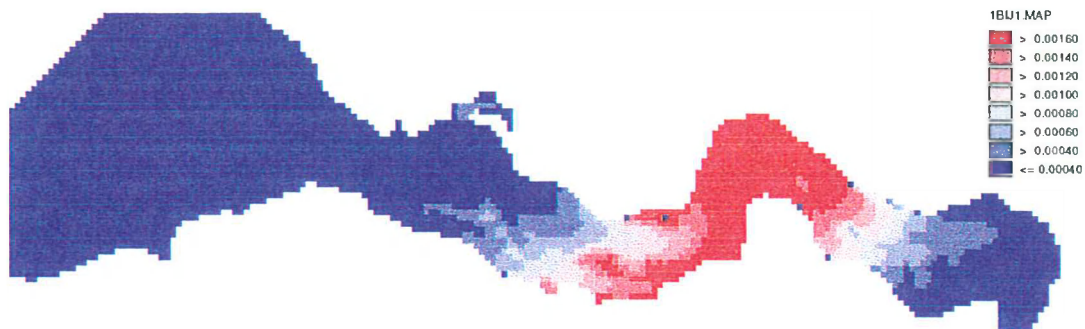
Figuur 11 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 12 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 500 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



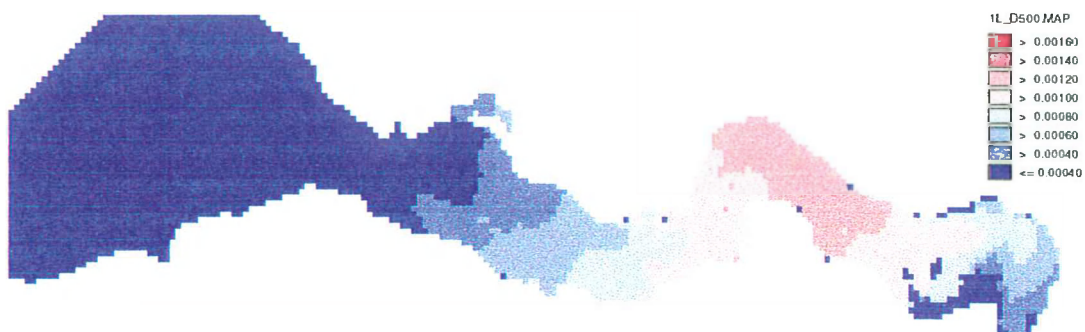
Figuur 13 3D verspreiding instantane lozing na 4 dagen, resultaat over de verticaal gemiddeld.
(Geen aggregatie, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



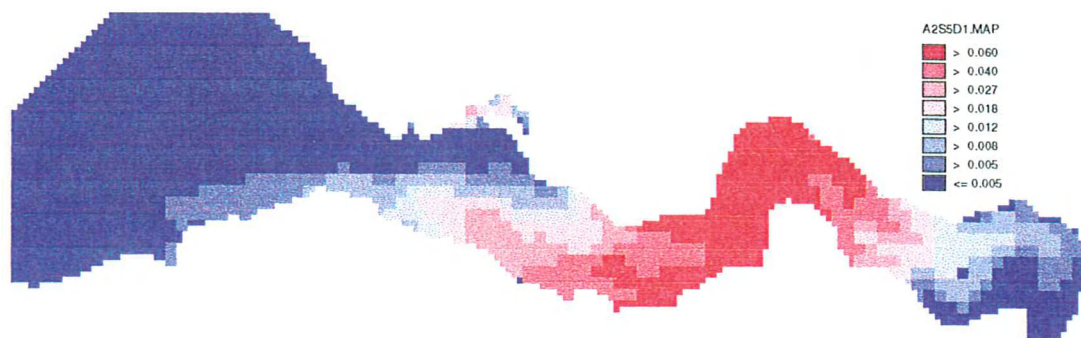
Figuur 14 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



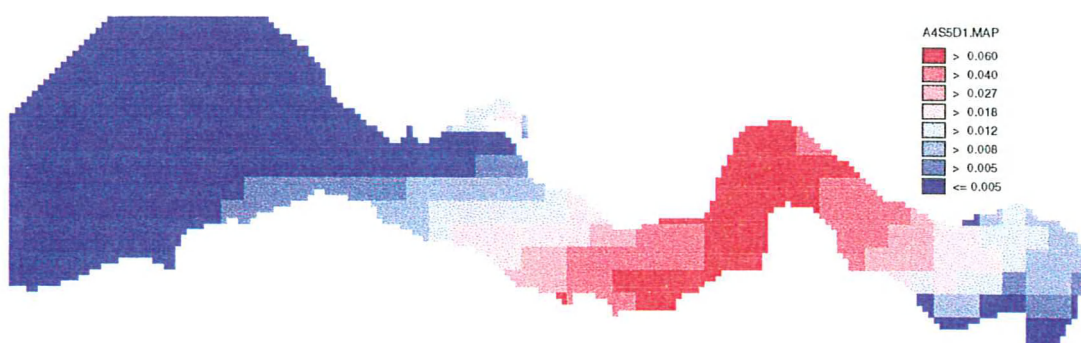
Figuur 15 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



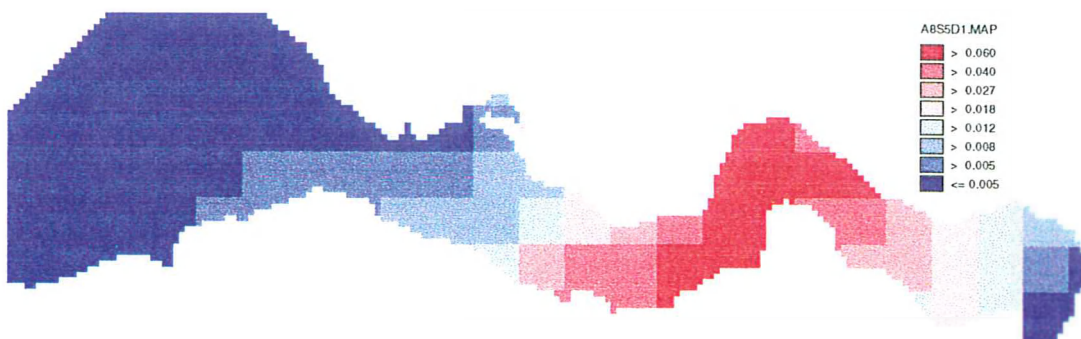
Figuur 16 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen.
(horizontaal geen aggregatie, $D = 500 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



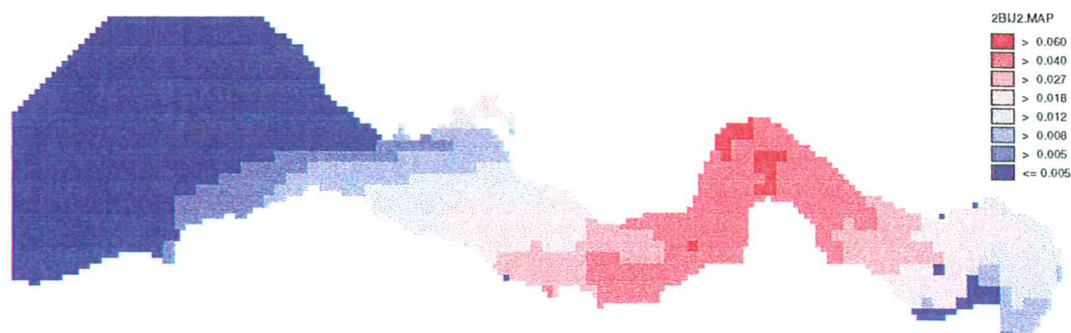
Figuur 17 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 2 bij 2 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



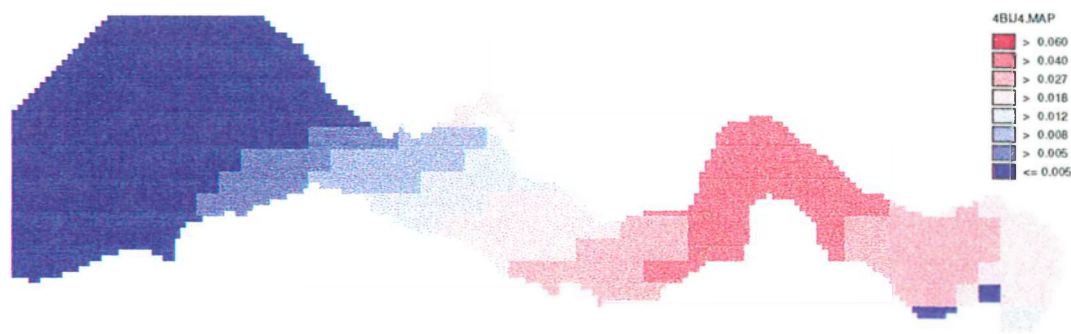
Figuur 18 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 4 bij 4 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



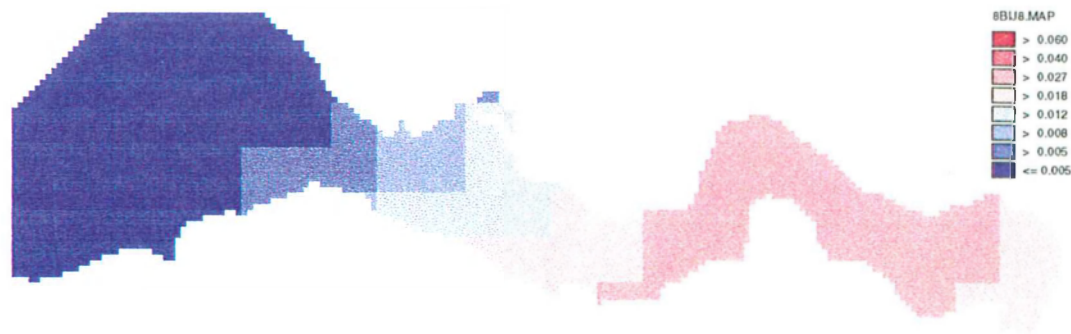
Figuur 19 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 8 bij 8 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



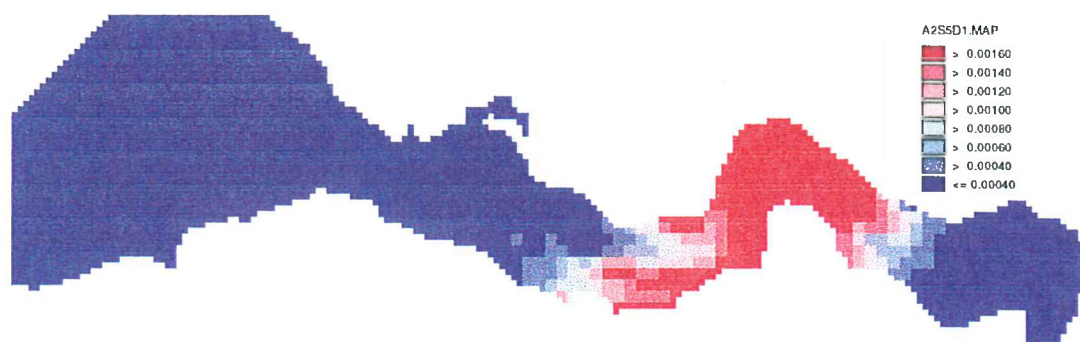
Figuur 20 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 2 bij 2 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



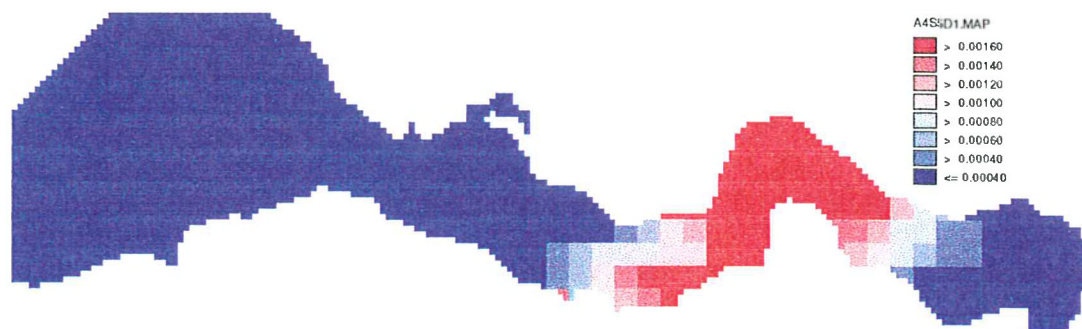
Figuur 21 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 4 bij 4 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



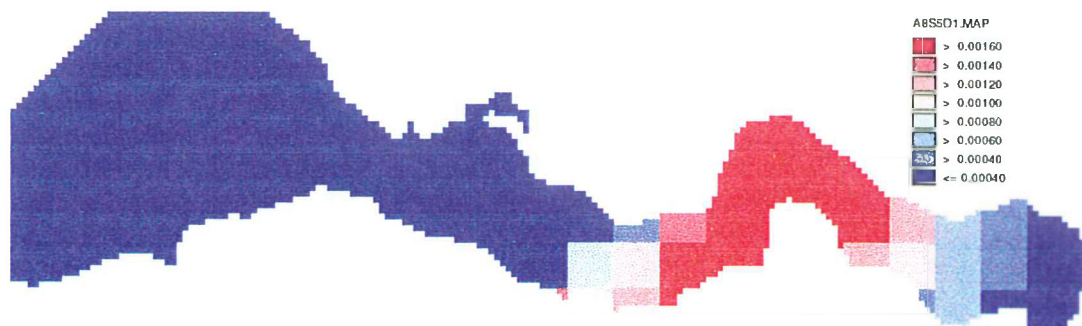
Figuur 22 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 8 bij 8 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



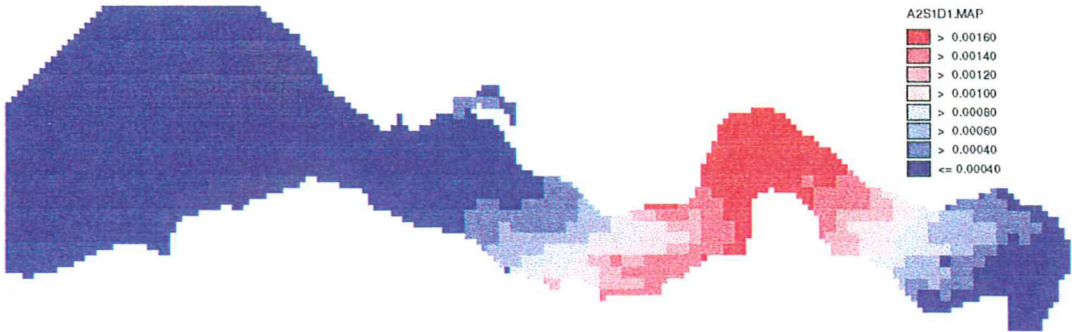
Figuur 23 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen
(horizontaal 2 bij 2 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 24 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen
(horizontaal 4 bij 4 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 25 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen
(horizontaal 8 bij 8 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



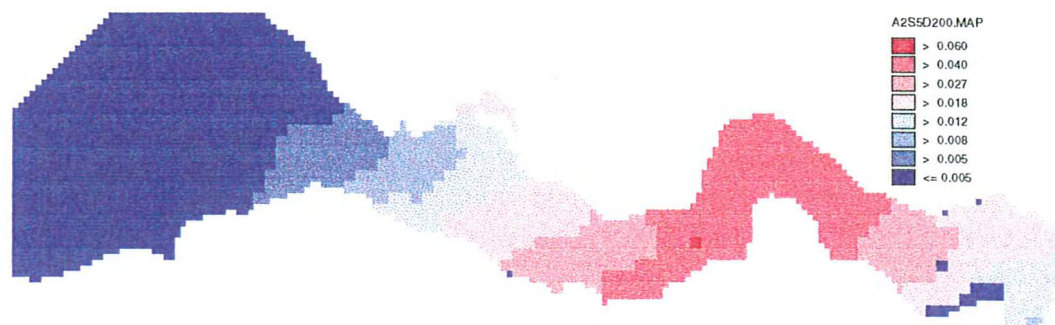
Figuur 26 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen (horizontaal 2 bij 2 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



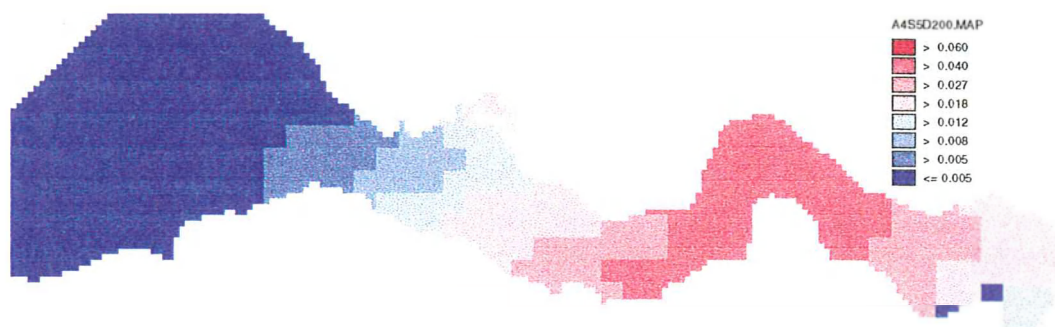
Figuur 27 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen (horizontaal 4 bij 4 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



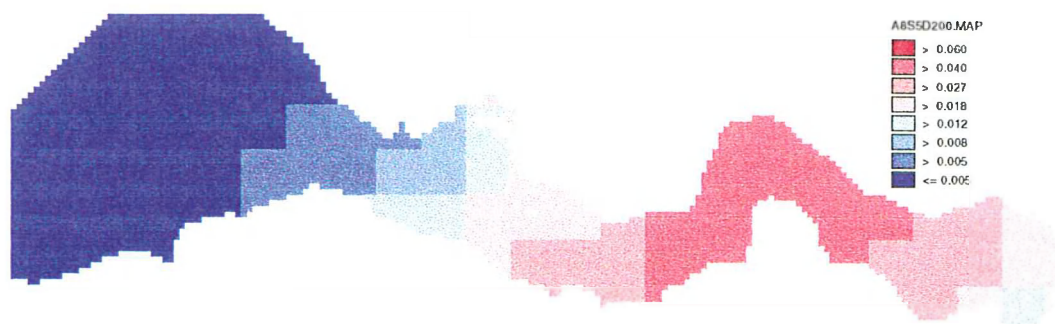
Figuur 28 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen (horizontaal 8 bij 8 geaggregeerd, $D = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, Euler backward)



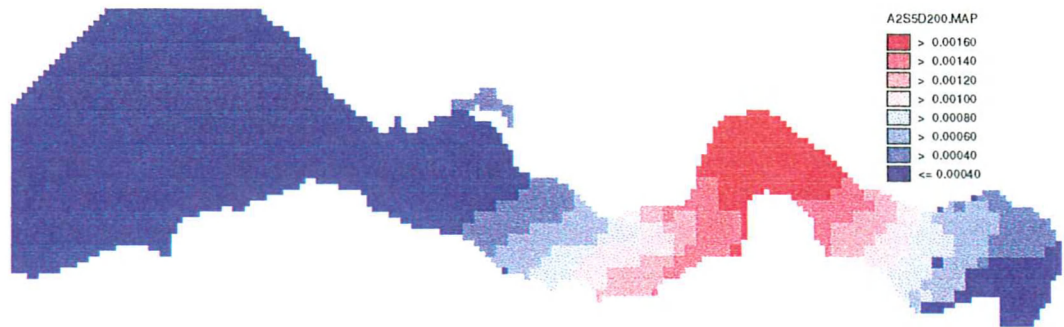
Figuur 29 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 2 bij 2 geaggregeerd, $D = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



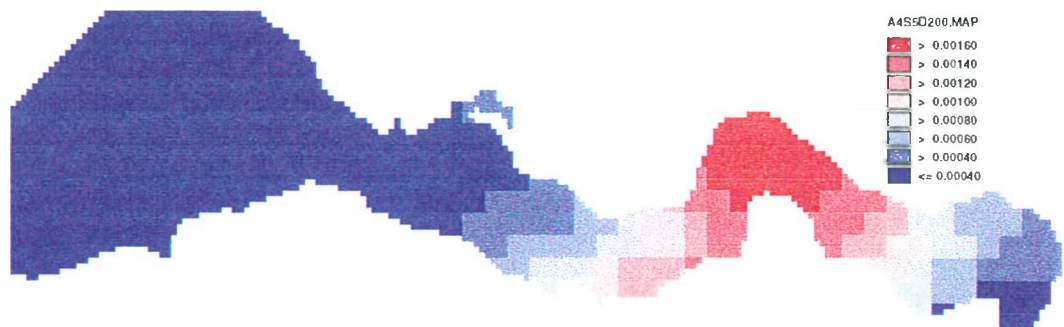
Figuur 30 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 4 bij 4 geaggregeerd, $D = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



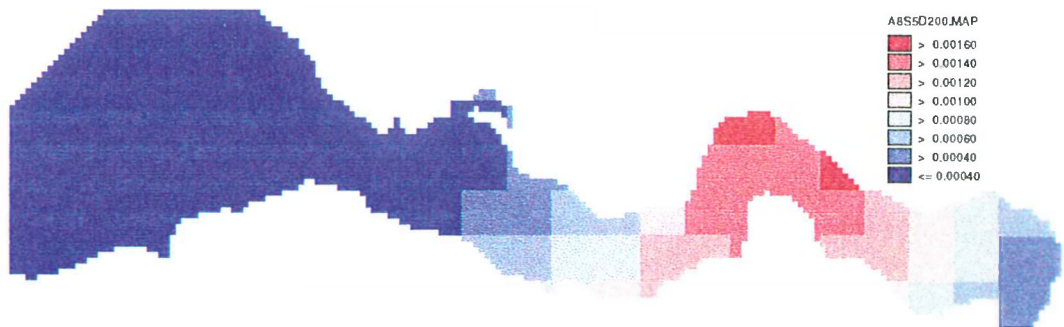
Figuur 31 2DH verspreiding continue lozing na 14 dagen
(horizontaal 8 bij 8 geaggregeerd, $D = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



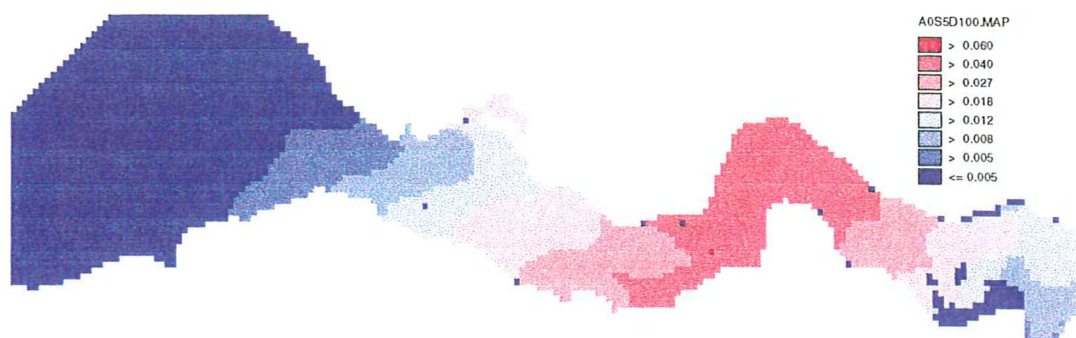
Figuur 32 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen
(horizontaal 2 bij 2 geaggregeerd, $D = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



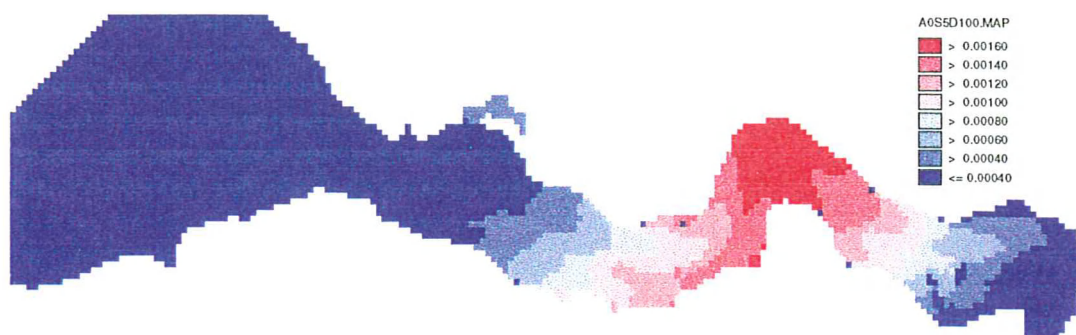
Figuur 33 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen
(horizontaal 4 bij 4 geaggregeerd, $D = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 34 2DH verspreiding instantane lozing na 4 dagen
(horizontaal 8 bij 8 geaggregeerd, $D = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 35 3D verspreiding continue lozing na 14 dagen, resultaat over de verticaal gemiddeld.
(geen aggregatie, $D = 100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)



Figuur 36 3D verspreiding instantane lozing na 4 dagen, resultaat over de verticaal gemiddeld.
(geen aggregatie, $D = 100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, flux corrected transport)