

Waterbeweging & Overflow (middle *field*) t.b.v. MER Aanleg Maasvlakte 2

9P7008.O1

Eindconcept

Heer Bokelweg 145
3032 AD Rotterdam
Postbus 91
3000 AB Rotterdam
Nederland
T +31 - 10 - 467 13 61
F +31 - 10 - 467 45 59
E info@svasek.com
I www.svasek.com

Document titel	Waterbeweging & Overflow (middle field) t.b.v. MER Aanleg Maasvlakte 2 9P7008.O1
Verkorte Titel	Waterbeweging & Overflow
Status	Eindconcept
Datum	Juni 2005
Project naam	MER MV2 waterbeweging en overflow
Project nummer	1318
Opdrachtgever	Royal Haskoning Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
Referentie	MB/05209/1318

Auteur	Marloes van den Boomgaard
Gecontroleerd door	Bram Blik

INHOUDSOPGAVE

	Pag.
1 INLEIDING	2
1.1 Kader	2
1.2 Doelstelling	2
1.3 Opbouw rapport	3
2 BAGGERPROCES EN VERSPREIDING VAN SLIB	4
2.1 Algemeen	4
2.2 <i>Near field</i>	5
2.3 <i>Middle field</i>	8
2.4 <i>Far field</i>	8
3 FINEL2D	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Waterbeweging	9
3.3 Verspreiding van slib	9
4 INVLOED ZANDWINPUTTEN OP DE WATERBEWEGING	12
4.1 Inleiding	12
4.2 Opzet en invoer model	12
4.3 Beschrijving van de resultaten	13
4.4 Interpretatie	14
4.5 Conclusie en aanbeveling	14
5 SLIBVERSPREIDING ALS GEVOLG VAN OVERFLOW	15
5.1 Inleiding	15
5.2 Opzet berekeningen en instellingen	15
5.3 Beschrijving van de resultaten	19
5.4 Interpretatie	21
5.5 Ondergrenssimulatie	22
5.6 Conclusies en aanbevelingen	23
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	25
6.1 Conclusies	25
6.2 Aanbevelingen	26
7 REFERENTIES	27

1 INLEIDING

1.1 Kader

De haven van Rotterdam voorziet in een zeewaartse uitbreiding van zijn haven in de vorm van Maasvlakte 2. Voor het aanleggen van Maasvlakte 2 zijn grote hoeveelheden zand (orde 300 Miljoen m³) benodigd, die door middel van zandwinning ruim voorbij de doorgaande -20 m NAP dieptelijn in de Noordzee gewonnen zullen worden.

Door de zandwinning zullen zandwinputten ontstaan. De locaties en de dimensies van de zandwinput(ten) zijn niet vastgesteld en dienen onderzocht te worden. De waterbeweging in de nabijheid van een zandwinput zal beïnvloed worden door de vormgeving van de put. Daarnaast komt bij de winning als gevolg van de toegepaste baggertechniek de in het zand aanwezige slibfractie en een deel van de fijne zandfractie in de waterkolom o.a. via de overflow.

In hoeverre de autonome waterbeweging en de natuurlijke slibconcentratie ter plaatse van het wingebied en de directe omgeving daaromheen beïnvloed worden door de activiteiten in de zandwinput en daarmee eventuele nadelige milieueffecten met zich meebrengen is onbekend en dient middels een Milieueffectrapportage (MER) onderzocht te worden.

Royal Haskoning heeft, namens het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, Svašek Hydraulics verzocht de waterbeweging en de verspreiding van slib als gevolg van overflow in de directe omgeving van de zandwinput te onderzoeken.

Door de MV2-werkgroep is vooralsnog een standaardzandwinput met afmetingen van 5 km bij 3 km gedefinieerd. Afhankelijk van de hoeveelheid te winnen zand en de diepte van de winput zijn meer of minder winputten nodig binnen het gedefinieerde zoekgebied.

De uitkomsten van het door Svašek Hydraulics uitgevoerde (parametrische) onderzoek dienen eveneens als input voor het onderzoek naar de grootschalige slibverspreiding in de Noordzee dat door WL|Delft Hydraulics uitgevoerd zal worden. Het onderzoek valt onder het thema 'Kust en Zee'.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is tweeledig:

- De effectbepaling van de aanwezigheid van zandwinputten op de waterbeweging.
- De bepaling van de slibconcentratie in het zeewater in de directe omgeving van een zandwinput als gevolg van het baggeren, dus tijdens de uitvoering van de zandwinning.

Omdat de locaties en de vormgeving van de zandwinputten nog niet vaststaan wordt het onderzoek uitgevoerd met behulp van geschematiseerde situaties. Hierbij worden verschillende omstandigheden die op mogelijke locaties voorkomen gesimuleerd, zodat voor de invoer van het grootschalige model representatieve randvoorwaarden geconstrueerd kunnen worden. De onderlinge beïnvloeding van meerdere zandwinputten wordt, binnen dit onderzoek, buiten beschouwing gelaten.

1.3 Opbouw rapport

De opbouw van het voorliggende rapport dat het uitgevoerde onderzoek beschrijft is als volgt:

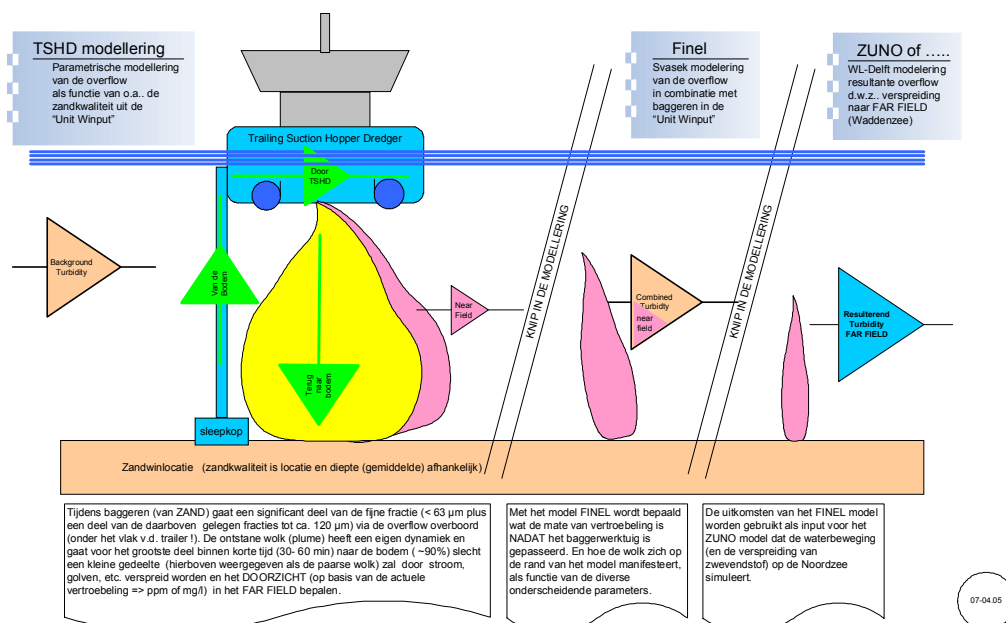
- In hoofdstuk 2 wordt het baggerproces en de fysica achter de verspreiding van slib beschreven.
- Hoofdstuk 3 beschrijft de achtergronden van het gebruikte model FINEL2D.
- In hoofdstuk 4 wordt de effectbepaling van zandwinputten op de waterbeweging behandeld.
- Hoofdstuk 5 behandelt de uitkomsten van de slibverspreiding rond zandwinputten.
- Tenslotte worden conclusies en aanbevelingen gegeven in hoofdstuk 6.

2 BAGGERPROCES EN VERSPREIDING VAN SLIB

2.1 Algemeen

Gedurende het baggeren van zand met een sleephopperzuiger zal, omdat het zand een percentage slib bevat, de slib fractie en een gedeelte van de fijne zand fractie in suspensie gebracht worden. Afhankelijk van de stroming, de wijze van in suspensie brengen en de sedimenteigenschaften van het slib vormt zich een actieve (dynamische) en een passieve pluim. In de beschouwde situatie van een zandwinput kunnen ruwweg drie gebieden onderscheiden worden (zie ook Afbeelding 2.1):

- 1 *near field* (lengteschaal is in de orde van de waterdiepte): het gebied direct rond het baggerschip. In dit gebied is de stroming sterk driedimensionaal en is de uitstroomsnelheid en –concentratie uit de overvloeit-installatie van belang. In dit gebied is de pluim een actieve pluim, wat wil zeggen dat de dichtheid in en de snelheid van de pluim van belang zijn.
- 2 *middle field* (lengteschaal is in de orde van de putdimensies): het gebied rond de zandwinput. In dit gebied mag de stroming tweedimensionaal verondersteld worden. De pluim is passief, aangezien de dichtheidsverschillen en de snelheid ten opzichte van omgeving verwaarloosbaar klein zijn. De stroming wordt gedomineerd door het getij. De geometrie van de zandwinput beïnvloedt de stroming.
- 3 *far field* (lengteschaal tientallen kilometers): De stroming kan tweedimensionaal verondersteld worden en de pluim is passief. De afmetingen van de zandwinput zijn van ondergeschikt belang voor de stroming op deze schaal. Wel is het van belang hoeveel sediment nog in suspensie is als het uit het *middle field* komt.



Afbeelding 2.1: Schets van de onderverdeling in deelgebieden (van Havenbedrijf Rotterdam)

De overgangen tussen de deelgebieden zijn niet scherp, maar lopen in elkaar over. De opdeling biedt echter een goede opzet voor de modellering van de fysische processen.

Elk gebied wordt hieronder kort beschreven. Eerst wordt in §2.2 ingegaan op het *near field* aangezien dit de oorsprong van de slibblozing behelst. De nadruk van deze studie ligt op de processen in het *middle field*. In §2.3 wordt het *middle field* slechts kort besproken. In het vervolg van dit rapport komt dit onderdeel uitgebreid ter sprake. Het *far field* wordt kort behandeld in §2.4, maar zal nader uitgewerkt worden in de vervolgstudie, uit te voeren door WL|Delft Hydraulics.

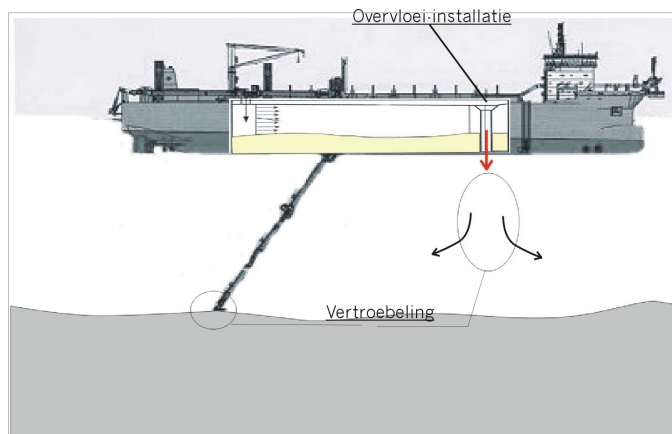
2.2 Near field

Tijdens het winproces vaart het baggervaartuig langzaam vooruit; dit gebeurt met een snelheid van ca 4 knopen. Het bodemmateriaal wordt via de sleepkoppen als zand/water mengsel in het beun gepompt. Het grootste gedeelte van het gebaggerde materiaal bezinkt direct in het beun. Het gedeelte van het opgebaggerde materiaal dat niet bezinkt in het beun bestaat grotendeels uit fijn materiaal. Dit materiaal wordt samen met het proceswater via de overvloedinstallatie, de zogenaamde *overflow*, naar het vlak van het schip gevoerd en terug in het hydraulische systeem gebracht om op de bodem te bezinken.

Samengevat wordt de vertroebeling bij de inzet van een sleephopperzuiger voor het baggeren in een zandwininput op de Noordzee veroorzaakt door:

- De beweging van de sleepkoppen over de zeebodem;
- terugbrengen van de fijne fractie in de omgeving via de overvloedinstallatie.

In Afbeelding 2.2 is een doorsnede gegeven van een sleephopperzuiger met de bronnen van vertroebeling.



Afbeelding 2.2: vertroebelingsbronnen van een sleephopperzuiger.

2.2.1 Sleepkoppen

Het bodemmateriaal dat door de sleepkoppen opgewerveld wordt, komt in het onderste gedeelte van de waterkolom terecht. De opwerveling is afhankelijk van de toegepaste winmethodiek (bijv. wel of geen waterjets) en het watersysteem. In grote open watersystemen, zoals de Noordzee, blijft deze invloed beperkt tot enkele meters afstand van de sleepkop. Omdat de opwerveling in verticale richting eveneens beperkt blijft (1 – 2 meter) kan, gezien de bodemsamenstelling van de Noordzee, de invloed van de

verhoging van de concentratie aan zwevende stof door opwerveling van bodemmateriaal als een zeer lokaal effect worden beschouwd. In dit onderzoek zal hier verder geen rekening mee worden gehouden.

2.2.2 Overvloei-inrichting

Elke sleepopperzuiger is voorzien van een overvloei-inrichting. Een overvloei-inrichting is een installatie waarmee het overtollige water dat tijdens het zuigproces wordt opgezogen, wordt afgevoerd uit het beun.

Bij grondsoorten die voldoende snel in het beun bezinken, wordt in drie opeenvolgende fasen geladen.

In de eerste fase wordt het beun gevuld met een grondwatermengsel totdat het overvloeiniveau (welke meestal in de hoogste stand staat) wordt bereikt.

In de tweede fase stroomt het beun via de overloopinrichting over, terwijl een groot deel van de grond bezinkt. Deze fase duurt tot de maximale diepgang van het schip is bereikt. Als men op dit moment stopt met laden dan zou een belangrijk gedeelte van de lading nog bestaan uit water dat boven de bezonken baggerspecie staat. Daarom gaat men bij het bereiken van de maximale diepgang over tot de derde fase van de belading. De overvloei-inrichting wordt dan geleidelijk omlaag versteld zodat het beunvolume kleiner wordt. De derde fase kan voortduren totdat de optimale lading is bereikt.

De hoeveelheid materiaal die via de overvloei-installatie in de waterkolom terechtkomt is afhankelijk van vele factoren, o.a. de grondsoort, de beuninhoud en het pompdebiet van de sleepopperzuiger. Afbeelding 2.3 laat een voorbeeld zien van vertroebeling door overvloeien.



Afbeelding 2.3: Voorbeeld vertroebeling door overvloeien.

Er is geen harde scheiding tussen korreldiameters die wel of niet via de overvloeinrichting worden afgevoerd. In toenemende mate zal er ook een gedeelte van de grovere fractie (tot 100-125 μm) worden afgevoerd. Tijdens een continu beladingsproces van niet cohesieve grond en bij een maximalisatie van de beuninhoud zal het merendeel van het fijnste materiaal (als praktische grens: <63 μm) via de overvloeinrichting worden afgevoerd.

Als gevolg van de overvloed ontstaat een actieve pluim, waarin de uitstroomsnelheid en de dichtheid van het overvloeiwat (inclusief sediment) van belang zijn. De ontwikkeling van de pluim is eveneens sterk afhankelijk van de 'omgevingssnelheid'. De dynamica van een dergelijke pluim wordt uitgebreid beschreven in bijvoorbeeld Fischer et al. (1979) of Lee&Chu (2003). Normaal gesproken zal bij het baggeren van zand met daarin een slibfractie het grootste gedeelte van het sediment in de dynamische pluim direct naar de bodem gaan en aldaar bezinken, slechts een gedeelte zal in suspensie blijven en een passieve pluim vormen. De verhouding tussen de hoeveelheid neergeslagen sediment en gesuspendeerd sediment is afhankelijk van sediment- en stromingseigenschappen.

2.3 Middle field

Zoals aangegeven zal in het *near field* een gedeelte van het sediment in suspensie blijven en een gedeelte direct sedimenteren. Het gesuspendeerde deel zal meegevoerd worden door de omgevingsstroming en eventueel verderop sedimenteren. Het gesedimenteerde sediment kan, afhankelijk van de hydraulische condities op de winlocatie vervolgens weer opnieuw in suspensie komen (resuspensie).

In het *middle field* speelt voornamelijk het stromingspatroon als gevolg van de geometrie van de zandwininput een rol. Een nadere uitwerking van het stromingspatroon en de gevolgen voor het slibtransport volgt later in dit rapport.

Een koppeling met het *near field* proces is mogelijk door in het model een gedeelte van het totale sediment/slib in suspensie aan te bieden en een gedeelte als bodemverhoging. Door te veronderstellen dat **al** het fijne materiaal in suspensie wordt aangeboden aan het *middle field* ontstaat een bovengrens benadering van het te onderzoeken probleem.

2.4 Far field

In het *far field* speelt de geometrie van de zandwininput geen rol meer. De geometrie van de Noordzee is van belang om te bepalen waar de pluim naar toe gaat en waar het sediment eventueel bezinkt. Als invoer voor het *far field* model dient dat gedeelte van het overboordgezette sediment dat, bij het verlaten van het *middle field*, nog in suspensie is, als bronterm opgelegd te worden.

De *far field* modellering wordt behandeld in de vervolgstudie uit te voeren door WL|Delft Hydraulics.

3 FINEL2D

3.1 Inleiding

Voor de bepaling van de effecten van een zandwininput op de waterbeweging en de slibverspreiding wordt gebruik gemaakt van het programmapakket FINEL2D. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen het deel, waarin de waterbeweging wordt gesimuleerd en het deel waarin de slibverspreiding wordt gesimuleerd. Dit laatste onderdeel is gekoppeld aan het waterbewegingsdeel. In dit hoofdstuk wordt voor beide onderdelen kort ingegaan op de achterliggende fysische processen en hoe deze gemodelleerd worden.

3.2 Waterbeweging

Het waterbewegingsdeel van FINEL2D is gebaseerd op de diepte-geïntegreerde ondiep-watervergelijkingen, die bestaan uit de continuïteitsvergelijking en de impulsvergelijkingen. In de impulsvergelijkingen worden de volgende processen meegenomen: advectie, drukgradiënten en bodemwrijving. Hoewel effecten van golven en wind in rekening kunnen worden gebracht zijn deze bij de huidige toestand niet meegenomen. De numerieke methode is gebaseerd op de eindige elementen methode, waarbij gebruik gemaakt wordt van een zogenaamde *Roesolver*. Het model is ontwikkeld door Svašek Hydraulics. Zie voor toepassingen www.svasek.com.

FINEL2D rekent met triangulaire rekenroosters, wat een grote mate van flexibiliteit geeft. De driehoekige elementen kunnen in grootte variëren. Men heeft daardoor de mogelijkheid om in de interessegebieden de resolutie eenvoudig te verhogen, zonder dat dit consequenties heeft voor de rest van het rekenrooster.

3.3 Verspreiding van slib

3.3.1 Invloed van diffusie/dispersie

Normaal gesproken wordt verspreiding van sediment in suspensie beschreven met een advectie-diffusievergelijking met bron en puttermen. Hierbij representeert de diffusie de turbulente beweging en eventuele dispersie. In de toegepaste FINEL2D versie¹ wordt slechts rekening gehouden met advectie. Dit heeft als voordeel dat een snelle en robuuste rekenmethode (zogenaamde *Roesolver*) toegepast kan worden, maar als nadeel dat diffusieprocessen verwaarloosd worden. Voor een groot aantal stromingssituaties kan dit echter ook. Hieronder zal kort aangegeven worden dat deze vereenvoudiging cq. schematisatie in de situatie van de zandwinputten acceptabel is voor de simulatie van het *middle field*.

Verschillende afschattingen voor de diffusiecoëfficiënt kunnen gemaakt worden. De zogenaamde *4/3-law* blijkt goed te werken voor de verspreiding van een slibwolk

¹ De vernieuwde versie van FINEL2D houdt wel rekening met diffusie. Verschillende benaderingen kunnen gekozen worden (constant, Elder, Smagorinsky etc.), waardoor naar believen een ruimtelijk variërende waarde gegeneerd kan worden.

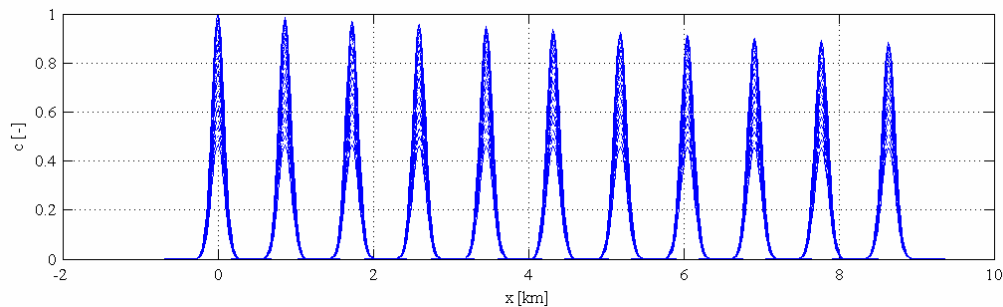
variërend over een behoorlijke range in lengteschalen (zie bijvoorbeeld Fischer et al. (1979)). Ook een Elder benadering (zie bijvoorbeeld Fischer et al. (1979)) kan gebruikt worden: $\nu_t = \alpha u_* h$, met $u_* = 0.1 \text{ m/s}$, $h = 20 \text{ m}$ en $\alpha \approx 1.0$ geeft $\nu_t = 2 \text{ m}^2/\text{s}$. Dit is in de range zoals gevonden op basis van de 4/3-law. Een conservatieve waarde voor de diffusiecoëfficiënt is $10 \text{ m}^2/\text{s}$.

De analytische oplossing van de tweedimensionale advectiondiffusievergelijking is als volgt:

$$c(\bar{x}, t) = \frac{c'}{(4\pi Dt)} \exp\left(-\frac{(\bar{x} - \bar{u}t)^2}{4Dt}\right)$$

met schalingsfactor c' , dispersiecoëfficiënt $D = D_x = D_y$, plaats $\bar{x} = (x, y)$, tijd t en snelheid $\bar{u} = (u, v)$.

Bij een netto advectionnelheid 2 cm/s , een initiële standaardafwijking van ca 200 m en een conservatieve diffusiecoëfficiënt van $10 \text{ m}^2/\text{s}$ ontwikkelt de slibwolk zich zoals aangegeven in Figuur 3.1. Het blijkt dat deze slechts met enkele procenten inzakt over de lengteschaal van het *middle field*, een afstand van ca. 2 km . Oftewel de diffusie speelt in dit geval een verwaarloosbare rol. Wel wordt diffusie van belang bij een grotere tijdsperiode (c.q. grote afstanden) en/of voor kleine 'wolken'.



Figuur 3.1: Analytische oplossing voor advection-diffusie van een slibwolk,

3.3.2 Depositie

In het model wordt de formulering van Krone (zie bijvoorbeeld Winterwerp, 2004) gebruikt voor de depositie van slib. Het principe van deze formule is dat slib bezinkt zodra de bodemschuifspanning kleiner wordt dan een kritische waarde.

De depositieflux is gedefinieerd als:

$$\Phi_d = w_s C (1 - \tau / \tau_d) \quad \text{voor } \tau < \tau_d, \text{ anders } \Phi_d = 0$$

met

Φ_d	=	depositieflux [kg/(m ² s)].
w_s	=	valsnelheid van een specifieke slibfractie [m/s].
C	=	slibconcentratie in het water voor een specifieke slibfractie [kg/m ³].
τ	=	bodemschuifspanning t.g.v. stroming en (eventueel) golven [Pa].
τ_d	=	kritieke schuifspanning voor depositie [Pa].

3.3.3 Erosie

De erosiesnelheid kan op een soortgelijke manier beschreven worden als het depositieproces met de formulering van Partheniades (zie bijvoorbeeld Winterwerp, 2004). Hierin wordt gesteld dat erosie van een slibhoudende bodem begint zodra een bepaalde kritische waarde wordt overschreden.

De erosie flux wordt gedefinieerd als:

$$\Phi_e = M (\tau / \tau_e - 1) \quad \text{voor } \tau > \tau_e, \text{ anders } \Phi_e = 0$$

met

Φ_e	=	erosieflux [kg/(m ² s)]
M	=	erosiecoëfficiënt [kg/(m ² s)]
τ_e	=	kritische schuifspanning voor erosie [Pa]

4 INVLOED ZANDWINPUTTEN OP DE WATERBEWEGING

4.1 Inleiding

De zandwinputten hebben, door de dieptevariatie, invloed op de lokale waterbeweging. Aan het begin van de put zal door de verdieping de stroming vertragen. Vervolgens zal de stroming verderop in de put versnellen, het effect van de bodemwrijving is immers door de grotere waterdiepte lager in de put, terwijl het verhang over de put min of meer gelijk zal zijn aan het verhang daarbuiten. Water zal van de zijanten toestromen. Indien de put relatief lang is kan de snelheid zelfs hoger worden dan daarbuiten. Aan het eind van de put zal door de komende verondieping vertraging optreden. Net bovenstrooms en net benedenstrooms van de put zal de snelheid wat hoger zijn dan in ongestoorde situatie door de zuigende werking van de put.

In dit hoofdstuk worden de effecten van verschillende zandwinputten op de waterbeweging nader bepaald. De effecten worden onderzocht met behulp van het numerieke waterbewegingsmodel FINEL2D.

De volgende parameters worden gevarieerd om de invloed op de waterbeweging te bepalen:

1. lengte en breedte van de zandwinput;
2. windiepte;
3. stromingsrichting.

In dit hoofdstuk wordt allereerst de opzet en invoer van het model beschreven (4.2). Vervolgens worden de resultaten beschreven (4.3), gevolgd door de interpretatie (4.4). Tenslotte worden in 4.5 conclusies getrokken.

4.2 Opzet en invoer model

In samenspraak met de opdrachtgever zijn de volgende simulaties gedefinieerd:

Run 1: 'basisput' (zie Figuur 4.1)

- lengte x breedte = 5 x 3 km (afmetingen op de zeebodem, niet op de putbodem)
- Windiepte 10 meter
- Waterdiepte 25 meter buiten de zandwinput
- Talud zandwinput 1:10
- Stroming in de lengterichting van de basisput
- Tweemaal daags getij met een maximale stroomsnelheid van $\hat{u}=1\text{m/s}$.

De keuze voor de snelheidsamplitude van 1 m/s is gebaseerd op de variatie in de Noordzee als gevolg van de doodtij-springtij cyclus en de locatie, welke ongeveer tussen de 0.5 en 1 m/s ligt.

Run 2: Als basisput maar met:

- stroming in de dwarsrichting van de put

Run 3: Als basisput maar met:

- windiepte 5 meter

Run 4: Als basisput maar met:

- winddiepte 20 meter

Run 5: Als basisput maar met:

- afmetingen zandwininput 3 x 10 km

Run 6: Als basisput maar met:

- afmetingen zandwininput 3 x 10 km
- stroming in de dwarsrichting van de put

Voor de berekeningen wordt een grotere mate van detail aangehouden in de directe omgeving van de zandwininput dan daarbuiten. Dit betekent dat de elementgrootte in het model varieert tussen 2000 m² in de put en de onmiddellijke omgeving, tot 245000 m² op grote afstand van de put, zie Figuur 4.1. In dit figuur is de zandwininput van 3 x 5 km getoond. Het rekenrooster van de basisput bestaat uit 24.386 (driehoekige) elementen.

4.3 Beschrijving van de resultaten

De resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd in Figuur 4.2 t/m 4.7. De stroomsnelheden zijn getoond als procentueel verschil ten opzichte van de situatie zonder zandwininput. Het moment waarop de stroomsnelheden zijn vergeleken betreft de situatie bij maximale stroming. Figuur 4.8 toont de stroombanen van de berekeningen, waarbij de stroming evenwijdig is aan de zandwininput. Figuur 4.9 toont de stroombanen van de berekeningen, waarbij de stroming loodrecht op de put staat.

Om inzicht te krijgen in de mate van verandering van de stroming buiten de put zijn in Tabel 4.1 de oppervlaktes weergegeven met een versnelling of een vertraging groter dan 5% en 10% ten opzichte van de situatie zonder zandwininput. Merk op dat de basisput een oppervlakte van 1.500 ha beslaat. Ook is de vertraging van stroomsnelheid in het centrum van de put weergegeven ten op zichte van de ongestoorde referentiesituatie zonder zandwininput.

run	Waterdiepte boven winput is 25 m			Verstoord oppervlak (ha) buiten de put				Totaal 'verstoord' oppervlak tov de putgrootte (%)		Stroomvertraging in centrum van de put % t.o.v. referentie
	Oppervlak winput *)	Windiepte In de put	Stroom richting	versnelling		vertraging		>5%	>10%	
				>5%	>10%	>5%	>10%	>5%	>10%	
1	3 x 5	10 m	↑ (langs)	1465	466	1598	196	204	44	10
2	3 x 5	10 m	→ (dwars)	1526	97	910	206	162	20	20
3	3 x 5	5 m	↑ (langs)	722	63	390	0	74	4	5
4	3 x 5	20 m	↑ (langs)	2342	967	3108	1137	363	140	19
5	3 x 10	10 m	↑ (langs)	2100	784	4783	56	229	26	4
6	3 x 10	10 m	→ (dwars)	1863	4	1274	310	105	10	24

*) Run no.1 is voor de basiswininput met afmetingen van 3 * 5 km met de bijbehorende kenmerken.

Tabel 4.1: resultaten van de waterbewegingssimulaties.

4.4 Interpretatie

De zandwinput heeft een 'zuigende' werking, aangezien in dit gebied de bodemwrijving minder invloed heeft vanwege de grotere diepte. De zuigende werking geeft een versnellingsgebied net bovenstrooms van de put. De lengte van dit gebied hangt af van de bodemwrijving en de waterdiepte. Ook van de zijanten van de put wordt water aangetrokken, zoals duidelijk zichtbaar in de stroomlijnen in Figuur 4.8-4.9. Voor lange en daarmee relatief smalle putten heeft de stroming voldoende aanpassingslengte beschikbaar om zich te ontwikkelen in de put en is zijwaartse aanstroming sterker. Hierdoor treedt versnelling op in de put. In Run 5 wordt in de put de omgevingsnelheid gehaald (voor nog langere putten zou zelfs een hogere snelheid gehaald kunnen worden). Voor de dwars aangestroomde putten is er slechts weinig ontwikkelingslengte beschikbaar en is de zijwaartse aanstroming geringer, waardoor de snelheid in de put laag blijft. Net benedenstrooms van de put is eveneens een versnellingsgebied. De snelheid wordt eveneens hoger dan de ongestoorde snelheid. Na de aanzuigende werking van de put zorgt verkleining van de waterdiepte vervolgens voor versnelling en daarmee tot hoge snelheden.

In het algemeen geldt voor alle beschouwde zandwinputten dat er vertraging van de stroming plaatsvindt als gevolg van de grotere waterdiepte in de zandwinput. De basisput heeft een stroomvertraging van ongeveer 10% in het midden van de put (Tabel 4.1 en Figuur 4.2) ten opzichte van de situatie zonder put. De dwars aangestroomde basisput heeft een grotere vertraging (Tabel 4.1 en Figuur 4.3). De vertraging in de put bedraagt hier ongeveer 20% als gevolg van de geringere invloed van de zijaanstroming en als gevolg van de kortere ontwikkelingslengte. Bij een minder diepe put is de vertraging minder sterk (Tabel 4.1 en Figuur 4.4), vanwege het geringere diepteverschil. De vertraging in de put bedraagt ongeveer 5% bij een put van 5m diep. Bij een windiepte van 20m wordt de vertraging in de put ongeveer 19% (Tabel 4.1 en zie Figuur 4.5).

Het invloedsgebied van de put blijft voor alle configuraties beperkt. Uit tabel 4.1 blijkt dat voor de basisput een snelheidsafwijking van meer dan 10% optreedt in een gebied ter grootte van de 44% de put. Dwarsaangestroomde putten geven een geringer beïnvloedsgebied dan putten die evenwijdig aan de dominante stroming liggen. Een kleinere/grotere windiepte geeft een kleiner/groter effect. Voor een grotere windiepte (Run 4: 20m) is de beïnvloede oppervlakte 140% van de putoppervlakte.

4.5 Conclusie en aanbeveling

Zes simulaties zijn uitgevoerd voor de bepaling van de waterbeweging in een zandwinput. Uit de simulaties blijkt dat voor de beschouwde putafmetingen de snelheid in de put afneemt met een percentage variërend tussen 0 en 24%. De lengte waarover de stroming zich in de put kan ontwikkelen is van invloed op de snelheid, evenals de zijwaartse aanstroming. Boven- en benedenstrooms van de put treedt versnelling op. De gebieden buiten de put, waar een versnelling/vertraging van meer dan 10% optreedt zijn slechts 44% van de putoppervlakte. Alleen voor de diepe put (windiepte van 20m) wordt een groter verstoord oppervlakte gevonden (ter grootte van 140% van de putgrootte).

Alhoewel er verschillen in stroomsnelheid zijn tussen de verschillende putconfiguraties is er onvoldoende onderscheid tussen de verschillende runs om een duidelijke voorkeur uit te spreken voor de slibverspreidingsberekeningen. Deze worden daarom, na overleg met de opdrachtgever, uitgevoerd met de basisput.

5 SLIBVERSPREIDING ALS GEVOLG VAN OVERFLOW

5.1 Inleiding

De doelstelling van dit onderzoek met betrekking tot de slibverspreidingssimulaties als gevolg van overflow is:

Het kwantificeren van het aanbod van sediment in suspensie in het zeewater als gevolg van baggeren en de omvang van de sedimentatiegebieden in de directe omgeving van de zandwininput (ca. 1km van de rand van de zandwininput) als functie van verschillende parameterinstellingen.

De simulaties voor dit onderdeel zijn uitgevoerd met behulp van het numerieke stromingsmodel FINEL2D met bijbehorende slibverspreidingsmodule, zie Hoofdstuk 3 voor een nadere beschrijving. Bij de slibverspreidingssimulaties is alleen met de basisputconfiguratie (3 x 5 km) gerekend. In één run is de oriëntatie aangepast.

De output van deze berekeningen wordt gepresenteerd in de vorm van:

- Slibconcentraties op korte afstand van de rand van de zandwininput (ca 1km van de randen van de zandwininput)
- Percentage van de geloosde hoeveelheid slib dat in suspensie blijft (tonnen droge stof per tijdseenheid over het getij), ten behoeve van de *far field* simulaties.

5.2 Opzet berekeningen en instellingen

5.2.1 Opzet berekeningen

De opzet van de berekeningen is zodanig gekozen dat binnen de uitgangspunten, naderhand een representatieve situatie kan worden bepaald.

De simulaties zijn gecodeerd als Run 7-12. In Tabel 5.1 zijn de instellingen aangegeven voor Run 8-12.

		Run 8	Run 9	Run 10	Run 11	Run 12
		Reststroom 0 cm/s			Reststroom 10 cm/s	
	slibfractie	10µm	63µm		10µm	63µm
Winscenario [Mm ³ slib/jaar]	1 Mm ³ slib/jaar	X	X		X	X
	4Mm ³ slib/jaar			X		

Tabel 5.1: Gedefinieerde berekeningen m.b.t. de overflow (Run 8 t/m 12)

Run 7 is gedefinieerd als Run 9, maar dan met een zandwininput onder een hoek van 45° met de stroming waarmee een winput min of meer evenwijdig aan de Eurogeul wordt gesimuleerd.

De volgende instellingen worden gevarieerd in de berekeningen:

1. Slibfractie
 - a. zware slibfractie
 - b. lichte slibfractie

Voor beide slibfracties zijn dezelfde instellingen voor de slibkarakteristieken (kritische schuifspanningen en erosiecoëfficiënt) gebruikt als bij de *far field* berekeningen voor Flyland (WL|Delft Hydraulics 2001), om de aansluiting met eerdere berekeningen te behouden. Wel is de valsnelheid van de twee slibfracties verschillend aangenomen. Zie verder bij paragraaf 5.2.2.

2. Reststrooming

De reststroom in de Noordzee varieert ongeveer tussen de 0 en 10 cm/s (Flyland 2001). Om deze reden zijn voor de reststroom de volgende twee waarden aangehouden:

- a. 0 cm/s
- b. 10 cm/s

NB. Naast deze reststroom is er ook een standaard restdebiet (in het model) met de waarde gelijkwaardig aan een reststroom van 2.2 cm/s in noordelijke richting aanwezig. Dit wordt veroorzaakt door de faseverschillen tussen het horizontale en het verticale getij, waardoor maximale vloedstroom (noordwaarts) optreedt bij een hogere waterstand dan maximale ebstroom.

3. Productiesnelheid

De hoeveelheid slib die tijdens het proces in suspensie wordt gebracht is afhankelijk van een verschillende factoren, o.a.: het slibgehalte in de bodem, de productiesnelheid van de zandwinning en de uitvoeringstechniek. In de berekeningen is gekozen voor een netto slibaanbod in suspensie van 1 resp. 4 miljoen m³ (in situ) per jaar.

- a. 1 Mm³slib /jaar

Dit winscenario is in overleg met de opdrachtgever als basiswinscenario toegepast. (Deze jaarlijkse hoeveelheid wordt bijvoorbeeld verkregen bij een winproductie van 20 Mm³/jaar met een slibpercentage in de bodem van 5 %).

- b. 4 Mm³slib /jaar

Dit winscenario is toegepast als controle berekening. Met deze berekening wordt gecontroleerd of de effecten lineair opschaalbaar zijn, m.a.w. of een verhoging van de winhoeveelheid met een factor 4 ook 4 keer hogere concentraties aan de randen (op ca 1 km van de rand van de standaardput) en sedimentatie in het gebied oplevert.

1 Mm³slib /jaar resulteert in een continue puntbron van 50.72 kg/s (droge stof)

4 Mm³slib /jaar resulteert in een continue puntbron van 202.94 kg/s (droge stof)

De hoeveelheid sediment wordt in het midden van de zandwininput in suspensie gebracht en wordt geacht respresentatief te zijn voor het passieve deel van de pluim die door baggeren wordt gegenereerd. Zoals eerder aangegeven is de passieve pluim slechts een gedeelte van de totale overflow. De dynamische pluim gaat direct naar de bodem van de put. Deze schematisatie/aanname/benadering is dus een bovengrensbepijndering voor de optredende vertroebeling.

5.2.2 Erosie- en depositie-instellingen

Depositie

De depositie in het model wordt beschreven door de formule van Krone, zie paragraaf 3.2.1. Daarin moeten de volgende parameters gedefinieerd worden:

Valsnelheid

De valsnelheid van slib is een functie van onder andere de turbulentiegraad en de lokale concentratie van de slib wolk t.o.v. de omgeving (het dichtheidsverschil). In Winterwerp (2004) wordt een relatie gegeven tussen de valsnelheid en de vloggrootte. Zoals hiervoor reeds is aangegeven is besloten de waarden van de valsnelheden hetzelfde te kiezen als destijds gebruikt bij de *far field* berekeningen voor het project Flyland (WL|Delft Hydraulics 2001).

Representatieve korreldiameter	Valsnelheid (w_s)
lichte slibfractie	0.1 mm/s
zware slibfractie	0.25 mm/s

Tabel 5.2: Valsnelheden bij verschillende korreldiameter

Kritische schuifspanning voor depositie

De kritische schuifspanning τ_d ligt volgens Winterwerp (2004) tussen 0.05 en 0.1 Pa. Conform de settings van de berekeningen voor Flyland (WL|Delft Hydraulics 2001) is gekozen een waarde voor de kritische schuifspanning τ_d van 0.1 Pa.

Erosie

De erosie van slib vanaf de bodem wordt beschreven door de formule van Partheniades, zie paragraaf 3.3.2. Daarin moeten de volgende parameters gedefinieerd worden:

Erosiecoëfficiënt

De erosiecoëfficiënt M ligt volgens Winterwerp (2004) tussen $0.01 \cdot 10^{-3}$ en $0.5 \cdot 10^{-3}$ kg/m²s. Bij geconsolideerd slib kan deze waarde veel lager zijn, maar dat is in dit geval niet waarschijnlijk aangezien de verblijftijden van het slib op de bodem naar verwachting klein zullen zijn.

Ook hier is gekozen om dezelfde instelling te nemen als bij de Flyland simulaties (WL|Delft Hydraulics 2001). Daarom is de waarde van de erosiecoëfficiënt gelijkgesteld aan $M=0.1 \cdot 10^{-3}$ kg/m²s.

Kritische schuifspanning voor erosie

De kritische schuifspanning voor erosie τ_e ligt meestal tussen 0.2 en 0.8 Pa (Winterwerp, 2004). Ook hiervoor geldt dat de gebruikte waarde gebaseerd is op de instelling voor Flyland (WL|Delft Hydraulics 2001): $\tau_e = 0.1$ Pa. Als reden waarom de waarde lager is dan de in de literatuur opgegeven range is gegeven dat de effecten van golven verdisconteerd zijn.

5.2.3 Overige instellingen en aannamen

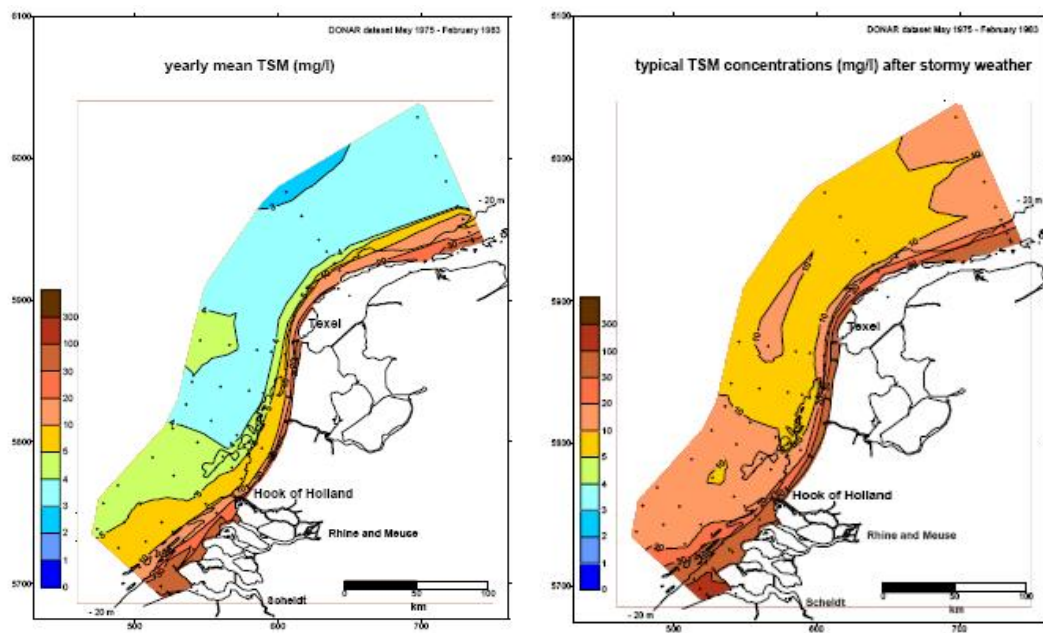
In de *middle field* simulaties dient rekening gehouden te worden met de *near field* effecten. Zoals aangegeven in Hoofdstuk 2 kan dit door een gedeelte van het overboordgezette sediment direct op te voeren als bodemverhoging en een gedeelte als gesuspendeerd sediment. Bij gebrek aan nadere gegevens is in overleg met de opdrachtgever daarom besloten er van uit te gaan dat het overboordgezette slib (de gehele fractie tot ca. 63 μm) volledig in suspensie blijft na lozing, zodat geen sediment als bodemverhoging wordt meegenomen. Voor de verspreiding van slib kan dit als bovengrens worden aangemerkt.

Om randeffecten van de noordelijke en zuidelijke modelranden te ondervangen is het rekengebied groter gekozen dan het interessegebied. Gerekend is met de standaardput met de afmetingen 3 bij 5 km (zie paragraaf 2.1). Het interessegebied heeft daardoor de afmetingen 5 bij 7 km. Het rekengebied is zodanig gekozen dat de eventuele invloeden van de randvoorwaarden op de invoerranden geen (noemenswaardige) invloed hebben op het interessegebied. De rand ligt op meer dan een getijslag² van het interessegebied. Daarom is een rooster gekozen met de afmetingen van 45 bij 43 km, zie figuur 4.1. De zandwinput is hierin zodanig gemodelleerd dat het middelpunt gelijk valt met het midden van het rekengebied.

Op de noordrand van het rekengebied wordt de waterstand en de slibconcentratie opgelegd. Op de zuidrand wordt de stroomsnelheid en de slibconcentratie opgelegd. De waterstand- en snelheidsrandvoorwaarden zijn zodanig ingesteld dat er een tweemaal daags getij met een maximale stroomsnelheid van $\hat{u}=1$ m/s is opgelegd. De slibconcentratie op de randen is vastgezet op 0 mg/l, omdat in deze berekeningen niet gerekend wordt met een achtergrondconcentratie van slib. Dit betekent dat al het slib dat zich in het model bevindt afkomstig is van de puntbron. Aangenomen wordt dat de totale hoeveelheid slib bepaald kan worden door superpositie van de berekende extra percentages en de achtergrondconcentratie. In Afbeelding 5.1 zijn ter indicatie de slibconcentraties voor de Nederlandse kust gegeven.

Bij alle berekeningen zijn 10 dagen doorgerekend waarbij de continue puntbron na 1 getij is aangezet (na de inspeelperiode voor de waterbeweging). Gebleken is dat deze periode voldoende is om een evenwichtssituatie te bereiken.

² getijslag = $\approx 12 : 25\text{uur} / 2 \cdot \hat{u} / \sqrt{2} \approx 15\text{km}$



Afbeelding 5.1: Slibpercentages voor de Nederlandse kust (uit Suijlen 2002).

5.3 Beschrijving van de resultaten

De resultaten van de berekeningen van de slibverspreiding als gevolg van de overflow worden in deze paragraaf besproken.

In de Figuur 5.1-5.6 zijn de slibconcentraties weergegeven tijdens maximale stroming en tijdens kentering voor de verschillende berekeningen (run 7 t/m 12).

Tabel 5.3 op de volgende pagina geeft het areaal (zeeoppervlakte) weer voor verschillende slibconcentraties in het gehele rekenrooster (45 x 43 km), inclusief de winput. Om het geheel in perspectief te plaatsen; een winput van 3 x 5 km heeft een oppervlakte van 1.500 ha. De klasse indeling in de tabel heeft betrekking op de slibconcentratie in het water boven de achtergrondconcentratie.

De natuurlijke achtergrond concentratie in het zoekgebied varieert tussen 4 en 20 mg/l.

Na een storm varieert de achtergrond concentratie tussen de 10 en 30 mg/l, zie afbeelding 5.1 (Suijlen et al. 2002).

KENTERING:	Oppervlakttes (ha)							
Berekening \ grenzen (mg/l)	0 - 1	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 100	100 - 200
1Mm^3, 10 mu, reststroom 0 cm/s (run 8)	10656.6	6420.3	8752.8	3999.8	72.1	6.9	1.1	0.0
1Mm^3, 10 mu, reststroom 10 cm/s (run 9)	18903.5	4842.6	5930.5	208.3	18.6	4.7	0.9	0.4
1Mm^3, 63 mu, reststroom 0 cm/s (run 10)	10712.8	6425.6	8781.9	3911.8	69.7	6.7	1.1	0.0
1Mm^3, 63 mu, reststroom 10 cm/s (run 11)	18948.9	4885.0	5857.5	193.4	18.9	4.5	0.9	0.4
Dwars Eurogeul, 1Mm^3, 63 mu, reststroom 0 cm/s (run 7)	12596.6	5524.9	7271.7	4299.7	292.3	9.9	1.5	0.0
Verschil Kentering in % tov 1Mm3, 10 mu, r 0m/s								
1Mm^3, 10 mu, reststroom 0 cm/s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
1Mm^3, 10 mu, reststroom 10 cm/s	77.4	-24.6	-32.2	-94.8	-74.2	-31.1	-15.8	-
1Mm^3, 63 mu, reststroom 0 cm/s	0.5	0.1	0.3	-2.2	-3.3	-3.4	0.0	-
1Mm^3, 63 mu, reststroom 10 cm/s	77.8	-23.9	-33.1	-95.2	-73.9	-34.5	-15.8	-
Dwars Eurogeul, 1Mm^3, 63 mu, reststroom 0 cm/s	18.2	-13.9	-16.9	7.5	305.3	43.6	43.5	-
MAX STROMING:								
1Mm^3, 10 mu, reststroom 0 cm/s	10803.6	5386.8	8885.6	4814.2	19.6	0.2	0.0	0.0
1Mm^3, 10 mu, reststroom 10 cm/s	21167.3	3498.2	5136.2	104.2	3.9	0.2	0.0	0.0
1Mm^3, 63 mu, reststroom 0 cm/s	10803.6	5386.8	8885.6	4814.2	19.6	0.2	0.0	0.0
1Mm^3, 63 mu, reststroom 10 cm/s	21167.3	3497.3	5137.1	104.2	3.9	0.2	0.0	0.0
Dwars Eurogeul, 1Mm^3, 63 mu, reststroom 0 cm/s	18.2	-13.9	-16.9	7.5	305.3	43.6	43.5	-
Verschil max stroming in % tov 1Mm3, 10 mu, r 0m/s								
1Mm^3, 10 mu, reststroom 0 cm/s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
1Mm^3, 10 mu, reststroom 10 cm/s	95.9	-35.1	-42.2	-97.8	-80.1	0.0	-	-
1Mm^3, 63 mu, reststroom 0 cm/s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
1Mm^3, 63 mu, reststroom 10 cm/s	95.9	-35.1	-42.2	-97.8	-80.1	0.0	-	-
Dwars Eurogeul, 1Mm^3, 63 mu, reststroom 0 cm/s	18.2	-13.9	-16.9	7.5	305.3	43.6	43.5	-

Tabel 5.3: Oppervlakttes met concentratiesklassen

Op basis van de Figuur 5.1 t/m 5.6 en Tabel 5.3 kan het volgende geconstateerd worden:

- De concentraties rond kentering zijn hoger dan de concentraties rond maximale stroming, doordat bij een lagere stroomsnelheid en gelijkblijvende slibbron minder verdunning optreedt.
- Het blijkt dat er nauwelijks verschil is tussen de berekeningen met de zware slibfractie en de lichte slibfractie. Verklaring hiervoor is dat al het slib (bij de aangenomen instellingen) in suspensie blijft, of dat al het neergeslagen slib na iedere kentering weer geresuspendeerd wordt.
- Er is een duidelijk verschil in concentratie tussen de berekening met en zonder reststroming. Bij de berekening zonder reststroming kan het slib slechts in beperkte mate in noordelijke richting verspreiden. Hierdoor blijft het slib langer in de omgeving van de zandwinput, waardoor de concentratie oploopt. Bij de berekening met reststroming verspreidt het slib meer in noordelijke richting waardoor er minder slib in de directe omgeving van de zandwinput blijft. Hierdoor zijn de concentraties lager dan in de berekeningen zonder reststroming.
- Bij de Eurogeul berekening (run 7) zijn de concentraties hoger dan bij de vergelijkbare berekening met een rechte aanstroming. Dit is te verklaren doordat de reststroming van de Eurogeul berekening kleiner is dan de reststroming van de rechte aanstroming doordat de stroming in de scheve put wordt afgebogen.
- Uit de controle berekening waar het slibaanbod 4 Mm^3 slib/jaar is in plaats van 1 Mm^3 slib/jaar (met verder dezelfde instellingen) blijkt dat een verhoging van de winhoeveelheid met een factor vier ook vier keer hogere concentraties in het gebied oplevert. De concentraties zijn dus binnen deze grenzen lineair opschaalbaar. Dit bevestigt de opzet om naderhand de produktiehoeveelheid te verhogen en de bijbehorende concentraties te bepalen op basis van voorgaande simulaties. Merk op dat deze schaling alleen mogelijk is, omdat er geen niets sedimenteert.

5.4 Interpretatie

Uit de resultaten blijkt dat al het ingebrachte slib uiteindelijk in suspensie blijft. Een klein gedeelte slaat wel neer gedurende de getijfase met lagere stroomsnelheden, maar de neergeslagen deeltjes komen bij hogere snelheden onmiddellijk weer in de waterkolom terecht (resuspensie). Er treedt geen (netto) sedimentatie op gedurende een getij. De resultaten kunnen direct teruggevoerd worden naar de parameterinstellingen voor erosie en depositie. Als de schuifspanning (snelheid) hoger is dan 0.1 Pa (ca 0.16 m/s) treedt erosie op (indien slib voorradig is), anders treedt depositie op. Bij de huidige stromingssituatie treden schuifspanningen (snelheden) op van ca 4 Pa (1 m/s). Slechts in een korte periode rond kentering treedt depositie op. Het merendeel van de tijd zal echter erosie optreden (indien slib voorradig is). In dit geval is de erosiecapaciteit $M = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{s}$ en de depositiecapaciteit $w_s \cdot c = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \cdot 0.05 \text{ kg/m}^3$ ($c = 50 \text{ mg/l}$). Daarmee is naast de langere periode van erosie dan de periode van depositie ook de erosiecapaciteit ca 20 maal hoger dan de depositiecapaciteit. Gemiddeld over een getij zal daarmee geen slib sedimenteren.

Om te bepalen wanneer gemiddeld over een getij wel sedimentatie op zal treden wordt de kritische concentratie bepaald, waarbij net sedimentatie zal optreden. Door een uniforme slibconcentratie aan te nemen kan de theoretische evenwichtsconcentratie eenvoudig berekend worden door, gedurende een getij, de erosie gelijk te stellen aan depositie:

$$c_e = \frac{\int_T M \left(\frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right) dt}{\int_T w_s \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d} \right) dt}$$

Indien de concentraties lager zijn dan de evenwichtsconcentraties zal bij de huidige parameterinstelling al het slib in suspensie blijven en indien er voldoende slib in de bodem beschikbaar is zal dit eroderen totdat de evenwichtsconcentratie bereikt is. Indien de concentratie hoger is dan de evenwichtsconcentratie, dan treedt sedimentatie op.

In Tabel 5.4 zijn voor verschillende snelheidsamplitudes de evenwichtsconcentraties weergegeven. Deze waarden zijn zeer hoog in vergelijking met de berekende concentraties (zie Tabel 5.3) en met de concentraties, die optreden onder natuurlijke omstandigheden (zie Afbeelding 5.1). Het is daarom te verwachten dat, bij de huidige instellingen, geen slib zal sedimenteren in en rond de zandwinput. In het model heeft de zee een permanente slibhonger.

$\hat{u}$ (m/s)	$\hat{\tau} = \frac{9.81}{50^2} \hat{u}^2$ (Pa)	C _{evenwicht} (mg/l)	
		w _s =0.1 mm/s	w _s =0.25 mm/s
0.25	0.25	1.800 mg/l	720 mg/l
0.5	0.98	29.500	1.160
0.75	2.20	111.000	44.000
1.00	3.90	272.000	110.000

tabel 5.4: evenwichtsconcentraties, bij verschillende snelheidsamplituden

5.5 Ondergrenssimulatie

Naar aanleiding van de resultaten van de voorgaande berekeningen is besloten een ondergrenssimulatie uit te voeren, waarin wel sedimentatie op kan treden.

5.5.1 Instellingen

De instellingen zijn zo gekozen dat maximale sedimentatie op zal treden zonder al te veel af te wijken van de fysisch realistische range.

De volgende instellingen zijn aangehouden:

M = 0.01 10⁻³ kg/(m²s) (ipv 0.1 10⁻³ kg/(m²s), factor 10)

τ_e = 0.8 Pa (ipv 0.1 Pa, factor 8)

τ_d = 0.1 Pa (blijft gelijk)

w_s = 0.5 mm/s (ipv 0.25mm/s, factor 2)

$\hat{u}$ = 0.5 m/s (ipv 1 m/s, factor 2, maar 4 voor de schuifspanning)

daarmee $\hat{\tau}$ = 0.98 Pa

De evenwichtsconcentratie, behorend bij deze instellingen, bedraagt c_e=6 mg/l (vgl run 8: c_e=272.000 mg/l). Als de concentratie boven deze waarde komt zal slib neerslaan, anders zal het in suspensie blijven. Merk op dat de evenwichtsconcentratie binnen de

natuurlijke range valt (5-30 mg/l), wat overigens niet betekent dat het daarmee een fysisch juiste instelling is.

5.5.2 Resultaten en interpretatie

In Figuur 5.7 zijn de slibconcentraties weergegeven tijdens maximale stroming en tijdens kentering voor de verschillende berekeningen (Run 13).

In Figuur 5.8 is de sliblaagdikte weergegeven na 10 dagen. Zoals te verwachten is de sliblaagdikte rond het lozingspunt het grootst (ca 1mm na 10 dagen). Een groot deel van het slib sedimenteert in de put, vanwege de hoge concentratie en de lage bodemschuifspanning.

De hoeveelheid slib, die gedurende een getij sedimenteert in en rond de zandwinput bedraagt 63% van de aangeboden hoeveelheid slib. Er blijft daarmee 37% in suspensie. Deze verhouding kan mogelijk als ondergrens beschouwd worden.

Uit deze simulatie blijkt dat aanpassing van de parameters kan leiden tot de situatie waarin slib gedeeltelijk sedimenteert en gedeeltelijk in suspensie blijft. Benadrukt wordt dat de grenzen van een fysisch realistische parameterinstelling zijn opgezocht.

Bij de huidige parameterinstellingen zal eveneens de putconfiguratie een rol gaan spelen. Bij relatief lange putten zal de stroomsnelheid toenemen en zal minder slib sedimenteren dan bij korte en/of dwarsaangestroomde putten. Merk op dat als slib in de put sedimenteert, er een laag(je) van slib en/of fijn zand op de bodem komt te liggen waar eerst 'doorheen' gebaggerd moet worden. Deze laag neemt toe naarmate de put dieper wordt. Deze laag kan verminderd worden door grotere en/of ondiepe putten.

5.6 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de simulaties en interpretaties kan gesteld worden dat in de slibmodellering met de instellingen zoals gebruikt voor Flyland geen sedimentatie zal optreden; al het slib blijft in suspensie, aangezien de concentratie ver onder de evenwichtsslibconcentratie blijft. De praktijkervaring van de bestaande zandwinputten, is echter dat een gedeelte van het slib achterblijft in de (omgeving van) de zandwinput. Het verschil tussen de modellering en de praktijkervaring kan twee oorzaken hebben:

- 1 De gebruikte parameterinstellingen voor erosie en depositie staan te ver van de werkelijkheid. Gezien de zeer hoge evenwichtsslibconcentraties zoals geschat in 5.4 moeten de parameters inderdaad aangepast worden. De kritische schuifspanning voor erosie kan verhoogd worden en de kritische schuifspanning voor depositie en de erosieconstante kunnen verlaagd worden, zodanig dat er wel sedimentatie op zal treden gedurende een getij.
- 2 De slibmodellering met behulp van Krone en Partheniades is niet afdoende. Meer fysische processen zouden meegenomen moeten worden. Er valt te denken aan een nauwkeurige formulering voor het *near field*, waarbij de optredende dichtheidsstroming meegenomen wordt. Dit zal echter weinig effect

hebben bij de Flyland instellingen, aangezien het neergeslagen slib weer zal eroderen, tenzij de slibeigenschappen veranderen. Processen in de bodem zouden invloed kunnen hebben. Hierbij valt te denken aan gedeeltelijke afdekking van slib door zand of een andere vorm van slib-zand interactie (waar tijd voor nodig is ; bijvoorbeeld bioturbatie).

Beide oorzaken zullen effect hebben. Gezien de beperkte doelstelling van deze studie (geen verbetering van de huidige modelleringspraktijk, waarbij bijvoorbeeld afdekking van slib door zand meegenomen wordt), is een simulatie uitgevoerd waarbij parameterinstellingen sterk opgerekt zijn om depositie te verkrijgen. Hieruit bleek dat ca 65% van het slib in de put achterbleef. Deze simulatie zou eventueel kunnen dienen als een ondergrens voor het slibaanbod in suspensie voor de *far field* berekeningen.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

6.1.1 Waterbeweging

Zes simulaties zijn uitgevoerd voor de bepaling van de waterbeweging in een zandwinput. Uit de simulaties blijkt dat voor de beschouwde putafmetingen de snelheid in de put afneemt met een percentage variërend tussen 5% en 24%. De afmetingen van de put zijn belangrijk in verband met de lengte waarover de stroming zich in de put kan ontwikkelen. Bij een in lengterichting aangestroomde put treden hogere stroomsnelheden op dan bij de in dwarsrichting aangestroomde put. Hoe langer de put des te groter de stroomsnelheid. Boven en benedenstrooms van de put treedt versnelling op.

Het gebied waarin de invloed van de put merkbaar is (een snelheidsverandering van meer dan 10%) is voor de basisput beperkt tot een oppervlakte ter grootte van 44% van de put en tot maximaal 140% van de oppervlakte van de put bij grotere windiepte (van 20m of meer). Aanstroming dwars op de put geeft een kleiner invloedsgebied buiten de put dan wanneer de stroming evenwijdig is aan de put.

6.1.2 Slibverspreiding

Zes simulaties zijn uitgevoerd voor de bepaling van de slibverspreiding.

De slibparameterinstellingen, zoals gebruikt voor Flyland zijn toegepast. Voor al deze simulaties bleek dat al het slib in suspensie blijft. De putconfiguratie bleek bij deze instellingen van ondergeschikt belang.

Op basis van gelijkstelling van getijgeïntegreerde erosie en depositie is de evenwichtsconcentratie behorende bij de Flyland instellingen bepaald. Als de getijgemiddelde concentratie hoger is dan deze evenwichtsconcentratie zal sedimentatie optreden, als de getijgemiddelde concentratie lager is dan de evenwichtsconcentratie blijft het slib in suspensie en, indien er slib in de bodem beschikbaar is, treedt er erosie op. De evenwichtsconcentratie is zeer hoog in vergelijking met de berekende concentraties. In het model is daarmee sprake van een zee met permanente slibhonger. Hiermee is verklaard waarom in de simulatie al het slib altijd in suspensie blijft (tegen de praktijkervaring in) en is tegelijkertijd een vraagteken geplaatst bij het realiteitsgehalte van de Flyland instellingen.

Vervolgens is een simulatie uitgevoerd waarbij de instellingen zijn aangepast, zodanig dat voor de depositie- en erosieparameters de grens van de fysisch realistische range is opgezocht, ten behoeve van het verkrijgen van een sedimenterend systeem.

Deze simulatie geeft dat ca 65% slib in de zandwinput sedimenteert.

Indien dit als ondergrens beschouwd wordt, kan geconcludeerd worden dat 35-100% van het aangeboden slib doorgegeven wordt aan het *far field*. Een reductie van het aanbod kan alleen toegepast worden als de slibparameterinstellingen in het *far field* model eveneens aangepast worden. Het precieze percentage is grotendeels afhankelijk van de slibinstellingen en slechts gedeeltelijk van de putgeometrie.

6.2 Aanbevelingen

Het is zeer aan te bevelen om voor de *middle field* berekeningen, de slibparameterinstellingen van Flyland te wijzigen, zodanig dat gedurende een getij slib sedimenteert in en rond de zandwinput.

Voor de *near field* modellering dient niet alleen de slibverspreiding in de waterkolom (actieve pluim modellering etc.) bepaald te worden, maar dient vooral het sedimentiegedrag, bij voorkeur in interactie met bijvoorbeeld zandafpleistering, nader onderzocht te worden.

Voor de *far field* modellering van de concentratie kan eenvoudigweg een percentage van het totale slibaanbod opgelegd worden. Bij de bepaling van de sliblaagdikte dient in de put de in de *near field* en *middle field* gemodelleerde sliblaagdikte gesuperponeerd te worden. Als meest conservatieve bovengrens kan uitgegaan worden van de situatie waarin alles in suspensie blijft. Ook voor de *far field* berekeningen is het aan te bevelen de Flyland instellingen te heroverwegen.

7 REFERENTIES

Fischer, H.B., et al. (1979). Mixing in Inland and Coastal Waters.
Academic Press, ISBN 0-12-258150-4.

Flyland rapport, May 2001, Calibration and verification of large-scale 2D/3D flow
models – Phase 1

Flyland rapport, November 2001, Kust-en Zeestudies ONL 'Mariene Ecologie en
Morfologie'. Dossier :Z3030.10

Lee, JHW and Chu, VH (2003). Turbulent Jets and Plumes - A Lagrangian Approach.
Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-7520-0.

Winterwerp, J.,C., Kesteren W.G.M van, 2004, Introduction to the physics of cohesive
sediment in the marine environment.

Suijlen, J.M. en Duin, R.N.M, 2001. Variability of near-surface total suspended
matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea, rapport
RIKZ/2001.150x

Suijlen, J.M. en Duin, R.N.M, 2002. Atlas of near-surface total suspended matter
concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea, rapport
RIKZ/2002.059

FIGUREN

