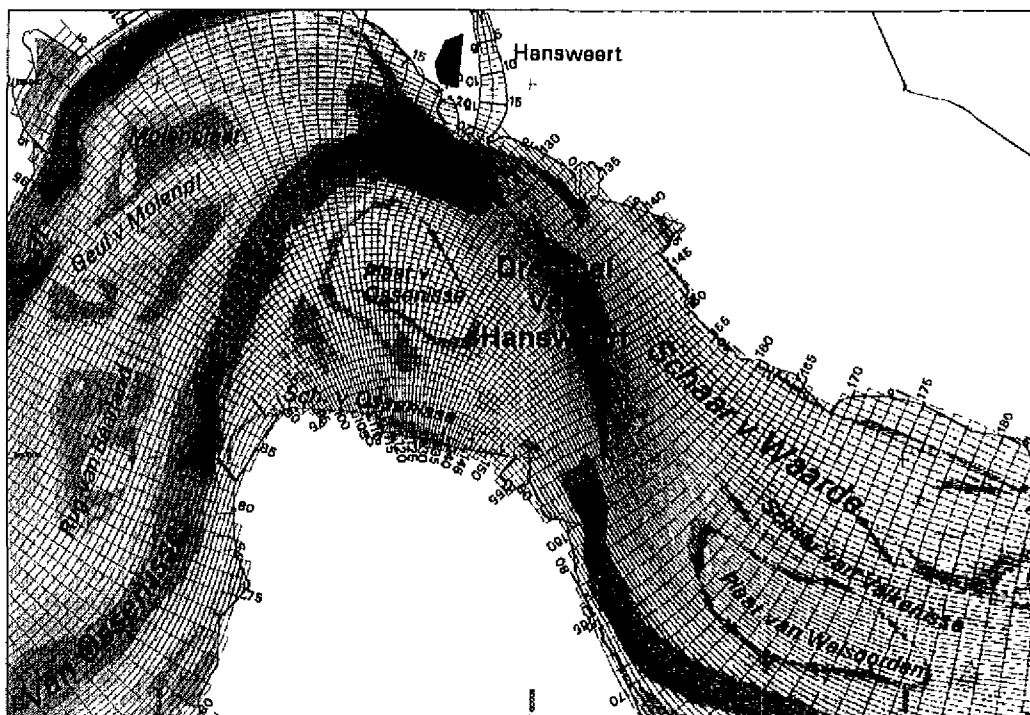


Modellering morfodynamisch gedrag van de Drempel van Hansweert

Fase 2: Berekening alternatieven baggerwerk

November 1997

M.D. Groenewoud (TU Delft)
F.T.G. Tank (IMAU)



Uitgevoerd in opdracht van het
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ



Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
Bibliotheek

C-13809 712

Voorwoord

Tijdens het uitvoeren van onze studie naar het bestuderen van alternatieven voor het baggerwerk op de Drempel van Hansweert hebben we op prettige wijze samengewerkt met diverse personen van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) en de Universiteit Utrecht (UU). Onze dank gaat met name uit naar drs. H. Verbeek (RIKZ), ir. A. Langerak (RIKZ), ing. C. van der Male (RIKZ) en drs. M.C.J.L. Jeuken (UU).

Tevens willen wij onze begeleiders op de TU Delft en de Universiteit Utrecht, dr. ir. J. van de Graaff (TUD), dr. ir. J.A. Roelvink (TUD) en dr. J.H. van den Berg (UU) bedanken voor hun adviezen en de plezierige samenwerking.

Tijdens deze studie is gebruik gemaakt van het door het Waterloopkundig Laboratorium ontwikkelde morfologische computermodel DELFT2D-MOR. Het Waterloopkundig Laboratorium heeft dit model beschikbaar gesteld voor deze studie.

Martin Groenewoud
Fred Tank

Middelburg, november 1997

Samenvatting

Drempels, lokale ondieptes in de vaarweg, vormen een belemmering voor de scheepvaart in de Westerschelde. Om een goede bereikbaarheid van de haven van Antwerpen te waarborgen wordt er gebaggerd op de drempels. Momenteel wordt er in de Westerschelde gemiddeld $8 \cdot 10^6$ m³/jaar gebaggerd. Het grootste deel van het gebaggerde materiaal (ongeveer 80 %) wordt elders binnen de Westerschelde teruggestort. De doorlopende cyclus van baggeren en storten heeft de hydro- en morfodynamica van het estuarium sterk beïnvloed. Het getijvolume is toegenomen en de geulen zijn gefixeerd. De gemiddelde hoogte van de platen is toegenomen, schorren- en slikkengebieden zijn kleiner geworden en er komen geen nieuwe schorren- en slikkengebieden bij. Dit alles kan gezien worden als een afname van de dynamiek van het ecologisch systeem.

In 1995 zijn de Nederlandse en Belgische regering overeengekomen dat de vaargeul met nog eens 1,5 m zal worden verdiept. Gezien de ervaring met voorgaande verdiepingen wordt verwacht dat deze nieuwe verdieping aanzienlijke gevolgen zal hebben voor de morfologie en ecologie van het estuarium. Inmiddels (medio 1997) is men begonnen met het uitvoeren van deze nieuwe verdieping.

Om het natuurlijke karakter van de Westerschelde zo goed mogelijk te behouden heeft de Directie Zeeland in samenwerking met het RIKZ een meerjarig onderzoeksprogramma opgestart binnen het project VERDIEPING (RIKZ) naar het gedrag van drempels in de Westerschelde. De doelstelling van dit project, genaamd DREMPELS, luidt als volgt:

Het verkrijgen van inzicht in de processen die de geometrie van een drempel bepalen, zodanig dat met de verkregen kennis de gevolgen van beheersalternatieven voldoende nauwkeurig afgeschat kunnen worden en nieuwe beheersalternatieven kunnen worden gegenereerd.

Onderdeel van dit project is het simuleren van het morfologisch gedrag van één van de drempels, de Drempel van Hansweert, met een morfologisch computermodel.

Dit verslag beschrijft de tweede van twee fasen van dit project waarin de simulatie van alternatieven voor het baggerwerk wordt beschreven.

Met behulp van het computermodel DELFT2D-MOR van het Waterloopkundig Laboratorium is er een model van de Westerschelde gemaakt. DELFT2D-MOR is een 2DH-morfologisch model (2DH = 2 dimensionaal horizontaal). Met behulp van dit model zijn de waterbeweging, het sedimenttransport en de bodemontwikkeling op en rondom de Drempel van Hansweert gesimuleerd. De modelbouw en de simulatie van de autonome ontwikkeling (geen menselijke ingrepen) en de huidige baggerstrategie zijn beschreven in het rapport van Fase 1 (Groenewoud, 1997).

Dit rapport doet verslag van de berekeningen van de effecten van verschillende beheersalternatieven met DELFT2D-MOR. Er zijn een aantal berekeningen uitgevoerd waarbij een drietal kenmerken werd gevarieerd, namelijk de baggerlokatie, de stortlokatie en de frequentie van het bagger- en/of stortwerk.

De berekeningen laten zien dat als de drempel op overdiepte gebaggerd wordt, er meer aanzanding op de drempel zal optreden. In het gedefinieerde drempelvak is deze toename in de aanzanding minder dan 10%.

Beïnvloeding van de lokale debietverdeling door het gedeeltelijk blokkeren van een nevengeul en het daardoor forceren van de stroming over de drempel, leidt volgens de berekeningen niet in alle gevallen tot een reductie van de aanzanding van de drempel.

In het algemeen kan gesteld worden dat de variatie van baggerlokatie, stortlokatie en frequentie op de wijze zoals uitgevoerd bij de berekeningen, relatief weinig effect had op de aanzanding van de drempel.

Inhoudsopgave

VOORWOORD

SAMENVATTING

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	1
1.1 BESCHRIJVING PROBLEMATIEK WESTERSCHELDE	1
1.2 PROJECT DREMPELS.....	2
1.3 OPBOUW VERSLAG	3
2. DE DREMPEL VAN HANSWEERT	5
2.1 LOKATIE DREMPEL VAN HANSWEERT	5
2.2 ONTWIKKELING BODEMLIGGING	5
2.3 MEETCAMPAGNE.....	6
2.4 OORZAKEN DREMPELVORMING	8
3. BEHEERSALTERNATIEVEN VOOR VERMINDERING EFFECTEN BAGGERINSPANNING.....	10
3.1 INLEIDING.....	10
3.2 ALTERNATIEVEN BAGGERWERKZAAMHEDEN	10
4. BEREKENINGEN DELFT2D-MOR	13
4.1 INLEIDING.....	13
4.2 OPZET BEREKENINGEN.....	13
4.3 RESULTATEN BEREKENINGEN	16
4.4 VERGELIJKING RESULTATEN.....	40
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	45

REFERENTIES

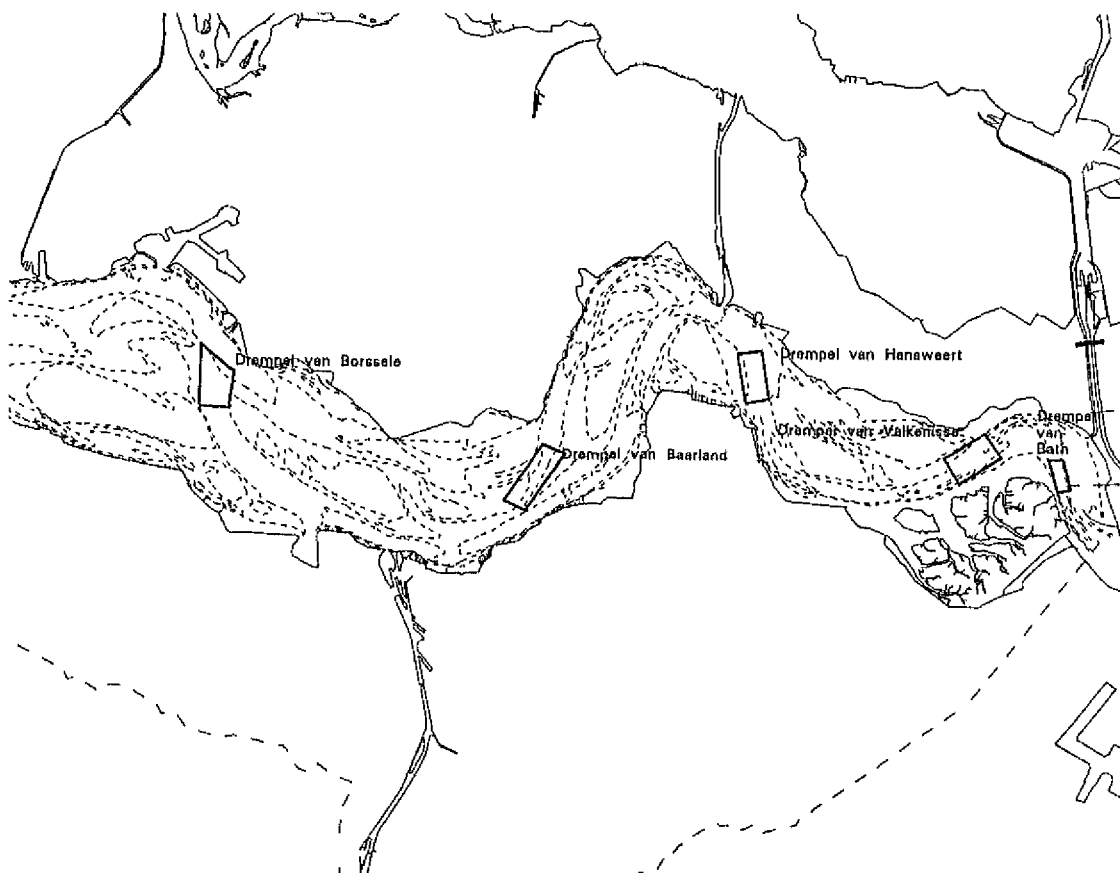
1. Inleiding

1.1 Beschrijving problematiek Westerschelde

De Westerschelde fungeert o.a. als een belangrijke vaargeul naar de haven van Antwerpen in België. Om de scheepvaart een goede doorgang te verlenen wordt er intensief gebaggerd in de Westerschelde. De baggerwerkzaamheden hebben de morfologie van het estuarium sterk beïnvloed. In de jaren '50 werd er reeds ongeveer $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /jaar gebaggerd. In de zeventiger jaren is de vaargeul verder verdiept. Per jaar werd er tot medio 1997 ongeveer $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ gebaggerd in de Westerschelde. Het baggerwerk vindt hoofdzakelijk plaats op de ondiepe gedeeltes van de vaargeul, de zogenaamde drempels. Figuur 1.1 laat zien waar deze drempels zich in de Westerschelde bevinden. Het grootste gedeelte van het gebaggerde materiaal wordt teruggestort in de Westerschelde.

De doorlopende cyclus van baggeren en storten heeft de hydro- en morfodynamica van het estuarium sterk beïnvloed. Het getijvolume is toegenomen, met als consequentie hogere extreme waterstanden bij Antwerpen. De geulen zijn gefixeerd, de gemiddelde hoogte van de platen is toegenomen, de schorren- en slikkengebieden zijn kleiner geworden en er komen geen nieuwe schorren- en slikkengebieden bij. De dynamiek van het ecologisch systeem is daarmee afgenomen.

In 1995 zijn de Nederlandse en Belgische regering overeengekomen dat de vaargeul met nog eens 1,5 m zal worden verdiept. Gezien de ervaringen met voorgaande verdiepingen wordt



Figuur 1.1 Lokaties drempels in de Westerschelde.

verwacht dat deze nieuwe verdieping, de zogenaamde 48'/43'-verdieping¹, aanzienlijke gevolgen zal hebben voor de morfologie en ecologie van het estuarium.

1.2 Project DREMPELS

In het Beleidsplan Westerschelde (Bestuurlijk Klankbordforum Westerschelde, 1991) is een lange termijn visie opgesteld waarin men het natuurlijke karakter van de Westerschelde zo veel mogelijk wil behouden zonder dat daarbij maatschappelijke functies verloren gaan. Om het natuurlijke karakter van de Westerschelde te waarborgen, worden door de Directie Zeeland beheersalternatieven onderzocht die de diepte van de drempel op min of meer natuurlijke wijze vergroten. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan morfologisch baggeren en storten, kombergingsvergroting door ontpolderen, beïnvloeding lokale debietverdeling (stromingsconcentratie over drempel) e.d.

In het voorjaar van 1995 heeft de Directie Zeeland in samenwerking met het RIKZ een meerjarig onderzoeksprogramma opgestart binnen het project VERDIEPING (RIKZ) naar het gedrag van drempels in de Westerschelde. Binnen het project wordt tevens samengewerkt met de Universiteit Utrecht (UU) en de Technische Universiteit Delft (TUD). Dit project, genaamd DREMPELS, heeft de volgende doelstelling:

Het verkrijgen van inzicht in de processen die de geometrie van een drempel bepalen, zodanig dat met de verkregen kennis de gevolgen van beheersalternatieven voldoende nauwkeurig afgeschat kunnen worden en nieuwe beheersalternatieven kunnen worden gegenereerd.

Vanuit drie verschillende invalshoeken werd getracht de kennis omtrent het gedrag van drempels te vergroten:

1. literatuurstudie van de huidige kennis omtrent het gedrag van drempels + analyse historische meetgegevens
2. meetcampagne op één van de drempels (Drempel van Hansweert)
3. modellering van het gedrag van de Drempel van Hansweert met behulp van een 2DH morfologisch model

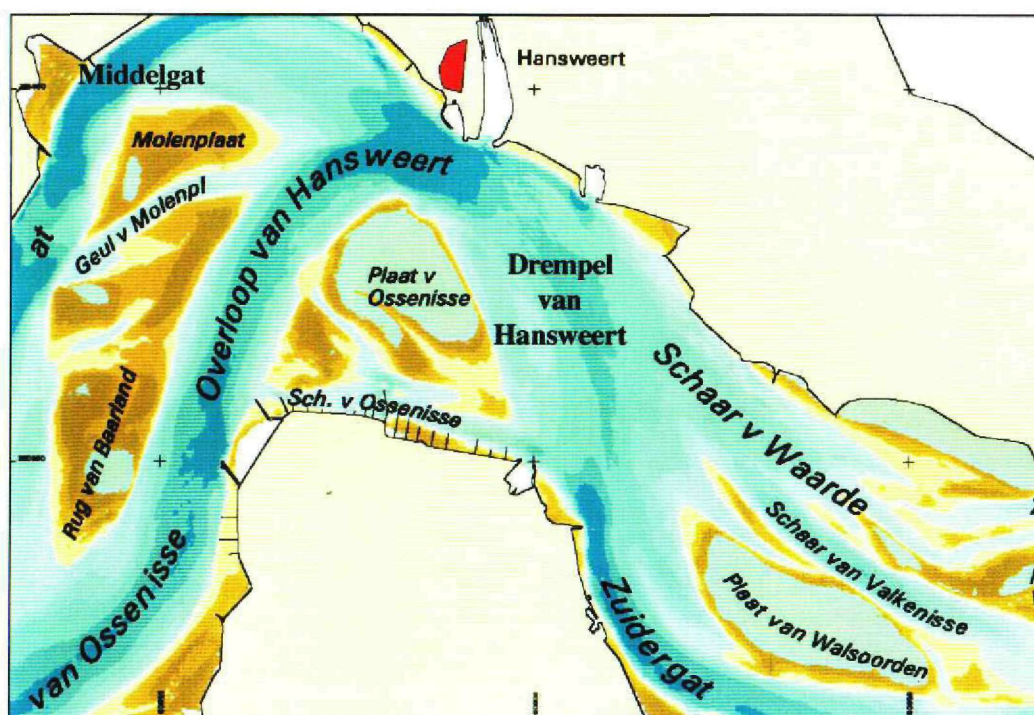
ad. 1 Literatuurstudie + analyse historische meetgegevens

In het kader van dit onderzoek zijn er door de Universiteit Utrecht verschillende studies verricht naar het gedrag van drempels in de Westerschelde (Tank, 1995; Tank, 1996a; Tank, 1996b).

ad. 2 Meetcampagne

In het najaar van 1995 en het voorjaar van 1996 is er een uitvoerige meetcampagne uitgevoerd op één van de drempels, namelijk de Drempel van Hansweert. De Drempel van Hansweert is gelegen in het oostelijk deel van de Westerschelde (zie Figuur 1.1 en 1.2). In verschillende dwars- en langsraken zijn stroomsnelheden, waterstanden, sedimentconcentraties en bodemligging gemeten. In Hoofdstuk 2 wordt hier nader op ingegaan. Uitvoerig

¹ De 48'/43' verdieping houdt in dat schepen met een diepgang van 48 voet (bijna 15 m) in één getij vanuit de Noordzee naar Antwerpen kunnen varen. Deze schepen zullen de afvaart naar de Noordzee niet in één getij kunnen voltooien. Schepen met een diepgang van 43 voet (ruim 13 m) moeten de afvaart wel in één getij kunnen volbrengen. Schepen met een diepgang van 38 voet (ruim 11 m) kunnen de Westerschelde onafhankelijk van het getij bevaren.



Figuur 1.2 Lokatie Drempel van Hansweert.

verslag van de metingen en van de interpretatie van de resultaten wordt gedaan in Tank, 1997a; Tank, 1997b en Tank, 1997c.

ad. 3 Modelling van het gedrag van de drempel

Het gedrag van de Drempel van Hansweert is gesimuleerd met behulp van een 2DH morfologisch model (2DH = 2 dimensionaal horizontaal). Hierbij wordt gebruik gemaakt van DELFT2D-MOR, een computermodel van het Waterloopkundig Laboratorium (WL). In eerste instantie is het model gebruikt om de huidige situatie te simuleren. De uitkomsten van het model zijn vergeleken met resultaten van de meetcampagne. In tweede instantie is het model ook gebruikt om diverse beheersalternatieven met elkaar te vergelijken.

1.3 Opbouw verslag

Dit rapport doet verslag van de derde methode van aanpak, namelijk het simuleren van het gedrag van de Drempel van Hansweert met het 2DH morfologische model DELFT2D-MOR. Het onderzoek bestaat uit twee fasen.

De resultaten van de eerste fase (modelbouw en simulatie huidige situatie) staan beschreven in Groenewoud, 1997.

Dit rapport doet verslag van de tweede fase waarin de verschillende beheersalternatieven worden beschreven en de resultaten van de simulatie van verschillende baggeralternatieven worden besproken.

In Hoofdstuk 2 wordt eerst een beknopte omschrijving gegeven van de omstandigheden die het ontstaan van een drempel veroorzaken. Tevens wordt de situatie rondom de Drempel van Hansweert besproken.

Een aantal beheersalternatieven die moeten leiden tot een verminderde baggerinspanning wordt kwalitatief beschreven in Hoofdstuk 3. Er zijn uiteraard ook andere alternatieven mogelijk. De

alternatieven beschreven in Hoofdstuk 3 behoren tot de alternatieven die in de algemene discussie rondom de huidige baggerpraktijk als kansrijk worden omschreven. Met behulp van het DELFT2D-MOR systeem zijn berekeningen uitgevoerd die zowel een kwalitatief als een kwantitatief beeld moeten geven van de effecten van de verschillende baggeralternatieven. Hierbij is de situatie rondom de Drempel van Hansweert als uitgangspunt genomen. De resultaten van de verschillende berekeningen worden in Hoofdstuk 4 beschreven. Conclusies en aanbevelingen volgen in Hoofdstuk 5.

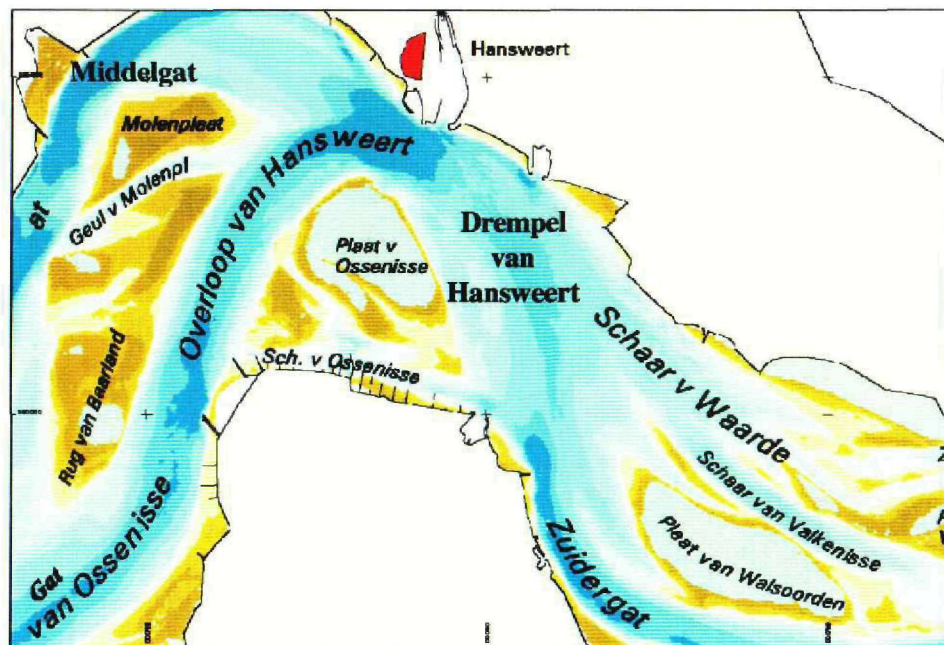
2. De Drempel van Hansweert

2.1 Lokatie Drempel van Hansweert

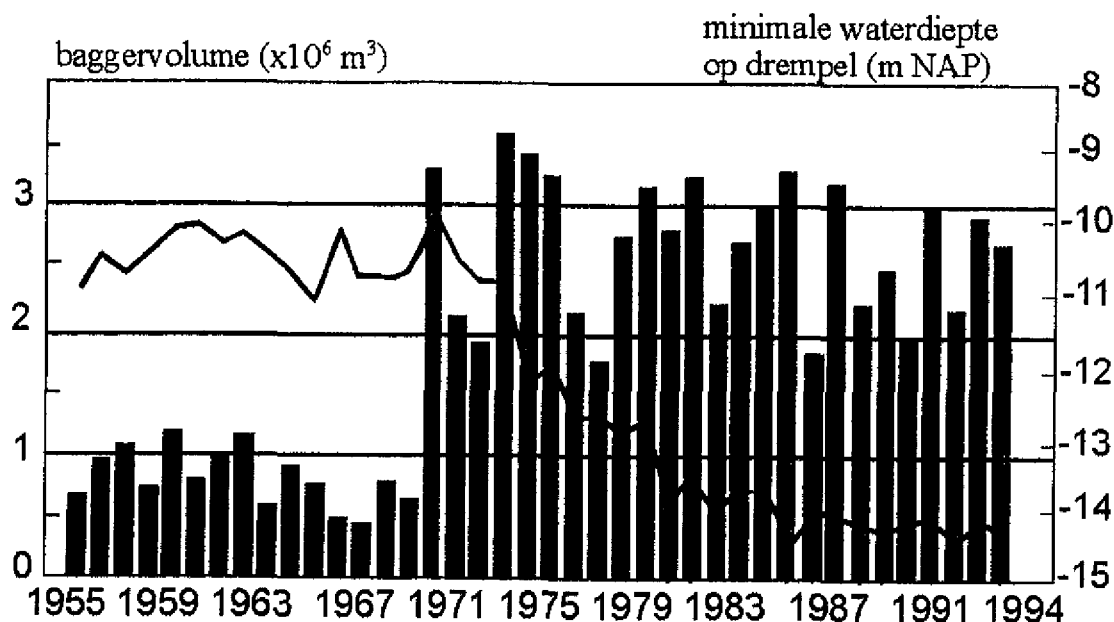
De Drempel van Hansweert is gelegen in het oostelijk deel van de Westerschelde (zie Figuur 2.1). Ten westen van de drempel ligt de Plaat van Ossenissee. Ten noorden van deze plaat bevindt zich een scherpe bocht waarna de hoofdgeul zich splitst in het ebgedomineerde Middelgat en de vloedgedomineerde Overloop van Hansweert. Ten zuiden van de Drempel bevindt zich het ebgedomineerde Zuidergat. Oostelijk van de drempel ligt een grote vloedschaar, genaamd de Schaar van Waarde. Het debiet door deze vloedschaar reduceert het debiet door het Zuidergat. De natuurlijke diepteligging van de Drempel van Hansweert is mede afhankelijk van de grootte van het debiet door het Zuidergat.

2.2 Ontwikkeling bodemligging

Sinds het begin van deze eeuw wordt er gebaggerd in de Westerschelde. De baggerwerkzaamheden vinden voornamelijk plaats in het oostelijk deel van de Westerschelde. In de jaren vijftig bedroeg het baggervolume ongeveer $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Na een verdere verdieping van de vaargeul in de jaren zeventig is dit volume toegenomen. Aanvankelijk werd er per jaar $12 \cdot 10^6$ tot $14 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ gebaggerd. Pas toen er nieuw evenwicht was ontstaan tussen het toegenomen getijvolume en het geulprofiel, stabiliseerde de hoeveelheid baggerwerk zich rond de huidige $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ (Vroon *et al.*, 1997).



Figuur 2.1 Lokatie Drempel van Hansweert.



Figuur 2.2 Ontwikkeling van de hoeveelheden baggerwerk en de minimale waterdiepte op de Drempel van Hansweert.

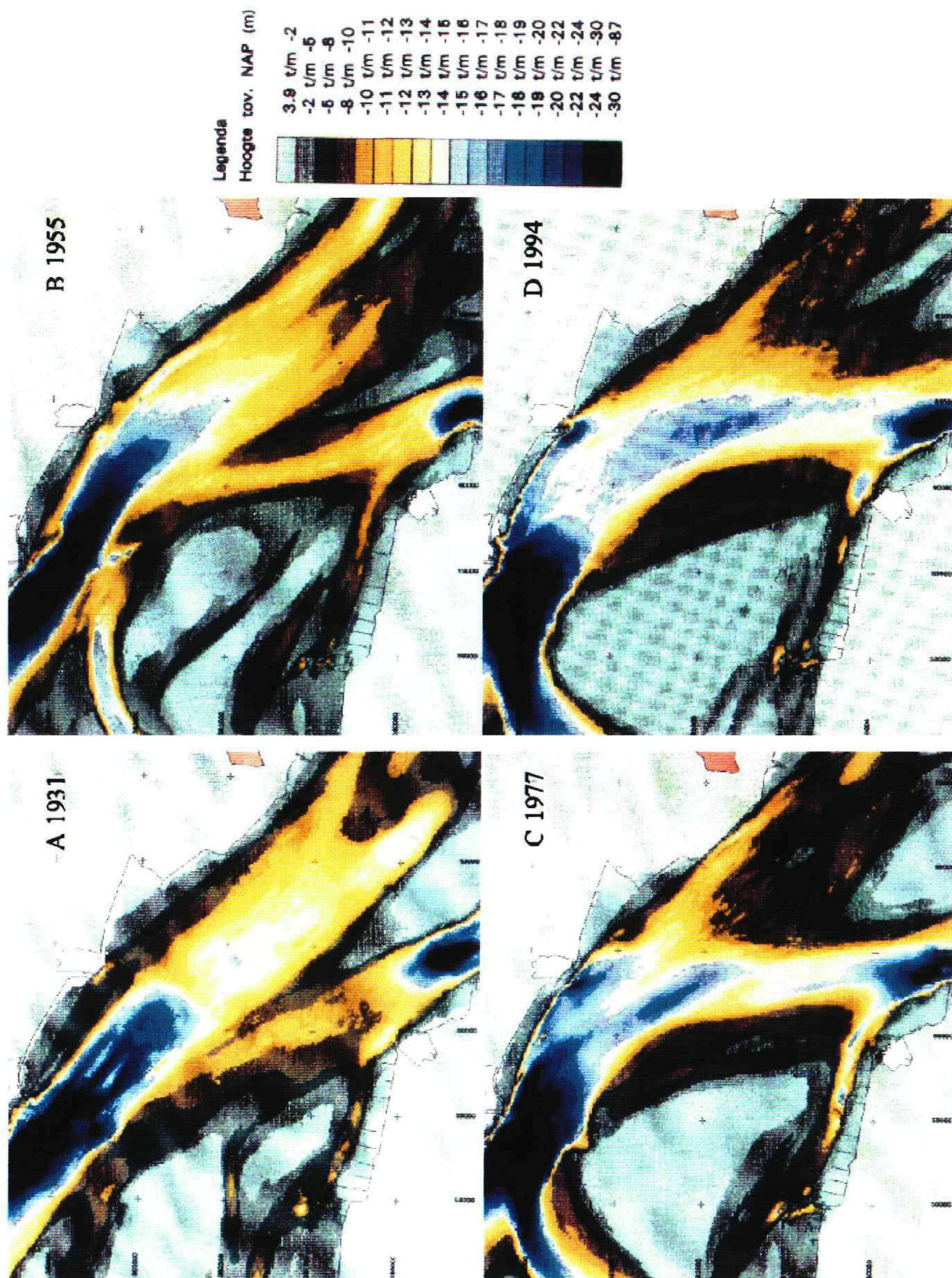
Op de Drempel van Hansweert wordt er momenteel per jaar ongeveer $2 \cdot 10^6$ tot $3 \cdot 10^6$ m³/jaar gebaggerd. Het baggerwerk heeft in de loop der tijd de ligging van de Drempel van Hansweert sterk beïnvloed. In Figuur 2.2 staat het verloop in de tijd uitgezet van de hoeveelheid baggerwerk op de drempel. Duidelijk is te zien dat na de verdieping in de jaren zeventig de hoeveelheid baggerwerk sterk is toegenomen. In Figuur 2.2 staat ook de minimale waterdiepte op de drempel weergegeven. De minimale waterdiepte is van circa NAP -10,5 m toegenomen tot ongeveer NAP -14,5 m.

In Figuur 2.3a is de bodemligging van de drempel in 1931 afgebeeld. Kenmerkend voor de situatie toendertijd is het elkaar ontwijken van de eb- en vloedstroming. De Schaar van Waarde is vloedgedomineerd; het Zuidergat is ebgedomineerd. In 1955 (Figuur 2.3b) is de diepte op de Drempel van Hansweert toegenomen t.o.v. 1931; grotendeels ten gevolge van het baggerwerk. Als gevolg hiervan is de hoeveelheid water die bij vloed over de drempel stroomt, toegenomen. De bodemligging van 1977 (Figuur 2.3c) laat zien dat deze ontwikkeling zich verder heeft doorgezet. De bodem van 1994 (Figuur 2.3d) geeft aan dat de diepte van de drempel verder is toegenomen. Het baggerwerk heeft daar een sturende rol in gehad. Als gevolg van de toegenomen diepte op de drempel stroomt er meer water over de drempel en minder water door de Schaar van Waarde. De gemiddelde dieptes in de Schaar van Waarde zijn ten gevolge van de verminderde debieten afgenomen; er is verzanding opgetreden.

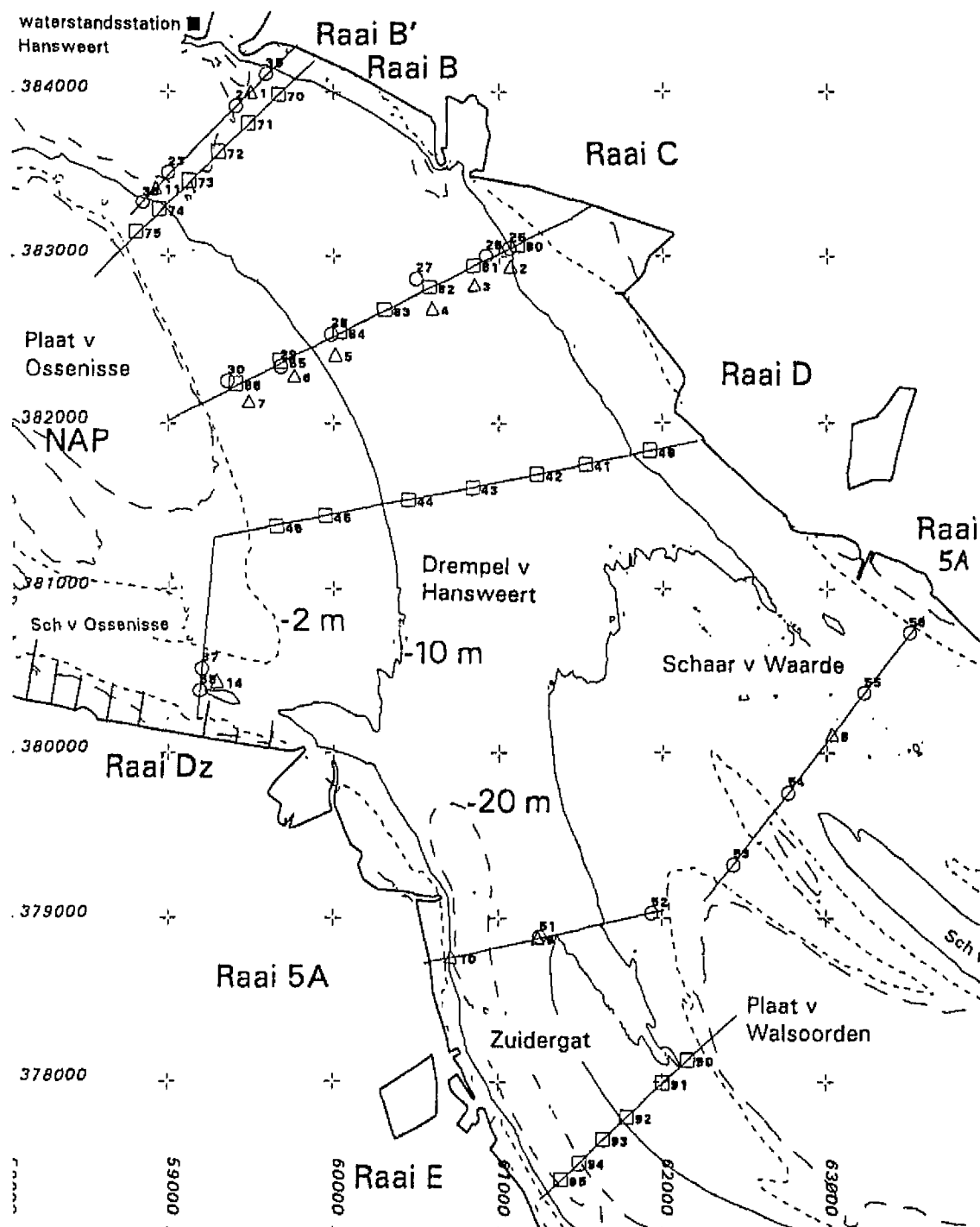
2.3 Meetcampagne

In 1995 en 1996 is er een uitgebreide meetcampagne uitgevoerd op de Drempel van Hansweert. In verschillende dwars- en langsraaien zijn waterstanden, stroomsnelheden en sedimentconcentraties gemeten. Ook zijn er verschillende extra lodingen uitgevoerd om de bodemligging te bepalen. Door Tank, 1997a, 1997b en 1997c wordt uitvoerig verslag gedaan van de metingen en van de interpretatie van de resultaten.

Om een indruk te geven van de schaal van deze meetcampagne staan in Figuur 2.4 een aantal dwarsraaien en meetpunten afgebeeld. De resultaten van deze metingen zullen gebruikt worden bij de calibratie en verificatie van het model.



Figuur 2.3 Bodemligging Drempel van Hansweert in de jaren 1931 (a), 1955 (b), 1977 (c) en 1994 (d).



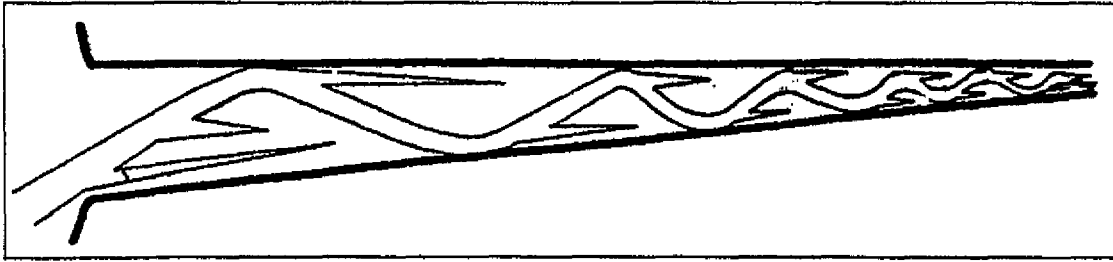
Figuur 2.4 Lokaties dwarsraaien en meetpunten van de meetcampagne.

2.4 Oorzaken drempelvorming

Een drietal oorzaken kunnen worden onderscheiden die tot drempelvorming leiden.

1. het elkaar ontwijken van eb- en vloedstroming
2. divergentie van stroming
3. vermindering secundaire stromingseffecten tussen opeenvolgende bochten

ad 1. De belangrijkste oorzaak voor drempelvorming is het feit dat eb- en vloedstroming vaak andere wegen kiezen. Als gevolg hiervan is het dwarsprofiel vaak relatief breed en



Figuur 2.5 Schema van een ideaal systeem van de Westerschelde met een ebgeul en vloedscharen (bron: Van Veen, 1950).

ondiep. Van Veen beschreef dit fenomeen reeds in de jaren '50 (Van Veen, 1950). In Figuur 2.5 staat één van zijn figuren afgebeeld. De Westerschelde wordt gekenmerkt door een ebgedomineerde hoofdgeul en vloedscharen. Dit patroon is duidelijk herkenbaar bij de Drempel van Hansweert met de Schaar van Waarde als vloedschaar en het Zuidergat als ebgedomineerde hoofdgeul (zie Figuur 2.3).

ad 2. Door de divergentie van de stroming t.g.v. het grotere dwarsoppervlak ter hoogte van de drempel, nemen de stroomsnelheden af en neemt de sedimenttransportcapaciteit af. Hierdoor zal een ondiepte ontstaan. Het baggeren van de drempel versterkt dit proces (zie Tank, 1997d).

ad 3. Tussen twee opeenvolgende bochten bevindt zich een relatief recht stuk waar minder secundaire stroming optreedt. In bochten zelf is er een naar de binnenbocht gericht sedimenttransport hetgeen veroorzaakt wordt door secundaire stroming. Hierdoor is het bochtprofiel vaak driehoekig en relatief diep. Door de vermindering van de secundaire stromingseffecten op relatief rechte stukken is het dwarsprofiel daar vaak meer rechthoekig en relatief ondiep.

3. Beheersalternatieven voor vermindering effecten baggerinspanning

3.1 Inleiding

Op de Drempel van Hansweert wordt in de jaren '90 gemiddeld $2,65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar gebaggerd. De baggerwerkzaamheden vinden regelmatig over het jaar plaats. Het merendeel, naar schatting 65 % (Tank, 1997c), wordt uitgevoerd in het zuidelijk deel van het baggervak. De drempel wordt op een minimale diepte van NAP -14,5 m gehouden. Het gebaggerde materiaal wordt grotendeels westwaarts van de Drempel van Hansweert in het Gat van Ossensisse gestort (zie Figuur 2.1, blz. 5) (Van Dam en Quartel, 1992). Af en toe wordt een zeer gering deel van het materiaal van de Drempel van Hansweert in de Schaar van Waarde gestort. De stortingen nabij de Drempel van Hansweert die van belang zijn, zijn die in de Schaar van Waarde en op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossensisse. In de Schaar van Waarde wordt in de jaren '90 gemiddeld $0,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ per jaar gestort. Dit gebeurt echter erg onregelmatig. Het materiaal is afkomstig van de randen van de Plaat van Walsoorden en de Plaat van Valkenisse. Op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossensisse wordt jaarlijks gemiddeld $0,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ gestort. Dit materiaal is afkomstig van de rand van de Plaat van Valkenisse.

Het is gebleken dat de bagger- en stortactiviteiten in de afgelopen 40 jaar tot een verhoging van de platen hebben geleid (Pieters *et al.*, 1991; Huijs, 1996). Een ander nadeel van het bagger- en stortwerk is versterking van de bodemfauna van onder meer de intergetijdegebieden.

Om de negatieve gevolgen van het huidige bagger- en stortbeleid te verminderen zijn er verschillende alternatieve wijzen van vaargeulbeheer onderzocht. Deze alternatieven worden in paragraaf 3.2 beschreven.

3.2 Alternatieven baggerwerkzaamheden

Variatie frequentie uitvoering baggerwerk

Momenteel wordt er min of meer continu gebaggerd in de Westerschelde. Het bagger- en stortwerk verstoort de natuur daardoor ook continu. Een mogelijkheid om de negatieve effecten van het baggerwerk te verminderen zou een verlaging van de frequentie van het uitvoeren van het baggerwerk kunnen zijn. Een consequentie van het verlagen van de frequentie is, dat telkens als er gebaggerd wordt, er een grotere hoeveelheid gebaggerd zal moeten worden.

Frequentieverlaging zal leiden tot een toename van het baggerwerk per keer (dus ook meer stortwerk per keer). De vraag is echter of de totale jaarlijkse hoeveelheid zand die gebaggerd zal moeten worden, sterk zal veranderen (of niet) als de baggerfrequentie wordt gevarieerd. Verlaging van de bagger- en stortfrequentie zou de ecologie van het gebied ten goede kunnen komen. Als voorbeeld van dit uitgangspunt kan gedacht worden aan seizoensbaggeren. Door te baggeren in seizoenen van lage(re) ecologische activiteit zouden de negatieve effecten van het baggerwerk verminderd kunnen worden. Er moet met nadruk worden gesteld dat het effect van variatie van de bagger- en stortfrequentie op de ecologie nog nader onderzocht zal moeten worden.

Beïnvloeding lokale debietverdeling

Eén van de mechanismen van aanzanding op de drempel is de verlaging van de stroomsnelheid ter plaatse van de (gebaggerde) drempel. Door de lagere stroomsnelheden nemen de sedimenttransporten op de drempel af en zal de drempel aanzanden. Een mogelijkheid om de hoeveelheid baggerwerk te verminderen is er voor te zorgen dat de stroomsnelheid minder

afneemt ter hoogte van de drempel dan in de huidige situatie het geval is. De drempel zal in dat geval naar verwachting minder aanzanden. De lokale debietverdeling kan op verschillende wijzen worden beïnvloed. Er kan gebruik gemaakt worden van 'zachte' maatregelen of van 'harde' maatregelen.

- **Zachte maatregelen**

Door het gebaggerde materiaal te storten in een nevengeul zal de stroming door de nevengeul enigszins verminderen. Daardoor zal de stroming over de drempel relatief groter worden. In het geval van de Drempel van Hansweert kan gedacht worden aan storten in de Schaar van Waarde. Het materiaal kan eventueel afkomstig zijn van de drempel zelf (werk met werk maken).

- **Harde maatregelen**

Om de stroming meer over de drempel te leiden kan ook gebruik gemaakt worden van harde constructies. Leidammen en kribben kunnen de stroming meer over de drempel leiden en daardoor zal de natuurlijk evenwichtsdiepte wellicht toenemen en het baggerwerk afnemen. Het grote nadeel van deze harde constructies is dat de natuurlijke dynamiek van het estuarium afneemt. De stroming wordt blijvend gefixeerd en dat wordt gezien als een reductie van de dynamiek, hetgeen vaak beschouwd wordt als een ongewenst effect.

Vergroting transportafstand

In de huidige baggerpraktijk wordt de baggerspecie op een afstand van slechts enkele kilometers van de winplaats teruggestort. Uit onderzoek is gebleken dat dit materiaal mogelijk snel weer op de oude plaats terug is (Pieters *et al.*, 1991; Storm, 1996). Een vergroting van de transportafstand zal er toe leiden dat het veel langer duurt voordat het materiaal weer op de oude plaats is teruggekeerd, of dat het gebaggerde materiaal de oude plaats helemaal niet meer bereikt. Door een vergroting van de transportafstand kan de hoeveelheid baggerwerk dus misschien worden beperkt.

Het baggerwerk vindt hoofdzakelijk plaats in het oostelijk deel van de Westerschelde. Bij een vergroting van de transportafstand wordt met name gedacht aan baggeren in het oostelijk deel en storten in het westelijk deel van de Westerschelde. Dit zal gevolgen hebben voor de morfologie en ecologie. De gevolgen van het verder weg storten zullen pas op de langere termijn zichtbaar zijn; dit alternatief is daarom niet gesimuleerd met DELFT2D-MOR.

Grootschalige kombergingsvergroting

Grootschalige kombergingsvergroting zou kunnen leiden tot een diepere ligging van de drempel. De gedachte hierachter is dat door een vergroting van de komberging landinwaarts van de drempel (bijvoorbeeld door ontpoldering) het getijvolume over de drempel zal toenemen. Dit zal leiden tot een vergroot doorstroomoppervlak, waardoor de hoeveelheid baggerwerk af zou kunnen nemen. De omvang van de vergroting van de komberging bepaalt het effect. De huidige plannen voor kombergingsvergroting zullen nauwelijks effect hebben op de debieten bij de Drempel van Hansweert. Ook vanwege het feit dat ontpoldering maatschappelijk controversieel is en effecten pas op de langere termijn zichtbaar zullen zijn, zal dit alternatief niet met DELFT2D-MOR worden doorgerekend.

Baggeren midden in de vaargeul

In de huidige baggerstrategie is het gebruikelijk om langs de rand van de vaargeul te baggeren. Als in het midden van de vaargeul wordt gebaggerd, worden eb- en vloedstroom op de drempel meer naar elkaar toe getrokken. Dit kan een diepere evenwichtsligging van de drempel tot gevolg hebben. Het verschil met de huidige baggerstrategie is echter zo klein dat met inachtneming van de afstand van de roosterpunten in het modelgrid dit alternatief nauwelijks verschil op zal leveren met de simulatie van de huidige baggerstrategie. De vaargeul ter hoogte

van de Drempel van Hansweert is ongeveer 300 m breed. De afstand van de roosterpunten in het model ter plaatse is ongeveer 50 m. Dit alternatief zal daarom ook niet worden gesimuleerd met DELFT2D-MOR.

Met DELFT2D-MOR worden de volgende cases onderzocht:

- Variatie frequentie uitvoering baggerwerk
- Beïnvloeding lokale debietverdeling

In Hoofdstuk 4 worden de berekeningen die gedaan zijn nader uitgewerkt. (Een overzicht van de berekeningen wordt in Tabel 4.2 op blz. 15 gegeven).

4. Berekeningen DELFT2D-MOR

4.1 Inleiding

Er zijn een aantal berekeningen uitgevoerd om na te gaan wat de effecten van diverse ingrepen zijn op de Drempel van Hansweert. Deze berekeningen zijn op vergelijkbare wijze uitgevoerd als de berekeningen van de autonome ontwikkeling en de huidige baggerstrategie. Voor een beschrijving van de systematiek van de berekeningen wordt verwezen naar het deelrapport van Fase 1: Modelbouw en simulatie huidige situatie (Groenewoud, 1997). In dit hoofdstuk worden alleen de opzet en de resultaten van de verschillende berekeningen behandeld.

De opzet van deze berekeningen zal in paragraaf 4.2 worden behandeld. De resultaten van de verschillende berekeningen worden besproken in paragraaf 4.3. In paragraaf 4.4 worden de resultaten van de berekeningen onderling vergeleken.

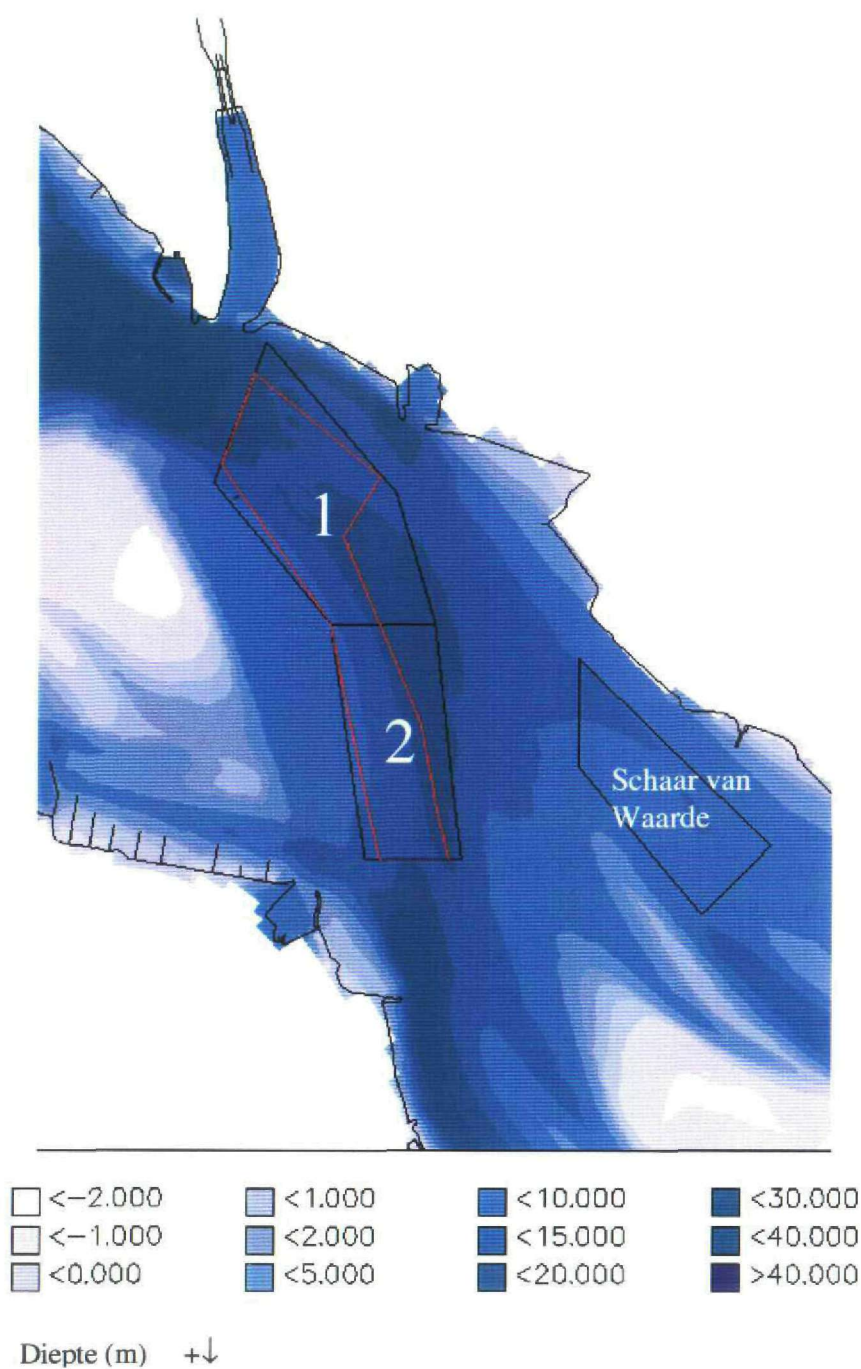
4.2 Opzet berekeningen

Op vergelijkbare wijze als de berekeningen van de autonome ontwikkeling en de huidige baggerstrategie (zie rapport Fase 1) zijn er een aantal berekeningen uitgevoerd met een simulatieperiode van één jaar. Bij alle simulaties is in principe de bodemligging van 1996 als uitgangspunt genomen. Bij de berekeningen zijn een drietal kenmerken gevarieerd.

1. de lokatie van het baggergebied
2. de lokatie van het stortgebied
3. de frequentie van het baggeren c.q. storten

De verschillende lokaties van de bagger- en stortgebieden staan afgebeeld in Figuur 1.1. De oppervlaktes van de verschillende gedefinieerde gebieden staan in Tabel 4.1 weergegeven. Tabel 4.2 laat zien welke berekeningen zijn uitgevoerd. Ter verduidelijking zijn in Tabel 4.2 ook de simulatie van de autonome ontwikkeling en de simulatie van de huidige baggerstrategie aangegeven. Vak 1&2 is gedefinieerd als het *drempelvak*. De ligging van het daarbinnen gelegen *baggervak* is gebaseerd op de baggerlokatie van de periode 1991-1994. Het Schaar van Waarde Vak is een stortvak. De ontwikkeling van de gemiddelde bodemdiepte in de verschillende vakken is bij de diverse berekeningen bepaald. De jaarlijkse totale hoeveelheid baggerwerk en/of stortwerk is bij de diverse alternatieven constant gehouden (2,65 miljoen m³ per jaar). Dit is gedaan om de resultaten onderling vergelijkbaar te maken.

Bij de bespreking van de resultaten in paragraaf 4.3 zal met name de ontwikkeling in Vak 1&2 besproken worden. Bij de onderlinge vergelijking van de verschillende berekeningen (paragraaf 4.4) komen ook de ontwikkelingen in het Schaar van Waarde Vak en het baggervak nader aan bod.



Figuur 4.1 Lokatie Vak 1, Vak 2, baggervak (rood aangegeven) en Vak Schaar van Waarde.

Vak	Oppervlakte (m ²)
1	1,87*10 ⁶
2	1,38*10 ⁶
1&2	3,25*10 ⁶
Baggervak	2,07*10 ⁶
Sch.v.W.	1,15*10 ⁶

Tabel 4.1 Oppervlaktes gedefinieerde vakken.

Berekening	Omschrijving	Baggergebied	Stortgebied	Frequentie baggeren+storten (per jaar)
0	Autonome ontwikkeling	-	-	-
1a	Huidige baggerstrategie: maandelijks baggeren	baggervak	-	12
1b	Variatie frequentie: jaarlijks baggeren	baggervak	-	1
2a	Maandelijks baggeren en storten	baggervak	Sch.v. Waarde	12
2b	Jaarlijks baggeren en storten	baggervak	Sch.v. Waarde	1
3a	Maandelijks baggeren in gehele drempelvak	drempelvak	-	12
3b	Jaarlijks baggeren in gehele drempelvak	drempelvak	-	1
4a	Maandelijks storten in de Schaar v. Waarde	-	Sch.v. Waarde	12
4b	Jaarlijks storten in de Schaar v. Waarde	-	Sch.v. Waarde	1
5	Leidam in de Schaar van Waarde	-	-	-

Tabel 4.2 Overzicht berekeningen met DELFT2D-MOR.

0 Autonome ontwikkeling: geen bagger- en stortwerk

De simulatie van de autonome ontwikkeling is reeds beschreven in het rapport van Fase 1. Onder autonome ontwikkeling wordt de ontwikkeling zonder verdere menselijke ingrepen verstaan.

1a Huidige baggerstrategie: maandelijks baggeren

De huidige baggerstrategie is gesimuleerd door 12 maal per jaar in het gedefinieerde baggervak de bodem met ongeveer 0,11 m te verdiepen² (jaarlijks totaal 1,28 m). Totaal komt de verdieping overeen met een jaarlijkse gebaggerde hoeveelheid van 2,65 miljoen m³. De simulatie van de huidige baggerstrategie is reeds beschreven in het rapport van Fase 1.

1b Variatie frequentie baggerwerk: jaarlijks baggeren

Bij deze berekening wordt er in plaats van 12 maal per jaar, 1 maal per jaar gebaggerd. Vóór aanvang van de berekening wordt in het baggervak 2,65 miljoen m³ gebaggerd. Dit komt overeen met een verdieping van het baggervak met 1,28 m en een gemiddelde verdieping van het omhullende drempelvak (Vak 1&2) van 0,82 m.

Een verlaging van de frequentie van het baggerwerk zou positieve gevolgen kunnen hebben voor de ecologie.

2a Maandelijks baggeren en storten

Het verschil tussen deze berekening en de simulatie van de huidige baggerstrategie (berekening 1a) is dat er nu wel gestort wordt, namelijk in de Schaar van Waarde (zie Figuur 4.1). Het gebied in de Schaar van Waarde heeft een oppervlak van 1,15 miljoen m². Maandelijks zal in dit gebied dan $2,65 \cdot 10^6 / 12 = 0,22 \cdot 10^6$ m³ gestort worden. Dit komt overeen met een

² De grootte van de verdieping van de diverse vakken is in de tekst met afgeronde getallen weergegeven. In het computerprogramma wordt met een grotere nauwkeurigheid gewerkt.

verondieping van $0,22 \cdot 10^6 / 1,15 \cdot 10^6 = 0,19$ m. Met het storten in de Schaar van Waarde wordt beoogd de lokale debietverdeling te beïnvloeden. De debieten over de drempel zullen toenemen en daardoor zal de evenwichtsdiepte toenemen (uitschuringseffect). Het gevolg hiervan zou zijn dat er minder gebaggerd hoeft te worden.

2b Jaarlijks baggeren en storten

Berekening 2b vertoont overeenkomsten met berekening 2a, met dit verschil dat nu de jaarlijkse hoeveelheid in één keer gebaggerd en gestort wordt. De bodemdiepte in het bagger- en het stortvak wordt vóór aanvang van de berekening aangepast. De bodemdiepte in het stortvak in de Schaar van Waarde zal hierdoor met $2,65 \cdot 10^6 / 1,15 \cdot 10^6 = 2,30$ m afnemen.

3a Vergroot baggervak: maandelijks baggeren

Bij deze berekening wordt het effect van de grootte van het baggervak onderzocht door met een vergroot baggervak te rekenen. Het vergrote baggervak is gelijk aan het gedefinieerde drempelvak (Vak 1&2). De bodem wordt maandelijks met 0,07 m verlaagd en het "gebaggerde" zand wordt niet teruggestort.

3b Vergroot baggervak: jaarlijks baggeren

Deze berekening lijkt op berekening 3a, met dit verschil dat de jaarlijkse hoeveelheid in één keer wordt gebaggerd. Dit geeft een bodemverlaging in Vak 1&2 van 0,82 m.

4a Storten Schaar van Waarde: maandelijks storten

Bij deze berekening wordt het effect van alleen het maandelijks storten in de Schaar van Waarde onderzocht. De bodem in de Schaar van Waarde wordt elke maand met 0,19 m opgehoogd.

4b Storten Schaar van Waarde: jaarlijks storten

Bij deze berekening wordt het effect van alleen het jaarlijks storten in de Schaar van Waarde onderzocht. De bodem in het vak van de Schaar van Waarde wordt voor aanvang van de berekening met 2,30 m opgehoogd.

5 Leidam in de Schaar van Waarde

Een leidam in de Schaar van Waarde blokkeert in zekere mate de eb- en vloedstroming door de Schaar van Waarde. De gedachte is dat de debieten door het Zuidergat en over de drempel hierdoor zullen toenemen. Bij dit alternatief is een leidam aangelegd in de Schaar van Waarde met een kruinhoopte van NAP -2 m.

4.3 Resultaten berekeningen

De resultaten van berekening 0 (autonome ontwikkeling) en berekening 1a (huidige baggerstrategie: maandelijks baggeren) staan uitvoerig besproken in het Fase 1 Rapport: Modelbouw en simulatie huidige situatie (Groenewoud, 1997). De resultaten van berekening 0 en berekening 1a zullen in deze paragraaf gedeeltelijk worden weergegeven.

Berekening 0 Simulatie autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling van het gebied rondom de Drempel van Hansweert is gesimuleerd met DELFT2D-MOR. De berekening van de autonome ontwikkeling geeft een beeld van hoe de sedimentatie-erosie patronen bij de huidige bodemligging zouden zijn als er verder geen menselijke ingrepen (baggeren e.d.) zouden plaatsvinden.

Als basis voor de berekeningen is de bodem van 1996 genomen zoals verstrekt door het RIKZ. De bodemontwikkeling gedurende 1 jaar is berekend.

In Figuur 4.2 staan de sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar tijd afgebeeld. In Figuur 4.2 zijn ook de lokaties van de evaluatievakken Vak 1 en Vak 2 afgebeeld.

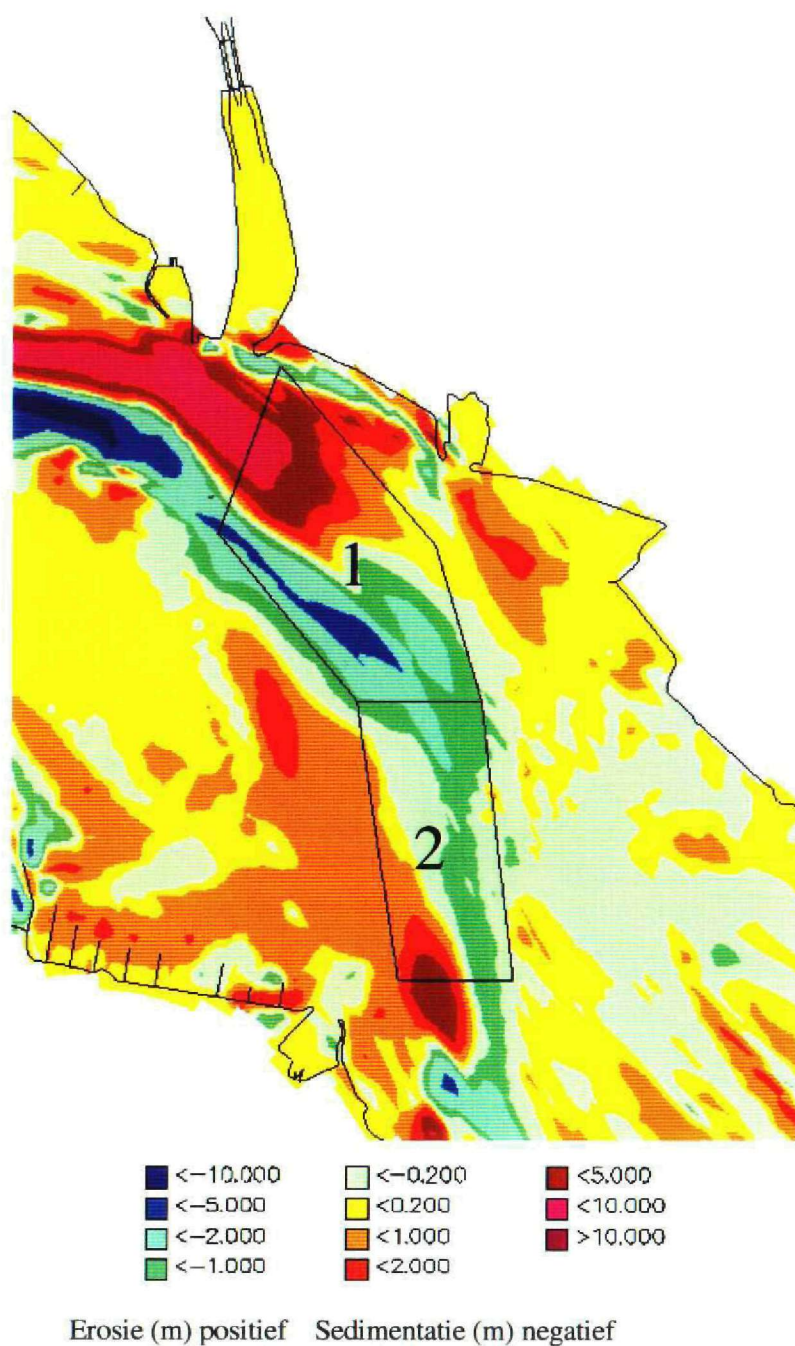
De binnenbocht noordelijk van de Plaat van Ossenissee zandt sterk aan, deels ten gevolge van de secundaire stroming die sedimenttransport genereert van de buitenbocht naar de binnenbocht.

In de Overloop van Hansweert treedt erosie op. Te zien is dat de erosiekuil zich ten dele uitstrekt tot binnen het baggervak op de Drempel van Hansweert. Binnen dit baggervak gaat de erosie over in sedimentatie. Plaatselijk komt sedimentatie van meer dan 5 m voor. De sterke aanzanding heeft geleid tot de vorming van een soort onderwaterspit.

Ook in de binnenbocht van het Zuidergat vindt sedimentatie plaats. In deze binnenbocht bevindt zich in werkelijkheid ook een baggerlokatie. De lokaties waar volgens de berekeningen aanzanding plaatsvindt, komen in grote lijnen overeen met de gebieden waar in werkelijkheid ook aanzanding plaatsvindt.

Om nu ook kwantitatief een uitspraak te doen, is het verloop van de gemiddelde dieptes in de vakken, zoals gedefinieerd in paragraaf 4.2 (zie ook Figuur 4.1), bepaald (zie Figuur 4.3 en Tabel 4.3). Te zien is dat de hoeveelheid aanzanding van Vak 1 en Vak 2 na 1 jaar tijd verschillend is (Vak 1: 0,48 m; Vak 2: 0,68 m. De aanzanding van Vak 1&2 bedraagt 0,57 m in één jaar tijd. Deze aanzanding komt qua grootte redelijk goed overeen met de langjarige trend op basis van de metingen ($\approx 0,88$ m/jaar, zie Groenewoud, 1997). Het model berekent een kleinere aanzanding in het geëvalueerde gebied. Een oorzaak voor het verschil ligt in het feit dat de erosiekuil noordelijk van de plaat van Ossenissee zich uitstrekt tot in Vak 1 en daarmee de aanzanding in het overige gedeelte van Vak 1 voor een deel te niet doet in de volumina berekening. Een soortgelijk effect treedt op in Vak 2, waar in de overgang van het Zuidergat naar de Drempel van Hansweert ook een erosiekuil ontstaat. Deze effecten beïnvloeden de vergelijking. Ook de ligging van Vak 1 en Vak 2 beïnvloedt uiteraard de vergelijking tussen gemeten en berekende ontwikkelingen, zeker vanwege de plaatselijk grootte verschillen in erosie en sedimentatie. Een andere ligging van de vakken zou weer andere resultaten tot gevolg kunnen hebben.

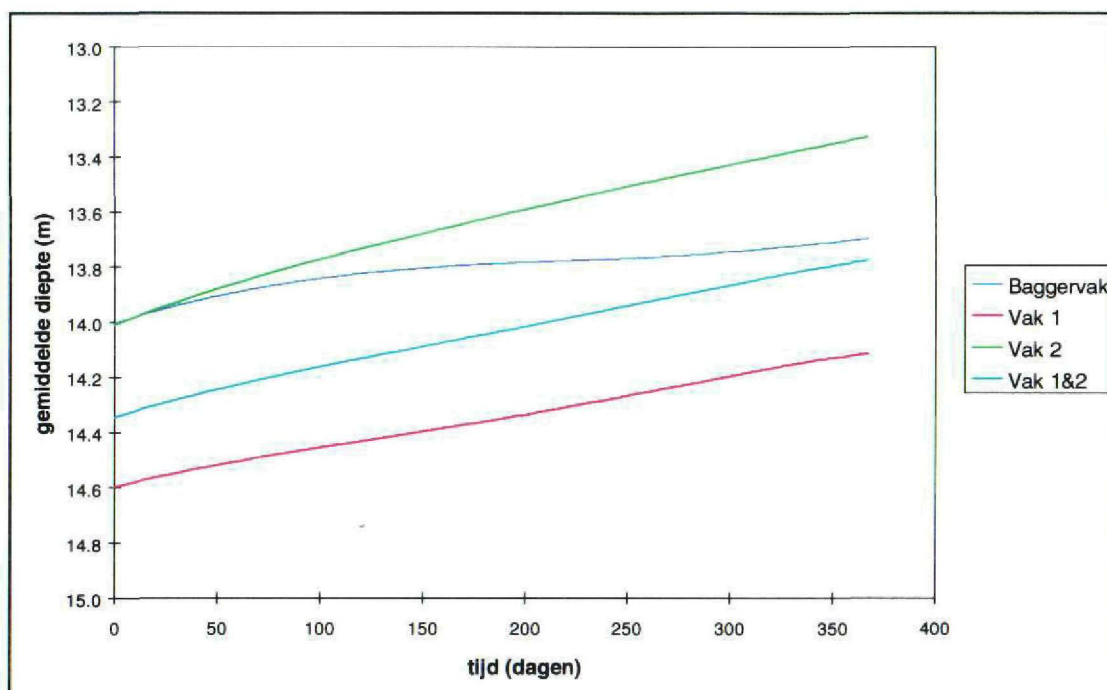
Uit Figuur 4.3 blijkt ook dat de gesimuleerde ontwikkeling in de tijd nagenoeg lineair is. Mogelijkerwijs is de drempel dermate ver uit evenwicht (voor zover er evenwicht bestaat) dat de ontwikkelingen lineair lijken op een tijdschaal van één jaar. De ontwikkeling in het baggervak is echter veel minder lineair.



Figuur 4.2 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling: lokaties Vak 1 en Vak 2 (autonome ontwikkeling).

Vak	Aanzanding na 1 jaar
Vak 1	0,48 m
Vak 2	0,68 m
Vak 1&2	0,57 m
Baggervak	0,31 m
Sch.v.W.	0,27 m

Tabel 4.3 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken (simulatie autonome ontwikkeling).



Figuur 4.3 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (autonome ontwikkeling).

Berekening 1a Huidige baggerstrategie: maandelijks baggeren

De huidige baggerstrategie is gesimuleerd door 12 maal per jaar in het gedefinieerde baggervak de bodem met ongeveer 0,11 m te verdiepen (jaarlijks totaal 1,28 m). Totaal komt de verdieping overeen met een jaarlijkse gebaggerde hoeveelheid van 2,65 miljoen m³.

Figuur 4.4 laat zien hoe de sedimentatie-erosie patronen zijn na 1 jaar tijd. In Figuur 4.4 staan ook de gedefinieerde evaluatievakken Vak 1 en Vak 2 en het baggervak weergegeven.

De effecten van het baggerwerk zijn duidelijk zichtbaar. Vooral in het zuidelijke deel van de Drempel van Hansweert is de diepte hoofdzakelijk toegenomen. De toename van de bodemdiepte loopt plaatselijk op tot meer dan 5 m. In de gebieden van Vak 2 waar niet gebaggerd wordt, het noordoostelijke deel, vindt wel sedimentatie plaats.

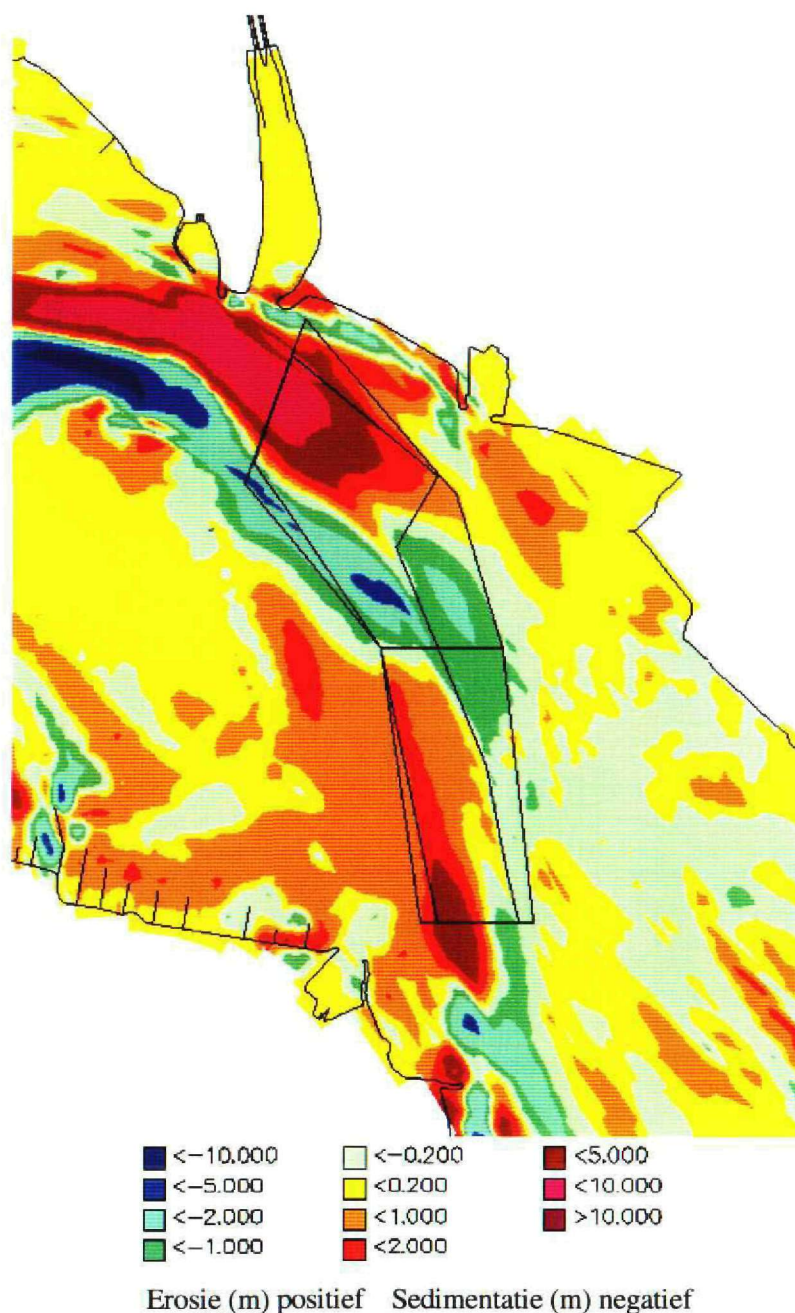
In het noordelijk deel van de drempel (Vak 1) neemt de bodemdiepte plaatselijk af, ook in het gebied waar de bodem wordt verlaagd. In het noordelijke deel van Vak 1 is er veel erosie, net zoals ook bij de berekeningen van de autonome ontwikkeling in het vorige hoofdstuk al was geconstateerd. Plaatselijk is er erosie tot meer dan 5 m.

In de binnenbocht noordelijk van de Plaat van Ossensisse vindt ook weer veel sedimentatie plaats. Plaatselijk neemt de bodemdiepte af met meer dan 10 m. De secundaire stromingseffecten lijken erg groot.

Net zoals voor de autonome ontwikkeling is van Vak 1, Vak 2 en Vak 1&2 is het verloop van de gemiddelde diepte bepaald (Figuur 4.5). Het verloop van de gemiddelde diepte in het baggervak zelf staat ook in Figuur 4.5 afgebeeld. Na elke maand is er een sprong in de gemiddelde bodemdiepte ten gevolge van het baggeren.

De gemiddelde bodemdiepte neemt het sterkste toe in het baggervak zelf, na één jaar tijd ongeveer 0,77 m. Vak 1 vertoont na één jaar een toename van de bodemdiepte van 0,28 m, Vak 2 een toename van 0,09 m. De bodemdiepte van Vak 1&2 is gemiddeld met 0,20 m gedaald.

Om de aanzanding te bestuderen en te vergelijken met de autonome ontwikkeling is de bodemontwikkeling gecorrigeerd voor het baggerwerk. In Figuur 4.6 is de gecorrigeerde

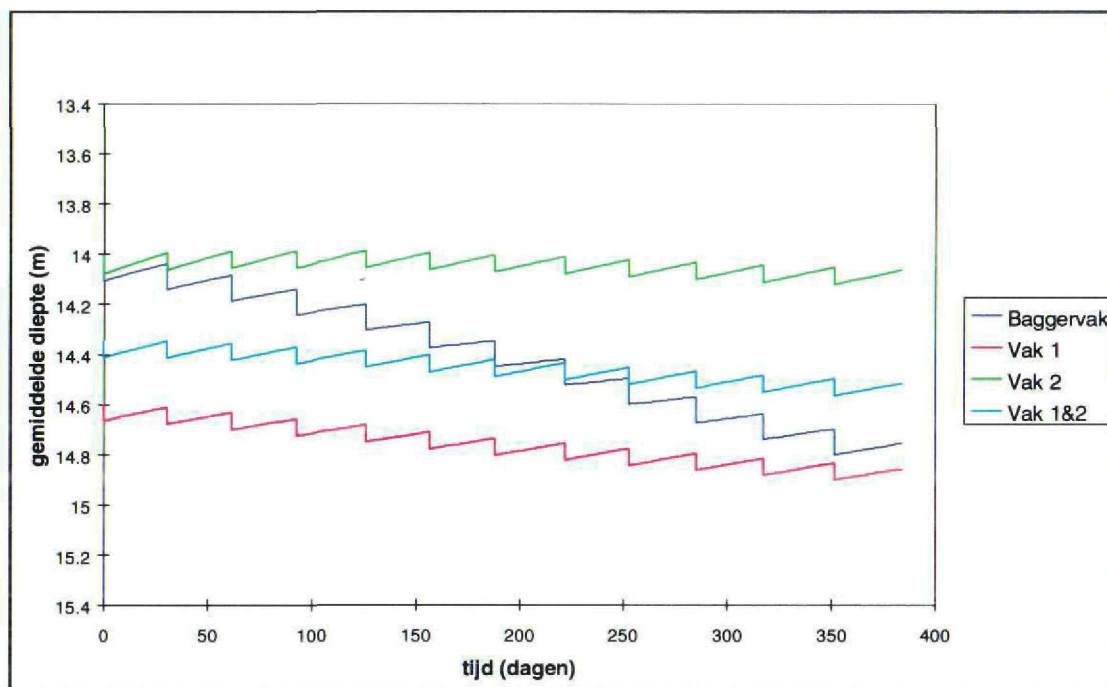


Figuur 4.4 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1, Vak 2 en baggervak (huidige baggerstrategie, maandelijks baggeren).

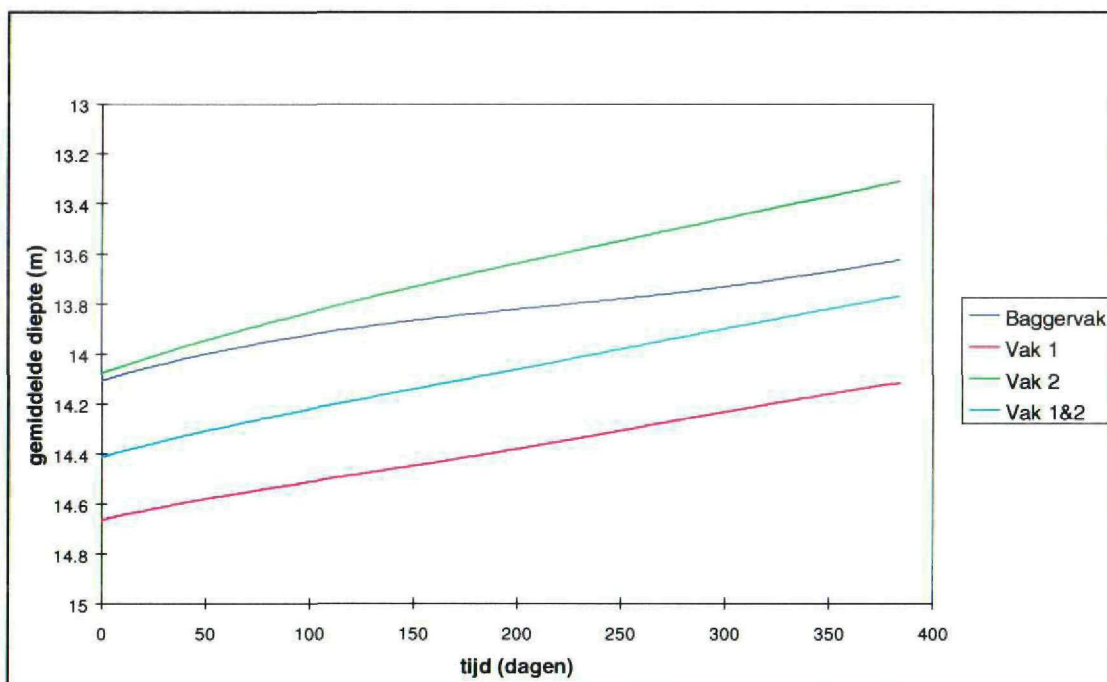
Vak	Aanzanding na 1 jaar (gecorrigeerd voor baggerwerk)
Vak 1	0,53 m
Vak 2	0,73 m
Vak 1&2	0,62 m
Baggervak	0,46 m
Sch.v.W.	0,24 m

Tabel 4.4 Aanzanding in de verschillende vakken na 1 jaar tijd (gecorrigeerd voor hoeveelheid baggerwerk).

bodemontwikkeling in de verschillende vakken weergegeven. In Vak 1&2 is een gemiddelde aanzandings van 0,62 m na 1 jaar. De berekening van de autonome ontwikkeling liet een aanzanding van 0,57 m na 1 jaar zien. De aanzanding in Vak 1&2 is bij de simulatie van de huidige baggerstrategie ongeveer 8% groter dan bij de simulatie van de autonome ontwikkeling. Een logische verklaring hiervoor is dat door het baggeren de drempel op overdiepte wordt gehouden en dat daardoor het gebied ook sneller aanzandt.



Figuur 4.5 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (maandelijks baggeren).



Figuur 4.6 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (gecorrigeerd voor hoeveelheid baggerwerk, maandelijks baggeren).

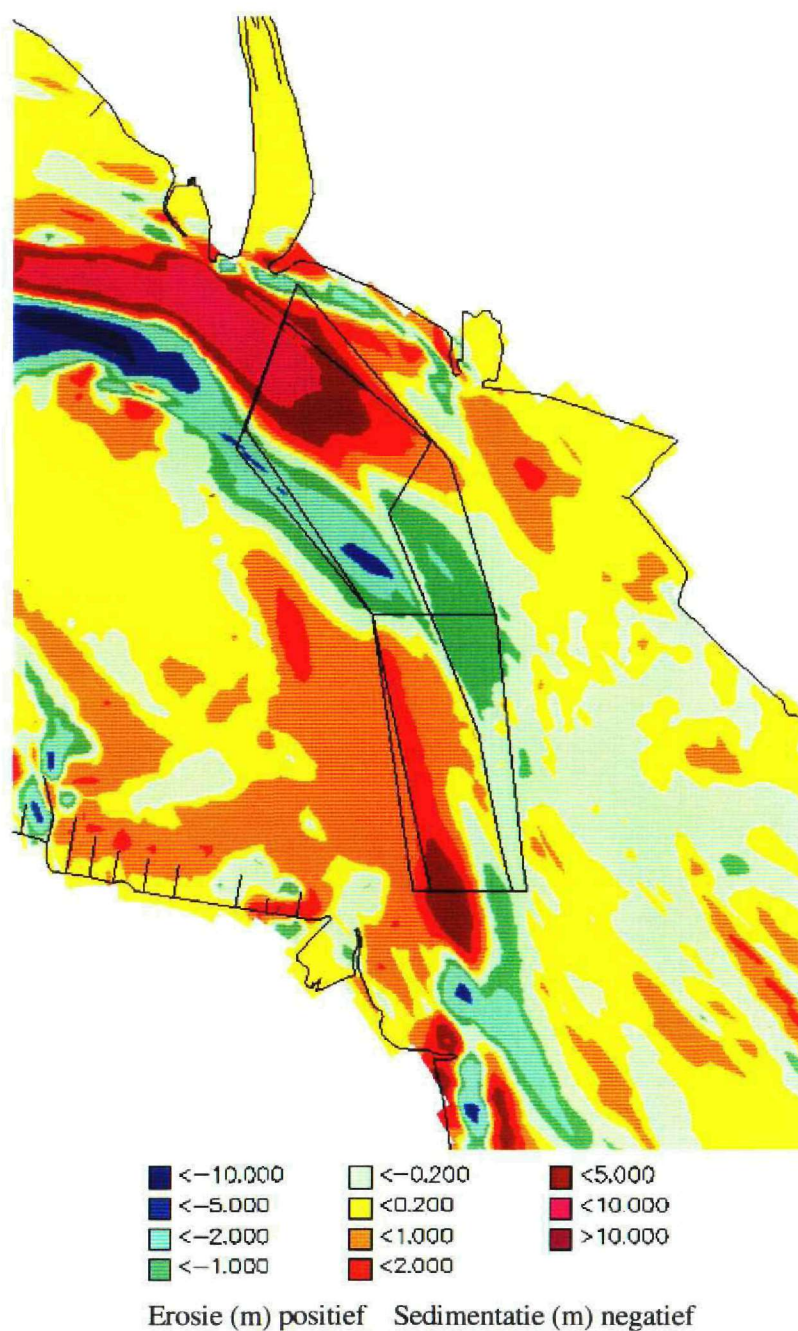
Berekening 1b Variatie frequentie baggerwerk: jaarlijks baggeren

Bij deze berekening is de bodem in het baggervak met 1,28 m verlaagd, hetgeen overeenkomt met een gebaggerde hoeveelheid sediment van $2,65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. In het model wordt deze hoeveelheid niet "teruggestort".

De bodemontwikkeling gedurende 1 jaar tijd is berekend. Figuur 4.7 vertoont de sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar tijd. In Figuur 4.7 zijn het gedefinieerde baggervak en drempelvak weergegeven. De sedimentatie- en erosiepatronen komen sterk overeen met die van berekening 1a (maandelijks baggeren, zie Figuur 4.4).

De binnenbocht boven de Plaat van Ossenissee zandt sterk aan, deels ten gevolge van de secundaire stroming die sedimenttransport genereert van de buitenbocht naar de binnenbocht. De secundaire stromingseffecten lijken overdreven te worden door het model; dit vraagt om nader onderzoek. In de Overloop van Hansweert treedt sterke erosie op, tot meer dan 5 m/jaar. Te zien is dat de erosiekuil zich ten dele uitstrekt tot binnen het baggervak op de Drempel van Hansweert. Binnen dit baggervak gaat de erosie over in sedimentatie. Aan de westelijke zijde van Vak 1 komt plaatselijk sedimentatie van meer dan 5 m voor. Er lijkt zich een soort onderwaterspit uit te bouwen vanaf de Plaat van Ossenissee tot op de Drempel van Hansweert. Ook in de binnenbocht van het Zuidergat vindt sedimentatie plaats. In deze binnenbocht bevindt zich in werkelijkheid ook een baggerlokatie. De lokaties waar volgens de berekeningen aanzanding plaatsvindt, komen in grote lijnen overeen met de gebieden waar in werkelijkheid ook aanzanding plaatsvindt.

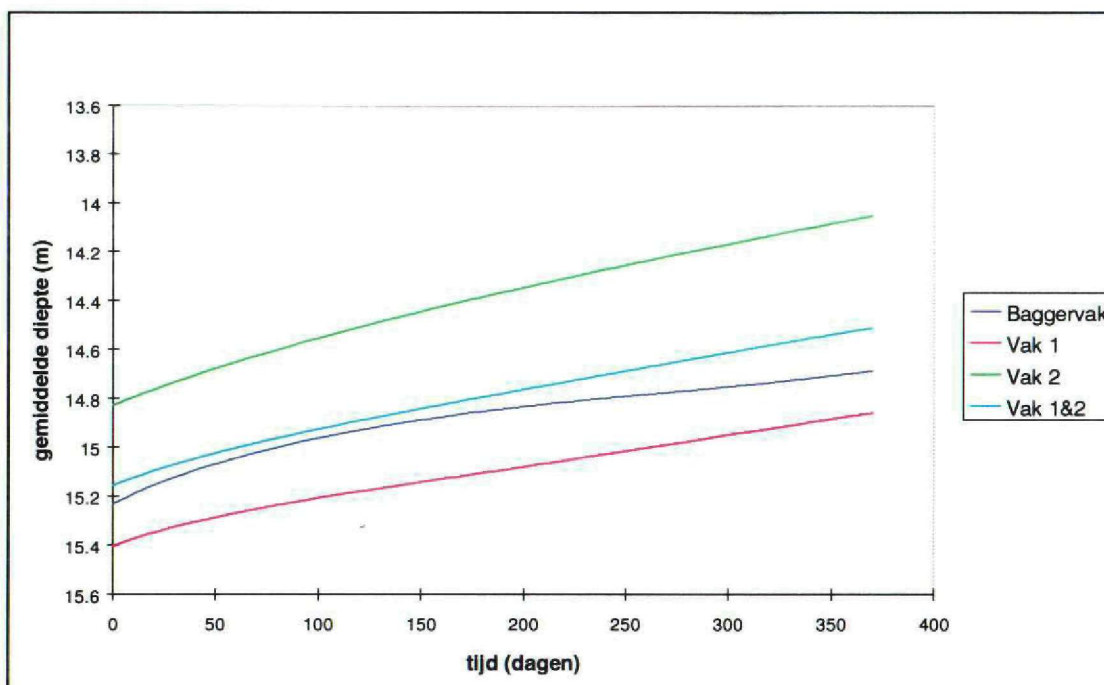
Om ook kwantitatief een uitspraak te doen, is het verloop van de gemiddelde dieptes bepaald (zie Figuur 4.8 en Tabel 4.5) in de vakken, zoals die eerder in deze paragraaf zijn gedefinieerd (zie ook Figuur 4.1). Vak 1 en Vak 2 zanden verschillend aan (Vak 1: 0,54 m na 1 jaar; Vak 2: 0,77 m na 1 jaar). De aanzanding van Vak 1&2 bedraagt 0,64 m na 1 jaar tijd. De ontwikkeling van de gemiddelde bodemdiepte in Vak 1, Vak 2 en Vak 1&2 is nagenoeg lineair. De ontwikkeling van de gemiddelde bodemdiepte in het baggervak is minder lineair. In de eerste helft van het jaar neemt de bodemdiepte veel sterker af dan in de tweede helft van het jaar. Na 1 jaar blijkt uit de berekeningen het baggervak 0,54 m ondieper geworden te zijn.



Figuur 4.7 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1, Vak 2 en baggervak (jaarlijks baggeren).

Vak	Aanzanding na 1 jaar (gecorrigeerd voor baggerwerk)
Vak 1	0,54 m
Vak 2	0,77 m
Vak 1&2	0,64 m
Baggervak	0,54 m
Sch.v.W.	0,23 m

Tabel 4.5 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken (jaarlijks baggeren).



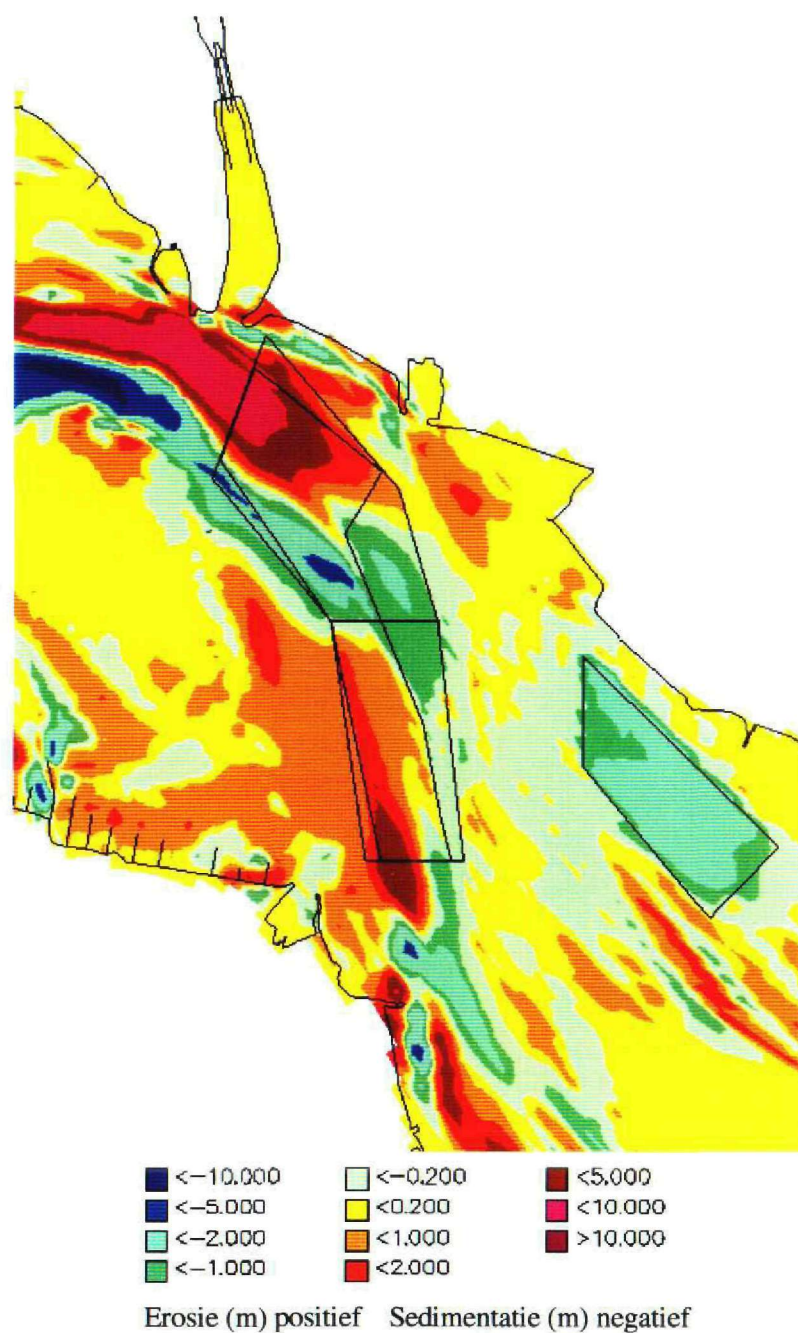
Figuur 4.8 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (jaarlijks baggeren).

Berekening 2a Maandelijks baggeren en storten

Het verschil tussen deze berekening en de simulatie van de huidige baggerstrategie is dat er nu wel gestort wordt, namelijk in de Schaar van Waarde. Het gekozen stortgebied in de Schaar van Waarde heeft een oppervlak van 1,15 miljoen m². Maandelijks zal in dit gebied dan $2,65 \cdot 10^6 / 12 = 0,22 \cdot 10^6$ m³ gestort worden. Dit komt overeen met een verondieping van $0,22 \cdot 10^6 / 1,15 \cdot 10^6 = 0,19$ m.

Figuur 4.9 vertoont de sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar tijd. In Figuur 4.9 zijn het gedefinieerde baggervak en drempelvak weergegeven, alsmede het stortvak in de Schaar van Waarde. De erosie- en sedimentatiepatronen rond de drempel verschillen nauwelijks met die van berekening 1a (maandelijks baggeren). Te zien is ook dat het grootste gedeelte van het 'gestorte' zand in de Schaar van Waarde op zijn plaats blijft. Jaarlijks wordt dit gedeelte met in totaal 2,30 m opgehoogd (maandelijks $\approx 0,19$ m). Figuur 4.4 laat zien dat t.o.v. de situatie vóór het storten, aan de randen van het stortvak minder dan 2 m sedimentatie voorkomt. Het materiaal aan de randen van het stortvak heeft zich dus enigszins verspreid.

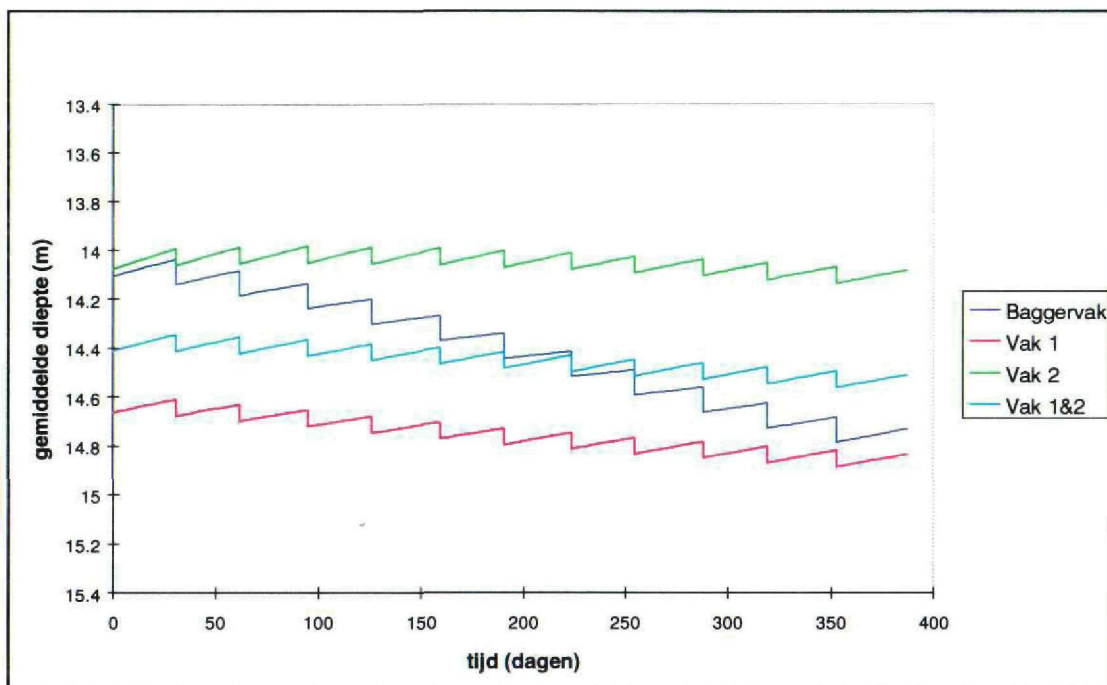
In het eerste half jaar is de afname van de bodemdiepte veel sterker dan in de tweede helft van het jaar. Het baggervak vertoont een aanzanding van 0,47 m na 1 jaar tijd. De aanzanding van het vak in de Schaar van Waarde (niet afgebeeld) bedraagt na 1 jaar tijd 0,10 m. De verschillen met berekening 1a (huidige baggerstrategie) zijn klein.



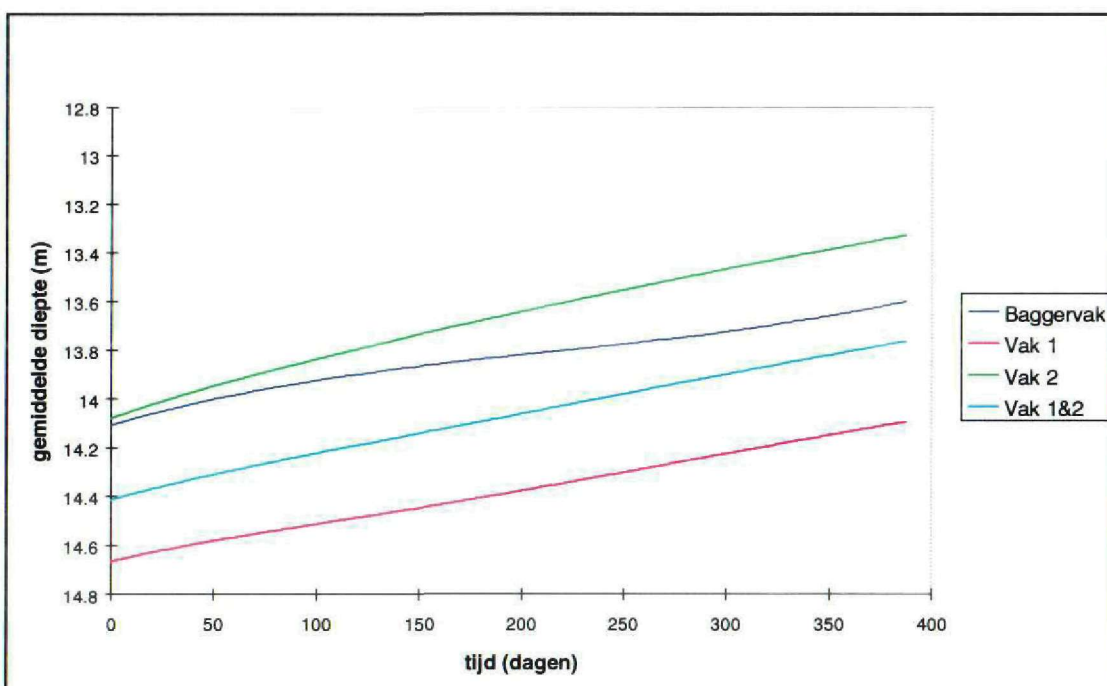
Figuur 4.9 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1, Vak 2, baggervak en Vak Schaar van Waarde (maandelijks baggeren en storten).

Vak	Aanzanding na 1 jaar (gecorrigeerd voor baggerwerk)
Vak 1	0,54 m
Vak 2	0,72 m
Vak 1&2	0,62 m
Baggervak	0,47 m
Sch.v.W.	0,10 m

Tabel 4.6 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken (gecorrigeerd voor de hoeveelheid baggerwerk, maandelijks baggeren en storten).



Figuur 4.10 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (maandelijks baggeren en storten).



Figuur 4.11 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (gecorrigeerd voor hoeveelheid baggerwerk, maandelijks baggeren en storten).

2b *Jaarlijks baggeren en storten*

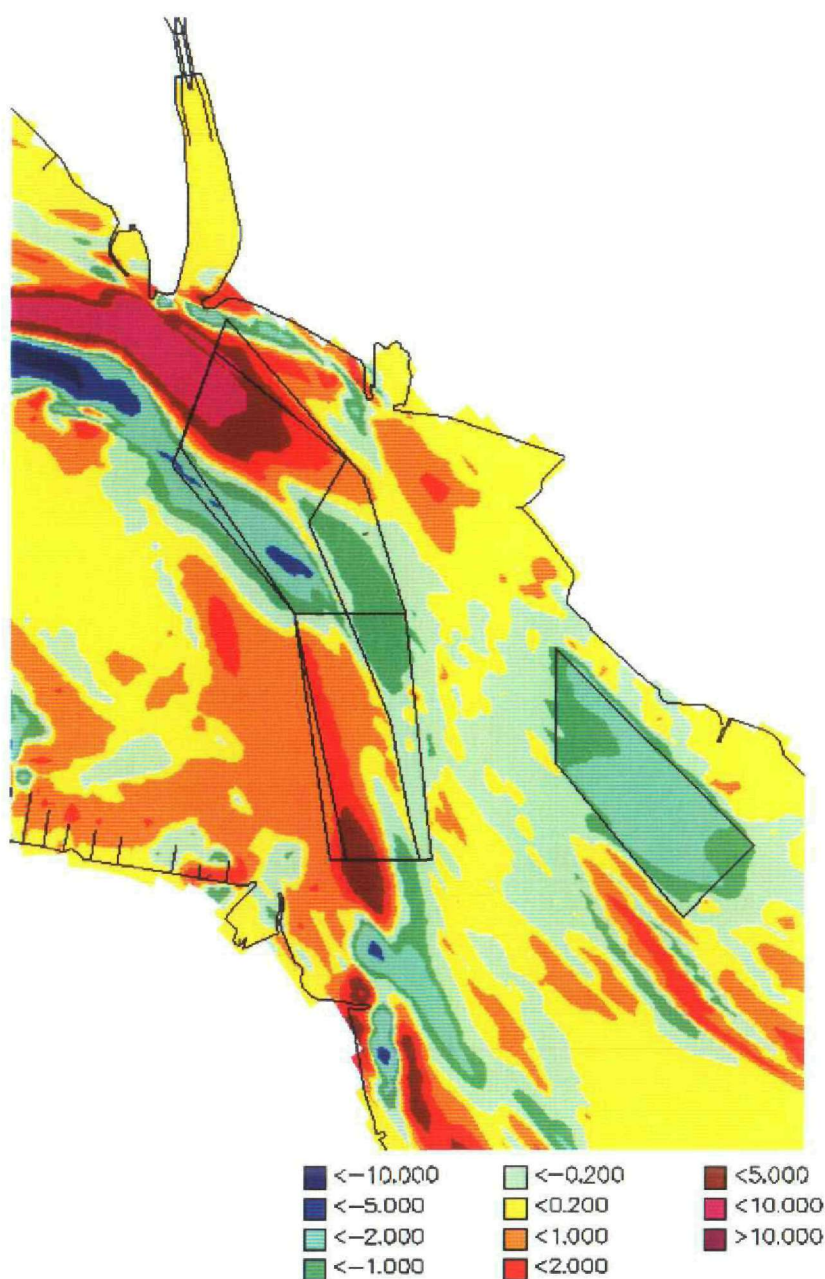
Bij berekening 2b wordt er jaarlijks gebaggerd en gestort. Voor aanvang van de simulatie wordt de bodem in het baggervak met 1,28 m verlaagd en de bodem in de Schaar van Waarde met 2,30 m opgehoogd.

De bodemontwikkeling na 1 jaar tijd is afgebeeld in Figuur 4.12. In grote lijnen zijn weer dezelfde sedimentatie- en erosiepatronen waarneembaar als bij de andere berekeningen. De binnenbocht noordelijk van de Plaat van Ossensisse zandt sterk aan, deels ten gevolge van de secundaire stroming die sedimenttransport genereert van de buitenbocht naar de binnenbocht. In de Overloop van Hansweert treedt erosie op. Te zien is dat de erosiekuil zich ten dele uitstrekt tot binnen het baggervak op de Drempel van Hansweert. Binnen dit baggervak gaat de erosie over in sedimentatie. Aan de westelijke zijde van Vak 1 vindt veel sedimentatie plaats. Vanaf de Plaat van Ossensisse bouwt zich een soort onderwaterspit uit tot op de drempel. De bodemdiepte in de Schaar van Waarde is door het storten sterk toegenomen.

De resultaten van het verloop van de gemiddelde dieptes in de verschillende vakken staan afgebeeld in Figuur 4.13. De aanzanding in Vak 1 bedraagt 0,57 m na 1 jaar; de aanzanding in Vak 2 bedraagt 0,72 m na 1 jaar. De gemiddelde aanzanding in Vak 1&2 bedraagt 0,64 m na 1 jaar. Wederom is de ontwikkeling van de gemiddelde bodemdiepte in Vak 1, Vak 2 en Vak 1&2 is nagenoeg lineair.

De ontwikkeling van de gemiddelde bodemdiepte in het baggervak is minder lineair. In de eerste helft van het jaar neemt de bodemdiepte veel sterker af dan in de tweede helft van het jaar. Na 1 jaar vertoont het baggervak een aanzanding van 0,58 m.

De gemiddelde diepte in het vak van de Schaar van Waarde is na een jaar nagenoeg gelijk aan de beginsituatie; 0,01 m verdieping (de ontwikkeling van de bodemdiepte in de Schaar van Waarde is niet afgebeeld).

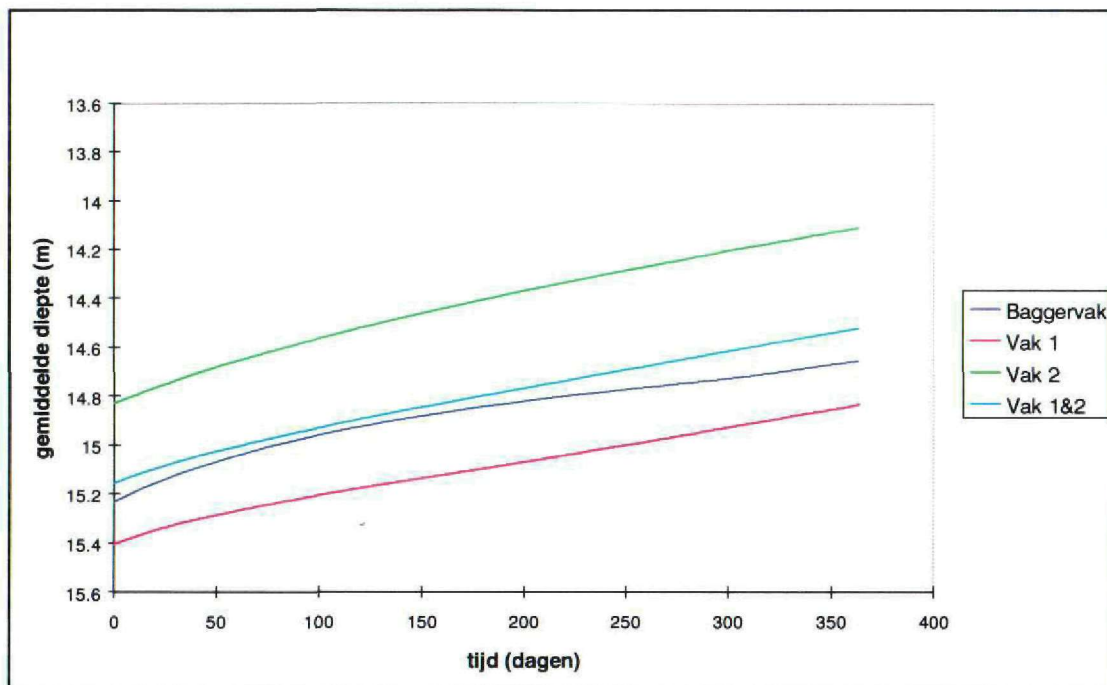


Erosie (m) positief Sedimentatie (m) negatief

Figuur 4.12 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1, Vak 2, baggervak en Vak Schaar van Waarde (jaarlijks baggeren en storten).

Vak	Aanzanding na 1 jaar (gecorrigeerd voor baggerwerk)
Vak 1	0,57 m
Vak 2	0,72 m
Vak 1&2	0,64 m
Baggervak	0,58 m
Sch.v.W.	-0.01 m

Tabel 4.7 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken (gecorrigeerd voor de hoeveelheid baggerwerk, jaarlijks baggeren en storten).



Figuur 4.13 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (jaarlijks baggeren en storten).

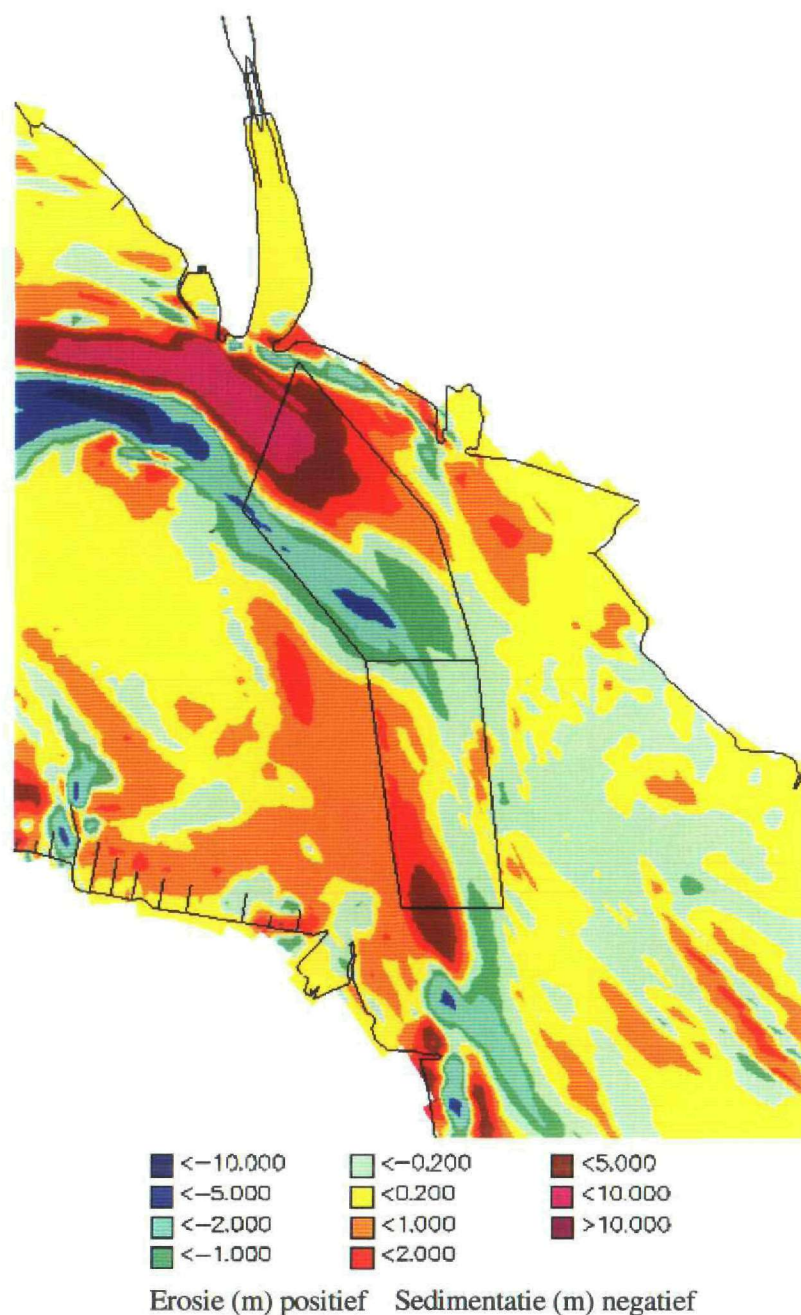
3a Vergroot baggervak: maandelijks baggeren

Bij deze berekening wordt het effect van de grootte van het baggervak onderzocht door met een vergroot baggervak te rekenen. Het vergrote baggervak is gelijk aan het gedefinieerde drempelvak (Vak 1&2). De bodem wordt maandelijks met 0,07 m verlaagd en het “gebaggerde” zand wordt niet teruggestort.

De bodemontwikkeling gedurende 1 jaar tijd is berekend. Figuur 4.14 vertoont de sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar tijd. In Figuur 4.14 is ook het gedefinieerde drempelvak weergegeven.

De sedimentatie- en erosiepatronen komen sterk overeen met de vorige alternatieven. In de Overloop van Hansweert vindt sterke erosie plaats die zich uitstrekt tot in het drempelvak. De binnenbocht noordelijk van de Plaat van Ossensisse zandt sterk aan. De drempel zandt vooral sterk aan de westelijke zijde van Vak 1 aan.

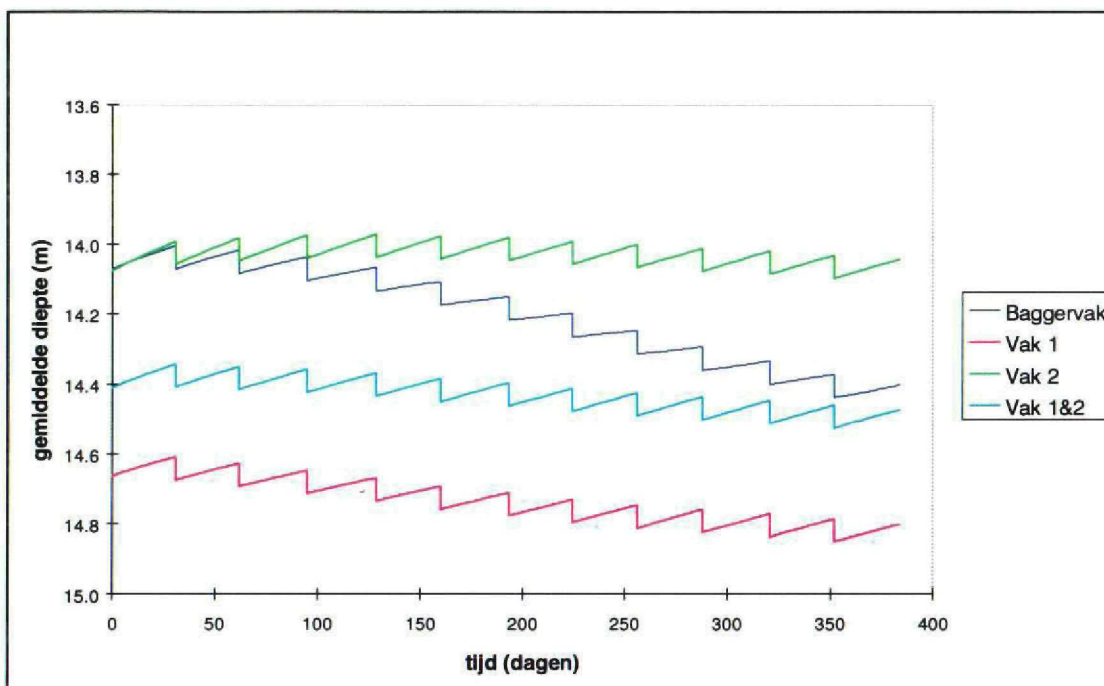
De ontwikkeling van de gemiddelde dieptes in de diverse vakken staat weergegeven in Figuur 4.15. De voor het baggerwerk gecorrigeerde ontwikkeling van de gemiddelde dieptes in de diverse vakken staat weergegeven in Figuur 4.16 (zie ook Tabel 4.8). Vak 1 zandt gemiddeld 0,56 m in 1 jaar aan. Vak 2 zandt gemiddeld iets meer aan: 0,72 m in 1 jaar. Vak 1&2 zandt 0,63 m aan in 1 jaar tijd. Bij deze berekening zandt het drempelvak dus iets harder aan dan bij de simulatie van de huidige baggerstrategie (0,62 m in 1 jaar). Het verschil is echter minimaal.



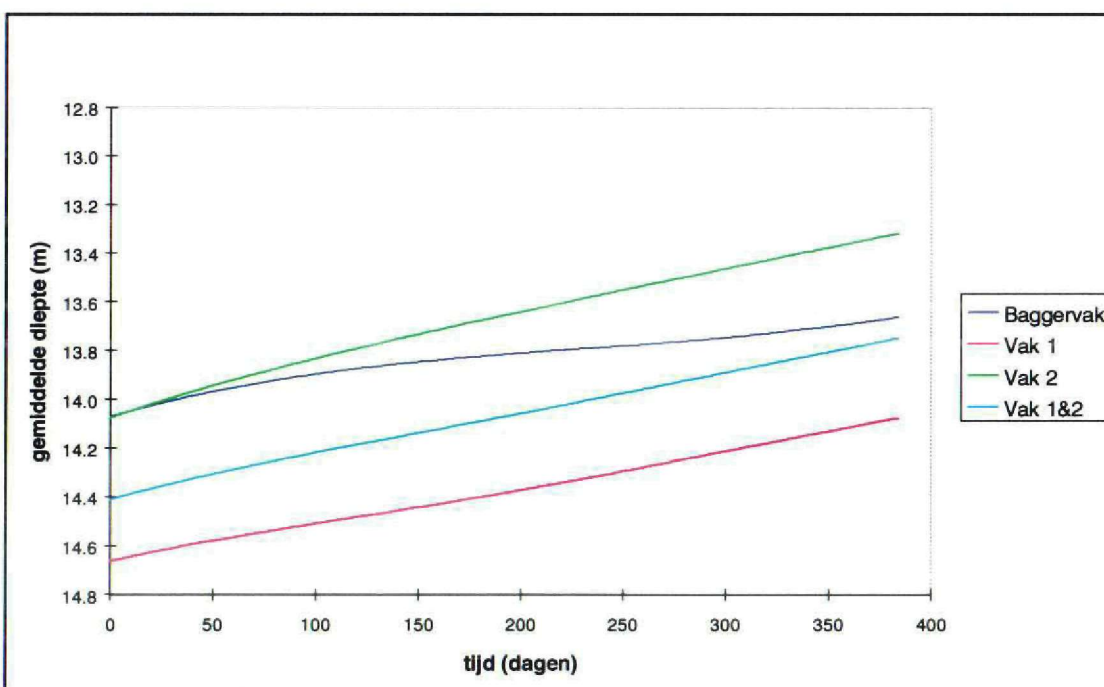
Figuur 4.14 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1 en Vak 2 (maandelijks baggeren vergroot baggervak).

Vak	Aanzanding na 1 jaar (gecorrigeerd voor baggerwerk)
Vak 1	0,56 m
Vak 2	0,72 m
Vak 1&2	0,63 m
Baggervak	0,39 m
Sch.v.W.	0,24 m

Tabel 4.8 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken (gecorrigeerd voor de hoeveelheid baggerwerk); vergroot baggervak, maandelijks baggeren.



Figuur 4.15 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (maandelijks baggeren vergroot baggervak).

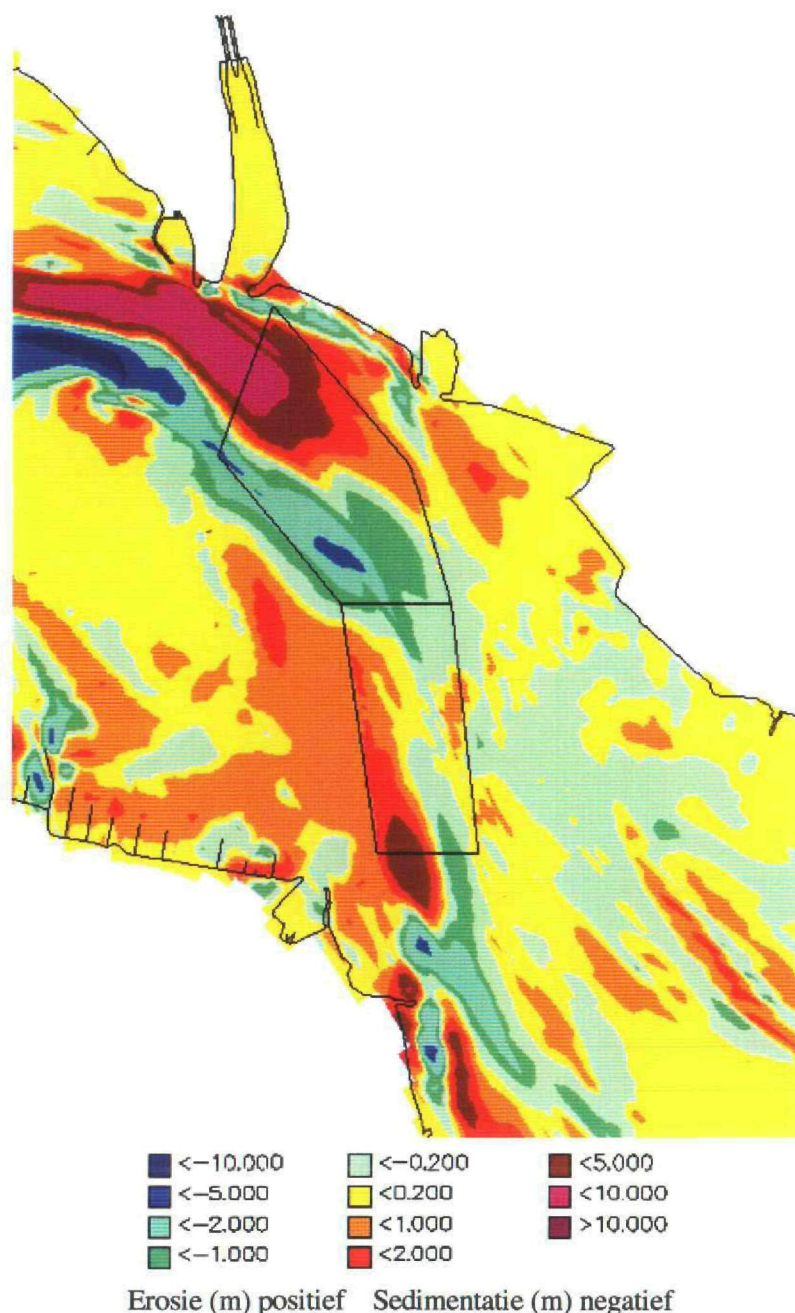


Figuur 4.16 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (gecorrigeerd voor hoeveelheid baggerwerk, maandelijks baggeren vergroot baggervak).

3b Vergroot baggervak: jaarlijks baggeren

Deze berekening is overeenkomstig het vorige alternatief, maar met dit verschil dat de jaarlijkse hoeveelheid in één keer wordt gebaggerd.

De bodemontwikkeling na 1 jaar tijd is afgebeeld in Figuur 4.17. In grote lijnen zijn weer

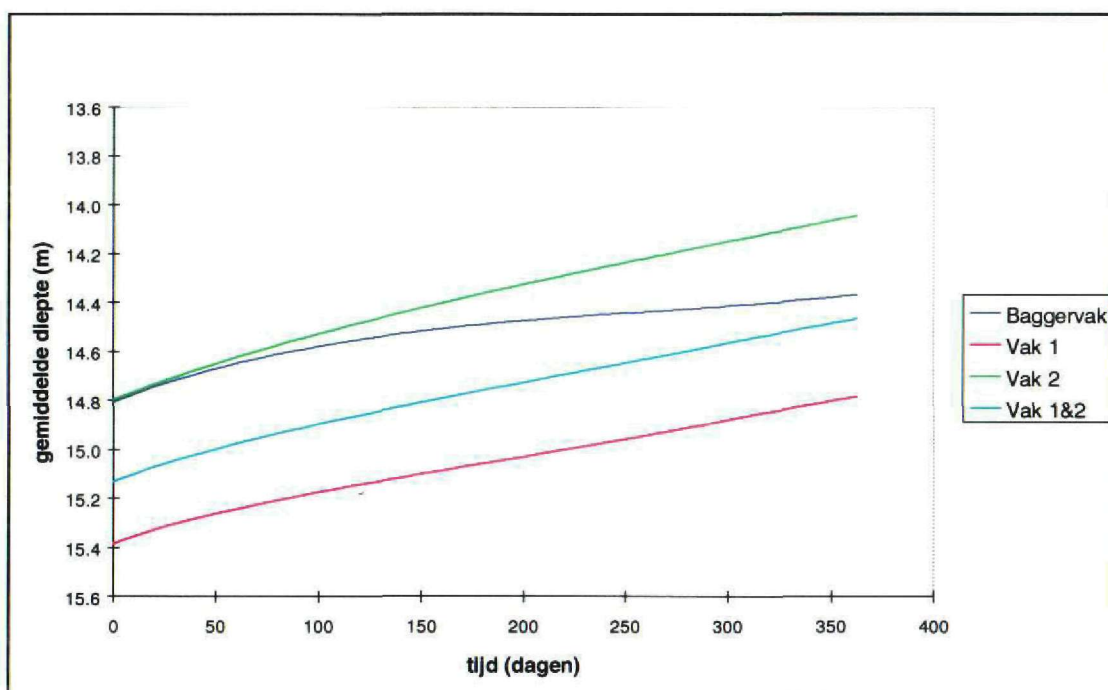


Erosie (m) positief Sedimentatie (m) negatief

Figuur 4.17 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1 en Vak 2 (jaarlijks baggeren vergroot baggervak).

Vak	Aanzanding na 1 jaar (gecorrigeerd voor baggerwerk)
Vak 1	0,60 m
Vak 2	0,76 m
Vak 1&2	0,67 m
Baggervak	0,44 m
Sch.v.W.	0,23 m

Tabel 4.9 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken (gecorrigeerd voor de hoeveelheid baggerwerk, jaarlijks baggeren vergroot baggervak).



Figuur 4.18 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (jaarlijks baggeren vergroot baggervak).

dezelfde sedimentatie- en erosiepatronen waarneembaar als bij de andere berekeningen. De binnenbocht noordelijk van de Plaat van Ossensisse zandt sterk aan, deels ten gevolge van de secundaire stroming die sedimenttransport genereert van de buitenbocht naar de binnenbocht.

In de Overloop van Hansweert treedt erosie op. Te zien is dat de erosiekuil zich ten dele uitstrekt tot binnen het baggervak op de Drempel van Hansweert. Binnen dit baggervak gaat zuidwaarts de erosie over in sedimentatie.

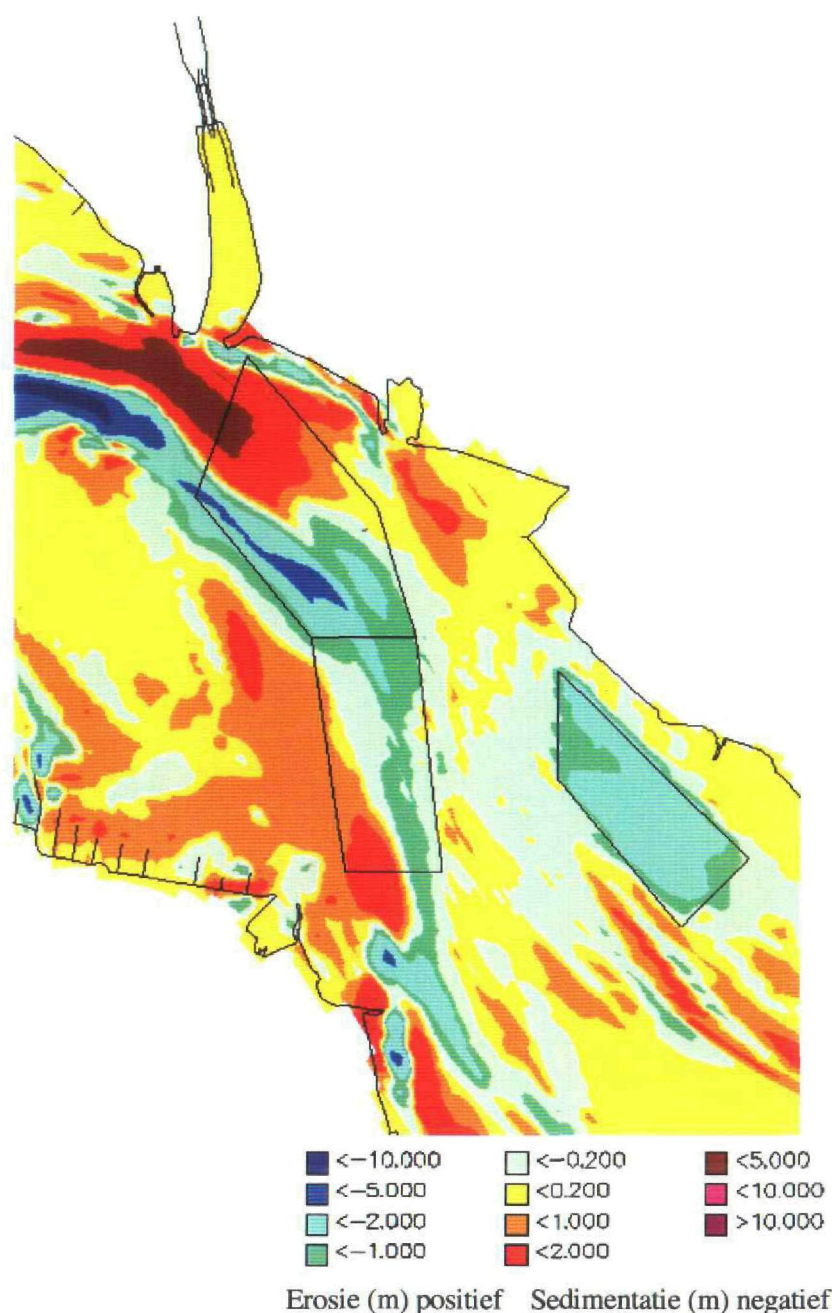
Ook in de binnenbocht van het Zuidergat vindt sedimentatie plaats. In deze binnenbocht bevindt zich in werkelijkheid ook een baggerlokatie.

De ontwikkeling van de gemiddelde dieptes in de diverse vakken staat weergegeven in Figuur 4.18. Vak 1 zandt 0,60 m aan in 1 jaar tijd. Vak 2 zandt iets meer aan: 0,76 m. Vak 1&2 zandt in 1 jaar tijd 0,67 m aan. In vergelijking met het maandelijks baggeren blijkt dus dat het drempelvak bij jaarlijks baggeren sneller aanzandt (0,67 m in 1 jaar i.p.v. 0,63 m in 1 jaar).

4a Storten Schaar van Waarde: maandelijks storten

Bij deze berekening wordt het effect van alleen het maandelijks storten in de Schaar van Waarde onderzocht.

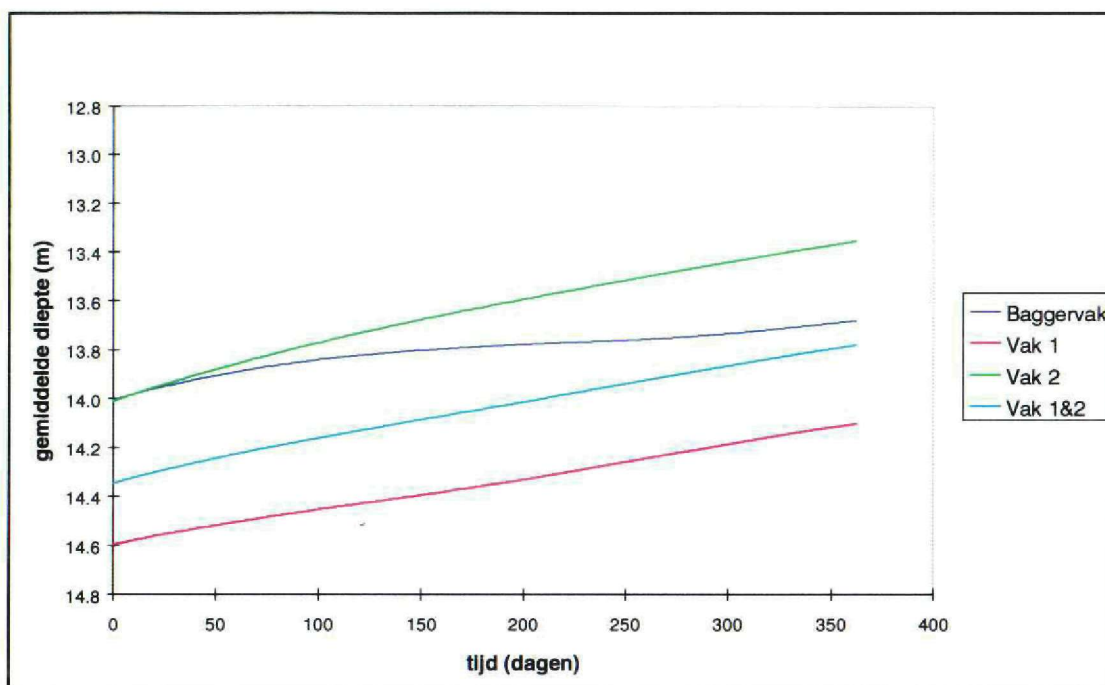
Figuur 4.19 vertoont de sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar tijd. De erosie-sedimentatiepatronen rond de drempel komen sterk overeen met die van berekening 0 (autonome ontwikkeling; zie Rapport Fase 1). Te zien is ook dat het grootste gedeelte van het 'gestorte' zand in de Schaar van Waarde op zijn plek blijft. Jaarlijks wordt dit gedeelte met totaal 2,30 m opgehoogd (maandelijks $\approx 0,19$ m).



Figuur 4.19 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1, Vak 2 en Vak Schaar van Waarde (maandelijks storten in Schaar van Waarde).

Vak	Aanzanding na 1 jaar
Vak 1	0,50 m
Vak 2	0,66 m
Vak 1&2	0,57 m
Baggervak	0,33 m
Sch.v.W.	0,11 m

Tabel 4.10 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken; maandelijks storten in de Schaar van Waarde.



Figuur 4.20 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (maandelijks storten in de Schaar van Waarde).

De ontwikkeling van de gemiddelde dieptes in de diverse vakken staat weergegeven in Figuur 4.20. Vak 1 zandt 0,50 m aan in 1 jaar; Vak 2 zandt iets meer aan: 0,66 m in 1 jaar. Vak 1&2 vertoont een berekende aanzanding van 0,57 m in 1 jaar. In vergelijking tot de berekening van de autonome ontwikkeling (berekening 0) heeft het maandelijks storten in de Schaar van Waarde nauwelijks effect. De aanzanding in het drempelvak blijft onveranderd (0,57 m in 1 jaar). De voor baggerwerk gecorrigeerde trend in het Schaar van Waarde vak (niet afgebeeld) bedraagt 0,11 m aanzanding na 1 jaar. Ondanks de suppletie blijft dat vak volgens het model aanzanden, hetgeen enigszins onwaarschijnlijk is.

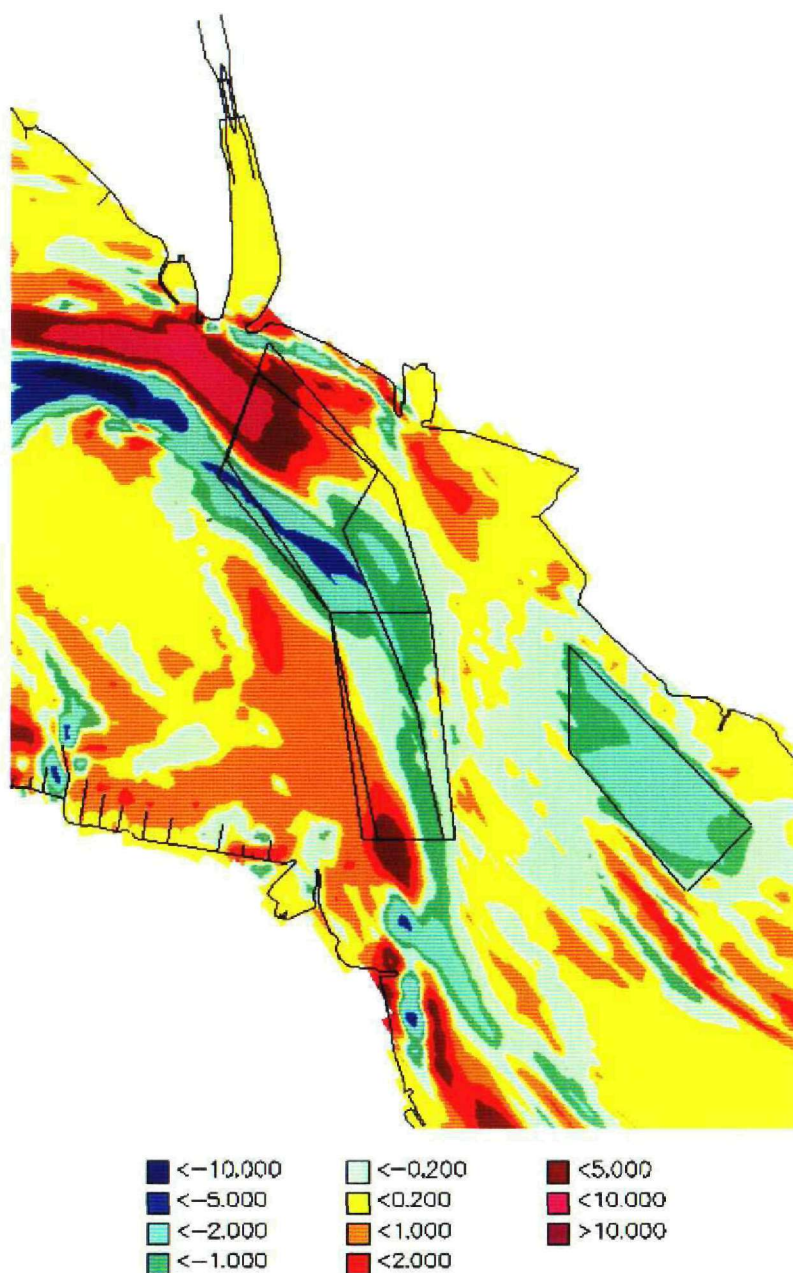
4b Storten Schaar van Waarde: jaarlijks storten

Bij de berekening wordt het effect van alleen het jaarlijks storten in de Schaar van Waarde onderzocht.

Figuur 4.21 vertoont de sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar tijd. In Figuur 4.21 zijn het drempelvak en het stortvak in de Schaar van Waarde weergegeven. Zoals bij alle berekeningen is er in grote lijnen weinig verschil in de sedimentatie- en erosiepatronen. Duidelijk is de verondieping in het stortvak in de Schaar van Waarde te zien t.g.v. het storten.

In Figuur 4.22 staat het verloop van de gemiddelde dieptes in de verschillende vakken aangegeven. Vak 1 is na 1 jaar 0,51 m aangezand. Vak 2 is na 1 jaar 0,62 m aangezand. Vak 1&2 is na 1 jaar 0,56 m aangezand. Bij deze berekening blijkt het drempelvak het minst aan te zanden. Storten in de Schaar van Waarde lijkt dus wel degelijk een positief effect op de hoeveelheid baggerwerk te kunnen hebben.

De gemiddelde diepte in het vak van de Schaar van Waarde blijft ongeveer gelijk.

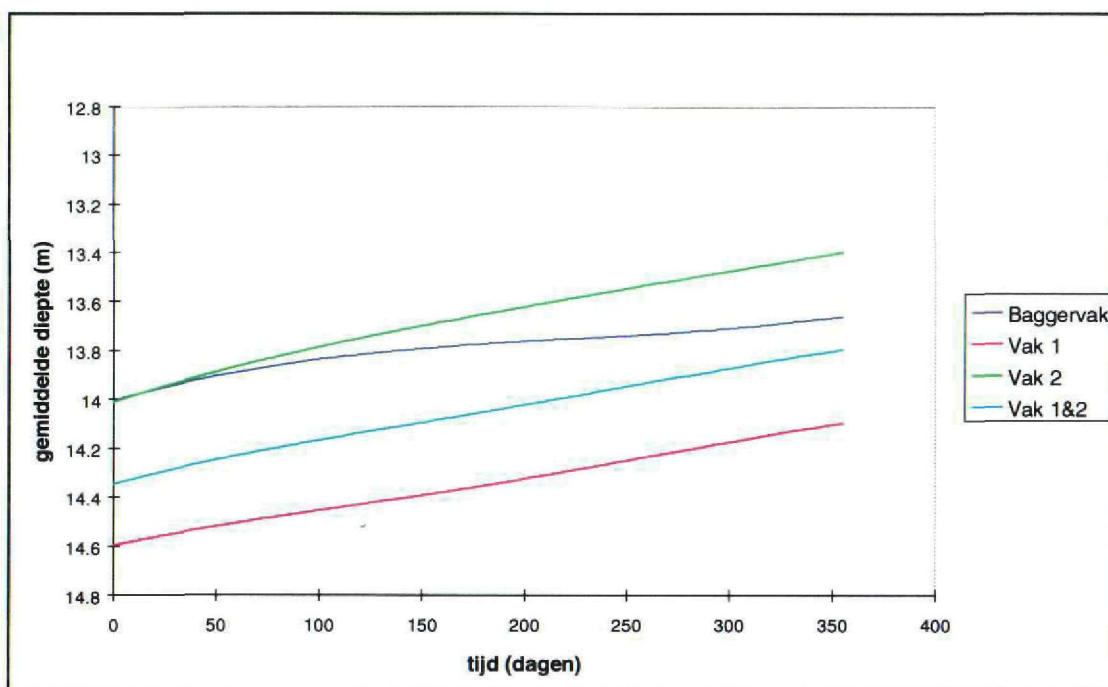


Erosie (m) positief Sedimentatie (m) negatief

Figuur 4.21 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1, Vak 2 en Vak Schaar van Waarde (jaarlijks storten in de Schaar van Waarde).

Vak	Aanzanding na 1 jaar
Vak 1	0,51 m
Vak 2	0,62 m
Vak 1&2	0,56 m
Baggervak	0,35 m
Sch.v.W.	0,01 m

Tabel 4.11 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken; jaarlijks storten in de Schaar van Waarde.



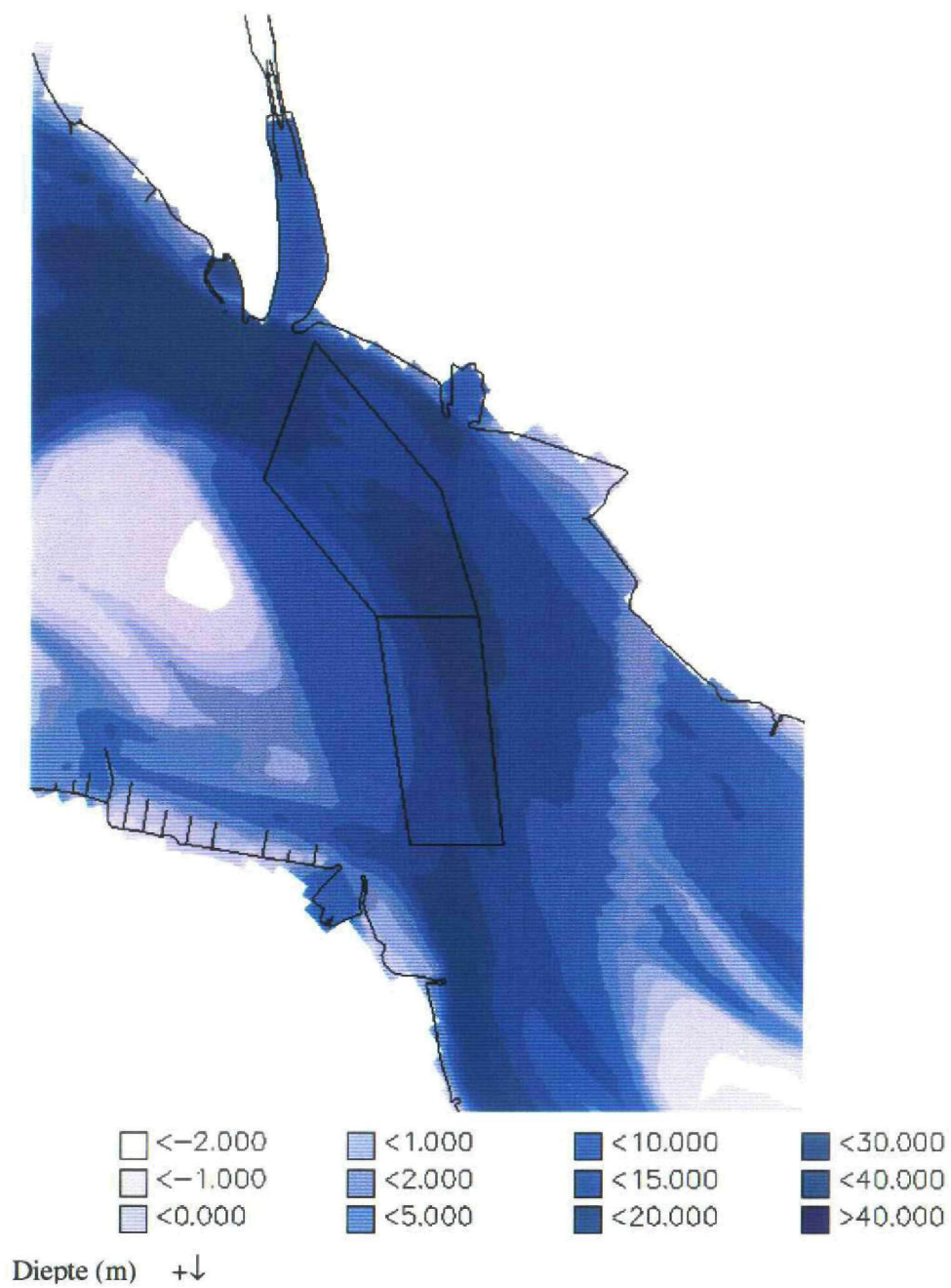
Figuur 4.22 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken; jaarlijks storten in de Schaar van Waarde.

5 Leidam in de Schaar van Waarde

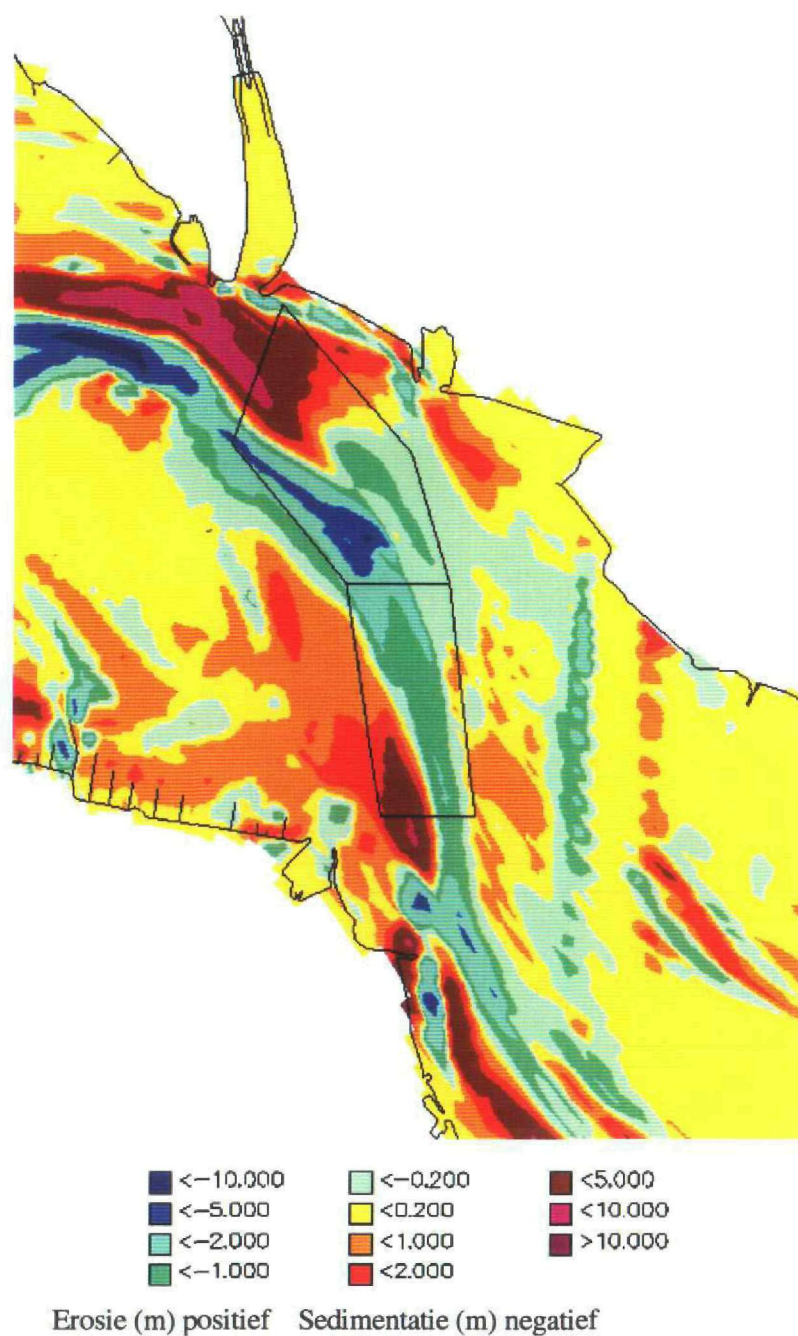
Een leidam in de Schaar van Waarde blokkeert in zekere mate de eb- en vloedstroming door de Schaar van Waarde. De gedachte is dat de debieten door het Zuidergat en over de drempel hierdoor zullen toenemen. Bij dit alternatief is een leidam aangelegd in de Schaar van Waarde met een kruinhoopte van NAP -2 m. De leidam is in het model geschematiseerd als een zgn. *fixed bottom*, d.w.z. dat ter plaatse van de leidam de bodem een maximale diepte heeft. Dit houdt in dat er wel sedimentatie op de leidam kan optreden, maar dat de bodem ter plaatse van de leidam nooit dieper kan worden dan de opgegeven waarde van NAP -2 m. De aangepaste bodem staat weergegeven in Figuur 4.23.

Figuur 4.24 vertoont de sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling. Net ten westen van de leidam vindt sedimentatie plaats. Er vindt meer aanzanding op de drempel plaats (zie Tabel 4.12 en Figuur 4.25). Vak 1 en Vak 2 zijn na 1 jaar respectievelijk met 0,77 m en 0,63 m aangezand. De aanzanding in Vak 1&2 bedraagt 0,71 m, hetgeen meer is dan bij elke andere berekening. Uit Figuur 4.24 blijkt dat de erosiekuil in het noorden van Vak 1 zich minder ver in het drempelgebied uitstrekt dan bij de andere berekeningen. Het resultaat is enigszins anders dan van tevoren werd verwacht. De drempel zandt namelijk meer aan i.p.v. minder. De oorzaak hier voor ligt mogelijk in het feit dat een deel van het sediment dat eerst in de Schaar van Waarde terecht kwam, nu op de drempel terechtkomt. De residuele sedimenttransporten zijn nog meer naar de drempel toegericht door de verandering van de stroombanen.

Tevens moet gesteld worden dat de leidam een dermate rigoreuze ingreep is, dat de bovenstroomse randvoorwaarde beïnvloed wordt. Dit is verder niet in de modelberekening meegenomen. Eigenlijk zou de bovenstroomse randvoorwaarde moeten worden aangepast.



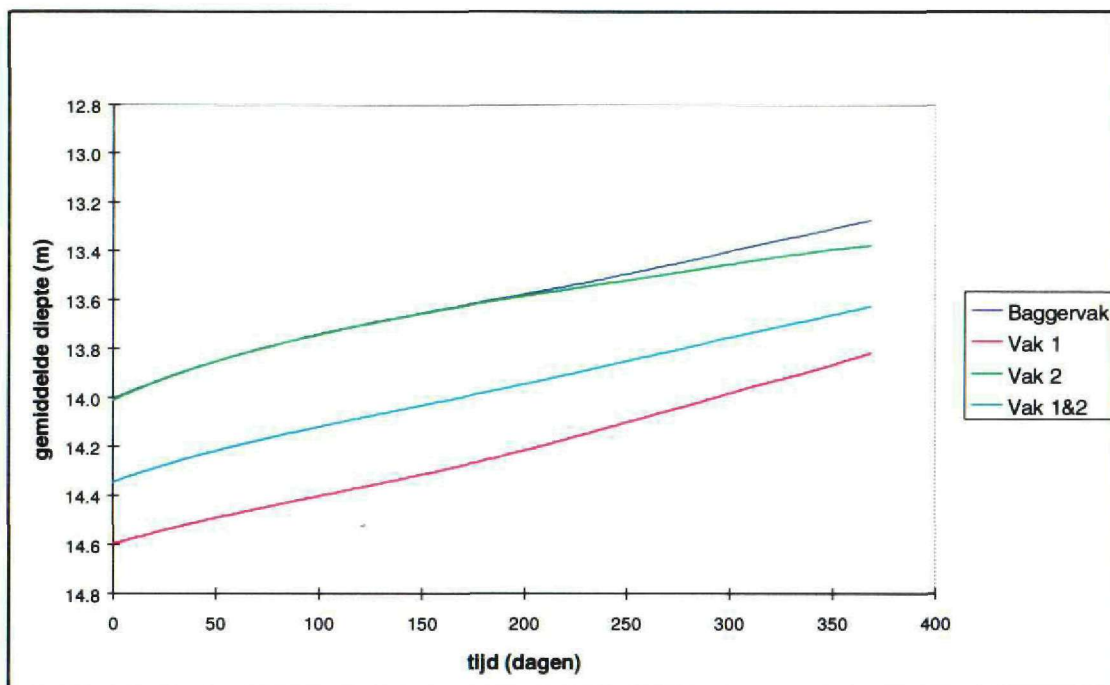
Figuur 4.23 Aangepaste bodemligging: leidam in de Schaar van Waarde, kruin op NAP -2 m.



Figuur 4.24 Sedimentatie- en erosiepatronen na 1 jaar bodemontwikkeling; lokaties Vak 1, Vak 2 en Vak Schaar van Waarde (leidam in de Schaar van Waarde).

Vak	Aanzanding na 1 jaar
Vak 1	0,77 m
Vak 2	0,63 m
Vak 1&2	0,71 m
Baggervak	0,72 m
Sch.v.W.	n.v.t.

Tabel 4.12 Hoeveelheid aanzanding in de verschillende vakken; leidam in de Schaar van Waarde.



Figuur 4.25 Ontwikkeling gemiddelde bodemdieptes in de verschillende vakken (leidam in de Schaar van Waarde).

4.4 Vergelijking resultaten

Vak 1 & 2

Om de resultaten van de verschillende berekeningen met elkaar te vergelijken zijn de hoeveelheden aanzanding in het drempelvak (Vak 1&2) met elkaar vergeleken. De berekeningen waarbij gebaggerd werd, zijn gecorrigeerd voor de hoeveelheden baggerwerk. Er wordt alleen maar nagegaan hoeveel de drempel aanzandt tussen de 'baggerwerkzaamheden' door. De hoeveelheden aanzanding die in deze paragraaf genoemd worden hebben alle betrekking op de situatie na 1 jaar tijd.

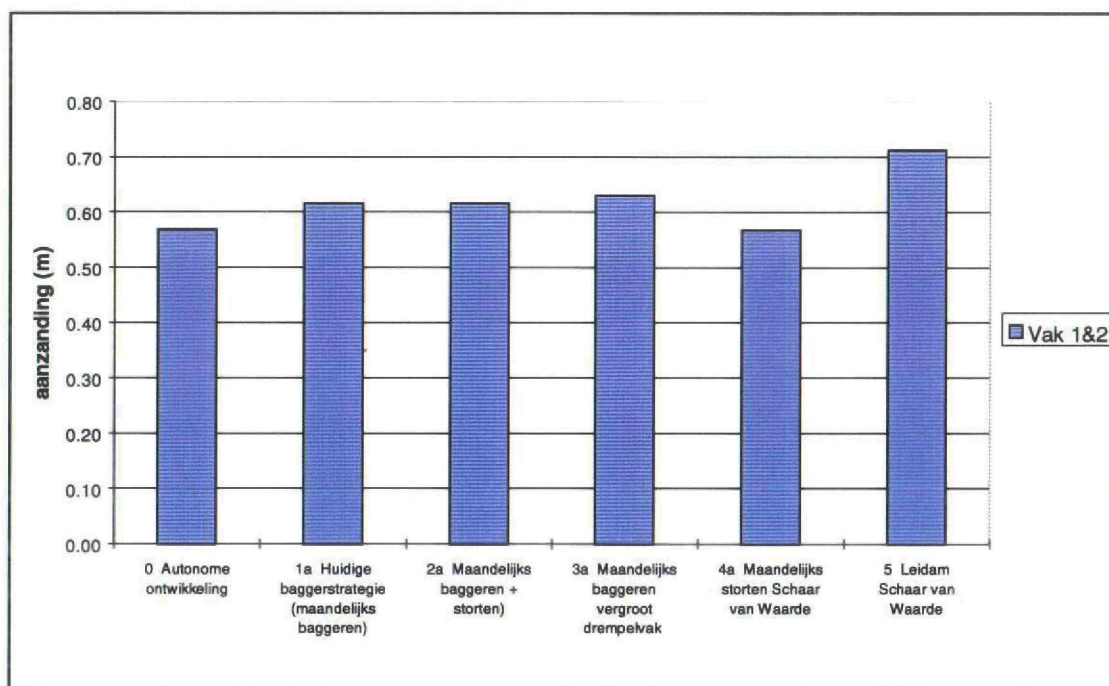
Figuur 4.26 vergelijkt de autonome ontwikkeling met de ontwikkelingen t.g.v. van het maandelijks baggeren en/of storten. Bij de simulatie van de autonome ontwikkeling zandt het drempelvak 0,57 m aan. Als er alleen maandelijks gebaggerd wordt, zandt de drempel meer aan: 0,62 m. Dit lijkt een logisch effect omdat door het baggeren de bodem ter plaatse van de drempel verdiept en de stroomsnelheden daardoor afnemen. Deze afname in snelheid zal leiden tot een toename van de sedimentatie.

Als er gebaggerd wordt in het vergrote baggervak, zandt de drempel iets meer aan (0,63 m). Wanneer er maandelijks gebaggerd en gestort wordt, zandt de drempel evenveel aan als in het geval waarin alleen gebaggerd wordt (0,62 m). Wanneer er niet gebaggerd wordt en alleen gestort wordt in de Schaar van Waarde, zandt de drempel aan met 0,57 m. Dit is gelijk aan de aanzanding bij de berekeningen van de autonome ontwikkelingen (0,57 m). Storten in de Schaar van Waarde lijkt voornamelijk weinig effect te hebben op de drempel.

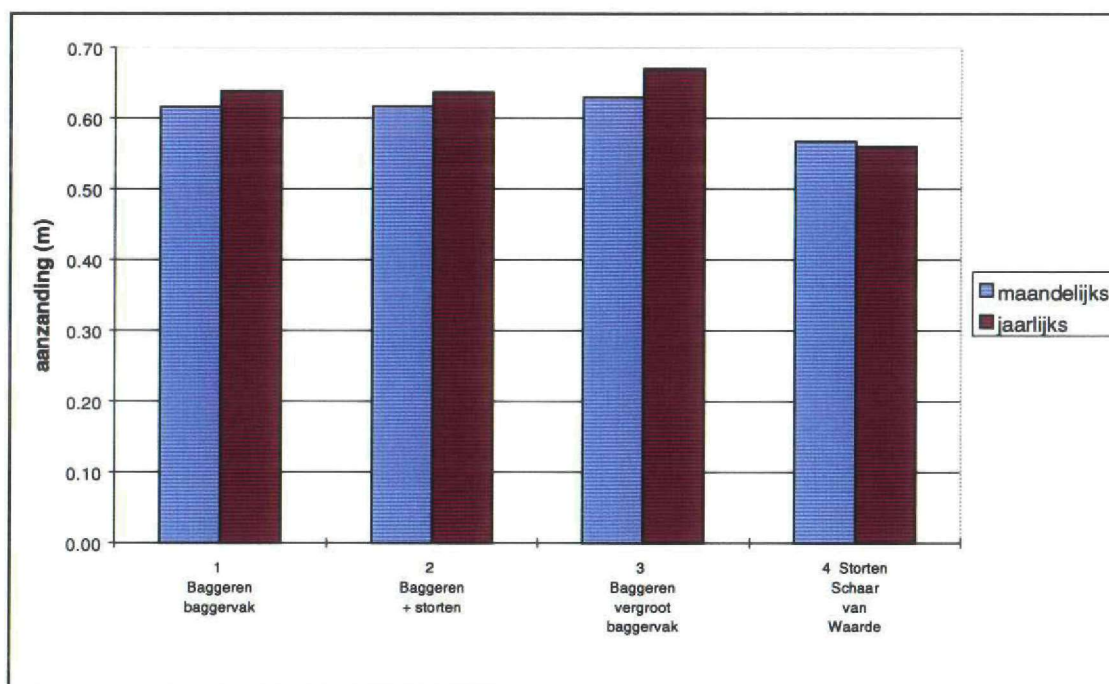
In Figuur 4.27 wordt de vergelijking tussen maandelijks en jaarlijks baggeren en/of storten gemaakt. De trends in het drempelvak zijn gecorrigeerd voor de hoeveelheid baggerwerk. Er wordt dus gekeken hoe snel het drempelvak weer aanzandt. Te zien is dat in de eerste drie gevallen jaarlijks baggeren iets meer aanzanding in het baggervak geeft dan maandelijks baggeren. Bij de berekeningen van het jaarlijks baggeren wordt de drempel eerst op overdiepte gebracht en zandt daardoor sneller aan. Als er maandelijks gebaggerd wordt op de drempel bedraagt de aanzanding 0,62 m; bij jaarlijks baggeren is dat 0,64 m. Het verschil is dus erg

klein. Als er gebaggerd en gestort wordt, bedraagt de aanzanding bij maandelijks baggeren en storten 0,62 m en bij jaarlijks baggeren en storten 0,64 m.

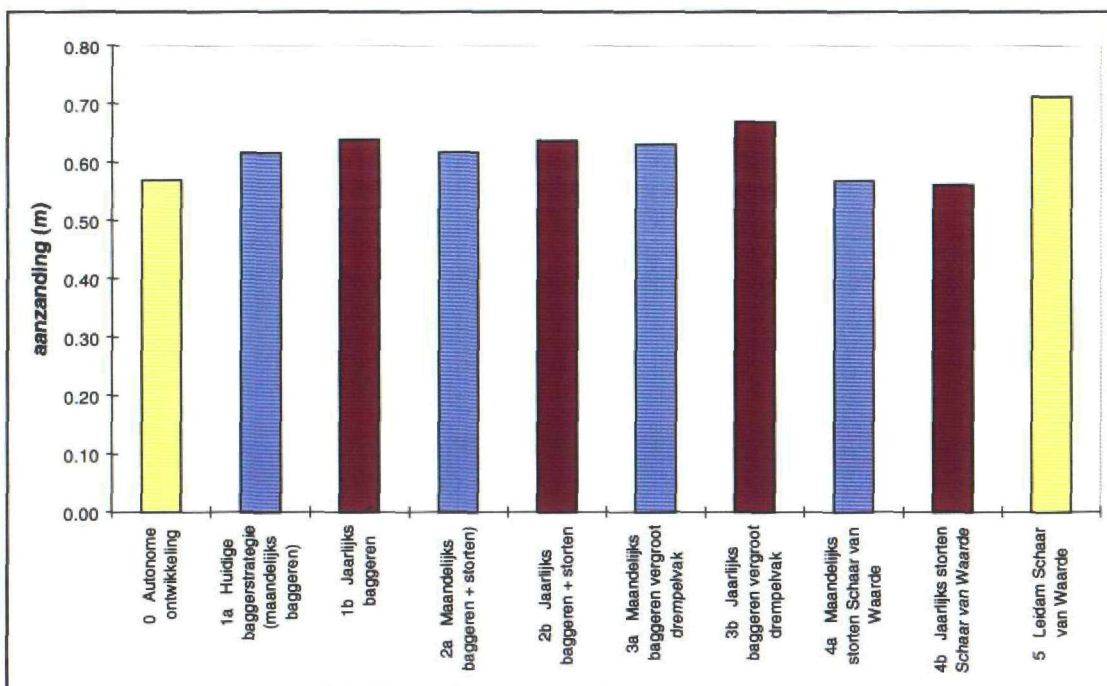
Als er gebaggerd wordt in het vergrote drempelvak bedraagt de aanzanding bij maandelijks baggeren 0,63 m en bij jaarlijks baggeren 0,67 m.



Figuur 4.26 Vergelijking berekende hoeveelheid aanzanding na 1 jaar in Vak 1&2: autonome ontwikkeling versus maandelijks baggeren en/of storten.



Figuur 4.27 Vergelijking berekende hoeveelheid aanzanding in Vak 1&2 na 1 jaar: maandelijks versus jaarlijks baggeren.



Figuur 4.28 Vergelijking berekende hoeveelheid aanzanding in Vak 1&2 na 1 jaar.

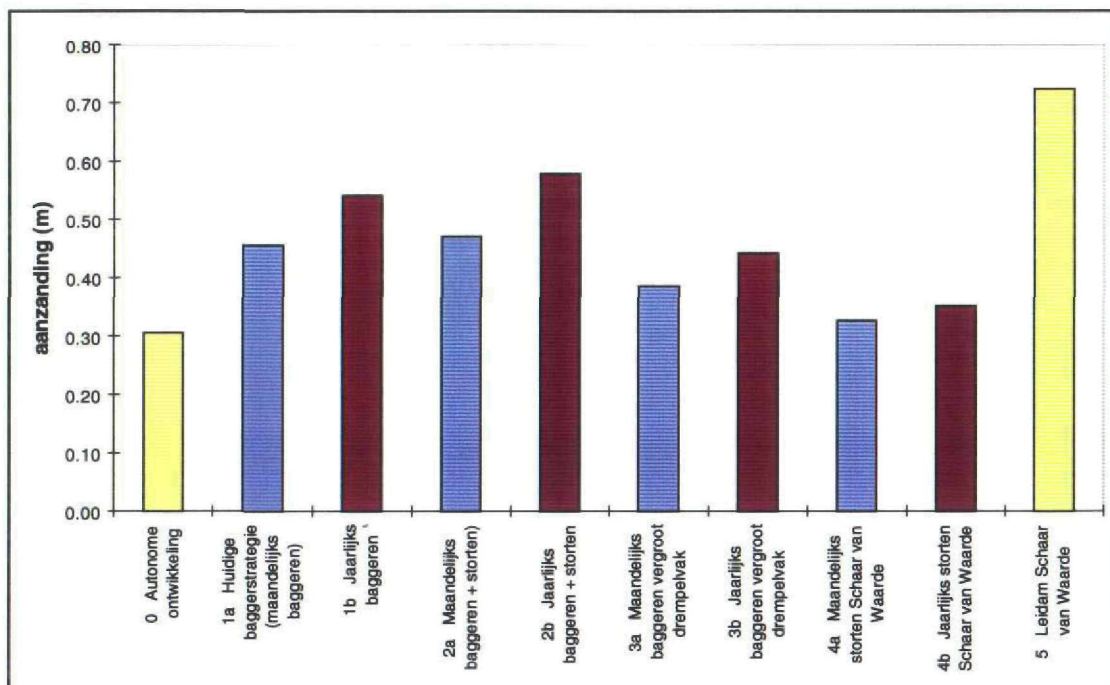
Wanneer er alleen gestort wordt in de Schaar van Waarde blijkt uit de berekening dat als de jaarlijkse hoeveelheid stortmateriaal in één keer in de Schaar van Waarde wordt gestort, de drempel iets langzamer aanzandt (0,56 m) dan in het geval van maandelijks storten. Storten in de Schaar van Waarde lijkt in dit geval de aanzanding dus enigszins te verminderen. Het verschil is echter miniem.

Ter volledigheid is de aanzanding van Vak 1&2 na 1 jaar tijd voor alle berekeningen afgebeeld in Figuur 4.28.

Baggervak

In Figuur 4.29 staat de aanzanding na 1 jaar tijd van het baggervak weergegeven. De verschillen in hoeveelheid aanzanding tussen de verschillende berekeningen onderling zijn nu groter. Bij de berekening van de autonome ontwikkeling zandt het baggervak het minst snel aan (0,31 m). Zodra er gebaggerd wordt, blijkt er in het baggervak veel meer aanzanding op te treden (maandelijks baggeren: 0,46 m; jaarlijks baggeren 0,54 m). Wanneer er gebaggerd en gestort wordt, is de aanzanding in het baggervak nog iets groter (maandelijks baggeren en storten: 0,47 m; jaarlijks baggeren en storten: 0,57 m). Het verschil tussen berekening 1a,b en 2a,b bestaat uit het wel of niet storten in de Schaar van Waarde. Storten in de Schaar van Waarde lijkt op basis van deze resultaten niet een reductie van de aanzanding te geven (althans in het baggervak); er vindt integendeel juist meer sedimentatie plaats in het baggervak. Dit blijkt ook uit de berekeningen waarbij alleen gestort wordt in de Schaar van Waarde. De aanzanding in het baggervak is dan iets groter dan in het geval van de autonome ontwikkeling (maandelijks storten: 0,33 m; jaarlijks storten: 0,35 m; autonome ontwikkeling: 0,31 m).

Verder is te zien in Figuur 4.29 dat jaarlijks baggeren veel meer aanzanding tot gevolg heeft dan maandelijks baggeren. De verschillen zijn groter dan bij Vak 1&2. De leidam heeft de meeste aanzanding tot gevolg (0,72 m).



Figuur 4.29 Vergelijking berekende hoeveelheid aanzanding in het baggervak na 1 jaar.

Vak Schaar van Waarde

In Figuur 4.30 staat de aanzanding na 1 jaar tijd van het Vak Schaar van Waarde weergegeven. De Schaar van Waarde zandt het meest aan in geval van de simulatie van de autonome ontwikkeling (0,27 m). Volgens het model is de huidige bodemligging in dat vak dus te diep. Bij maandelijks en jaarlijks baggeren zandt dit vak iets minder aan, respectievelijk 0,24 m en 0,23 m. Bij maandelijks baggeren en storten in de Schaar van Waarde zandt het vak nog minder aan: 0,10 m. Door het storten wordt de 'zandhonger' van het vak gedeeltelijk bevredigd. Als de jaarlijkse hoeveelheid in één keer in de Schaar van Waarde gestort wordt, is de netto aanzanding licht negatief (-0,01 m). Feitelijk komt dit er op neer dat de hoeveelheid zand die in de Schaar van Waarde gestort wordt (2,30 m/jaar), vrijwel op zijn plaats blijft liggen volgens de modelberekeningen. Wanneer er alleen maandelijks gestort wordt in de Schaar van Waarde zien we dat de aanzanding iets meer bedraagt dan wanneer er maandelijks gebaggerd en gestort wordt. Hetzelfde blijkt uit een vergelijking van jaarlijks storten met jaarlijks baggeren en storten.

Geconcludeerd mag worden dat door het baggeren op de drempel de aanzanding in de Schaar van Waarde ook vermindert.

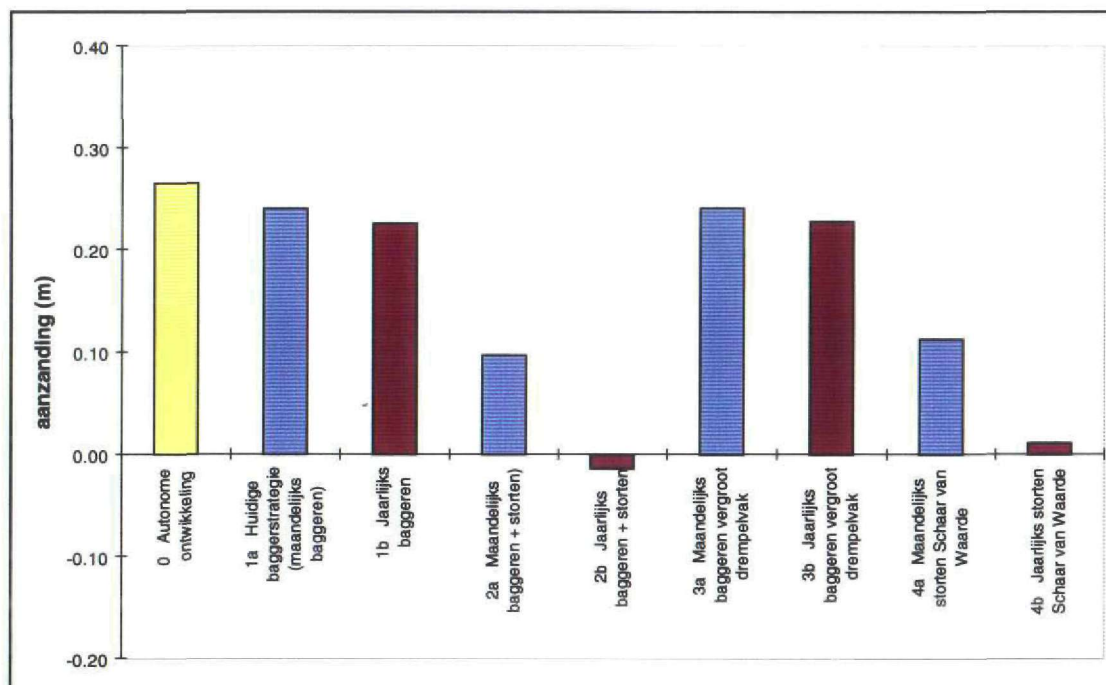
Een volledig overzicht van de hoeveelheid aanzanding na 1 jaar tijd in de verschillende vakken staat weergegeven in Tabel 4.13.

Algemeen

Bij alle berekeningen bleek de gemiddelde bodemontwikkeling van Vak 1&2 bij benadering lineair in de tijd te verlopen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de drempel dermate ver uit evenwicht is (vanwege het baggerwerk door de jaren heen), dat het 'lijkt' of de respons bijna lineair is. Met andere woorden, het tijdsdomein dat onderzocht is, is relatief kort t.o.v. de morfologische tijdschaal.

Het verloop van de aanzanding van het baggervak is veel minder lineair te noemen. In het eerste halfjaar is de aanzanding sterker dan in het tweede halfjaar. Dit is opvallend omdat het

baggervak zich binnen Vak 1&2 bevindt. Blijkbaar compenseren de delen van Vak 1&2 die buiten het baggervak liggen, de afwijkingen van de lineaire trend binnen het baggervak.



Figuur 4.30 Vergelijking berekende hoeveelheid aanzanding in Vak Schaar van Waarde na 1 jaar.

	Vak 1	Vak 2	Vak 1&2	Bag.vak	Sch.v.W
Autonome ontwikkeling	0.48	0.68	0.57	0.31	0.27
Huidige baggerstrategie (maandelijks baggeren)	0.53	0.73	0.62	0.46	0.24
Jaarlijks baggeren	0.54	0.77	0.64	0.54	0.23
Maandelijks baggeren + storten	0.54	0.72	0.62	0.47	0.10
Jaarlijks baggeren + storten	0.57	0.72	0.64	0.58	-0.01
Maandelijks baggeren vergroot drempelvak	0.56	0.72	0.63	0.39	0.24
Jaarlijks baggeren vergroot drempelvak	0.60	0.76	0.67	0.44	0.23
Maandelijks storten Schaar van Waarde	0.50	0.66	0.57	0.33	0.11
Jaarlijks storten Schaar van Waarde	0.51	0.62	0.56	0.35	0.01
Leidam Schaar van Waarde	0.77	0.63	0.71	0.72	n.v.t

Tabel 4.13 Hoeveelheid aanzanding (m) in de verschillende vakken na 1 jaar bodemontwikkeling.

5. Conclusies en aanbevelingen

Uit de berekeningen met het morfologische model DELFT2D-MOR blijkt als eerste dat de effecten van de variatie van baggerlokatie, stortlokatie en baggerfrequentie op de mate van aanzanding van de drempel relatief klein zijn. De (voor baggerwerk gecorrigeerde) mate van aanzanding in het drempelvak schommelt bij de berekeningen rond de 0,6 à 0,7 m/jaar.

Als er jaarlijks wordt gebaggerd in plaats van maandelijks neemt de aanzanding toe, echter in relatief geringe mate (minder dan 10%). Een verlaging van de frequentie van het baggerwerk behoort dus op basis van de berekeningen tot de mogelijkheden om de negatieve gevolgen van het baggerwerk te verminderen.

Eén van de voorgestelde methoden om het baggerwerk op de drempel te verlagen is de beïnvloeding van de lokale debietverdeling. Dit alternatief is gesimuleerd met een vijftal berekeningen, namelijk:

- het storten in de Schaar van Waarde, al of niet met baggeren op de drempel (berekeningen 2a, 2b, 4a, 4b)
- het bouwen van een leidam in de Schaar van Waarde (berekening 5)

Storten in de Schaar van Waarde kan het baggerwerk op de drempel verminderen. De berekening waarbij alleen de jaarlijkse hoeveelheid in één keer in de Schaar van Waarde werd gestort had een iets kleinere aanzanding in het *drempelvak* (Vak 1&2) tot gevolg dan in het geval van de autonome ontwikkeling.

Uit de analyse van de ontwikkeling van de gemiddelde bodemdiepte in het *baggervak* leek storten in de Schaar van Waarde een tegenovergesteld effect te hebben: de aanzanding in het baggervak was sterker.

De berekening met de leidam gaf als resultaat dat de drempel het meest aanzandde van alle berekeningen, hetgeen van tevoren niet was verwacht. De berekeningen laten zien dat de beïnvloeding van de lokale debietverdeling door het blokkeren van een nevengeul (de Schaar van Waarde) niet onvoorwaardelijk tot een vermindering van de aanzanding van de drempel zal leiden.

Er moeten enige kanttekeningen gezet worden bij de modelresultaten. Het model blijft een vereenvoudiging van de werkelijkheid, waar lang niet alle relevante fysische processen in gemodelleerd zijn, of op de juiste wijze gemodelleerd zijn. De kennis omtrent morfologische ontwikkelingen op langere termijn is beperkt vanwege de complexiteit van het geheel. Er moet met nadruk worden gesteld dat op basis van de *berekende* hoeveelheid aanzanding op de drempel, niet kan worden gesteld dat er ook *daadwerkelijk* zoveel aanzanding optreedt. Nogmaals: het model blijft een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

Bij de evaluatie van de resultaten is er gekeken naar de hoeveelheid aanzanding; de hoeveelheid baggerwerk is constant gehouden. Momenteel worden er additionele berekeningen gemaakt waarbij een minimale waarde voor de bodemdiepte wordt opgelegd en de hoeveelheid baggerwerk dus variabel is.

Afgezien van de tekortkomingen van de schematisatie van de fysische processen door het model, zijn er ook een aantal andere oorzaken die voor verschillen tussen berekende en gemeten ontwikkeling kunnen zorgen. Het gebruik van een morfologisch getij om de berekeningstijd te verkorten zal de werkelijkheid minder goed nabootsen dan het telkens weer doorrekenen van een volledige doodtij-springtij cyclus.

Als randvoorwaarden wordt er gewerkt met harmonische componenten van waterstanden. In werkelijkheid komen er op willekeurige tijdstippen sterk afwijkende (weers)condities voor die

grote morfologische gevolgen kunnen hebben (stormen e.d.). Theoretisch zou het gebruik van volledige tijdseries van gemeten waterstanden de werkelijkheid op de beste wijze nabootsen. Dit is echter ondoenlijk qua rekentijd, vandaar het gebruik van een morfologisch getij. Bij de huidige berekeningen is uitgegaan van de bodemgegevens van 1996. De bodemligging verandert continu. Het gebruik van een andere bodemligging (uit bijvoorbeeld een ander jaar) zou weer iets andere resultaten tot gevolg kunnen hebben.

Het wordt aanbevolen de huidige berekeningen verder te analyseren en een gevoeligheidsanalyse uit te voeren met betrekking tot de verschillende parameters in het model. Met name secundaire stromingseffecten en de invloed van onder- en oververzadiging moeten nader bestudeerd worden.

Op deze wijze kunnen de modelresultaten verder verbeterd worden en wordt meer inzicht verkregen in het effect van de diverse parameters.

Referenties

- Bestuurlijk Klankbordforum Westerschelde, 1991
Beleidsplan Westerschelde
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland
- Groenewoud, M.D., 1997
Modellering morfodynamisch gedrag van de Drempel van Hansweert. Fase 1:
Modelbouw en simulatie huidige situatie
Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep
Waterbouwkunde en Geotechniek
- Pieters, T., C. Storm, T. Walhout en T. Ysebaert, 1991
Het Schelde-estuarium. Meer dan een vaarweg.
Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Nota GWWS-91.081, 135 p.
- Huijs, S.W.E., 1996
De ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde in relatie tot menselijke
ingrepen.
Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische
Geografie, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU),
IMAU Rapport R 96-17.
- Storm, C., 1996
Residuele zandtransporten in de Westerschelde
Rijkswaterstaat, RIKZ Werkdocument OS-96.837X
- Tank, F.T.G., 1995
Het gedrag van drempels in de Westerschelde: Een verkennende studie.
Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische
Geografie, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)
IMAU Rapport R 95-18
- Tank, F.T.G., 1996a
Het gedrag van drempels in de Westerschelde: Literatuurstudie en hypothesen.
Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische
Geografie, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)
IMAU Rapport R 96-07
- Tank, F.T.G., 1996b
Het gedrag van drempels in de Westerschelde: Parameterisatie.
Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische
Geografie, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)
IMAU Rapport R 96-08
- Tank, F.T.G., 1997a
Het gedrag van drempels in de Westerschelde: Beschrijving en analyse van metingen
van de waterbeweging op en rondom de Drempel van Hansweert.
Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische
Geografie, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)
IMAU Rapport R 97-01

- Tank, F.T.G., 1997b
Het gedrag van drempels in de Westerschelde: Beschrijving en analyse van zandtransportmetingen op en rondom de Drempel van Hansweert.
Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)
IMAU Rapport R 97-08
- Tank, F.T.G., 1997c
Het gedrag van drempels in de Westerschelde: Beschrijving en analyse van metingen van de morfologie op en rondom de Drempel van Hansweert.
Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)
IMAU Rapport R 97-09
- Tank, F.T.G., 1997d
Een conceptueel morfodynamisch model - Toetsing hypothesen
Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)
IMAU Rapport R 97-14
- Van Dam, D. en C.J. Quartel, 1992
Zandhuishouding en drempeldiepten in de Westerschelde. 1985 t/m 1990.
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Notitie NWL-92.19.
- Veen, J. van, 1950
Eb- en vloed-schaar systemen in de Nederlandse getijwateren.
Journal K.N.A.G., 2nd series, 67, pp. 303-325
- Vroon, J., Storm, C. en Coosen, J., 1997
Westerschelde, stram of struis ? Eindrapport van het Project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium.
Rapport RIKZ-97.023, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg