

Effecten van systeemingrepen op de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde

Auteur: F.O.B. Lefèvre

Rapport RIKZ/2000.006

Effecten van systeemingrepen op de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde

Auteur: F.O.B. Lefèvre

Bijdrage : R.M. Salden

Rapport RIKZ/2000.006

Juli 2000

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1. Inleiding en probleemstelling	9
2. Werkwijze	11
3. Definitie van de beschouwde ingrepen	13
3.1 De selectiecriteria	13
3.2 Uitgangssituatie bij de modelberekeningen	13
3.3 De situatie in 1995	14
3.4 De referentiesituatie	14
3.5 De beschouwde ingrepen	14
4. Slibbalansen van de beschouwde ingrepen	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Van slibtransport naar slibbalans	17
4.3 Motivering toegepast slibtransportmodel	17
4.4 Het hydrodynamisch model TRIWAQ	18
4.5 Het slibtransportmodel SLIB3D	18
4.6 De slibbalansen	19
4.7 Enkele opmerkingen m.b.t. berekende slib- transporten en slibbalansen	26
5. Het waterkwaliteitsmodel BOS-LIFE	29
6. De berekeningsresultaten	33
7. Conclusies en aanbevelingen	39
Literatuur	41

Samenvatting

Het Schelde-estuarium is al sinds lange tijd, letterlijk en figuurlijk, het werkterrein van de mens. Dit heeft geresulteerd in een groot aantal ingrepen in het fysische systeem van het estuarium, die gedurende een lange reeks van jaren werden uitgevoerd. De aanleg van dijken en de inpoldering van delen van het estuarium, alsmede het verdiepen en vastleggen van de vaargeul door de Schelde en de Westerschelde, fixeerden op veel plaatsen de geometrie van het estuarium. Verder zijn stroomopwaarts van het estuarium, in België en Frankrijk, vele kanalen aangelegd en beken en rivieren gekanaliseerd. Deze werkzaamheden hadden tot doel de toegankelijkheid van het gebied voor de scheepvaart te vergroten én het 'overtollige' regenwater snel af te voeren, waardoor de kans op overstromingen werd verkleind. Hierdoor werd de waterhuishouding van het gebied dat het Schelde-estuarium voorziet van zoet water, kunstmatig aangepast.

Ook tegenwoordig worden grootschalige ingrepen in het fysische systeem van het estuarium uitgevoerd. De waterbodem van de Zeeschelde wordt gesaneerd en de vaargeul door de Westerschelde wordt verder verdiept, waardoor deze toegankelijk wordt gemaakt voor grotere zeeschepen. Dit rapport is in opdracht van de directie Zeeland opgesteld om een beeld te geven van de gevolgen voor de kwaliteit van het water en de bodem van de Westerschelde van een aantal menselijke ingrepen in het fysische systeem van het Schelde-estuarium. De resultaten van deze scenariostudie kunnen bijdragen tot een antwoord op de beleidsvraag, die door de directie Zeeland is opgesteld: "Wat zijn de gevolgen voor de kwaliteit van het water en de bodem van de Westerschelde van concrete, en in de toekomst mogelijke ingrepen in het fysische systeem en de waterhuishouding van de Westerschelde".

Uit het grote scala van mogelijke ingrepen in het fysische systeem van het estuarium zijn er voor dit rapport een beperkt aantal geselecteerd. Deze zijn nader gedefinieerd en gekwantificeerd om, voor elke ingreep afzonderlijk, de effecten hiervan op de water- en bodemkwaliteit aan te kunnen geven. Hierbij is gebruik gemaakt van computermodellen. Van de volgende concrete en mogelijke ingrepen zijn de gevolgen voor de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde bepaald: de huidige verdieping van de Westerschelde, de slibverwijdering uit de bodem van een gedeelte van de Zeeschelde, regulerende maatregelen ten gunste van een natuurlijke ontwikkeling van het estuarium, regulerende maatregelen voor een eenvoudiger doorvaart van grotere schepen naar en van Antwerpen en regulerende maatregelen ter bevordering van het herstel van de natuurlijke aanvoer van zoetwater uit het stroomgebied. Ook zijn twee combinatie-ingrepen doorgerekend.

Van het jaar 1995 is voldoende informatie beschikbaar, die van essentieel belang is voor de te gebruiken modellen. Daarom is dit jaar als uitgangssituatie bij de berekeningen gekozen.

De uitvoering van een ingreep in het fysische systeem van het Schelde-estuarium heeft directe gevolgen voor de waterbeweging en dus voor de

slibtransporten. Hierdoor wordt ook de water- en bodemkwaliteit beïnvloed. Genoemde veranderingen in de slibtransporten zijn vervolgens gekwantificeerd en vertaald naar een voor elke situatie representatieve slibbalans. Op basis van deze slibbalansen is de water- en bodemkwaliteit bepaald.

Omdat veel verontreinigingen zich aan slib hechten zullen hiervoor de transportpaden in grote lijnen dezelfde zijn als die van het slib. Momenteel is er geen computermodel voorhanden, dat op basis van de beschikbare gegevens de gewenste berekeningsresultaten kan leveren. Om hieraan toch te kunnen voldoen zijn een aantal computermodellen geselecteerd en 'in serie' gezet. Dit betekent dat achtereenvolgens een hydrodynamisch model, een slibtransportmodel, een waterbewegingsmodel en een waterkwaliteitsmodel bij de berekeningen zijn gebruikt.

Deze studie heeft een verkennend karakter, omdat de modeluitkomsten, zeker nu de modellen in serie zijn gezet, gekenmerkt worden door een zekere onnauwkeurigheid. Daarom zijn de resultaten van de modelberekeningen onderling relatief met elkaar vergeleken en niet op het niveau van absolute concentraties. Ook heeft daardoor geen toetsing aan normen plaatsgevonden.

Uit de uitgevoerde studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

De slechtste kwaliteit van het water en de bodem van de Westerschelde is berekend voor de ingreep waarin een weer natuurlijke aanvoer van zoetwater uit het stroomgebied van de Schelde centraal staat, indien de waterkwaliteit van de Schelde niet is verbeterd. Deze ingreep heeft verder tot gevolg dat de brakwaterzone met gemiddeld 4 kilometer wordt vergroot en in zeewaartse richting opschuift. Ook de flocculatiezone schuift met deze afstand in zeewaartse richting op.

Meer zoet water veroorzaakt dus een grotere brakwaterzone. Voorwaarde hierbij is dat de kwaliteit van het rivierwater moet verbeteren. Anders weegt het ecologisch voordeel van het vergroten van deze zone niet op tegen de verslechtering van de waterkwaliteit, die het gevolg zou zijn van meer zoet water met de huidige kwaliteit.

Maatregelen om de scheepvaart ruim baan te geven, door extra te verdiepen en leidammen en geulwandverdedigingen aan te leggen, hebben voor de gehele Westerschelde een slechtere water- en bodemkwaliteit tot gevolg.

Slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis resulteert in een vrij grote verbetering van de water- en bodemkwaliteit, vooral in het oostelijke deel van de Westerschelde. Slibverwijdering is dus een goede maatregel om de kwaliteit van het water en de bodem te verbeteren.

De verdieping van de vaargeul in de Westerschelde draagt bij tot een kleine verbetering van de water- en bodemkwaliteit, vooral in het westelijk deel van de Westerschelde.

De beste kwaliteit van het water en de bodem van de Westerschelde is berekend voor de ingreep waarin de natuurlijke ontwikkeling van het estuarium centraal staat. Hierbij moet echter worden aangetekend dat, door randproblemen van het toeleverend slibmodel, de waterkwaliteit van vooral

de Zeeschelde door het waterkwaliteitsmodel te rooskleurig wordt voorgesteld. Hierdoor is deze conclusie niet hard te maken.

Uit de uitgevoerde studie zijn de volgende aanbevelingen voor vervolgonderzoek naar voren gekomen:

Menselijk handelen in het fysische systeem van het estuarium heeft vaak een grote invloed op de slibtransporten en daarmee op de slibbalansen, die de modellen bij de berekeningen hanteren. Vooral ingrepen in het systeem dichtbij de bovenrand van het model, de rivierrand, leiden in het model tot een niet realistisch verlies van slib uit het systeem via deze rand. Door het model in stroomopwaartse richting uit te breiden kan een meer representatief beeld van de werkelijkheid worden gegeven.

Met het slibtransportmodel, SLIB3D, onlangs opgetuigd en gecalibreerd, zijn de slibtransporten berekend waaruit de slibbalansen zijn opgemaakt. Dit slibmodel beschikt echter niet over modules die de mogelijkheid bieden om processen, zoals erosie uit de waterbodem en het verdwijnen van slib via de sluizen bij Berendrecht en Zandvliet, na te kunnen bootsen. Om nauwkeuriger voorspellingen te kunnen doen met betrekking tot grootschalige ingrepen, is het nodig genoemde processen in dit slibmodel te modelleren.

Voor het berekenen van de gevolgen van de verdieping is het noodzakelijk dat de menging, die in het waterkwaliteitsmodel BOS-LIFE wordt nagebootst door dispersiecoëfficiënten, aan de nieuwe situatie wordt aangepast. Hierdoor zal het model het verder doordringen in de rivier van zeewater, dat een gevolg is van de verdiepte geulen, beter weergeven.

Recent onderzoek [Salden, 1997] heeft uitgewezen dat continue slibverwijdering op één plaats, zoals in de aanloopgeul naar de Kallosluis het geval is, uiteindelijk zal resulteren in erosie van oud bodemmateriaal. Dit materiaal heeft op die locatie een slechtere kwaliteit dan het weggehaalde slib. Dit fenomeen is niet in het waterkwaliteitsmodel BOS-LIFE gemodelleerd en is dus ook niet bij de berekeningen betrokken. Aanbevolen wordt dit mechanisme of een equivalent daarvoor in BOS-LIFE te modelleren. Inmiddels heeft onderzoek [Ruigh, 1999] uitgewezen dat het concept van het huidige waterkwaliteitsmodel hiervoor geschikt is.

1 Inleiding en probleemstelling

De vorming en ontwikkeling van de geometrie en de morfologie van het Schelde-estuarium worden al lange tijd beïnvloed door menselijk ingrijpen. Onder menselijk ingrijpen wordt hier verstaan: de aanleg van de vele dijken ten behoeve van landaanwinning en ter voorkoming van overstromingen, de constructie van havens, kades en sluiscomplexen, waardoor op veel plaatsen oevers en delen van de vaargeul zijn gefixeerd. Ook zijn 'onzichtbare' ingrepen in het fysische systeem van het estuarium uitgevoerd. Dit zijn de diverse verdiepingen van de vaargeul door de Westerschelde en de Zeeschelde tot aan Antwerpen, waardoor het voor steeds grotere zeeschepen mogelijk wordt met een steeds kleinere getijhinder van en naar Antwerpen te varen. Deze ingrepen hebben invloed gehad op de morfologie en daarmee op de slibtransporten door het estuarium.

Door de aanleg van vele kanalen en de kanalisaties van rivieren en beken in het stroomgebied van de Schelde is de waterhuishouding van het estuarium beïnvloed. In dit stroomgebied, dat zich uitstrekt over het noordwesten van Frankrijk en het midden en westen van België, zijn deze werken uitgevoerd ten behoeve van een betere bevaarbaarheid en met het doel 'overtollig' regenwater uit het stroomgebied vroegtijdig af te leiden, waardoor de kans op overstromingen werd verminderd.

Tegenwoordig worden grootschalige ingrepen in het fysische systeem van het estuarium uitgevoerd. Deze hebben tot doel verontreinigd slib uit de waterbodem van de Zeeschelde te verwijderen en de vaargeul door de Westerschelde en Zeeschelde toegankelijker te maken voor schepen met een grotere diepgang.

Bovengenoemde ingrepen hebben tevens gevolgen (gehad) voor de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde. De laatste tijd worden steeds meer ideeën ontwikkeld om, via ingrepen in het fysische systeem van het estuarium, uiteindelijk te komen tot een watersysteem, waarin een verdere verbetering van de water- en bodemkwaliteit mogelijk wordt. Dit rapport is in opdracht van de directie Zeeland gemaakt om antwoord te kunnen geven op de volgende vraag:

“ Wat zijn de gevolgen voor de kwaliteit van water en bodem van de Westerschelde van huidige en in de toekomst mogelijke ingrepen in het fysische systeem en in de waterhuishouding van de Westerschelde.”

Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn uit het grote scala van huidige en in de toekomst mogelijke systeemgrepen een aantal door te rekenen ingrepen geselecteerd, gedefinieerd en gekwantificeerd. Hieruit zijn tevens enkele combinaties samengesteld. Verder is een referentiesituatie aangewezen en is de situatie in 1995 bepaald. Deze informatie is vervolgens vertaald naar de mogelijkheden die de beschikbare modellen bieden. Aan de hand van berekeningen is vervolgens aangegeven welke gevolgen de uitvoering van betreffende ingreep op lange termijn heeft voor de water- en bodemkwaliteit van het estuarium.

Dit rapport geeft in het kort de resultaten weer van deze studie. De gevolgen voor de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde van geselecteerde ingrepen zijn weergegeven aan de hand van de beperkte set,

wat gedrag betreft, karakteristieke stoffen, die in het waterkwaliteitsmodel van BOS-LIFE zijn gemodelleerd. Om het rapport kort en leesbaar te houden is een deel van de onderliggende informatie met betrekking tot de gebruikte modellen en procedures niet in dit rapport opgenomen, maar gebundeld in het werkdocument "Achterliggende informatie m.b.t. onderzoek gevolgen systeemingenrepen Westerschelde" [Lefèvre, 2000].

Het rapport bevat zeven hoofdstukken. In hoofdstuk 1 is de inleiding en probleemstelling opgenomen.

In hoofdstuk 2 wordt een beeld gegeven van de gevolgde werkwijze.

Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de manier waarop de ingrepen zijn geselecteerd en gedefinieerd, en wordt aangegeven welke uitgangssituatie bij de berekeningen is gekozen. Tevens is de situatie in 1995 en is de referentiesituatie bepaald.

De slibbalansen, die voor de referentiesituatie, de situatie in 1995 en de door te rekenen ingrepen representatief zijn verondersteld, zijn bepaald door hiertoe een aantal computermodellen 'in serie' te zetten. De gehanteerde aanpak en de resultaten hiervan kunt u lezen in hoofdstuk 4.

De gevolgen van het uitvoeren van de ingrepen voor de kwaliteit van het water en de bodem van de Westerschelde zijn voor elke situatie afzonderlijk berekend met een waterkwaliteitsmodel, uitgaande van de berekende slibbalansen. Dit model komt in hoofdstuk 5 aan de orde.

In hoofdstuk 6 worden de berekeningsresultaten van het waterkwaliteitsmodel besproken en gepresenteerd.

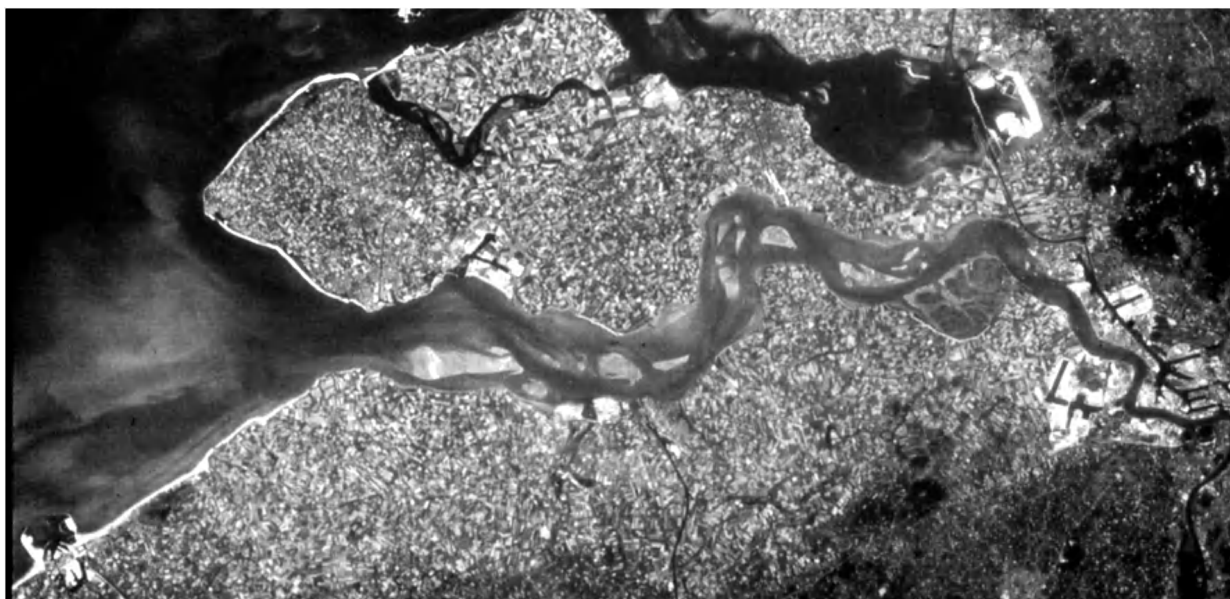
Hoofdstuk 7 tenslotte bevat een aantal conclusies en aanbevelingen die betrekking hebben op het onderzoek zelf en op de daarbij gebruikte modellen.

2 Werkwijze

De gevolgen voor de kwaliteit van het water en de bodem van de Westerschelde van huidige en in de toekomst mogelijke ingrepen in het fysische systeem van het Schelde-estuarium, worden in dit rapport aangegeven aan de hand van een set hiervoor te definiëren ingrepen. Ingrepen beïnvloeden de loop van fysische, chemische en biologische processen in het watersysteem, die de kwaliteit van het water en de bodem van het estuarium (mede) bepalen. Het gaat in dit rapport met name om ingrepen in de waterhuishouding, in de geometrie en in de morfologie van het Schelde-estuarium.

Onder de in dit rapport beschouwde huidige ingrepen vallen de verdieping van de vaargeul door de Westerschelde en de verwijdering van verontreinigd slib uit de bodem van de aanloopgeul naar de Kallosluis, gelegen aan de linkeroever van de Schelde nabij Antwerpen (zie figuur 1). Beide maatregelen zijn opgenomen in vigerend beleid.

Figuur 1. De ligging van het Schelde-estuarium.



Onder de in dit rapport beschouwde ingrepen, die mogelijk in de toekomst worden uitgevoerd vallen ingrepen met het doel het estuarium meer ruimte tot natuurlijke ontwikkeling te geven, ingrepen met het doel de scheepvaart ruimte tot verdere ontwikkeling te geven en ingrepen om tot herstel te komen van de natuurlijke waterhuishouding van het stroomgebied van de Schelde. In overleg met de directie Zeeland zijn hieruit zes ingrepen gedefinieerd, is de referentie aangewezen en is de situatie in 1995 bepaald. Ook enkele combinaties tussen genoemde opties zijn vastgelegd. Deze ingrepen worden in hoofdstuk 3 gedefinieerd.

Van het jaar 1995 zijn voldoende gegevens beschikbaar over de waterhuishouding, de slibtransporten en de lozingen van verontreinigingen, die van essentieel belang zijn voor de gebruikte computermodellen,

waarmee de water- en bodemkwaliteit is bepaald. Daarom is dit jaar als uitgangssituatie bij de berekeningen gekozen. Het waterkwaliteitsmodel binnen BOS-LIFE is onlangs op deze situatie opnieuw gekalibreerd, om tot betere voorspellingen te kunnen komen. Deze calibratie is beschreven in "Calibratie en validatie van het waterkwaliteitsmodel in het BOS-LIFE modelsysteem voor het Schelde-estuarium" [D.J. Bakker, 1998].

Er dient opgemerkt te worden dat de ten behoeve van de referentiesituatie gekozen uitgangssituatie voor een groot deel gebaseerd is op praktische gronden, en niet op fysische, chemische of biologische randvoorwaarden. Hoofdzaak hierbij was een zo recent mogelijke situatie met behulp van modellen te kunnen beschrijven.

Het voorspellen van de gevolgen voor de kwaliteit van het water en de waterbodem van de Westerschelde, door het uitvoeren van één of enkele ingrepen, of een combinatie hiervan, kan alleen op basis van modelberekeningen. Momenteel is er (nog) geen modelsysteem beschikbaar dat zo veelomvattend is, dat hierin alle hierbij betrokken processen zijn gemodelleerd. Om gewenste berekeningen uit te kunnen voeren is een aantal modellen 'in serie gezet'.

Ingrepen in de waterhuishouding in de hoger gelegen delen van België en in het fysische systeem van het estuarium beïnvloeden de werking van het getij. Dit heeft tot gevolg dat de stromingspatronen in het estuarium veranderen. Door deze gewijzigde patronen verandert ook de waterbeweging. Dit is met behulp van een hydrologisch model bepaald. Veranderingen in de waterbeweging beïnvloeden de slibtransporten. Dit is met een driedimensionaal slibtransportmodel doorgerekend. De hiermee berekende slibtransporten en slibbalansen zijn vervolgens met behulp van een fijnmazig waterbewegingsmodel gegoten in de vorm die het waterkwaliteitsmodel eist, de slibbalansen. Met dit model zijn tenslotte de gevolgen voor de water- en bodemkwaliteit berekend van de referentiesituatie, de situatie in 1995 en van de betreffende ingrepen.

Omdat het slibmodel de essentiële processen ontbreken, die nodig zijn om de gevolgen van slibverwijdering aan te kunnen geven, zijn de gevolgen hiervan op basis van expert-judgement bepaald en aan betreffende slibbalansen toegevoegd.

In overleg met de opdrachtgever is gekozen voor een studie met een verkennend karakter, niet voor een daadwerkelijke uitvoeringsstudie. Hierbij is, door het definiëren van een klein aantal vrij extreme (fictieve) toekomstige ingrepen in het systeem van het estuarium, het gehele scala van mogelijkheden verkend.

De modelresultaten van de betreffende ingrepen en de situatie in 1995 worden relatief met de referentiesituatie vergeleken. Hierbij zijn de berekende concentraties geïndexeerd, dus op 100 gesteld en worden alleen 'geïndexeerde' berekeningsresultaten weergegeven. Er vindt geen toetsing van concentraties aan normen plaats.

3 Definitie van de beschouwde ingrepen

3.1 De selectiecriteria

Om inzicht te krijgen in de mate waarin de kwaliteit van het water en de bodem van het estuarium wordt beïnvloed door menselijk handelen, zijn uit het grote scala van huidige en in de toekomst mogelijke ingrepen, en enkele combinaties hiertussen, in totaal zes ingrepen gedefinieerd. Deze ingrepen, die in 3.5 nader worden toegelicht, zijn in overleg met de directie Zeeland vastgelegd aan de hand van de volgende selectiecriteria. De ingreep richt zich op het verkrijgen van een reële nieuwe situatie; deze valt daarmee binnen het kader van praktische uitvoerbaarheid. De ingreep kan op een verantwoorde wijze vertaald worden naar de vereiste modelinput. Dit wil zeggen dat de informatie van de door te rekenen ingreep geschikt gemaakt kan worden voor verdere verwerking binnen de concepten van de te gebruiken reeks computermodellen. De ingreep mag geen beperking in zich hebben die door één van de modellen wordt opgelegd. De ingrepen hebben onderling een in potentie duidelijk onderscheidend vermogen.

3.2 Uitgangssituatie bij de modelberekeningen

Zoals in hoofdstuk 2 is aangegeven is ten behoeve van de berekeningen met het waterkwaliteitsmodel de situatie in 1995 als uitgangssituatie genomen. In alle gevallen zijn de computerruns zolang doorgedraaid totdat het model evenwichtsconcentraties berekende. Deze resultaten zijn in dit rapport verder met elkaar vergeleken.

In 1995 is men met de huidige verdieping van de vaargeul door de Westerschelde begonnen en was de verwijdering van slib uit de aanloopgeul naar de Kallosluis in volle gang. De gevolgen van beide ingrepen zijn nog niet gestabiliseerd, waardoor er nog geen sprake is van een nieuw dynamisch evenwicht. Dit geldt zowel voor de slibhuishouding als voor de daarmee samenhangende water- en bodemkwaliteit. Om de invloed van beide ingrepen afzonderlijk aan te kunnen geven is de slibverwijdering ondergebracht in de door te rekenen situatie in 1995 en de verdieping in de door te rekenen referentiesituatie.

De mogelijke aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden aan de linkeroever van de Beneden-Zeeschelde bij de Hedwig/Prosperpolder en bij Kruikeke/Basel zijn in een ingreep opgenomen, omdat deze aanleg ook gevolgen zal hebben voor de slibhuishouding en de waterkwaliteit van de Westerschelde. De mogelijke aanleg van kleinere gecontroleerde overstromingsgebieden in de Westerschelde zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze geen wezenlijke invloed hebben op de slibhuishouding en op de waterkwaliteit van de Westerschelde. De locaties van de mogelijk aan te leggen overstromingsgebieden stroomopwaarts van Rupelmonde vallen buiten het gemodelleerde gebied en daarmee eveneens buiten het kader van deze studie.

3.3 De situatie in 1995

1995

Voor deze berekening, die de situatie in 1995 weergeeft, zijn de gevolgen van de slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis, die de Waaslandhaven met de Zeeschelde verbindt, volledig in de slibbalans verwerkt. Deze slibverwijdering is in 1992 gestart en vindt nog steeds plaats. Het grootste deel van de totale hoeveelheid verwijderd slib komt uit de toegangsgeul van de Kallosluis. Deze specie wordt op het land opgespoten of geborgen in diepe gedeelten, de zogenaamde natte cellen van de Waaslandhaven. Het schutten van de zeesluizen van Berendrecht, Zandvliet en Kallo veroorzaakt een aanzienlijke verlies van slib uit het estuarium. Ook deze verliespost is in de slibbalans verdisconteerd. Daarentegen is de invloed van de huidige verdieping op de slibtransporten hier niet in de slibbalans verdisconteerd.

Samengevat: de situatie in 1995 is doorgerekend inclusief slibverwijdering, exclusief huidige verdieping.

3.4 De referentiesituatie

T-0

Als uitgangspunt voor de referentie is de situatie in 1995 gekozen. In de slibbalans zijn de gevolgen van de onderhoudsbaggeractiviteiten op de drempels en de extra baggerwerkzaamheden ten behoeve van de huidige verdieping van de vaargeul in de Westerschelde volledig verdisconteerd. De gevolgen van wijzigingen in de geometrie, die de verdiepingswerken met zich meebrengen, zijn niet in deze balans opgenomen. De invloed hiervan op de berekende transporten is door de grove modelschematisatie niet aan te geven. In deze referentiesituatie zijn de gevolgen van de slibverwijdering uit de Kallosluis niet in de slibbalans opgenomen. Bij deze modelberekening is aangenomen dat deze ingreep op de hier beschouwde termijn, 25 jaar, niet meer zal plaatsvinden.

Samengevat: de situatie in 1995 is doorgerekend exclusief slibverwijdering, inclusief huidige verdieping.

3.5 De beschouwde ingrepen

Zoals eerder is aangegeven zijn uit de huidige en in de toekomst mogelijke ingrepen, in overleg met Directie Zeeland, zes ingrepen geselecteerd om de gevolgen daarvan voor de water- en bodemkwaliteit modelmatig door te rekenen. De manier waarop deze ingrepen, verder INGREEP I tot en met INGREEP VI genoemd, zijn samengesteld wordt hieronder verduidelijkt.

INGREEP I

In het verleden zijn om uiteenlopende redenen, zoals het verkrijgen van een betere bevaarbaarheid van waterwegen voor grotere schepen en het voorkomen van wateroverlast tijdens hoge afvoeren in het stroomgebied van de Schelde, in Frankrijk en België vele kanalen aangelegd. Via enkele kanalen wordt een deel van het water, dat van nature in het stroomgebied van de Schelde aanwezig is, vroegtijdig afgeleid naar de Noordzee en de Westerschelde. Daardoor komt dit niet meer via de afvoer van de Schelde in het estuarium terecht. Met de uitwerking van deze ingreep wordt een beeld gegeven van de situatie die ontstaat als de afleidingskanalen niet meer voor de afleiding van water worden gebruikt, waardoor de

beschikbare hoeveelheid zoet water weer via de natuurlijke weg naar het estuarium stroomt. Tevens is nagegaan welke hoeveelheden water uit de Rijn, via het Spuikanaal Bath, ter beschikking van het Schelde-estuarium zouden kunnen komen. De maximale hoeveelheden zoetwater, die in het rapport "Zoet water in het Schelde-estuarium; veranderingen in de saliniteit" [Holland & Smit, 1994] staan, zijn ten behoeve van de modelberekeningen toegevoegd aan de gegevens van 1995. Voor de modelberekeningen is de zoetwateraanvoer van de Schelde bij Rupelmonde in 1995 met $60 \text{ m}^3/\text{s}$ verhoogd en de aanvoer van water uit de Rijn, via het Spuikanaal Bath, met $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Samengevat: de situatie in 1995 is doorgerekend exclusief slibverwijdering, inclusief huidige verdieping, inclusief zoetwater aanbod natuurlijke waterhuishouding stroomgebied.

INGREEP II

Deze modelrun laat het gecombineerde uiteindelijke effect voor de water- en bodemkwaliteit van het Schelde-estuarium zien van de twee ingrepen, die momenteel plaatsvinden. Zowel de gevolgen voor de slibtransporten van de verwijdering van slib uit de aanloopgeul naar de Kallosluis op de linkeroever van de Beneden-Zeeschelde (modelsegment 5, figuur 11), als de verdieping van de vaargeul in de Westerschelde zijn aan de gegevens van de uitgangssituatie van 1995 toegevoegd, en met name in de betreffende slibbalans verdisconteerd. Hierbij is dus aangenomen dat de slibverwijdering in huidige vorm continu voortgezet wordt.

Samengevat: de situatie in 1995 is doorgerekend inclusief slibverwijdering, inclusief huidige verdieping.

INGREEP III

Deze ingreep is een combinatie van de ingrepen I en II. De modelrun combineert, uitgaande van de basissituatie van 1995, de gevolgen van een optimale toevoer van zoetwater vanuit het stroomgebied van de Schelde naar het estuarium, met de gevolgen van de slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis en de gevolgen van de huidige verdieping van de vaargeul in de Westerschelde.

Samengevat: de situatie in 1995 is doorgerekend inclusief slibverwijdering, inclusief huidige verdieping, inclusief zoetwateraanbod natuurlijke waterhuishouding stroomgebied.

INGREEP IV

Met deze modelberekening wordt nagegaan wat de gevolgen voor de water- en bodemkwaliteit zijn, wanneer de mogelijkheden voor de natuurlijke ontwikkeling van het estuarium én de veiligheid van het omliggende land worden vergroot. Dit wordt in deze ingreep bereikt door het estuarium meer ruimte te bieden, waardoor de natuurwaarden ervan worden vergroot. Omdat het waterbergend vermogen van het systeem toeneemt, wordt hiermee tevens de veiligheid van het omringende land vergroot. Deze situatie heeft consequenties voor de geometrie van het gemodelleerde gebied. Het estuarium krijgt meer ruimte door de aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden op de linkeroever van de Beneden Zeeschelde. Voor deze berekening is aangenomen dat deze gebieden zich bevinden tussen Kruibeke en Rupelmonde en bij de Hedwig- en Prosperpolder, respectievelijk in de modelsegmenten 1 en 5 (figuur 11). De gecontroleerde overstromingsgebieden hebben de natuur als hoofdfunctie. In deze gebieden ontstaat, door de lage ligging, een gereduceerd getij. Hierdoor wordt een gebied met een groot waterbergingsvolume gecreëerd, waardoor het oppervlak van het

beschikbare intergetijde gebied groter zal zijn dan in de huidige situatie. De gevolgen van genoemde geometrische wijzigingen zijn in de betreffende slibbalans opgenomen, evenals de gevolgen van de verdieping van de vaargeul in de Westerschelde. De slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis is als afgerond beschouwd.

Samengevat: de situatie in 1995 is doorgerekend exclusief slibverwijdering, inclusief huidige verdieping, inclusief meer ruimte voor het estuarium.

INGREEP V

Hier wordt prioriteit gegeven aan het zodanig inrichten van de Westerschelde dat grotere schepen sneller - dus met minder belemmeringen door het getij - naar en van Antwerpen kunnen varen. Dit is in de modelberekeningen bewerkstelligd door fixatie van de vaargeul - door de aanleg van leidammen en harde oeververdedigingen - en het 'verwijderen' van een aantal 'lastige' drempels en bochten of het aanpassen hiervan aan de gewenste situatie. Daarbij is in het gebied, tussen de Belgisch-Nederlandse grens en de denkbeeldige lijn tussen Baarland en Ossensisse, de vaargeul met 25% verdiept ten opzichte van de diepte die wordt verkregen na de huidige verdieping. De slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis is als afgerond beschouwd.

Samengevat: de situatie in 1995 is doorgerekend exclusief slibverwijdering, inclusief met extra verdieping plus gestroomlijnde vaargeul.

INGREEP VI

Deze laatste modelrun beschouwt de gecombineerde gevolgen (ingrepen I en IV) van het voorrang geven aan de natuurlijke ontwikkeling, het toenemen van de veiligheid en een zo optimaal mogelijke natuurlijke toevoer van zoetwater uit het stroomgebied. De slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis is als afgerond beschouwd. De gevolgen van de huidige verdieping van de vaargeul door de Westerschelde is zijn in de slibbalans verwerkt.

Samengevat: de situatie in 1995 is doorgerekend exclusief slibverwijdering, inclusief verdieping, inclusief meer ruimte voor het estuarium, inclusief zoetwateraanbod natuurlijke waterhuishouding stroomgebied.

In tabel 1 is een overzicht opgenomen van de belangrijkste fysische en morfologische uitgangssituaties en toekomstige ingrepen in het systeem van het Schelde-estuarium, die in bovenstaande situaties zijn gedefinieerd en modelmatig zijn doorgerekend.

Tabel 1. Bij modelsimulaties gehanteerde fysische en morfologische uitgangssituaties.

	T-0 (referentie)	1995	INGREEP I	INGREEP II	INGREEP III	INGREEP IV	INGREEP V	INGREEP VI
<i>Hydrologische situatie in 1995</i>	✓	✓		✓		✓	✓	
<i>'Natuurlijke' hydrologische situatie</i>			✓		✓			✓
<i>Slibverwijdering bij Kallosluis</i>		✓		✓	✓			
<i>Geen slibverwijdering bij Kallosluis</i>	✓		✓			✓	✓	✓
<i>Verdieping vaargeul Westerschelde</i>	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Geen verdieping vaargeul Westerschelde</i>		✓						
<i>Ruimte voor het estuarium</i>						✓		✓
<i>Ruimte voor de scheepvaart</i>							✓	

4 Slibbalansen van de beschouwde ingrepen

4.1 Inleiding

Ingrepen in de waterhuishouding in de hoger gelegen delen van het stroomgebied van de Schelde en ingrepen in het fysische systeem van het Schelde-estuarium hebben gevolgen voor de voortplanting van het getij en daarmee voor de loop van de stromingspatronen door het estuarium. Door deze veranderingen wijzigen ook de transporten van het slib en het zand door het estuarium. Slib is, in tegenstelling tot zand - dat overigens in veel grotere hoeveelheden dan slib in het estuarium voorkomt - verantwoordelijk voor het grootste deel van de door deeltjes getransporteerde verontreinigingen. Om dit met behulp van modellen aan te kunnen geven is het noodzakelijk genoemde veranderingen in gedrag en transport van het slib voor elke situatie en door te rekenen infrastructurele ingreep te kwantificeren.

4.2 Van slibtransport naar slibbalans

De veranderingen in het gedrag en het transport van slib door het estuarium als gevolg van infrastructurele werken moeten worden gekwantificeerd en ondergebracht in slibbalansen, omdat daarmee het waterkwaliteitsmodel de betreffende water- en bodemkwaliteit berekent. Deze procedure kan niet met behulp van één model worden doorlopen, omdat geen van de beschikbare modellen de mogelijkheid biedt deze veelomvattende vraag te beantwoorden. Het 'in serie zetten' van diverse soorten modellen, waarbij de uitvoer van het eerste model als invoer dient voor het tweede model, enzovoort, is hier noodzakelijkerwijs toegepast.

Van elke ingreep, behalve de slibverwijdering, zijn de essentiële gevolgen voor de waterbeweging berekend met een hydrodynamisch model. De invloed hiervan op het gedrag van slib is vervolgens bepaald met behulp van een module binnen een driedimensionaal slibmodel, waarna met hetzelfde model op basis van de output van het hydrodynamische model en van de slibmodule de voor elke ingreep representatieve slibtransporten zijn berekend. Deze slibtransporten zijn vervolgens geschikt gemaakt voor gebruik met het waterkwaliteitsmodel door deze in de gewenste vorm, de slibbalans, te gieten.

4.3 Motivering toegepast slibtransportmodel

Het transport van slib door het systeem wordt bepaald door een combinatie van advectie en diffusie. Het advectieve transport wordt bepaald door de getijstroming. Het slib beweegt hierdoor vooral in de lengterichting van het estuarium heen en weer. Het diffusieve transport ontstaat door een mengingsproces op veel kleinere schaal - moleculair niveau - waardoor de slibdeeltjes zich ook in de breedte en diepte van het estuarium verspreiden. Deze mechanismen zijn in de computermodellen opgenomen als vergelijkingen. Om deze vergelijkingen op een groot aantal plaatsen in het gemodelleerde gebied op te kunnen lossen, is over dit gebied een specifiek

rooster van elkaar snijdende lijnen, ook wel grid genoemd, gelegd. Hierdoor wordt dit gebied in horizontaal vlak in een groot aantal stukjes verdeeld. Per tijdstap rekent het model op basis van de beschikbare input voor elk stukje de processen door. Hoe fijner het horizontale lijnenrooster, hoe meer structuren (wervels) kunnen worden weergegeven. Deze structuren dragen in belangrijke mate bij aan de verspreiding van het slib. Deze bijdrage aan de menging wordt in het model door middel van een dispersiecoëfficiënt nagebootst.

Een ander belangrijk mechanisme voor de verspreiding van het slib is de variatie over de waterkolom van de stroomsnelheid. Dit wordt, in combinatie met verticale diffusie, scheringsdispersie genoemd. In een driedimensionaal slibtransportmodel wordt expliciet rekening gehouden met de bijdrage van scheringsdispersie aan de menging, terwijl hiervoor in een tweedimensionaal slibtransportmodel een dispersiecoëfficiënt toegevoegd dient te worden. Vanwege de belangrijke rol die scheringsdispersie in de Westerschelde speelt, zijn de slibtransporten bepaald met een driedimensionaal slibtransportmodel.

4.4 Het hydrodynamisch model TRIWAQ

Slib zal voornamelijk worden getransporteerd als het in suspensie is. In die situatie zorgt de stroming van het water voor het transport van de slibdeeltjes. Deze stroming wordt met een hydrodynamisch model berekend. Het advectieve deel van het transport van slib wordt voor betreffende infrastructurele ingrepen bepaald op basis van stromingsvelden, die met het driedimensionaal hydrodynamisch model TRIWAQ zijn berekend. De theoretische achtergrond van dit model is opgenomen in "TRIWAQ three dimensional incompressible shallow flow model" [Zijlema, 1997]. De calibratie van dit model is beschreven in "A three dimensional hydrodynamic model of the Scheldt estuary for the transport of fine sediment" [Salden & Yang, 1996]. Hieruit blijkt dat het model de processen, die voor het bepalen van slibtransporten belangrijk zijn, goed weergeeft.

Het lijnenrooster waarop het model de vergelijkingen oplost is het fijnmazige SCALDIS 400-lijnenrooster. De resolutie van de lijnen is in het grootste deel van het gemodelleerde gebied 400 bij 400 m en is hier rechthoekig. Ten oosten van Baalhoek vindt een overgang plaats naar een kromlijinig rooster. De resolutie neemt in dat gebied toe tot ongeveer 30 bij 100 m, waarbij de gridlijnen zoveel mogelijk de hoofdgeul volgen. De effecten van beschouwde ingrepen op de hydrodynamica zijn beschreven in "Scaldis 400 model TRIWAQ berekeningen Westerschelde" [Svasek, 1997].

4.5 Het slibtransportmodel SLIB3D

In de Westerschelde varieert het transport van slib als gevolg van wisselende getij- en meteorologische omstandigheden en door andere seizoensafhankelijke factoren. Slib is hier gedefinieerd als het anorganische deel van het slib, met een korrelgrootte kleiner dan 63µm. Dit is beschreven in "Schatting natuurlijke slibtransporten op de Belgisch-Nederlandse grens van het Schelde-estuarium" [van Maldegem, 1993].

De rekentijd en dataopslag, waarover aanwezige computers beschikken, beperken de mogelijkheden om het slibtransport te bepalen met een model op basis van actuele gegevens van de hydrodynamica en de meteorologie voor een volledig jaar. Daarom wordt het jaarlijkse slibtransport op basis van een gemiddeld getij bepaald. Door dit representatieve getij cyclisch te

gebruiken, kunnen simulaties uitgevoerd worden over langere perioden. Cyclisch wil hier zeggen dat voor elk volgend berekeningsjaar steeds dezelfde informatie van het gekozen getij en de meteorologische omstandigheden als startwaarden worden gebruikt bij het berekenen van de slibtransporten.

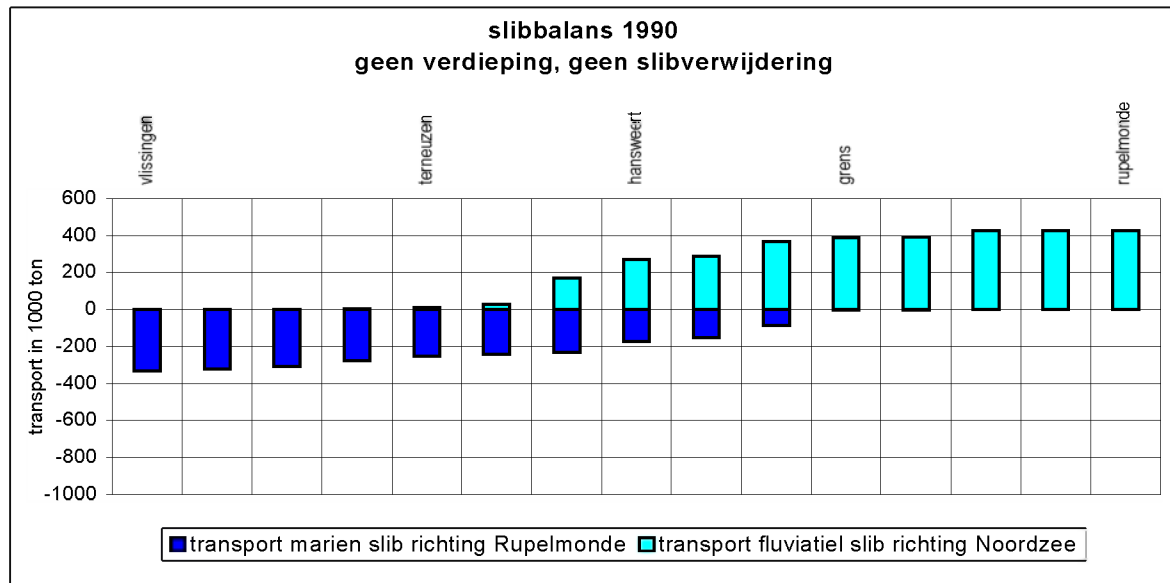
Het model dat is toegepast ten behoeve van het verdisconteren van de eigenschappen van het slib onder verschillende hydrodynamische omstandigheden en het genereren van de slibtransporten is SLIB3D. Het gebruik van het model is beschreven in "Ontwerp-beschrijving en gebruikershandleiding van de SLIB3D module" [Rozendaal, 1995], de theoretische achtergrond in "Numerical modelling of transport processes in coastal waters" [de Kok, 1994]. Het model beschikt over een beperkt deel van de processen, die van invloed zijn op het gedrag van het slib. Dit is beschreven in "Een slibtransportmodel van het Schelde-estuarium ten behoeve van waterkwaliteitsmodellering" [Salden, 1997]. Er zijn enkele compensaties voor ontbrekende processen aan het model toegevoegd [Salden & Yang, 1996]. Ondanks deze compensaties is het niet mogelijk het mechanisme dat verantwoordelijk is voor het grootste deel van de aanslibbing in betreffende gebieden – namelijk de erosie van slib uit de bodem - met het model weer te geven. Omdat het model slechts één slibfractie tegelijk kan berekenen wordt het slib in feite verhinderd, ook de fractie die permanent in suspensie blijft, verder naar de Westerschelde te stromen. In 4.6 wordt de methode aangegeven waarop de slibbalansen zijn bepaald, waarin de invloed van de slibverwijdering is verdisconteerd.

Zoals eerder is aangegeven zijn de slibtransporten berekend op het fijnmazige SCALDIS400 rooster. Daarna zijn uitkomsten geschikt gemaakt voor gebruik door het ééndimensionaal waterkwaliteitsmodel. In dit model, BOS-LIFE, is het Schelde-estuarium en de kustzone echter zeer grof geschematiseerd in slechts 21 modelsegmenten. Figuur 11 geeft hiervan een beeld. In dit waterkwaliteitsmodel wordt voor elke situatie het transport van slib gesimuleerd op basis van een kwartaalgemiddelde slibbalans. Deze met SLIB3D slibbalansen zijn bepaald door de berekende slibtransporten te aggregeren naar de schematisatie van het waterkwaliteitsmodel. Dit betekent dat de slibmassa van alle kleine vakjes van het slibmodel, die binnen een modelsegment van het waterkwaliteitsmodel gelegen zijn, opgeteld zijn. Door van elk modelsegment de totale slibmassa op verschillende tijdstippen te vergelijken, is tenslotte betreffende slibbalans opgesteld.

4.6 De slibbalansen

In 4.5 is al aangegeven dat, ondanks de toevoeging van enkele compensaties voor ontbrekende processen, het slibtransportmodel SLIB3D niet in staat is erosie van slib uit de bodem weer te geven. Dit mechanisme is verantwoordelijk voor het grootste deel van de aanslibbing in de gebieden rond de havendokken bij de Zandvliet- en de Berendrechtssluisen en in de toegangsgeul naar de Kallosluis. Als gevolg van deze modelbeperkingen is besloten in eerste instantie een aantal berekeningen met het slibtransportmodel SLIB3D uit te voeren, zonder dat de gevolgen van de slibverwijdering uit de toegangsgeul naar de Kallosluis en het verdwijnen van slib uit het systeem via de sluisen van Zandvliet en Berendrecht in de slibtransporten zijn verdisconteerd. In figuur 2 is de slibbalans voor de situatie 1990 opgenomen, die als basis is gebruikt bij het berekenen van de slibbalansen van de ingrepen I, IV, V en VI én van de referentiesituatie.

Figuur 2. Slibbalans 1990



Na het samenstellen van deze slibbalansen zijn de gevolgen voor die slibbalansen, waarin de slibverwijdering en het verdwijnen van slib via genoemde sluizen wel een rol spelen, op basis van expert-judgement bepaald en handmatig geïncorporeerd in betreffende slibbalansen. Hiervoor is de al beschikbare slibbalans, die is opgenomen in figuur 4, gebruikt. Door de kenmerkende verschillen tussen balansen uit de figuren 2 en 4 te superponeren op de betreffende reeds berekende balansen, zijn de balansen voor de ingrepen II en III en voor de situatie in 1995 gemaakt. De slibbalans voor ingreep VI is samengesteld uit de slibbalansen van de ingrepen I en IV.

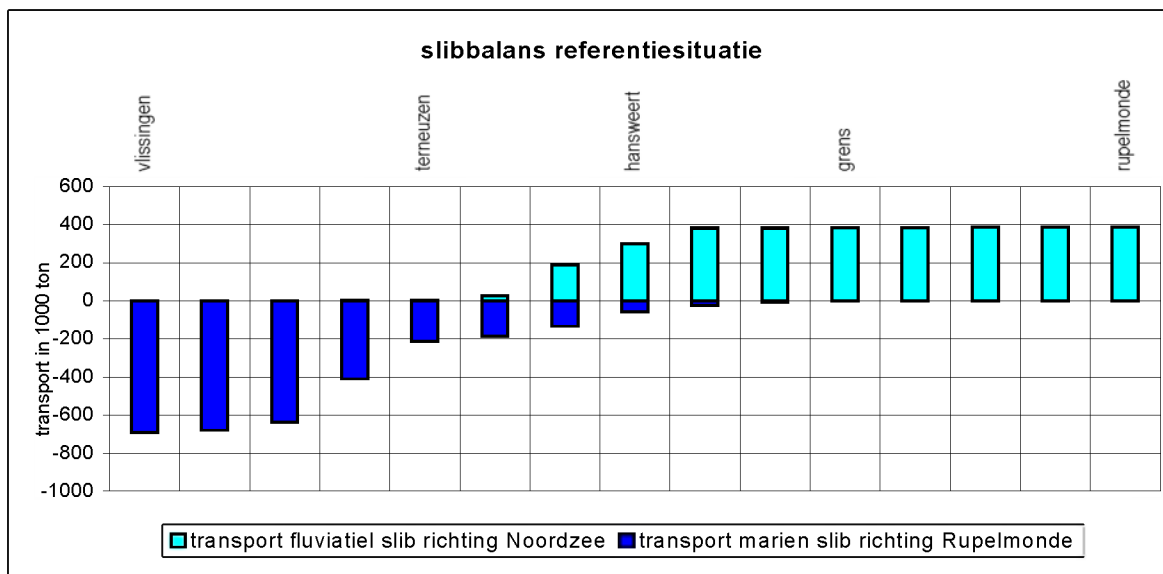
Slibbalans REFERENTIESITUATIE

In de referentiesituatie wordt uitgegaan van een situatie met een reeds voltooide verdieping van de vaargeul door de Westerschelde. De slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis is als afgerond beschouwd. Deze balans is opgenomen in figuur 3.

Transport fluviaal slib. Door de verdieping is de getijslag vergroot en dringt het getij wat verder door in het estuarium, waardoor slib bij vloed voor een groter deel tot voorbij Rupelmonde wordt getransporteerd. Omdat hier de open modelrand ligt verdwijnt er daardoor in het model een iets groter deel van het slib uit het modelsysteem. Ook doordat de vloodsnelheden als gevolg van de verdieping iets groter zijn geworden, zal de aanvoer van fluviaal slib iets kleiner worden. Door de afgenomen symmetrie van het getij, die voorheen het transport in de vloedrichting begunstigde, passeert er nu bij de grens bijna evenveel slib als bij Rupelmonde. Stroomafwaarts van Hansweert zijn de verschillen ten opzichte van de uitgangssituatie echter verdwenen.

Transport marien slib. Als gevolg van de verdieping wordt de aanvoer van marien slib met een factor twee vergroot door de toename van het getijvolume, dat vanaf de Noordzee het estuarium binnenstroomt. Dit extra slib sedimenteert in het westelijk deel van de Westerschelde en dringt dan ook minder ver door in het estuarium vanwege de wijziging in de asymmetrie van het getij. Hierdoor zijn bij de Belgisch-Nederlandse grens de verschillen t.o.v. de uitgangssituatie verdwenen.

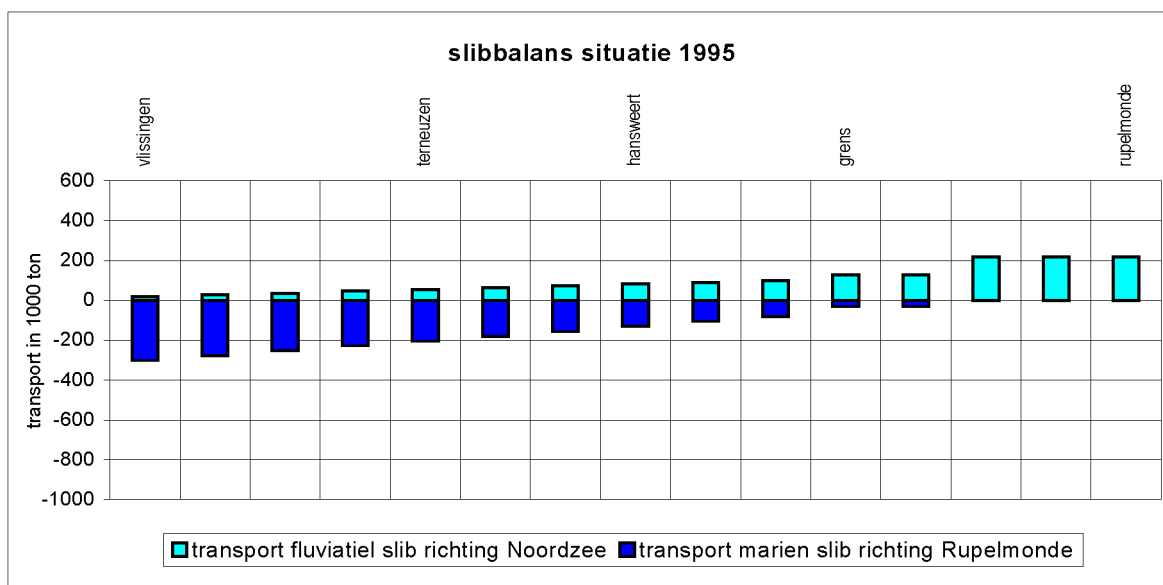
Figuur 3. Slibbalans referentiesituatie



Slibbalans 1995

In de door te rekenen situatie van 1995 wordt uitgegaan van de verwijdering van slib uit de aanloopgeul naar de Kallosluis. In deze situatie is de huidige verdieping echter niet meegenomen. Deze balans is opgenomen in figuur 4.

Figuur 4. Slibbalans 1995



Slibbalans INGREEP I

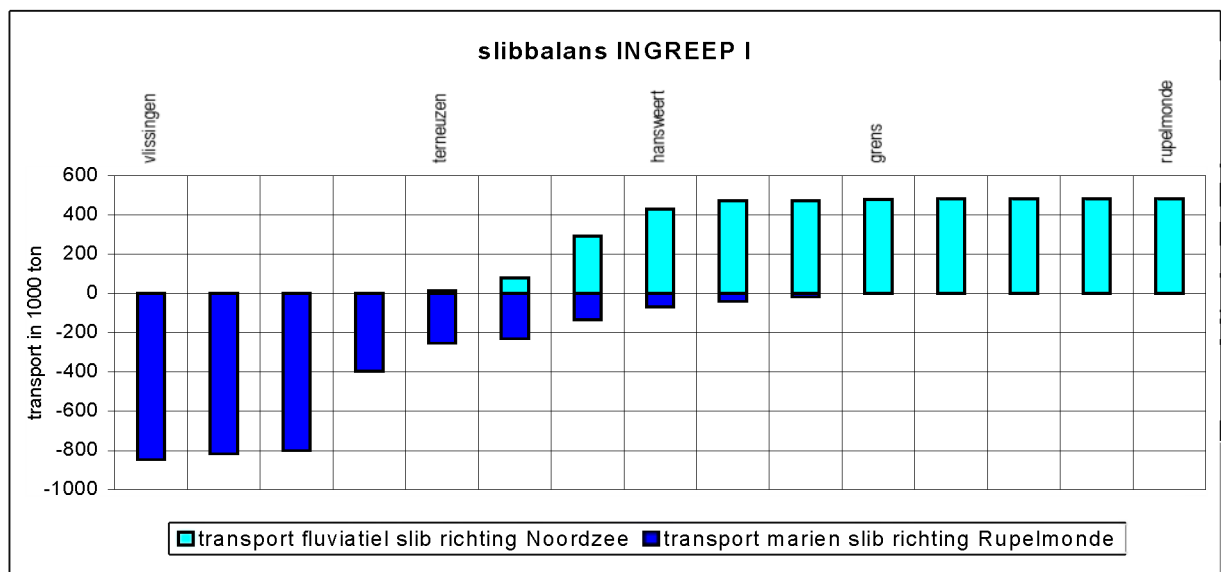
Deze ingreep staat in het teken van een natuurlijke waterhuishouding. Dit wil zeggen dat ten opzichte van de huidige situatie een aanmerkelijke toename van het zoetwater aanbod uit het stroomgebied naar de Westerschelde wordt aangenomen. Deze extra toevoer vindt in het model

plaats via de Schelde bij Rupelmonde en door de Rijn via het Spuikanaal Bath. Bij deze ingreep wordt de huidige verdieping van de vaargeul als voltooid verondersteld. De slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis is dan beëindigd. De slibbalans is opgenomen in figuur 5.

Transport fluviatiel slib. Ten opzichte van de referentiesituatie is de aanvoer van fluviatiel slib groter door de grotere afvoer van de rivier de Schelde bij Rupelmonde. Deze grotere afvoer, gecombineerd met het effect van grotere dichtheidsverschillen op de stroming, leidt tot het terugdringen van de chloridegradiënt en tot compensatie van de versterkte doordringing van het getij, die het gevolg is van de verdieping. Ook wordt het transport van slib over de modelrand bij Rupelmonde in zekere mate tegengegaan. Het fluviatiele slib wordt iets verder de Westerschelde in getransporteerd gelet op de verhouding van de grootte van de transporten bij Rupelmonde en bij Bath.

Transport marien slib. Ten opzichte van de referentiesituatie is de import van marien slib groter geworden, met name in het westelijk deel van het estuarium, tussen Vlissingen en Terneuzen. Onderzoek moet de oorzaak hiervan uitwijzen. Door de toegenomen chloridegradiënt ontstaat een sterker stroomopwaarts gericht bodemtransport, dat een iets groter slibtransport in die richting op gang brengt.

Figuur 5. Slibbalans ingreep I

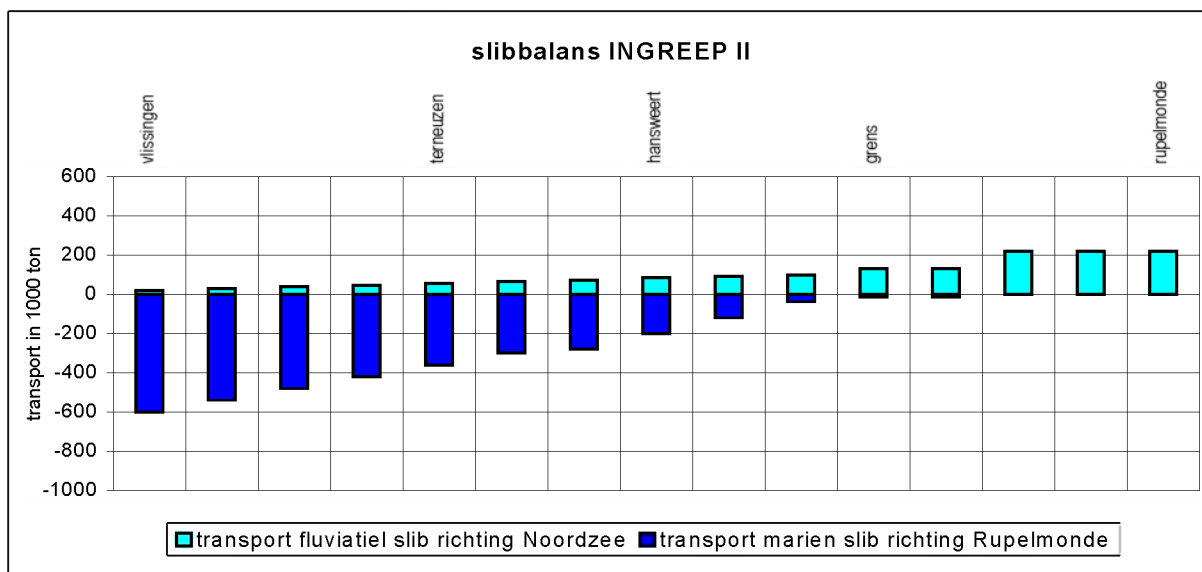


Slibbalans INGREEP II

Deze ingreep gaat uit van de referentiesituatie, waaraan de gevolgen van de slibverwijdering zijn toegevoegd. Deze slibbalans is samengesteld volgens de methode die eerder in dit hoofdstuk is aangegeven.

Deze ingreep gaat uit van een fluviatiele balans, die gelijk is aan die van de referentiesituatie. In de mariene balans wordt de import van slib vanuit de Noordzee verdubbeld, maar het transport over de Belgisch-Nederlandse grens wordt gehalveerd ten opzichte van de referentie. De sedimentatie is gelijkmatig over de tussenliggende modelsegmenten verdeeld. De slibbalans wordt weergegeven in figuur 6.

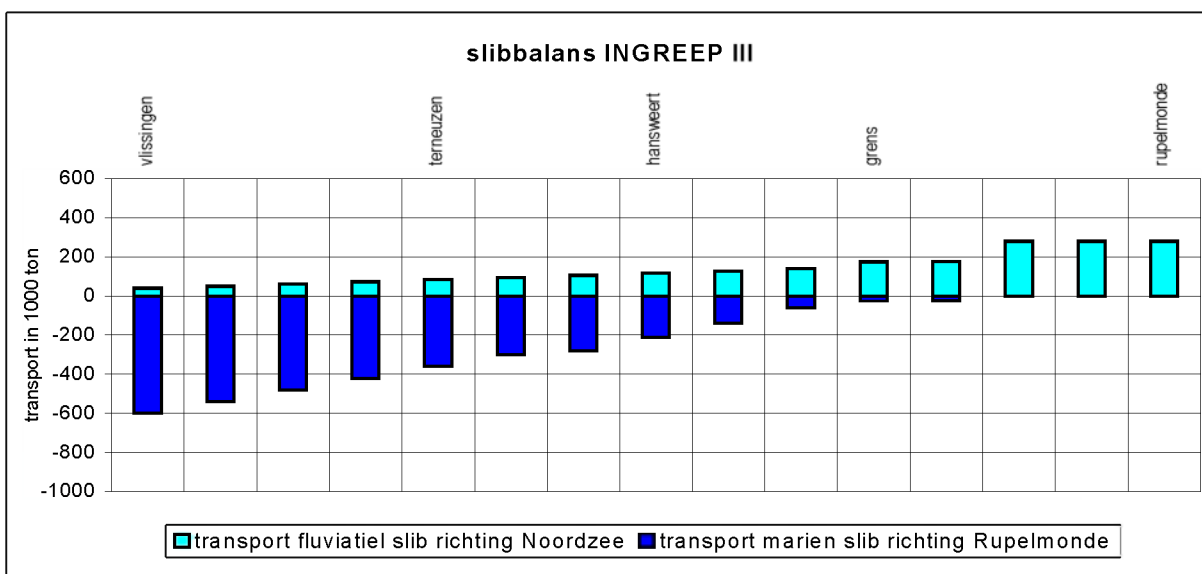
Figuur 6. Slibbalans INGREEP II



Slibbalans INGREEP III

Deze ingreep gaat uit van de referentiesituatie, waaraan de gevolgen van de slibverwijdering zijn toegevoegd. Ook is de natuurlijke aanvoer van zoetwater hersteld. Deze slibbalans is samengesteld volgens de methode die in het begin van dit hoofdstuk is aangegeven. Door de grotere debieten, die het gevolg zijn van de herstelde natuurlijke aanvoer van zoetwater, wordt de aanvoer van fluviaal slib met 25% verhoogd. De helft van dit slib passeert de Belgisch-Nederlandse grens en sedimenteert in het gebied tussen deze grens en Hansweert. De effecten van de gewijzigde zoetwatergradiënt beperken zich waarschijnlijk tot het oostelijk deel van de Westerschelde, waardoor mogelijk een kleine hoeveelheid marien slib vanuit de Noordzee naar het estuarium zal worden getransporteerd. Betreffende slibbalans wordt weergegeven door figuur 7.

Figuur 7. Slibbalans INGREEP III



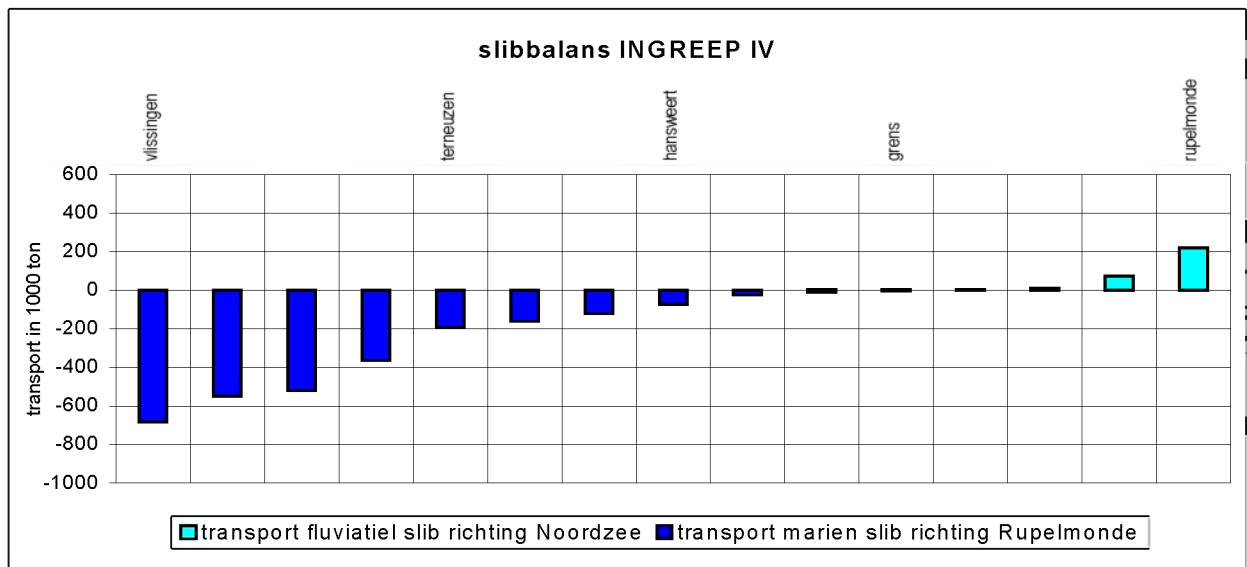
Slibbalans INGREEP IV

Deze ingreep gaat uit van de slibhuishouding in de referentiesituatie: geen slibverwijdering, wel verdieping. Als belangrijke aanvulling hierop is de verruiming van de mogelijkheden tot een natuurlijker ontwikkeling van het estuarium aangebracht.

Transport fluviatiel slib. De berekende fluviatiele balans wordt aanzienlijk beïnvloed door de aanwezigheid van het gecontroleerde overstromingsgebied op de linkeroever van de Zeeschelde in het traject tussen Kruikeke en Rupelmonde in modelsegment 1, nabij de bovenrand van het model. In dit gebied sedimenteert vooral bij hoge afvoeren veel slib bij eb, waarna een groot deel hiervan bij vloed weer in suspensie gaat en vervolgens via de open modelrand het model in stroomopwaartse richting bij Rupelmonde weer verlaat. Dit slib wordt in het model niet meer naar het estuarium terug getransporteerd. De netto aanvoer van slib naar de Beneden Zeeschelde is hierdoor in het slibmodel dus sterker afgenomen dan in werkelijkheid het geval zal zijn.

Transport marien slib. De aanvoer vanuit zee is vergelijkbaar met die uit de referentiesituatie, met dien verstande dat de sedimentatie bij Vlissingen toeneemt ten koste van de sedimentatie bij Terneuzen. Dit verdient nader onderzoek. Verder stroomopwaarts geeft de mariene balans het aan de referentie overeenkomstig beeld, dat op basis van de gewijzigde asymmetrie mag worden verwacht. Deze slibbalans wordt weergegeven in figuur 8.

Figuur 8. Slibbalans INGREEP IV



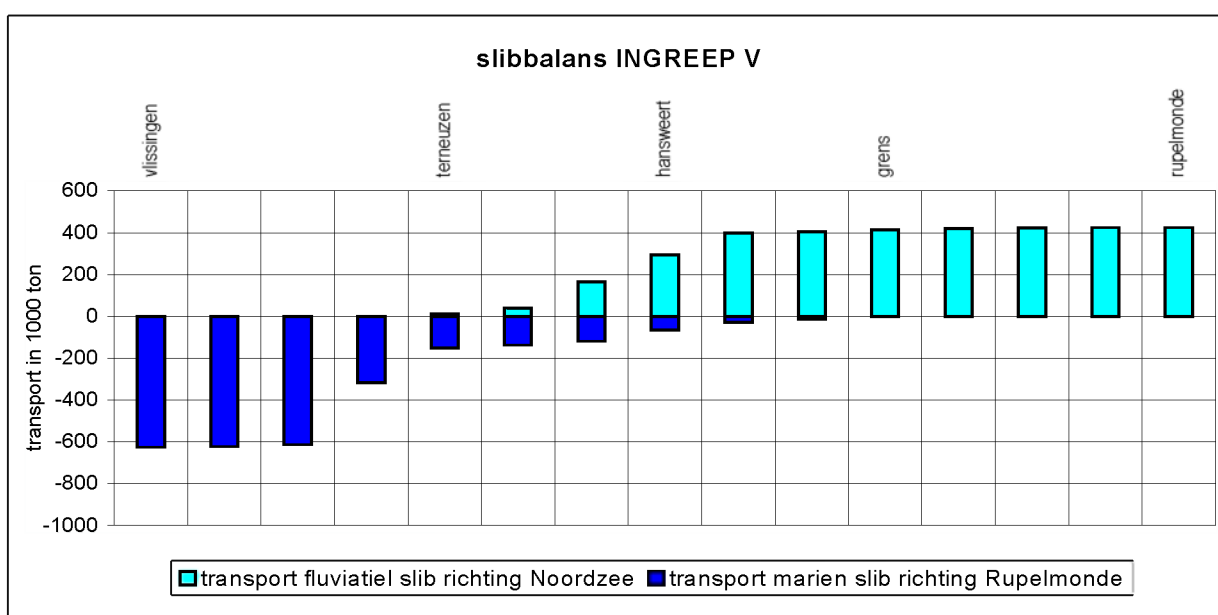
Slibbalans INGREEP V

Deze ingreep, ten behoeve van de scheepvaart, gaat uit van de referentiesituatie 1995, waarbij geen sprake meer is van slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis. Als belangrijke toevoeging ten behoeve van de scheepvaart is het gebied tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Hansweert met 25% extra verdiept ten opzichte van de huidige verdieping.

Transport fluviatiel slib. De aanvoer van fluviatiel slib vanaf de Schelde is ten opzichte van de referentiesituatie iets toegenomen. Dit ondanks het feit dat door de extra verdieping een groter getijdebiet ontstaat, dat tijdens vloed mogelijk ook een iets groter transport over de modelrand bij Rupelmonde kan veroorzaken. Hierdoor komt uiteindelijk in het model iets minder fluviatiel slib beschikbaar.

Transport marien slib. De import van marien slib vanuit de Noordzee is ten opzichte van de referentiesituatie iets afgenomen, ondanks de verwachte verdere doordringing van het getij, die het gevolg is van de extra verdieping. De mate waarin het slib het estuarium binnendringt wordt, in overeenstemming met de afname van de getijasymmetrie, verder teruggebracht. De slibbalans is weergegeven in figuur 9.

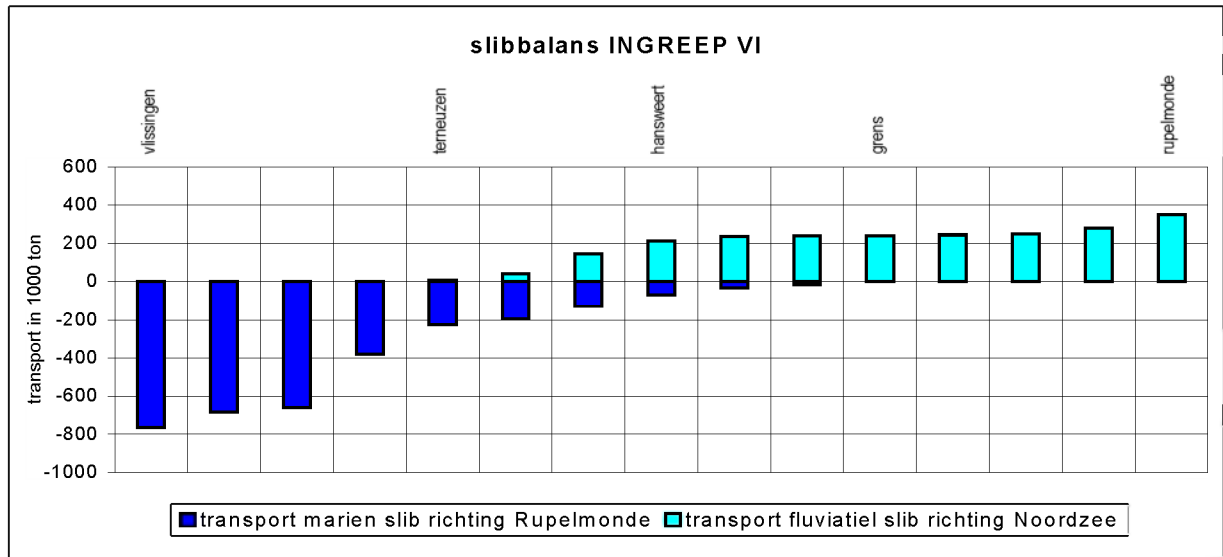
Figuur 9. Slibbalans INGREEP V



Slibbalans INGREEP VI

Deze ingreep gaat uit van de situatie tijdens de referentie: geen slibverwijdering, wel verdieping. Als belangrijke aanvulling heeft de verruiming van de mogelijkheden voor de natuurlijke ontwikkeling van de vorm van het estuarium (bij toenemende veiligheid) plaats gevonden én vindt de afstroming van water in het stroomgebied weer op natuurlijke wijze plaats. De balans is een combinatie van de balansen die voor de ingrepen I en IV zijn opgesteld. De balans wordt door figuur 10 weergegeven.

Figuur 10. Slibbalans INGREEP VI



4.7 Enkele opmerkingen m.b.t. berekende slibtransporten en slibbalansen.

Door de beperkingen van het slibmodel SLIB3D zijn de gegenereerde slibtransporten en dus ook de hieruit opgestelde slibbalansen niet in alle gevallen nauwkeurig. Samenvattend blijkt het volgende:

In het slibmodel zijn de belangrijkste processen die te maken hebben met de verwijdering van slib, namelijk de erosie van slib uit de bodem en het mechanisme dat de oorzaak is van het verdwijnen van slib via de sluizen van Berendrecht en Zandvliet, niet opgenomen. In die balansen, waarin de gevolgen van deze processen wel opgenomen moeten zijn, zijn de betreffende hoeveelheden handmatig toegevoegd. Deze aanvulling is gebaseerd op expert-judgement. Dit houdt een mogelijk substantiële onzekerheid in, die nu nog niet kwantificeerbaar is.

Enkele uitkomsten van het slibmodel stroken niet helemaal met de verwachtingen. Dit leidt tot een overigens vrij kleine onzekerheid voor de gebiedsbrede voorspellingen, omdat de onzekerheden zich alleen lokaal voordoen.

Het slibmodel ondervond grote problemen bij het opstellen van slibbalansen voor INGREEP IV - die ook is gebruikt t.b.v. de slibbalansen voor INGREEP VI - waarin de effecten van gecontroleerde overstromingsgebieden zijn verdisconteerd. Doordat de gebieden bij Kruikebeke vlak bij de bovenrand van het slibmodel liggen ontstaan randproblemen. Het slib, dat met het getij mee beweegt wordt bij vloed voor een deel over de open modelrand gebracht. Dit betekent dat door het huidige modelconcept, dit deel van het slib niet meer in het model terugkomt en in de berekeningen wordt opgenomen. Hierdoor wordt de water- en bodemkwaliteit bij deze ingrepen met name in de Zeeschelde te gunstig voorgesteld.

De gecontroleerde overstromingsgebieden blijken inderdaad aanmerkelijke sedimentatiegebieden en dus grote slibvangers te zijn. Bij het opstellen van

de slibbalans voor ingreep IV is er van uitgegaan dat deze sedimentatie ongeremd doorgaat. Dit kan de werkelijkheid echter alleen benaderen wanneer het slib na sedimentatie wordt weggehaald en op land of in natte cellen wordt opgeslagen. Een meer reële optie, het af en toe terugstorten in de rivier, waardoor dit slib wel stroomafwaarts terecht kan komen, is niet in deze balans opgenomen. Ook deze aanname zorgt ervoor dat de berekende water- en bodemkwaliteit vooral in de Zeeschelde te gunstig wordt voorgesteld. Dit geldt ook voor de slibbalans voor ingreep VI, die uit de slibbalans voor ingreep IV is afgeleid.

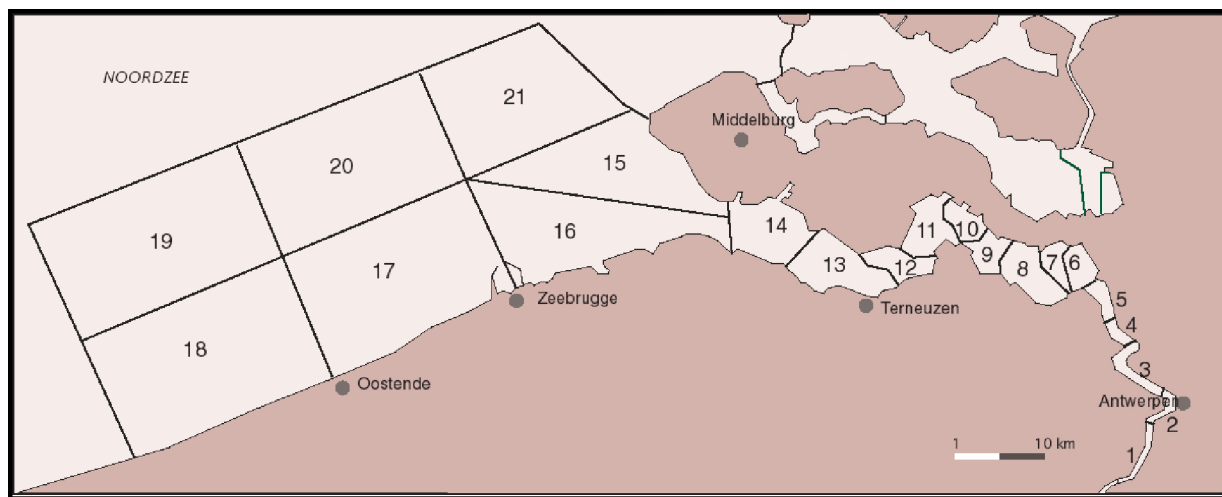
Met de modellen SLIB3D en SCALDIS 400 zijn berekeningen gedaan naar de invloed van de verdieping op het getij. Samengevat kan gesteld worden dat de verdieping leidt tot een groter getijvolume dat de Westerschelde binnenstroomt bij vloed, hetgeen achter in het estuarium resulteert in een versterking van de getijslag. De stroomsnelheid bij vloed neemt echter af en de duur van de vloedperiode neemt toe. Dit alles zorgt voor een vermindering van de asymmetrie van het getij in het estuarium. Getij asymmetrie is hét mechanisme dat verantwoordelijk is voor de import van slib vanuit zee.

5 Het waterkwaliteitsmodel BOS-LIFE

De effecten van kunstmatige ingrepen in het fysische systeem van het Schelde-estuarium voor de water- en slibhuishouding zijn voor een aantal specifieke situaties gedefinieerd en beschreven in hoofdstuk 3. De afzonderlijke gevolgen van uitvoering van deze ingrepen voor de water- en bodemkwaliteit van het estuarium zijn berekend met het waterkwaliteitsmodel binnen het "Beleidsondersteunend systeem voor het waterkwaliteitsbeheer van het estuarium van de Schelde en de kustzone", verder BOS-LIFE genoemd. Dit modelsysteem is door het Waterloopkundig Laboratorium, na een lange ontwikkelingsgeschiedenis, gereed gekomen en opgeleverd in het kader van het EG-project LIFE. Het model is met enige regelmaat verbeterd en uitgebreid. Het hier gebruikte model is BOS-LIFE, versie december 1995. Als rekenhart binnen dit modelsysteem wordt het waterkwaliteitsmodel gebruikt, dat binnen het project SAWES (1987) is ontwikkeld.

Het gebied dat het waterkwaliteitsmodel BOS-LIFE omvat, loopt van Rupelmonde, de plaats waar de Schelde en de Rupel samenvloeien tot de kustgebieden van Zeeland, van België en van noordwest Frankrijk tot aan Duinkerken. Het gebied is grof geschematiseerd. Deze schematisering is in figuur 11 opgenomen.

Figuur 11. Het in BOS-LIFE opgenomen geschematiseerd gebied van het Schelde-estuarium.



Het gebied is ten behoeve van de waterkwaliteitsberekeningen in het model onderverdeeld in 21 modelsegmenten. Dit aantal is voldoende om de ruimtelijke spreiding in de lozingen, de gradiënten in de concentraties van gemodelleerde stoffen en de daarmee samenhangende transporten te kunnen reproduceren. Door de veelheid aan stoffen en de vaak complexe processen die de stoffen ondergaan is het van belang, gezien de omvang van de rekentijd, het aantal modelsegmenten c.q. rekenelementen te minimaliseren. De ligging van de grenzen van de segmenten is bepaald door de eis dat binnen een modelsegment fysische en biologische processen zoveel mogelijk homogeen te veronderstellen zijn en door de eis dat de

veranderingen in de water- en bodemkwaliteit over de segmenten zoveel mogelijk gelijk zijn. Hierdoor is het model dynamisch genoeg om de gevolgen van grote veranderingen in concentraties goed te reproduceren.

In de fysische schematisatie is de verticale dimensie verwaarloosd, omdat het water in het estuarium en in de nabije kustzone vrijwel altijd goed gemengd is in die richting. Wel onderscheidt het model de water- en de bodemfase, waartussen uitwisseling plaats vindt. Ook de laterale dimensie van het estuarium is niet in het model opgenomen, omdat uit onderzoek is gebleken dat de concentratieverschillen in die richting niet groot zijn. Daarbij komt dat er geen waterkwaliteitsgegevens beschikbaar zijn om het model ook in die dimensie af te regelen.

Het waterkwaliteitsmodel is dus een ééndimensionaal getijgemiddeld model. Expliciete modellering van het getij zou koppeling met een stromingsmodel noodzakelijk maken. Hierdoor zouden de transportberekeningen en onnodig zeer omvangrijk en complex worden. Gekozen is voor de methode de invloed van het getij in het waterkwaliteitsmodel na te bootsen met een ééndimensionale advectie-diffusievergelijking, waarmee het transport van opgeloste stoffen wordt berekend. Het advectieve deel van het transport wordt veroorzaakt door de aanvoer van zoet water via de rivier, een aantal kanalen, zijdelingse lozingen en de neerslag op het estuarium. Het dispersieve deel van het transport, dit is in feite de menging die het gevolg is van de getijwerking door bijvoorbeeld verschillen in stroomsnelheid in horizontale en verticale richting, en door verschillen in concentratie wordt nagebootst met een dispersiecoëfficiënt. Dit is een in te stellen modelparameter, waarmee longitudinale gradiënten worden nagebootst. Deze vereenvoudigingen zijn desalniettemin voldoende nauwkeurig voor het maken van berekeningen van de waterkwaliteit, omdat het daarbij vaak gaat om processen die zich afspelen over (soms veel) grotere tijdschalen dan een getijperiode.

BOS-LIFE berekent aan de hand van informatie over de hydrologie, de slibtransporten en de lozingen van verontreinigingen op het estuarium, de kwaliteit van het water en van de waterbodem van het estuarium. Voor elke beoogde situatie worden de bijbehorende hydrologische condities met het model HYDSIM bepaald en het niveau van de lozingen van verontreinigingen met het model WLM (Waste Load Model) berekend. Op basis van deze uitkomsten worden de concentraties van een aantal gemodelleerde stoffen in het water en in de bodem berekend. Hiervoor gebruikt het modelsysteem een aantal deelmodellen. Deze zijn: een model voor het transport van opgeloste stoffen, een model voor de zuurstof- en stikstofhuishouding, een fytoplanktonmodel, een model voor de fosforhuishouding en een model voor het gedrag van zware metalen. Deze deelmodellen worden 'in serie' gebruikt door het waterkwaliteitsmodel. Verder bevat het modelsysteem een model voor het gedrag van organische microverontreinigingen.

Het waterkwaliteitsmodel berekent de kwaliteit van het water en van de waterbodem van het estuarium op basis van formuleringen van de belangrijkste processen, die het gedrag van de hiervoor geselecteerde stoffen in het gemodelleerde gebied bepalen. De formules worden toegepast op informatie over de zijdelingse lozingen door de industrie, de huishoudens, de zuiveringsinstallaties, de polders, enkele kanalen en de neerslag alsmede over de aanvoer van verontreinigende stoffen door de rivier de Schelde en de invloed van de Noordzee. Deze informatie is in een modeldatabase opgeslagen. Van een aantal lozingen, ook op Belgisch

grondgebied, ontbreekt nog vaak essentiële informatie, hoewel er steeds meer informatie beschikbaar komt. Voor die lozingen waarvan informatie ontbreekt is gewerkt met kentallen. Voor de industriële lozingen is in België bijvoorbeeld gebruik gemaakt van gegevens van een aantal industrie sectoren. Het in deze studie gebruikte waterkwaliteitsmodel is onlangs gecalibreerd op bovengenoemde informatie van 1995. Deze calibratie is beschreven in "Calibratie en validatie van het waterkwaliteitsmodel in het BOS-LIFE modelsysteem voor het Schelde-estuarium" [Bakker, 1998]. Hierbij is informatie over de waterkwaliteit gebruikt die in het kader van het project Herhaling Sawes is beschreven in "Verkenning Waterkwaliteit Westerschelde" [Schip, 1996].

Veel van de gemodelleerde stoffen hechten zich aan sediment of organisch materiaal en worden hiermee door het estuarium getransporteerd. Het model bootst dit na door gebruik te maken van informatie over de transporten door het estuarium van zowel marien slib, vanuit zee aangevoerd als van fluviatiel slib, door de Schelde aangevoerd. Hieruit is voor elke door te rekenen ingreep een representatieve jaargemiddelde slibbalans samengesteld en in de modeldatabase opgenomen. In de balans wordt vastgelegd hoeveel slib tussen aangrenzende modelsegmenten uitgewisseld wordt. Ten behoeve van de modelberekeningen worden in elke slibbalans de netto transporten van fluviatiel en marien slib per seizoen en per modelsegment opgenomen volgens de verdeling die het document "Schatting natuurlijke slibtransporten op de Belgisch-Nederlandse grens van het Schelde-estuarium" [van Maldegem, 1989] is opgenomen.

Verticale mengprocessen bepalen de uitwisseling tussen stoffen in de bodem en in de waterkolom, waardoor de waterkwaliteit voor een belangrijk deel wordt bepaald. Hiertoe is het bij de calibratie van het model van groot belang over representatieve gegevens van bodemconcentraties en hoeveelheden slib in de bodem te beschikken. In het model worden concentraties berekend van een aantal opgeloste stoffen, aan zwevend stof geadsorbeerde stoffen en stoffen die zich in de bodem bevinden. Het gaat om de volgende stofgroepen en stoffen:

- Conservatieve stoffen zoals chloride,
- Stoffen uit de zuurstof- en stikstofhuishouding: BOD en zuurstof, BODN, DOC, organisch stikstof, ammonium en nitraat,
- Stoffen uit de fosforhuishouding: organisch fosfor en verschillende vormen van anorganisch fosfor,
- Stoffen toegevoegd ten behoeve van het algenmodel: biomassa van twee soorten algen, organisch en anorganisch silicium,
- Zware metalen: cadmium, koper, zink en chroom,
- Polychloorbifenylen : pcb52 en pcb153,
- Poly-aromatische koolwaterstoffen: fluoranteen en benzo(a)pyreen,
- Bestrijdingsmiddelen: Lindaan, Atrazine, Simazine, Mevinfos, Dichloorvos en Diuron.

De ingrepen zijn elk afzonderlijk doorgerekend met het waterkwaliteitsmodel, waarbij voor alle berekeningen de situatie in 1995 als uitgangspunt heeft gediend. Uiteraard is bij elke ingreep de voor die situatie representatieve slibbalans en/of zoetwater hoeveelheid in de berekening betrokken. Deze situaties zijn met het waterkwaliteitsmodel cyclisch doorgerekend, tot een nieuw dynamisch evenwicht in de berekende concentraties werd bereikt. Door de soms grote verschillen tussen de gehanteerde slibbalansen, die voor de diverse ingrepen in hoofdstuk 4 zijn opgesteld, is als 'veilige' berekeningsperiode 25 jaar gekozen. Binnen deze

termijn zijn ook de gevolgen van grote ingrepen in het systeem van het estuarium, in ieder geval voor wat betreft de water- en bodemkwaliteit, gestabiliseerd en is een nieuw dynamisch evenwicht ontstaan.

6 Berekeningsresultaten

De enorme hoeveelheid gegevens, die het resultaat zijn van de modelberekeningen, is overzichtelijk gemaakt door bij de bespreking van de resultaten alleen jaargemiddelde evenwichtsconcentraties weer te geven. Dit zijn de gemiddelde concentraties die zijn berekend in het jaar dat het systeem zich helemaal heeft aangepast aan een doorgevoerde ingreep. Ook is zoveel mogelijk clustering op het niveau van stofgroepen nagestreefd om de grote hoeveelheid berekeningsresultaten verder te reduceren. In dit rapport worden evenwichtsconcentraties vergeleken, die berekend zijn voor de locaties Belgisch-Nederlandse grens, Hansweert en Vlissingen. De berekeningsresultaten van de ingrepen en de situatie in 1995 worden in relatie met berekende water- en bodemkwaliteit voor de referentiesituatie besproken en gepresenteerd. Daartoe zijn alle berekende concentraties geïndexeerd, waarbij de concentraties die zijn berekend voor de referentiesituatie zijn op 100 gesteld.

Referentiesituatie

De berekeningsresultaten voor de referentiesituatie betreffen de situatie, zoals die over 25 jaar, de looptijd van de berekeningen, uitgaande van de situatie in 1995, verkregen zal zijn. Aangenomen is dat de huidige verdieping is voltooid en de verwijdering van slib uit de Zeeschelde is beëindigd. Hierbij is dus verondersteld dat er geen vervuild slib uit de Zeeschelde verwijderd wordt.

1995

De modelresultaten laten vooral in het oostelijke deel van de Westerschelde Zeeschelde een verbetering van de bodemkwaliteit zien. Voor fosfor, de zware metalen en de organische micro's zijn lagere concentraties berekend dan voor de referentiesituatie. De kwaliteit van de bodem wordt in de gehele Westerschelde beter, vooral in de omgeving van de grens. Dit wordt in de betreffende grafieken in de figuren 13, 14 en 15 verduidelijkt. Ook de concentraties van deze stoffen in het water dalen. De grootste dalingen van de concentraties zijn berekend bij de Belgisch-Nederlandse grens, richting Vlissingen worden deze, zeker stroomafwaarts van Hansweert, geleidelijk aan kleiner. Zie hiervoor de figuren 13, 14 en 15. Voor de niet slibgebonden stoffen zijn geen noemenswaardige verschillen ten opzichte van de referentiesituatie berekend. Uit de berekeningsresultaten blijkt de positieve invloed van de slibverwijdering op de water- en bodemkwaliteit.

INGREEP I

Deze ingreep is gebaseerd op dezelfde uitgangspunten als de referentiesituatie. Er is echter één groot verschil: de aanvoer van zoetwater vanuit het stroomgebied is in het model weer op een 'natuurlijk' niveau gebracht, met het doel het gedeelte van het estuarium waarin de brakwaterzone ligt te vergroten. Deze extra hoeveelheid zoetwater, die via Rupelmonde en het Zoommeer wordt aangevoerd, heeft een duidelijke invloed op de concentraties opgeloste stoffen. De concentraties zuurstof en chloride dalen in de gehele Westerschelde, vooral in de omgeving van de Belgisch-Nederlandse grens. De concentraties van de gemodelleerde

stikstofverbindingen lopen in deze situatie iets op, de concentraties van de gemodelleerde bestrijdingsmiddelen stijgen in de gehele Westerschelde tot een factor 1,8 bij de grens. Figuur 12 geeft hiervan een beeld. Deze ingreep levert de slechtste bodemkwaliteit op van alle doorerekende ingrepen. Zowel de concentraties fosfor, als de zware metalen en organische micro's komen ongeveer 1,2 hoger te liggen dan in de referentiesituatie. Ook de concentraties van deze stoffen in het water stijgen door deze ingreep het meest van alle beschouwde ingrepen. Fosfor vormt hierop een uitzondering, evenals de concentraties opgeloste metalen. Laatstgenoemde duidt echter niet op een kwaliteitsverbetering maar is het gevolg van de gedaalde zuurstofconcentraties. Dit wordt in de figuren 13, 14 en 15 verduidelijkt.

De berekeningsresultaten laten een plattere chloridegradiënt in de Westerschelde zien dan in de referentiesituatie. Behalve het in zeewaartse richting opschuiven van de brakwaterzone wordt dit gebied gemiddeld genomen 4 km groter dan in de referentiesituatie. Ook de flocculatiezone schuift in zeewaartse richting op. Bij een kleine rivierafvoer verplaatst deze zone zich van omgeving Antwerpen, naar omgeving Lillo, bij een grotere rivierafvoer van omgeving Doel tot noordoostelijk van het Land van Saeftinge.

Conclusie: meer zoet water veroorzaakt een grotere brakwaterzone. Voorwaarde hierbij moet echter zijn dat de kwaliteit van het rivierwater verbetert. Anders weegt het ecologisch voordeel van het vergroten van de brakwaterzone niet op tegen de verslechtering van de waterkwaliteit, die het gevolg is van meer zoet water met de huidige kwaliteit.

INGREEP II

Deze ingreep gaat uit van de referentie, echter aangevuld met de slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis. Vergelijking van de berekeningsresultaten geeft een beeld van het effect van de slibverwijdering op de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde.

Het essentiële verschil tussen de berekeningsresultaten van deze ingreep en van de situatie in 1995 is dat deze ingreep uitgaat van de voltooide verdieping van de vaargeul door de Westerschelde. De verdieping heeft ten opzichte van de situatie in 1995 uiteindelijk tot gevolg dat de kwaliteit van het water en de bodem in de gehele Westerschelde iets verder verbetert.

Vergeleken met de referentiesituatie heeft deze ingreep geen noemenswaardige invloed op de concentraties van opgeloste stoffen in de Westerschelde. De kwaliteit van de bodem verbetert door deze ingreep, voor wat betreft de gehalten fosfor, zware metalen en organische micro's. Vooral voor laatstgenoemde stoffen zijn de verschillen ten opzichte van de referentie bij Vlissingen aanzienlijk. De waterkwaliteit verbetert door deze ingreep aanzienlijk. De concentraties van fosfor, maar met name die van zware metalen en organische micro's dalen in de gehele Westerschelde aanzienlijk ten opzichte van de referentie. De kleinste verschillen komen voor in de monding van de Westerschelde, de grootste bij de Belgisch-Nederlandse grens. Het verder stroomopwaarts doordringen van relatief schoon zeelib speelt hier een rol. Genoemde verschillen worden in de figuren 13, 14 en 15 verduidelijkt.

Conclusie : slibverwijdering is een goede maatregel om de kwaliteit van de bodem en van het water te verbeteren.

Opmerking: de verdieping heeft in de berekening met het waterkwaliteitsmodel geen gevolgen voor de chloridegradiënt en voor de gradiënten van andere opgeloste stoffen, voor zover deze niet beïnvloed worden door wijzigingen in hoeveelheden slib. De oorzaak hiervan is dat de schematisering van het gebied in dit model erg grofmazig is. Aanpassing

van de bodemschematisering ten behoeve van de verdieping geeft marginale veranderingen, die zeker geen gevolgen hebben voor de berekende concentraties. De gevolgen van de verdieping kunnen overigens wel verdisconteerd worden in de dispersiecoëfficiënt, die in het model de menging regelt. Dit behoeft echter nader onderzoek.

INGREEP III

Deze modeloefening combineert de situatie waarin de aanvoer van zoetwater vanuit het stroomgebied in het model weer op een 'natuurlijk' niveau situatie is gebracht, met de slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis.

Door de extra hoeveelheid zoet water dalen de concentraties zuurstof en chloride in de gehele Westerschelde, vooral in de omgeving van de grens. De concentraties van de gemodelleerde stikstofverbindingen lopen in deze situatie iets op, de concentraties van de gemodelleerde bestrijdingsmiddelen stijgen over de gehele linie, enkele met een factor 1,8 bij de grens. Figuur 12 geeft hiervan een beeld. Ook hier laten de berekeningsresultaten, zoals in ingreep I, een plattere chloridegradiënt in de Westerschelde zien dan in de referentiesituatie. Behalve het in zeewaartse richting opschuiven van de brakwaterzone wordt dit gebied gemiddeld genomen 4 km groter dan in de referentiesituatie. Ook de flocculatiezone schuift in zeewaartse richting op. De kwaliteit van de bodem verandert door deze ingreep niet veel: de gehalten fosfor dalen licht ten opzichte van de referentie, die van de zware metalen en organische micro's komen iets hoger te liggen.

De kwaliteit van het water verbetert over de gehele Westerschelde door deze ingreep enigszins.

Conclusie: Binnen deze gecombineerde ingreep werken enkele onderdelen 'tegen elkaar in'. De slibverwijdering zorgt voor een verbetering van de water- en bodemkwaliteit. De toevoer van een grotere hoeveelheid zoet water zorgt daarentegen voor een verslechtering van vooral de kwaliteit van het water.

INGREEP IV

Deze modelrun gaat uit van de referentiesituatie, waaraan de gevolgen van een natuurlijke(r) ontwikkeling van het estuarium in de geometrie en de slibbalans zijn toegevoegd.

Deze ingreep heeft geen noemenswaardige invloed op de concentraties van opgeloste stoffen in de Westerschelde. Wel is voor deze ingreep, vergeleken met de andere oefeningen, de beste kwaliteit van het water en de bodem van de Westerschelde berekend. Dit wordt in de figuren 13, 14 en 15 verduidelijkt.

Van belang is te melden dat een belangrijk deel van genoemde kwaliteitsverbetering het gevolg is van de in 4.6 genoemde randproblemen in het model. Ook is uitgegaan van het jarenlang ongehinderd sedimenteren van dezelfde hoeveelheden slib in de overstromingsgebieden. Dit is echter alleen mogelijk als dit slib uit deze gebieden wordt gehaald en niet meer aan het estuarium terug wordt gegeven. Door deze aannames is er minder vervuild slib en dus minder vervuiling in de modelrun geïncorporeerd, waardoor voor de water- en bodemkwaliteit een te gunstig beeld wordt gegeven. Onderzoek zal uit moeten wijzen in welke mate dit beeld door genoemde randproblemen is vertekend.

INGREEP V

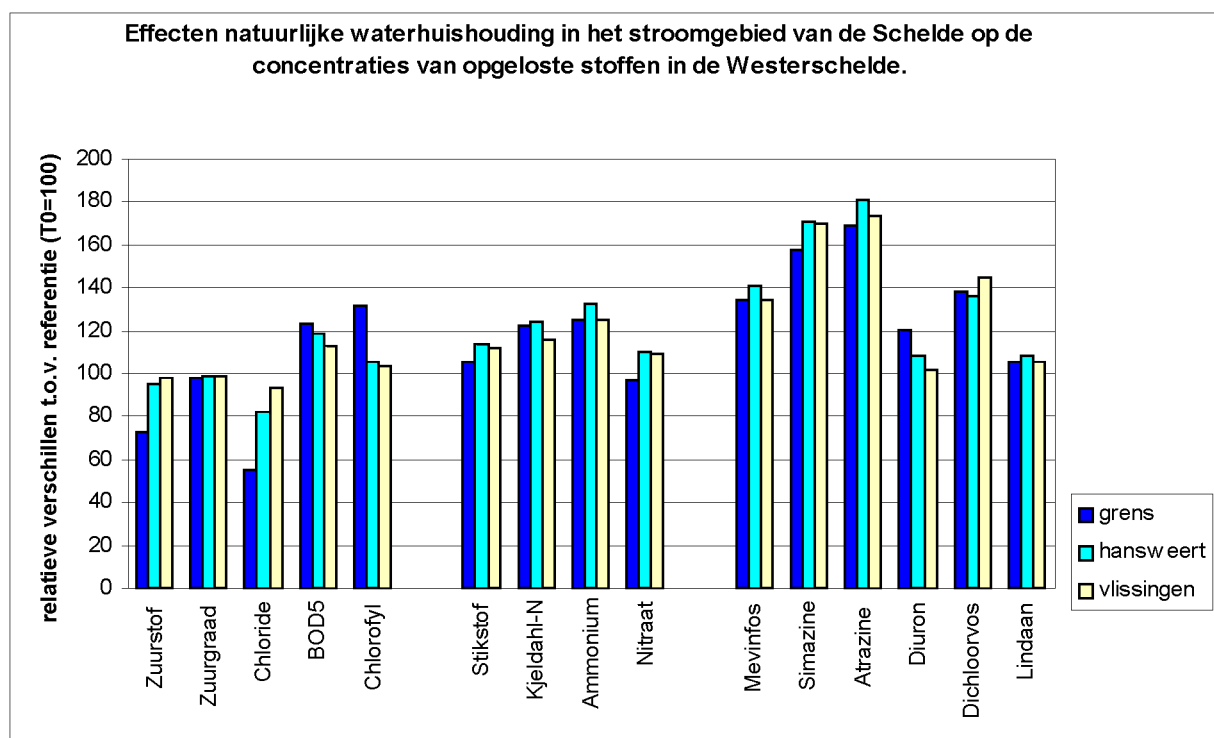
Uitgangspunten van deze modelrun berusten op de aannames die ten behoeve van de referentiesituatie zijn gedaan, aangevuld met gegevens van het weghalen van lastige drempels en het toegankelijker maken van bochten in de vaargeul. Fixatie van de oevers en dus van de vaargeul kan

bereikt worden door de aanleg van leidammen en geulwandverdedigingen. Deze ingreep heeft geen noemenswaardige invloed op de concentraties van opgeloste stoffen in de Westerschelde. De kwaliteit van de bodem blijft na uitvoering van deze ingreep vergelijkbaar met die in de referentiesituatie. Ook de kwaliteit van het water verandert door deze ingreep weinig. De concentraties zware metalen en organische microverontreinigingen stijgen enigszins. Dit wordt in de grafieken 13, 14 en 15 verduidelijkt. Onduidelijk is in welke mate slibsedimentatie achter leidammen de kwaliteit in de Westerschelde zal beïnvloeden. Dit is reden voor vervolgonderzoek.

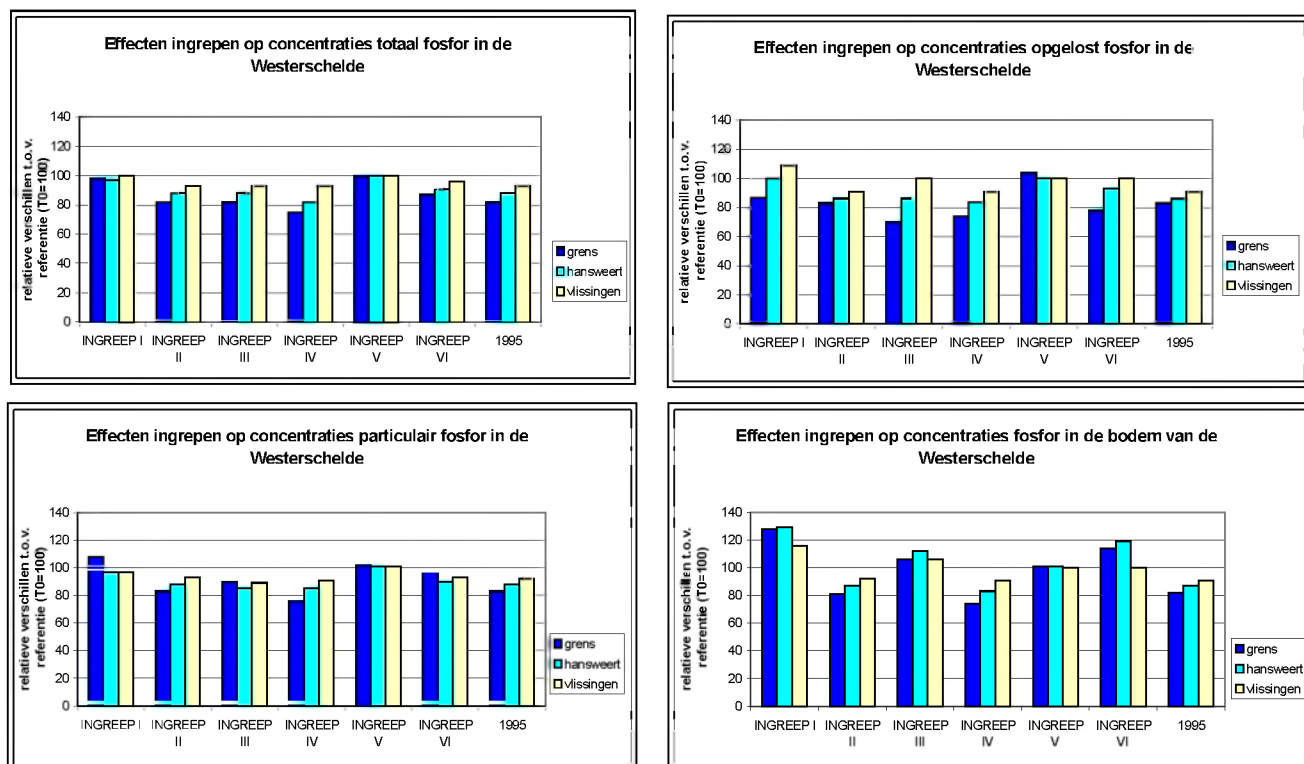
INGREEP VI

De modelrun is gebaseerd op de gegevens van ingreep I, waarbij de aanpassing van de geometrie ten gunste van een natuurlijke(r) ontwikkeling is opgenomen. De berekeningsresultaten laten een gevarieerd beeld zien. Door de extra hoeveelheid zoet water dalen de concentraties zuurstof en chloride in de gehele Westerschelde, vooral in de omgeving van de grens. De concentraties van de gemodelleerde stikstofverbindingen lopen in deze situatie iets op, de concentraties van de gemodelleerde bestrijdingsmiddelen stijgen over de gehele lijn, enkele met een factor 1,8 bij de grens. Figuur 12 geeft hiervan een beeld. De fosfor gehalten in de bodem stijgen aanmerkelijk, waardoor deze hoger liggen dan in de referentiesituatie. De gehalten zware metalen en organische micro's dalen en liggen lager dan in de referentiesituatie. De concentraties van genoemde stoffen in het water dalen enigszins. Dit wordt in de figuren 13, 14 en 15 verduidelijkt. Opmerking: Ook in deze ingreep is een belangrijk deel van de kwaliteitsverbetering het gevolg van de in 4.6 genoemde randproblemen in het model. Doordat in deze ingreep ook de invloed van de natuurlijke waterhuishouding is geïncorporeerd, valt de kwaliteitsverbetering minder groot uit dan in ingreep IV.

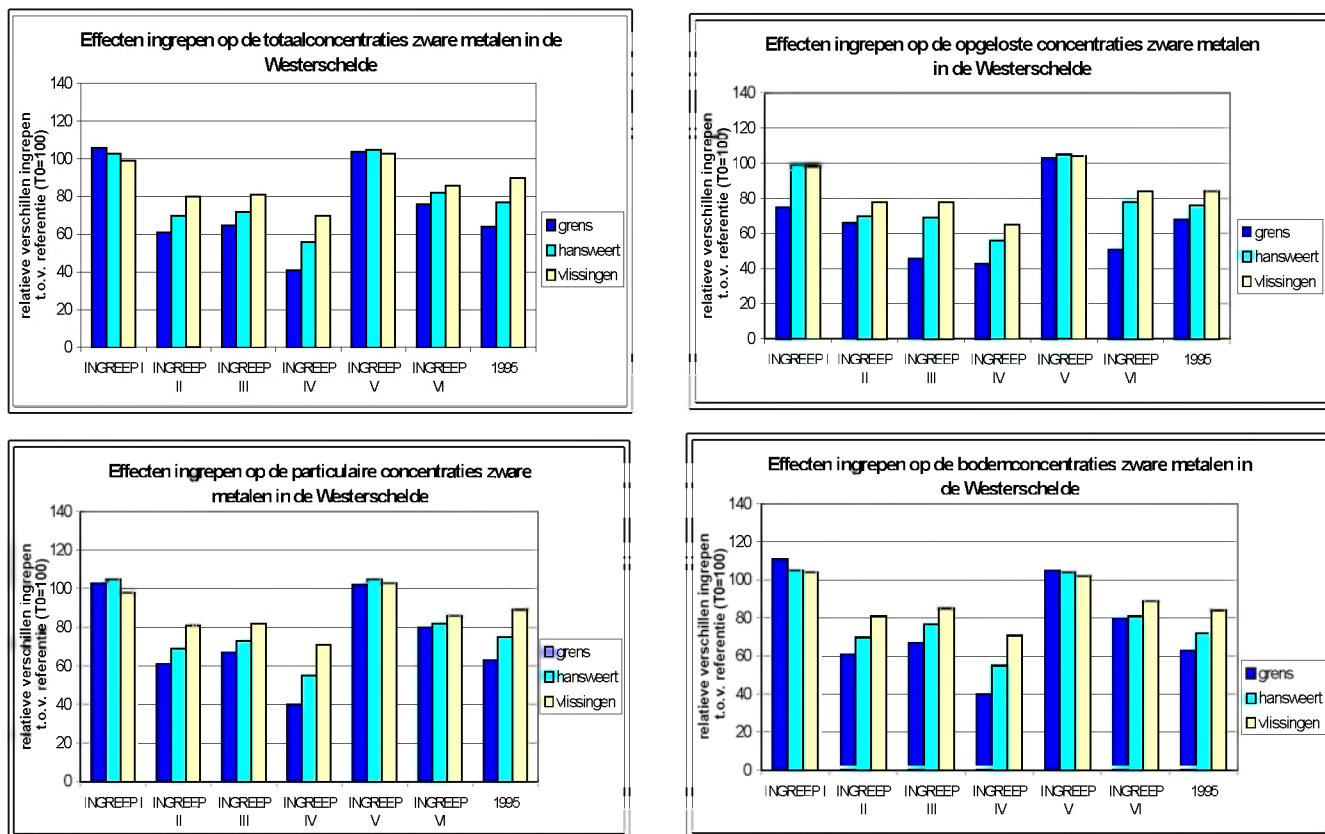
Figuur 12. Relatieve verschillen concentraties opgeloste stoffen bij de Belgisch-Nederlandse grens, Hansweert en Vlissingen van een natuurlijke waterhuishouding in het stroomgebied van de Schelde ten opzichte van de referentiesituatie (TO=100) .



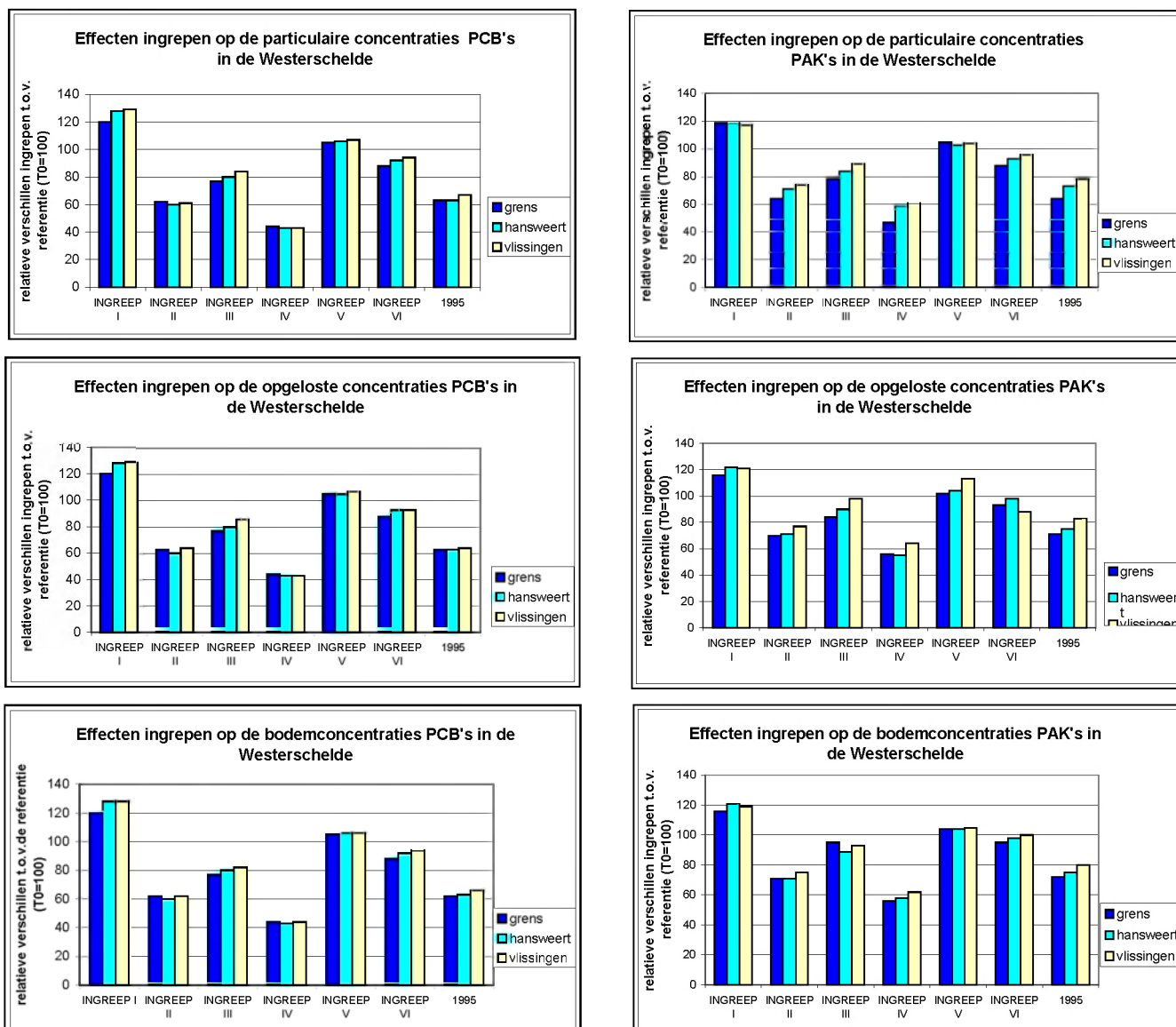
Figuur 13. Relatieve verschillen concentraties fosfor bij de Belgisch-Nederlandse grens, Hansweert en Vlissingen ten opzichte van de referentiesituatie (TO=100).



Figuur 14. Relatieve verschillen concentraties zware metalen bij de Belgisch-Nederlandse grens, Hansweert en Vlissingen ten opzichte van de referentiesituatie (TO=100).



Figuur 15. Relatieve verschillen concentraties PAK's en PCB's bij de Belgisch-Nederlandse grens, Hansweert en Vlissingen ten opzichte van de referentiesituatie (T0=100).



7 Conclusies en aanbevelingen

Uit de uitgevoerde studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

De slechtste water- en bodemkwaliteit is berekend voor de ingreep, waarin een weer natuurlijke aanvoer van zoetwater uit het stroomgebied van de Schelde, centraal staat, indien de waterkwaliteit van de Schelde niet verbeterd is. Deze ingreep heeft tot gevolg dat de brakwaterzone wordt vergroot (met gemiddeld 4 km) en in zeewaartse richting, bij hoge afvoer tot iets voorbij Hansweert opschuift. Ook de flocculatiezone schuift in zeewaartse richting op en komt bij hoge afvoer ten noordoosten van het Land van Saeftinge te liggen.

Meer zoet water veroorzaakt dus een grotere brakwaterzone. Voorwaarde moet echter zijn dat de kwaliteit van het rivierwater verbetert. Anders weegt het ecologisch voordeel van het vergroten van de brakwaterzone niet op tegen de verslechtering van de waterkwaliteit, die het gevolg zou zijn van meer zoet water met de huidige kwaliteit.

Maatregelen om de scheepvaart ruim baan te geven, door extra te verdiepen en leidammen en geulwandverdedigingen aan te leggen hebben voor de gehele Westerschelde een slechtere water- en bodemkwaliteit tot gevolg.

Slibverwijdering uit de aanloopgeul naar de Kallosluis resulteert in een vrij grote verbetering van de water- en bodemkwaliteit, vooral in het oostelijke deel van de Westerschelde. Slibverwijdering is dus een goede maatregel om de kwaliteit van het water en de bodem te verbeteren. Deze conclusie wordt niet gehinderd door grote modelonzekerheden.

De verdieping van de vaargeul in de Westerschelde draagt bij tot een kleine verbetering van de water- en bodemkwaliteit, vooral in het westelijk deel van de Westerschelde

In het algemeen kan worden gesteld dat met de ingreep, waarin de natuurlijke ontwikkeling van het estuarium centraal staat, de beste kwaliteit van het water en de bodem van de Westerschelde wordt berekend. Hierbij moet echter worden aangetekend dat door randproblemen van het toeleverend slibmodel de waterkwaliteit van vooral de Zeeschelde door het waterkwaliteitsmodel te rooskleurig wordt voorgesteld en deze conclusie niet hard te maken is.

Uit de uitgevoerde studie zijn de volgende aanbevelingen voor vervolgonderzoek naar voren gekomen:

Menselijk handelen in het fysische systeem van het estuarium heeft vaak een grote invloed op de slibtransporten en daarmee op de slibbalansen, die de modellen bij de berekeningen hanteren. Vooral ingrepen in het systeem dichtbij de bovenrand van het model, bij Rupelmonde, leiden in het model tot een niet realistisch verlies van slib uit het systeem via deze rand. Door deze modelrand van het model SLIB3D verder stroomopwaarts te leggen kan een meer representatief beeld van de werkelijkheid worden gegeven.

Met het slibtransportmodel, SLIB3D zijn de slibtransporten berekend waaruit de slibbalansen zijn opgemaakt. Dit model beschikt echter niet over modules die de mogelijkheid bieden om de hiervoor noodzakelijke processen, zoals erosie uit de waterbodem en het verdwijnen van slib via sluizen, na te kunnen bootsen. Om nauwkeuriger voorspellingen te kunnen doen met betrekking tot grootschalige ingrepen, is het van belang dit model met genoemde modules uit te breiden.

Voor het berekenen van de gevolgen van de verdieping is het noodzakelijk dat de menging, die in het waterkwaliteitsmodel BOS-LIFE wordt nagebootst door dispersiecoëfficiënten, aan de nieuwe situatie wordt aangepast. Hierdoor zal het model beter het verder doordringen in de rivier van zeewater weergeven, dat een gevolg is van de verdiepte geulen.

Onderzoek [Salden, 1998] heeft uitgewezen dat continue slibverwijdering op één plaats, zoals in de aanloopgeul naar de Kallosluis het geval is, uiteindelijk zal resulteren in erosie van oud bodemmateriaal. Dit materiaal heeft op die locatie een slechtere kwaliteit dan het weggehaald slib. Dit fenomeen is niet in het waterkwaliteitsmodel BOS-LIFE gemodelleerd en is dus ook niet bij de berekeningen betrokken. Aanbevolen wordt dit mechanisme of een equivalent daarvoor in BOS-LIFE te modelleren. Inmiddels heeft onderzoek uitgewezen dat het concept van het huidige waterkwaliteitsmodel hiervoor geschikt is [Ruijgh, 1999].

Het opnemen van bovenstaande modificaties in de diverse modellen zorgt ervoor dat het BOS-LIFE modelsysteem nauwkeuriger uitkomsten zal opleveren, waardoor het breder inzetbaar zal zijn ten behoeve van het beheer van de Westerschelde.

Literatuur

F.O.B. Lefèvre. Brondocument verkennende studie "Effecten van mogelijke systeemingrepen op de water- en bodemkwaliteit van het Schelde-estuarium". Rijkswaterstaat, werkdocument RIKZ-AB.97.810x (1997).

D.C. van Maldegem. Schatting natuurlijke slibtransporten op de Belgisch-Nederlandse grens van het Schelde-estuarium. Rijkswaterstaat, RIKZ. Notitie GWAO-89.1255.

F.O.B. Lefèvre. Achterliggende informatie m.b.t. onderzoek gevolgen systeemingrepen Westerschelde. Rijkswaterstaat, RIKZ. Werkdocument RIKZ/AB-2000.818x (2000).

R.M. Salden. Een slibtransportmodel van het Schelde-estuarium ten behoeve van waterkwaliteitsmodellering. Rijkswaterstaat werkdocument RIKZ/OS-97.116x (1997).

R.M. Salden. Schonere Schelde door slibverwijdering. Het effect van slibverwijdering in de Beneden Zeeschelde op de waterkwaliteit en slibhuishouding in de Westerschelde. Rijkswaterstaat RIKZ. Rapport RIKZ-98.015 (1998).

R.M. Salden & Z. Yang. A three dimensional hydrodynamic model of the Scheldt estuary for the transport of fine sediment. Rijkswaterstaat, werkdocument RIKZ/OS-96.143x (1996).

D.C. van Maldegem, H.P.J. Mulder en A. Langerak. A cohesive sediment balance for the Scheldt-estuary. Netherlands Journal of Aquatic Ecology 27 (2-4). Pages 247-256 (1993).

Schep. I. Verkenning Waterkwaliteit Westerschelde. Meetresultaten van het waterkwaliteitsonderzoek Herhaling Sawes. Rijkswaterstaat werkdocument RIKZ-AB.96.866x (1996).

J.M. de Kok. Numerical modelling of transport processes in coastal waters. Ph.D. Thesis University of Utrecht/Rijkswaterstaat RIKZ (1994).

I.D.M. Rozendaal. Ontwerp-beschrijving en gebruikershandleiding van de SLIB3D module. Rijkswaterstaat RIKZ/SIMTECH BV (1995).

J.A.G. van Gils en M.R.L. Ouboter. Beleidsondersteunend systeem voor het waterkwaliteitsbeheer van het estuarium van de Schelde en de kustzone. Waterloopkundig laboratorium. Deelrapport F: Waterkwaliteitsmodel. Rapport T1140 (1995).

D.J. Bakker. Calibratie en validatie van het waterkwaliteitsmodel in het BOS-LIFE modelsysteem voor het Schelde-estuarium. TNO-rapport TNO-MEP-R 98/366 (1998).

Svasek. Scaldis 400 model TRIWAQ berekeningen Westerschelde (1997).

M. Zijlema. TRIWAQ three dimensional incompressible shallow flow model. Rijkswaterstaat. RIKZ. (1997).

Brummelhuis, P.G.J. ten & M.R.L. Ouboter. DELWAQ parameter analysis module. Users manual.
Concept rapport Waterloopkundig Laboratorium Delft (1995).

Ouboter, M.R.L. en P.G.J. ten Brummelhuis. Parameter analyse-module ten behoeve van het LIFE-instrumentarium Schelde-estuarium.
Testrapport. Waterloopkundig Laboratorium T1496 (1995).

DELWAQ, 1995a
Manual DELWAQ, Users Manual, Version 4.0
Delft Hydraulics, February 1995.

DELWAQ, 1995b
Manual DELWAQ, Technical Reference, Version 4.0
Delft Hydraulics, April, 1995.

Holland, A.M.B. & H. Smit.
Zoet water in het Schelde-estuarium; veranderingen in de saliniteit.
Rijkswaterstaat RIKZ Rapport DGW-93.057 (1994).

Ruijgh, E.F.W.
Modernisering BOS-LIFE.
Waterloopkundig Laboratorium Delft, Rapport Z2713 (1999).