

DE HEDWIGEPOLDER ONTPOLDERD;

DE VOOR- EN NADELEN VAN HET TERUGGEBVEN VAN EEN POLDER AAN DE WESTERSCHELDE.

Afstudeerverslag Geert Roovers.
Werkdocument 93.861X.
Middelburg, augustus 1993.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat,
Direktoraat-Generaal Rijkswaterstaat,
Direktie Getijdewateren,
Middelburg.

Technische Universiteit Delft,
Afdeling Civiele Techniek,
Vakgroep Gezondheidstechniek & Waterbeheersing.

'6 MAANDEN WERK'.

Dit rapport beschrijft de resultaten van mijn afstudeeronderzoek naar de mogelijkheden die een ontpolderde Hedwigepolder voor de Westerschelde kan hebben. Dit onderzoek is uitgevoerd tijdens mijn stage bij Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren in Middelburg van 1 februari 1993 tot half augustus 1993. In dit voorwoord wil ik graag een aantal mensen bedanken die zeer behulpzaam zijn geweest tijdens mijn verblijf in Middelburg. Als eerste natuurlijk mijn begeleiders daar: Jacques Vroon, Tom Pieters en Jon Coossen alsmede Renske Postma van de Direktie Zeeland voor de interessante en stimulerende dicussies, goede kritieken en flexibele werktijden. Daarnaast zijn er vele medewerkers van de Dienst Getijdewateren en Direktie Zeeland die mij zeer behulpzaam zijn geweest. Met name wil ik Albert Holland, Kees Storm, Henk Smit, Jaap Consemulder, Dirk van Maldegem, Dick de Jong en Ad Langerak noemen. Ook wil ik Guido Krijger bedanken, met wie ik lange tijd de kamer deelde en leuke dicussies heb gevoerd. Als laatste bedank ik dhr. Donze, afstudeerbegeleider vanuit de T.U. Delft, voor de benadering en denkwijze, en voor het Zeeuws accent.

Geert Roovers.
10 augustus 1993.

INHOUDSOPGAVE.

	<i>pag.</i>
Samenvatting en conclusies	7.
1. Inleiding.	15.
1.1. De Westerschelde.	15.
1.1.1. Historische ontwikkeling.	16.
1.1.2. Het estuariene ecosysteem.	18.
1.1.3. Beleid.	25.
1.2. De Hedwigepolder.	29.
1.2.1. Beschrijving.	29.
1.2.2. Invloed op het systeem.	33.
1.2.3. Het Verdrongen Land van Saeftinge.	35.
1.3. Probleemstelling en doel van de studie.	37.
1.4. Aanpak.	38.
2. Mogelijkheden voor de inrichting.	39.
2.1. Algemene ideeën over de inrichting.	39.
2.2. Ideeën uit brainstormen.	40.
2.2.1. Inrichting zonder hydraulisch contact met Saeftinge.	40.
2.2.2. Inrichting met hydraulisch contact met Saeftinge.	43.
2.2.3. Kansrijke ideeën.	44.
2.3. Haalbaarheidsstudie van de geselecteerde ideeën.	46.
2.3.1. Functievarianten en de problemen van de Westerschelde.	46.
2.3.2. Eerste afschatting van de mogelijkheden.	49.
2.3.3. Vergelijking en relaties functievarianten.	67.
2.3.4. Haalbaarheid.	71.
2.4. Vervolg en criteria.	72.
2.4.1. Vervolg.	72.
2.4.2. Criteria.	73.
3. Aanslibbing en stroming.	75.
3.1. Inleiding.	75.
3.2. Theoretische benadering.	76.
3.2.1. De haven-analogie.	76.

Vervolg inhoudsopgave.

3.2.2. Geulontwikkeling: De schor-analogie.	90.
3.2.3. Het dominante proces.	93.
3.3. Optimalisatie van de inrichting.	101.
3.3.1. Parameters en inrichtingsonderdelen.	101.
3.3.2. Maximalisatie en minimalisatie.	109.
4. Inrichting en ontwikkeling.	113.
4.1. De inrichting van de functievarianten.	113.
4.2. Ontwikkeling van het gebied.	120.
4.2.1. Berekeningsmodel.	120.
4.2.2. Aanslibbing en komberging.	125.
4.2.3. Hoogteverloop.	128.
4.2.4. Kosten en onderhoud.	133.
4.3. Verdere aandachtspunten.	136.
4.3.1. Vervuiling.	136.
4.3.2. Scheepvaart, slibhuishouding en veiligheid.	139.
5. Evaluatie.	141.
5.1. Vergelijking van de varianten.	141.
5.2. Evaluatie.	145.
Referenties.	149.
Bijlagen.	153.
Bijlage 1: Mogelijke vervolgonderzoeken.	154.
Bijlage 2: Biotische factoren in het gebied; Een literatuuropgave.	156.
Bijlage 3: De kombergingsbeschouwing.	159.
Bijlage 4: Waardes voor de verschillende parameters betreffende erosie en sedimentatie.	162.
Bijlage 5: Bepaling van de transportvalsnelheid.	165.
Bijlage 6: Een indicatie van de erosiesnelheid.	168.
Bijlage 7: Grootte in- en uitstroomduur bij vullen/ledigen bij verval.	170.
Bijlage 8: Bepaling sedimentatiefracties bij de haven-analogie.	171.
Bijlage 9: Bepaling van het dominante proces in de Hedwigepolder.	180.
Bijlage 10: Aanlegkosten van de inrichtingsvarianten.	183.
Bijlage 11: Veldonderzoek in Het Verdrongen Land van Saeftinghe.	195.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES.

In onderliggende studie is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden die het ontpolderen van de Hertogin Hedwigepolder, gelegen in Zeeuws-Vlaanderen langs de Westerschelde, biedt aan het ecosysteem van het Schelde-estuarium.

De Westerschelde is het Nederlandse deel van de Schelde. De Schelde is een rivier die in Noord-Frankrijk ontspringt en via België in Nederland bij Vlissingen de Noordzee bereikt. De Westerschelde was tot in de Middeleeuwen een zeearm, de Honte genaamd. De Scheldemonding liep toen nog noordelijker en bereikte tussen Walcheren en Schouwen de Noordzee. Rond de 15^e en 16^e eeuw maakte de Honte kortsluiting met de Schelde waardoor de Westerschelde ontstond. Door de afdamming van de Kreekrak en de aanleg van de Sloedam is de Westerschelde (en de Schelde) in de 19^e eeuw uiteindelijk van de Oosterschelde afgescheiden.

De monding van de Schelde is tot aan Gent een estuarium. Een **estuarium** wordt gekenmerkt door een verloop van zout naar zoet water en door een getijamplitude. Deze getijamplitude loopt tot aan Gent waar een sluis de invloed van de zee stopt. De getijamplitude heeft een maximum van 5 m. nabij Antwerpen. Door het afnemende dwarsprofiel vanaf de mond bij Vlissingen kent de Schelde een asymmetrisch getij waarbij de ebduur langer is dan de vloedduur. De Westerschelde heeft een **ruimtelijke structuur** met platen, slikken en schorren. Deze gebieden overstroomd geregeld bij hoogwater en bezitten een ecologische, water- en slibbergende functie. **Slib** komt in het estuarium door natuurlijk erosie of door huishoudelijke- en industriële bronnen. Slib dient als voedingsbron voor vele organismen maar draagt ook de meeste verontreinigingen. In de stroomvoerende geulen ontstaan in de bochten **zanddrempels**. Omdat een belangrijke gebruiksfunctie van de Westerschelde de **scheepvaartfunctie** betreft, wordt om een voldoende diepe vaargeul te garanderen op deze drempels voortdurend gebaggerd. Een probleem hierbij is het vinden van geschikte stortlocaties voor deze baggerspecie in verband met de vervuiling van deze specie.

Volledige estuariene ecosystemen zoals het Schelde-estuarium zijn zeldzaam geworden. Het Schelde-estuarium bezit nog een volledige horizontale gradiënt van zout naar zoet. Tevens wordt een estuarien ecosysteem gekenmerkt door het verticale verloop van de overspoelingsduur, de dynamiek van de waterbeweging en de troebelheidsgraad. **Bodemdieren** nemen in het estuariene ecosysteem een centrale plaats in. De Westerschelde wordt hierbij gekenmerkt door een relatief lage biomassa[^] en soortendiversiteit. Voor vogels zijn de

platen, slikken en schorren in de Westerschelde belangrijk. Ze doen dienst als voedsel^{sel}bron, rustplaats en overwinteringsgebied. Vissen maken van estuaria gebruik als paai- en kinderkamer en als doortrek gebied tussen zoete bovenstroomse rivierdelen en de zee (trekvissen). Momenteel komen trekvissen niet meer voorⁿ de Westerschelde en zijn ook andere vissoorten schaars geworden. **Schorren** doen dienst als voedselbron en rustplaats voor diverse vogels en leveren detritus, organisch afval dat als basisvoedsel voor het ecosysteem dienst doet. Op schorren zijn de horizontale- en verticale gradiënten in het zoutgehalte en de overstromingsduur in de vegetatie zichtbaar. Het areaal aan schorren is door inpolderingen de laatste eeuwen sterk afgenomen.

Het milieubeleid in Nederland wordt de laatste jaren geregeerd door de term **duurzame ontwikkeling**. In het beleidsplan voor de Westerschelde is gesteld dat de belangrijkste oorzaken van de achteruitgang van de ecologische potenties van het systeem de achteruitgang van de fysische structuur en de water- en bodemverontreiniging zijn. In een pilotstudie (OOSTWEST) heeft Rijkswaterstaat onderzoek gedaan naar de mogelijkheden de fysische structuur van het systeem te verbeteren. Als een mogelijke oplossing is in deze studie het aan het watersysteem toevoegen van enkele polders (**ontpolderen**) genoemd. Het ontpolderen kan door de vergrote **komberging** het getijvolume in de Westerschelde vergroten en er kan zich een natuur- en sliksedimentatiegebied in de ontpolderde polder ontwikkelen. Het vergroten van het getijvolume kan op natuurlijke wijze de vaargeulen verdiepen en zo de benodigde hoeveelheid baggerwerk voor de vaargeulhandhaving verminderen.

Een mogelijke polder die aan het watersysteem kan worden toegevoegd is de **Hedwigepolder**. Deze polder ligt aan de Westerschelde op de Belgisch-Nederlandse grens en is gelegen langs de **Selenapolder** en **Het Verdrongen Land van Saeftinge**. De Selenapolder is een polder die in 1990 op natuurlijke wijze weer door de Westerschelde is overstroomd en sindsdien niet meer opnieuw is ingepolderd. Het Verdrongen Land van Saeftinge is een uitgebreid schorren en slikken gebied met een grote natuurwaarde. Het gebied bevindt zich in het eindstadium van zijn ontwikkeling als schor. Men vermoedt dat de stortingen van baggerspecie voor dit gebied de natuurlijke verlanding ervan hebben versnelt. Beide gebieden hebben een voorbeeldfunctie voor een eventueel ontpolderde Hedwigepolder. De invloed van de Hedwigepolder op de vervuiling van de Westerschelde en de vergroting van de natuurwaarde ervan is nog niet onderzocht. Onderzoek naar de hydraulische invloed van de Hedwigepolder op het Schelde-estuarium toont aan dat de Hedwigepolder een gunstige ligging heeft waar^{waak} betreft het vergroten van het getijvolume.

De **hoofdproblemen** van de Westerschelde zijn de vervuiling, de benodigde hoeveelheid baggerwerk en de achteruitgang van de natuurwaarde van het systeem. Het **doel** van deze studie is het onderzoeken van de mogelijkheden die een ontpolderde Hedwigepolder heeft om deze problemen te verminderen en het ontwikkelen van enkele inrichtingsplannen voor het gebied.

Algemene ideeën over de inrichting van het gebied bij Rijkswaterstaat kennen twee belangrijke begrippen, te weten de natuurlijkheid van het systeem en een zelfregulerend systeem.

Door middel van **brainstormen** is de studie aangevangen met het ontwikkelen van ideeën over een mogelijke inrichting en functie van het ontpolderde gebied. Hierbij zijn ideeën ontwikkeld voor de Hedwigepolder sec. en voor de Hedwigepolder gecombineerd met Saeftinge. Na een evaluatie van de ideeën zijn er een aantal interessante ideeën voor de functie van de polder als overstromingsgebied overgebleven;

- 'Niets doen'; De dijk wordt 'doorgestoken', de rest wordt aan de natuur overgelaten. Dit is hier de zogenaamde nul-optie.

- Specifieke ecologische functie; Het gebied wordt ingericht om een specifieke natuurwaarde in het gebied te ondersteunen.

- Inrichting gericht op een maximale sedimentatie in het gebied; Hierbij zijn twee mogelijkheden te onderscheiden:

 - * Inrichting waarbinnen een maximale hoeveelheid sediment sedimenteert.

 - * Inrichting waarbinnen specifiek zo veel mogelijk vervuiling sedimenteert.

Beide inrichtingsvarianten moeten een deel van de vervuiling gebonden aan slib uit het systeem van de Westerschelde kunnen nemen.

- Inrichting als spuikom. Dit idee biedt mogelijkheden om de sedimentatie in de Westerschelde zelf positief te beïnvloeden en het baggerwerk te verminderen.

- Inrichting om het water van de hoofdstroom te zuiveren. Dit kan op twee manieren:

 - * Inrichting waarbij het water in de polder wordt gezuiverd.

 - * Inrichting waarbij in de polder organismen worden toegevoegd die de hoofdstroom kunnen zuiveren.

Beide inrichtingen moeten de vuillast op de Westerschelde kunnen reduceren.

- Inrichting met hydraulisch contact met Saeftinge. De geulen in Saeftinge zijn sterk aan het verzanden. Deze variant kan de geulen van Saeftinge weer uitschuren.

- Inrichting als maximaal kombergingsgebied. Dit idee moet een maximale bijdrage aan de baggerreductie op de Westerschelde bewerkstelligen door vergroting van het vloedvolume.

De varianten voor de functie van een ontpolderde Hedwigepolder zijn elk specifiek bedoeld om één hoofdprobleem van de Westerschelde te verbeteren. Daarnaast kunnen ze ook de andere problemen beïnvloeden. In een **haalbaarheidsstudie** zijn de mogelijkheden van de functievarianten onderzocht. Er is gekeken naar de invloed op de vervuiling, de zich ontwikkelende biota en de grootte van de komberging. Het blijkt dat de komberging het getijvolume in de Westerschelde ter plaatse met maximaal 10% kan vergroten, dat een toename van het areaal aan brakwaterschor in het Schelde-estuarium maximaal 10% bedraagt en dat een reductie van de vuillast in de Schelde voor de polder met 10% mogelijk is. Een substantieële vermindering van de problemen is mogelijk. Diverse functies van het gebied kunnen worden gecombineerd.

In het **vervolg van de studie** worden drie basisvarianten voor de functie van de inrichting onderscheiden die samen met de nuloptie in de verdere studie zijn uitgewerkt. Deze basisvarianten zijn inrichting ten behoeve van het vergroten van het areaal aan slik en primair schor in het gebied, inrichting ten behoeve van maximale sedimentatie en inrichting ten behoeve van maximale komberging. De varianten worden bekeken naar hun invloed op de drie hoofdproblemen natuur, vervuiling en baggerwerk waarbij ze aan de hand van **criteria** worden beoordeeld. ^{Wat} Waar betreft de beoordeling van de natuurwaarde is een maat ingevoerd die de hoeveelheid hectare gewenst slik en primair schor en de totale levensduur daarvan aangeeft: het aantal hectareduurjaren.

De invloed op de vervuiling wordt aangegeven door de cumulatieve aanslibbing in de tijd. De verbetering van de baggerproblematiek door een inrichting wordt beoordeeld aan de hand van de grootte van de komberging in de polder.

De **aanslibbing** van de Hedwigepolder is eerst algemeen bekeken. Er zijn twee analogiën voor de wijze van aanslibben van een overstromingsgebied ontwikkeld, te weten de haven-analogie en de schor-analogie.

In de **haven-analogie** wordt de polder als een rechthoekige bak beschouwd waarin drie processen kunnen optreden: **neervorming**, **dichtheidsstroming** en **komvulling**. De processen kennen elk een karakteristiek sedimentatiepatroon, kunnen gelijktijdig optreden en beïnvloeden elkaar sterk. Per proces is de uitgewisselde hoeveelheid sediment te berekenen, evenals het snelheidsverloop. Hieruit is de aanslibbing per proces te bepalen.

Na verloop van tijd heeft erosie en sedimentatie ervoor gezorgd dat er zich in het gebied geulen hebben gevormd en dat de rechthoekige bak benadering niet meer opgaat. De sedimentatie moet nu door middel van een **schor-analogie** worden bepaald; De hoge delen tussen de geulen overstromen later. Het water daarvoor wordt via de geulen aangevoerd. Er zijn modellen nodig om de stroming en sedimentatie af te schatten.

De aanslibbing in de Hedwigepolder is bepaald met behulp van de haven-analogie. Om de totale sedimentatie ten gevolge van de drie processen samen te bepalen is aangesloten bij een benadering zoals die door het Waterloopkundig Laboratorium Delft wordt aangehouden. In deze benadering wordt de totale aanslibbing gelijk gesteld aan de aanslibbing ten gevolge van het **dominante proces**. Het dominante proces is dat proces waarvan de afzonderlijke aanslibbing het grootst zou zijn. Voor de bepaling van het dominante proces in een situatie is een vereenvoudigde benadering afgeleid.

De bepalende parameters bij de haven-analogie kunnen wat hun grootte betreft door inrichtingsconstructies zoals dammen, een diepe inlaat e.d. en het moment van in- en uitlaten worden beïnvloed. Met behulp van deze inrichtingsmogelijkheden kan de aanslibbing worden **geoptimaliseerd**. Dit is uitgewerkt tot twee schema's ten behoeve van een **maximalisatie** van de aanslibbing en een **minimalisatie** van de aanslibbing.

Aan de hand van de haven-analogie en de optimalisatie zijn de nuloptie en de basisvarianten voor de functie van een ontpolderde Hedwigepolder uitgewerkt naar een concrete **inrichting**. Bij de functievarianten 'Maximale komberging' en 'Maximale aanslibbing' levert dit twee inrichtingsvarianten op; Een inrichting zonder afsluitbare inlaatconstructie (goedkoper) en een met afsluitbare inrichtingsconstructie (voldoet beter aan de functie). Van deze varianten is de **bovengrens van de sedimentatie** (en daarmee een **ondergrens van de komberging**) bepaald door het dominante proces te bepalen en erosie tijdens het ledigen van de polder te verwaarlozen. In de Hedwigepolder is sedimentatie door komvulling het dominante proces. Door een afschatting van de erosie tijdens het legen te maken is hieruit een indicatie van het **hoogteverloop** van de varianten verkregen en per variant de **natuurwaarde** bepaald. De resultaten hiervan zijn in grafieken weergegeven.

Uiteindelijk is het **onderhoud** van de varianten bekeken en zijn de **aanlegkosten** van de verschillende inrichtingen bepaald. Belangrijk hierbij is dat de uit de polder komende klei en teelaarde kan worden verkocht. De kosten variëren van 40 miljoen tot 170 miljoen gulden, afhankelijk van de eventuele verkoop van klei en teelaarde en de aanleg van een afsluitbare inlaatconstructie.

Er zijn nog een aantal punten die invloed op de inrichting kunnen hebben maar die niet zijn meegenomen. Door sedimentatie van vervuild slib in de polder ontstaat een **verontreinigde bodem** die vervuilingssklasse II voor waterbodems kan overschrijden. Deze **vervuiling** kan zich via kwelstromen verspreiden of na het saneren van de vervuiling op de Schelde als puntbron voor het schone Scheldewater gaan dienen. Het saneren van de bodem in de Hedwigepolder kan maatschappelijke weerstand opleveren in verband met de tot dan ontwikkelde natuurwaarde of in verband met de kosten van het saneren of storten van de vervuilde grond.

De **scheepvaart** op de Westerschelde kan van een zich vullende of ledigende polder een hinderlijke dwarsstroming ondervinden.

De Hedwigepolder als overstromingsgebied kan als slibput in de **slibhuishuiding** van de Westerschelde gaan werken. Een sterk vergrote sedimentimport in de Westerschelde of andere verschuivingen in de slibbalansen zijn mogelijk, ook door de beïnvloeding van de getijasymmetrie.

De **veiligheid** van het omringende gebied vraagt om dijken op delta-nivo rondom de Hedwigepolder. Tevens verlaagt de ontpoldering de hoogwaterstanden in het gebied.

Vergeleken met elkaar blijkt de variant 'niets doen' (de nuloptie) een hoge natuurwaarde te hebben en het goedkoopst te zijn maar nauwelijks bij te dragen aan de andere problemen. De varianten ten behoeve van slik en primair schor ontwikkeling alsmede die ten behoeve van maximale komberging ontlopen elkaar niet veel: Een hoge natuurwaarde en kombergingsbijdrage en een redelijke bijdrage aan de vervuilingsvermindering. De variant ten behoeve van maximale aanslibbing levert hierin een fors grotere bijdrage aan de vervuilingsvermindering terwijl de grootte van de komberging ook lang hoog is. De natuurwaarde is hier laag. De studie levert een aantal conclusies die op de volgende pagina zijn beschreven.

Conclusies.

De Westerschelde kent drie hoofdproblemen, de achteruitgang van de natuurwaarde, de vervuiling en de baggerproblematiek. Er zijn drie basisvarianten voor de functie van de inrichting van de Hedwigepolder te onderscheiden, gericht op maximale verhoging van de natuurwaarde in het gebied, op maximale reductie van de vervuiling van de Westerschelde (maximale aanslibbing in het gebied) en gericht op een maximale afname van de baggerintensiteit op de Westerschelde (een maximale komberging in het gebied). Daarnaast is de 'nuloptie' onderscheiden; Het weghalen van de zeedijk voorin de Hedwigepolder zonder het gebied verder in te richten.

Uitgaande van de aanslibbing die in deze varianten te verwachten zijn, kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

- De invloed van het ontpolderen kan een reductie van de hoofdproblemen van de Westerschelde tot zo'n 10% geven.
- Er is een maximale invloed op de vervuilingsreductie en baggerhoeveelheden in het gebied indien een afsluitbare inlaatconstructie wordt toegepast die de aanslibbing in het gebied resp. maximaliseert of minimaliseert. Voor het toepassen van een afsluitbare inlaat is een kosten-baten analyse nodig van de opbrengst van de vergrote invloed door de constructie tegen de kosten van de aanleg ervan. De constructie zorgt tevens voor een onnatuurlijk getijverloop in de polder en verhoogde in- en uitstroomsnelheden.
- Indien met ontpolderen alleen de natuurwaarde in het gebied moet worden verhoogd door het toevoegen van oppervlakten aan slik en primair schor, is de variant 'Niets doen' het gunstigst. De variant levert vrijwel direkt een maximaal oppervlak aan primair schor en is het goedkoopst. Op beide andere probleemgebieden is zijn invloed te verwaarlozen.
- Indien de teelaarde en klei wel kunnen worden verkocht, zijn de aanlegkosten van de variant ten behoeve van een maximale natuurwaarde even groot als die van de nuloptie. Hoewel de natuurwaarde van de nuloptie lang hoger is, is de levensduur van de variant met een maximale natuurwaarde langer (een hogere natuurwaarde dan de nuloptie na verloop van tijd). Tevens heeft de variant ten behoeve van een maximale natuurwaarde wel invloed op de andere probleemgebieden.

- Indien de natuurwaarde moet worden verhoogt met een maximaal aantal hectare aan een bepaalde hoogtezone met een zo lang mogelijke levensduur, moet de polder geheel tot het laagste nivo van deze gewenste zone worden afgegraven. Zodra de natuurwaarde begint af te nemen kan onderhoud worden gepleegd.
- Indien geen inlaatconstructie wordt toegepast, lijken de varianten ten behoeve van een maximale natuurwaarde en een maximale baggerreduktie op elkaar. Het combineren van beide functies ligt voor de hand.
- De variant ten behoeve van maximale aanslibbing heeft dankzij zijn verdiepte ligging een lange tijd een maximale komberging. De variant kan daardoor gecombineerd worden met de functie 'maximale komberging' (maximale baggerreduktie).
- In de ontpolderde polder sedimenteert vervuild slib. Onderzocht moet worden of dit slib moet worden gesaneerd.
- Indien de polder moet worden gesaneerd, ligt het voor de hand de polder eerst in te richten ten behoeve van een maximale vervuilingsreduktie. De kombergingsfunctie kan gedurende deze inrichting maximaal zijn. Nadat de vervuilingsbronnen van de Schelde zijn gesaneerd, wordt de polderbodem gesaneerd waarna de definitieve inrichting wordt aangebracht. Het meest logisch is dan een definitieve inrichting met zowel een maximale natuurfunctie als een functie ten behoeve van maximale baggerreduktie. Direkt na het definitief inrichten bezit het gebied een maximale kombergingsfunctie en een minimale natuurwaarde. In verloop van tijd daalt de kombergingsfunctie en stijgt de natuurfunctie.
- Interessant is de combinatie van de natuur en kombergingsfunctie bij meerdere polders die in 'tegenfase' met elkaar zijn. Daar waar in het ene gebied de komberging maximaal is (een diepe bodemligging), is in andere gebieden een volgeslibt natuurgebied ontstaan met een minimale komberging. Door het volslibben van de diepe polders gaat zich daar een natuurgebied ontwikkelen, terwijl het volgeslibte natuurgebied dan weer diep kan worden afgegraven. Bij een uitgekiend onderhoud zorgen de polders samen voor een constante waarde aan natuur én komberging.

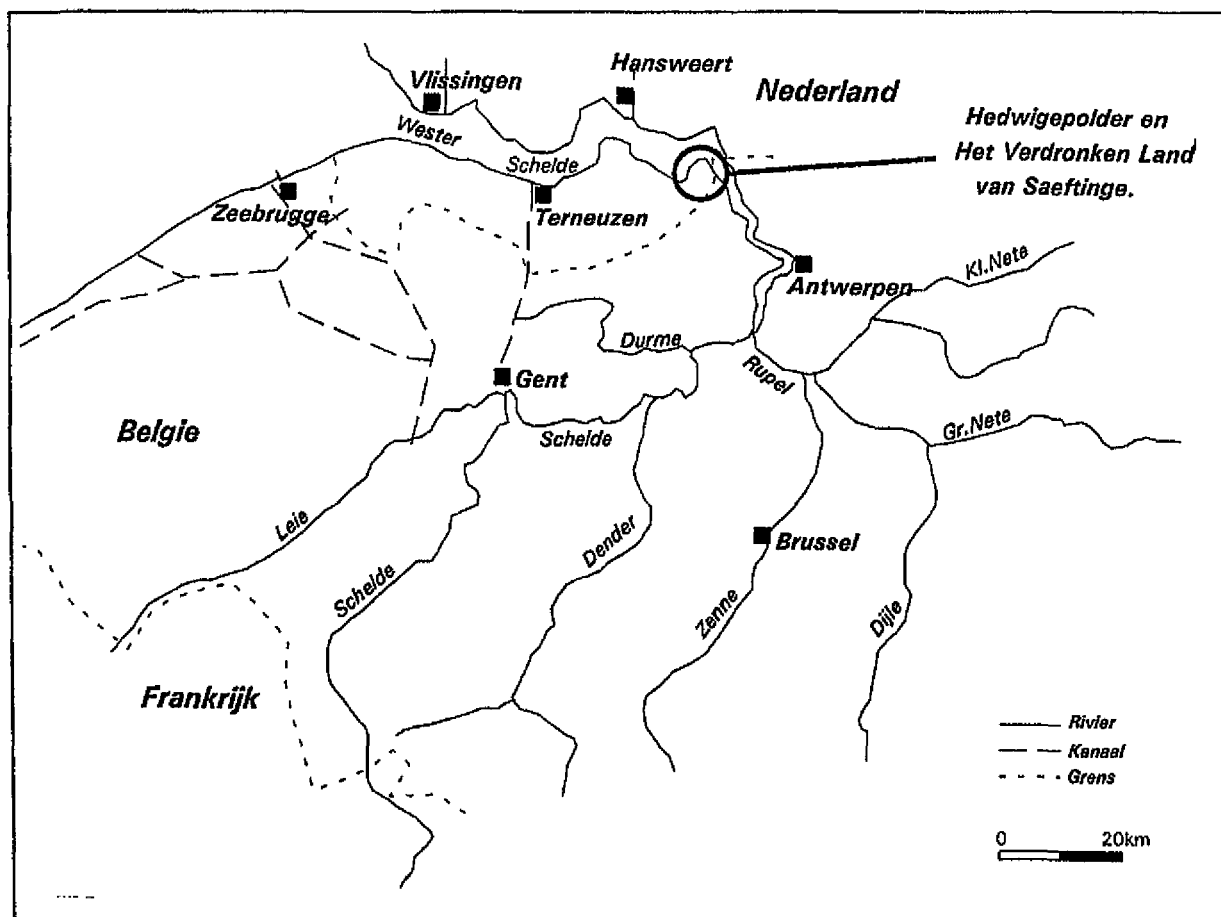
1. INLEIDING.

De Hertogin Hedwige polder, kortweg Hedwigepolder, ligt in Zeeuws-Vlaanderen (Zuid-west Nederland) aan de Westerschelde. Dit rapport behandelt de mogelijkheden van de inrichting ervan indien deze polder weer wordt toegevoegd aan het watersysteem van de Westerschelde. Dit buitendijks brengen (ontpolderen) van een polder kan gunstig zijn voor de hoofdproblemen die het estuarium van de Schelde kent. Deze problemen zijn de grote hoeveelheid baggerwerk die nodig is om de scheepvaartgeulen in de Westerschelde voldoende diep te houden, de achteruitgang van de natuurwaarden in dit gebied in deze eeuw, de toenemende hoogwaterstanden op de Zeeschelde (rondom Antwerpen), de sliboverlast op de Zeeschelde en de vervuilingsgraad van water en bodem in het estuarium. Eerst worden het estuarium, de Hedwigepolder en het langs deze polder gelegen Verdrongen Land van Saeftinge beschreven. Hierna worden de probleemstelling, doelstelling en de aanpak van het afstudeerproject beschreven en de belangrijkste basisgegevens getoond.

1.1. De Westerschelde.

De Westerschelde is het Nederlandse deel van de rivier de Schelde die bij Saint-Quentin in Noord-Frankrijk ontspringt en, via België, na 350 km bij Vlissingen in de Noordzee uitmondt.

Men onderscheidt de Bovenschelde, vanaf de bron tot Gent, de Boven Zeeschelde, vanaf Gent tot Antwerpen, de Beneden Zeeschelde, tussen Antwerpen en de Nederlandse grens, en de Westerschelde tot aan Vlissingen. De Westerschelde heeft een lengte van 55 km. In het totaal heeft de Schelde, inclusief de Westerschelde, een lengte van 350 km en een stroomgebied van ruim 21.000 km², waarvan 1000 km² in Nederland. Op de volgende pagina is het gebied te zien, waarbij de ligging van de Hedwigepolder is aangegeven.

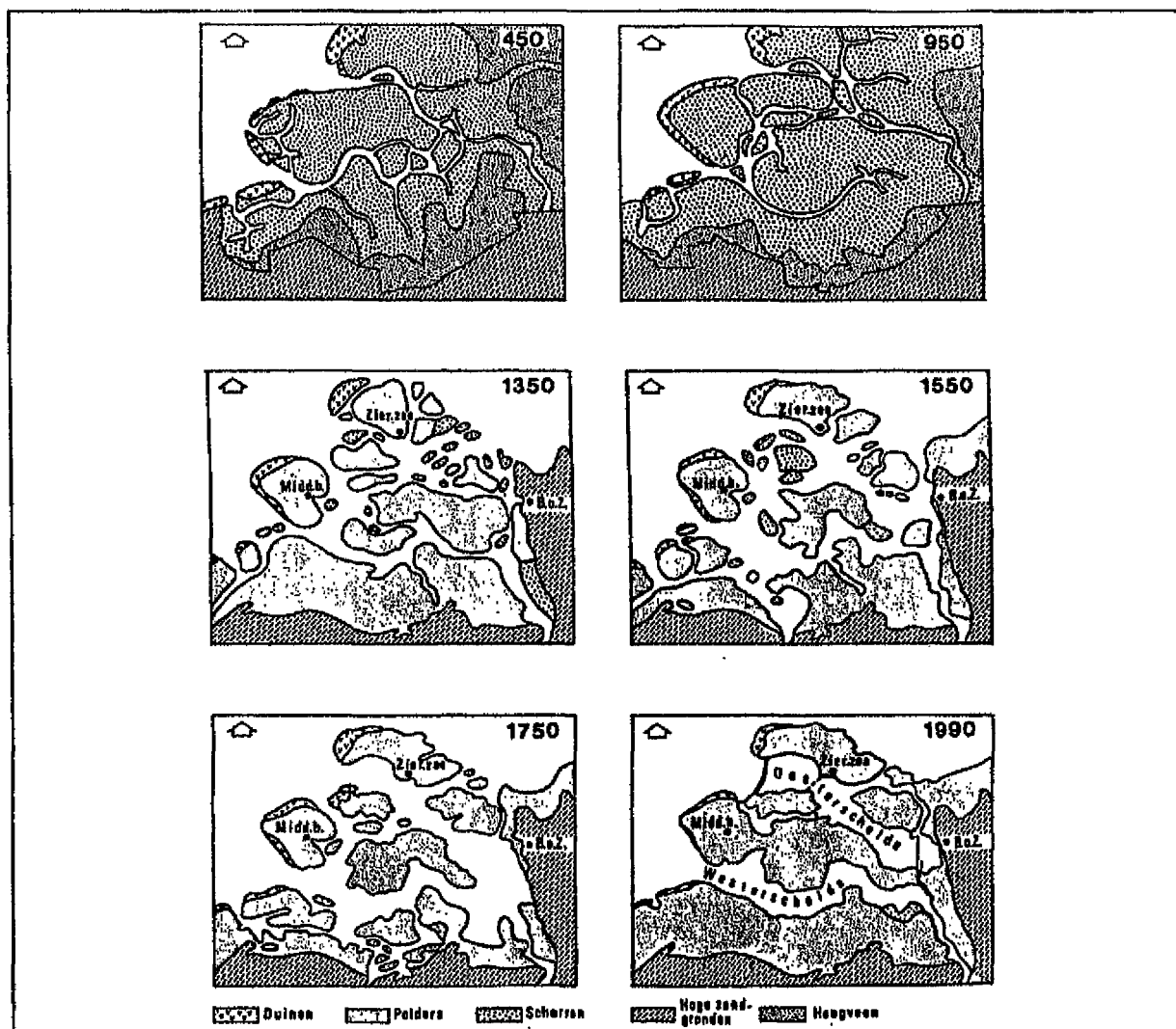


Figuur 1.1.: Ligging van de Schelde in zijn stroomgebied. De ligging van de Hedwigepolder en Saeftinge is ook aangegeven.

1.1.1. Historische ontwikkeling.

In het begin van onze jaartelling was Zeeland met een metersdikke laag hoogveen bedekt, beschermt door strandwallen. Dit hoogveen werd in het oosten en het zuiden begrensd door de hoge zandgronden van Brabant en Vlaanderen. In dit hoogveengebied vormde en verlegde de Schelde steeds haar monding. Vanaf het begin van onze jaartelling vergrootte de zee haar invloed, brak door de strandwallen en kon vrijwel continu heel Zeeland overstromen. Nieuwe lagen klei werden afgezet en Zeeland ontwikkelde zich tot een hoog opgeslibt onbewoonbaar gebied. Hierbinnen was de Schelde nog steeds een betrekkelijk smalle rivier met zijn monding verder noordwaarts dan nu het geval is.

In de 10^e en 11^e eeuw ontstond de eerste bewoning, later gevolgd door de eerste dijken. Na nieuwe overstromingen bouwde men doorgaande ringdijken die de eerste polders in het gebied vormden. De nog smalle Schelde boog voorbij Bergen op Zoom naar het westen en bereikte tussen Schouwen en Walcheren de Noordzee. Op de plaats van de huidige Westerschelde was toen nog een zeearm, de Honte genaamd.



Figuur 1.2.: De ontwikkeling van de delta.

In de 15^e en 16^e eeuw gingen grote delen van Zeeland weer verloren als gevolg van menselijke handelingen als ontwatering van de polders ten behoeve van de landbouw en grootschalige turfafgravingen voor de zoutwinning. Deze activiteiten ondermijnden de

stabiliteit van de dijken en deden het maaiveld zakken. Rond deze tijd werd ook de basis voor de huidige Westerschelde gelegd toen de zeearm de Honte kortsluiting maakte met de Schelde. Ook is in deze tijd door overstroming het Verdrongen Land van Saeftinge ontstaan. In het begin van de 17^e eeuw omvatte de Westerschelde vrijwel geheel huidig Zeeuws-Vlaanderen. Het belang van de Westerschelde als Schelde monding is vanaf dan steeds groter geworden, ten koste van de Oosterschelde.

Vanaf de 17^e eeuw tot nu wordt de ontwikkeling weer beheerst door de invloed van de mens. Omvangrijke inpolderingen, mogelijk gemaakt door de technologische ontwikkelingen, sturen de Westerschelde naar zijn huidige vorm.

Belangrijke mijlpalen hierbij zijn de afdamming van de Kreekrak in 1867 en de aanleg van de Sloedam in 1871 geweest. Hierdoor werd de Westerschelde definitief afgescheiden van de Oosterschelde. Samen met de grote hoeveelheden inpolderingen zorgde dit voor een grote afname van overstroombaar gebied waardoor de hoogwaterstanden toenamen en waarschijnlijk ook de hoeveelheid slib in het water.

1.1.2. Het estuariene ecosysteem.

De monding van de Schelde is tot aan Gent een estuarium. McLusky (1989) definieert een estuarium als volgt:

'A dynamic ecosystem, having a free connection with the open sea through which water enters normally, according to the twice daily rhythm of the tides. The sea water that enters the estuary is then measurably diluted with fresh water, flowing into the estuary from rivers.'

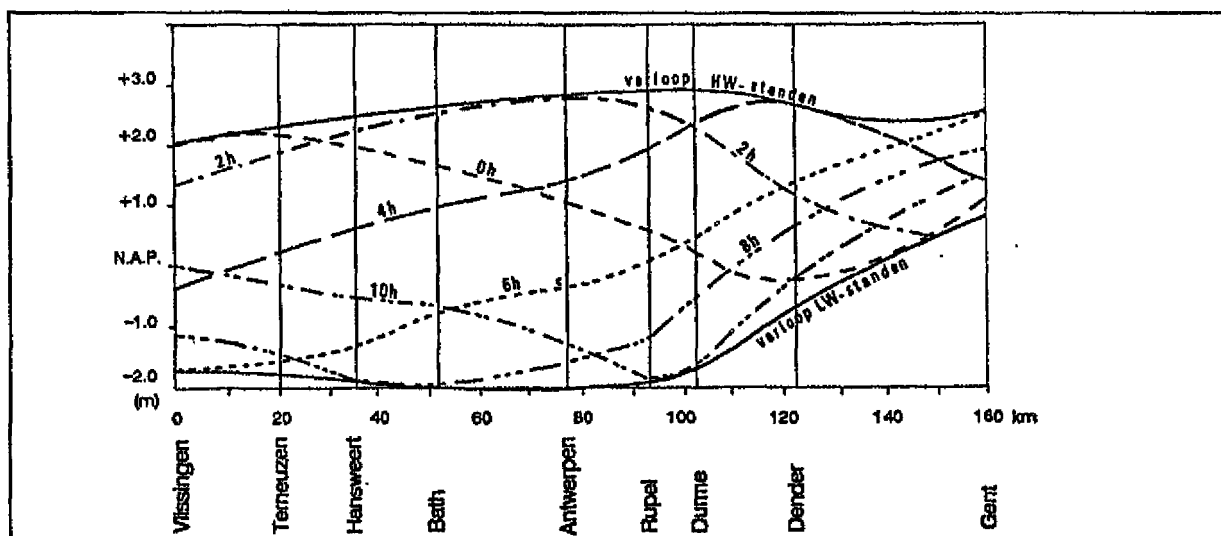
De twee belangrijkste karakteristieken van een estuarium zijn de invloed van het getij en de gradiënt van zoet naar zout water. Deze karakteristieken zorgen voor een speciaal type ecosysteem dat een karakteristiek verloop in horizontale richting langs de zoutgradiënt kent en een karakteristiek vertikaal verloop langs de hoogte (gekenmerkt door een overspoelingsfrequentie en -duur). Naast het specifieke karakter als ecosysteem worden estuaria ook gekenmerkt door een steeds groeiende beïnvloeding door de mens. Dankzij zijn vruchtbare bodems, het gevolg van de eeuwenlange afzetting van klei op bij hoogwater overstroomde delen, en dankzij de mogelijkheden tot transport en vervoer woont tegenwoordig een groot deel van de wereldbevolking rondom estuaria.

Landaanwinning ten behoeve van de landbouw en industrie heeft grote invloed gehad op het fysische systeem van estuaria. De industrie, landbouw en huishoudens hebben de chemische

kwaliteit van water en bodem doen afnemen. Ook de scheepvaartactiviteiten (industrie, watersport, visserij) hebben estuaria beïnvloed, met een achteruitgang van de kwaliteit van het ecosysteem als gevolg.

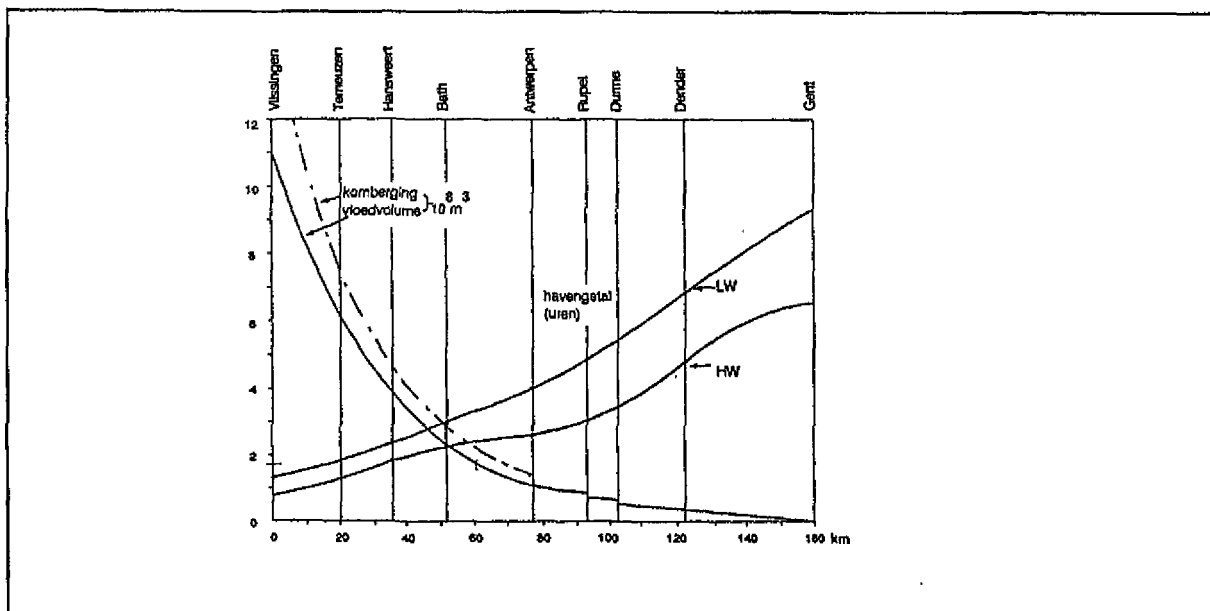
Het water.

Het estuarium van de Schelde loopt vanaf de mond bij Vlissingen tot aan Gent, waar de invloed van het getij door een sluis wordt gestopt. Met het getij passeert tweemaal daags een eb- en vloedvolume van ruim 1 miljard m³ bij Vlissingen. Bij Hansweert is dit 400 miljoen m³, bij Antwerpen nog maar 100 miljoen m³. De getijamplitude (het verschil tussen hoog- en laagwater) loopt op van gemiddeld 3,85 m bij Vlissingen tot 5,15 m bij Antwerpen. Na Antwerpen neemt de amplitude weer af tot aan Gent (2 m). De vloedduur bij Vlissingen bedraagt 5 uur en 55 minuten en neemt af tot 5 uur en 20 minuten in Antwerpen. De ebduur neemt aldus toe van 6 uur en 30 minuten in de mond tot 7 uur en 5 minuten bij Antwerpen (de asymmetrie van het getij).

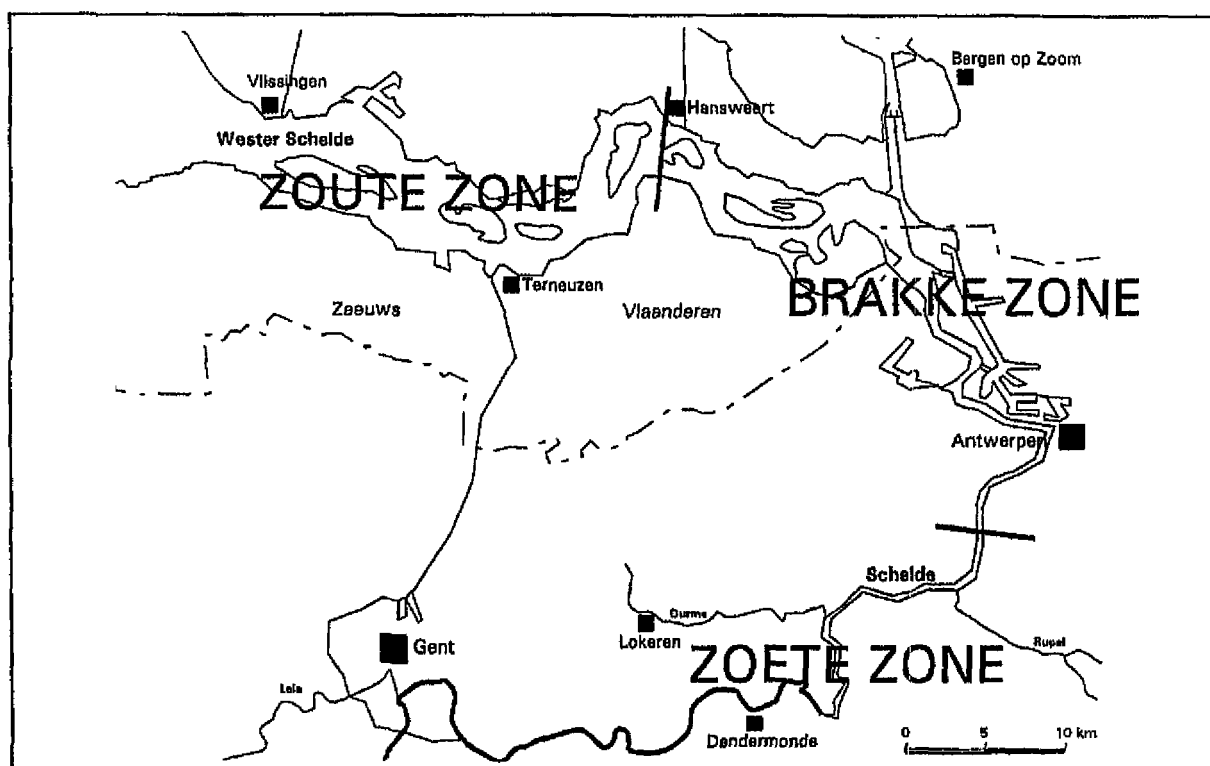


Figuur 1.3.: Verloop waterstanden over de Westerschelde [Pieters et al., 1991].

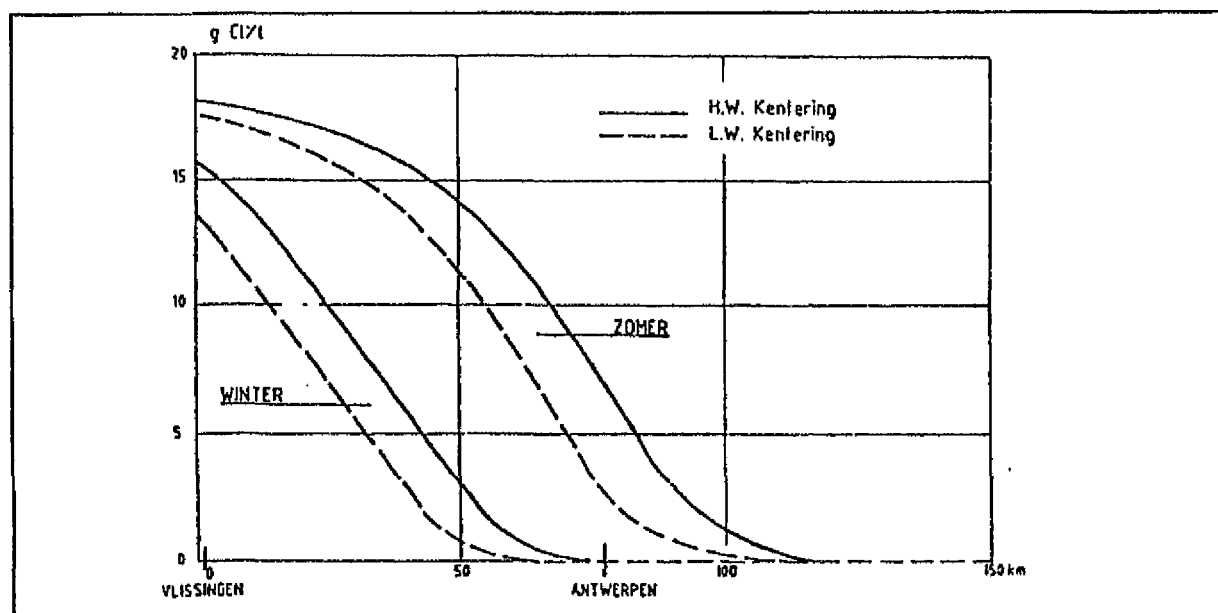
De gemiddelde jaarafvoer van de Schelde bedraagt 120 m³/s of 5 miljoen m³ per getijcyclus en is kwantitatief te verwaarlozen ten opzichte van het getijvolume. In kwalitatief opzicht is zijn invloed groot: Het zorgt voor de karakteristieke gradiënt van zout naar zoet water in het estuarium. In de Westerschelde onderscheidt men een zoute, mariene zone die vanaf Vlissingen tot Terneuzen loopt, een mariene overgangszone tot bij Hansweert, een brakke zone tussen Hansweert en Antwerpen en van daaraf de zoete zone.



Figuur 1.4.: Verloop getijvolume over de Westerschelde [Pieters et al., 1991].



Figuur 1.5a.: De zoutgradiënt vanaf de mariene naar de zoete zone.



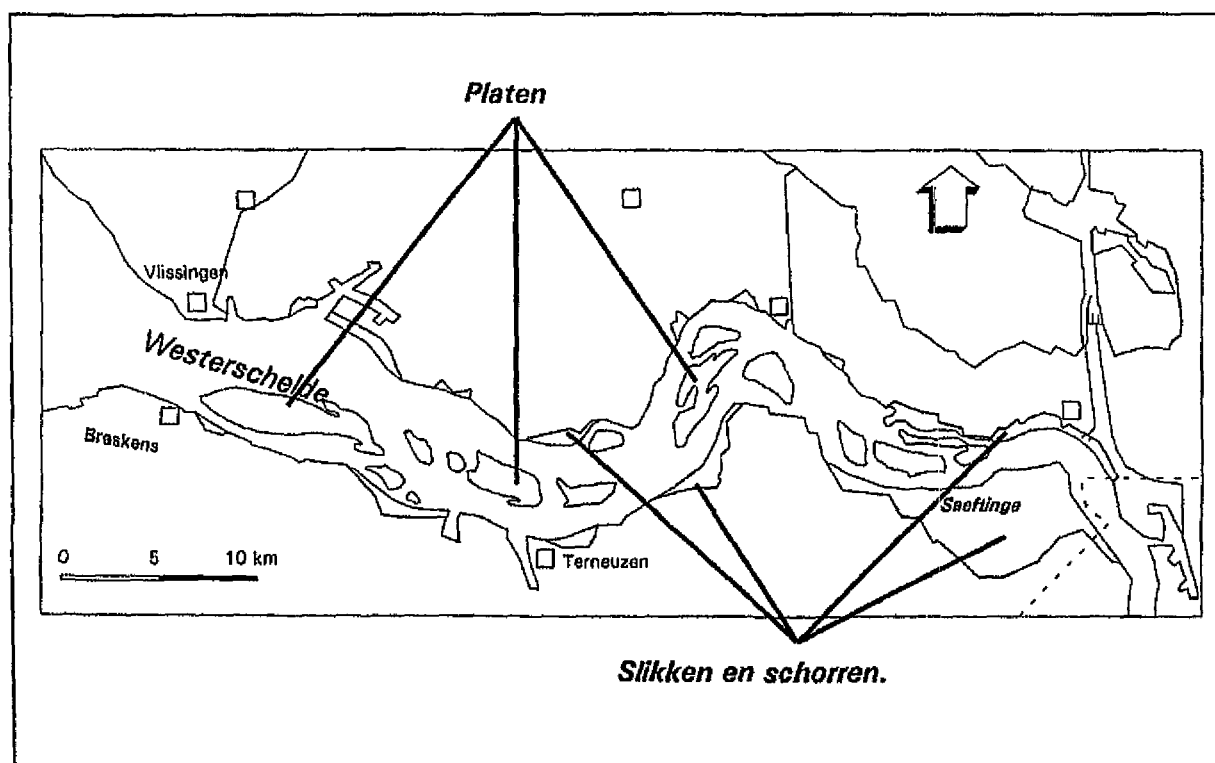
Figuur 1.5b.: Het werkelijke chloridegehalte verloop over de Westerschelde [Claessens, 1988, in Meire et al., 1992].

Het verschil in dichtheid tussen het zoute zeewater en het zoete rivierwater kan tot gevolg hebben dat het lichtere rivierwater over het zeewater wegstroomt. De sterkte van het getij, het meergeulen systeem en andere krachten zoals bijvoorbeeld ten gevolge van de aardrotatie, zorgen ervoor dat complexere stroombeelden in de Westerschelde ontstaan. Hierdoor zijn in de Westerschelde zoet en zout water goed gemengd.

De ruimtelijke structuur.

De Westerschelde bestaat uit één, min of meer doorgaande, hoofdgeul en nevengeulen, waar-tussen en omheen zich de zogenaamde intertijdegebieden bevinden. Deze intertijdegebieden bestaan uit platen, slikken en schorren die afhankelijk van het getij droogvallen.

Tussen de geulen liggen de platen. Dit zijn zanderige verhogingen die bij eb droogvallen. Op de platen van Valkenisse wordt zelfs enige begroeing met voornamelijk Engels slijkgras aangetroffen. Het voorland tussen de dijken en de geulen bestaat uit slikken en schorren. Slikken bestaan uit verhogingen die bij eb droogvallen. Slikken evolueren, door sediment afzetting en het ontstaan van begroeing, in de hoger gelegen schorren. Men onderscheidt zoet-, brak-, en zoutwater schorren, wat in hun typische vegetatie tot uitdrukking komt. Daar waar de geulen hoofdzakelijk een waterdoorvoerende functie hebben bezitten platen, slikken en schorren (naast een ecologische- en slibbergende functie) voornamelijk een waterbergende functie.



Figuur 1.6. De platen, slikken en schorren in de Westerschelde.

Slib, zand en scheepvaart.

Een typisch kenmerk van een estuarium wordt veroorzaakt door slib. Onder slib worden in het algemeen deeltjes kleiner dan $63 \mu\text{m}$ verstaan, hoewel ook de grens van $53 \mu\text{m}$ wordt gebruikt. Slib bestaat uit een organisch deel, meestal afkomstig uit industriële of huishoudelijke lozingen, en een anorganisch deel, vaak het gevolg van erosie. Doordat het door de rivier aangevoerde slib (fluviaal slib) in een estuarium in contact komt met hogere zoutconcentraties ontstaan er processen die de slibdeeltjes doen samenklonteren (het flocculatieproces). Naast andere complexe processen ontstaat hierdoor in het estuarium een maximum in de slibconcentratie, het zogenaamde troebelheidsmaximum. In het Schelde estuarium ligt dit maximum nabij Antwerpen. Ook vanaf de Noordzee wordt slib (marin slib) het estuarium binnengevoerd. Door de hoge dynamiek in het estuarium sedimenteert er maar weinig slib in de geulen. Echter op de intertijdsgebieden, waar zwakkere stromingen optreden, sedimenteert veel slib.

Slib is in het ecosysteem zeer belangrijk als voedingsbodem voor vele organismen. Ook is slib de drager van de meeste verontreinigingen in een estuarium. Door de afname van de

hoeveelheid intertijdegebieden door inpolderingen kan er steeds minder slib in deze gebieden sedimenteren. Dit heeft tot gevolg dat steeds meer slib in het water zelf gesuspendeerd blijft waardoor minder licht in het water kan doordringen (bijvoorbeeld nadelig voor de energieopname van fytoplankton) en waardoor in havens en haventoeegangen sliboverlast ontstaat.

Ook het zand is een probleem geworden in de Westerschelde. Een van de belangrijkste functies van de Westerschelde is de scheepvaartfunctie, vooral voor de zeehaven Antwerpen. Deze scheepvaart vereist een vaargeul met een minimaal benodigde diepte. Op de overgangen tussen de bochten in de hoofdgeul (de vaargeul) sedimenteert een grote hoeveelheid zand. Dit zand vormt drempels die obstakels voor de scheepvaart vormen. Daarom wordt er in de Westerschelde continu op deze drempels gebaggerd om een minimale vaardiepte te handhaven. Het opgebaggerde materiaal wordt elders in de Westerschelde weer gestort. Het probleem hierbij is dat deze drempels, in verband met de het verloop van de waterdiepte, hoofdzakelijk in het oostelijke deel van de Westerschelde (ten oosten van Hansweert) moeten worden weggebaggerd. Hier bevat het opgebaggerde materiaal verontreinigd slib dat zich tussen het zand heeft afgezet. Omdat het beleid erop gericht is deze baggerspecie niet in het relatief schone gedeelte ten westen van Hansweert te storten en omdat alternatieve stortlocaties nog niet voorhanden zijn, wordt de opgebaggerde specie terug in het oostelijke deel van de Westerschelde gestort. Dit heeft tot gevolg dat deze gestorte specie snel weer op de drempels sedimenteert. Het zand wordt in feite in het oostelijke deel over korte afstanden kunstmatig rondgepompt.

De vervuiling.

De vervuilingen in de Westerschelde zijn voornamelijk aan slibdeeltjes gebonden, gesuspendeerd en op de bodem. Deze verontreinigingen zijn het gevolg van de vele industriële, huishoudelijke en agrarische bronnen in het stroomgebied van de Schelde en zorgen er bijvoorbeeld voor dat 's zomers in grote delen van de rivier ten gevolge van organische belasting vaak geen zuurstof in het water kan worden aangetoond. De verontreinigingen kunnen opgelost zijn in het water of particulier gebonden aan slibdeeltjes. Deze binding aan slibdeeltjes zorgt ervoor dat bij sedimentatie van de slibdeeltjes ook de bodem vervuild raakt. Er zijn schattingen dat, na het saneren van de meeste vervuiliingsbronnen van de Schelde, de bodem nog vele jaren vervuilingen nalevert (in [Ten Brinke, 1992] wordt een termijn van zeker 30 jaar genoemd). Ook op de intertijdegebieden, waar het meeste slib sedimenteert, ontstaan vervuilde bodems. Zo zijn in gewassen als zeekraal en lamsoor op Het Verdrongen Land van Saeftinge die vroeger door de bevolking werd gegeten, concentraties van zware metalen aangetroffen die hoger zijn als de wettelijke norm voor spinazie.

Planten en dieren.

Ecosystemen zoals in de Westerschelde, met nog een volledige zout-zoet gradiënt, zijn zeldzaam geworden, zeker in West-Europa. Hier geldt het Schelde-estuarium als laatste volledige estuariene ecosysteem. Het ecosysteem wordt gekenmerkt door een verloop in fysische factoren waardoor een karakteristiek patroon van organismen ontstaat. Bepalende factoren zijn de oppervlakten aan verschillende dieptezones (gekenmerkt door een bepaalde overstromingsfrequentie en -duur), het zoutgehalte (met een minimum aan soorten in de brakke zone), de troebelheid van het water (bepalend voor de lichtdoordringing in het water en dus voor de primaire biomassa-productie door phytoplankton), de zuurstofhuishouding (bepaald door de organische belasting), de dynamiek (gekenmerkt door de waterbeweging, de stroomsnelheden en golven) en hiermee samenhangend erosie, sedimentatie en de sedimentkarakteristieken.

In een estuarien ecosysteem nemen de grotere bodemdieren (het macrozoöbenthos) een centrale plaats in in het voedselweb; Ze zijn de primaire consumenten van lagere trofische nivo's (detritus, algen, plankton en micro- en meiobenthos) en dienen als voedsel voor hogere trofische nivo's (vissen en vogels). De ecologische waarde van intertijdsgebieden en ondiep water gebieden wordt dan ook in belangrijke mate bepaald door de diversiteit en biomassa van de bodemdieren. Het macrozoöbenthos bestaat uit weekdieren, kreeftachtigen en wormen. Vergeleken met gebieden als de Waddenzee en Oosterschelde wordt de Westerschelde gekenmerkt door een lage soortendiversiteit en biomassa.

Voor vogels is het Westerschelde gebied een internationaal belangrijk verblijfs- en doortrekgebied. Voor 20 soorten verblijft meer dan 1 % van de Noordwesteuropese populatie in de Westerschelde. Dit belang geldt voor steltlopers, waarvan de verspreiding afhankelijk is van het voorkomen van voedsel (bodemdieren) en daarmee van het substraat (de bodemsamenstelling) en voor eenden en ganzen, waarvoor de Westerschelde een functie als voedsel-, rust- en overwinteringsgebied vervult. Vogels als kluten en meeuwen gebruiken de Westerschelde als broedplaats.

Voor vissen vormen de ondiepe kustgebieden, zoals estuaria, een belangrijk gebied als paaien en kinderkamer. Daar waar de Westerschelde in de vorige eeuw circa vijftien vissershavens kende, heeft momenteel alleen de visserij op kokkels en garnalen enige betekenis. Infrastructurele werken en de vervuiling hebben de visstand sterk achteruit doen gaan. Zo zijn trekvisserijen (zgn. anadrome vissen) die om te paren vanuit zee de rivier opzwellen, geheel verdwenen in het estuarium. Vissen als bot, schol, tong en garnalen zijn in het gebied het meest talrijk overgebleven.

In een estuarium onderscheidt men twee verschillende schakels in de voedselketen, de 'fyto-plankton food-chain' en de 'detritus food-chain'. Hierbij is in de fyto-plankton food-chain het fyto-plankton als primaire producent van organisch materiaal het basisvoedsel voor de primaire consumenten (vooral de bodemdieren). Bij de detritus food-chain is organisch afval (detritus) de voedselbasis van de primaire consumenten.

Omdat de Westerschelde wordt gekenmerkt door een hoog gehalte aan zwevend materiaal (en dus een hoge troebelheid van het water) is de primaire produktie laag. Hierdoor is in de Westerschelde de detritus food-chain de overheersende schakel in de voedselketen, waarbij schorren een belangrijke leverancier zijn van het detritus.

Schorren.

In een estuarien ecosysteem als de Westerschelde vormen schorren een belangrijk onderdeel. Ze dienen als voedselbron voor ganzen en eenden, rustplaats voor diverse vogels en zijn een belangrijke producent en leverancier van detritus afval. In de variatie van de schorvegetatie (zowel horizontaal als vertikaal) zijn de estuariene gradiënten het duidelijkst zichtbaar. Sinds 1800 is zo'n 15.000 ha aan schorgebied door inpolderingen verdwenen. In de laatste decennia is het areaal van 6.000 ha aan schorren nog eens gehalveerd. Naast hun ecologische functie zijn schorren van belang voor de hoogwater- en slibberging.

1.1.3. Beleid.

Sinds de V.N.-commissie Brundtland in haar rapport 'Our common future' (1987) de term duurzame ontwikkeling formuleerde als basis voor toekomstige economische en ecologische ontwikkelingen is Nederland overspoeld door het gebruik hiervan. Het begrip diende als basis voor het Nationaal Milieubeleidsplan en is sindsdien in talloze andere studies als ondergrond gebruikt. Ook de Derde Nota Waterhuishouding is een uitwerking van dit begrip. Hier werd het begrip als volgt omschreven:

Het hebben en houden van een veilig bewoonbaar land als primaire randvoorwaarde en het ontwikkelen en instandhouden van gezonde waterhuishoudkundige systemen, die een duurzaam gebruik garanderen.

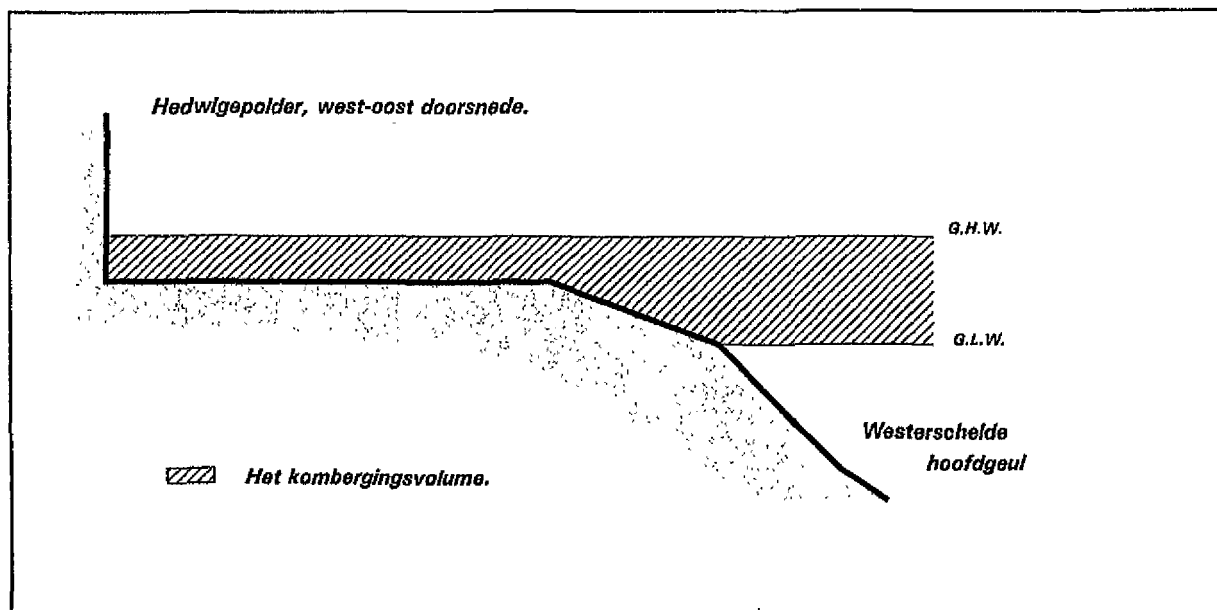
Onder invloed van deze Derde Nota Waterhuishouding is eind jaren tachtig een beleidsplan voor de Westerschelde opgesteld dat in 1992 is vastgesteld. Hierin worden als twee belang-

rijkste oorzaken van de achteruitgang van de ecologische potenties van het systeem de fysische structuur (als gevolg van inpolderen, baggeren en storten) en de water- en bodemvervuiling (als gevolg van lozingen) gezien. De oplossing voor verbetering van de water- en bodemkwaliteit lag voor de hand, die voor het verbeteren van de fysische structuur minder. Daarom werd aan Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren gevraagd hierna een studie te doen. Deze pilotstudie, het OOSTWEST-project, resulteerde in een aantal oplossingsrichtingen en -alternatieven [Pieters et al., 1991]. Als een belangrijke bijdrage tot de verbetering van de fysische structuur wordt hierin het aan het watersysteem teruggeven van polders (ontpolderen) genoemd. Hiermee kan onder andere de komberging van het gebied worden vergroot (gunstig voor de natuurlijke diepte van de geulen), de hoogwaterberging worden vergroot en er kan zich een natuur- en slibsedimentatiegebied in ontwikkelen.

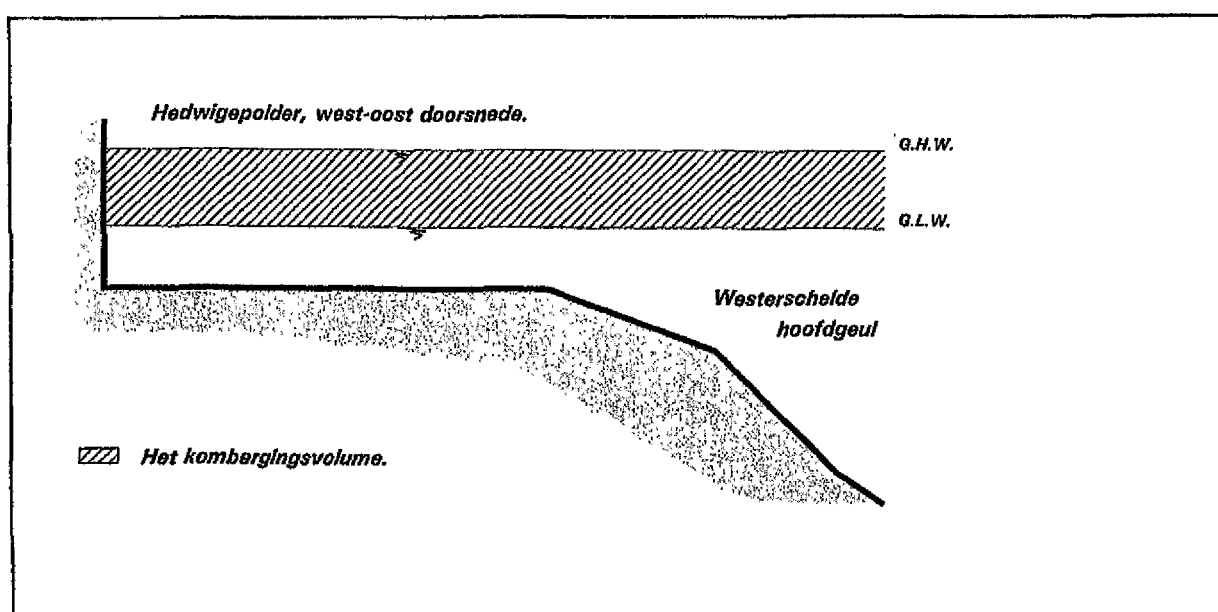
Komberging en baggeren.

Naast natuurontwikkeling, slibhuishouding en hoogwaterberging is komberging een belangrijk begrip bij het ontpolderen. Onder komberging verstaat men het volume water dat in een watersysteem tussen de hoog- en laagwaterlijn kan worden geborgen (zie figuren op de volgende pagina). Deze komberging geeft de maximale waarde die het getijvolume kan aannemen. Met andere woorden hoe groter het gebied dat door de Westerschelde en Schelde bij hoogwater wordt overstroomd, hoe groter het getijvolume en dus hoe meer water per getij door de benedenstroomse geulen moet stromen. Omdat de hoeveelheid water die door een geul stroomt, bepalend is voor de diepte van de geul, kan gesteld worden dat de komberging van een gebied een maat is voor de geuldiepte in dat gebied. Men verwacht daarom dat door het ontpolderen van gebieden de geulen in de Westerschelde op een natuurlijke wijze verdiepen en zo de benodigde hoeveelheid baggerwerk vermindert.

Er bestaan bij de Dienst Getijdewateren al enkele ideeën over polders die aan het systeem kunnen worden teruggegeven. Zo is de Selenapolder die in 1990 tijdens een zware storm is overstroomd, bewust niet meer opnieuw ingepolderd en denkt men aan de daarlangs gelegen Hedwigepolder en aan de zogenaamde potpolders in België. Deze potpolders zijn polders die gebruikt worden om extreme hoogwaters op de Schelde op te vangen. Ze overstromen slechts enkele malen per jaar over een verlaagd deel van de dijk.



Figuur 1.7a.: De komberging indien de polderbodem hoger dan G.L.W. ligt.



Figuur 1.7b.: De komberging indien de polderbodem lager dan G.L.W. ligt.

Andere plannen.

Andere plannen die nog grote invloed op de structuur van de Westerschelde kunnen gaan uitoefenen, zijn het Sigmaplan, het Verdiepingsplan 48'/43' en de Westerschelde oeververbinding. Het Sigmaplan is de Belgische variant op het Deltaplan en moet de veiligheid van het gebied rondom de Schelde tegen overstromingen waarborgen. Men maakt hierbij gebruik van dijkverzwaringen, potpolders en een stormvloedkering nabij Antwerpen. Het Verdiepingsplan voorziet in een verdere verdieping van de vaargeul waardoor grotere schepen Antwerpen binnen één getij kunnen bereiken. Het laatste plan omvat ontwerpen voor een vaste oeververbinding (brug, tunnel of combinatie) tussen Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen.

Samenvattend.

De belangrijkste functies van de Westerschelde zijn de waterafvoer en de scheepvaart. De laatste jaren is overal het besef gegroeid dat ook de natuurfunctie van het Schelde estuarium zeer belangrijk is. Het 'unieke' van de ideeën tot ontpolderen is dat een het voordeel voor zowel de scheepvaart als de natuur samengaat. Bij het ontpolderen gaan ecologie en economie hand in hand.

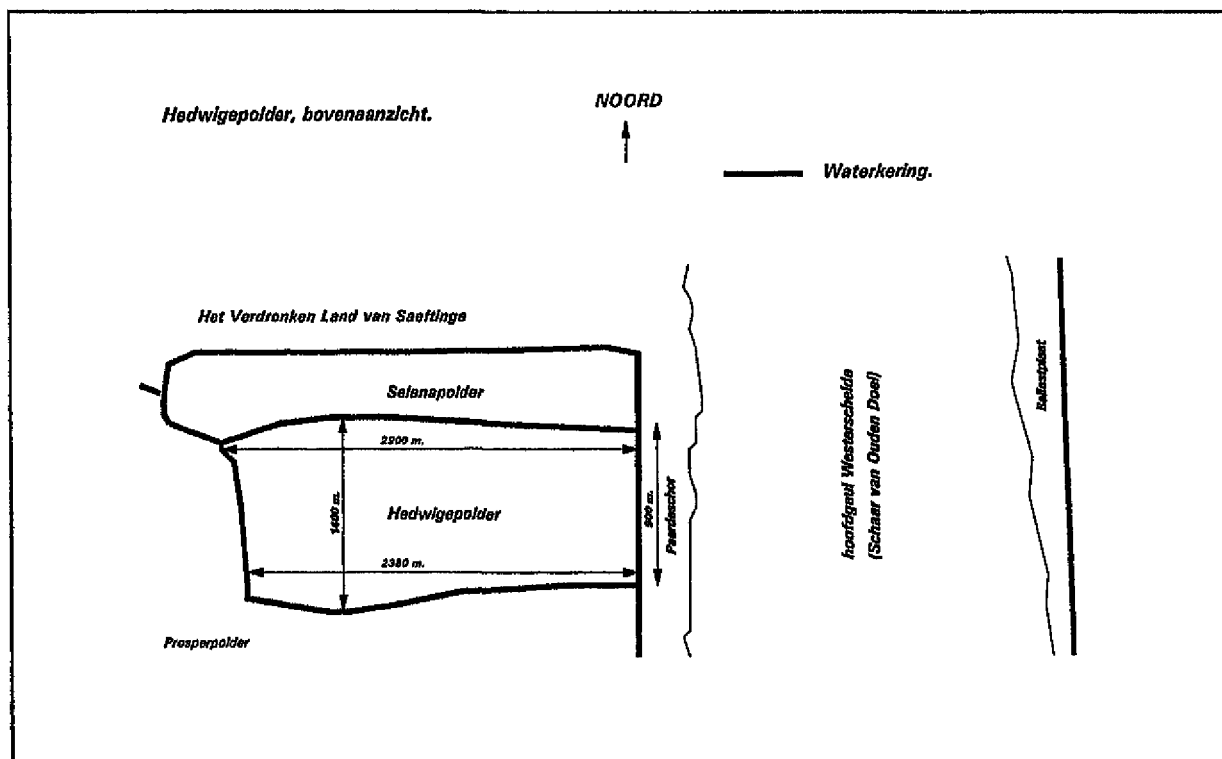
1.2. De Hedwigepolder.

Het gebied dat in deze studie centraal staat wordt hieronder beschreven. Tevens wordt het nabij gelegen en als voorbeeld dienende slikken- en schorregebied Het Verdrongen Land van Saeftinge behandeld.

1.2.1. Beschrijving.

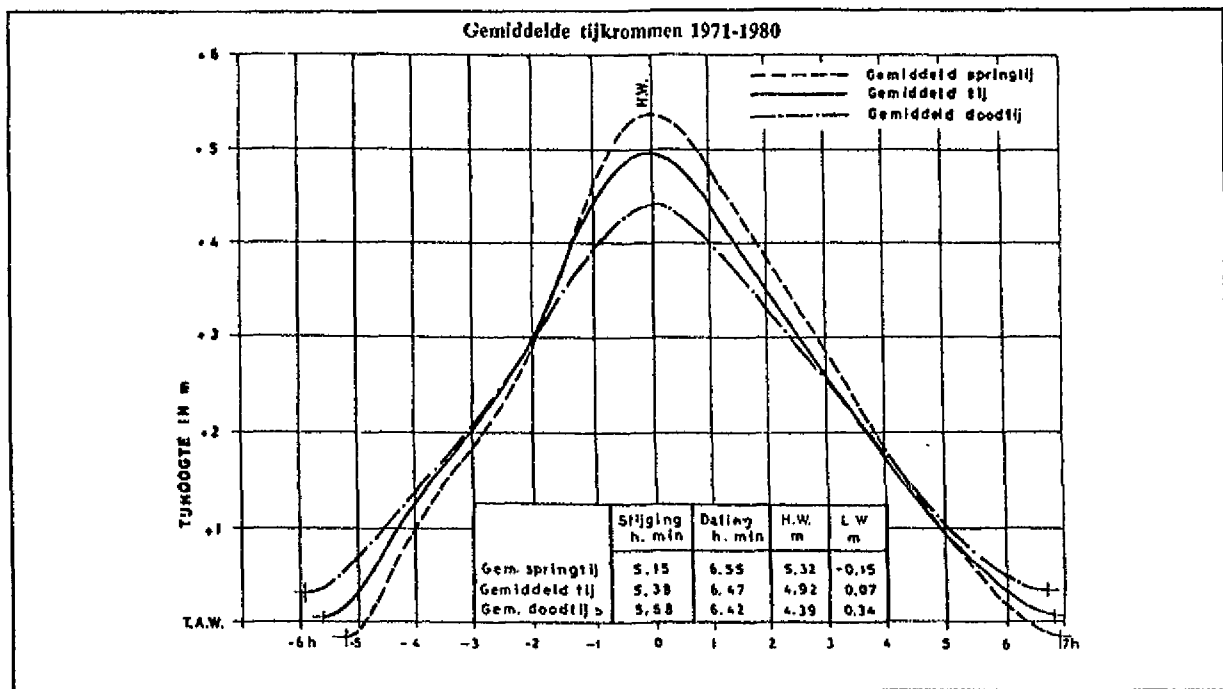
In 1907 is de laatste inpoldering verricht in het gebied dat tijdens de Allerheiligenvloed van 1570 is overstroomd. Deze polder is genoemd naar de vrouw van de toenmalige eigenaar van het gebied, Hertogin Hedwige van Arenberg. Momenteel is een belgische baggeraar eigenaar van de polder.

De polder van 310 ha ligt voor een klein deel in België en omvat enkele boerderijen, een fazantenkwekerij en een spuisluis. De polder kent een zelfstandig afwateringssysteem; Er slaan geen andere polders via de Hedwigepolder hun overtollige water uit. Buitendijks voor de Hedwigepolder ligt een klein stuk schor, het Paardeschor, van zo'n 30 ha.



Figuur 1.8.: De Hedwigepolder.

De Westerschelde kent voor de Hedwigepolder de volgende hydraulische karakteristieken;

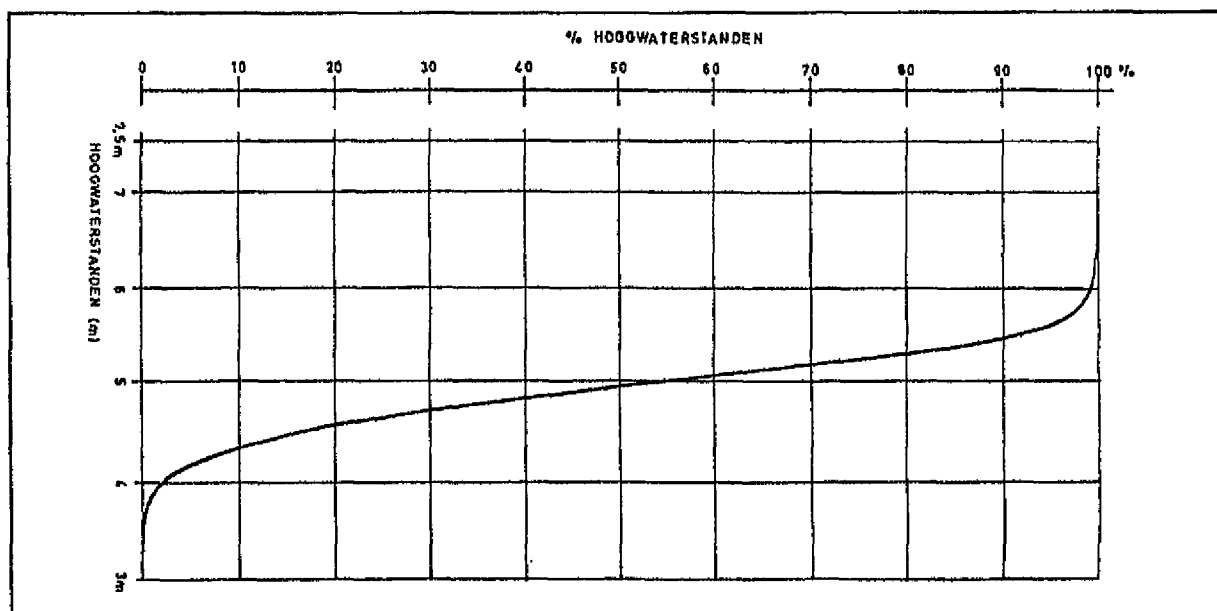


Figuur 1.9.: Gemiddelde waterstandskromme voor de Hedwigepolder (Prosperpolder), [Claessens, 1984]. De peilen zijn ten opzichte van T.A.W.-nivo aangegeven (T.A.W. = N.A.P.-2,33 m).

In de studie zijn voor de Hedwigepolder de volgende waterstanden (ten opzichte van N.A.P.) aangehouden:

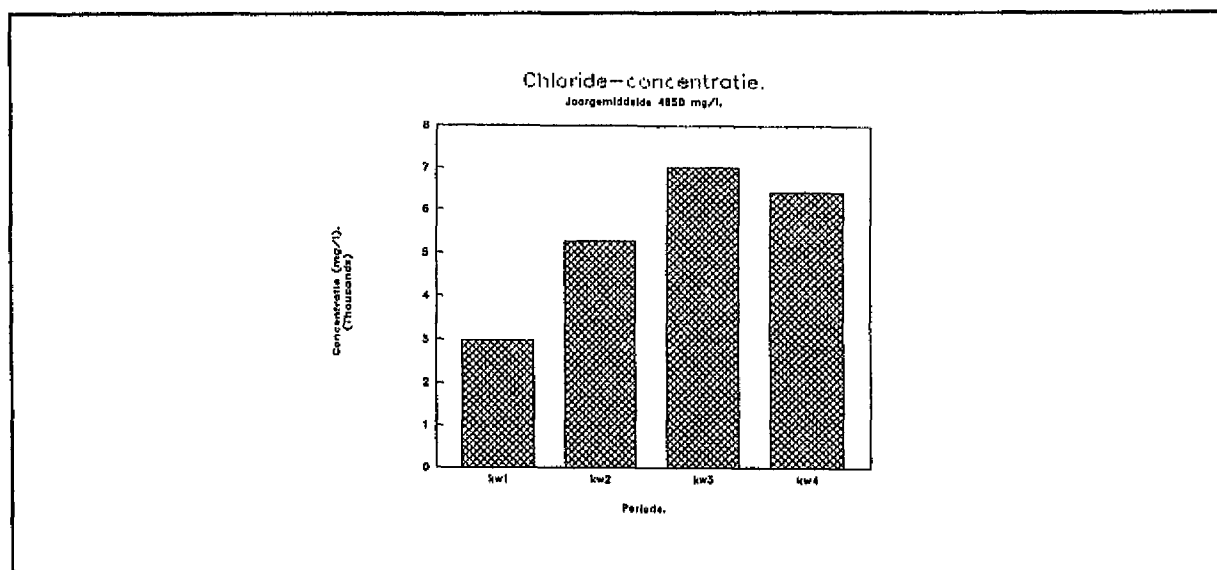
G.L.W.S., Gemiddeld Laag Water Springtij	: - 2,50 m.
G.L.W., Gemiddeld Laag Water	: - 2,40 m.
G.H.W., Gemiddeld Hoog Water	: + 2,70 m.
G.H.W.S., Gemiddeld Hoog Water Springtij	: + 2,90 m.

In de studie is de Hedwigepolder geschematiseerd tot een rechthoekige polder van 1100 m bij 2820 m met een breedte van de aan de Westerschelde liggende hoofdwaterkering van 900 m.

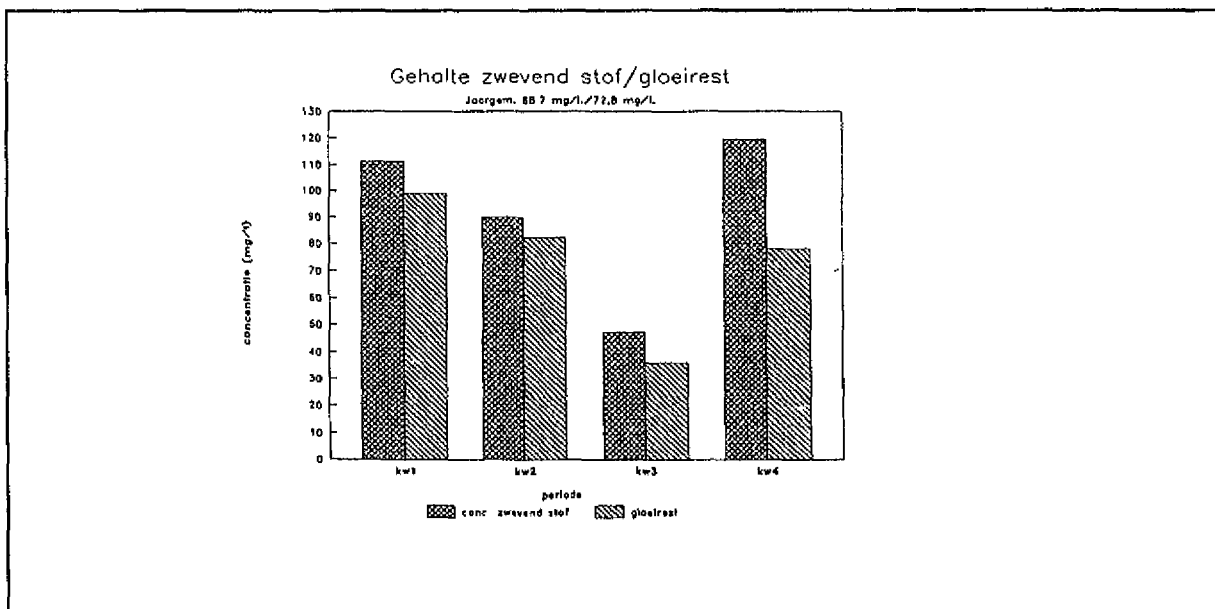


Figuur 1.10.: De overschrijdingen van hoogwaters voor de Hedwigepolder (Prosperpolder), [Claessens, 1984]. De peilen zijn ten opzichte van T.A.W.-nivo aangegeven (T.A.W. = N.A.P. -2,33 m).

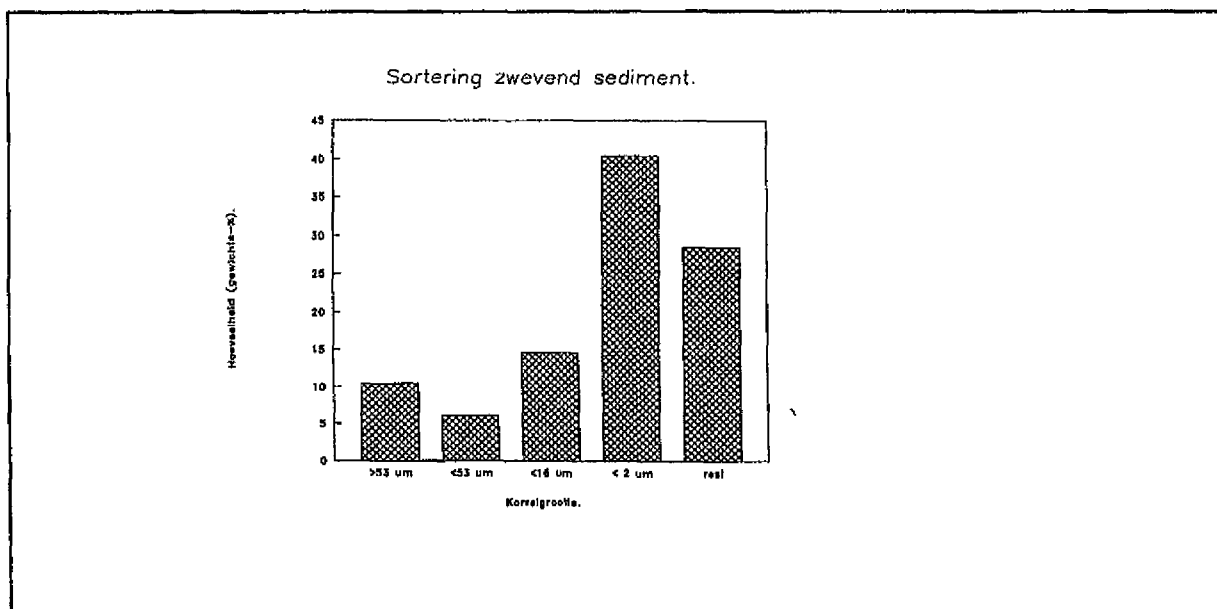
Enkele andere belangrijke gegevens voor de Hedwigepolder zijn;



Figuur 1.11.: Het verloop van het chloridegehalte voor de Hedwigepolder (Schaar van Ouden Doel) over één jaar [DGW, Waterkwaliteitsgegevens 1989, 1990, 1991].



Figuur 1.12.: Het verloop van het zwevend stof gehalte en de gloeirest voor de Hedwigepolder (Schaar van Ouden Doel) over één jaar [DGW, Waterkwaliteitsgegevens 1989, 1990, 1991]. De gloeirest geeft de hoeveelheid anorganisch materiaal in het zwevend stof.



Figuur 1.13.: De korrelgrootteverdeling van het sediment voor de Hedwigepolder [Metingen DGW, 1987/1988].

1.2.2. Mogelijke invloed op het watersysteem.

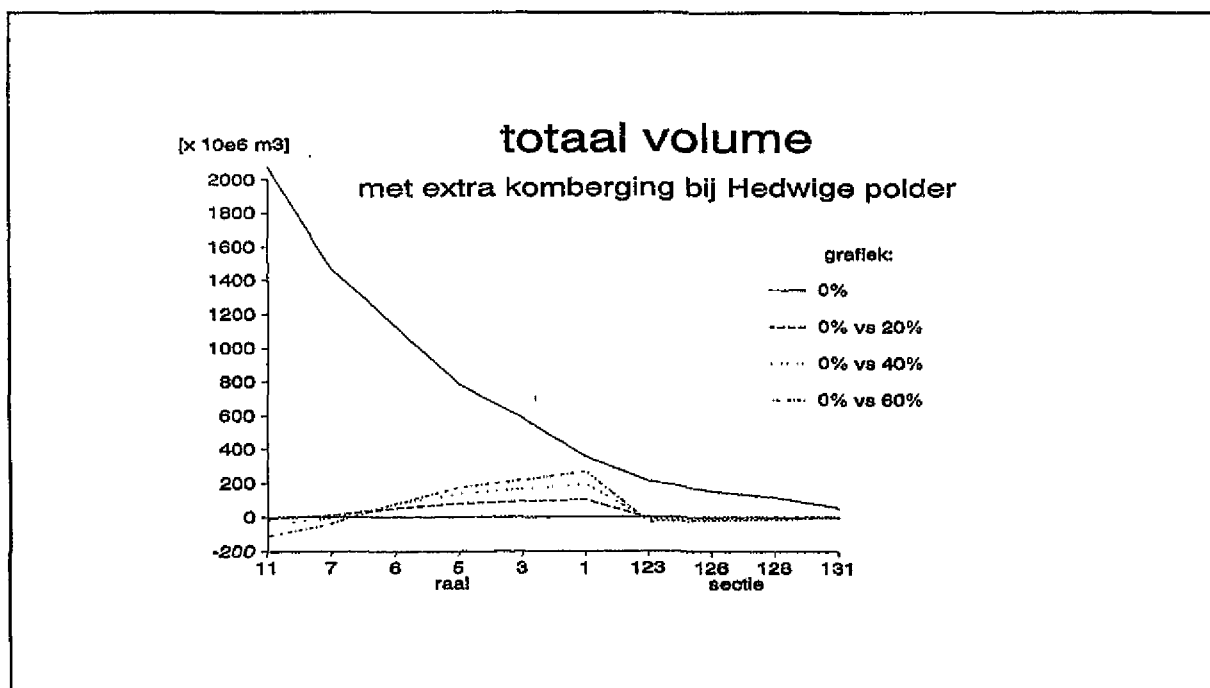
Het ontpolderen van de Hedwigepolder kan op diverse gebieden invloed op het systeem van de Westerschelde hebben. Zo kan de ontwikkeling van een natuurgebied het areaal aan slik en schor in de Westerschelde vergroten en zo de ecologische betekenis van het gebied versterken. Ook kan het gebied als slibsedimentatiegebied de slibconcentraties misschien verminderen en een deel van de verontreinigingen, gebonden aan slib, uit het systeem halen. Deze mogelijkheden zijn nog niet onderzocht en worden in deze studie bekeken.

In een studie [Karman en Kik, 1993] die parallel aan deze is uitgevoerd, is de invloed van het ontpolderen van diverse polders (waaronder de Hedwigepolder) op de waterstanden en de getijvolumina in het Schelde-estuarium onderzocht. [Karman en Kik, 1993] nemen aan dat de baggerintensiteit verminderd wordt door beïnvloeding van de volgende parameters:

- Vergroting van het getijvolume waardoor een natuurlijk diepere vaargeul ontstaat.
- Vermindering van de getijasymmetrie hetgeen een vermindering van de netto sediment import vanuit de Noordzee moet opleveren.

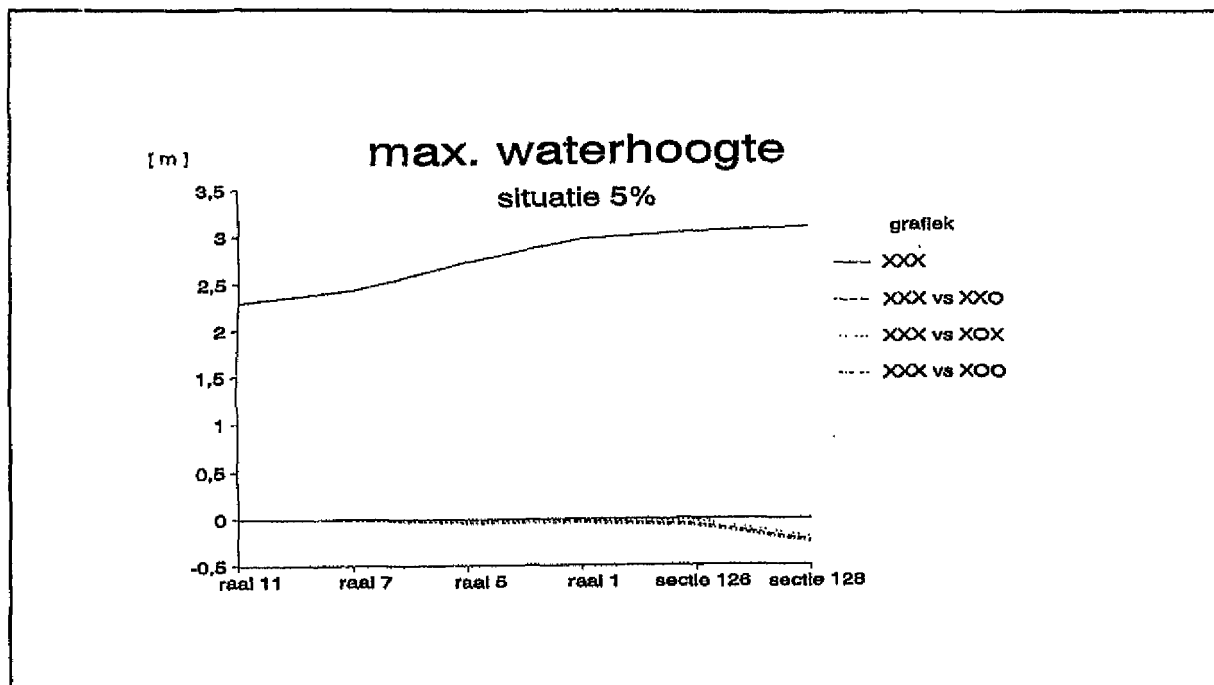
Er worden in deze studie drie locaties onderzocht: de Braakman bij Terneuzen, de Hedwigepolder en een polder bij Kruibeke (stroomopwaarts van Antwerpen). Het blijkt dat voor het verminderen van de baggerintensiteiten in het oostelijke deel van de Westerschelde, het probleemgebied, ontpolderen van de Hedwigepolder het meeste invloed heeft. In de figuur 1.14. is de invloed van het vergroten van de komberging ter plaatse van de Hedwigepolder met resp. 20%, 40% en 60% op het getijvolumeverloop over de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde gegeven. 0% staat voor de huidige situatie, raai 11 ligt bij Vlissingen, raai 1 bij de Hedwigepolder en de secties 123, 126, 128 en 131 stroomopwaarts in België. De hydraulische effecten van het ontpolderen van de Hedwigepolder zijn:

- Een toename van de getijvolumes stroomopwaarts vanaf de monding tot voorbij de grens. Stroomopwaarts vanaf de grens (vanaf sectie 123) is er een afname van de volumes (zie figuur 1.14.).
- De stroomsnelheden nemen in de Westerschelde toe, vooral de vloedstroomsnelheden. Op de Zeeschelde is er juist een geringe afname.
- Afname van de vloedduur en toename van de ebduur over de gehele Schelde; De getijasymmetrie neemt toe.
- Afname van de getijamplitude over het gehele estuarium met een maximum bij Bath.



Figuur 1.14.: De verandering van het getijvolume in de Westerschelde door ontpolderen van de Hedwigepolder [Karman en Kik, 1993].

Ook is in deze studie de afname van de hoogwaterstanden door ontpolderen onderzocht. In België is men nog bezig met het voltooiën van het Sigma-plan ('het Belgische Deltaplan'). Dit plan gaat, naast dijkverhogingen, uit van het verlagen van de hoogwaterstanden, vooral rondom Antwerpen. Uit de studie [Karman en Kik, 1993] blijkt de polder nabij Kruibeke de gunstigste invloed te hebben op de hoogwaterstanden nabij Antwerpen. Zij onderzoeken daarom een 'ideale' situatie waarbij zowel de polder bij Kruibeke als de Hedwigepolder worden ontpolderd om zo zowel voor de getijvolumina als de hoogwaterstanden een maximaal mogelijke invloed te veroorzaken. Bij deze 'ideale' situatie nemen de getijvolumes tot voorbij Antwerpen toe en de waterstanden bij Antwerpen af. In figuur 1.15. is zowel de invloed op de waterstanden van de Hedwigepolder alleen als de invloed van een 'ideale' situatie gegeven. In de figuur staat xxx voor de huidige situatie, xxo voor een situatie waarin alleen de polder bij Kruibeke wordt ontpolderd, xox is de situatie met alleen de Hedwigepolder ontpolderd en xoo de 'ideale' situatie waarin beide polders zijn toegevoegd als overstromingsgebied. De waterstanden zijn ten opzichte van de huidige hoogwaterstanden gegeven.

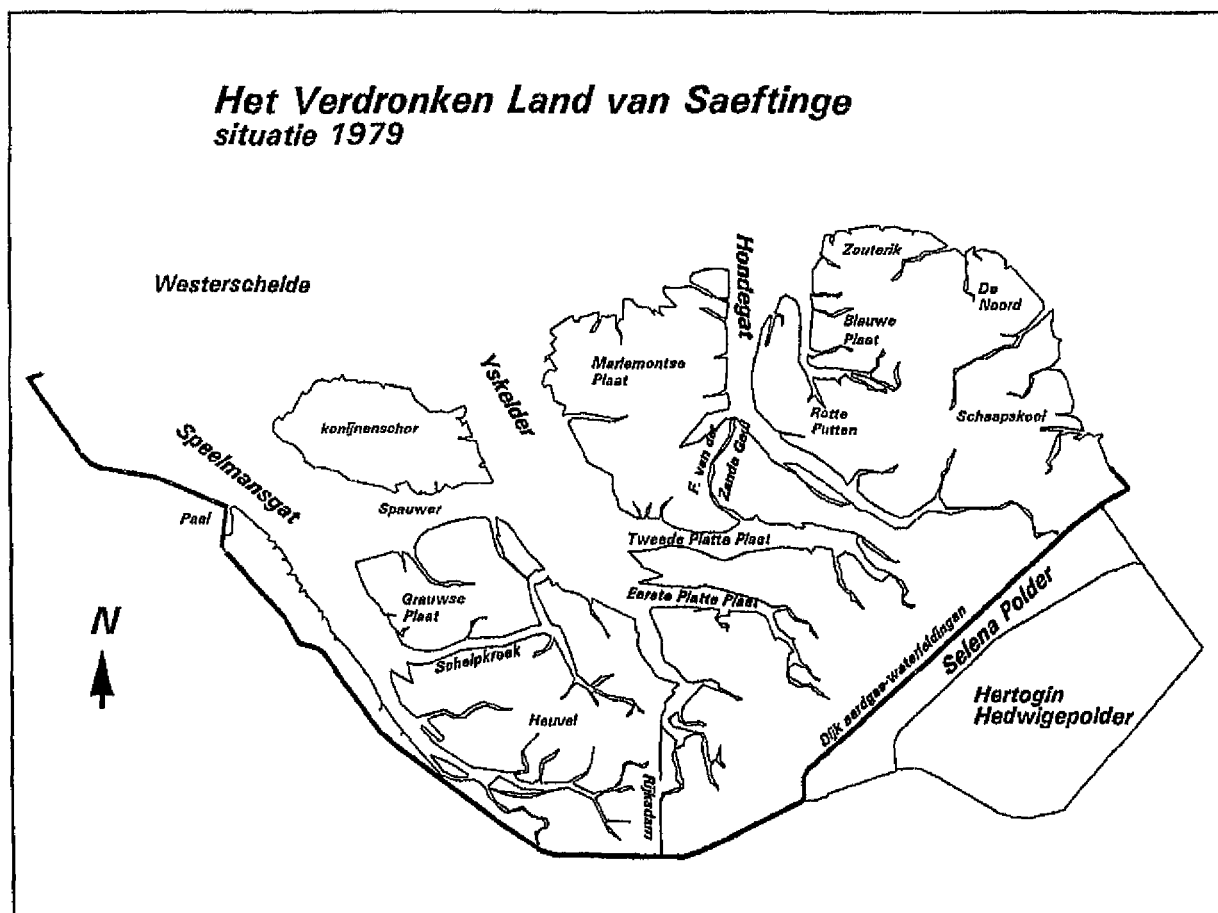


Figuur 1.15.: Afname hoogwaterstanden bij ontpolderen van diverse combinaties van de Hedwigepolder, de Braakman en de polder bij Kruibeke (Raai 11 ligt bij Vlissingen, raai 1 bij de grens, de secties liggen in de Zeeschelde), [Karman en Kik, 1993].

1.2.3. Het Verdrongen Land van Saeftinge.

Het gebied dat een belangrijke rol speelt in de natuurfunctie van de Westerschelde en een voorbeeld is van het belang ervan, is Het Verdrongen Land van Saeftinge. Dit stelsel van slikken en schorren kan daarom prima als voorbeeld voor de nabij gelegen Hedwigepolder dienen. In figuur 1.1. is de ligging van het gebied aangegeven.

Al in de 11^e eeuw was er op de plaats van het huidige schor bewoning. In de 16^e eeuw lagen in het polderland Heerlijkheid Saeftinge vier dorpen, waaronder het dorp Saeftinge. Tijdens de Allerheiligenvloed van 1570 liep het grootste deel onder water. Het resterende deel werd in de 80-jarige oorlog geïnundeerd. Een groot deel van dit verdrongen land is sindsdien niet meer ingepolderd. Vooral sinds de beplanting met engels slijkgras in de jaren '30 heeft het gebied zich ontwikkeld tot een uitgestrekt schorrengebied met vooraan slikgebieden.



Figuur 1.16.: Het Verdrongen Land van Saeftinge.

Het Verdrongen Land is het grootste brakwaterschor van West-Europa, bijna 2800 ha, en bezit als enigste schor in het Schelde estuarium een horizontale gradiënt in de begroeiing. Deze gradiënt loopt van sterk-brakke vegetatie in het westen naar zwak-brakke vegetatie in het oosten. Ook speelt Saeftinge een belangrijke rol voor de vogels in het gebied als rust- en ruiplaats (eenden en ganzen), fourageergebied en overwinteringsgebied (steltlopers bijvoorbeeld).

In de zestiger jaren zijn er gas- en waterleidingen over Saeftinge gelegd, beschermd door een aarden wal. Het van Saeftinge afgesneden deel is toen ingepolderd, de Selenapolder. In 1990 is deze polder tijdens februari-stormen weer overspoelt en bewust niet meer terug ingepolderd. Het eerste ontpolderingsproject is aldus op natuurlijke wijze tot stand gekomen. In zijn ontwikkeling is Saeftinge momenteel een schorgebied in zijn eindstadium. Primaire schordelen en slik komen weinig meer voor. Men vermoedt dat de natuurlijke verlanding van het gebied momenteel versneld verloopt [Houtekamer, 1992, Krijger, 1993]. Een mogelijke oorzaak hiervan kunnen de stortingen van baggerspecie vlak voor het gebied zijn.

1.3. Probleemstelling en doel van de studie.

Uitgangspunt van deze studie zijn de drie belangrijkste problemen die het Westerschelde gebied kent en de eventuele mogelijkheden die ontpolderen biedt. Dit resulteert in een probleemstelling en doel van deze studie.

Probleemstelling.

De Westerschelde kent drie hoofdproblemen:

De vervuiling van het water en de waterbodems.

De achteruitgang van de natuurwaarde van het gebied.

De grote hoeveelheid baggerwerk die nodig is om de scheepvaartgeulen op voldoende diepte te houden en het gebrek aan stortlocaties voor de baggerspecie.

Doel van de studie.

De hoofdproblemen van de Westerschelde zoals genoemd in de probleemstelling, kunnen worden verminderd door het ontpolderen van de Hedwigepolder.

Het doel van deze studie is het onderzoeken van de mogelijkheden die de Hedwigepolder heeft om deze problemen te verminderen. De grootte van deze vermindering moet worden afgeschat en er moeten één of meerdere inrichtingsplannen voor het ontpolderde gebied worden ontwikkeld die tot deze vermindering leiden. De ontwikkeling van het gebied in het verloop van de tijd moet worden aangegeven.

1.4. Aanpak.

In de studie is de volgende aanpak aangehouden:

1. Het ontwikkelen van ideeën betreffende de inrichting van de polder door middel van gesprekken met specialisten en door middel van brainstormen.
2. Bruikbare ideeën uitwerken en het afschatten van de invloed van deze ideeën op de Westerschelde.
3. Onderzoek naar de aanslibbing van het gebied.
4. De inrichting van enkele varianten bepalen en aan de hand van de grootte van de aanslibbing de ontwikkeling van de varianten in de tijd aangeven.
5. Kosten en onderhoud van varianten vastleggen en het vergelijken van de invloed van de verschillende varianten in het verloop van de tijd.

2. MOGELIJKHEDEN VOOR DE INRICHTING.

In het eerste deel van de studie zijn ideeën betreffende de inrichting van een ontpolderde Hedwigepolder ontwikkeld door middel van gesprekken en brainstormen. Dit hoofdstuk begint met een beschrijving van algemene ideeën en de ideeën uit brainstormen. Kansrijke ideeën zijn geconfronteerd met de problemen van de Westerschelde waarna een eerste haalbaarheidsstudie is uitgevoerd. Uiteindelijk zijn de varianten bepaald die verder worden uitgewerkt.

2.1. Algemene ideeën over de inrichting.

In [Pieters et. al., 1992] wordt het ontpolderen als mogelijkheid gezien om de fysieke kwaliteit van het Schelde-estuarium te verbeteren met als voornaamste winst de afname van de baggerintensiteit en de verlaging van de hoogwaterstanden alsmede het creëren een potentieel natuurgebied. Over de inrichting en gewenste ontwikkeling van een ontpolderd gebied wordt niets vermeld. In gesprekken met mensen van Rijkswaterstaat over de inrichting van een ontpolderd gebied komen twee begrippen terug, te weten natuurlijkheid en een zelfregulerend systeem. Met natuurlijkheid wordt bedoeld dat het gebied niet op zichzelf staand is maar op natuurlijke wijze in het gehele ecosysteem en historie van het estuarium moet passen. Een zelfregulerend systeem is een systeem dat zichzelf in stand houdt. Er moeten niet continu ingrepen nodig zijn om het gebied zijn functie(s) te laten behouden. Een tweede punt is de vervuiling van het slib waarmee een ontpolderde Hedwigepolder wordt gevuld. Men is van mening dat er pas een natuurgebied tot ontwikkeling mag komen nadat de polder en de Schelde 'schoon' zijn. Er wordt op gewezen dat het saneren van een vervuilde ontpolderde polder na een bepaalde periode wel eens maatschappelijke problemen kan geven in verband met ontstane begroeiing die als waardevol kan worden gezien (zie ook 4.3.1.).

Een moeilijk punt is de 'natuurlijke verlanding' van een estuarium. Estuaria zoals die van de Schelde verlanden van nature. Instand houden van een diepe vaargeul en het toevoegen van nieuwe intertijdsgebieden zijn onnatuurlijke processen. Een antwoord op de vraag of een estuarium een natuurlijk evenwicht kent is niet te beantwoorden. Het aanbrengen van een nieuw intergetijdsgebied als de Hedwigepolder met een (of meerdere) specifieke functie(s) roept altijd een onderhoudsverplichting op indien men de functie(s) in stand wil houden. Het bereiken van een natuurlijk evenwicht lijkt niet mogelijk.

2.2. Ideeën uit brainstormen.

Door middel van brainstormen zijn ideeën over de inrichting van een ontpolderde Hedwigepolder ontwikkeld. Er is geprobeerd om zo breed mogelijke ideeën te ontwikkelen. Daarom is het Verdrongen Land van Saeftinge in de ideeën meegenomen, ook omdat de beide gebieden tegen elkaar aan liggen en vroeger een geheel hebben gevormd. De ideeën betreffen mogelijke functies van het gebied en zijn hieronder beschreven. Cursief gedrukt zijn achter de ideeën reacties hierop uit de discussie hierover gegeven.

2.2.1. Inrichting Hedwigepolder zonder hydraulisch contact met Saeftinge.

1.a. Inrichting als natuurlijk overstromingsgebied met een natuurlijk getijverloop. De dijk wordt 'doorgestoken' waarna de inrichting aan de natuur zelf wordt overgelaten. Deze variant is hier de 'nuloptie'. De werkelijke nuloptie 'Niets doen', het niet ontpolderen van de Hedwigepolder, is in het kader van deze studie niet relevant.

Dit idee is in de praktijk zichtbaar in de, naast de Hedwigepolder gelegen, Selenapolder. De natuurlijke dijkdoorbraak, begin 1990, is daar niet meer hersteld. Om de aanliggende gasdam en de dijken te beschermen worden momenteel in de polder de natuurlijk ontwikkelde geulen afgesloten en een kunstmatige in het midden van de polder gegraven. Zoals bij waarschijnlijk alle inrichtingsvarianten wegen de kosten van het op delta-veiligheidsniveau brengen van de dijken zwaar.

1.b. Inrichting als natuurlijk intergetijdegebied waarbij de inrichting wat betreft de natuur op de volgende punten kan worden gericht:

1. maximale ecologische diversiteit; Zo veel mogelijk verschillende soorten.
2. natuurlijke ecologische diversiteit; Soorten kenmerkend voor een intertijdegebied in brak water.
3. specifieke ecologische diversiteit; Inrichting gericht op het aantrekken van specifieke soorten of levensgemeenschappen, bijv.
 - kraamkamer voor vissen.
 - ontwikkelingsgebied voor benthos.
 - broedgebied en/of fourageergebied voor bepaalde vogelsoorten.
 - specifieke vegetatie ontwikkeling.

Combinaties van specifieke soorten zijn ook mogelijk. Er kan worden gekeken naar soorten die in het gebied zeldzaam zijn geworden.

Mogelijkheid 1, de op het kunstmatig vergroten van de diversiteit gerichte inrichting wordt niet wenselijk gezien (géén dierentuin).

Mogelijkheden 2 en 3 zijn semi-gecontroleerde natuurgebieden en vragen altijd om een onderhoudsverplichting om de gewenste natuur in stand te houden.

1.c. Inrichting die zich ontwikkelt als aanvulling of natuurlijk vervolg van het Verdrongen Land van Saeftingse of zelfs de natuurlijke ontwikkeling van Saeftingse versterkt.

Er worden een aantal mogelijke ontwikkelingen gezien; De polder kan één groot geheel met Saeftingse gaan vormen (de gasdam wordt weggehaald) of apart blijven. Het gebied kan worden ingericht voor wat in Saeftingse zeldzaam is geworden.

1.d. Inrichting als natuurlijk overstromingsgebied waarbij, voordat het gebied definitief wordt ingericht, eerst vervuild slib wordt verwijderd. De inrichting kent dus twee fasen waarin het gebied eerst als natuurlijk sedimentatiegebied dienst doet en pas na sanering een definitieve inrichting krijgt.

De inrichting als natuurlijk sedimentatiegebied kan worden geoptimaliseerd naar fijn slib (waaraan de meeste vervuilingen zitten). De vervuilingsgraad van het doorgaande slib kan een vervuilingssklasse zakken. De probleemgrens van het baggeren van vervuilde specie kan hierdoor verder naar het oosten van de Westerschelde opschuiven.

1.e. Inrichting als definitief depot voor het gesedimenteerde slib waarbij de, op het vervuilde slib zich ontwikkelende, vegetatie als waardevol wordt gezien.

Deze inrichting is een variant op 1.d.

1.f. Inrichting die gericht is op een maximale reductie van de baggerintensiteit op de Westerschelde.

Deze inrichting is samen met de natuurfunctie de basisgedachte achter het ontpolderen.

1.g. Inrichting als specifieke spuikom; Het hoogwater wordt in de polder vastgehouden totdat er in de hoofdstroom laagwater heerst. Rondom dat moment wordt het water geloosd. Het water kan worden gebruikt om delen van de Westerschelde door te spoelen; Er kan gedacht worden aan buizenstelsels die het water uit de polder pas vlak voor de drempels in de

bochten van de hoofdstroom leiden en zo de drempels onderhouden. Ook kunnen platen zo in bepaalde mate misschien worden gereguleerd. Een andere mogelijkheid is om door middel van dit systeem de asymmetrie van het getij te beïnvloeden en zo de sedimentimport te verminderen.

De asymmetrie van het getij wordt beïnvloed. Er kan zelfs een getijcentrale op worden aangesloten. Men verwacht dat de mogelijkheden om hiermee de drempels (mede) te onderhouden minder zijn (drempels zijn te zanderig en te dynamisch) maar dat het uitspoelen van havens aan de Zeeschelde (Antwerpen) mogelijk kan zijn.

1.h. Inrichting als natuurlijke bufferzone tegen een eventueel toekomstig Baalhoekkanaal. Dit kanaalontwerp loopt vanaf de linkeroever bij Antwerpen naar Baalhoek (juist ten westen van Saeftinge).

Deze variant wordt niet gezien als functie maar als argument voor het inrichten van de Hedwigepolder als kombergingsgebied.

In feite zijn alle genoemde inrichtingsvarianten een buffer tegen het Baalhoekkanaal.

1.i. Inrichting met een zuiverende functie; Er wordt gedacht aan de volgende mogelijkheden: slibreiniging; thermisch, extractie of biologisch.

biologische waterzuivering met behulp van mosselen, biezten e.d.

gebied voor de produktie/toevoer van stoffen die in de hoofdstroom de afbraak stimuleren zoals bijvoorbeeld bacteriën die specifieke afbraak bewerkstelligen (bijv. van vervuilingen) of zuurstof (zuurstof producerende organismen, beluchten).

De zuiverende functie kan worden toegepast totdat de kwaliteit van het systeem zodanig is verbeterd dat een gezonde gewenste natuurontwikkeling daarna mogelijk is. De inrichting kent dus twee fasen.

Probleem van deze vorm van inrichten zit vooral in het beluchten. De zuurstof kan in de hoofdstroom reageren met allerlei verontreinigingen en zo giftige stoffen gaan vormen. Men noemt dit de 'ecologische tijdbom'.

1.j. Inrichting als kamer waar speciale stoffen/organismen gekweekt worden om specifieke soorten aan te trekken. Deze functie kan idee 1.b.3. versterken.

Bijv. beluchten om bepaalde vissoorten aan te trekken.

1.k. Inrichting als recreatiegebied. Diverse vormen zijn mogelijk (wandelen, fietsen, watersport, vissen e.d.).

Deze variant is binnen het beleid van de Direktie Zeeland geen serieuze optie.

1.1. Inrichting ten behoeve van de landbouw.

Deze variant is binnen het beleid geen serieuze optie.

1.m. Inrichting met een wetenschappelijke onderzoeksfunctie. Hierbij kunnen alle boven genoemde inrichtingsvarianten, eventueel gecombineerd, worden toegepast.

Deze functie is zeker belangrijk maar geldt bij alle mogelijke inrichtingsvormen.

2.2.2. Inrichting Hedwigepolder met hydraulisch contact met Saeftinge.

2.a. Vrije verbinding van de geulen in Saeftinge met de Hedwigepolder. De geulen worden tot de Hedwigepolder doorgetrokken. Dit kan door middel van een vrije verbinding of buizen. Via de geulen van Saeftinge moet dan ook komberging van de Hedwigepolder getransporteerd worden. De geulen verdiepen daardoor. De Hedwigepolder staat niet in direkt contact met de hoofdstroom (de huidige zeedijk langs de Westerschelde blijft intact).

Deze mogelijkheid is in feite een variant van 1.c.

2.b. Het verbinden van Saeftinge met de Hedwigepolder. Hoogwater wordt in de Hedwigepolder vastgehouden en bij laagwater over Saeftinge terug in de hoofdstroom geleid. Het hoogwater kan via Saeftinge of direkt vanuit de hoofdgeul de Hedwigepolder vullen. Tijdens eb wordt dit water via de geulen of over de hogere delen van Saeftinge terug naar de Westerschelde geleid. Het systeem is bedoeld om de verlanding van Saeftinge tegen te gaan.

Deze optie is technisch moeilijk, komt erg kunstmatig over en is politiek moeilijk.

2.c. Als 2.b., echter worden tijdens het afstromen van het water soms de geulen Saeftinge afgesloten waardoor het water over de hogere delen van Saeftinge wordt gedwongen die daardoor eroderen.

Als optie 2.b.

2.2.3. Kansrijke ideeën.

Uit de beschreven ideeën en commentaren zijn een aantal kansrijke ideeën voor de functie van een ontpolderde Hedwigepolder te destilleren die het herstel van het Schelde-estuarium stimuleren en die binnen het beleid van de direktie Zeeland passen;

- 'Niets doen'; De dijk wordt 'doorgestoken', de rest wordt aan de natuur overgelaten. Dit is hier de zogenaamde nul-optie.

- Specifieke ecologische functie; Het gebied wordt ingericht om een specifieke natuurwaarde in het gebied te ondersteunen; Hierbij zijn een aantal mogelijkheden:

* Inrichting waarbinnen zich een brakwaterschor ontwikkelt. Het naastliggende Saeftinge is een ecologisch zeer waardevol brakwaterschor maar bevindt zich in zijn ontwikkeling in een eindfase. Met deze inrichtingsfunctie kan er een schorgebied in zijn beginstadium aan het systeem worden toegevoegd.

* Inrichting ten behoeve van een zeldzame vissoort. De visserij en de vervuiling hebben de visstand in Westerschelde sterk achteruit doen gaan. Deze functievariant beoogt verbetering van de visstand en eventueel de terugkeer van verdwenen soorten.

* Inrichting ter ondersteuning van vogels. Het naastliggende Saeftinge komt voor diverse soorten voor op de zgn. 1%-lijst. Dit houdt in dat meer dan 1% van de Noordwesteuropese populatie van bepaalde vogelsoorten in Saeftinge verblijft. De inrichting kan deze functie van Saeftinge ondersteunen en zelfs versterken.

- Inrichting gericht op een maximale sedimentatie in het gebied; Hierbij zijn twee mogelijkheden te onderscheiden:

* Inrichting waarbinnen een maximale hoeveelheid sediment sedimenteert.

* Inrichting waarbinnen specifiek zo veel mogelijk vervuiling sedimenteert.

Beide inrichtingsvarianten moeten een deel van de vervuiling, gebonden aan slib, uit het systeem van de Westerschelde kunnen nemen. De vervuilde polder kan na verloop van tijd gesaneerd worden of geaccepteerd.

- Inrichting als maximaal kombergingsgebied ten behoeve van een maximale baggerreductie op de Westerschelde.

- Inrichting als spuikom. Dit idee biedt mogelijkheden om de sedimentatie in de Westerschelde zelf positief te beïnvloeden en het baggerwerk te verminderen.

- Inrichting om het water van de hoofdstroom te zuiveren. Dit kan op twee manieren:

 - * Inrichting waarbij het water in de polder wordt gezuiverd.

 - * Inrichting waarbij in de polder organismen worden toegevoegd die de hoofdstroom zuiveren.

Beide inrichtingen moeten de vuillast op de Westerschelde kunnen reduceren.

- Inrichting met hydraulisch contact tussen de Hedwigepolder en Saeftinge. De geulen in Saeftinge zijn sterk aan het verzanden. Deze variant kan de geulen van Saeftinge uitschuren.

2.3. Haalbaarheidsstudie van de geselecteerde ideeën.

In dit onderdeel wordt gekeken hoe de geselecteerde ideeën voor de functie van het gebied (de functievarianten) op de problemen van de Westerschelde ingrijpen. Tevens wordt de samenhang tussen deze functievarianten bekeken. Er wordt een eerste afschatting van de grootte van de invloed van de varianten op de problemen gemaakt. In dit hoofdstuk wordt gesproken over functievarianten waarmee varianten voor het doel dat met het ontpolderen van de Hedwigepolder kan worden nagestreefd (de functie van het gebied), worden bedoeld. In hoofdstuk 4 komen naast functievarianten ook inrichtingsvarianten voor.

2.3.1. De functievarianten en de problemen van de Westerschelde.

De Westerschelde kent een aantal problemen waarvan de achteruitgang van de natuurwaarden in het gebied, de vervuiling van het water en het sediment en de hoeveelheid baggerwerk benodigd om de scheepvaartgeulen op voldoende diepte te houden de belangrijkste zijn (zie hoofdstuk 1). De verbetering van deze problemen door middel van het aan het watersysteem toevoegen van de Hedwigepolder kent dan ook drie invalshoeken waarlangs verbetering van de totale kwaliteit van de Westerschelde mogelijk is, namelijk **natuur**, **baggerwerk**, en **vervuiling**.

De overgebleven functievarianten zijn gericht op het verbeteren van de kwaliteit van de Westerschelde door het specifiek aanpakken van één probleem. Hieronder wordt per probleem aangegeven welke variant er specifiek op is gericht deze te verbeteren;

1. Natuur.

- 1.1. Inrichting als brakwater schor.
- 1.2. Inrichting ten behoeve van vissen.
- 1.3. Inrichting ten behoeve van vogels.
- 1.4. Inrichting gecombineerd met Saeftinge.

2. Baggerwerk.

- 2.1. Inrichting met maximale komberging.
- 2.2. Inrichting als spuikom.

3. Vervuiling.

3.1. Inrichting ten behoeve van maximale sedimentatie.

3.2. Inrichting voor specifieke sedimentatie.

3.3. Inrichting ten behoeve van zuivering:

3.3.a. In de kom.

3.3.b. In de hoofdgeul.

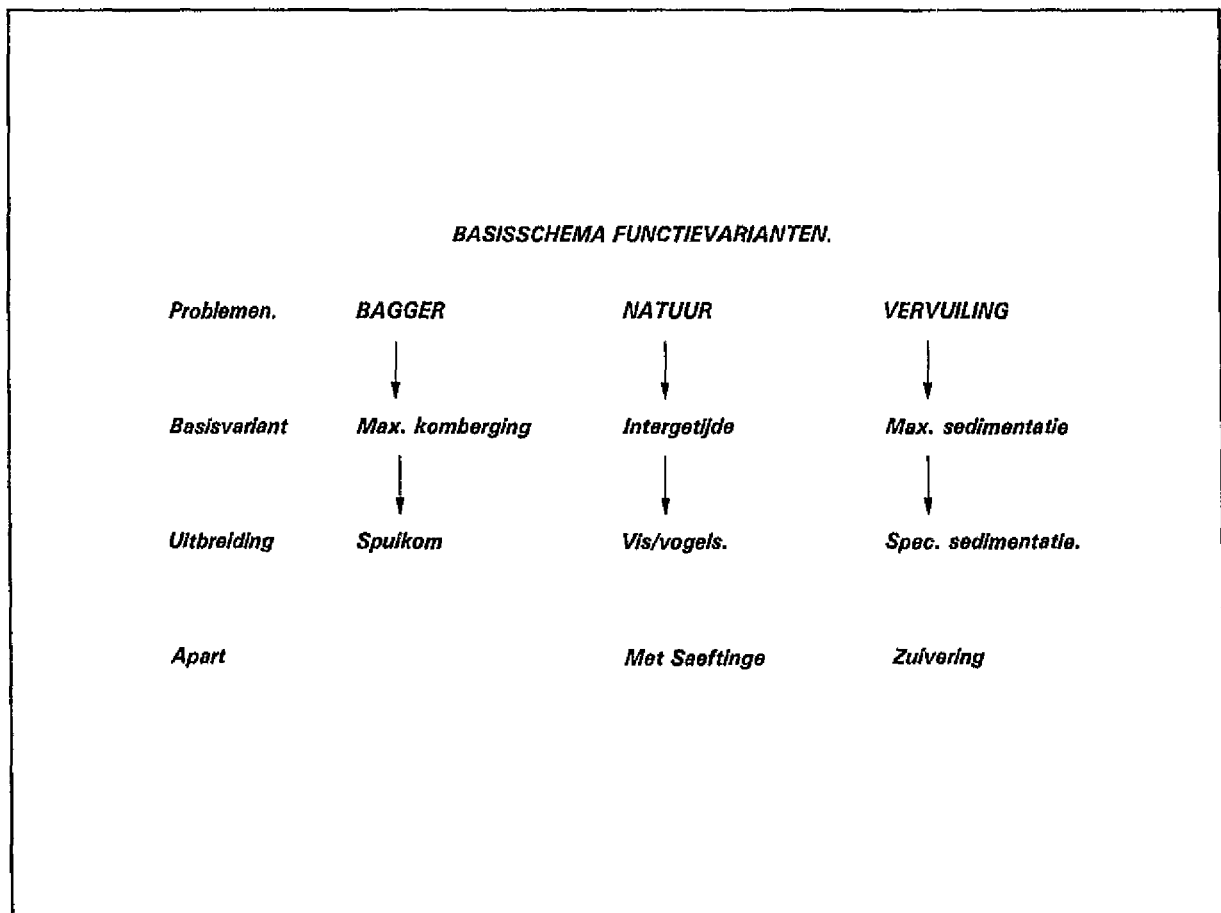
De variant 'niets doen' is de nuloptie.

In de onderstaande tabel is de aanpak van de problemen door de functievarianten samengevat.

functievariant	Probleem		
	natuur.	baggerwerk.	vervuiling.
0. niets doen.			
1.1. brakwaterschor.	x		
1.2. t.b.v. vis.	x		
1.3. t.b.v. vogels.	x		
1.4. met Saeftinge.	x		
2.1. max. komberging.		x	
2.2. spuikom.		x	
3.1. max. sedimentatie.			x
3.2. spec. sedimentatie.			x
3.3.a. zuiver. in kom.			x
3.3.b. zuiver. in geul.			x

Naast de specifieke aanpak van een probleem kan een functievariant ook een ander probleem gunstig beïnvloeden.

Per probleem zijn de functievarianten onder te verdelen in één basisvariant en varianten die daar een uitbreiding op zijn. In het volgende schema is dit aangegeven.



Figuur 2.1. Schematische indeling varianten.

2.3.2. Een eerste afschatting van de mogelijkheden.

Hieronder worden de verschillende functievarianten voor de inrichting verder uitgewerkt waarbij per variant de bijdrage aan de komberging (maat voor de invloed op het baggerwerk), de aanslibbing (maat voor de invloed op de vervuiling van de Westerschelde) en de zich ontwikkelende natuur wordt afgeschat. Voor enkele varianten zijn aanvullende afschattingen gemaakt. Bij de beschrijving is uitgegaan van de volgende punten:

- Bij alle varianten dient de veiligheid van de dijken rondom het gebied op Delta-nivo te zijn. De invloed hiervan op de mogelijkheden is niet meegenomen.
- De directe invloed van de vervuiling op een inrichting is niet impliciet bij alle varianten meegenomen.
- Bij de afschatting van de zich in het gebied ontwikkelende biota is uitgegaan van de aanwezige biota in vergelijkbare gebieden, bijvoorbeeld Saeftinge. Een literatuurverwijzing hiervoor is in bijlage 2 gegeven.
- Bij de afschatting van de komberging is uitgegaan van een bakprofiel met vlakke of hellende bodem. De afmetingen hiervan zijn geschatte beginafmetingen die aan de beoogde functie van het gebied moeten voldoen. De genoemde komberging neemt door sedimentatie af in de tijd.

De achtergronden van de kombergingsberekening zijn in bijlage 3 gegeven. De orde grootte van de aanslibbing is overgenomen van de aanslibsnelheden in Saeftinge [Houtekamer, 1992]. Deze bedragen gemiddeld 1,7 cm/jaar. In hoofdstuk 3 wordt verder op de aanslibbing in het gebied ingegaan.

Variant 0; 'Niets doen'.

In deze variant wordt de zeedijk voor de Hedwigepolder weggenomen. Het voorland wordt verlaagd tot op het nivo van de Hedwigepolder en ter geleiding van het inkomende water wordt een geul gegraven. Deze variant lijkt sterk op wat Rijkswaterstaat met de Selenapolder wil doen [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993].

Komberging.

Het poldernivo blijft op N.A.P. +2,05 m waardoor er $2,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ komberging ontstaat.

Dit levert een vergroting van het vloedvolume van 1 % in de hoofdgeul voor de Hedwigepolder (deze bedraagt $160 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).

Het maximaal optredende debiet in de mond is ongeveer $900 \text{ m}^3/\text{s}$. en treedt op juist nadat de polder zich begint te vullen. In eerste instantie overstroomt 15 % van de hoogwaters de polder niet.

Aanslibbing.

De aanslibbing is over decennia van dezelfde ordegrootte als in Saeftinge en enkele cm per jaar bedragen. Dit wordt bevestigd door de eerste meetresultaten van de aanslibbing van de Selenapolder die tot 5 cm/jaar bedraagt (mond. med. K. Storm).

Er wordt geen onderhoud gepleegd zodat de polder in de eerste 10 jaar enkele decimeters aanslibt.

Biota.

In het vlakke gebied kunnen we aanvankelijk voornamelijk engels slijkgras en zeebies verwachten. Wat betreft de bodemfauna kan een normale populatie zich ontwikkelen. De vogelpopulatie zal hoofdzakelijk bestaan uit enkele steltlopers, zoals de kluut, bergeenden en ganzen.

Variant 1.1.; Inrichting als primair schorgebied.

Een grote ondersteuning van de natuurwaarde van het gebied ontstaat indien er weer een gebied wordt toegevoegd waar zich een primair slik en schor kan gaan ontwikkelen. In deze studie is hierbij de volgende indeling aangehouden;

G.L.W. tot N.A.P.	: Laag intergetijde gebied.
N.A.P. tot 1 m - G.H.W.	: Slik.
1 m - G.H.W. tot G.H.W.	: Primair schor.
G.H.W.-G.H.W.S.	: Jong schor.
> G.H.W.S.	: Volgroeid schor.

De inrichting wordt erop gericht om een areaal slik en primair schor zich in het gebied te laten ontwikkelen met een zo lang mogelijke levensduur. Dit levert een aantal opties voor de inrichting;

- De polder wordt afgegraven tot op G.L.W.-nivo. Het gebied ontwikkelt zelf de hoogtegradiënten en evolueert naar een schorgebied. De levensduur is maximaal.
- Het hoogteverloop van slik naar primair schor wordt reeds met de inrichting aangebracht. Het gewenste natuurgebied kan zich direkt ontwikkelen en het aantal hectaren daarvoor benodigde hoogte is bij aanvang maximaal. Aanplanten van engels slijkgras kan de ontwikkeling stimuleren. De levensduur van het gebied is korter.

Er is gekozen voor een inrichting met maximale levensduur.

Komberging.

Het gebied wordt tot N.A.P. - 2,4 m ontgraven hetgeen een kombergingsvolume van $15,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ oplevert. Dit houdt een getijvolume vergroting ter plaatste in van 10%.

Aanslibbing.

Het gebied slibt gemiddeld enkele cm per jaar aan. Hierdoor krijgt het niet binnen zo'n 100 jaar het stadium van volgroeid schor krijgen en vereist tot dan geen onderhoud.

Biota.

Een normale bodemfauna is te verwachten. Pas als het gebied zich tot 1 m beneden G.H.W. hoogte heeft ontwikkeld is de eerste vegetatie te verwachten. Waarschijnlijk is dit zeebies of engels slijkgras.

Op het slik zijn alleen bergeenden en steltlopers te verwachten. De vegetatiesuccessie kan zich later volledig voltrekken. Op het zich dan ontwikkelde schor kunnen zich ganzen en eenden vestigen.

Variant 1.2.; Inrichting ten behoeve van zeldzame vis.

Het gebied wordt ingericht om de visstand in het gebied te stimuleren. Er worden enkele open diepe delen aangebracht. Het resterende gebied moet in de mollusken, kreeftachtigen, wormen en planteresten voorzien die in het algemeen als voedsel voor vissen dienen. Het gebied wordt verder ingericht om er zich direkt een schor in te laten ontwikkelen.

Een kritisch punt voor vissen is het zuurstofgehalte van het water dat zeker boven de 20 % (de lethale waarde voor de meeste vissen) en het grootste deel van de tijd ook boven de 30 % moet zijn [de Bruyne, 1990/ DGW].

Komberging.

De diepe delen (< GLW) zijn tot N.A.P. -5,4 m (dan is er altijd rond de 3 meter waterdiepte) genomen, het resterende deel is een schorgebied van N.A.P. -1,0 m bij de mond tot N.A.P. +3,2 m aan het eind. De komberging is $5,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (3 % vergroting).

Aanslibbing.

In de diepere delen (< G.L.W.) komt een lagere gemiddelde snelheid voor waardoor daar meer dan enkele cm per jaar opslibt. Het schor-gedeelte slibt enkele cm per jaar op. In de diepe delen moet meer dan enkele dm per 10 jaar worden weggehaald. Het schor-gedeelte slibt enkele dm per 10 jaar op. Onderhoud kan hier 50 jaar achterwege blijven.

Biota.

Vissoorten die in de diepere delen zijn te verwachten, zijn tong, grondel en bot [de Bruyne, 1990/ DGW Ecoprofielen]. Bekeken kan worden of er soorten uitgezet kunnen worden en of zeldzame soorten gestimuleerd kunnen worden. Ook bodemdieren die onder G.L.W. leven kunnen in deze diepe delen worden aangetroffen (bijvoorbeeld *heteromastus filiformis* en *haustorius sp.*). De vissen kunnen visetende vogels aantrekken.

Het hogere deel ontwikkelt zich als een schor met de daarbij behorende biota.

Zuurstof.

Een kritiek punt in deze inrichting is het zuurstofgehalte van het water. De gemiddelde zuurstofgehaltenes per kwartaal liggen boven de 30 % [DGW, Waterkwaliteitsgegevens 1989,

1990, 1991]. Echter, indien de afzonderlijke meetwaarden over de laatste drie jaren worden bekeken, blijken de O_2 -gehalten in 40% van de metingen kleiner dan 30% te zijn. In 25 % van de metingen is de waarde zelfs kleiner dan 20%. Bekeken is wat de mogelijkheden van het beluchten van het water in de Hedwigepolder zijn om het zuurstofgehalte in de hoofdstroom op te krikken. Hierbij zijn de gevaarlijke neveneffecten die extra zuurstof kan veroorzaken als het gaat reageren met de, in de bodem van de Westerschelde opgeslagen, verontreinigingen ('de ecologische tijdbom') en de voor beluchten benodigde energie niet meebeschouwd.

Water (met een temperatuur van 15 - 20 °C.) kan maximaal 10 g O_2 /m³ bevatten [Kop, 1991]. De jaargemiddelde O_2 -concentratie in de waterstroom voor de Hedwigepolder bedraagt 3,3 g/m³ [DGW, Waterkwaliteitsgegevens 1989, 1990, 1991]. Indien we erin slagen om in één getijperiode dit zuurstofgehalte van de gehele komberging in de Hedwigepolder ($5,1 \cdot 10^6$ m³) tot 10 g/m³ te laten stijgen (toename van 6,7 g/m³), voegen we per getij $6,7 \cdot 5,1 \cdot 10^6 = 3,417 \cdot 10^4$ g (= 34.170 kg) O_2 aan de Westerschelde toe. Dit is $24 \cdot 10^6$ kg per jaar. De jaargemiddelde O_2 -vracht door de grens bedraagt $20 \cdot 10^6$ kg/jaar [Wattel, 1990] en ligt in dezelfde orde van grootte. Er kan een substantieële verhoging van de totale hoeveelheid O_2 voor de Hedwigepolder mogelijk zijn. Echter, aangezien het zuurstof-probleem ook bovenstrooms van de Hedwigepolder speelt, zijn hiervoor andere maatregelen noodzakelijk, zoals het saneren van de organische lozingen op de Schelde. Verder onderzoek (ook in verband met de 'ecologische tijdbom') is noodzakelijk.

Variant 1.3.; Inrichting ten behoeve van vogels.

De inrichting van de Hedwigepolder stimuleert de mogelijk aanwezige vogels in het estuarium. Hierbij kunnen een aantal functies van de ontpolderde polder voor de vogels worden gestimuleerd:

- Doortrekkers- en overwinteringsfunctie: Het gebied moet voldoende voedsel bieden voor vogels die op doortocht zijn of die er overwinteren.
- Broedfunctie: Het gebied moet voor vogels de juiste omgeving bieden om er te kunnen broeden en genoeg voedsel voor ouders en jongen aanbieden.
- Rustfunctie: Het gebied moet voor vogels die er overnachten of die er hun rui periode doorbrengen, beschutte rustplaatsen en voldoende voedsel geven.
- Hoogwatervluchtplaats: Het gebied moet een vluchtplaats voor de vogels leveren bij hoogwaters.

Indien aan alle eisen wordt voldaan eisen deze functies een gevarieerd gebied: Er moeten slikkige, schaars begroeide delen (met engels slijkgras) zijn (bijvoorbeeld voor het voedsel van kluten of bergeenden), hogere meer begroeide en eventueel beweide delen (bijvoorbeeld met gewoon kweldergras, fioringras, etc.) die als broedplaats (voor kluten) of als voedselbron (voor ganzen) dienen en er moeten hoge delen zijn als hoogwatervluchtplaats. Voor deze laatste functie kan de dijk en/of het achterliggende polderland dienst doen.

Er kan worden bekeken of er ook zandige kale delen kunnen worden aangebracht en in stand worden gehouden om ook vogels als bijvoorbeeld stern en in bepaalde seizoenen aan te trekken.

Rust (minimale verstoring door menselijke activiteiten) is van groot belang.

Ook het vervullen van slechts één specifieke functie (bijvoorbeeld de voedselfunctie) door het gebied (bijvoorbeeld in relatie met Saefting) is een mogelijkheid. Deze laatste optie is hier niet verder uitgewerkt.

Komberging.

De hoogte van het gebied loopt van N.A.P. +1,0 m tot N.A.P. +4,0 m. De komberging bedraagt $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, hetgeen 1 % vergroting van het plaatselijk vloedvolume levert.

Aanslibbing.

De aanslibbing is enkele cm per jaar waardoor er 1 tot enkele meters binnen 50 jaar moet worden verlaagd.

Biota.

De biotische situatie wijkt niet veel af van de normale brakwater schor biota (variant 2.a.). Beweiding kan de diversiteit in plantesoorten stimuleren, vooral ten behoeve van ganzen.

Variant 1.4.; Inrichting met hydraulisch contact met Saeftinge.

De geulen van Saeftinge worden verbonden met de Hedwigepolder (bijvoorbeeld met behulp van duikers). De zeedijk van de Hedwigepolder langs de hoofdstroom wordt niet doorbroken. Een mogelijkheid is om de, tussen Saeftinge en de Hedwigepolder in gelegen, pijpdam te verwijderen (verplaatsen). Dit levert een geheel groot nieuw schorgebied op waarvoor ook vele functievarianten mogelijk zijn. Deze optie is niet verder uitgewerkt. Hier is uitgegaan van het intact blijven van de gasdam waarbij het belangrijkste doel van het hydraulische contact tussen Saeftinge en de Hedwigepolder het uitschuren van de verlande geulen van Saeftinge is. De Hedwigepolder wordt door de geulen van Saeftinge gevuld en geledigd. Het extra debiet dat deze geulen moeten transporteren veroorzaakt het uitschuren van de geulen. Dit uitschuren kan de levensduur van het schor Saeftinge verlengen.

Komberging.

In eerste instantie is er vanuit gegaan dat de Hedwigepolder niet wordt verdiept (N.A.P. +2,05 m) en dat het waterpeil in deze polder het waterpeil voor Saeftinge volgt. Deze aanname is in werkelijkheid waarschijnlijk niet juist. Door de weerstand in de geulen, de traagheid van het water en verval over eventuele duikers kan het waterpeil in de Hedwigepolder de waterstand in de hoofdgeul niet volgen. Er ontstaan vervallen over de geulen die de kombergingsbeschouwing niet meer toestaan. Hiervoor moeten modelberekeningen (bijvoorbeeld met behulp van DUFLOW, zie [Krijger, 1993]) worden gemaakt. Ook kan de Hedwigepolder nog niet gelegeerd zijn als de vloedperiode weer begint. De benadering van de komberging geeft daarom een maximaal mogelijke waarde.

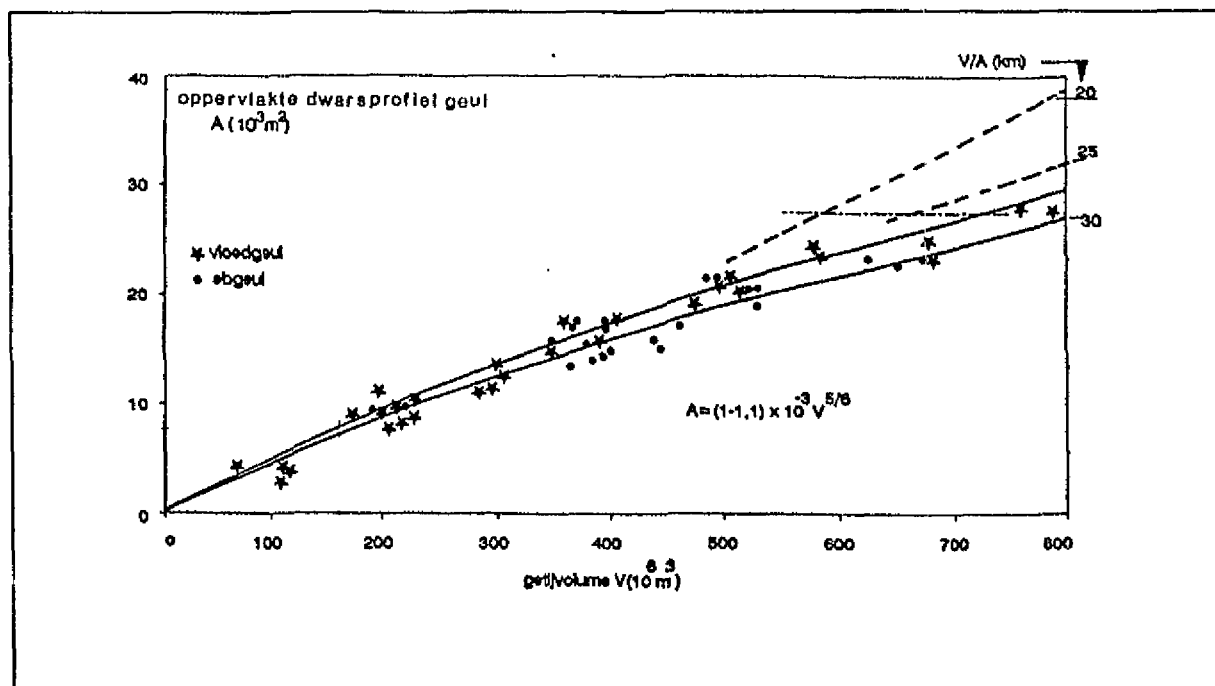
Het maximale waterpeil in de Westerschelde voor Saeftinge is N.A.P. +2,7 m. De komberging in de Hedwigepolder van maximaal $2,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ bedraagt 1% ten opzichte van het vloedvolume voor Saeftinge ($120 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).

Aanslibbing.

Door het uitschuren van de geulen kan meer sediment in de Hedwigepolder terecht komen waardoor de sedimentatie waarschijnlijk meer dan enkele cm per jaar bedraagt. Binnen 30 jaar lijkt er zeker onderhoud nodig. Echter, omdat er een in dit stadium moeilijk voorspelbaar systeem ontstaat, kan de sedimentatie ook anders zijn.

Uitschuring.

Met behulp van de onderstaande figuur uit is een schatting gemaakt van de uitschuring. De grafiek is gebaseerd op gegevens van geulen in de Westerschelde.



Figuur 2.2.: Relatie getijvolume-doorstroomprofiel in de Westerschelde [Pieters et al., 1991].

Saeftinge kent drie hoofdgeulen, te weten het Speelmansgat, de IJskelder en het Hondegat. Deze geulen bezitten een vloedvolume van resp. $3,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en $1,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ in de mond (gegevens Meetdienst Rijkswaterstaat). Indien het kombergingsvolume zich recht-evenredig over de geulen verdeelt, levert dit een vergroting van het vloedvolume van resp. 34%, 26% en 37% en een vergroting van het doorstroomprofiel van de geulen van resp. 34%, 25% en 41% in de mond. Hogerop doet de waterstroom die de Hedwigepolder vult, de stroom door de smallere geulen relatief meer toenemen. Met deze variant is een substantieële uitschuring van de geulen mogelijk. Een bijkomend effect kan de toename van de meandering van de geulen zijn.

Biota.

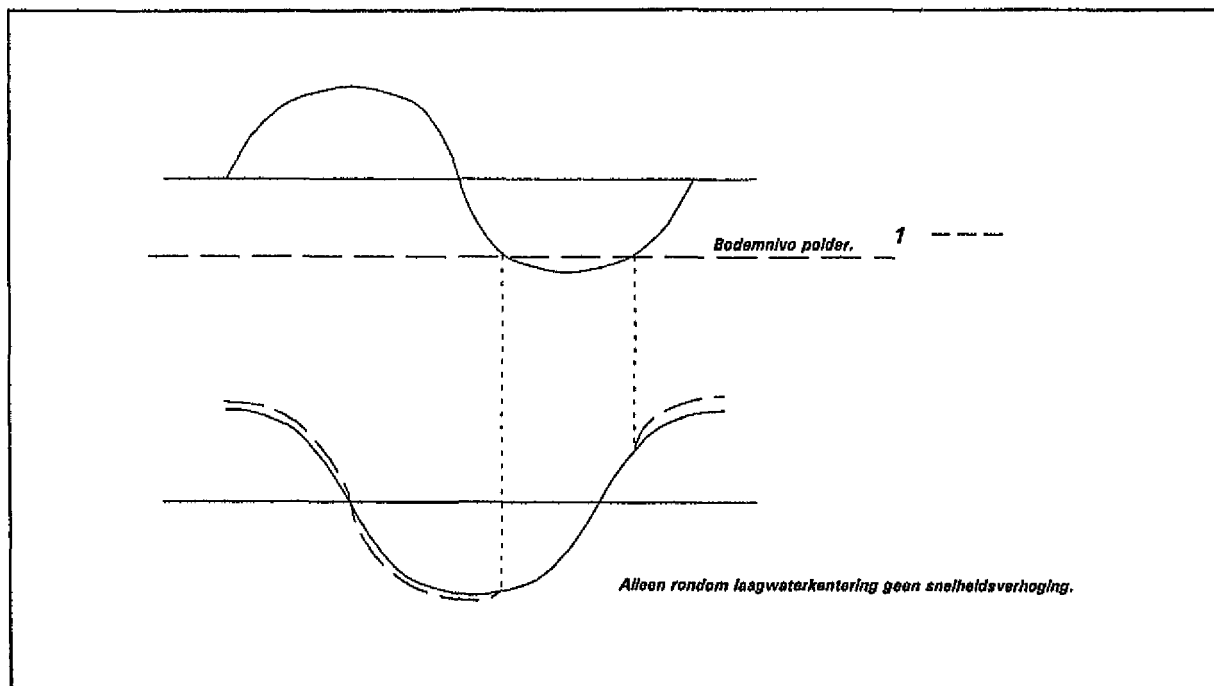
De geulen van Saeftinge schuren uit, het hogere deel kan misschien vaker overstromen. Het schor wordt een stuk terug in zijn ontwikkeling gezet.

In de Hedwigepolder kunnen arealen zeebies, engels slijkgras of zeekraal ontstaan indien de polder kan leegstromen voordat de vloed opkomt. Een normale bodemfauna kan er leven en er kunnen steltlopers te vinden zijn. Indien er wel permanent water in de polder blijft staan, is er geen vegetatieontwikkeling te verwachten. Ook vogels zijn dan schaars. De exacte ontwikkelingen zijn in dit stadium moeilijk te voorspellen.

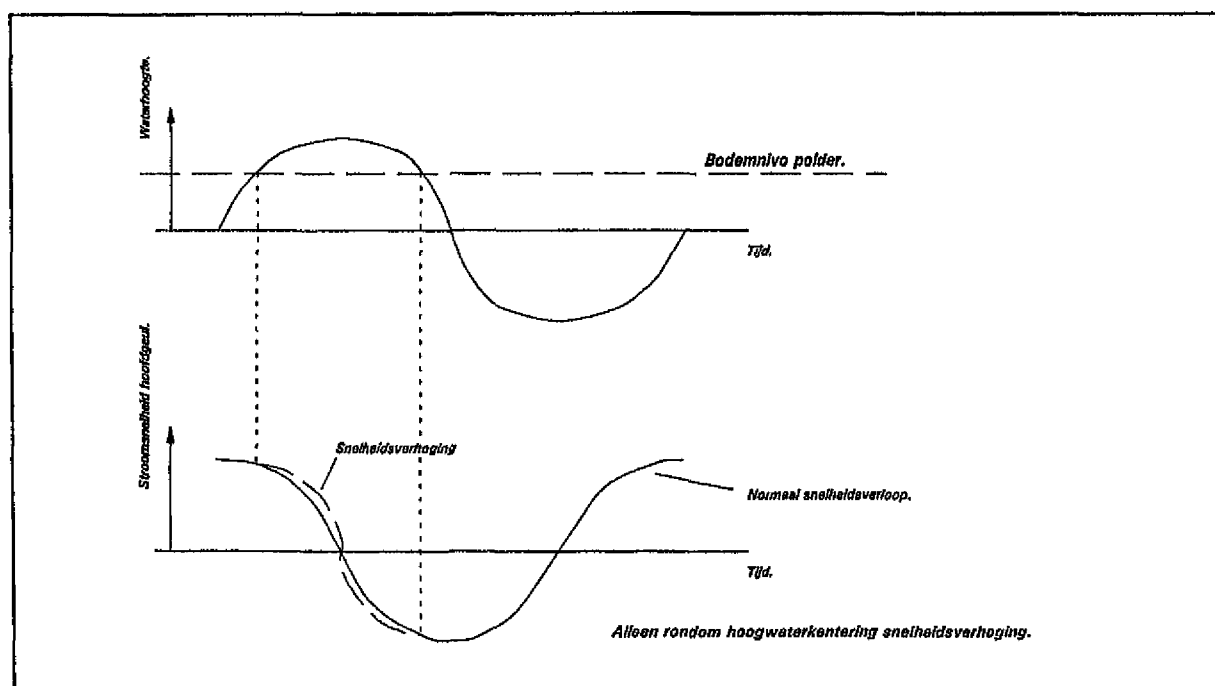
Variant 2.1.; Inrichting met maximale komberging.

De inrichting van het gebied is zodanig dat het een maximale bijdrage aan de vermindering van de hoeveelheid baggerwerk levert. Hierbij moet er worden onderzocht welke parameters en/of combinaties daarvan de diepteligging van de Westerschelde bepalen. Is dit het getijvolume, de asymmetrie van het getij, de stroomsnelheden, etc., etc.? [Karman en Kik, 1993] gaan uit van het getijvolume en de asymmetrie van het getij (zie 1.3.). Ook het moment waarop de hoofdstroom in de Westerschelde wordt beïnvloed speelt hierbij een belangrijke rol. In de figuren 2.3a. en 2.3b. is dit met een voorbeeld verduidelijkt waarbij de invloed op het snelheidsverloop wordt gegeven. Uit deze figuren is af te leiden dat de bodemligging de grootte en vooral de duur van de snelheidsverandering beïnvloedt. Zo zorgt een hoge bodemligging alleen voor een snelheidsvergroting rondom hoogwaterkentering, waar een lagere bodemligging over een langere periode invloed heeft.

Omdat de polder in het systeem als kombergingsgebied niet op zichzelf staand wordt maar met meerdere kombergingsgebieden samen de verdieping moet versterken, is er hier vanuit gegaan van dat een maximale vergroting van het getijvolume het gunstigst is voor de hoeveelheid te verrichten baggerwerk. Voor de Hedwigepolder is daarom een maximale komberging in de polder voor deze functie als het gunstigst genomen. De polder wordt afgegraven tot het G.L.W.S.-nivo. Grote delen van de tijd staat er water in de polder.



Figuur 2.3.a.: Snelheidsverloop in de hoofdgeul voor de polder bij een lage bodemligging van de polder.



Figuur 2.3.b.: Snelheidsverloop in de hoofdgeul voor de polder bij een hoge bodemligging van de polder.

Komberging.

De komberging is maximaal: de bodem ligt op N.A.P. -2,5 m en het volume bedraagt $16,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Dit levert een vergroting op van het vloedvolume van 10%. Deze vergroting kan in de hoofdgeul van de Westerschelde voor de Hedwigepolder een verdieping van zo'n 0,5 m geven (zie figuur 2.2.). Het maximaal optredende debiet in de mond is $1200 \text{ m}^3/\text{s}$. en treedt op als het waternivo op rond N.A.P. peil is. Bij zo'n 65% van de laagwaters blijft er water in de polder staan.

Aanslibbing.

Door de diepere ligging van deze polder lijkt de polder meer op een haven waardoor een hogere aanslibbing dan enkele cm per jaar kan optreden en het onderhoud enkele dm per jaar bedraagt. Om de functie maximaal in stand te houden is jaarlijks onderhoud nodig. Onderzoek naar een optimale onderhoudsfrequentie (relatie functievermindering-kosten onderhoud) is nodig. In dit hoofdstuk is van jaarlijks onderhoud uitgegaan.

Biota.

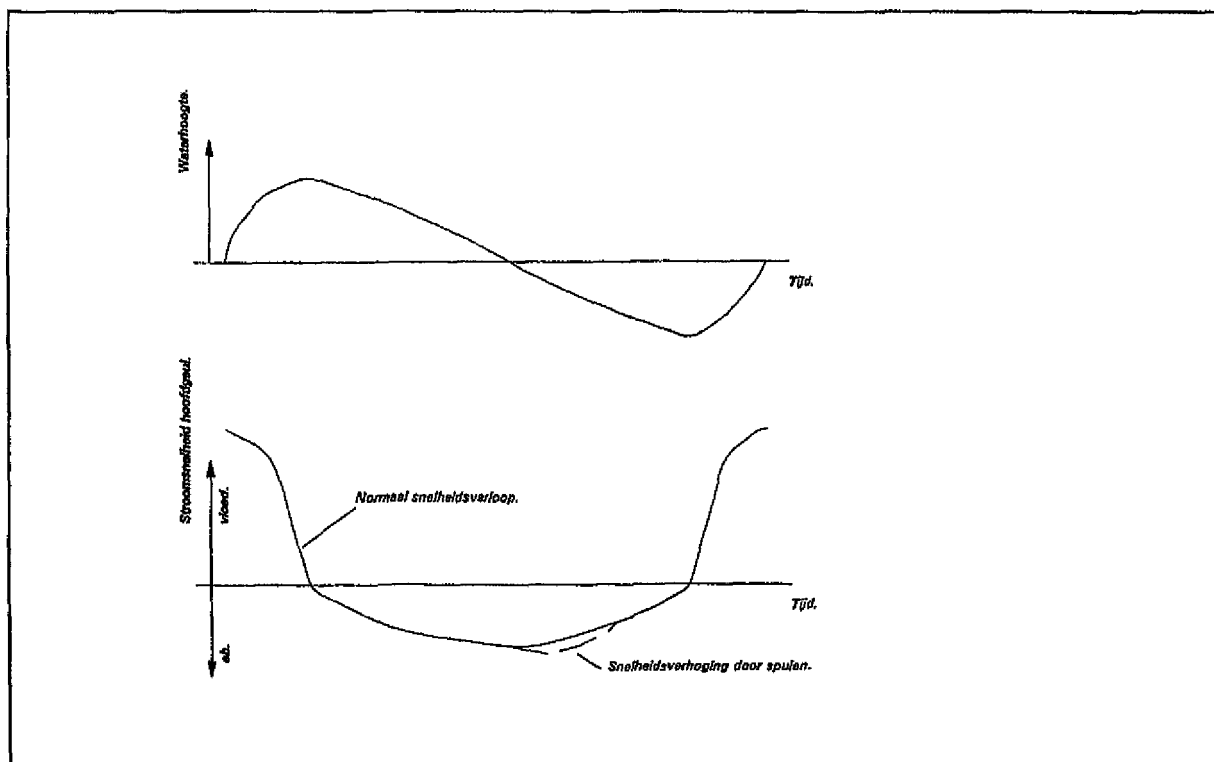
Het gebied valt zelden droog waardoor er nauwelijks kansen zijn voor vogels. Alleen bijvoorbeeld bergeenden die tot zo'n 0,5 m onder water kunnen fourageren, hebben een kans. Een normale bodemfauna is wel mogelijk. Vegetatie ontwikkelt zich niet.

Variant 2.2.; Inrichting als spuikom.

De inrichting is gericht op het kunnen vasthouden van hoogwaters in de polder om deze tijdens laagwater te gebruiken om bepaalde onderdelen van het watersysteem door te spoelen of om het getijverloop in de hoofdstroom te beïnvloeden.

Voor het doorspoelen van onderdelen zijn twee mogelijkheden onderscheiden, te weten het doorspoelen van de drempels in de vaargeulen of het verwijderen van slib voor de toegangsluizen van de Antwerpse haven (de Zandvliet-sluizen bijvoorbeeld).

De tweede mogelijkheid, het beïnvloeden van het getij (bijvoorbeeld de asymmetrie), is moeilijk eenvoudig te concretiseren. In de onderstaande figuur is een schets van deze mogelijkheid gegeven.



Figuur 2.4.: Invloed van een spuiكوم op het snelheidsverloop in de hoofdgeul.

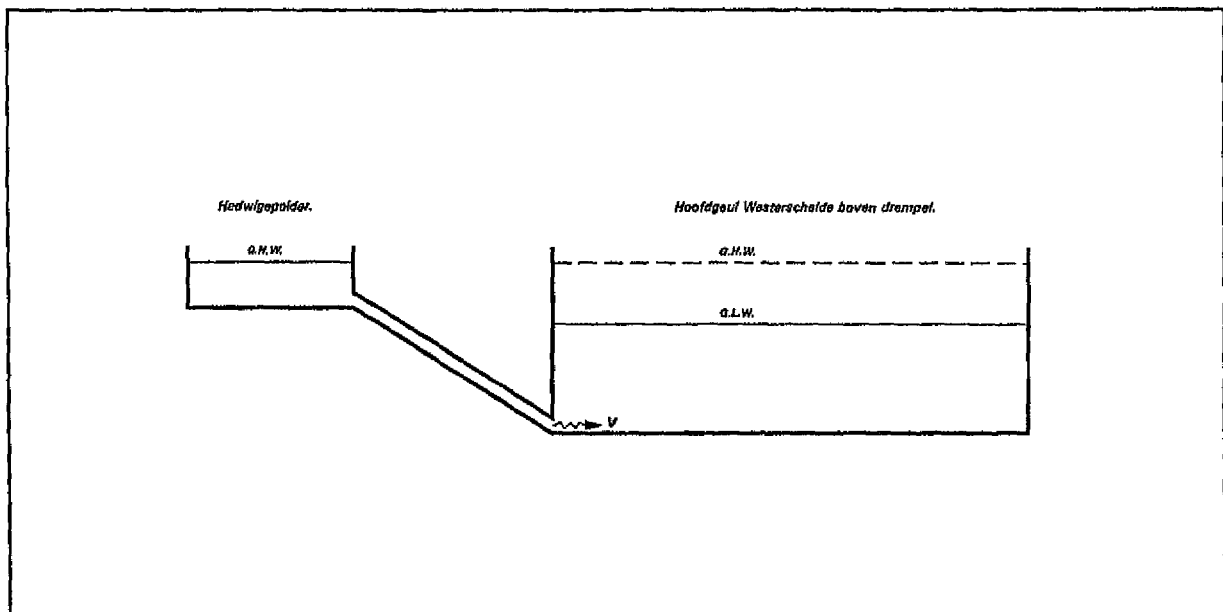
De eerste optie (drempels en/of havens doorspoelen) is verder uitgewerkt. Het gebied kan worden ingericht als intertijdegebied met een afsluitbare inlaat, waarbij de biota tegen een geregeld verlengde overstromingsduur bestand moeten zijn.

Mogelijkheden.

Er is gekeken naar de mogelijkheden om sediment met behulp van de spuiكوم weg te spoelen. Hierbij is aangenomen dat de polder over de hele breedte via buizen leeg stroomt en dat deze buizen het water naar de drempel of haven transporteren.

Er is gebruik gemaakt van de waarden die bekend zijn voor θ_{kr} (zgn. kritieke Shields-parameter) en van de transportformule van Meyer-Peter en Muller voor bodemtransport van sediment [Battjes, 1991]. De kritieke Shields-parameter geeft de grens aan waarboven (dus een stroom met $\theta > \theta_{kr}$) een sedimentkorrel met een bepaalde diameter in beweging komt door de waterstroom erboven. Hoe groter θ ten opzichte van θ_{kr} is, hoe groter de capaciteit van een waterstroom boven een sedimentbed is om erosie te veroorzaken.

Hierna kan met de genoemde transportformule de hoeveelheid sediment die door de stroom wordt meegenomen, worden bepaald. De berekening geeft een indruk van de mogelijkheden.



Figuur 2.5.: Rekenmodel doorspoelen.

De gemiddelde korrelgrootte van de korrels op de drempels is ongeveer $220 \mu\text{m}$ [Pieters et al., 1991]. Uitgaande van een gemiddeld verval over de buizen tijdens het spuien van 2,6 m (de helft van het verschil tussen G.H.W. en G.L.W.), een spuiduur van 1 uur (waarin het waterpeil in de polder ongeveer 0,5 m daalt) en een buislengte van 20 km, blijkt dat er bij de buiseinden een sedimenttransport van $5 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ per jaar mogelijk is. Deze hoeveelheid wordt van de drempels afgenomen en sedimenteert waarschijnlijk verderop weer. De drempel kan door het spoelen lager en breder worden. Ook bestaat de mogelijkheid dat door deze diepere drempelligging het systeem meer zand laat sedimenteren op de drempels die daardoor versneld verhogen. De werkelijke effectiviteit van het doorspoelen van drempels is hierdoor waarschijnlijk klein.

Bij kortere buisafstanden (enkele honderden meters) blijkt θ véél groter dan θ_{kr} te zijn, hetgeen gunstig is met betrekking tot de mogelijkheden van het doorspoelen van de havens en hun toegangen bij Antwerpen. De eenvoudige afschatting toont aan dat verder onderzoek naar de mogelijkheden van deze variant nuttig is.

Komberging.

Bij 1 uur spuien na hoogwater (N.A.P. +2,7 m) zakt het water ongeveer 0,5 m. Met een marge hierin moet het poldernivo in deze variant lager dan N.A.P. +1,5 m zijn. Dit levert een komberging van meer dan $3,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ op (2,5% van het vloedvolume ter plaatse).

Aanslibbing.

Wat betreft de aanslibbing kan worden gesteld dat er bij het uitstromen van het water hogere gemiddelde snelheden ontstaan (lagere aanslibbing) maar dat het water langer in de polder staat (hogere aanslibbing). De hogere snelheden nemen meer gesedimenteerd materiaal mee uit de polder. Er sedimenteert hierdoor waarschijnlijk minder dan enkele cm per jaar. Afhankelijk van de te volgen spuistrategie en bodemnivo is er onderhoud (enkele dm per jaar) na zo'n 5 jaar nodig.

Biota.

Indien de bodem nog geregeld droog valt en niet lager dan N.A.P. +1,5 m ligt, is enige begroeiing met engels slijkgras misschien mogelijk. Inundatie hiervan tot 1 à 2 dagen hoeft geen probleem te zijn [Groenendijk, 1985]. Enige steltlopers en bergeenden zijn te verwachten. Bij een diepere bodemligging of langere inundatietijden van de polder is er geen vegetatie. Voor de bodemdieren is deze inrichting geen probleem.

Variant 3.1.; Maximale sedimentatie.

De inrichting van het gebied is zodanig dat er een maximale sedimentatie in het gebied optreedt. Omdat de inrichting die dit bewerkstelligt in dit stadium niet eenduidig vast te leggen is, het systeem is complex, is er in eerste instantie uitgegaan van een aangenomen diepte die groter dan G.L.W. is (maximale komberging). In hoofdstuk 3 is de maximale aanslibbing uitgewerkt.

Komberging.

De komberging kan maximaal zijn, echter ook een kleinere komberging is mogelijk. De maximale komberging bedraagt $16,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en vergroot het vloedvolume met 10%.

Aanslibbing.

Uitgaande van een gemiddeld gehalte aan zwevende stof in het water van $88,7 \text{ g/m}^3$ [DGW, Waterkwaliteitsgegevens 1989, 1990, 1991] en een aangenomen slibdichtheid van 750 kg/m^3 [ten Brinke, 1992, deel 1] kan worden bepaald dat er maximaal 0,58 mm per getij kan

sedimenteren. Dit levert een sedimentatie die kleiner dan 40 cm/jaar is en een jaarlijkse sedimentatie van $93 \cdot 10^4$ ton. Echter door processen als gevolg van dichtheidsstromingen en neervorming kunnen hogere waardes mogelijk zijn. Zo is in de haven van Hoedekenskerke, in het westen, bekend dat er plaatselijk wel 5 m per jaar kan sedimenteren (mond. med. J. Vroon).

Gemiddeld sedimenteert er in de havens in de Westerschelde ongeveer 1 tot 1,5 m per jaar [van Maldegem, 1991]. Aangenomen dat deze waarden ook in de Hedwigepolder haalbaar zijn, kan er $290 \cdot 10^4$ ton per jaar sedimenteren. Deze waarde is een orde 10 groter dan de waardes die in de slibbalans van dat deel van de Westerschelde voorkomen [ten Brinke, 1992, deel 1]. Dit zijn waardes op jaarbasis voor alle input (bijvoorbeeld aanvoer vanaf zee en vanaf de Schelde) en output (bijvoorbeeld sedimentatie op de bodem) van slib in het vak van de Westerschelde waarin de Hedwigepolder ligt. Er kan worden geconcludeerd dat een sedimentatie van $290 \cdot 10^4$ ton (of 1 tot 1,5 m) per jaar in de Hedwigepolder niet mogelijk is. De waarde van $93 \cdot 10^4$ ton, behorend bij de gemiddelde hoeveelheid sediment in het water over een jaar, is van dezelfde orde maar groter dan de genoemde slibbalans termen. Het lijkt er op dat de Hedwigepolder ontpolderd een grote invloed gaat hebben op de slibhuishouding van het systeem. Er is een gedetailleerdere studie nodig om de sedimentatiewaarden exact te bepalen. In hoofdstuk 3 is deze studie uitgevoerd. Wel tonen deze getallen aan dat maximale sedimentatie een substantieële invloed kan hebben. Om een maximale slibsedimentatie in stand te blijven houden moet de polder zo veel mogelijk worden onderhouden. Verdere studie is nodig om een optimaal onderhoud vast te stellen. Er is in dit hoofdstuk uitgegaan van jaarlijks onderhoud. Bij variant 3.2. wordt aangetoond dat deze varianten (3.1. en 3.2.) een bijdrage kunnen leveren tot vermindering van de vervuiling van de Westerschelde.

Biota.

Vegetatie en vogels ontbreken vrijwel geheel. Alleen bodemdieren die onder G.L.W. leven zijn hier te verwachten (bijvoorbeeld *haustorius sp.* of *nereis diversicolor*).

Variant 3.2.; Specifieke sedimentatie.

De inrichting is erop gericht alleen die gesuspendeerde deeltjes in het gebied te laten sedimenteren waaraan de vervuilingen zijn gebonden. Deze specifieke deeltjes zijn voornamelijk slibdeeltjes ($< 53 \mu\text{m}$). Het gesuspendeerde materiaal in het water voor de Hedwigepolder bestaat voor zo'n 90% uit deeltjes $< 53 \mu\text{m}$ [DGW metingen, 1987-1988], zie ook figuur 1.13. Aangezien ook hier de inrichting niet eenduidig is, zijn hiervoor dezelfde aannames als bij variant 3.1. gedaan.

Komberging.

Evenals bij variant 3.1. bedraagt deze $16,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ of minder ($< 10\%$).

Aanslibbing.

De maximaal mogelijke aanslibbing is 90% van de aanslibbing van variant 3.1. (aanname). Dit levert een sedimentatie van minder dan 36 cm per jaar op. Een gedetailleerdere studie is noodzakelijk.

Vervuiling.

Om een indicatie te krijgen over de mogelijke bijdrage door deze functievariant aan de vervuilingsvermindering (en tevens door variant 3.2.), is uitgegaan van het gemiddelde jaarlijkse loodtransport ter plaatse van de grens. Deze bedraagt 72.600 kg/jaar (gemiddelde 1985-1990) [Wattel, 1991]. Gemiddeld is er per gram zwevend stof $156 \mu\text{g}$ lood geadsorbeerd [DGW metingen, 1987-1988]. Verschillen tussen fluviatiel sediment (afkomstig van de Schelde) en marien sediment (afkomstig van de Noordzee) zijn hierin verdisconteerd. Bij een sedimentatie van maximaal 0,36 m per jaar sedimenteert $156 \cdot 10^{-6} \cdot 0,36 \cdot 310 \cdot 10^4 \cdot 750 \cdot 10^3 = 13 \cdot 10^7 (= 13 \cdot 10^4 \text{ kg})$ lood per jaar (maximaal). Vergelijking van deze maximale hoeveelheid lood dat kan sedimenteren met de jaarlijkse vracht, toont aan dat een nader onderzoek naar de reductie van de vuillast op de Westerschelde door sedimentatie van slib in de Hedwigepolder interessant kan zijn.

Biota.

Zoals bij variant 3.1. ontwikkelt zich nauwelijks biota. Een effect dat zich bij alle inrichtingsvarianten kan voordoen, maar in deze variant het sterkst, is dat als gevolg van de vervuiling van het sediment er geen bodemfauna tot ontwikkeling komt en alleen de zeeduizendpoot (*neris diversicolor*) eventueel overleeft. Dit beestje is minder gevoelig voor vervuilingen [Meire et al., 1992].

Als vervolg op varianten 3.1. en 3.2. zijn er twee mogelijkheden;

Subvariant a; Inrichting met saneringsfase.

Deze subvariant is geen op zichzelf staande variant maar een optie voor varianten 3.1. en 3.2. nadat in de Schelde de verontreinigingen (bronnen, water en bodem) gesaneerd zijn. Hoewel hierover weinig grondig bekend is, wordt de grootte van deze periode op jaren geschat. Na deze periode wordt de inrichting van functievariant 3.1. of 3.2. gesaneerd en wordt het gebied ten behoeve van een andere functie ingericht. Met een sanering van gemiddeld 40 cm per jaar is de totale hoeveelheid te saneren slib ongeveer $1,24 \cdot 10^6$ m³/jaar (maximaal).

Subvariant b; Inrichting met speciale vegetatieontwikkeling.

Ook dit betreft geen werkelijke inrichtingsvariant maar een vervolg op varianten 3.1. of 3.2. In deze variant wordt de (vervuilde) sedimentatie in het gebied als 'waardevol' gezien en de zich daarin ontwikkelende biota in stand gehouden. De varianten 3.1. of 3.2. worden niet gesaneerd als ze 'vol' zijn.

In eerste instantie bevolkt waarschijnlijk alleen de zeeduizendpoot het gebied. Bij een voldoende hoge opslibbing kan een normale schor-vegetatie successie op gang komen (mond. med D. de Jong). Er ontstaat een normale schor-vegetatie met een gereduceerde bodemfauna. Vogels zijn minder dan normaal in aantal. Uitloging van de vervuiling richting de omringende polders (Prosperpolder) moet worden verkomen. De polder kan als bronbelasting voor een gesaneerde Schelde gaan werken (zie ook 4.3.1.).

Variant 3.3.a.; Zuivering van water binnen de kom.

Het gebied wordt ingericht om het water dat erin stroomt te zuiveren. Het zuiveren kan gebeuren met biotische organismen (bijvoorbeeld biezengrassen of bacteriën) of abiotische systemen (alle bekende waterzuiveringstechnieken). Het in de hoofdstroom terugstromende schone water verdunt de daar aanwezige vervuiling.

Mogelijkheden.

Om een indruk van de mogelijkheden van deze functie te krijgen, is er uitgegaan van een bodemhoogte van N.A.P. +2,05 m ($2 \cdot 10^6$ m³ water) en is aangenomen dat een zuivering zorgt voor volledig schoon water binnen één getijcyclus. In Nederland wordt door de bestaande zuiveringsinstallaties gemiddeld 3700 m³/dag (= 1850 m³/getij) water gezuiverd [Kop et al., 1991]. Er is een groot zuiveringssysteem nodig om $2 \cdot 10^6$ m³ water per getij te zuiveren. Gesteld dat een zuivering bij de polder 4000 m³ per getij zuivert en dat (als voorbeeld) al het lood in het water hierbij wordt verwijderd. Met een gemiddelde loodconcentratie van 8,2 g/m³ [DGW, Waterkwaliteitgegevens 1989, 1990, 1991] wordt dan 60 kg/dag (= 24.000 kg per jaar) uit het systeem verwijderd. Gemiddeld (1985-1990) komt er bij de grens 72.600 kg per jaar Nederland binnen [Wattel, 1991]. Deze hoeveelheid kan door de zuivering structureel verlaagd worden.

Subvariant 3.3.b.; Kweken van organismen die buiten de kom het water zuiveren.

Organismen worden in de kom gekweekt en periodiek aan de hoofdstroom toegevoegd. Aldaar moeten de organismen (bijvoorbeeld bacteriën) op liefst versterkte wijze de afbraak van vervuilingen bewerkstelligen. Tevens mogen de organismen het ecosysteem in de Westerschelde niet negatief beïnvloeden. De mogelijkheden van deze variant zijn niet uitgewerkt.

Bij zowel variant 3.3.a. als 3.3.b. is verdieping niet noodzakelijk en ze zijn wat betreft komberging, aanslibbing en biota gelijk aan variant 1, 'niets doen', gesteld. Eens in de 10 jaar is dan onderhoud nodig.

2.3.3. Vergelijking en relaties van de varianten.

De belangrijkste conclusies van de indicatieberekeningen in 2.3.2. zijn samengevat in de onderstaande tabel. Onder onderhoud is een voorlopige indicatie gegeven van het aantal jaren waarna onderhoud (in de vorm van verwijderen van de aanslibbing) nodig is.

	kom berging (%)	aanslib- bing, (cm/j)	onderhoud.	biotische waarde Hedwige polder.
0. niets doen.	1	enkele	nooit	matig
1.1. 'slik'	10	enkele	na 100 jaar	hoog
1.2. t.b.v. vis.	3	enkele	om 10 jaar	hoog
1.3. vogels	1	enkele	binnen 50 jaar	hoog
1.4. met Saeftinge	< 1	> en- kele	binnen 30 jaar	matig
2.1. max. komberging.	10	enkele	jaarlijks	matig
2.2. spuikom.	> 2,5	< en- kele	om 5 jaar	matig
3.1. max. sedimenta- tie.	< 10	< 40	jaarlijks	minimaal
3.2. spec. sedimenta- tie.	< 10	< 36	jaarlijks	minimaal
3.3.a/b. zuivering.	1	enkele	om 10 jaar	matig

Relaties.

In de onderstaande figuur zijn relaties tussen de verschillende functievarianten gegeven. Hierbij geeft een plus aan dat de functies goed binnen een inrichting te combineren zijn. Nul geeft aan dat de functies wel te combineren zijn maar ze elkaar remmen. Een min geeft aan dat de varianten niet te combineren zijn. In de laatste kolom staat het aantal plussen per variant aangegeven. De matrix is uiteraard symmetrisch om zijn diagonaal.

	0 nuls	1 1 schor	1 2 vls	1 3 vogel	1 4 best	2 1 komb.	2 2 spul	3 1 max. vls	3 2 spec. vls	3 3 sabin	3 4 sabin	
0 nuls	-	+	0	+	-	0	-	-	0	0	0	2
1 1. breivater schor	-	-	+	+	-	0	-	-	0	0	0	3
1 2 vls	+	+	-	+	-	0	0	-	-	+	+	3
1 3 vogels	0	-	+	+	+	-	-	-	-	0	0	3
1 4 met best	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	5
2 1 max. komb.	-	0	0	-	-	-	-	+	+	+	+	5
2 2 spulken	0	0	0	-	-	-	-	-	-	+	+	3
3 1 max. vls	-	-	-	-	-	+	-	-	-	0	0	1
3 2 spec. vls	-	-	-	-	-	+	-	-	-	0	0	1
3 3 sabin bin.	0	0	+	0	+	+	+	0	0	+	+	5
3 4 sabin bin.	0	0	+	0	+	+	+	0	0	+	+	5

Figuur 2.6.: Relatiematrix functievarianten.

Herschikken van deze matrix levert de matrix uit figuur 2.7. op. De volgorde van de varianten is bepaald aan de hand van het aantal plussen. In deze, eveneens symmetrisch om de diagonaal zijnde, matrix is te zien dat er een aantal varianten zijn die goed met elkaar te combineren zijn. Dit levert in de matrix groepen van plussen.

	1.2 vis	1.4 Saet.	2.1.komb.	3.3a bin	3.3b bul	1.1 schor	1.3.vogel	2.2.spul	0 niets	3.1 max.slib	3.2 spec.slib	
1.2 vis	-	-	0	+	+	+	+	0	+	-	-	5
1.4 met Saet.	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-	5
2.1 max. komb.	0	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	5
3.3a zuiv bin.	+	+	+	+	+	0	0	+	0	0	0	5
3.3b zuiv bul	+	+	+	+	0	0	0	+	0	0	0	5
1.1 Brakwaterschor	+	+	-	0	0	+	+	0	-	-	-	3
1.3. vogels	+	+	-	0	0	+	-	-	0	-	-	3
2.2 spulkom	0	-	+	+	+	0	-	-	0	-	-	3
0 niets	+	+	-	0	0	-	0	0	-	-	-	2
3.1. max. slib	-	-	+	0	0	-	-	-	-	-	-	1
3.2. spec.slib	-	-	+	0	0	-	-	-	-	-	-	1

Figuur 2.7.: De herschikte relatiematrix.

Uitschrijven van groepen van varianten die tussen elkaar geen minnen kennen, levert de volgende clusters van functies op die in de Hedwigepolder te combineren zijn:

Cluster 1:

Inrichting ten behoeve van vis,
inrichting als brakwaterschor,
en inrichting voor vogels.

Deze cluster grijpt aan op het probleem natuur.

Cluster 2:

Inrichting met zuivering binnen en voor buiten de kom.
inrichting ten behoeve van vis,
en 'niets doen'.

Deze cluster grijpt aan de problemen natuur en vervuiling.

Cluster 3:

Inrichting met zuivering binnen en voor buiten de kom.
inrichting met Saeftinge,
en 'niets doen'.

Deze cluster beïnvloedt de vervuiling en natuur.

Cluster 4:

Inrichting als spuikom,
inrichting als zuiveringsgebied, binnen en buiten, en
inrichting met maximale komberging.

Deze cluster beïnvloedt bagger en vervuiling.

Cluster 5:

Inrichting als schor,
inrichting ten behoeve van vogels,
inrichting met Saeftinge.

Beïnvloedt natuur.

Cluster 6:

Inrichting met maximale komberging,
en met maximale sedimentatie of specifieke sedimentatie.

Beïnvloedt bagger en vervuiling.

2.3.4. Haalbaarheid.

De functievarianten voor de inrichting van de Hedwigepolder zijn verder uitgewerkt. In dit onderdeel worden de mogelijkheden van het ontpolderen van de Hedwigepolder om een substantieële bijdrage aan de oplossing van de problemen van de Westerschelde te leveren samengevat.

Natuur.

De achteruitgang van de natuurwaarden in de Westerschelde heeft voor een belangrijk deel met de achteruitgang van het oppervlakte aan overstroombaar intertijdegebied (platen, slikken en schorren) te maken. Uit de ligging van het Verdrongen Land van Saeftinge nabij de Hedwigepolder blijkt dat het mogelijk moet zijn om in de Hedwigepolder een brakwaterschor zich te laten ontwikkelen. Omdat in het gebied, bijvoorbeeld in Saeftinge, nog maar weinig primair schor- en slikgebieden voorkomen, kan de Hedwigepolder door toevoegen van een groot areaal (maximaal 310 ha) aan slik en primair schor aan het systeem een wezenlijke vergroting van de natuurwaarde van het gebied betekenen. Het ontpolderen kan een toename van maximaal 10% betekenen van het totale oppervlakte aan brakwaterschorren in de Westerschelde en 8% toename van het totaal aantal schoroppervlak in het Schelde estuarium. De bijdrage aan toegevoegd slik en/of primair schor is groter dan 10%.

Baggerwerk.

De hoeveelheid baggerwerk in de Westerschelde is afhankelijk van de bodemdiepte in de vaargeulen die weer afhankelijk is van de grootte van het getijvolume. Uit de berekeningen van de mogelijke grootte van de komberging in de Hedwigepolder blijkt dat ontpolderen het vloedvolume in de hoofdgeul voor de Hedwigepolder met 1 tot 10% kan vergroten. Een substantieële toename van het vloedvolume en dus afname van de baggerhoeveelheden is haalbaar.

Vervuiling.

Uit de voorbeeldberekeningen met lood blijkt een reductie van de loodvracht die de Westerschelde in komt van orde 10% mogelijk. Een substantieële reductie van de totale vuillast die de Westerschelde in komt is mogelijk. Verder onderzoek hiernaar is noodzakelijk en interessant.

2.4. Vervolg en criteria.

Dit laatste onderdeel van het hoofdstuk bespreekt het vervolg van de studie en de criteria waarmee de uiteindelijke inrichtingen worden beoordeeld.

2.4.1. Vervolg.

Aanslibbing is een belangrijk aspect van de inrichting van het gebied en het vervullen van de beoogde functies. De aanslibbing bepaalt het hoogteverloop van de polder en daarmee in grote mate de biotische ontwikkeling, het verloop van de komberging en de hoeveelheid verontreinigingen die zich in het gebied ophopen. In het vervolg van deze studie wordt eerst de aanslibbing van een ontpolderd gebied als de Hedwigepolder in het algemeen bekeken. Omdat dit de eerste studie is naar de mogelijkheden van de Hedwigepolder als intergetijdegebied, is besloten om aan de hand deze aanslibbingstheorie eerst van de drie basisvarianten voor de functie de konkrete inrichting en de ontwikkeling uit te werken. Ook wordt de nuloptie uitgewerkt. Dit levert de volgende uit te werken varianten;

0. 'Niets doen'.

1.1. Inrichting als natuurlijk intergetijde gebied, ter ontwikkeling van een brakwaterschor.

2.1. Inrichting ten behoeve van maximale komberging.

3.1. Inrichting ten behoeve van maximale aanslibbing.

Uit het verloop van de aanslibbing wordt het verloop van de hoogte, de komberging en de natuur per basisvariant afgeschat. De gevolgen voor een inrichting van een variant van de scheepvaart, de vervuiling en de verzwaring van de dijken worden hierbij niet meegenomen. In hoofdstuk 4 wordt hierop teruggekomen.

2.4.2. Criteria.

In het laatste hoofdstuk worden de resultaten van de uitgewerkte basisvarianten geëvalueerd en vergeleken aan de hand van de probleem- en doelstelling. Per basisvariant wordt bekeken in hoeverre de variant de problemen van de Westerschelde verbetert. Hierbij worden voor de toetsing de volgende criteria aangehouden.

Natuur.

De belangrijkste bijdrage die de Hedwigepolder aan de verbetering van de natuurwaarde van de Westerschelde kan leveren, is het ontwikkelen van een zo groot mogelijk areaal primair schor en slik dat zo lang mogelijk in het gebied aanwezig is. Als maatstaf voor de beoordeling hiervan is de grootheid hectareduurjaren, HDJ, ontwikkeld:

Hectareduurjaren is een maat die het aantal hectare aan gewenst natuurgebied weergeeft én waarin het tijdstip waarop dit aantal hectare aanwezig is, is verwerkt door dit aantal hectare natuurgebied te vermenigvuldigen met het aantal jaren vanaf de gebiedsinrichting waarna dit oppervlak tot ontwikkeling is gekomen. Hierbij is aangenomen dat een bepaald oppervlak aan natuur meer waarde heeft als het later tot ontwikkeling komt. Met andere woorden heeft de natuur dan een langere levensduur.

HDJ wordt als volgt bepaald;

$$HDJ = \sum_{i=1}^n i * A_{s,i}$$

Met: HDJ : Aantal hectareduurjaren aan een bepaald soort natuurgebied in jaar n na de inrichting van het gebied, [hajaren]. In dit geval betreft het slik en primair schor gebied.

n : Het aantal jaren na de inrichting waarin de natuurwaarde bepaald wordt, [jaar].

$A_{s,i}$: Het oppervlakte aan het gewenste natuurgebied in jaar i, [ha].

Hoe hoger dit aantal hectareduurjaren van een inrichting na een bepaalde tijd, hoe groter de bijdrage aan het probleem natuur in de Westerschelde wordt aangenomen.

Het gebruik van dit criterium bij de beoordeling van de natuurwaarde van een inrichting heeft als voordeel dat verschillende varianten eenvoudig met elkaar kunnen worden vergeleken en dat de tijdsfactor erin zit verwerkt.

Het criterium kent ook nadelen

- De invloed van een onnatuurlijk getij (bijvoorbeeld een sterke asymmetrie van het getij of sterke stroomsnelheden) wordt niet meegenomen.
- De waarde van verschillende substraten (bijvoorbeeld zand of slib) in de polder wordt niet meegenomen.
- De mate van vervuiling is niet meegenomen.
- De ruimtelijke differentiatie op één hoogte wordt niet vergeleken.

Baggerwerk.

De invloed op het baggerwerk in de Westerschelde van een inrichting van de Hedwigepolder is een samenspel van een aantal factoren (zie ook 1.2.2.). Zo worden bij ontpolderen waarschijnlijk meer polders dan alleen de Hedwigepolder aan het watersysteem worden toegevoegd, die voor een samengestelde invloed op de waterbeweging in de Westerschelde zorgen. Tevens is de diepteligging van de Westerschelde afhankelijk van factoren als het getijvolume, de getij-asymmetrie, de stroomsnelheden e.d. De invloed van de Hedwigepolder sec. is daarom moeilijk vast te stellen. Als maatstaf voor de invloed op het baggerwerk wordt hier de komberging van het gebied genomen. Hoe groter de komberging van de Hedwigepolder, hoe groter de invloed van de polder op het verminderen van de hoeveelheid baggerwerk in de Westerschelde.

Vervuiling.

De vervuiling kan door de Hedwigepolder worden beïnvloed doordat vervuild slib zich in de polder afzet en zo aan de Westerschelde wordt onttrokken. De cumulatieve aanslibbing in het verloop van de tijd (onttrekking van vuil) wordt als maat genomen voor de invloed van de Hedwigepolder op de vervuiling van de Westerschelde. Hoe groter de cumulatieve aanslibbing, hoe groter de vermindering door ontpolderen van de vervuiling van de Westerschelde.

3. AANSLIBBING EN STROMING.

In dit hoofdstuk wordt de aanslibbing van een ontpolderde Hedwigepolder bestudeerd en daarmee de stromingspatronen die in de polder kunnen gaan optreden. Een algemene benadering van de mogelijke aanslibbingsprocessen en stromingspatronen wordt behandeld. De theorieën en methoden in dit hoofdstuk hebben betrekking op intertijdegebieden in het algemeen. De afschatting van de aanslibbing in de Hedwigepolder is aan de hand van dit hoofdstuk in hoofdstuk 4 gedaan.

3.1. Inleiding.

Aanslibbing is een belangrijk proces in de ontwikkeling van een kombergingsgebied als de Hedwigepolder. De aanslibbing (sedimentatie en erosie) bepaalt het hoogteverloop van de bodem in de tijd en daarmee het verloop van de komberging in de tijd, de mogelijkheden voor biota om zich in het gebied te vestigen en de hoeveelheid verontreiniging die zich in het gebied ophoopt. Indirekt bepaalt het ook de invloed van de polder op de scheepvaart in de hoofdgeul.

Sedimentatie ontstaat doordat gesuspendeerde slib en/of zanddeeltjes uitzakken. Dit uitzakken is pas mogelijk indien de snelheid van het water onder de kritische sedimentatiesnelheid zakt. Indien het water een stroomsnelheid krijgt die groter is dan de kritische erosiesnelheid, worden deeltjes van de bodem weer in suspensie genomen (erosie).

De sedimentatie is allereerst afhankelijk van de hoeveelheid sediment die de polder met de waterstromen wordt ingevoerd. Deze hoeveelheid is afhankelijk van de sedimentconcentratieverdeling in de hoofdstroom voor de polder en het volume water dat per getij door de polder met de hoofdstroom wordt uitgewisseld. Ten tweede zijn sedimentatie en erosie afhankelijk van de in de polder optredende stroomsnelheden. Hierdoor is de sedimentatie in de polder afhankelijk van de wijze waarop het water in de polder stroomt (de stromingspatronen) dat zowel het aanbod van sediment als de snelheden in de polder bepaalt. Als derde zijn sedimentatie en erosie afhankelijk van de sedimentkarakteristieken waaronder de korrelgrootteverdeling.

3.2. Theoretische benadering.

In de theoretische benadering van de aanslibbing zijn in deze studie twee benaderingen afgeleid. Als eerste wordt het overstromingsgebied beschouwd als rechthoekige bak. Hierbij ontstaan processen zoals die optreden bij de aanslibbing van havens: de haven-analogie. In verloop van tijd komt het gebied hoger te liggen en er ontwikkelt zich een geulenstelsel. De vorm van de polder gaat steeds minder op een rechthoekige bak lijken zodat op een gegeven moment de analogie met havens niet meer op gaat. De aanslibbing verloopt dan volgens processen zoals ze bij natuurlijke schorren optreden: De schor-analogie.

3.2.1. De haven-analogie.

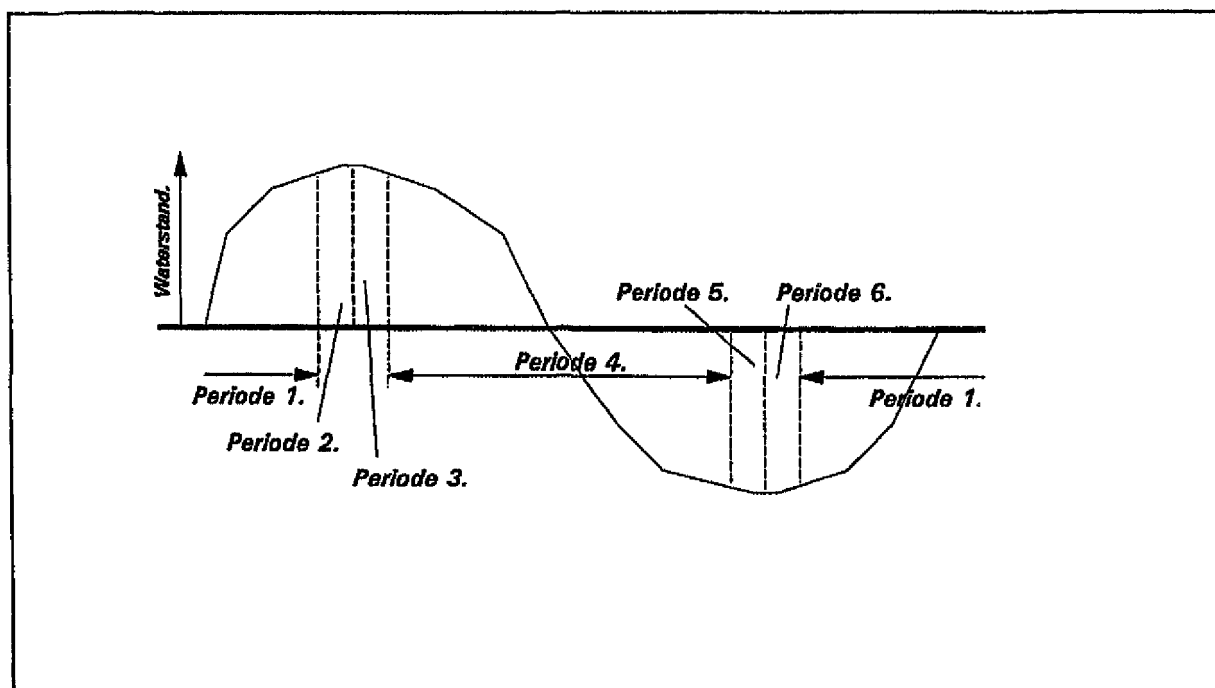
Bij havens wordt de aanslibbing door drie interactieve processen bepaald, te weten neervorming, komvulling en dichtheidsstromingen. Bij de Hedwigepolder worden analoog hieraan de dezelfde processen onderscheiden die de stromingspatronen in de polder kunnen bepalen:

- Neervorming; De stroming in de hoofdstroom drijft een neer aan in de mond van de Hedwigepolder.
- Komberging; Door het getij op de Westerschelde wordt de polder vrijwel tweemaal daags met water gevuld en geledigd. De polder valt hierbij afhankelijk van zijn bodemligging en de laagwaterstand meestal droog.
- Dichtheidsstroming; Het chloridegehalte en het gehalte aan zwevend stof in de hoofdstroom verlopen gedurende een getijcyclus. Dit geeft dichtheidsverschillen tussen het water in de hoofdstroom en polder die aanleiding zijn voor dichtheidsstromen hiertussen. In de Westerschelde is de invloed van het zwevend stof gehalte op de dichtheid te verwaarlozen.

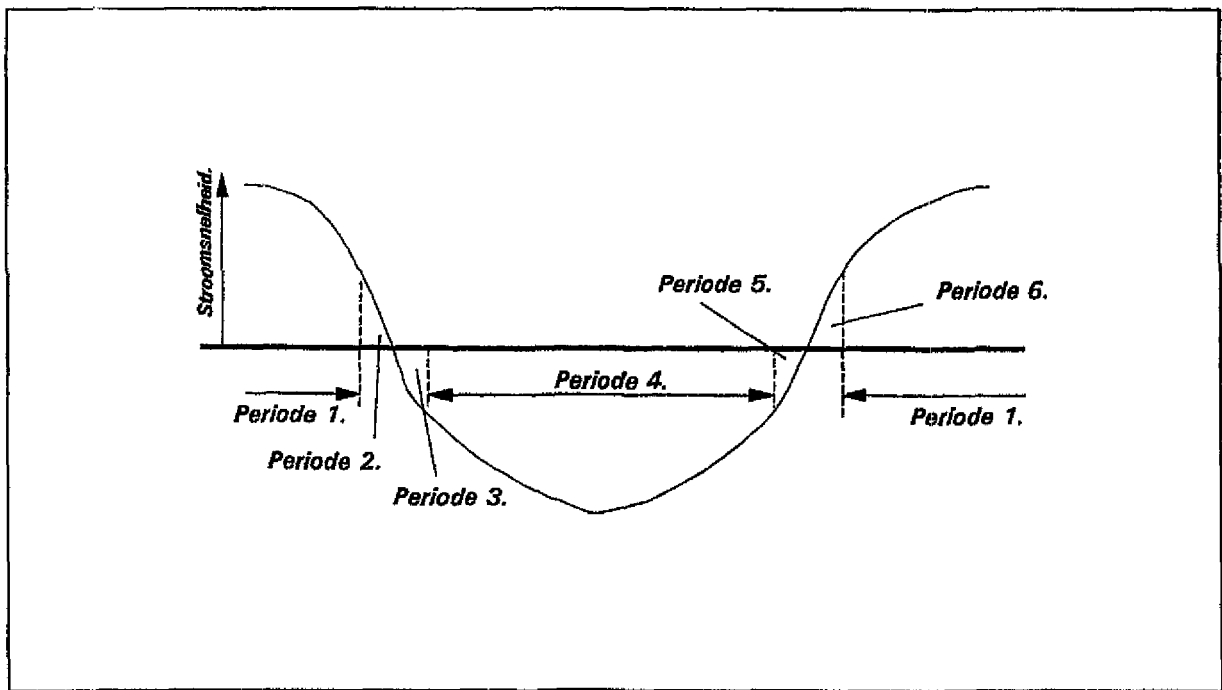
In de stromingspatronen ten gevolge van deze processen zijn zes periodes te onderscheiden die apart worden beschreven. Eerst wordt voor deze periodes de komvulling en de neervorming samen besproken waarna apart het patroon ten gevolge van dichtheidsstroming wordt besproken. Er is hierbij vanuit gegaan dat neervorming en komberging samen optreden. Dit is niet altijd het geval.

Neervorming en komvulling.

Neervorming en komvulling zorgen voor typerende stromingspatronen waarbij de wederzijdse beïnvloeding duidelijk naar voren komt. Er zijn 6 periodes onderscheiden, met elk hun typerende patroon.



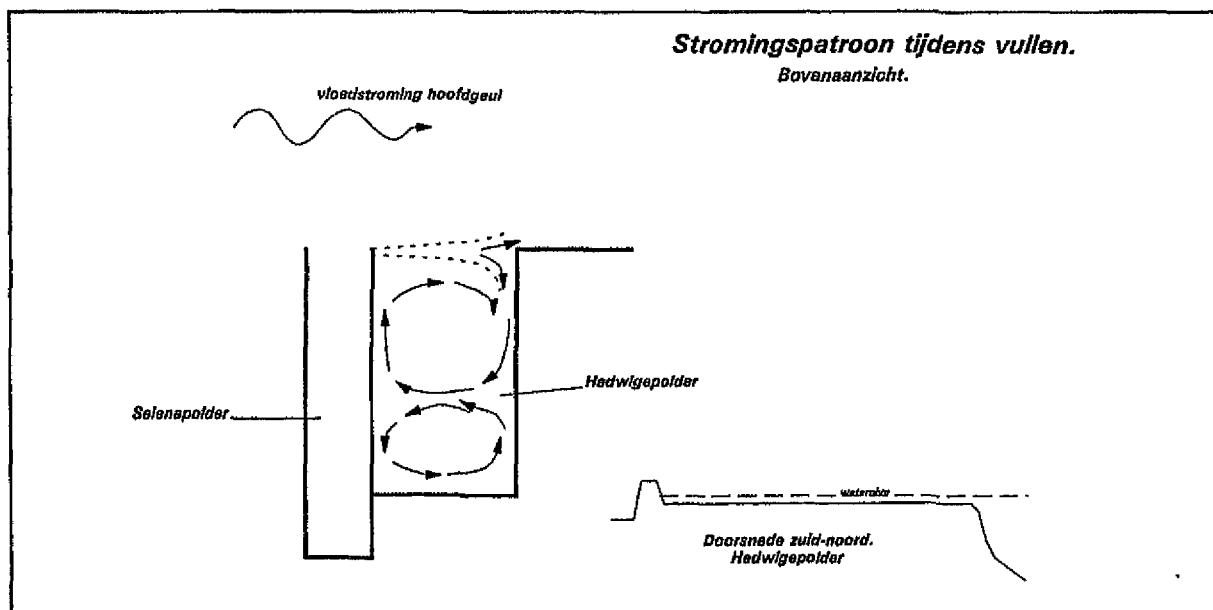
Figuur 3.1.: Onderscheiden periodes in de haven-analogie, uitgezet tegen het waterstandsverloop in de hoofdstroom.



Figuur 3.2.: De periodes en het snelheidsverloop in de hoofdstroom.

Periode 1; Het vullen van het overstromingsgebied (de vloedperiode).

In de hoofdgeul staat een sterke stroming (bij de Hedwigepolder komen vloodsnelheden boven 1,5 m/s voor). Deze stroming drijft in de mond van de polder een neer aan. Tussen de hoofdstroming en de neer ontstaat een menglaag waarin rivierwater en neerwater uitgewisseld worden. Indien de lengte/breedte verhouding van de polder (L/B) kleiner dan 0,5 is, ontstaat er geen neer in de polder [Langendoen, 1992]. Als $L/B > 2$ kunnen in de polder meerdere neren ontstaan. Het is mogelijk dat door een hoge bodemligging (en dus kleine waterdiepte) de invloed van de bodemwrijving op de neer zo groot is dat er geen neer kan ontstaan en er geen menglaag tot ontwikkeling komt. In [Babarutsi et al., 1990] is een benadering van dit probleem gegeven. In [Booy, 1986] is het optreden van een neer in modelproeven onderzocht.



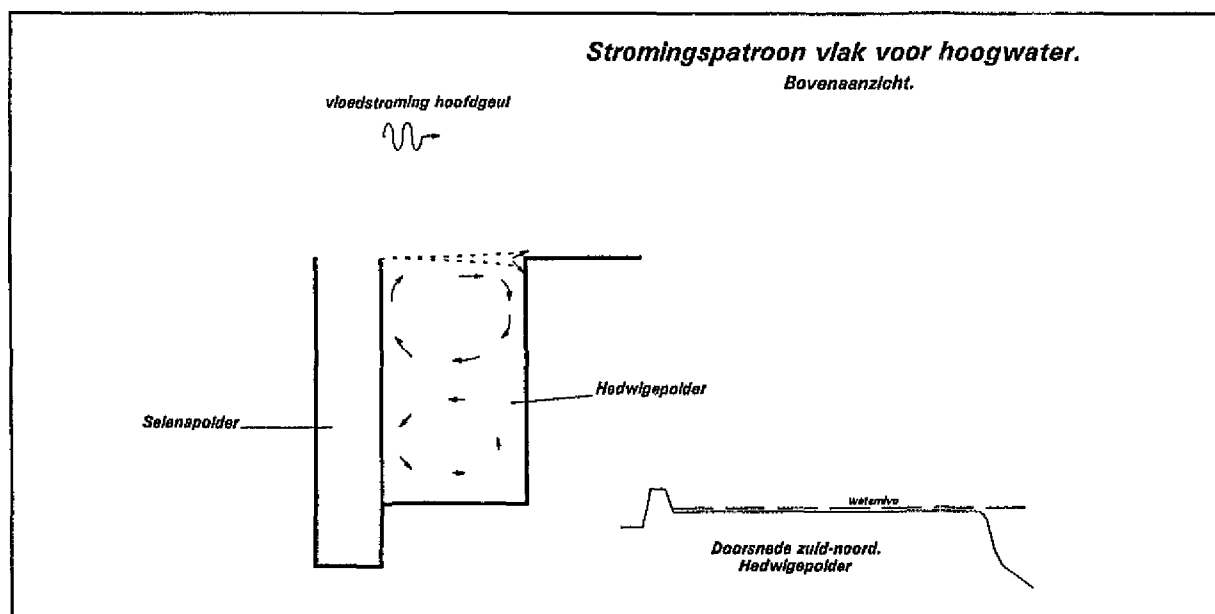
Figuur 3.3.: Periode 1; Het vullen van het gebied.

Een sterke vulstroom duwt de neer en de grenslaag verder in de polder en vermindert de uitwisseling van water en sediment ten gevolge van de neer. Een deel van het menglaagwater stroomt bij het benedenstroomse einde van de polder met de hoofdstroom mee, het andere deel stroomt de polder in. [MKO, 1983, in Langendoen, 1992] stelt dat indien het superpositiebeginsel wordt toegepast, er geen uitwisseling van water en sediment ten gevolge van neervorming optreedt indien de snelheid van de komvullingsstroom groter is dan de snelheid in de neer. Het is echter maar de vraag of het superpositiebeginsel geldig is (zie paragraaf 3.2.3.). Wel kan worden gesteld dat een sterke komvullingsstroom de vorming van een volledige neer kan remmen (zie paragraaf 3.2.3.).

Periode 2; Vlak voor hoogwaterkentering.

De stroming in de hoofdgeul is zo zwak geworden dat er nog nauwelijks van een neer of menglaag in de hoofdstroom sprake is.

Ook van kombergingsvulling is geen sprake meer. De zeer lage stroomsnelheden in het gebied zorgen voor het uitzakken van het sediment: sedimentatie.



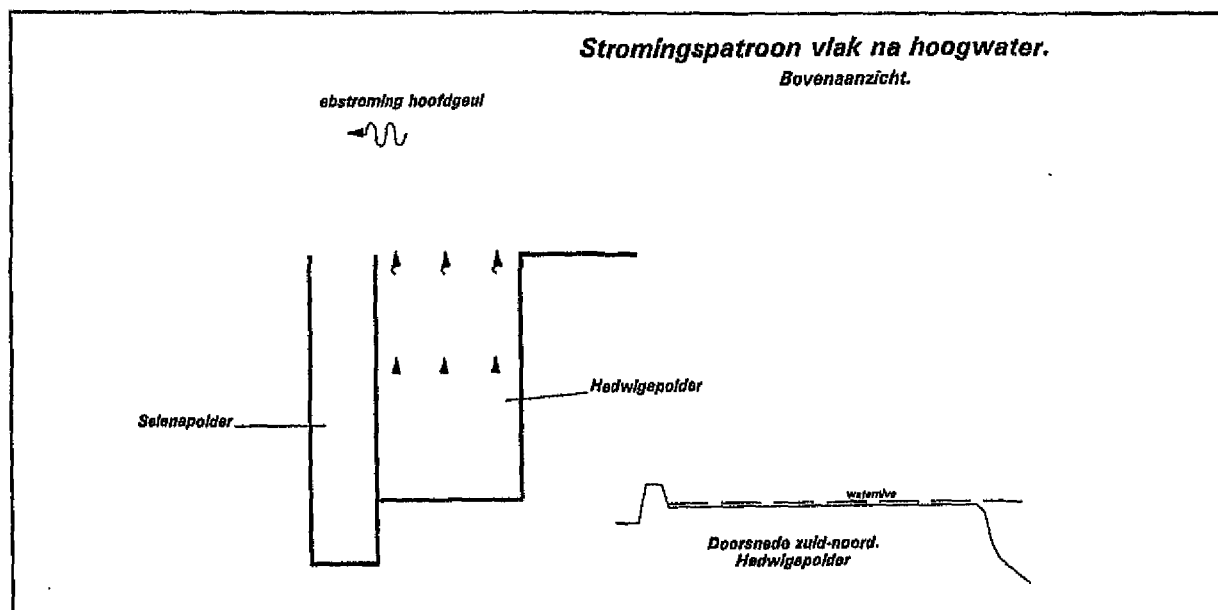
Figuur 3.4. Periode 2; Vlak voor hoogwaterkentering.

Periode 3; Vlak na hoogwaterkentering.

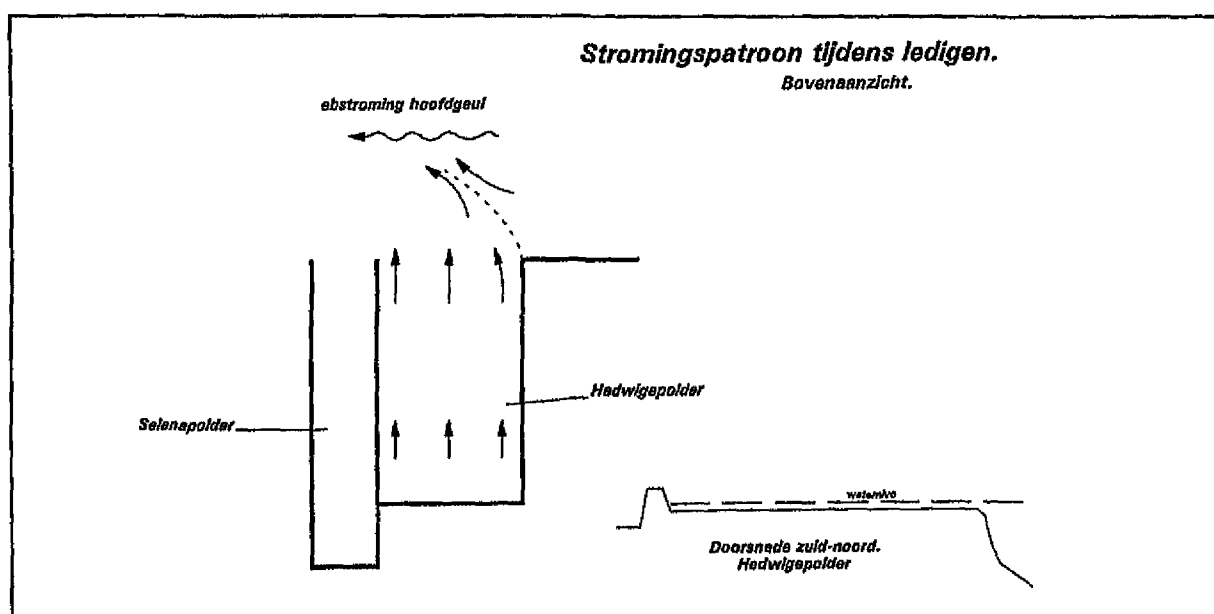
Er ontwikkelt zich een kombergingsstroom die de polder moet legen. De neer die door de hoofdstroom zou worden aangedreven, wordt door de kombergingsstroom uit de polder geduwd en kan zich daardoor niet ontwikkelen (zie figuur volgende pagina).

Periode 4; Het ledigen (de ebperiode).

De sterke ledigingsstroom verhindert neervorming in de polder. Het uitstromende water kan een menglaag vóór de polder in de hoofdgeul creëren indien daarvoor voldoende water uit de polder stroomt (zie figuur volgende pagina).



Figuur 3.5. Periode 3; Na hoogwaterkentering.



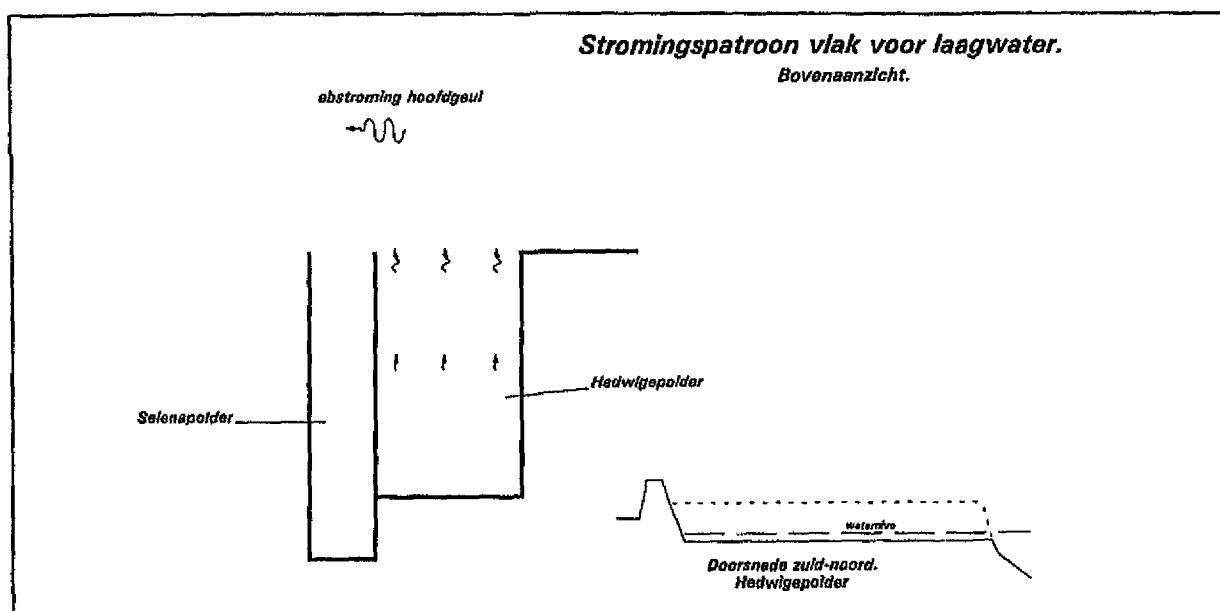
Figuur 3.6.: Periode 4; Het ledigen van het gebied.

Voor het vervolg zijn twee mogelijkheden:

- De bodem van de Hedwigepolder ligt boven G.L.W.. De polder valt droog en ondervindt geen invloed van de laagwaterkentering. Periodes 5 en 6 treden niet op. Het gesedimenteerde slib en zand kan consolideren in de droogte tot de polder zich weer gaat vullen (periode 1).
- Het bodem ligt op of onder G.L.W.. Periodes 5 en 6 treden geheel of gedeeltelijk op.

Periode 5; Vlak voor laagwaterkentering.

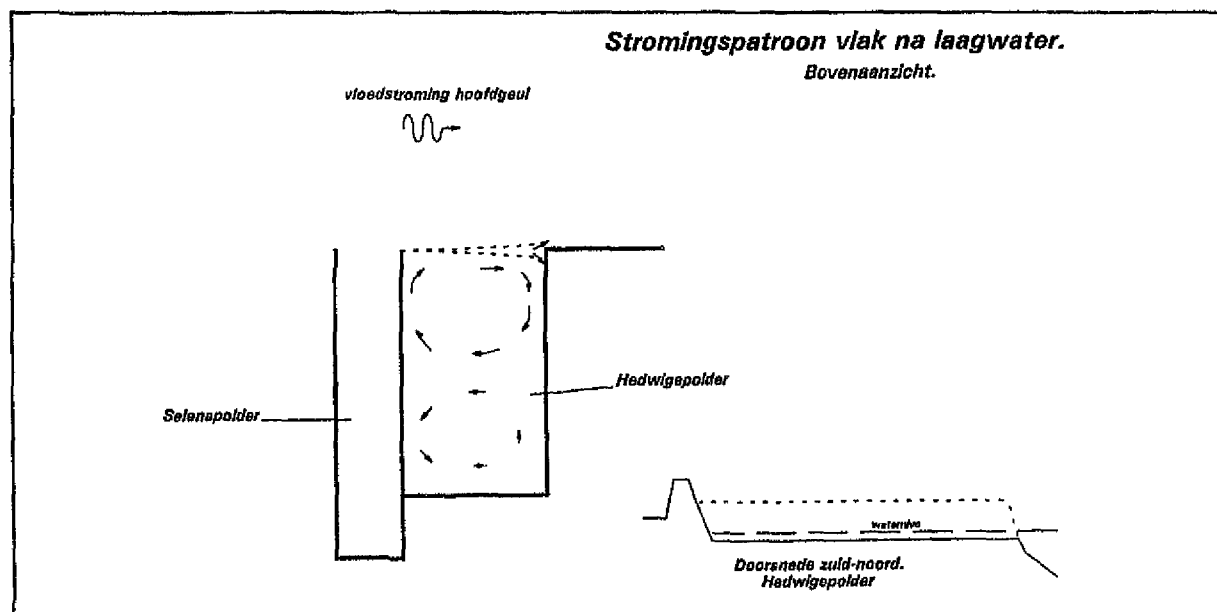
Er is nauwelijks sprake van stroming. Er zijn geen neren.



Figuur 3.7.: Periode 5; Vlak voor laagwaterkentering.

Periode 6; Vlak na laagwaterkentering.

Er kan zich weer een neer in de mond van de polder ontwikkelen, inclusief een menglaag. Er is nauwelijks uitwisseling van water en sediment. Na periode 6 volgt weer periode 1.

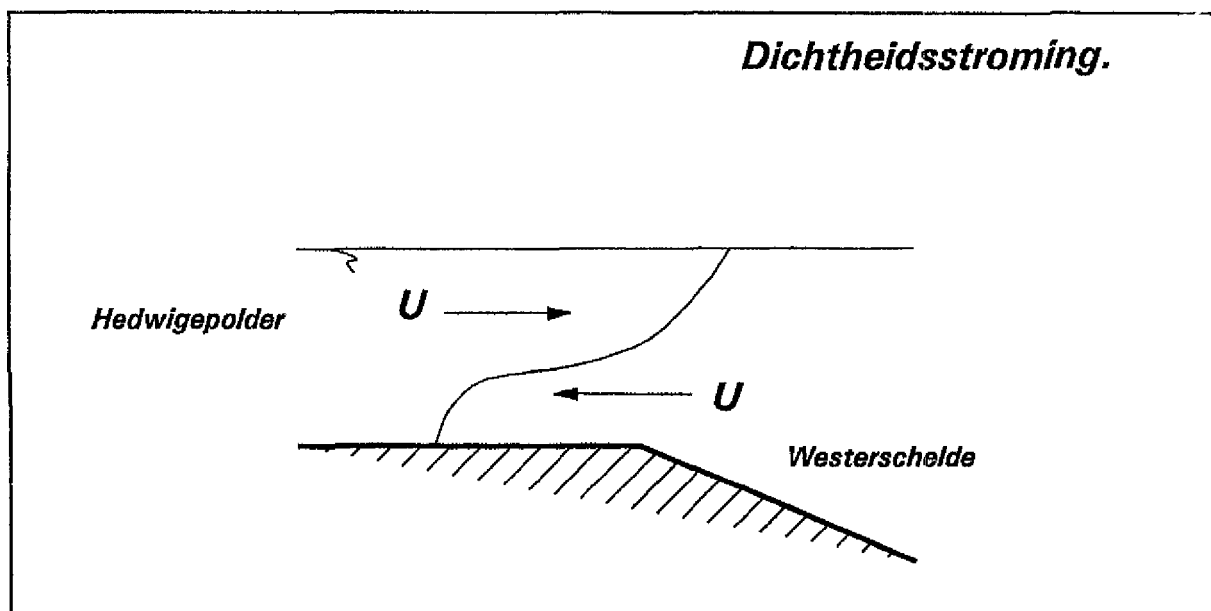


Figuur 3.8.: Periode 6; Vlak na laagwaterkentering.

Dichtheidsstroming.

Een effect dat in de hiervoor beschreven stromingspatronen niet is meegenomen maar ze wel beïnvloedt, is de invloed van dichtheidsverschillen. Dichtheidsverschillen zorgen ook voor uitwisseling van water en sediment. Door het verloop in de concentratie van chloride in de hoofdstroom tijdens een getijcyclus en daaruitvolgend een verloop in de dichtheid van het water ontstaan er dichtheidsverschillen tussen het water in de hoofdstroom en het water in het intergetijdegebied. Het chloride-gehalte zorgt voor een stijgende dichtheid van het water in het estuarium tijdens de vloedperiode, wanneer de invloed van het zware zoute zeewater relatief het grootst is. Tijdens de ebperiode neemt de dichtheid weer af. De hierdoor ontstane dichtheidsverschillen tussen het water in de hoofdgeul en het water in de polder leiden tot stroming van het zwaarste water onder het lichtere water, zie figuur 3.9. In dit figuur is alleen sprake van dichtheidsstroming. De wijze van optreden van dichtheidsstroming samen met een ander proces is minder duidelijk. Tijdens periodes 1,2 en 6, het vullen van de polder

tijdens de vloedperiode, trekt zwaarder water uit de hoofdgeul over de bodem van de poldermond de polder in. De ledigingsstroom die gedurende periodes 3,4 en 5 optreedt, verhindert dichtheidsstroming van zwaarder polderwater onder hoofdgeulwater tijdens het legen.



Figuur 3.9.: Dichtheidsstroming.

Het optreden van de processen en de wederzijdse beïnvloeding.

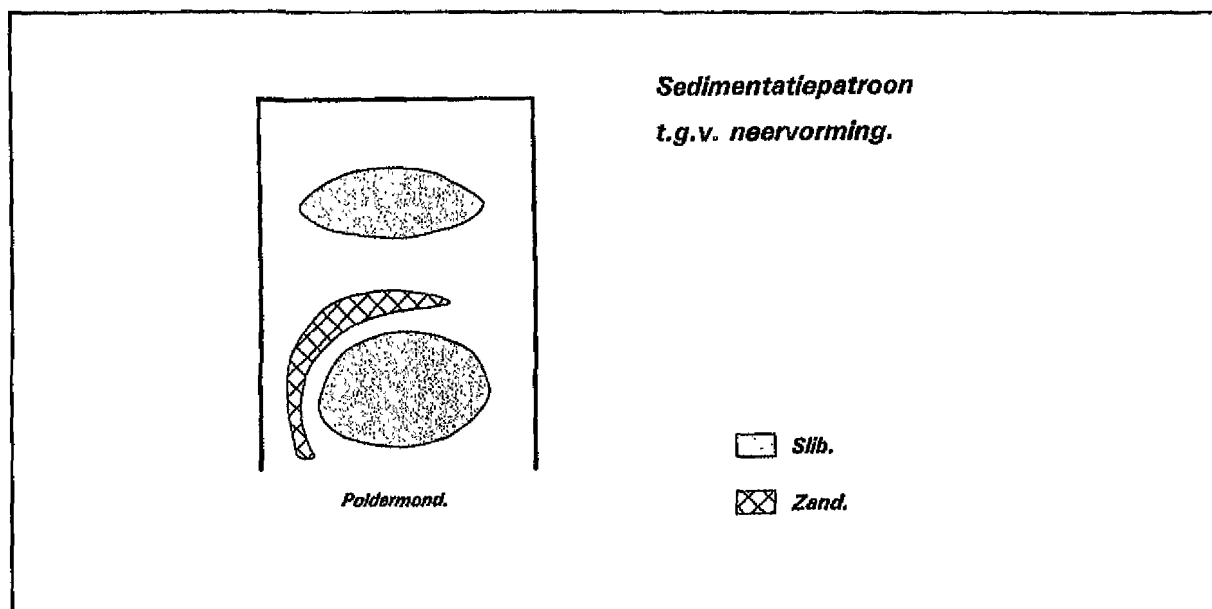
Niet altijd treden alle drie de processen in een beschouwde situatie op. Voor het komvullingsproces is een getijamplitude vereist. Neervorming kan door een lage waterspiegel worden verhinderd. De wrijving van de bodem zorgt dan dat er zich geen neer ontwikkelt. Dichtheidsstromingen vragen om een verloop in dichtheid. Bij het gelijktijdig optreden van de drie processen zijn het resulterende stromings- en snelheidspatroon en de resulterende water- en sedimentuitwisseling tussen de polder en de hoofdgeul niet te bepalen.

De totale sedimentatie in de polder is daarom niet exact te bepalen. Een benadering die vaak wordt toegepast (bijvoorbeeld in [van Maldegem, 1991]) is het superpositiebeginsel. Hierbij wordt de totale sedimentatie gelijk gesteld aan de som van de sedimentatie ten gevolge van de afzonderlijke processen: Het superpositiebeginsel. Ook het resulterende snelheidsverloop wordt dan door superpositie bepaald. In een andere benadering die onder andere door het Waterloopkundig Laboratorium wordt toegepast [mond. med. A. Langerak], wordt het

zogenaamde dominante proces bepaald. Onder het dominante proces wordt het proces verstaan dat voor de meeste sedimentatie zorgt. Er wordt aangenomen dat het dominante proces de andere processen zo beïnvloedt dat sedimentatie ten gevolge van de andere processen niet optreedt (of te verwaarlozen is). De totale aanslibbing wordt in deze benadering gelijk gesteld aan de aanslibbing ten gevolge van het dominante proces. Deze benadering is in deze studie aangehouden en in 3.2.3. is uitgewerkt.

Sedimentatiepatroon.

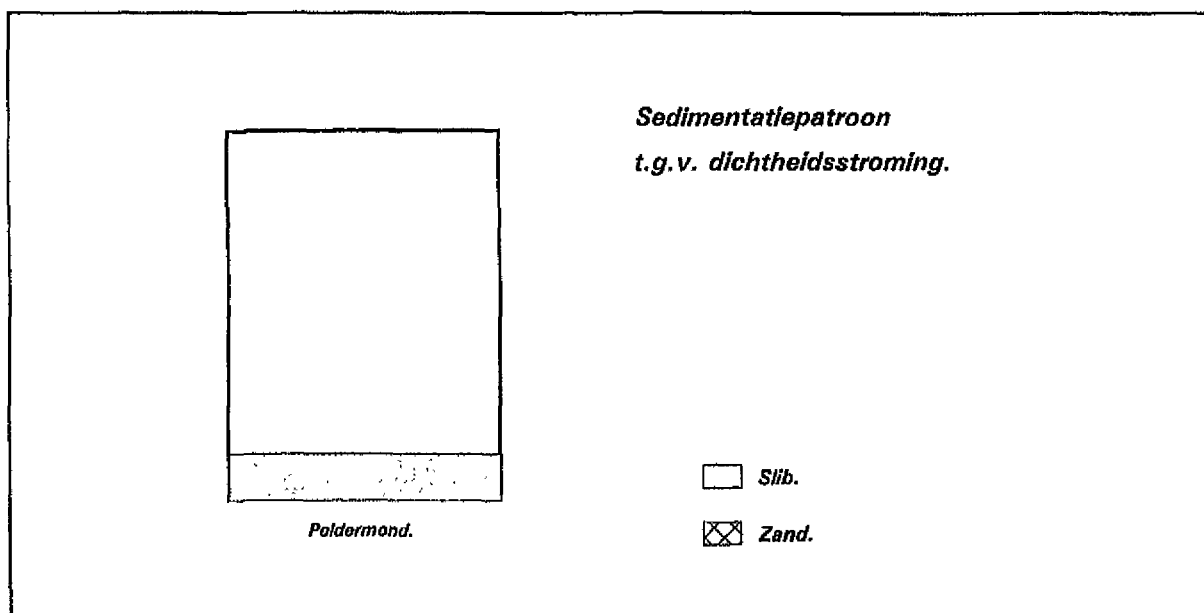
Bij de haven-analogie zorgen de drie processen elk voor een typerend sedimentatiepatroon. Bij neervorming sedimenteert fijn slib in het centrum van de neer en zand aan de buitenkanten.



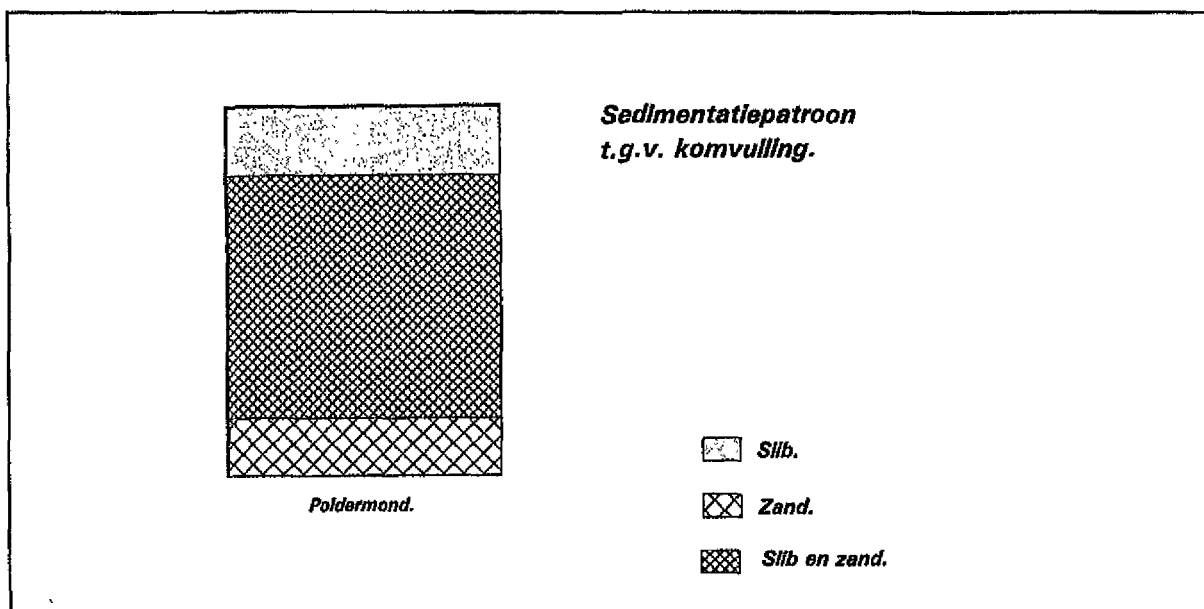
Figuur 3.10.: Sedimentatiepatroon door neervorming.

Bij dichtheidsstroming zijn de optredende snelheden meestal zo klein dat het sediment direct in de mond sedimenteert (zie figuur 3.11.).

Bij komvulling treden de hoogste snelheden op in de mond, zie bijlage 3. Bij de hoogste snelheden wordt al het sediment achterin het gebied afgezet. Indien de snelheid afneemt, sedimenteert het zand eerder. Hierdoor is een hoogtegradiënt van weinig naar veel sedimentatie van de mond naar het eind van de polder. Deze gradiënt wordt bij het legen versterkt door de dan optredende snelheden (zie figuur 3.12.).



Figuur 3.11.: Sedimentatiepatroon door dichtheidsstroming.



Figuur 3.12.: Sedimentatiepatroon door komvulling.

Berekening.

De aanslibbing S als gevolg van een proces (neervorming, komvulling of dichtheidsstroming) wordt bepaald uit het uitgewisselde volume door het proces V_{uit} , de concentratie sediment C in dat volume en de zgn. bezinkingsfractie p [Svasek, 1991].

$$S = p * C * V_{uit}$$

Hierin is het uitgewisselde volume V_{uit} afhankelijk van het beschouwde proces. De concentratie C van het uitgewisselde water is afhankelijk van de sedimentconcentratie in de hoofdstroom, bepaald door de ligging van het turbiditeitsmaximum in de Westerschelde, de dagelijkse getijcyclus, de doottij/springtij cyclus, de rivierafvoer van de Schelde en door storminvloeden.

De bezinkingsfractie p is het deel van het binnengevoerde sediment dat op de bodem achterblijft. Deze fractie is afhankelijk van het snelheidsverloop in het gebied. Het snelheidsverloop moet per uitwisselingsproces bepaald worden. Het resulterende snelheidsverloop is moeilijk vast te leggen. In bijlage 8 wordt per proces aangegeven hoe het snelheidsverloop en daaruit bezinkingspercentage p is te bepalen.

Het deel van het gesedimenteerde slib dat na sedimentatie door de ledigingsstroom wordt afgevoerd, is alleen afhankelijk van de snelheden ten gevolge van de komlediging (neren en dichtheidsstroming treden tijdens legen niet op). In 4.2.1. en bijlage 8 is op de erosie ingegaan. Eerst wordt de sedimentatie tijdens de vulperiode behandeld.

De per proces uitgewisselde volumina zijn met de onderstaande formules te bepalen [Langendoen, 1992].

Neervorming;

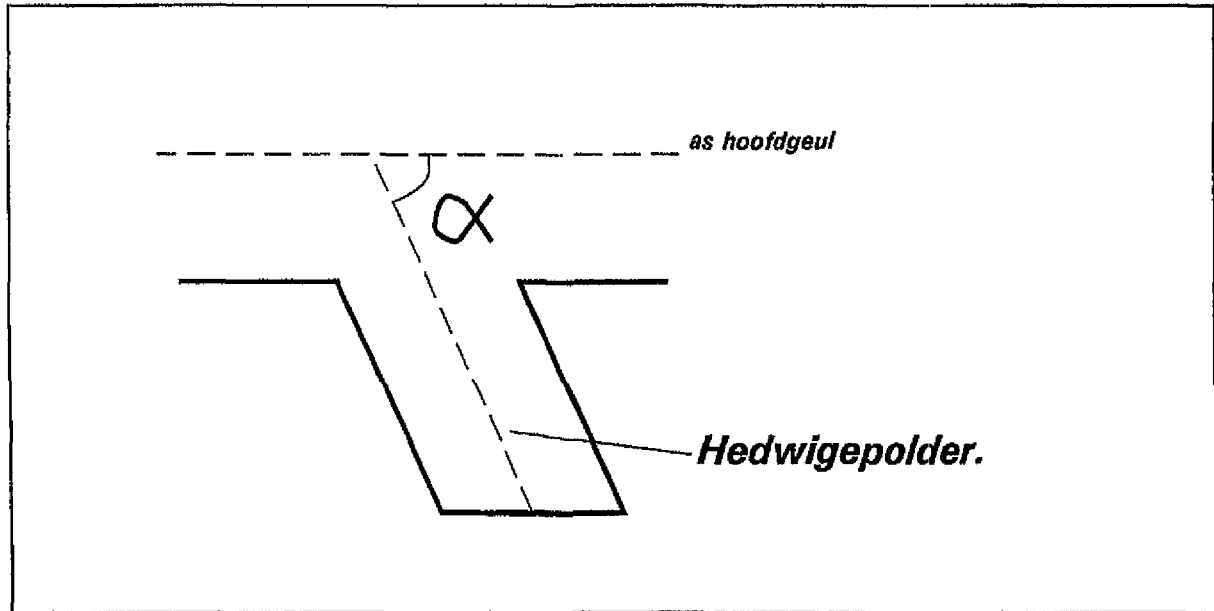
$$Q_{ex} = C * u_{r,g} * B_e * h$$

Hierin is:

Q_{ex}	: Het uitgewisselde volume per tijdseenheid [m^3/s].
C	: Coëfficiënt afhankelijk van de situering van de polder t.o.v. de hoofdstroom [1].

- B_e : Breedte van de poldermond [m].
 h : Gemiddelde waterdiepte in de mond [m].
 $u_{r,g}$: Gemiddelde riviersnelheid tijdens vloed [m/s].

C wordt bepaald door α , de hoek die de as van polder met de as van de hoofdstroom maakt.



Figuur 3.13.: De situering van de polder.

Voor $\alpha = 90^\circ$ zijn waarden voor C van 0,032 tot 0,05 gevonden.

Voor $\alpha = 45^\circ$ geldt C = 0,035 tot 0,05, voor $\alpha = 135^\circ$ gelden waarden voor C van 0,02 tot 0,025.

Het totaal uitgewisselde volume V_{uit} door neervorming is gelijk aan het uitgewisselde debiet Q_{ex} vermenigvuldigd met de tijdsduur waarin een neer aanwezig is. Deze tijdsduur is normaal gesproken gelijk aan de vloedduur (T_{vl}).

Komvulling;

Indien de polderbodem (maaiveld) lager dan G.L.W.-nivo ligt kan het uitgewisselde volume worden bepaald met:

$$V_{uit} = A_{polder} * (G.H.W. - G.L.W.)$$

Hierin is A_{polder} het totale oppervlak van de polder.

Indien het maaiveld (m.v.) boven G.L.W. ligt:

$$V_{uit} = A_{polder} * (G.H.W. - m.v.)$$

Indien het maaiveld boven G.H.W. ligt, geldt: $V_{uit} = 0$ (triviaal).

Dichtheidsstroming;

Het uitgewisselde volume volgt uit:

$$Q_{ex} = \frac{1}{4} B_e h \sqrt{\epsilon g h}$$

Met:

$$\epsilon = \frac{\rho_r - \rho_h}{\rho_h}$$

Hierin is:

- Q_{ex} : Uitgewisselde hoeveelheid volume per tijdseenheid [m^3/s].
- ϵ : Relatieve dichtheidsverschil tussen polder en hoofdstroom [1].
- ρ_r : Dichtheid in de hoofdstroom [kg/m^3].
- ρ_h : Dichtheid in de polder [kg/m^3].
- g : Zwaartekrachtversnelling [m/s^2].
- h : Gemiddelde waterdiepte in de mond van de polder [m].

Het totale uitgewisselde volume is gelijk aan het produkt van Q_{ex} en de tijdsduur waarin er water door dichtheidsstroming wordt uitgewisseld. Deze tijdsduur is normaal gesproken gelijk aan T_{vl} , de vloedduur.

3.2.2. Geulontwikkeling: Schor-analogie.

Een aangelegd rechthoekig bakprofiel in het kombergingsgebied kan zijn vorm nooit behouden als deze niet wordt vastgelegd. Dit vastleggen kan door middel van bestorten met een steenachtig materiaal of uitvoering in een constructiemateriaal. Bij een natuurlijk gebied is vastleggen niet gewenst (onnatuurlijk en duur). Het rechthoekig profiel verandert dan in de tijd door erosie en sedimentatie. In de ontwikkeling van de vorm van het gebied zijn drie fasen te onderscheiden. De grenzen tussen deze fasen zijn niet scherp.

Fase 1.

De polder heeft een rechthoekig bakprofiel. De aanslibbing vindt plaats volgens de haven analogie. Het gebied wordt vanuit de mond gevuld. De stroomsnelheden in de polder kunnen worden benaderd door middel van een kombergingsbeschouwing indien de lengte van de polder kleiner is dan 0,05 keer de golflengte in de polder [Verspuy, 1987], zie ook bijlage 3. Er gaat zich een vertikaal verhang in de bodemhoogte ontwikkelen van de mond naar het eind van de polder.

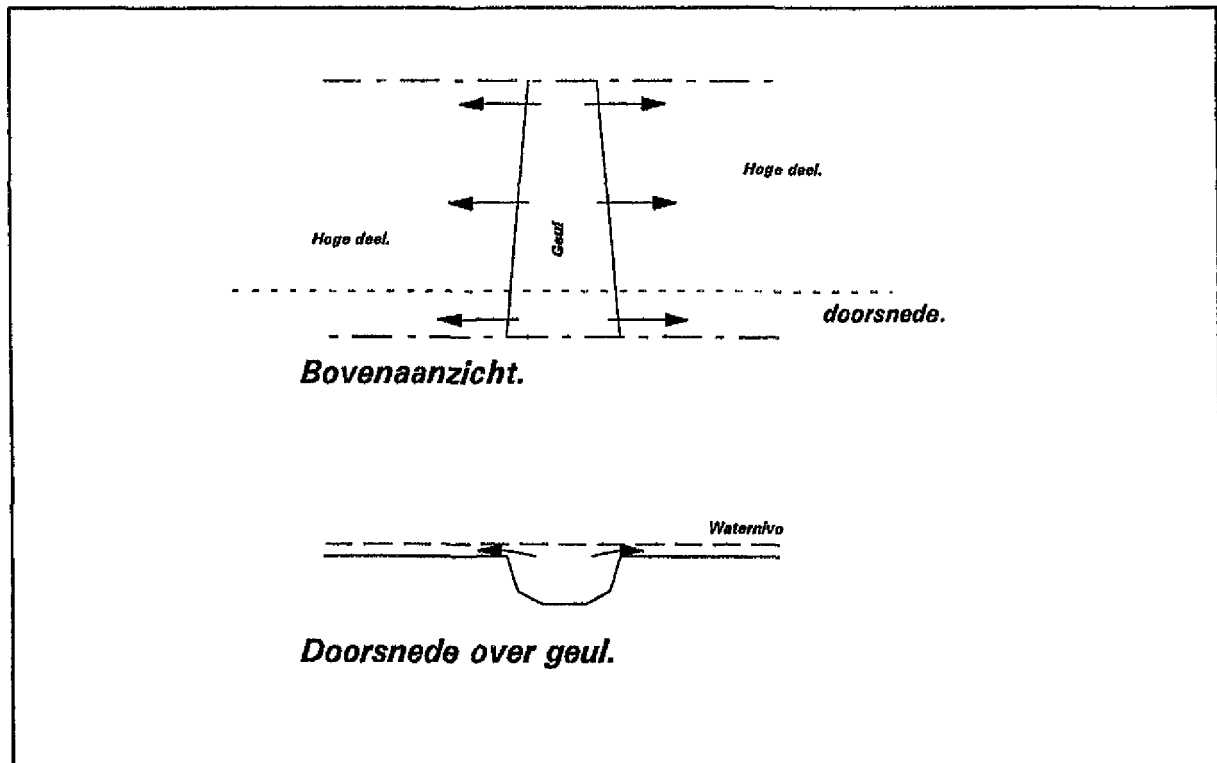
Fase 2.

In de polder hebben zich geulen gevormd. Deze geulen schuren vooral tijdens het ledigen uit. Tijdens de vloedperiode vullen de geulen zich gelijkmatig. Zodra de geulen overstromen wordt het gebied zoals in fase 1 vanuit de hele mond gevuld. De kombergingsbenadering gaat weer op en de haven-analogie is toepasbaar om de aanslibbing te berekenen.

Fase 3.

Het gebied is zo hoog opgeslibt dat de geulen pas vlak voor hoogwater overstromen of zelfs helemaal niet overstromen. De getijgolf plant zich via de geulen voort en wordt vertraagd door wrijving in de geulen en de traagheid van het water (Uit [Krijger, 1993] blijkt dat deze vertraging in de geulen van Saeftinge gering is). Zodra de hoogste delen overstromen wordt

al het water dat de hoge delen overspoelt via de geulen aangevoerd. De kombergingsbenadering is niet meer van toepassing, evenals de haven-analogie. De stroming in de geulen kan worden bepaald met behulp van een stromingsmodel, bijvoorbeeld DUFLOW. De opslibbing van de hoogste delen kan worden benaderd met behulp van een kombergingsbeschouwing over dat deel. De vulling van dat deel geschiedt vanuit de nabij gelegen geul.

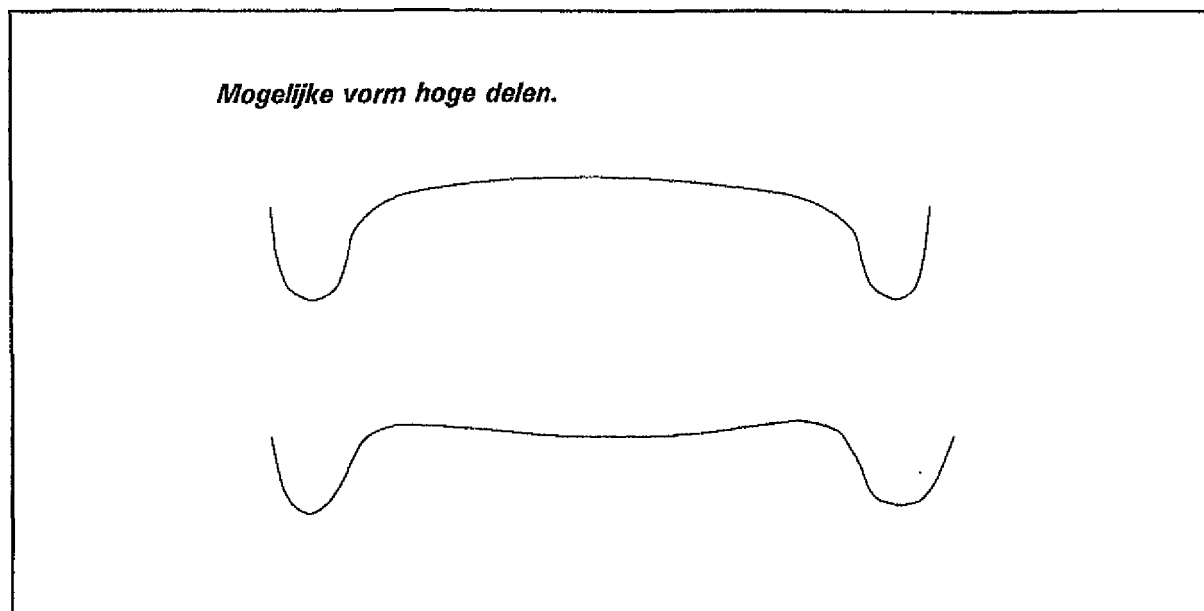


Figuur 3.14.: Het vullen van de hoge delen vanuit de geulen.

Uiteindelijk overstroomden de hoge delen nauwelijks meer. De aanslibbing daarvan wordt hoofdzakelijk nog veroorzaakt tijdens springtij en uiteindelijk alleen nog door storminvloeden. Door de storminvloeden wordt relatief meer zand op de hoogste delen afgezet. Het probleem bij deze benadering is het voorspellen van de ligging en grootte van de geulen. Door geulen van te voren aan te brengen kan dit misschien gestuurd worden. Een indicatie van de hoeveelheid geulen die in de Hedwigepolder ontstaan, kan de verhouding tussen geuloppervlak en schoroppervlak op Saeftinge zijn. Deze verhouding is daar 0,3 (geul/schor) [Krijger, 1993].

Sedimentatiepatroon.

Zodra de vulling van het gebied niet meer vanuit de mond van de polder plaatsvindt (fase 1 en 2) maar vanuit de geulen (fase 3), verandert het sedimentatie patroon. Indien de geulen overstromen sedimenteert het zandige sediment direkt langs de geulen en wordt het slib verderweg afgezet. Aangezien het zandpercentage voor de Hedwigepolder slechts 10% bedraagt (zie figuur 1.13.), kan het zijn dat er meer slib verderweg wordt afgezet dan zand langs de geulen. In plaats van de gebruikelijke diepere kommen achter zandwallen langs de geulen kan zo een omgekeerd patroon ontstaan (zie figuur 3.15.). Bij dit patroon is het midden van de hoogste delen het hoogst.



Figuur 3.15.: Wel of geen strandwallen?

Zodra door de hoogteligging van de hoge delen deze alleen nog bij springtij en storm overspoelen, ontstaat er een typerend vertikaal sedimentatiepatroon van kleine klei- en zandlaagjes op de schorranden en alleen klei in de kommen (zie ook bijlage 11). In de geulen vindt een resulterend inwaarts sedimenttransport plaatst waardoor de geulen steeds hoger komen te liggen.

Discussie.

Bij de benadering van het aanslibproces in een ontpolderd gebied als de Hedwigepolder zijn er twee belangrijke problemen;

- Het punt wanneer er van de haven-analogie moet worden overgeschakeld op een schoranalogie, is moeilijk te bepalen. Dit omslagpunt is geen scherp vast te leggen punt.
- Bij het concretiseren van de schor-analogie naar waardes voor de aanslibbing moet direct gebruik worden gemaakt van een model om de stroomsnelheden en waterstanden in het gebied te bepalen. Een vereenvoudigde benadering is moeilijk. De analogie wordt verder bemoeilijkt doordat de ligging, de grootte en de meandering van de geulen niet van te voren is te bepalen. In situ monitoren van het proces lijkt momenteel de enigste mogelijkheid.

In verband met deze zaken wordt in het resterende deel van dit hoofdstuk de aanslibbing van het nieuwe intertijdegebied alleen benaderd met behulp van de haven-analogie en het dominante proces.

3.2.3. Het dominante proces.

Een benadering van de sedimentatie een kombergingsgebied kan worden verkregen door de sedimentatie als gevolg van het dominante proces te bepalen. Het dominante proces is het proces dat bij de havenanalogie voor de grootste aanslibbing zorgt. Het dominante proces kan worden bepaald aan de hand van de verhoudingen van de sedimentatie per proces. Omdat de ingelaten concentratie voor alle drie processen gelijk kan worden gesteld, heeft deze parameter geen invloed op de verhoudingen. In 3.2.2. zijn de formules voor de sedimentatie en uitgewisselde volumina per proces gegeven. Met behulp van deze formules zijn de verhoudingen tussen de sedimentaties per proces vast te leggen.

Verhouding aanslibbing ten gevolge van neervorming en dichtheidsstroming;

$$\frac{S_n}{S_d} = \frac{4 C u_{r, gem}}{\sqrt{\epsilon g h}} * \frac{P_n}{P_d}$$

Waarin: S_n : Sedimentatie door neervorming [kg/getij].
 S_d : Sedimentatie door dichtheidsstroming [kg/getij].
 C : Factor afhankelijk van situering (zie 3.2.2.) [1].
 $u_{r, gem}$: Gemiddelde snelheid in de hoofdgeul [m/s].
 ϵ : Relatieve dichtheidsverschil (zie 3.2.2.) [1].
 g : Zwaartekrachtsversnelling [m/s²].
 h : Gemiddelde waterhoogte in de mond [s].
 P_n : Sedimentatiefractie bij neervorming [1].
 P_d : Sedimentatiefractie bij dichtheidsstroming [1].

Indien deze verhouding groter is dan 1, is het neervormingsproces in de polder dominanter dan dichtheidsstroming. Indien deze verhouding kleiner is dan 1, dan is dichtheidsstroming dominanter dan neervorming.

Verhouding aanslibbing door komvulling en dichtheidsstroming;

$$\frac{S_k}{S_d} = \frac{4 \Delta h B L}{B_e h \sqrt{g \epsilon h} T_{v1}} * \frac{P_k}{P_d}$$

Waarin: S_k : Sedimentatie door komvulling [kg/getij].
 S_d : Sedimentatie door dichtheidsstroming [kg/getij].
 Δh : Verschil tussen G.H.W. en de bodemhoogte [m].
 B : Breedte van het kombergingsgebied [m].
 L : Lengte van het kombergingsgebied [m].
 B_e : Breedte van de mond [m].
 h : Gemiddelde waterhoogte in de mond [m].
 g : Zwaartekrachtversnelling [m/s²].

- ϵ : Relatieve dichtheidsverschil [1].
 T_{vl} : Vloedduur [s].
 p_k : Sedimentatiefractie bij komvulling [1].
 p_d : Sedimentatiefractie bij dichtheidsstroming [1].

Indien deze verhouding groter is dan 1, dan is het komvullingsproces dominant dan dichtheidsstroming. Indien deze verhouding kleiner is dan 1, dan is dichtheidsstroming dominant dan het komvullingsproces.

Verhouding aanslibbing door neervorming en komvulling;

$$\frac{S_n}{S_k} = \frac{CB_e u_{r, gem} h T_{vl}}{\Delta h BL} * \frac{p_n}{p_k}$$

- Waarin: S_n : Sedimentatie door neervorming [kg/getij].
 S_k : Sedimentatie door komvulling [kg/getij].
 C : Factor afhankelijk van situering (zie 3.2.2.) [1].
 $u_{r, gem}$: Gemiddelde snelheid in de hoofdgeul [m/s].
 B_e : Breedte in de mond [m].
 h : Gemiddelde waterhoogte in de mond [m].
 T_{vl} : Vloedduur [s].
 Δh : Verschil tussen G.H.W. en de bodemhoogte [m].
 B : Breedte van het kombergingsgebied [m].
 L : Lengte van het kombergingsgebied [m].
 p_n : Sedimentatiefractie door neervorming [1].
 p_k : Sedimentatiefractie door komvulling [1].

Indien deze verhouding groter is dan 1, dan is neervorming dominant dan komvulling. Indien deze verhouding kleiner is dan 1, dan is de komvulling dominant dan het neervormingsproces.

Het dominante proces is nu het proces dat over beide andere processen dominant is.

Hoe verder de verhoudingen van 1 afliggen, hoe beter de aanname is dat de sedimentatie door het dominante proces wordt bepaald.

Voor een kombergingsgebied zijn een aantal variabelen als vaststaand te beschouwen en zijn er een aantal variabelen die door de inrichting kunnen worden gevarieert.

Vast zijn te beschouwen:

- $u_{r, \text{gem}}$: De stroomsnelheid in de hoofdgeul is hier onafhankelijk van de inrichting gesteld. In 3.3. worden wel mogelijkheden gegeven om deze stroomsnelheid te beïnvloeden.
- ϵ : Het relatieve dichtheidsverschil tussen de polder en de Westerschelde wordt als vast aangenomen. Waarschijnlijk is dat de vorm van de polder wel invloed hierop heeft. Hierover is geen literatuur gevonden.
- g : De zwaartekrachtsversnelling is constant.
- T_{vt} : Normaal gesproken is er gedurende de gehele vloedperiode uitwisseling.
- L : De lengte van de polder wordt als vast aangenomen.

Door de inrichting van het gebied te beïnvloeden zijn dan:

- h : De gemiddelde waterhoogte in de mond is afhankelijk van de bodemligging in de mond.
- Δh : De kombergingsschijf is afhankelijk van de bodemligging.
- C : De situering van de polder kan worden veranderd.
- B, B_e : De breedte van de polder en de poldermond kan worden beïnvloed.
- $p_{n,k,d}$: De bezinkingsfracties zijn als constant en meestal zelfs gelijk aan elkaar te beschouwen. Voor havens wordt vaak een vaste bezinkingsfractie van 0,7 aangehouden [mond. med. A. Langerak]. Voor de Hedwigepolder wordt in bijlage 9 aangetoond dat de bezinkingsfractie voor alle drie processen 1 bedraagt. In de verdere beschouwing is de bezinkingsfractie daarom niet meegenomen.

Indien de volgende factoren, bestaande uit vaste parameters, worden aangenomen,

$$\alpha_1 = \frac{4 u_{r, gem}}{\sqrt{g\epsilon}}$$

$$\alpha_2 = \frac{4L}{\sqrt{g\epsilon} T_{v1}}$$

$$\alpha_3 = \frac{u_{r, gem} T_{v1}}{L}$$

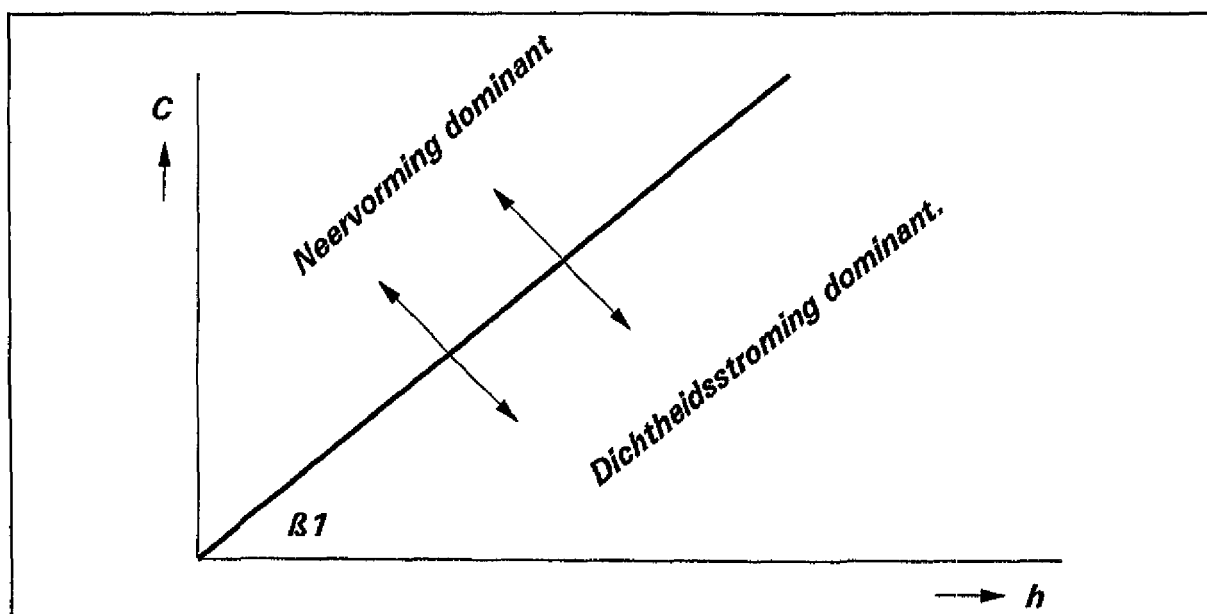
kunnen de verhoudingsformules als volgt herschreven worden:

$$\frac{S_n}{S_d} = \frac{C}{\sqrt{h}} * \alpha_1$$

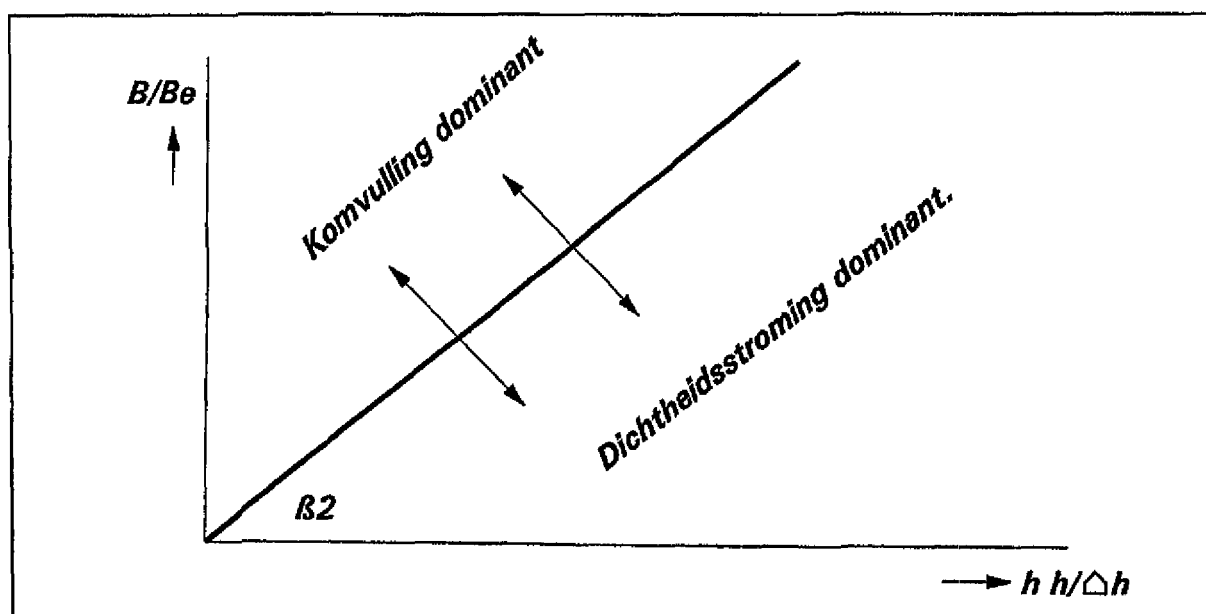
$$\frac{S_k}{S_d} = \frac{B \Delta h}{B_o h \sqrt{h}} * \alpha_2$$

$$\frac{S_n}{S_k} = \frac{C B_o h}{B \Delta h} * \alpha_3$$

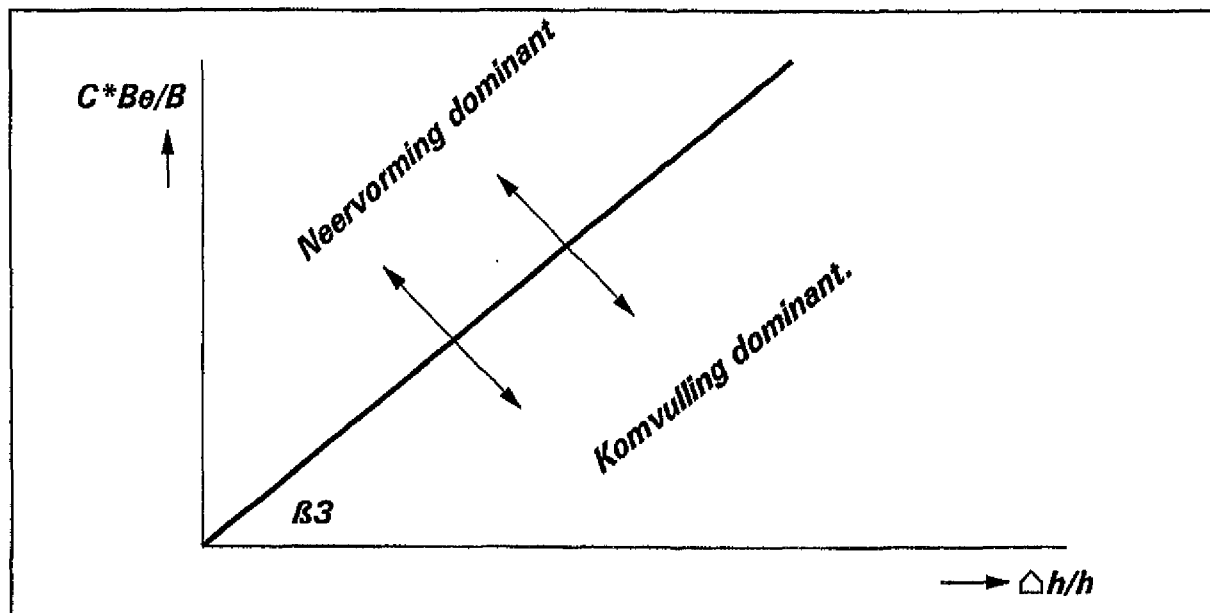
De overgang in dominantie van het ene naar het andere proces ligt bij een verhouding van 1. In de grafieken op de volgende pagina's is voor de bovenstaande formules deze overgang in dominantie aangegeven. Ze kunnen worden gebruikt om eenvoudig en snel het dominante proces te bepalen.



Grafiek 3.1. Verhouding neervorming en dichtheidsstroming.



Grafiek 3.2. Verhouding komvulling en dichtheidsstroming.



Grafiek 3.3. Verhouding neervorming en komvulling.

Invullen van de waardes zoals ze voor de Hedwigepolder gelden laat zien dat in de Hedwigepolder komvulling dominant is (zie ook bijlage 9).

Indien wordt aangenomen dat de bodem van de polder boven G.L.W. ligt, kan Δh geschreven worden als:

$$\delta h = 2 * h$$

Omschrijven van de verhoudingen levert dan het volgende:

Indien:

$$\frac{1}{2} C \frac{B_e}{B} \alpha_3 > 1$$

Geldt:

$$h > 2 \frac{B_e}{B} \alpha_2 : \text{Dichtheidsstromingdominant.}$$

$$h < 2 \frac{B_e}{B} \alpha_2 : \text{Komvulling dominant.}$$

En als:

$$\frac{1}{2} C \frac{B_e}{B} \alpha_3 > 1$$

Dan geldt:

$$h > C^2 \alpha_1^2 : \text{Dichtheidsstromingdominant.}$$

$$h < C^2 \alpha_1^2 : \text{Neervormingdominant.}$$

3.3. Optimalisatie van de inrichting.

Met behulp van variabele parameters en daaraan verbonden inrichtingsonderdelen is de aanslibbing in de polder te optimaliseren (maximaliseren of minimaliseren). In dit onderdeel worden de mogelijkheden op een rij gezet om parameters te maximaliseren of te minimaliseren. Afhankelijk van het dominante proces kunnen deze mogelijkheden bij een inrichting van een ontpolderd gebied worden toegepast. De invloed van de bezinkingsfractie en de stroomsnelheid, in 3.2.3. nog als vast aangenomen, wordt meebeschoofd. De overgebleven vaste parameters zijn ϵ , het relatieve dichtheidsverschil, en T_{v1} , de vloedduur.

3.3.1. Parameters en inrichtingsonderdelen.

Hieronder wordt van de variabele parameters gegeven hoe ze door middel van de inrichting te beïnvloeden zijn. De parameters zijn per proces gerangschikt, waarbij als eerste algemene parameters die op ieder proces invloed hebben, worden gegeven.

Algemene parameters.

1. De concentratie van het instromende water.

De concentratie van sediment in de hoofdstroom varieert langs twee schalen, te weten de tijd en de hoogte.

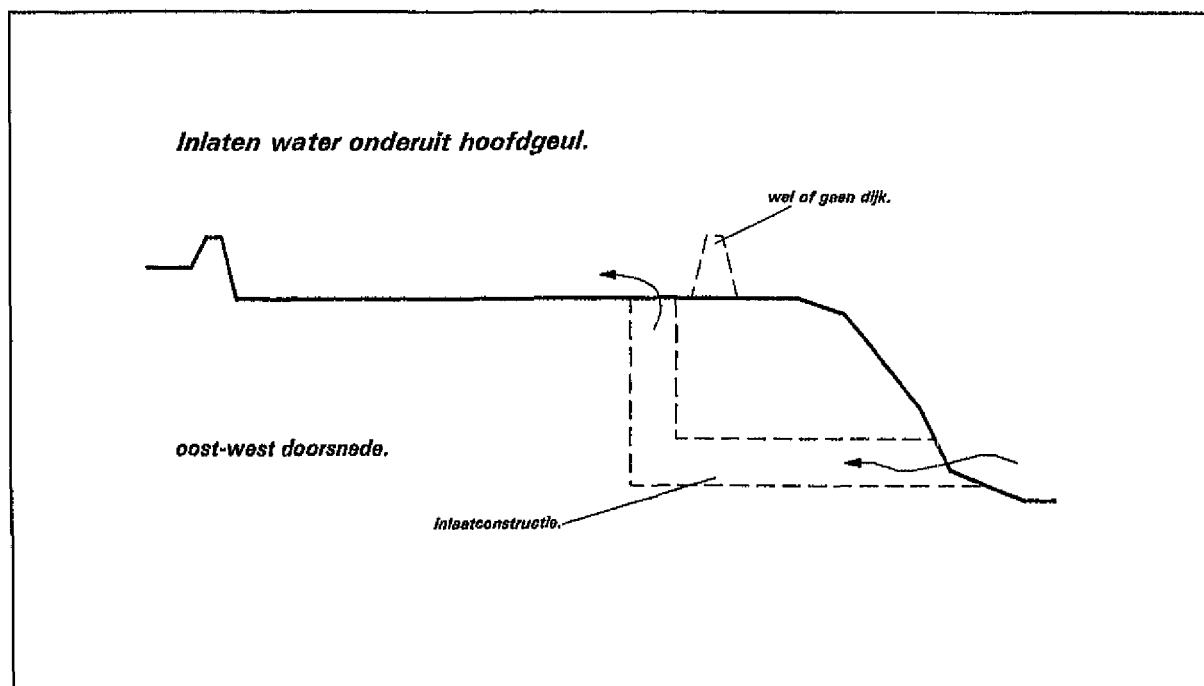
In de tijd kent de concentratie een seizoensvariatie (afhankelijk van de afvoer van de Schelde), een variatie met de doottij-springtij cyclus, een dagelijkse variatie door de getijcyclus en een onregelmatige variatie door storminvloeden.

In de hoogte kent de concentratie een variatie die ook afhankelijk is van het getij. Rondom de kentering is de concentratie over de vertikaal constant terwijl bij hogere stroomsnelheden de hoogste concentraties zich bij de bodem bevinden en er meer sediment in het water gesuspendeerd is.

De concentratie van het instromende water kan nu op de volgende wijzen door de inrichting worden beïnvloed:

- Het moment van inlaten; Door een afsluitbare inlaat toe te passen, kan het moment waarop het water uit de hoofdgeul in de polder wordt gelaten, gestuurd worden.
- Hoogte van de inlaat; Door water uit de diepste delen van de hoofdgeul in te laten, wordt

de concentratie (en ook de korrelverdeling) van het ingelaten water beïnvloed. In figuur 3.16. is een mogelijkheid aangegeven om water van vlak boven de bodem met een hoge sedimentconcentratie in te laten. Dit water bevat relatief veel zand.



Figuur 3.16.: Een diepe inlaat.

Een tweede wijze om de sedimentconcentratie van het ingelaten water te beïnvloeden, is het toepassen van een slibvang voordat het water de polder instroomt.

2. Verblijftijd van het water.

Door de polder afsluitbaar te maken, kan de verblijftijd van het water in de polder worden vergroot en uitwisseling door neren en dichtheidsverschillen worden verhinderd. Deze vergroting van de verblijftijd levert een langere tijd waarin het sediment kan sedimenteren. Tijdens het uitstromen dat dan onder verval plaatsvindt, zorgt dit voor hoge snelheden die de erosie vergroten. Ook kan bij het te lang vasthouden van het water in de polder het kombergingsvolume van de polder verminderen doordat een deel van het water de polder nog niet is uitgestroomd als de polder weer gevuld wordt.

3. Diepteligging.

De diepteligging beïnvloedt de benodigde sedimentatietijd (neren, dichtheidsstroming en komvulling) en daardoor de bezinkingsfractie en bepaalt (totdat het maaiveld onder G.L.W.-nivo komt) de grootte van het kombergingsvolume. Hierbij kan de sedimentatieverdeling over de polder beïnvloed worden door het aanleggen van hogere of lagere delen in de polder (compartimenteren). Ook de helling van de bodem beïnvloedt de sedimentatie. Een hellende polder vermindert zowel het kombergingsvolume als de snelheden en beïnvloedt zo de sedimentatie. Er is dus een bodemligging die voor een maximale sedimentatie zorgt: de optimale bodemligging.

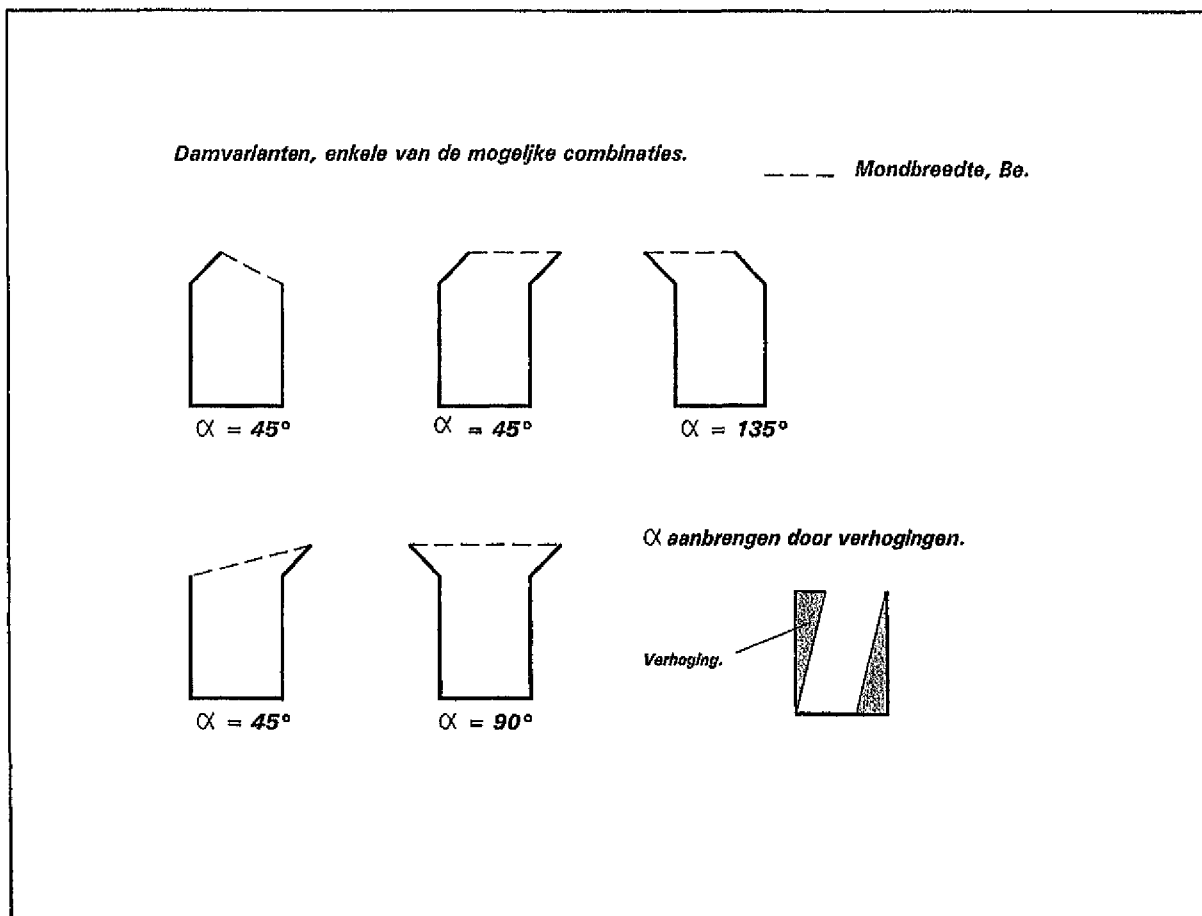
Parameters voor neervorming.

1. Situering van de polder ten opzichte van de hoofdgeul.

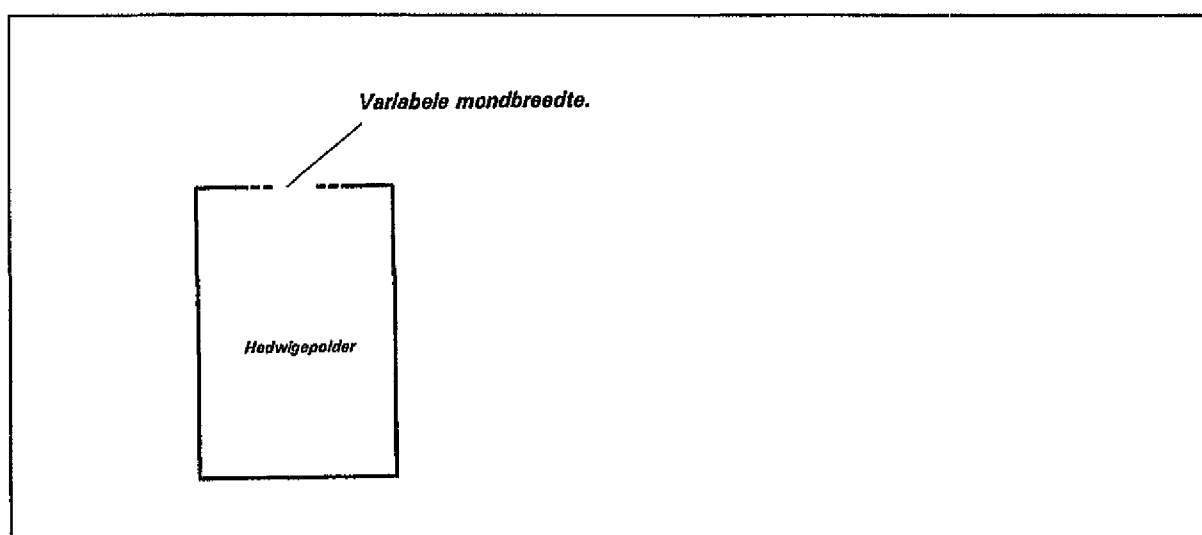
Door het variëren met de hoek die de as van de Hedwigepolder maakt met die van de hoofdgeul (zie ook figuur 3.13.) kan de sedimentatie in de polder verschillen. Deze hoek kan worden aangebracht door aan de zijkant verhogingen in het profiel van de polder aan te brengen of door het bouwen van geleidingsdammen. In figuur 3.17. is dit aangegeven.

2. Breedte in de mond.

De breedte in de mond beïnvloedt het uitgewisselde volume en de snelheden in de mond. Door een deel van de huidige hoofdkering langs de hoofdgeul intact te laten kan de mondbreedte worden gevarieerd (zie figuur 3.18.). Ook door dammen op het voorland aan te brengen (zie figuur 3.17.) wordt de mondbreedte beïnvloed.



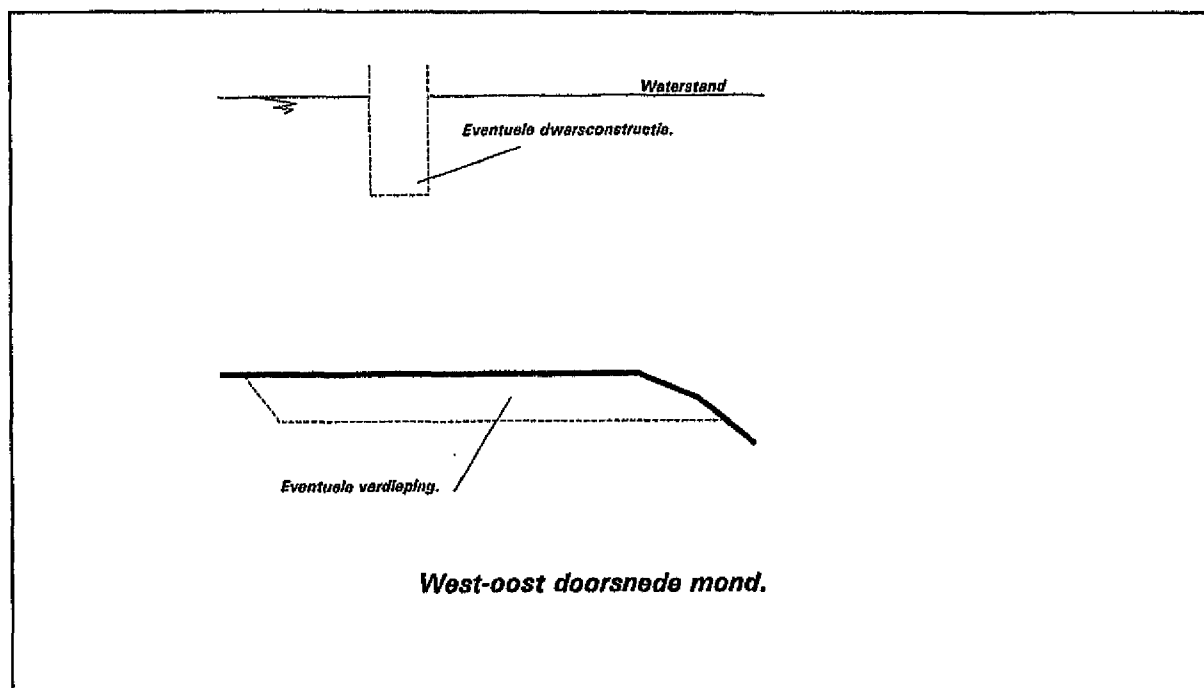
Figuur 3.17.: Beïnvloeding van α , de situering.



Figuur 3.18.: Variëren van de mondbreedte.

3. Hoogte van de inlaat.

De hoogte van de inlaat in de polder kan worden gevarieerd. Dit kan door de mond verdiept aan te leggen of hoger aan te leggen. Het hoger aanleggen kan door middel van een drempel. De bovenkant van de inlaat kan verlaagd worden door een dwarsconstructie. Op de volgende afbeelding zijn enkele mogelijkheden aangeven.



Figuur 3.19.: De hoogte van de mond.

4. De stroomsnelheid in de hoofdgeul.

De stroomsnelheid in de hoofdgeul varieert. Er is een seizoensvariatie, een doottij-springtij cyclus, een dagelijks verloop met het getij en invloeden van storm. Naast deze variatie in de tijd is er een variatie in de hoogte waarbij de hoogste snelheden zich aan het oppervlak voordoen en de laagste bij de bodem. Door te variëren met het moment van inlaten en de hoogte van de inlaat kan de stroomsnelheid in de neer worden beïnvloed.

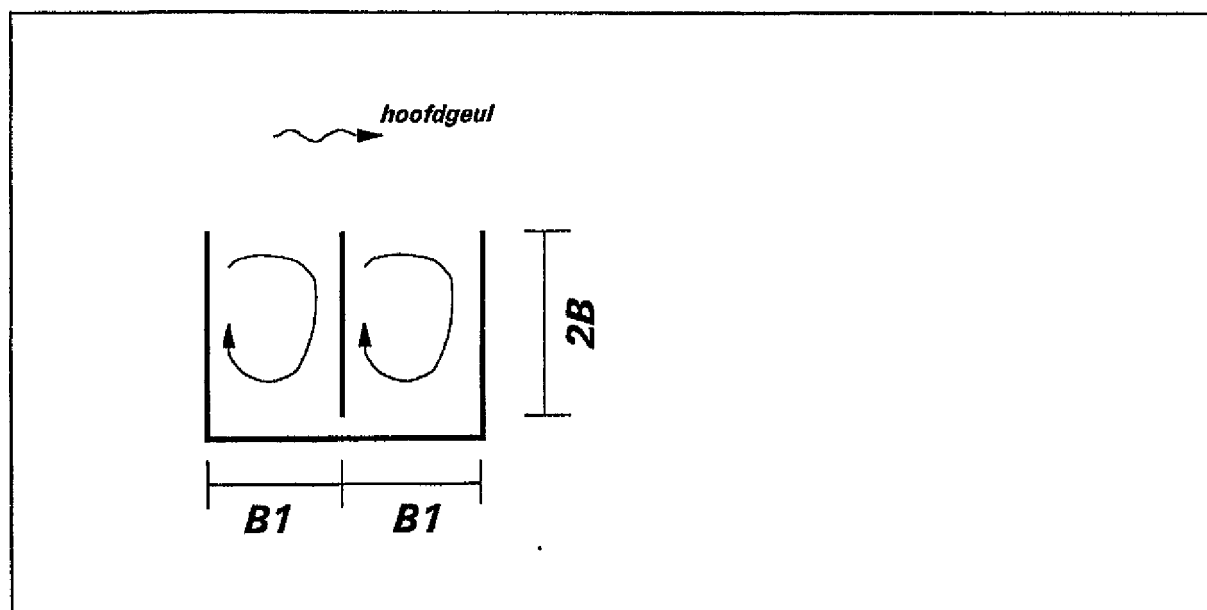
Een mogelijkheid om door de inrichting van de polder de stroomsnelheid in de hoofdgeul te beïnvloeden, is het aanbrengen van dammen op het voorland (zie figuur 3.17.). Het is bekend

dat, waar de ebstroming zich voornamelijk in de geul concentreert, vloedstroming ook over het voorland plaatsvindt. Door een dam op het voorland wordt het doorstroomprofiel voor de vloedstroming verminderd en stijgt de stroomsnelheid tijdens vloed voor de polder. Ook de waterstanden worden hierdoor beïnvloed.

Moeilijker is het om de stroomsnelheid in de geulen door aanpassingen aldaar te beïnvloeden. Dit kan door de hoofdgeul te verbreden, het verruwen of gladder maken van de hoofdgeul of door het verleggen van de hoofdgeul (verder van de mond van de Hedwigepolder af). Deze ingrepen hebben grote invloed op de rest van het systeem.

5. Breedte.

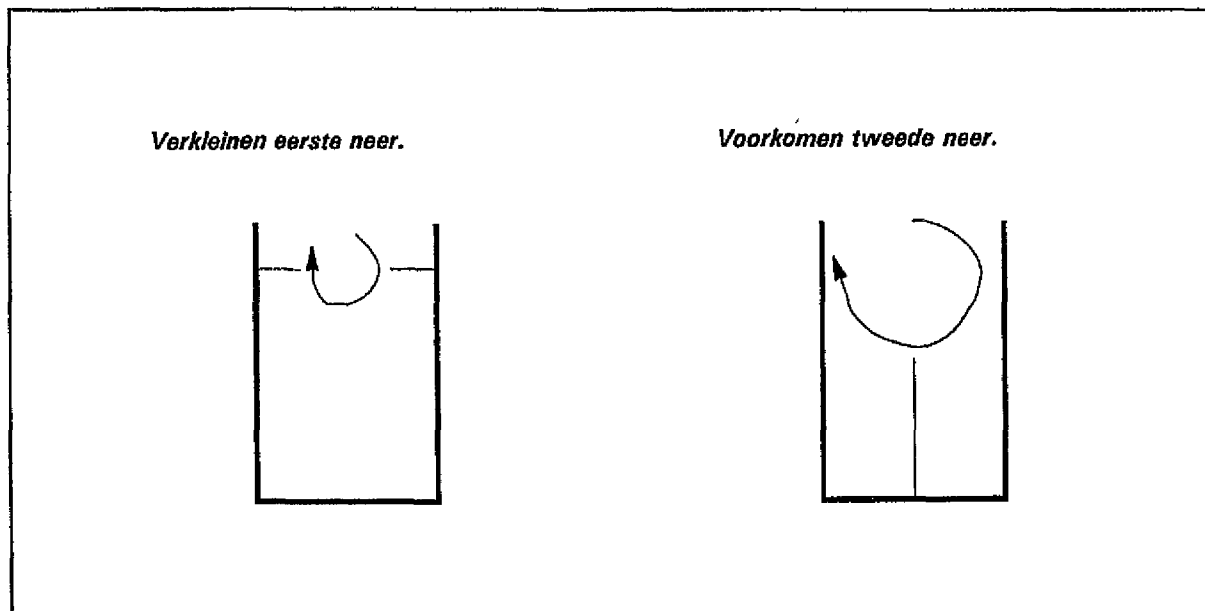
Indien de lengte/breedte verhouding van de polder kleiner dan 0,5 is, ontstaat er geen neer. Bij een grotere verhouding ontstaat wel een neer en hebben de lengte en de breedte geen invloed op de grootte van de sedimentatie door neervorming. Door het maken van compartimenten kan in een gebied dat te breed is om een neer te laten ontstaan, toch neervorming optreden.



Figuur 3.20. Stimuleren van neervorming door compartimenteren.

6. Resterende beïnvloedingen van het nerenpatroon.

De neer in de mond kan door dammen worden gebroken/verkleint of de vorming van een tweede neer kan door dammen worden tegengegaan.



Figuur 3.21. Beïnvloeding neren door dammen.

Verruwen of vergladden van de bodem kan de neervorming stimuleren of remmen.

Parameters en komvulling.

1. Breedte van de polder.

De breedte van de polder bepaalt de grootte van de komvulling en de grootte van de snelheden in de polder.

De breedte en hoogteligging van de mond beïnvloeden de in- en uitstroomsnelheden en de vertraging van het getij in de polder ten opzichte van het getij in de Westerschelde. Indien de kombergingsbeschouwing toepasbaar is (zie bijlage 3), is de invloed van de mondgrootte te verwaarlozen. Dit is in de Hedwigepolder het geval.

2. Resterende beïnvloeding snelheidspatroon.

Door het verruwen of gladder maken van de bodem kan de snelheid in de polder worden beïnvloed. Een slibvang in de polder kan de sedimentatie richten.

Parameters en dichtheidsstroming.

De parameters waarmee de dichtheidsstroming kan worden beïnvloed, zijn reeds hierboven behandeld en worden alleen opgesomd:

1. Mondhoogte.
2. Mondbreedte.
3. Beïnvloeden snelheid door verruwen of vergladden.

Resultierend schema.

De genoemde parameters beïnvloeden elk op eigen wijze het sedimentatie proces. In de volgende tabel is voor iedere parameter aangegeven welk proces dat sedimentatie bepaalt, hierdoor wordt beïnvloed.

	Neervorming	Komvulling	Dichtheid
Concentratie	x	x	x
Verblijftijd	x	x	x
Diepte	x	x	x
Situering	x		
Mondbreedte	x		x
Mondhoogte	x		x
Snelheid	x		
Breedte		x	
Resterend	x	x	x

3.3.2. Maximalisatie en minimalisatie.

In de onderstaande schema's worden per parameter aangegeven welk inrichtingsonderdeel voor een maximale of minimale aanslibbing zorgt. Tevens is per parameter indien mogelijk aangegeven of de beïnvloeding van de sedimentatie lineair of exponentieel is.

Maximalisatieschema.

Algemeen.		
Concentratie	lin.	Inlaten vanuit bodem. Inlaten bij maximale stroomsnelheid.
Verblijf	lin.	Uitlaten vlak voor laagwaterkent.
Diepteligging	lin.	Bodem op optimale diepte.
Neren.		
Mondhoogte	lin.	Verdieping van de mond.
Mondbreedte	lin.	Gehele dijk weghalen. Damconstructie op het voorland.
Situering	lin.	Verhogingen aan zijkanten. Damconstructie op het voorland.
Snelheid	lin.	Damconstructie op het voorland. Maatregelen in de hoofdgeul zelf.
Overig.		Damconstructies in de polder.
Komvulling.		
Breedte	lin.	Maximaal nemen.
Overig		Verruwen. Inlaten in het midden van de polder.
Dichtheid.		
Mondhoogte	exp.	Verdiepen.
Mondbreedte	lin.	Gehele dijk weghalen. Damconstructie op het voorland.

Schema 2. Minimaliseren.

Algemeen.		
Concentratie	lin.	Inlaten oppervlaktewater. Inlaten rondom kentering. Slibvang voor de polder.
Verblijf	lin.	Inlaten vlak voor hoogwater. Afweging vrij uitlaten of onder verval.
Diepteligging	lin.	Zo hoog mogelijk.
Neren.		
Mondhoogte	lin.	Afsluitbare inlaat. Drempel en/of dwarsconstructie
Mondbreedte	lin.	Minimaal.
Situering	lin.	Aanbrengen verhogingen. Dwarsconstructie op het voorland.
Snelheid	lin.	Maatregelen in de hoofdgeul zelf.
Overig.		Damconstructies in de polder.
Komvulling.		
Breedte.	lin.	Minimaal.
Overig.	lin.	Uitlaten onder verval afwegen tegen vrij uitlaten
Dichtheid.		
Mondhoogte	exp.	Inlaten vlak voor hoogwater. Drempel en/of dwarsconstructie.
Mondbreedte	lin.	Minimaal. Dwarsconstructie op het voorland.

Voor de maximalisatie of minimalisatie moet eerst het dominante proces worden bepaald. Uit het bijbehorende bovenstaande schema kunnen de benodigde inrichtingsonderdelen bepaald worden. Indien geen van de benodigde inrichtingsonderdelen elkaar remmen ligt de maximalisatie inrichting (of minimalisatie inrichting) vast. Indien de benodigde onderdelen niet onafhankelijk van elkaar zijn, levert dit een aantal varianten voor de inrichting. In paragraaf 4.1. is dit voor de basisvarianten voor de Hedwigepolder uitgewerkt.

4. DE INRICHTING EN ONTWIKKELING VAN HET GEBIED.

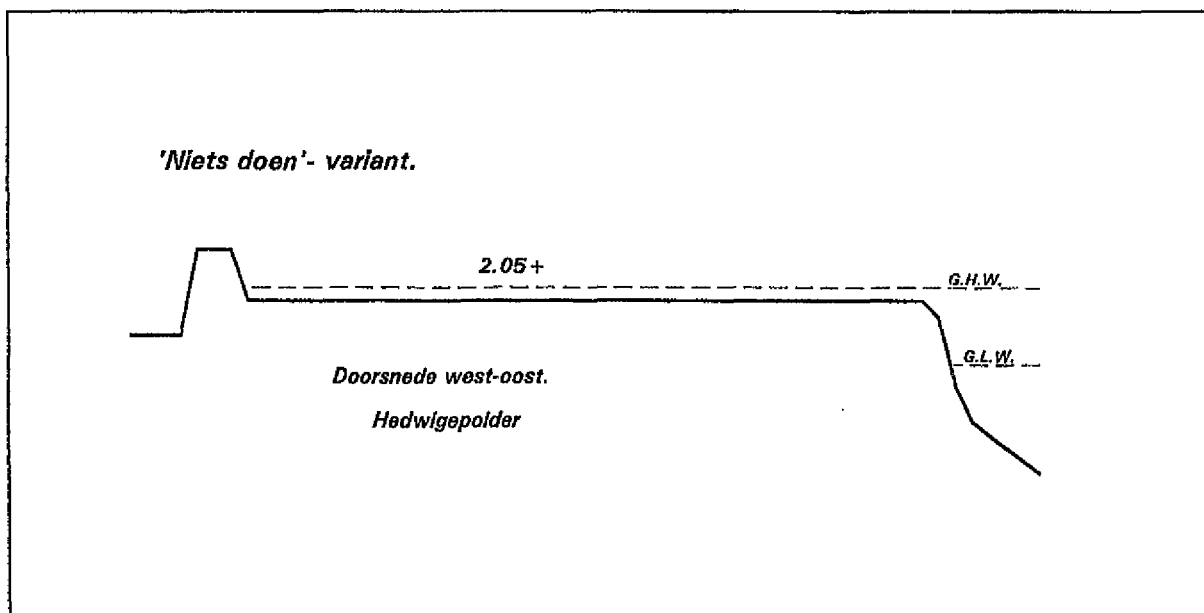
In dit hoofdstuk is de theorie uit hoofdstuk 3 toegepast op de basisvarianten voor de functie van een ontpolderde Hedwigepolder. Eerst is de benodigde inrichting van het gebied voor iedere functievariant vastgelegd (de inrichtingsvarianten) waarna een bovengrens van de aanslibbing alsmede het hoogteverloop van de verschillende inrichtingen is afgeschat. Aan de hand hiervan is het verloop in de tijd van de ondergrens van de komberging, de natuurwaarde en de vervuilingsoonttrekking bepaald. Bij deze bepaling staat de aanslibbing centraal. In het laatste onderdeel van dit hoofdstuk worden aandachtspunten genoemd die naast de aanslibbing invloed op de inrichting kunnen hebben. Naast functievarianten (zie ook paragraaf 2.3.) wordt hier gesproken over inrichtingsvarianten. Inrichtingsvarianten zijn verschillende mogelijkheden voor de inrichting van een gebied die hetzelfde doel (of doelen) nastreven.

4.1. Inrichting van de basisvarianten.

De inrichting van de varianten is uitgewerkt. Hierbij is uitgegaan van de optimalisatie zoals die in 3.3.2. is beschreven. De inrichting is bepaald aan de hand van de functie van het gebied en de daaruit volgende hoogte- en aanslibbingseisen. Andere eisen, zoals het gevolg van vervuiling, veiligheid of scheepvaart, zijn niet meegenomen. Wat niet expliciet bij alle varianten wordt genoemd, is dat bij alle inrichtingsvarianten de dijken rondom de polder die de polder van de Selenapolder en de Prosperpolder scheiden, moeten worden versterkt. Aangenomen is dat deze ingreep voor alle varianten hetzelfde is.

Variant 0. 'Niets doen'

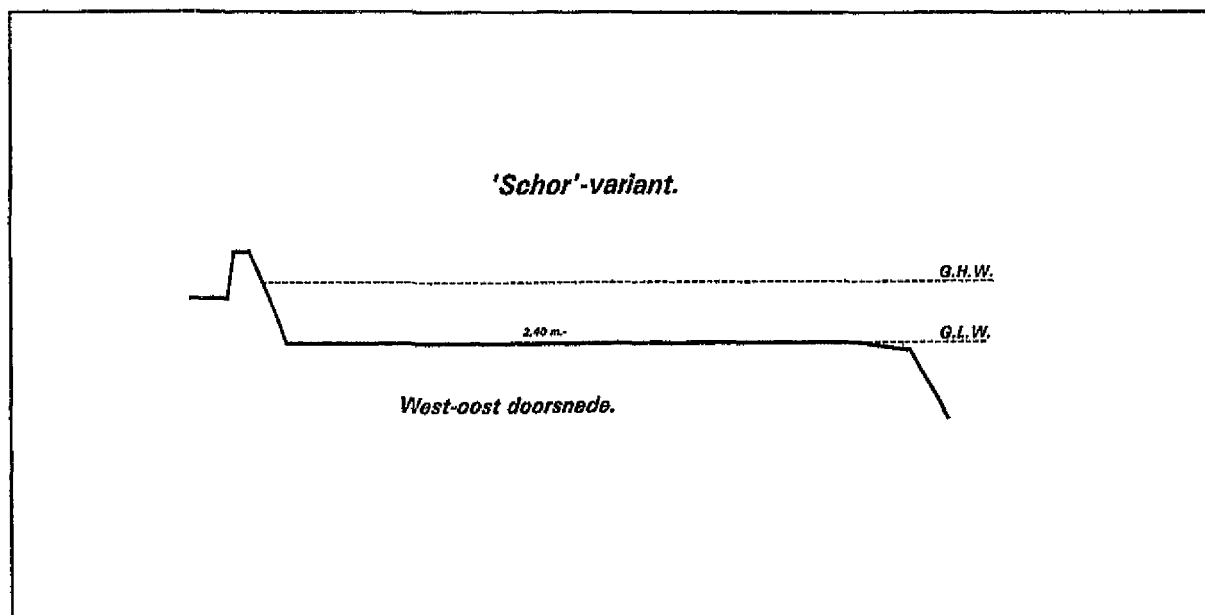
Het enigste wat bij de inrichting van de nuloptie wordt gedaan is het weghalen van de hoofdwaterkering (de oostelijke dijk langs de Westerschelde) en het verlagen van het voorland tot N.A.P. +1,9 m. Om de snelheden in de polder zo klein mogelijk te houden wordt de gehele dijk voor de polder weggehaald (over 900 m breedte, zie figuur 1.8.).



Figuur 4.1.: Inrichting variant 'Niets doen'.

Variant 1.1. 'Schor'.

Er is gekozen om deze variant de inrichting te geven die een maximale levensduur als intergetijdegebied oplevert (zie 2.3.2.). De gehele bodem komt op G.L.W.-nivo. De hoog-tegradiënten ten behoeve van een gevarieerde natuur moeten zichzelf ontwikkelen. Om een zo lang mogelijke levensduur te bewerkstelligen moet de aanslibbing worden geminimaliseerd. Hiertoe kunnen kunstmatige inrichtingsonderdelen zoals in genoemd in 3.3.2. worden aangebracht. Echter, omdat het hier om een natuurfunctie gaat, wordt het gebied zo natuurlijk mogelijk ingericht. Dit houdt in dat alleen de hoofdwaterkering langs de Westerschelde wordt weggehaald (900 m) en de polder op de benodigde diepte wordt ontgraven. Extra inrichtingsonderdelen om de aanslibbing te minimaliseren worden niet aangebracht.



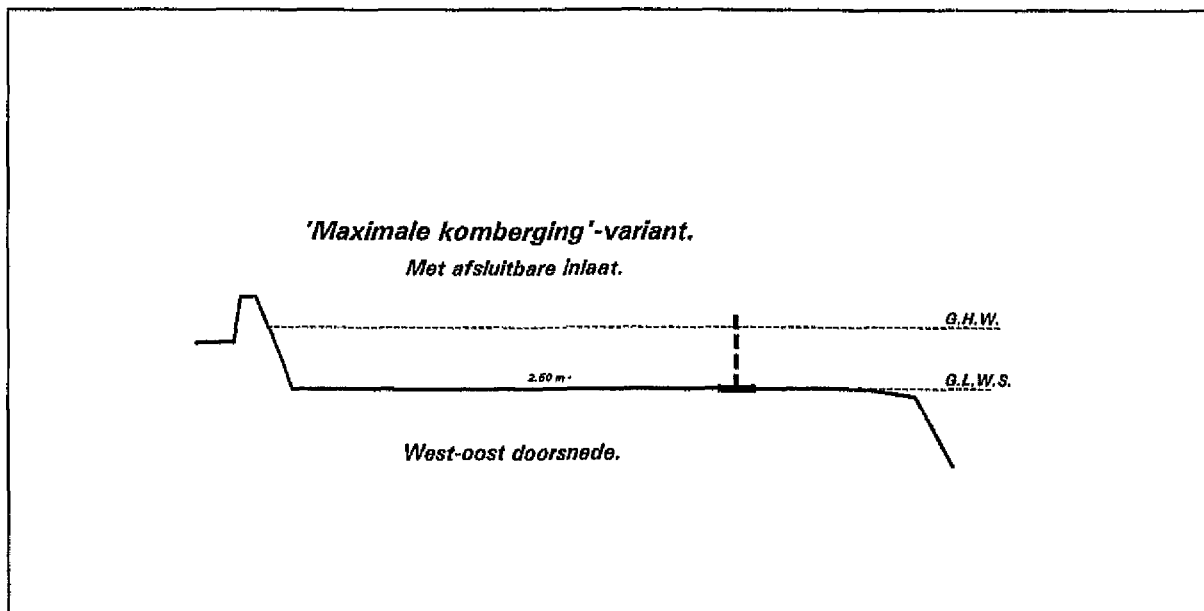
Figuur 4.2. Inrichting intergetijde natuurgebied.

Variant 2.1. 'Maximale komberging'.

In de polder moet een maximale hoeveelheid water geborgen worden. De afmetingen liggen daarom vast (bodem op G.L.W.S.) en de aanslibbing moet minimaal zijn. Uit het minimalisatieschema (zie 3.3.2.) volgen de volgende inrichtingsvarianten:

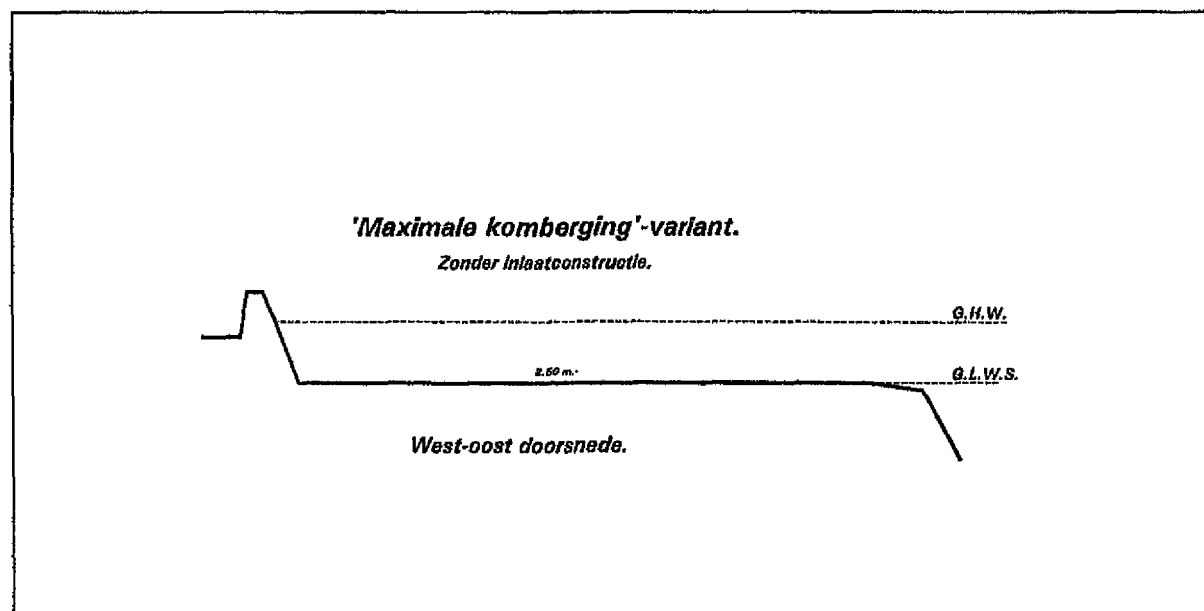
1. Een afsluitbare inlaat in de dijk laat oppervlaktewater vlak voor hoogwaterkentering onder verval in (zo'n half uur ervoor, zie ook bijlage 7). Het uitlaten van het water gebeurt vrij (de waterspiegel in de polder volgt die in de hoofdstroom). De bodem wordt zo glad mogelijk uitgevoerd.
2. Een afsluitbare inlaat in de dijk laat oppervlaktewater vlak voor hoogwaterkentering in (zo'n half uur ervoor). Het uitlaten gebeurt vlak voor laagwaterkentering om maximale uitstroomsnelheden te creëren. De bodem wordt zo glad mogelijk uitgevoerd.

Omdat de bezinkingsfractie normaal gesproken maximaal is (één, zie bijlage 9), levert een verkorte verblijftijd van het sediment geen hogere bezinkingsfractie op. Variant 1 valt daardoor voor de Hedwigepolder af.



Figuur 4.3. Inrichting ten behoeve van maximale komberging met afsluitbare inlaat.

De afsluibare inlaat maakt de variant duurder. In de vergelijking van de aanslibbing van de verschillende functievarianten wordt daarom ook een inrichtingsvariant voor deze functie meegenomen waarbij geen extra hulpmiddel (dat wil zeggen geen afsluitbare inlaat) wordt toegepast.



Figuur 4.4.: Inrichting ten behoeve van maximale komberging zonder afsluitbare inlaat.

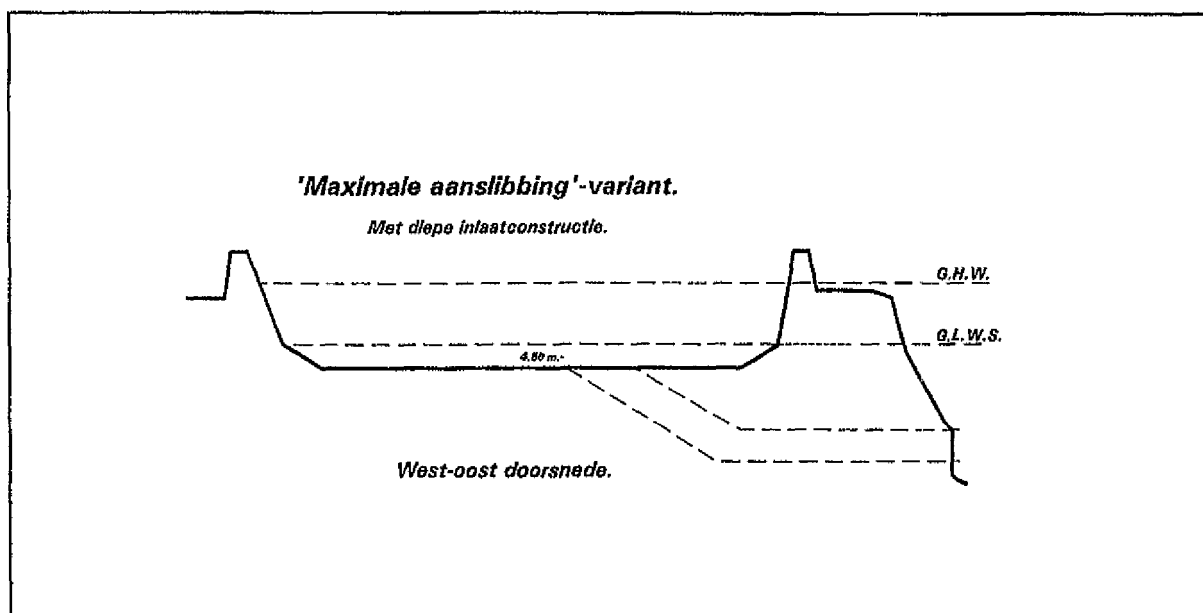
Een kosten-baten analyse moet een verantwoorde keus voor het wel of niet toepassen van een afsluitbare inlaat bij variant 2.1. mogelijk maken.

Variant 3.1.. 'Maximale aanslibbing'.

De inrichting moet zorgen voor een maximale sedimentatie. Uit het maximalisatieschema in 3.3.2. volgen de volgende inrichtingsvarianten:

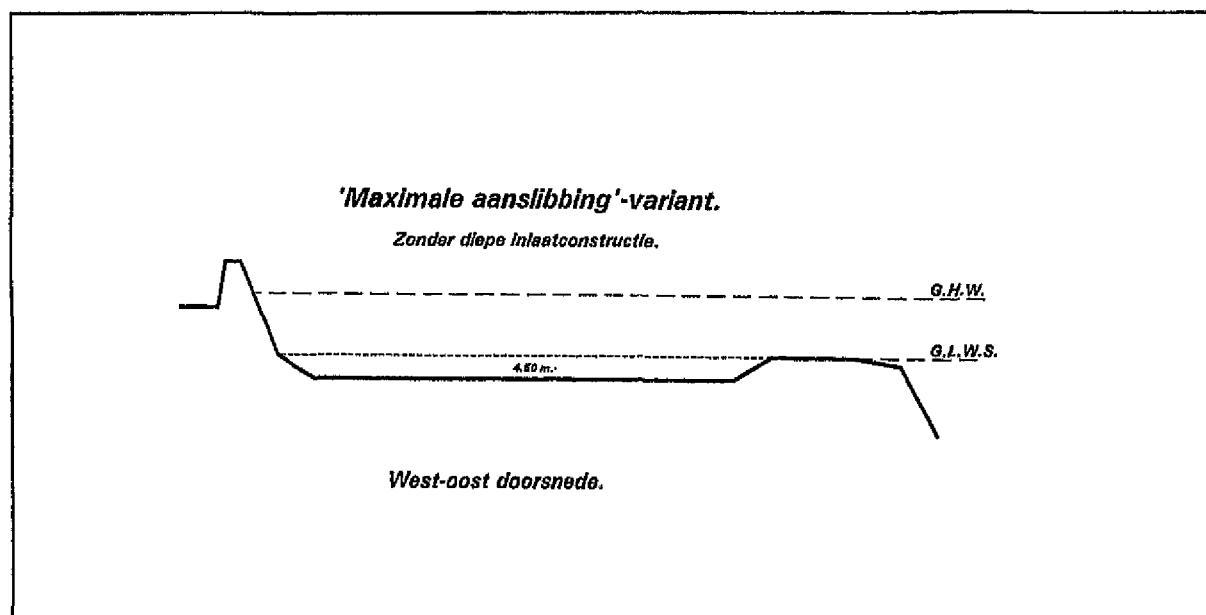
1. Water wordt ingelaten door middel van een diepe inlaatconstructie in het midden van de polder. De bodem kan worden verruwd, bijvoorbeeld door middel van kleine damwanden dwars op de stroom. Het in- en uitlaten gebeurt vrij. De waterspiegel in de polder volgt de waterspiegel buiten de polder.
2. Water wordt ingelaten door middel van een diepe, afsluitbare inlaatconstructie in het midden van de polder. De bodem kan worden verruwd. Het inlaten gebeurt vrij. Het uitlaten gebeurt rond 1 uur voor laagwaterkentering door het openen van de sluiting.
3. Water wordt ingelaten door middel van een diepe, afsluitbare inlaatconstructie in het midden van de polder. De bodem kan worden verruwd. Het uitlaten gebeurt vrij. Het inlaten gebeurt rond 1 uur voor hoogwaterkentering.
4. Water wordt ingelaten door middel van een diepe, afsluitbare inlaatconstructie in het midden van de polder. De bodem kan worden verruwd. Het uitlaten gebeurt rond 1 uur voor laagwaterkentering. Het inlaten gebeurt rond 1 uur voor hoogwaterkentering.

In de Hedwigepolder is de bezinkingsfractie maximaal, dat wil zeggen dat het moment van inlaten geen invloed heeft op de sedimentatie (de verblijftijd is normaal gesproken altijd voldoende voor een maximale sedimentatie). Het inlaten van water rondom 1 uur voor hoogwaterkentering laat water met de hoogste concentratie sediment in. Het uitlaten onder verval zorgt door de hogere uitstroomsnelheden voor een hogere fractie sediment dat erodeert en de polder wordt uitgenomen. Omdat de verblijftijd niet hoeft te worden verlengd (de bezinkingsfractie is al één) kan het uitlaten vrij gebeuren. Variant 3 wordt daarom voor de Hedwigepolder toegepast. Om het percentage dat erodeert en daardoor de polder verlaat, te minimaliseren, kan de bodem verdiept worden aangelegd. Er bestaat een optimale bodemligging waarbij de erosie minimaal is (zie ook 3.3.1.). Omdat het vinden van de optimale bodemligging niet eenvoudig is, is hier een bodemverdieping van twee meter aangenomen.



Figuur 4.5.: Inrichting ten behoeve van maximale sedimentatie met afsluitbare diepe inlaat.

Een inrichting met een afsluitbare inlaat maakt de inrichting duurder waarbij in dit geval tevens de effectiviteit en de ontwerpproblemen van de diepe inlaat moeten worden onderzocht. Daarom is bij de vergelijking van de aanslibbing van de functievarianten hier ook een inrichtingsvariant meegenomen waarbij geen afsluitbare diepe inlaat is toegepast.



Figuur 4.6.: Inrichting ten behoeve van maximale sedimentatie zonder afsluitbare diepe inlaat.

Ook in dit geval moet een kosten-baten analyse de keus van de gunstigste inrichtingsvariant ondersteunen.

4.2. Ontwikkeling van het gebied.

De ontwikkeling van het gebied in de loop van de tijd is per variant beschreven aan de hand van het verloop van de bovengrens van de aanslibbing, de ondergrens van de komberging en een indicatie van het hoogteverloop. De ontwikkeling van de natuur in het gebied is aangegeven aan de hand van het aantal hectare aan de verschillende zones in het gebied. Een gedetailleerdere beschrijving en literatuurverwijzing van de te verwachten natuur is in bijlage 2 gegeven. Uiteindelijk zijn het onderhoud dat benodigd is om functies in stand te houden en de kosten van de verschillende inrichtingsvarianten bepaald.

4.2.1. Berekeningsmodel.

Deze paragraaf laat de wijze zien waarop een afschatting is gemaakt van de aanslibbing en het hoogteverloop van het gebied. Een maximale waarde (bovengrensbenadering) van de aanslibbing is bepaald door erosie tijdens het legen van de polder te verwaarlozen. Daarna is een indicatie van het hoogteverloop van de polder verkregen door een afschatting van de erosie tijdens het legen. De grootte van diverse parameters zoals ze in de berekeningen zijn gebruikt, zijn in bijlage 4 verzameld.

Bovengrens van de sedimentatie.

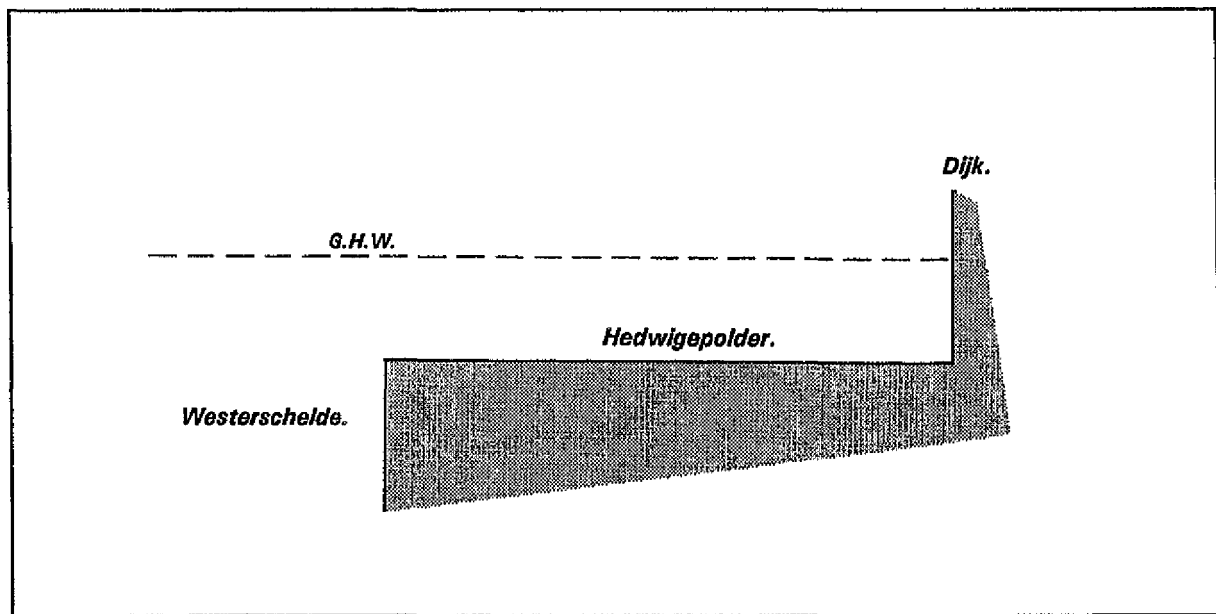
In de bepaling van de maximaal mogelijke aanslibbing wordt uitgegaan van de sedimentatie die tijdens het vullen van de polder ontstaat ten gevolge van het dominante proces. In de Hedwigepolder is dit dominante proces de komvulling. Er wordt aangenomen dat de bezinkingsfractie gelijk aan 1 is (dat wil zeggen dat al het sediment dat door het dominante proces tijdens vullen in de polder komt, sedimenteert). Tevens wordt er verondersteld dat tijdens het legen van de polder geen erosie optreedt. De totale hoeveelheid sediment die per getij in de polder sedimenteert is in deze benadering gelijk aan het uitgewisselde volume door het dominante proces vermenigvuldigd met de concentratie van het sediment in dat water. Per jaar levert dit een sedimentatie die gelijk is aan de sedimentatie per getij vermenigvuldigd met 705, het gemiddeld aantal getijden per jaar.

Indicatie van het hoogteverloop.

Een indicatie van het hoogteverloop kan worden verkregen met behulp van een afschatting van de erosie tijdens het legen van het overstromingsgebied. Hierbij wordt uitgegaan van de maximale sedimentatie tijdens de vulperiode (sedimentatiefractie is één).

Aan de hand van de optredende maximale snelheden in het gebied wordt afgeschat welk percentage van het gesedimenteerd materiaal erodeert tijdens het legen van de polder.

Er wordt uitgegaan van een rechthoekige bakvormige polder. Indien de polder een hellende bodem heeft, wordt in het model de gemiddelde bodemhoogte aangehouden.



Figuur 4.7.: Het model van de polder.

De maximale snelheid tijdens het legen op een plek x in de polder is als volgt te bepalen, uitgaande van de kombergingsbeschouwing (zie bijlage 3);

$$u_{\max, x} = L_x * \left(\frac{1}{h} \frac{dh}{dt} \right)_{\max}$$

Met: $u_{\max, x}$: De maximale stroomsnelheid op plaats x in de polder [m/s].

L_x : De afstand van x tot het einde van de polder [m].

h : De waterhoogte in de polder [m].

dh/dt : De waterhoogteverandering per tijdseenheid [m/s].

De maximale snelheid volgt uit de maximale waarde van de breuk $(1/h) * (dh/dt)$ die is af te leiden uit de getijkromme. Het gesedimenteerde materiaal op een plek in het gebied erodeert tijdens het legen wanneer de maximale snelheid in dat punt hoger is dan de kritische erosiesnelheid. De snelheid in het gebied verloopt bij een kombergingsbeschouwing en een vlakke bodem in het gebied lineair. Het percentage van het tijdens het vullen gesedimenteerde sediment dat erodeert (p_e) wordt gelijk gesteld aan het percentage oppervlakte van de polder waar de kritische erosiesnelheid wordt overschreden. Dus bij een constante breedte in de polder:

$$p_e = \frac{L_e}{L}$$

L_e is de lengte van de polder waarin de kritische erosiesnelheid wordt overschreden en L is de totale lengte van de polder. Hierbij is aangenomen dat al het tijdens het vullen gesedimenteerde materiaal bij overschrijding van de kritische erosiesnelheid direkt erodeert. In bijlage 6 is deze aanname hard gemaakt. Met:

$$u_e = L_e \left(\frac{1}{h} \frac{dh}{dt} \right)_{\max}$$

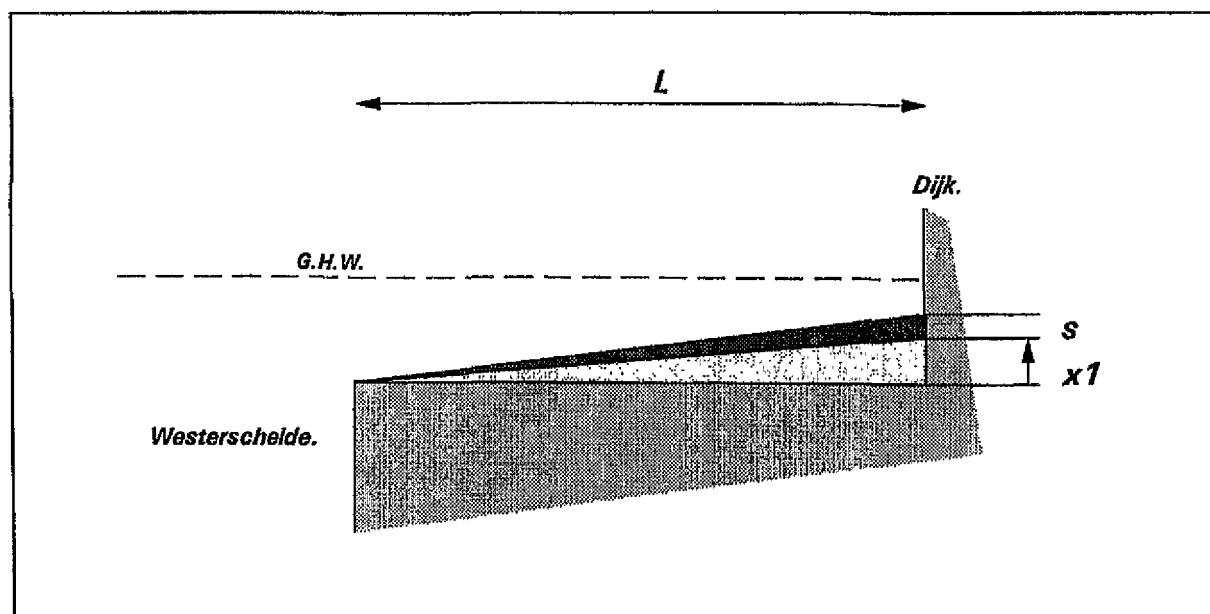
geldt voor p_e :

$$p_e = \frac{u_e}{L} * \left(\frac{1}{h} \frac{dh}{dt} \right)_{\max}^{-1}$$

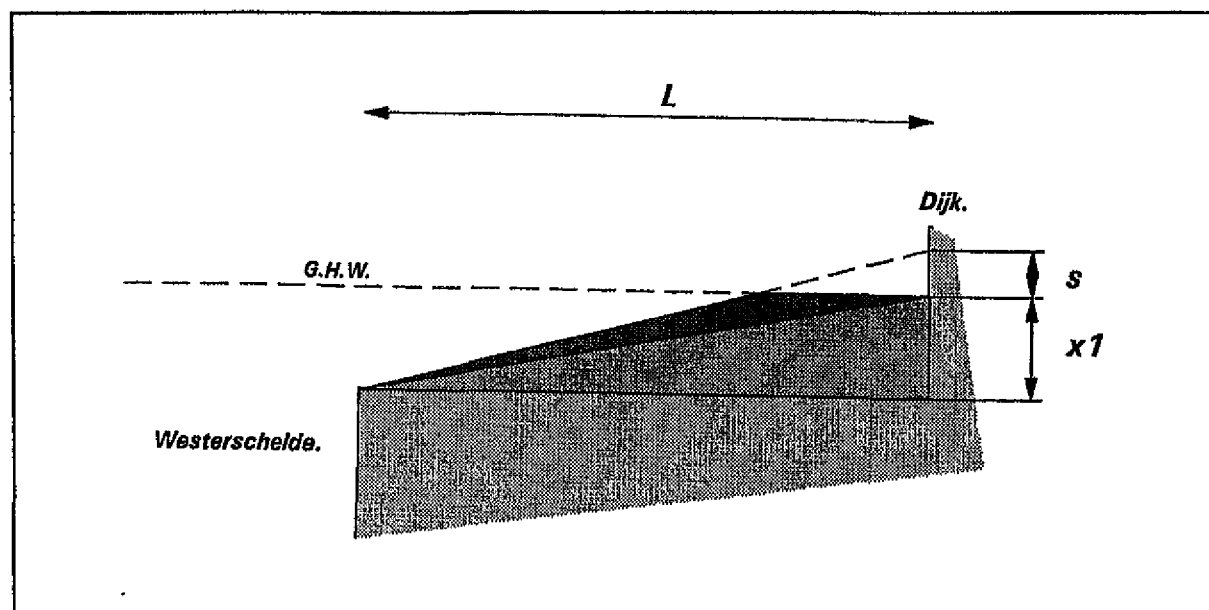
Hierin is:

- p_e : Het percentage tijdens vloed gesedimenteert materiaal dat erodeert tijdens het legen [1].
- u_e : Kritische erosiestroomsnelheid [m/s].
- L : Lengte van de polder [m].
- L_e : Lengte waarover in de polder de kritische erosiesnelheid tijdens het legen wordt overschreden [m/s].
- h : Waterhoogte in de polder tijdens de maximale stroomsnelheden [m].
- dh/dt : De waterhoogteverandering per tijdseenheid tijdens de maximale stroomsnelheden [m/s].

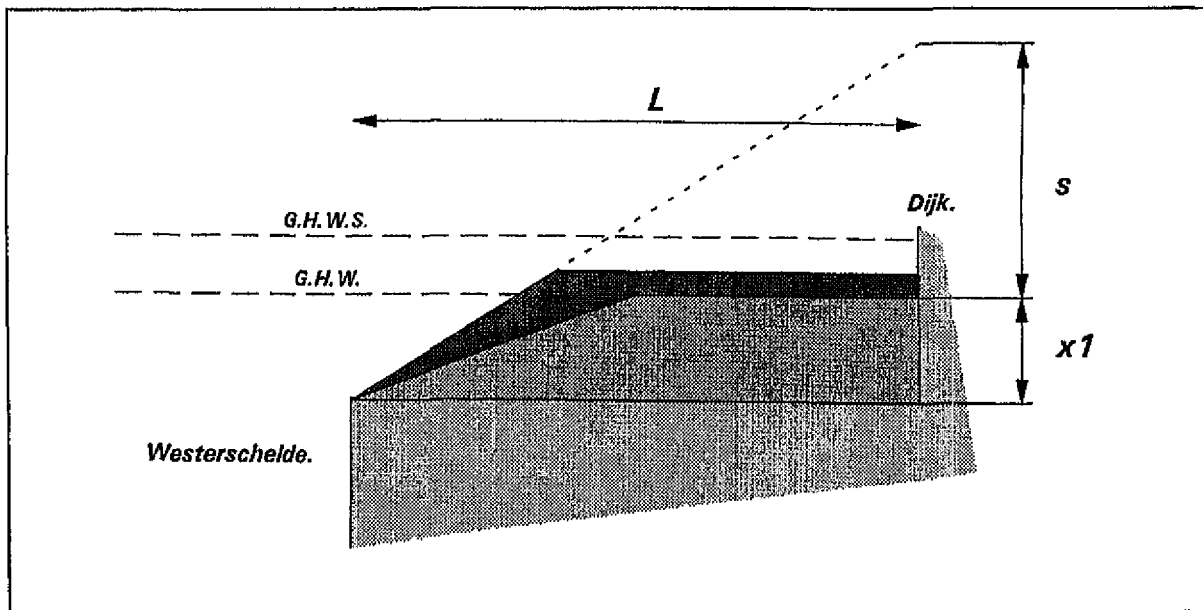
In het model wordt aangenomen dat de resulterende hoeveelheid sediment die per getij in de polder achterblijft, een driehoekige sedimentatie vormt. Dit levert drie fasen op in de berekening die in de onderstaande figuren zijn gegeven.



Figuur 4.8a.: Het rekenmodel; Eerste fase.



Figuur 4.8b.: Het rekenmodel; Tweede fase.



Figuur 4.8c.: Het rekenmodel; Derde fase.

In de eerste fase ligt het hoogste punt (x_1) onder G.H.W. De aanslibhoogte van de driehoekige aanslibbing per getij achterin de polder s is als volgt benaderd:

$$s = \frac{2C \cdot p_e \cdot V_{uit}}{\rho \cdot L \cdot B}$$

Hierin is: s : Hoogteverandering achterin de polder per getij door resulterende sedimentatie

[m].

C : Sedimentconcentratie in het uitgewisselde water [kg/m^3].

V_{uit} : Het uitgewisselde volume door het dominante proces [m^3].

p_e : Het geërodeerde percentage sediment [1]

ρ : De dichtheid van het sediment [kg/m^3].

L : De lengte van het gebied [m].

B : De breedte van het gebied [m].

In de tweede fase ligt het einde van de polder boven G.H.W.. Er wordt verondersteld dat het dominante proces alleen sedimentatie tot G.H.W. geeft. De lengte van het schuine deel wordt daardoor kleiner.

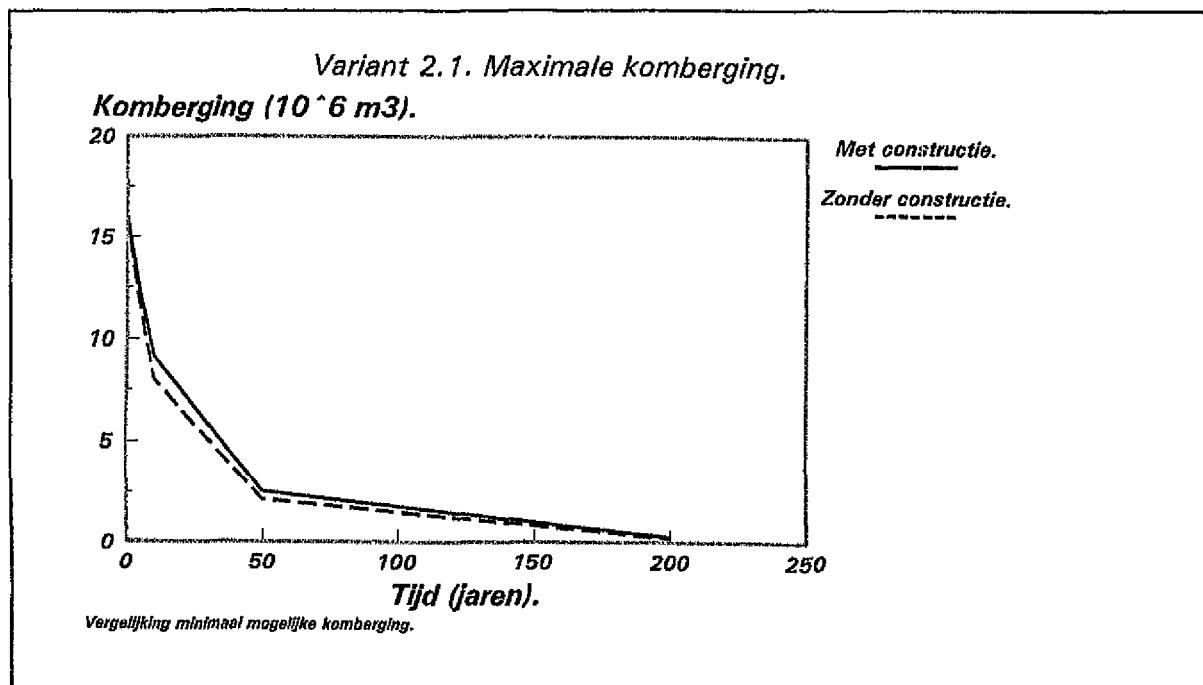
In de derde fase wordt op het vlakke deel dat niet door het dominante proces opslibt een sedimentatie verondersteld door stormen. Hiervoor is geen berekeningswijze gevonden of afgeleid. Voor de Hedwigepolder wordt hiervoor gebruik gemaakt van de opslibsnelheden van de naastgelegen Selenapolder en Saeftinge. De Selenapolder (een overstromingsgebied boven G.H.W.) slibt op met maxima van 5 cm per jaar [mond. med. K. Storm]. Het Verdrongen Land van Saeftinge kent een gemiddelde sedimentatiesnelheid van 1,7 cm/jaar [Houtekamer, 1992]. De gemiddelde sedimentconcentratie in het water voor Saeftinge is ongeveer 1,4 keer lager dan voor de Hedwigepolder en de Selenapolder [Waterkwaliteitsgegevens DGW, 1989/1990/1991]. Voor de Hedwigepolder is, gebaseerd op deze gegevens aangenomen dat het deel boven G.H.W. met 3 cm/jaar aanslibt. De sedimentatie hierdoor heeft als bovengrens G.H.W.S. Sedimentatie boven dit nivo is in deze berekeningen niet meer meegenomen.

4.2.2. Aanslibbing en komberging.

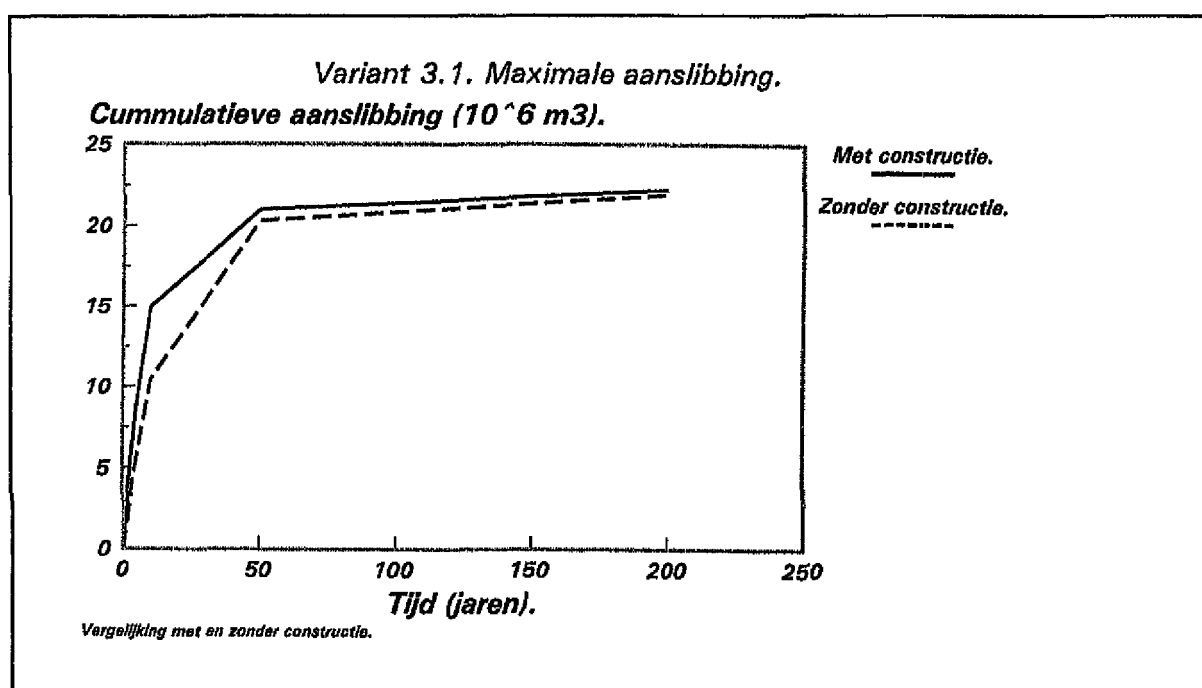
De berekening van de maximaal mogelijke aanslibbing (bovengrensbenadering) is voor de basisvarianten uitgevoerd. Er wordt hier gerekend met jaargemiddelde concentraties van het sediment (zie ook bijlage 4). De berekening van de jaarlijkse aanslibbing is uitgevoerd voor de tijdstippen 1 jaar, 5 jaar, 10 jaar, 50 jaar en 200 jaar. Hierbij is voor de cumulatieve aanslibbing en het hoogteverloop over deze periode gerekend met een gemiddelde aanslibbing per jaar over deze periode. De gevoeligheid van de berekening voor de keuze van deze tijdstippen is niet onderzocht.

Aan de hand van deze maximale cumulatieve aanslibbingsberekening is per inrichtingsvariant de maximale afname van de komberging vastgelegd. In de onderstaande grafieken zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven. Bij de berekeningen is voor alle varianten uitgegaan van geen onderhoud. Verderop is op onderhoud teruggekomen.

Als eerste zijn de mogelijkheden van de twee inrichtingsvarianten (met of zonder inlaatconstructie) voor de functievariant 2.1. bekeken. Daarna is dit voor beide inrichtingsvarianten van functievariant 3.1. gedaan.



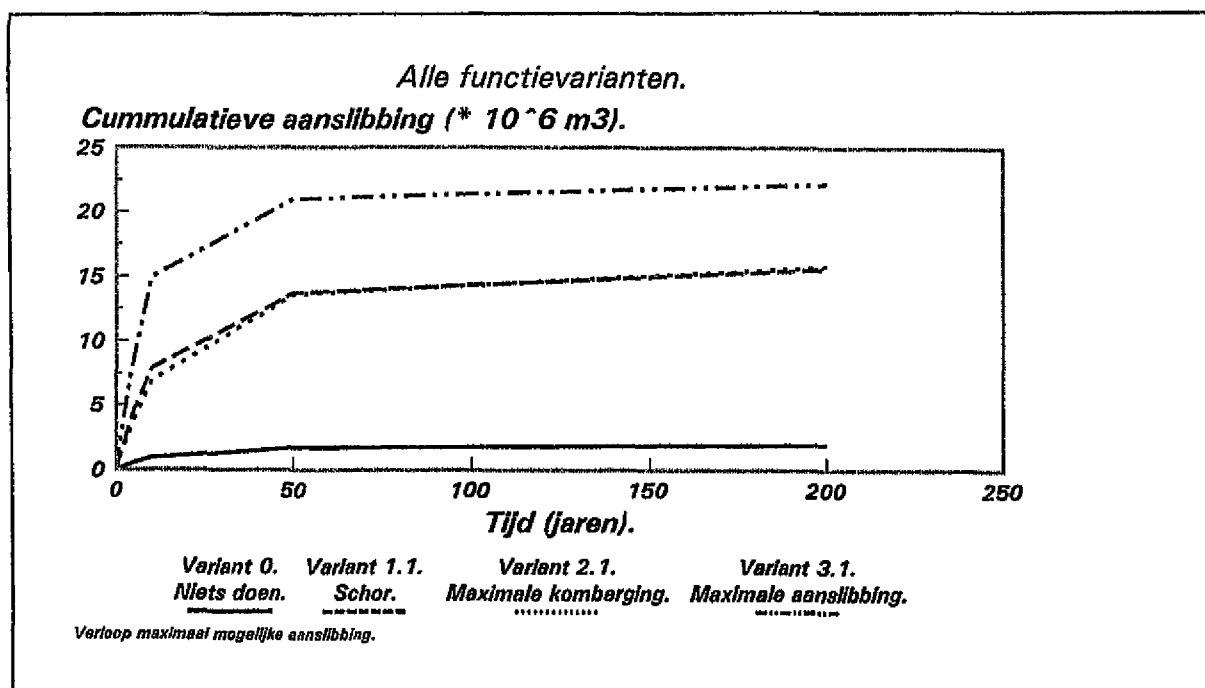
Grafiek 4.1.: Het verloop van de ondergrens van de komberging van beide inrichtingsvarianten voor de functievariant 2.1. 'Maximale komberging'.



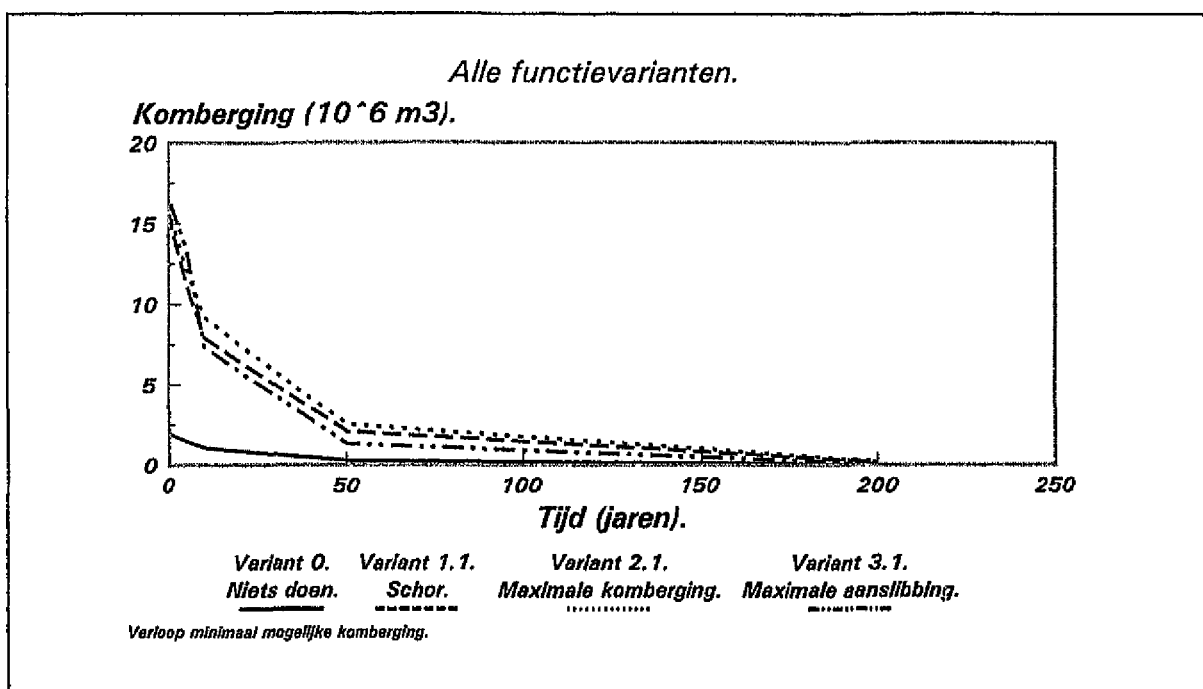
Grafiek 4.2.: Het verloop van de bovengrens van de aanslibbing van beide inrichtingsvarianten voor de functievariant 3.1. 'Maximale sedimentatie'.

In de grafieken is te zien dat de constructie vooral bij functievariant 3.1. 'Maximale sedimentatie' in de eerste jaren een substantieële invloed heeft. De invloed van de constructie bij variant 2.1. 'Maximale komberging' is minder groot.

In de onderstaande grafieken is de ontwikkeling van de maximale aanslibbing van de drie basisvarianten aangegeven. Hierbij is voor de functievarianten 2.1. 'Maximale komberging' en 3.1. 'Maximale aanslibbing' uitgegaan van de werkelijk optimale inrichtingsvariant, dus met inlaatconstructie.



Grafiek 4.3.: Het verloop van de bovengrens van de aanslibbing voor de drie basisvarianten.



Grafiek 4.4.: Het verloop van de ondergrens van de komberging voor de drie basisvarianten.

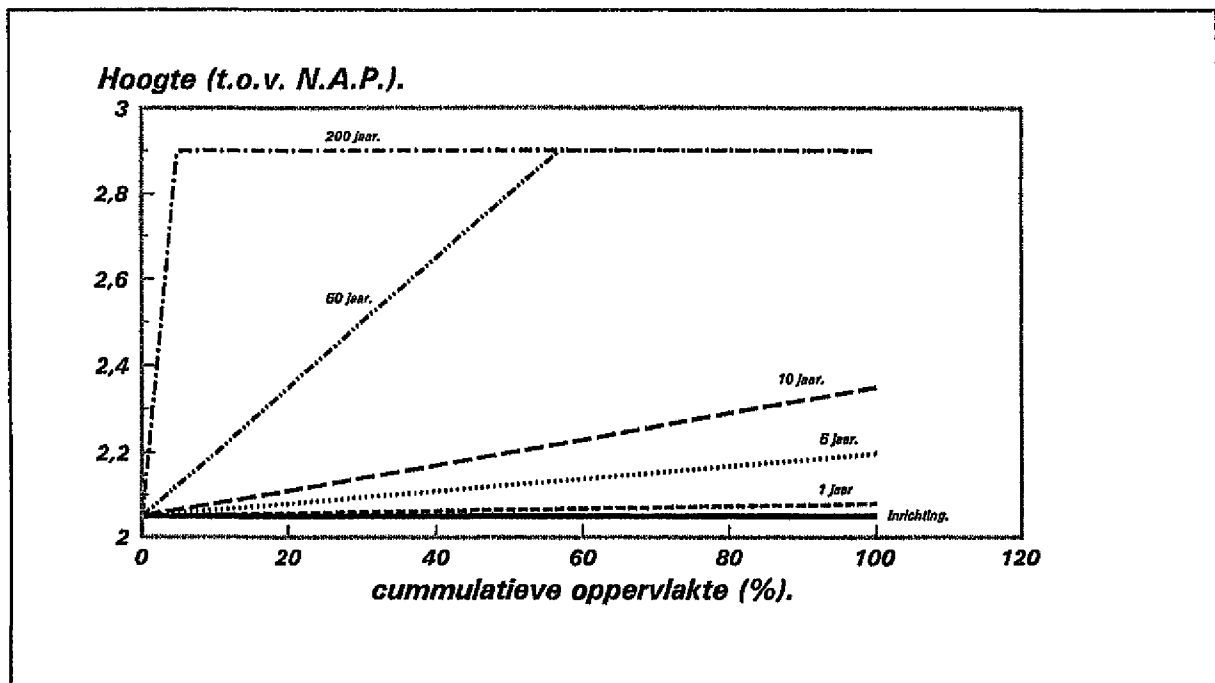
De grafieken tonen dat functievariant 3.1. 'Maximale aanslibbing' een fors grotere aanslibbing veroorzaakt. De varianten 1.1. 'Schor' en 2.1. 'Maximale komberging' verschillen hierin niet veel. Bij het verloop van de komberging zijn de verschillen tussen de varianten minder groot. Door zijn verdiepte ligging levert variant 3.1. 'Maximale sedimentatie' de eerste jaren zelfs een grotere komberging dan 2.1. 'Maximale komberging'. De nuloptie, variant 'Niets doen', heeft op beide grootheden duidelijk weinig effect.

4.2.3. Hoogteverloop.

In de onderstaande grafieken is het verloop van de hoogte in de tijd per functievariant uitgezet. Dit verloop is afgeleid uit de aanslibbing en de lediging van het gebied volgens het model dat in 4.2.1. is beschreven. Bij de functievarianten 2.1. 'Maximale komberging' en 3.1. 'Maximale sedimentatie' is uitgegaan van de aanslibbing van de inrichtingsvariant met een afsluitbare inlaatconstructie (de gemaximaliseerde inrichting). Het hoogteverloop is gegeven voor de tijdstippen 1, 5, 10, 50 en 200 jaar en wordt weergegeven door het percentage van de totale oppervlakte van het gebied dat lager is dan een bepaalde hoogte. Uit

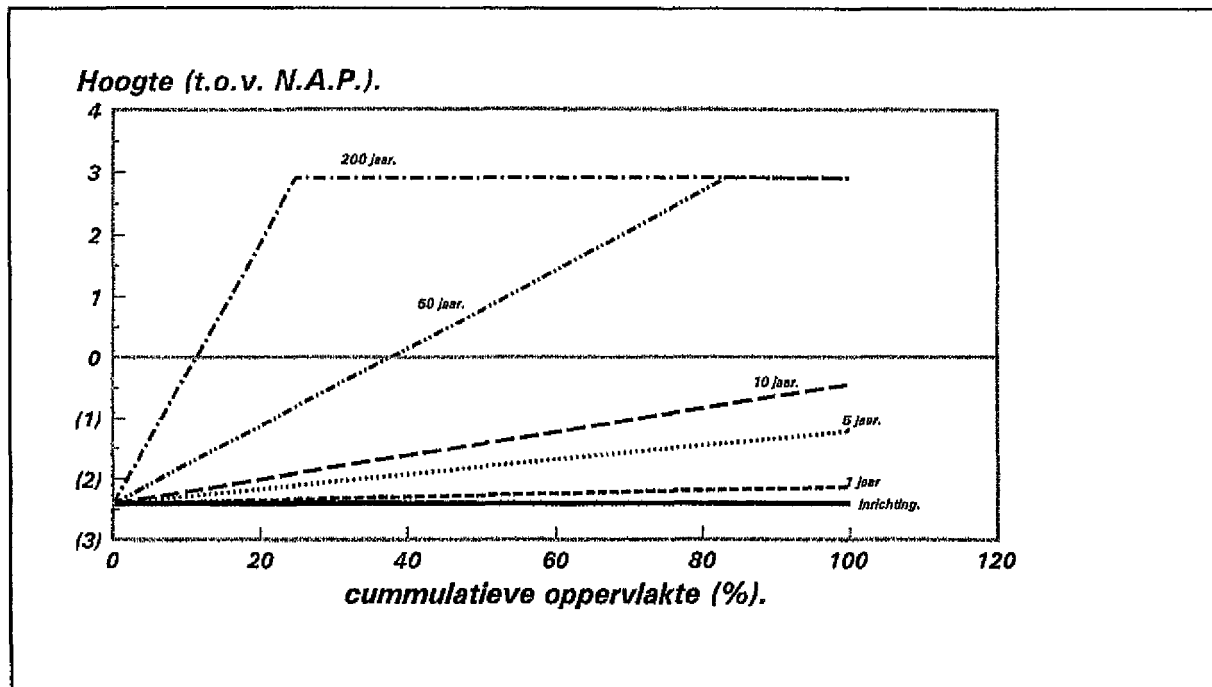
het hoogteverloop is voor elke variant het verloop van het totaal aantal hectareduurjaren slik en primair schor in de tijd afgeleid. Het begrip en het bepalen van het aantal hectareduurjaren is in paragraaf 2.4.2. beschreven. Voor de variant 1.1. 'Schor' is het verloop van het aantal hectare aan de diverse zones gedetailleerder uitgewerkt. Deze zones zijn beschreven in paragraaf 2.3.2.

Variant 0: 'Niets doen'.

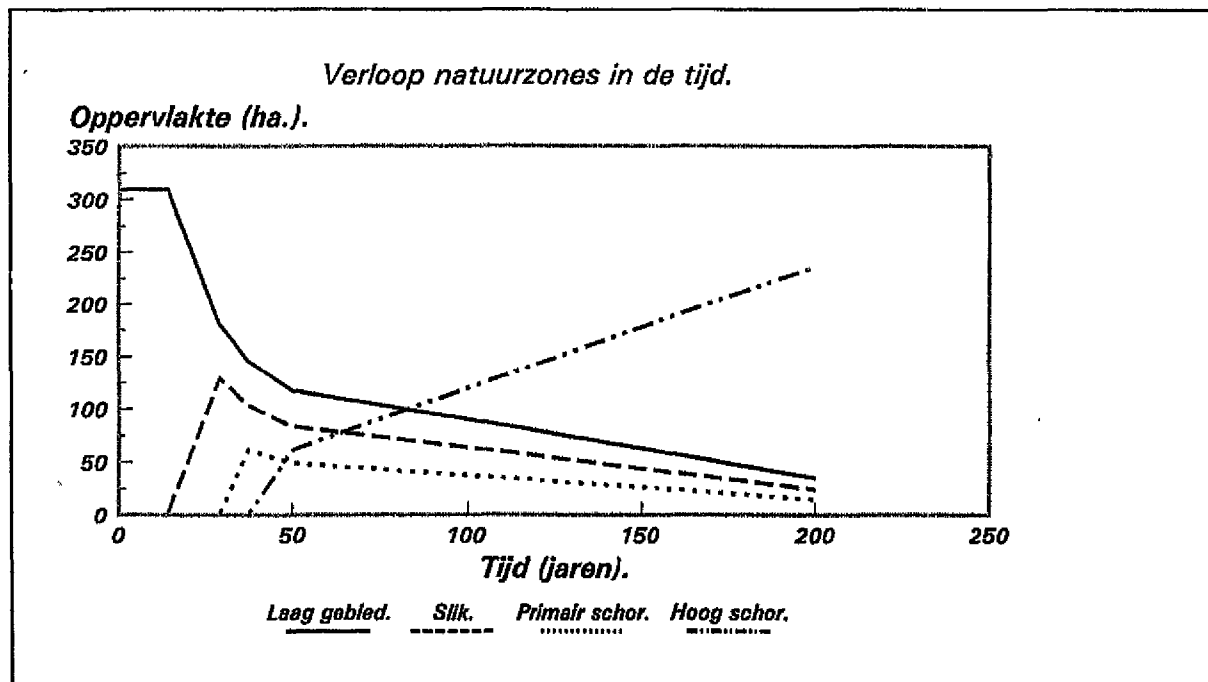


Grafiek 4.5.: Verloop oppervlakte per hoogte in de tijd.

Variant 1.1. 'Schor'.

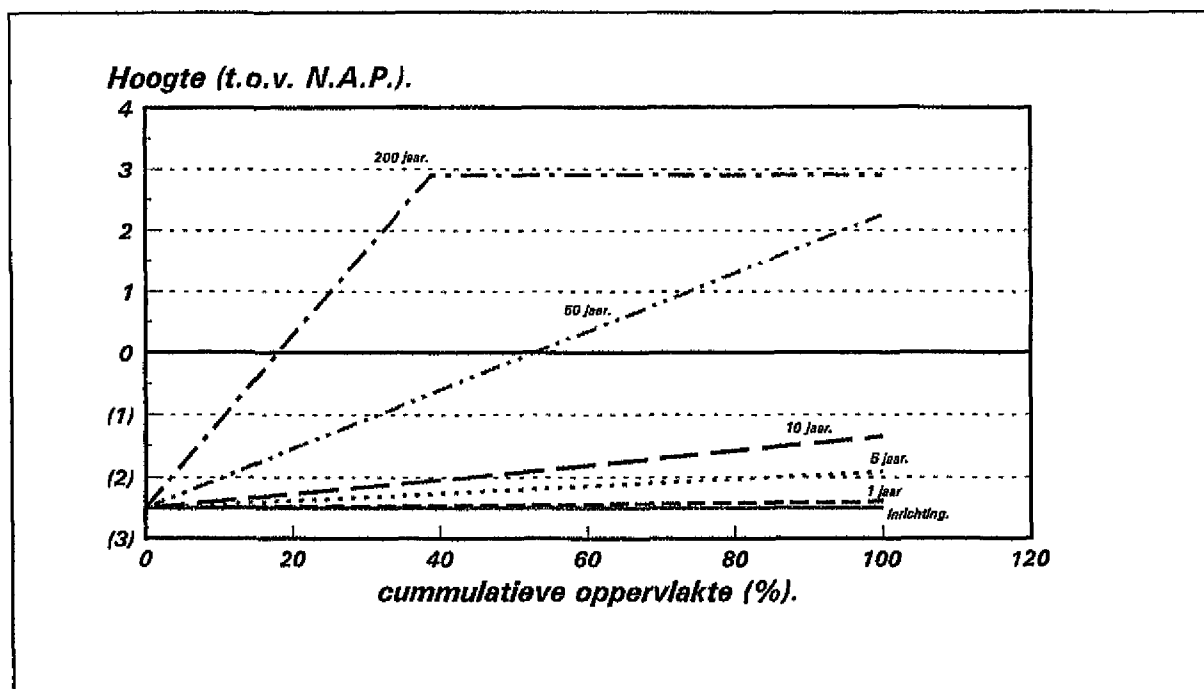


Grafiek 4.6.: Verloop oppervlakte per hoogte in de tijd.



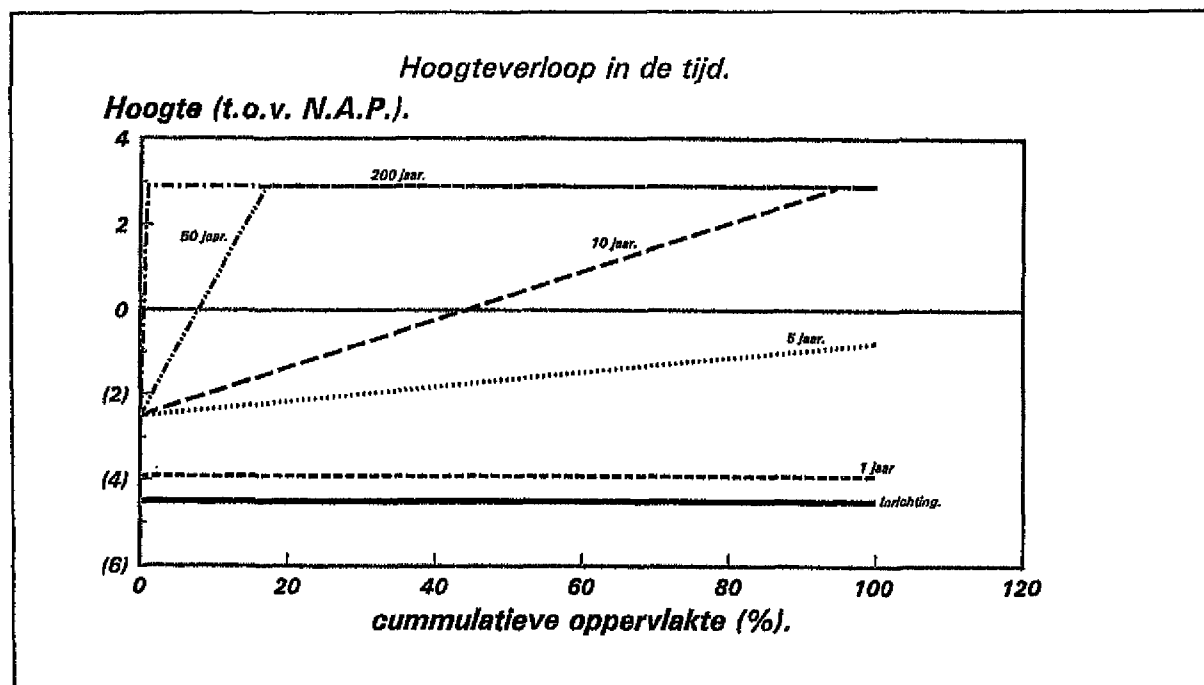
Grafiek 4.7.: Verloop van de verschillende zones van een intergetijdegebied in de tijd.

Variant 2.1. 'Maximale komberging'.



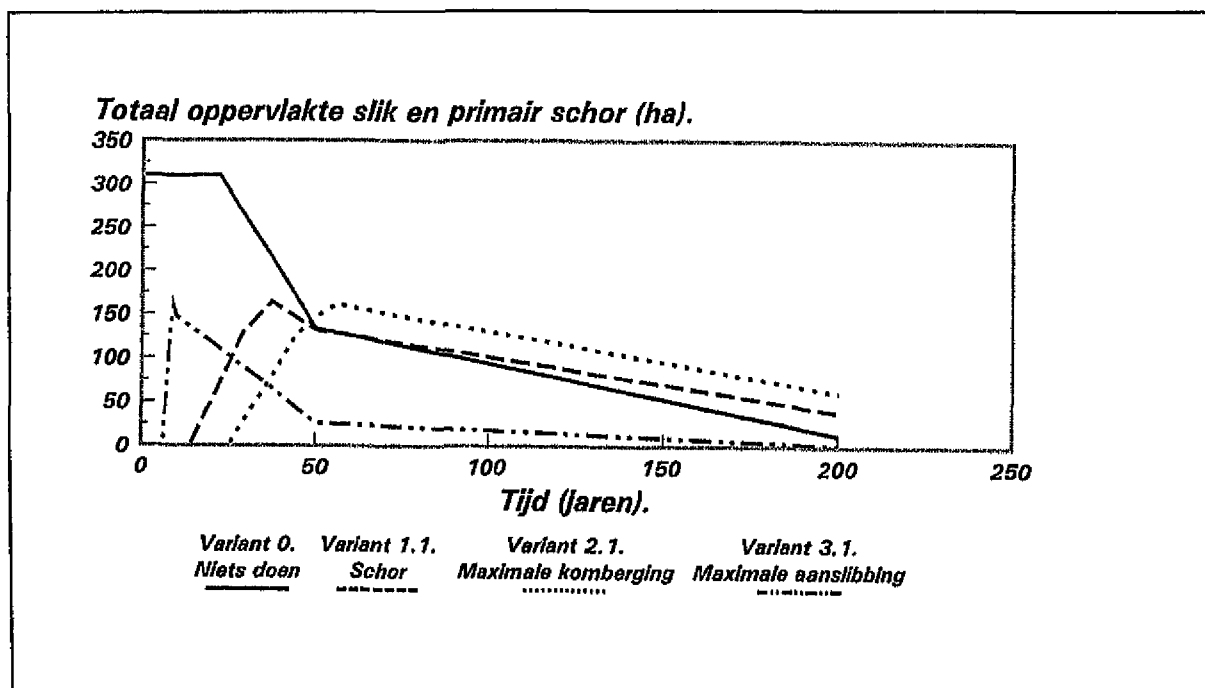
Grafiek 4.8.: Verloop oppervlakte per hoogte in de tijd.

Variant 3.1. 'Maximale sedimentatie'.



Grafiek 4.9.: Verloop oppervlakte per hoogte in de tijd.

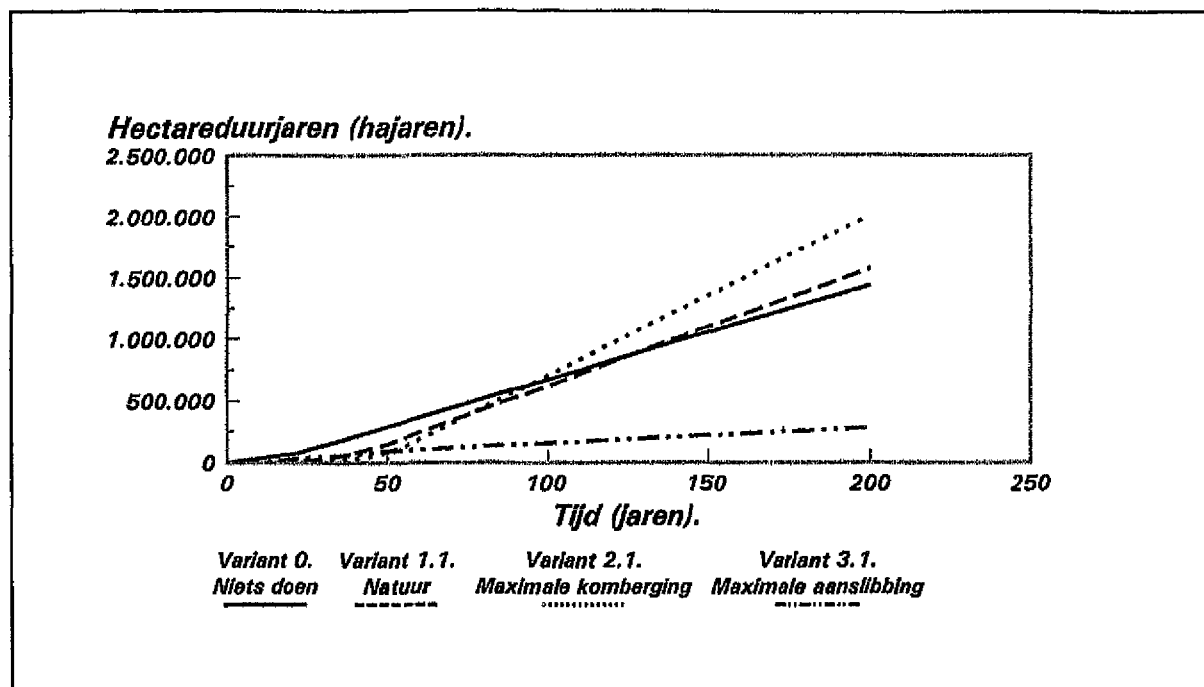
In de laatste grafieken zijn 4.10a. en 4.10b. van iedere variant het verloop in de tijd van het totaal aantal hectare aan slik en primair schor en het aantal hectareduurjaren aan slik en primair schor (zie 2.4.2.) gegeven.



Grafiek 4.10a.: Verloop totaal aantal hectare slik en primair schor in de tijd.

In de grafieken 4.10a. en 4.10b. doen zich, onder andere als gevolg van de gekozen schematisering en criteria, een aantal typische dingen voor. Doordat de variant 0. 'Niets doen' in het begin geheel in de hoogtezone van primair schor valt, levert deze variant in het begin een maximaal aantal hectare aan primair schor.

Door de geminimaliseerde aanslibbing levert variant 2.1. 'Maximale komberging' uiteindelijk een hogere natuurwaarde op als variant 1.1. 'Schor', zie grafiek 4.10b. Hierbij moet worden opgemerkt dat in deze variant een onnatuurlijk getij in het gebied optreedt. Het water wordt onder verval ingelaten en pas vlak voor laagwaterkentering geloosd. De gevolgen van dit onnatuurlijk getij op de natuurwaarde zijn hier niet beschouwd. De natuurlijke variant van 2.1. 'Maximale komberging', zonder inlaatconstructie, verschilt in bodemligging niet veel van variant 1.1. 'Schor'. De natuurwaarden daarvan verschillen dus ook niet veel.



Grafiek 4.10b.: Verloop aantal hectareduurjaren aan slik en primair schor.

4.2.4. Onderhoud en kosten.

Onder het **onderhoud** van een inrichting van de Hedwigepolder als overstromingsgebied wordt hier het afgraven van een aangeslibte inrichting verstaan. Dit onderhoud heeft tot doel een maximaal functiebehoud van de inrichting. Uitgaande van puur maximaal functiebehoud vragen functievarianten 2.1. 'Maximale komberging' en 3.1. 'Maximale aanslibbing' om jaarlijks onderhoud. De natuurfunctie komt dan in dit gebied niet tot ontwikkeling. De variant 1.1. 'Schor' is zonder onderhoud het meest natuurlijk (zie ook 2.1.).

Bij variant 2.1. 'Maximale komberging' is te zien dat de natuur er pas na zo'n 25 jaar waarde krijgt, met een maximum rond 50 jaar (zie grafiek 4.10a.). Bij onderhoud na resp. 25 en 50 jaar is de kombergingsfunctie van de variant tot 50% resp. 15% van zijn oorspronkelijke waarde afgenomen (zie grafiek 4.1.). Dit lijkt niet rendabel.

Bij variant 3.1. 'Maximale sedimentatie' is de natuurwaarde na 8 tot 12 jaar hoog. De aanslibbing neemt na zo'n 10 jaar in grootte sterker af (zie grafiek 4.2.). Onderhoud na 10 jaar zorgt ervoor dat deze variant tevens een redelijke natuurwaarde ontwikkelt, terwijl de aanslib-functie hoog blijft.

Voor deze beide varianten is het onderhoud afhankelijk van economische en maatschappelijke factoren. Naast een economisch optimaal onderhoud (de 'opbrengst' van het functiebehoud en de kosten van het onderhoud daarvoor) moet de verontreinigde specie uit de polder een bestemming vinden.

Bij het bepalen van de **kosten** is van een aantal zaken uitgegaan;

- Onderhoudskosten zijn in dit stadium niet meegenomen hoewel ze substantieel kunnen zijn. Dit is het gevolg van het nivo waarin het onderhoud in deze studie is uitgewerkt.
- De aan te brengen zeekering op delta-veiligheidsnivo moet met een harde glooiing worden uitgevoerd.
- De uit de polder en voorland komende teelaarde en klei kan worden verkocht. Het renteverlies door opslag hiervan is niet meegenomen ('direkte verkoop'). Voor de verkoop moet het ontpolderingsproject het liefst met een ander grootschalig project worden afgestemd (bijvoorbeeld de T.G.V. aanleg).
- Het uit de polder komende zand kan in de Westerschelde worden gestort (transport naar de Noordzee is niet nodig). Verkoop ervan lijkt moeilijk [mond. med. H. Boot].
- De aanleg van de afsluitbare constructies bij functievarianten 2.1. en 3.1. zijn niet uitgedetailleerd. De bouwkosten hiervan zijn afgeschat op resp. 20 miljoen gulden (variant 2.1.) en 30 miljoen gulden (variant 3.1.).
- Behoudens bestortingen rondom de kunstwerken bij varianten 2.1. en 3.1. (in de geschatte prijs inbegrepen) en de kreukelberm voor de zeedijk worden er geen bestortingen aangebracht.

In de volgende tabel zijn de kosten van de verschillende varianten in guldens (afgerond op vijftallen) aangegeven met en zonder de mogelijkheid de teelaarde en klei te verkopen.

	Aanlegkosten zonder verkoop.	Aanlegkosten met verkoop.
0. Niets doen.	40 miljoen	40 miljoen
1.1. Schor.	105 miljoen	45 miljoen
2.1. met constr.	130 miljoen	65 miljoen
2.1. zonder con.	110 miljoen	45 miljoen
3.1. met constr.	170 miljoen	120 miljoen.
3.1. zonder con.	140 miljoen	80 miljoen

De uitvoering van het projekt levert een aantal problemen. De hoge aanlegkosten nopen tot de verkoop van het klei en de teelaarde. Naast het vinden van afnemers moet de klei ook in depot worden gezet. Dit neemt ruimte en dus capaciteit van de inrichting in beslag. Het gunstigst lijkt het combineren van de uitvoering van dit projekt met een ander projekt waarbij grote hoeveelheden materiaal nodig zijn. Indien mogelijk kan het verkopen van zand de kosten van de aanleg verder drukken. Een factor die de kosten sterk kan vergroten maar die niet is meegenomen, is de prijs van het eventuele saneren van een met vuil slib gevulde Hedwigepolder.

4.3. Verdere aandachtspunten.

In dit laatste onderdeel van het hoofdstuk worden enkele aandachtspunten toegelicht die de inrichting van de Hedwigepolder kunnen beïnvloeden en waarmee hiervoor geen rekening is gehouden.

4.3.1. De vervuiling.

Een cruciaal punt in de inrichting van de Hedwigepolder is de vervuiling. Het zwevend stof dat in een ontpolderde Hedwigepolder bezinkt, draagt een groot scala aan verontreinigingen met zich mee [DGW metingen, 1987/1988]. In de onderstaande tabel zijn voor een aantal verontreinigingen de concentraties aan zwevend materiaal in de Schelde [metingen DGW, 1987/1988], de natuurlijke achtergrondconcentraties [Valente, 1992], de bodemkwaliteitseisen [Kop et al., 1990] en de concentraties van de stoffen in de bodem van Saeftinge [Valente, 1992] gegeven. Omdat voor de Schelde geen achtergrondconcentraties bekend zijn, zijn in deze tabel ter vergelijking de achtergrondconcentraties van de Rijn gegeven. Alle concentraties zijn omgerekend naar een standaardbodem.

stof	zwevend sediment in de Schelde bij Saeftinge	idem, voor de Hedwi- gepolder	grens klasse II kwaliteit	Saeftinge schor bodem	Achter- grond
Zn	500,0	738,7	370	247,16	106
Cr	140,0	722,0	190	73,63	55
Pb	140,0	156,7	110	75,13	21
Cd	7,5	10,6	6	2,48	0,23

Omdat er gecorrigeerd is naar een standaardbodem wordt verwacht dat het gehalte van het zwevende stof dichtbij die van het afgezette ligt. Dat dit niet zo is, komt door uitlogingsprocessen en de menging van slib met zand dat op de correctiemethode naar standaardbodem inwerkt.

De concentraties aan het zwevend sediment zijn hoger dan de natuurlijke concentraties. Het sediment van Saeftinge lijkt niet vervuilingsklasse II te overschrijden. Omdat het zwevend sediment voor de Hedwigepolder een grotere vervuilingsgraad dan voor Saeftinge bezit, zal de vervuiling van de bodem daar zwaarder zijn. De hogere vervuilingsgraad van dit zwevend sediment voor de Hedwigepolder is afkomstig van het meer belaste deel van het estuarium (bovenstrooms van de Hedwigepolder) en de menging met relatief schoner zeeslib is minder groot.

De vervuiling kan worden verdeeld in drie hoofdproblemen: zuurstoftekort, zware metalen en organische verbindingen. Het zuurstof-probleem moet worden opgelost door het saneren van de vervuilingsbronnen bovenstrooms van de Schelde. Metalen en organische verbinding kunnen in de Hedwigepolder sedimenteren.

Processen in de bodem.

De processen in de bodem die de verspreiding van verontreinigingen bepalen, worden voor een groot deel bepaald door redox-reakties. Ook van belang zijn de pH, het zoutgehalte en het kalkgehalte in de bodem.

In de bodem is O_2 afwezig. Het is opgebruikt bij de afbraak van organische stof. Daardoor zijn ook de verontreinigingen in gereduceerde vorm aanwezig. Bij de afbraakprocessen dient eerst O_2 als electronendonor en nadat dit is opgebruikt of in verband met de diepte onder de oppervlakte de organische stof niet meer bereikt, kunnen NO_3^- , SO_4^{2-} en CO_2 als electrondonor dienst doen. Er vormt zich nitriet en vervolgens stikstof en sulfide wat met zware metalen instabiele, slecht oplosbare verbindingen vormt. Een belangrijk effect daarvan is dat metalen in gereduceerde toestand meer aan slib gebonden zijn dan in geoxideerde toestand. In gereduceerde toestand is minder organische verontreiniging in de bodem aanwezig.

De verontreinigingen beïnvloeden vooral de bodemfauna die zich daar slecht ontwikkelt. Het aantal soorten wordt schaarser en de biomassa per individu daalt. De vogels en vissen die van deze bodemdieren afhankelijk zijn, vinden minder voedsel en verontreinigingen hopen zich in deze hogere organismen op. Ook planten accumuleren verontreinigingen.

De verontreinigingen in de bodem kunnen zich op twee manieren verder verplaatsen:

- Uitloging en transport door diepe kwel. De verontreinigingen kunnen door de grondwaterstromen in diepere lagen worden meegenomen naar de omringende gebieden. Over de grondwaterstromingen in het gebied rondom de Hedwigepolder is bij Rijkswaterstaat weinig

bekend. Aangezien het gemiddelde waterpeil in de Hedwigepolder (N.A.P.) lager ligt dan het polderpeil in de omringende Prosperpolder (0,20 tot 0,40 m + N.A.P.) en omdat de bodem voornamelijk uit kleilagen bestaat, is een significante verspreiding door kwel niet te verwachten.

- Een veel groter gevaar ligt in de werking van de polder als vervuilingsbron voor de Westerschelde in de toekomst. Momenteel wordt ernaar gestreefd de lozingen van verontreinigingen in de Schelde te saneren. Dit gebeurt onder andere door de bouw van diverse afvalwaterzuiveringsinstallaties in België. Een probleem dat hierbij speelt is de huidige accumulatie van verontreinigingen in de waterbodem. Er wordt geschat dat de verontreinigingen die opgeslagen liggen in de Scheldebodem nog zeker 30 jaar na sanering van het water verontreinigingen aan het water nalevert [Ten Brinke, 1992]. Deze nalevering ontstaat doordat de toenemende hoeveelheid O₂ in het gesaneerde water de bodem weer in geoxideerde toestand brengt. De bodemdeeltjes binden dan minder metalen aan zich en geven de resterende metalen af aan het water. De Hedwigepolder kan, nadat het een tijd als overstromingsgebied heeft gefungeerd, eenzelfde rol als de waterbodem van de rivier gaan spelen: De in de polder afgezette verontreinigde slibdeeltjes gaan als puntbelasting voor de schone Schelde dienen.

Voor een veilige ontwikkeling van de Hedwigepolder als kombergingsgebied moet eerst worden onderzocht hoe groot en gevaarlijk de nalevering van verontreinigingen aan de Westerschelde is. Afhankelijk van de resultaten van dit onderzoek moet de Hedwigepolder eerst worden gesaneerd voordat het zijn definitieve inrichting (dus geen 'maximale aanslibbing'-inrichting) krijgt. Een andere mogelijkheid is dat de vervuiling van de polder wordt geaccepteerd en dat direkt de definitieve inrichting wordt aangebracht. Hierbij spelen een aantal aspecten een rol:

- Maatschappelijke aspecten:

Het accepteren van een vervuilde bodem moet maatschappelijk geaccepteerd worden en is afhankelijk van de opinie op dat moment. Het is mogelijk dat een 'volle, vervuilde en begroeide' Hedwigepolder niet mag worden gesaneerd.

Zo is bijvoorbeeld in Rammegors in Zeeland in een depot om vervuild slib uit de aanleg van het Rijn-Schelde kanaal in te storten, nadat een eerste deel ervan was volgestort en begroeid, de rest van het depot nooit meer volgestort. De naburige gemeenten Tholen en Sint-Philipsland vonden de begroeide situatie te waardevol om aan te tasten en namen het depot in hun bestemmingsplan op als natuurgebied.

- Planologische- en technisch/economische aspecten.

Indien de polder wordt gesaneerd moet er een locatie voor de verontreinigde slib worden gevonden of moet het slib economisch kunnen worden gereinigd. Ook deze aspecten houden nauw verband met de maatschappelijke ontwikkelingen. Gezien de kosten van het saneren van vervuilde grond (zo'n 100 tot 400 gulden per m³) en de hoeveelheid aanslibbing in de polder (zie grafiek 4.3.) is saneren een kostbare zaak.

Een studie naar de te verwachten ontwikkeling in de kwaliteit van het Scheldewater en -slib alsmede naar de kwaliteit en gevaren van de aanslibbing in een ontpolderde Hedwigepolder moet aantonen wanneer een definitieve inrichting van de Hedwigepolder als overstromingsgebied kan worden uitgevoerd.

4.3.2. Scheepvaart, slibhuishouding en veiligheid.

Drie andere aspecten die van belang zijn voor de inrichting van de Hedwigepolder, zijn de scheepvaart, de slibhuishouding en de veiligheid.

De inrichting van de Hedwigepolder als overstromingsgebied kan voor de scheepvaart problemen met zich meebrengen omdat er tijdens het vullen en ledigen van de polder een dwarsstroming op de vaargeul in de Westerschelde ontstaat. Een soortgelijke dwarsstroming treedt op bij Bath, waar bij vloed de Zimmermansgeul een dwarsstroming op de vaargeul veroorzaakt. Op 25 februari 1963 was dit zelfs aanleiding tot een scheepvaartongeluk. In [de Looft, 1981] worden stromingsmetingen aldaar uit 1981 besproken en wordt gesproken van hinder voor de scheepvaart bij een dwarsstroming met een snelheid in dezelfde orde grootte als de stroomsnelheid in de hoofdgeul. Aangezien ook bij het vullen en ledigen van de Hedwigepolder stroomsnelheden in dezelfde orde van grootte als die in de hoofdgeul optreden, is hinder voor de scheepvaart te verwachten. Dit wordt bevestigd door [mond. med. R. den Os, scheepvaartdeskundige Rijkswaterstaat Directie Zeeland] die in de situatie bij de Hedwigepolder zeker problemen voor de scheepvaart verwacht. Verder onderzoek hiernaar is noodzakelijk. Er kan hierbij worden gekeken naar benaderingen zoals die bij electriciteitscentrales worden toegepast, waar de koelwaterlozingen op scheepvaartwegen de scheepvaart niet mogen hinderen.

De hoeveelheid slib die jaarlijks in de Hedwigepolder volgens de berekeningen wordt afgezet, is van dezelfde orde als de balanst termen uit de slibhuishouding zoals die voor de Westerschelde is opgesteld [Ten Brinke, 1992]. Dit betekent dat het toevoegen van de Hedwigepolder aan het watersysteem een forse invloed op de slibbalansen heeft. De polder

gaat als slibput fungeren. Tevens beïnvloedt het ontpolderen de asymmetrie van het getij op de Westerschelde, zie 1.2.2., en daarmee de sedimentatie en erosie in de geulen van de Westerschelde. Gecomplieerde reacties van het systeem zijn te verwachten.

De **veiligheid** kent twee benaderingen, te weten intern en extern. De interne veiligheid behelst de stabiliteit van de dijken rondom de polder die op delta-veiligheidsnivo moeten worden gebracht. Hierbij wordt in eerste instantie aan milieu-vriendelijkere grasdijken (talud liefst 1:9) gedacht. Echter doordat de veiligheid van deze dijken nog niet voldoende is aangetoond, zijn dijken zonder harde glooiingen niet acceptabel. De zuidelijke- en oostelijke dijken langs de Hedwigepolder zijn te laag als hoofdwaterkering, de noordelijke (langs de Selenapolder) is reeds op deltahoogte.

Met de externe veiligheid wordt de invloed van een ontpolderde Hedwigepolder op de hoogwaterstanden op de Schelde, vooral rondom Antwerpen, bedoeld. [Karman en Kik, 1993] hebben hiernaar studie naar gedaan, zie ook 1.2.2.. In figuur 1.15. is de invloed van de Hedwigepolder (met en zonder het ontpolderen een polder nabij Kruibeke in België) op de hoogwaterstanden gegeven. De verlaging van de hoogwaterstanden door de Hedwigepolder is orde enkele cm.

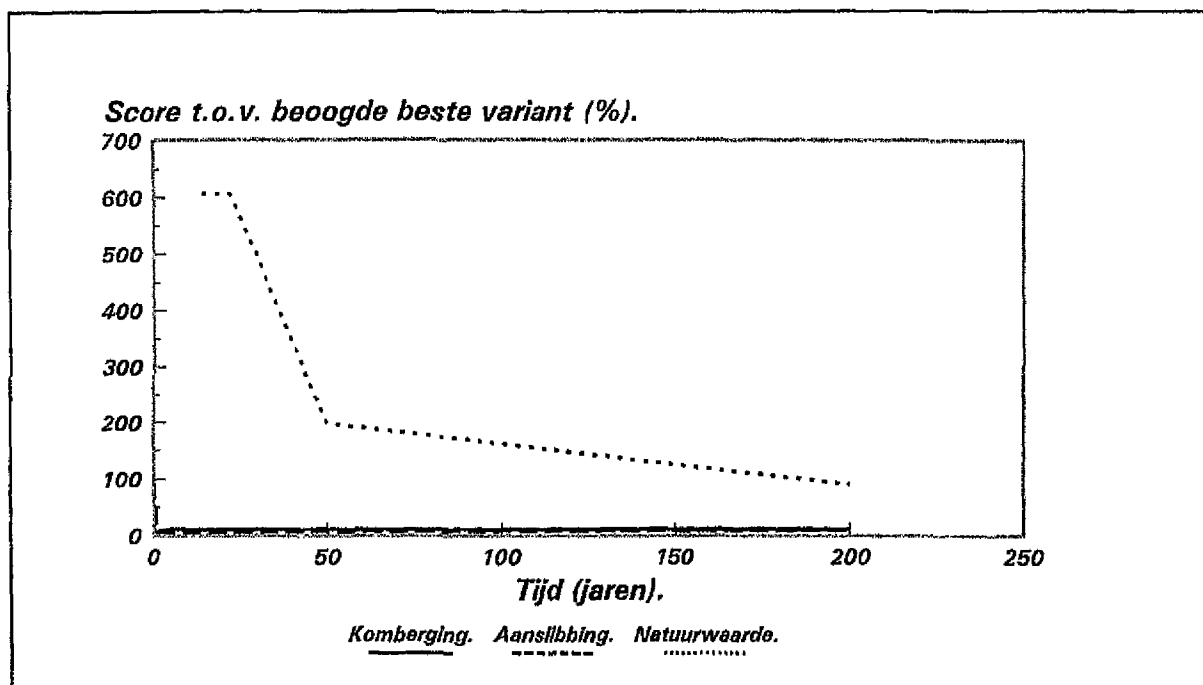
5. EVALUATIE.

De varianten voor de functie van een ontpolderde Hedwigepolder zijn uitgewerkt aan de hand van de aanslibbing en daaruit is de invloed op de problemen van de Westerschelde per variant bepaald. Uiteindelijk worden in dit laatste hoofdstuk de resultaten vergeleken en geëvalueerd.

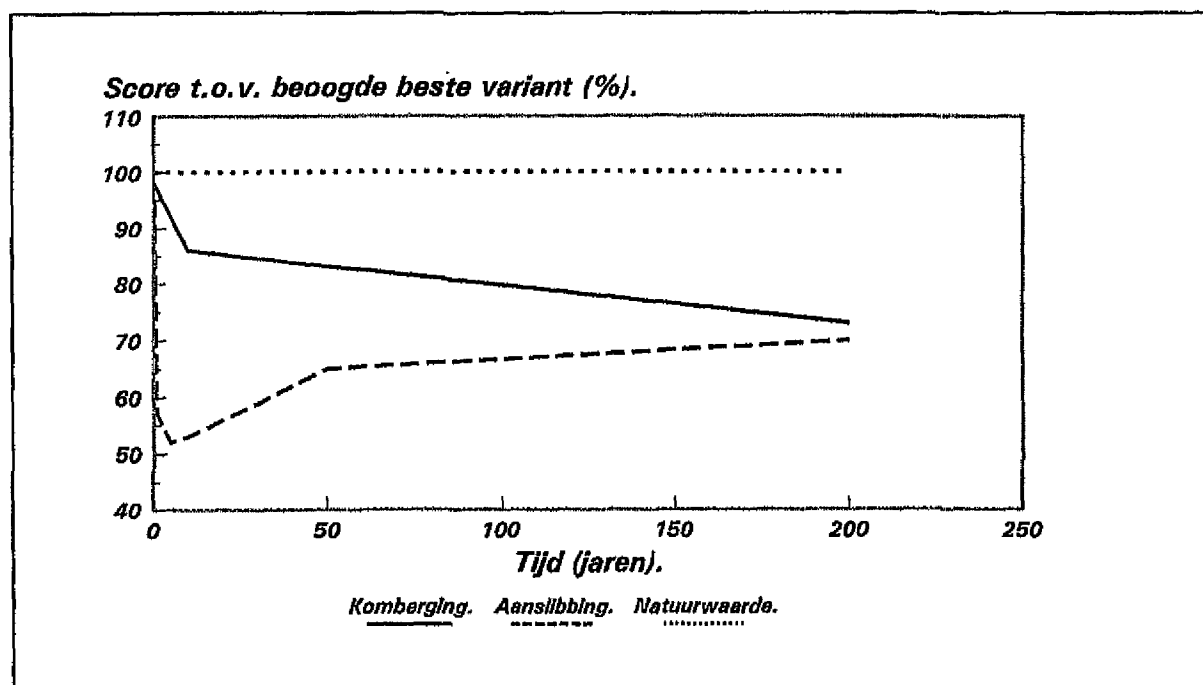
5.1. Vergelijking van de functievarianten.

In de studie zijn naast een nuloptie drie basisvarianten voor de functie van het gebied ontwikkeld, te weten een variant die de natuurwaarde moet stimuleren, een variant die de vervuiling van de Westerschelde vermindert en een variant die de baggerproblematiek op de Westerschelde moet verminderen. De invloed van de varianten op de problemen natuur, vervuiling en komberging is in hoofdstuk 4 aangegeven door het verloop in de tijd van het aantal hectareduurjaren slik en primair schor, de cumulatieve hoeveelheid aangeslibt sediment en het kombergingsvolume van de ontpolderde polder. In de grafieken 4.3., 4.4. en 4.10 zijn deze resultaten voor de varianten te zien.

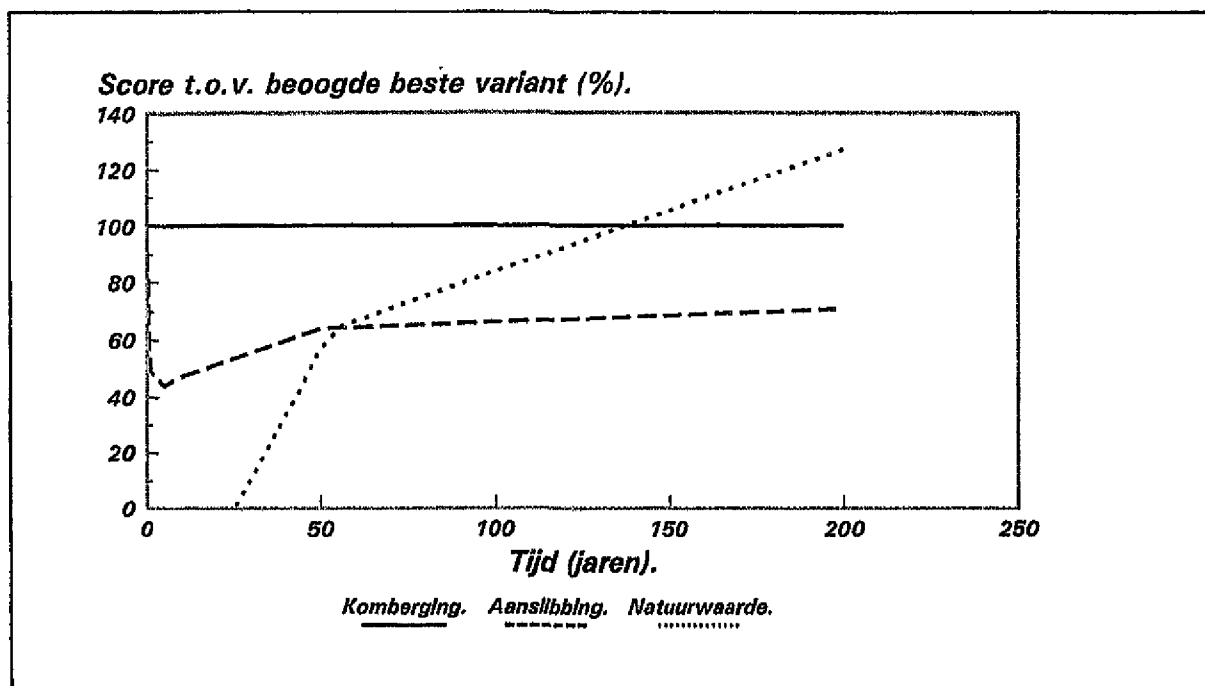
Een functievariant verbetert niet alleen het specifieke probleem waarop de variant is gericht maar alle drie de problemen. In de onderstaande vergelijkingsbenadering is voor elk probleemgebied het effect in verloop van de tijd van de functievariant die er specifiek op gericht is, op 100% gesteld. Het effect van de twee andere varianten op dit probleemgebied kan worden uitgedrukt in een percentage ten opzichte van deze 'optimale' invloed. Per variant is op deze wijze een indruk verkregen van zijn totale effect op de drie hoofdproblemen van de Westerschelde door deze percentagescores per probleemgebied in tijd uit te zetten. Hierbij is voor functievarianten 2.1. en 3.1. uitgegaan van de inrichtingvariant met een afsluitbare inlaatconstructie (de werkelijk maximale variant). Onderhoud is in de vergelijking niet meegenomen omdat dit in dit stadium te weinig is uitgewerkt.



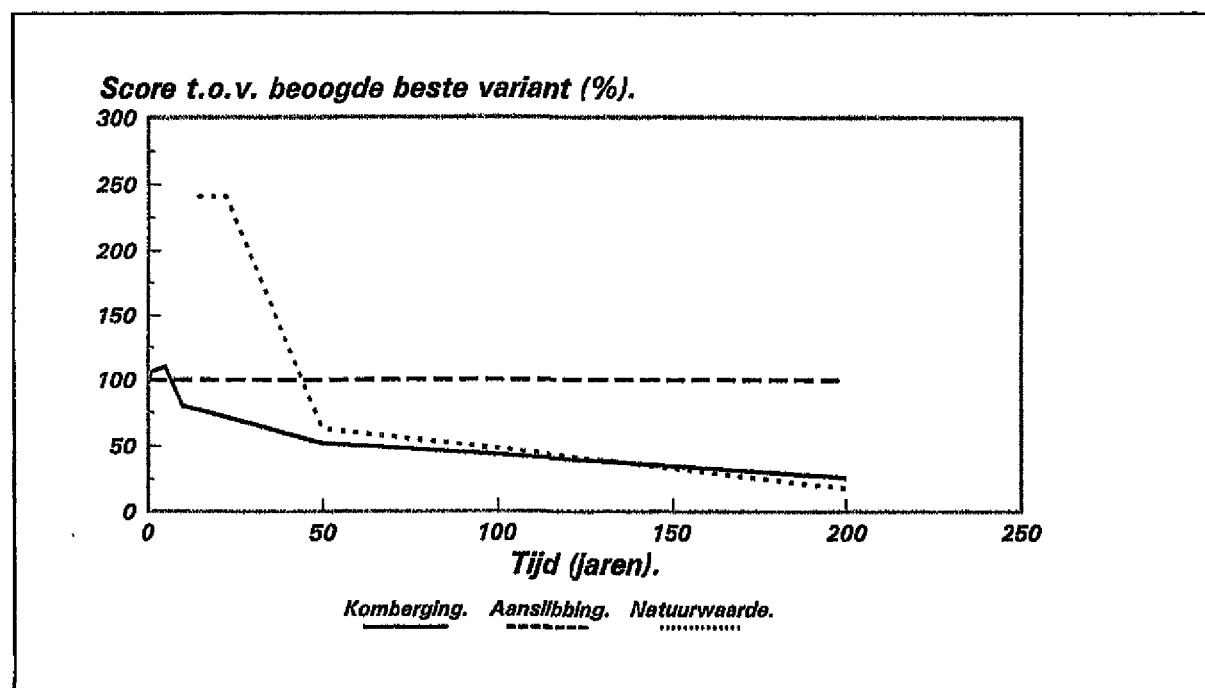
Grafiek 5.1a.: Invloed van de variant 0. 'Niets doen' op de drie probleemgebieden in procenten ten opzichte van de 'optimale' varianten.



Grafiek 5.1b.: Totale effect van variant 1.1. 'Schor' op de drie probleemgebieden in procenten ten opzichte van de 'optimale' varianten .



Grafiek 5.1c.: Totale effect van variant 2.1. 'Maximale komberging' op de drie probleemgebieden in procenten ten opzichte van de 'optimale' varianten.



Grafiek 5.1d.: Totale effect van variant 3.1. 'Maximale sedimentatie' op de drie probleemgebieden in procenten ten opzichte van de 'optimale' varianten.

In de beoordeling van de natuurwaarde zit het probleem dat variant 1.1. 'Schor', de optimale 100% variant, pas na 14 jaar op slik-nivo komt. Daarvoor is de natuurwaarde volgens de gestelde criteria nul. De natuurwaarde tot 14 jaar is daarom niet relevant en niet in de grafieken opgenomen.

De functievariant 'Niets doen' kent door zijn vlakke beginligging in de primair schor-zone een goede score als natuurwaarde ten opzichte van de optimale 100% variant, de scores bij de andere problemen zijn verwaarloosbaar ten opzichte van de 100% varianten.

Variant 1.1. 'Schor' scoort bij de andere problemen, aanslibbing en komberging, redelijk. Opvallend is dat variant 2.1. 'Maximale komberging' goed op natuur scoort, zelfs uiteindelijk hoger dan de optimale 100%-variant 'Schor', zie ook paragraaf 2.4.2. en de opmerkingen onder grafiek 4.10b. Op de aanslibbing is de score redelijk.

Variant 3.1. 'Maximale aanslibbing' ontwikkelt snel een natuurwaarde maar na 50 jaar zijn de scores op de andere gebieden, natuur en komberging, gering.

In de onderstaande tabel zijn ter vergelijking de hoofdpunten per functievariant onder elkaar gezet. Bij de kosten is uitgegaan van de aanlegkosten zonder onderhoud. De kosten zijn uitgedrukt in % ten opzichte van de goedkoopste (minimaal) variant.

Varianten.	Invloed op eigen functie	effect op andere problemen	Kosten met verkoop.	Specifieke aandachtspunten.
Niets doen.	n.v.t.	alleen op natuur.	minimaal.	geen onderhoud: monitoring.
Schor.	orde 10%	redelijk.	minimaal.	geen onderhoud: monitoring.
Komberging.	orde 10%	natuur zeer goed, vervuiling redelijk	175%	optimalisatie onderhoud. afweging constructie.
Aanslibbing.	orde 10%	matig.	200%	optimalisatie onderhoud. afweging constructie. eventuele sanering.

5.2. Evaluatie.

Terugkijkend naar de studie en het doel ervan blijkt de invloed die de Hedwigepolder op de hoofdproblemen van de Westerschelde, natuur, baggerwerk en vervuiling, kan uitoefenen substantieel. Deze invloed kan op alle drie gebieden met een ordegrrootte van 10% worden aangegeven.

Er zijn drie basisvarianten voor de functie van een ontpolderde Hedwigepolder onderscheiden: Gericht op maximale verhoging van de natuurwaarde in het estuarium, gericht op een maximale reductie van de baggerintensiteit op de Westerschelde en gericht op een maximale vermindering van de vervuiling van de Westerschelde. Daarnaast is de nuloptie uitgewerkt.

Afwegingen.

Een aantal zaken moeten bij het ontpolderen van de Hedwigepolder worden afgewogen:

- Er is een optimalisatie nodig van het onderhoud; Onderhoud houdt de functies van een inrichting in stand, vermindert de natuurwaarde (tijdelijk) en kost geld.
- Er is een maximale invloed op de vervuilingsreductie en baggerhoeveelheden in het gebied indien een afsluitbare inlaatconstructie wordt toegepast die de aanslibbing in het gebied resp. maximaliseert of minimaliseert. Voor het toepassen van een afsluitbare inlaat is een kosten-baten analyse nodig van de opbrengst van de vergrote invloed door de constructie tegen de kosten van de aanleg ervan. De constructie zorgt tevens voor een onnatuurlijk getijverloop in de polder en verhoogde in- en uitstroomsnelheden.

Problemen voor het ontpolderen.

De ontpoldering van de Hedwigepolder kan op een aantal problemen stuiten:

- Er kan onacceptabele hinder voor de scheepvaart ontstaan. Onderzoek hiernaar is nodig.
- De vervuiling van de ontpolderde polder zorgt voor problemen;
 - De vervuilde polder kan als puntbron voor de Schelde gaan werken.
 - Saneren is duur; Er moet een stortlocatie worden gevonden of de grond moet worden gereinigd.
 - Begroeiing kan voor maatschappelijk verzet tegen saneren zorgen.
- De uitvoeringskosten kunnen groot zijn;
 - De uitkomende klei en teelaarde moet (spoedig) kunnen worden verkocht.

De uitkomende klei en teelaarde moet opgeslagen kunnen worden voor verkoop.

Afstemming met een ander grootschalig project lijkt zinvol.

De kosten kunnen sterk gereduceerd worden indien ook het uitkomende zand kan worden verkocht.

Conclusies.

- De invloed van het ontpolderen kan een reductie van de hoofdproblemen van de Westerschelde tot zo'n 10% geven.
- Indien met ontpolderen alleen de natuurwaarde in het gebied moet worden verhoogd door het toevoegen van oppervlakten aan slik en primair schor, is de variant 'Niets doen' het gunstigst. De variant levert vrijwel direkt een maximaal oppervlak aan primair schor en is indien de uit de polder komende klei en teelaarde niet kunnen worden verkocht, het goedkoopst. Op beide andere probleemgebieden is zijn invloed te verwaarlozen.
- Indien de teelaarde en klei wel kunnen worden verkocht zijn de aanlegkosten van de variant ten behoeve van een maximale natuurwaarde even groot als die van de nuloptie. Hoewel de natuurwaarde van de nuloptie lang hoger is, is de levensduur van de variant met maximale natuurwaarde langer (een hogere natuurwaarde dan de nuloptie na verloop van tijd). Tevens heeft de variant ten behoeve van een maximale natuurwaarde wel invloed op de andere probleemgebieden.
- Indien de natuurwaarde moet worden verhoogt met een maximaal aantal hectare aan een bepaalde hoogtezone met een zo lang mogelijke levensduur, moet de polder geheel tot het laagste nivo van deze gewenste zone worden afgegraven. Zodra de natuurwaarde begint af te nemen kan onderhoud worden gepleegd.
- Indien geen inlaatconstructie wordt toegepast, lijken de varianten ten behoeve van een maximale natuurwaarde en een maximale baggerreductie op elkaar. Het combineren van beide functies ligt voor de hand.
- De variant ten behoeve van maximale aanslibbing heeft dankzij zijn verdiepte ligging een lange tijd een maximale komberging. De variant kan daardoor gecombineerd worden met de functie 'maximale komberging' (maximale baggerreductie).

- In de ontpolderde polder sedimenteert vervuild slib. Onderzocht moet worden of dit slib moet worden gesaneerd.

- Indien de polder moet worden gesaneerd, ligt het voor de hand de polder eerst in te richten ten behoeve van een maximale vervuilingsreduktie. De kombergingsfunctie kan gedurende deze inrichting maximaal zijn. Nadat de vervuilingsbronnen van de Schelde zijn gesaneerd, wordt de polderbodem gesaneerd waarna de definitieve inrichting wordt aangebracht. Het meest logisch is een definitieve inrichting met zowel een maximale natuurfunctie als een functie ten behoeve van maximale baggerreduktie (zonder inlaatconstructie). Direkt na het definitief inrichten bezit het gebied een maximale kombergingsfunctie en een minimale natuurwaarde. In verloop van tijd daalt de kombergingsfunctie en ontwikkelt zich een waardevol natuurgebied. 30 tot 40 jaar na saneren is er een maximaal oppervlak aan slik en primair schor; De komberging is dan tot minder dan 30% van zijn oorspronkelijke waarde afgenomen.

- Interessant is de combinatie van de natuur en kombergingsfunctie bij meerdere polders die in 'tegenfase' met elkaar zijn. Daar waar in het ene gebied de komberging maximaal is (een diepe bodemligging), is in andere gebieden een waardevol natuurgebied ontstaan met een minimale komberging. Door het volslibben van de diepe polders gaat zich daar een natuurgebied ontwikkelen, terwijl het natuurgebied weer diep kan worden afgegraven. Bij een uitgekiend onderhoud kunnen de polders samen voor een constante waarde aan natuur en komberging zorgen.

REFERENTIES.

- Anoniem, Vogels in het Grevelingen meer. In: Driemaandelijks bericht Deltawerken, nr. 75. Februari 1976.
- Anoniem, Het Verdrongen Land van Saeftinge. Voorlichtingsfolder Het Zeeuwsche Landschap.
- Babarutsi, s., J. Granoulis, V.H. Chu, Experimental investigation of shallow recirculating flows. In: Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 115, no. 7. Juli 1989.
- Battjes, J.A., Vloeistofmechanika. Diktaat B71 - TU Delft. Juli 1991.
- Beeftink, W.G., De zoutvegetatie van Zuid-West Nederland beschouwd in Europees verband. Mededelingen Landbouwwuniversiteit Wageningen. 1965.
- Boere, P.W., Valsnelheids- en vertikaal slibtransportmetingen in de Westerschelde mond en berekening van de horizontale slibtransporten in de Oosterschelde. Rapport GWA0 - 87.113. 1987.
- Booy, R., Metingen van uitwisselingen tussen rivier en haven. T.U. Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep Waterbouwkunde. Rapport no. 9 - 86. 1986.
- Brinke, drs. W.B.M. ten, Slib in het estuarium van de Westerschelde. Paden en lotgevallen deel 1. Rapport R 92-9 (RUU-IMAU)/GWA0 - 92.841 X. November 1992.
- Brinke, drs. W.B.M. ten, Slib in het estuarium van de Westerschelde. Paden en lotgevallen deel 2. Rapport R 92-10 (RUU-IMAU)/GWA0 - 92.864 X. November 1992.
- Bruyne, R.H. de, Ecologische profielen vis en schelpdieren. Rapport RIVO - MO 90-207. 1990.
- Claessens, J., H. Belmans, Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1971-1980, Uittreksel uit het Tijdschrift der Openbare werken uit België, nr. 3, 1984.
- Dekker, L., Getijberekeningen Selenapolder. Notitie AXI 92.108. Augustus 1992.
- DGW, Ecologisch profiel lagere planten.
- DGW, Ecologisch profiel bodemdieren.
- DGW, Ecologisch profiel vissen.
- DGW, Ecologisch profiel vogels en zeezoogdieren.
- DGW, Waterkwaliteitsgegevens 1989.
- DGW, Waterkwaliteitsgegevens 1990.
- DGW, Waterkwaliteitsgegevens 1991.
- DGW, Metingen zwevend stof 1987/1988.
- Groenendijk, A.M., M.A. Vink-Lievaarts, Invloed van de stormvloedkering en het beheer daarvan op de schorvegetatie in de Oosterschelde. VEGIN-SCHOR Eindrapport. 1985.
- Heip, Prof. dr. C., Het ecosysteem van het Schelde estuarium. In: Water, nr. 43, November/December 1988.
- Houtekamer, N., werkdocument Saeftinge, een probleemanalyse. Concept. December 1992.
- Huiskes, H.L., The salt marshes of the Westerschelde and their role in the estuarine ecosystem. In: Hydrobiological bulletin 22(1). 1988.
- Jong, H. de, Debietgegevens van de Westerschelde vanaf 1932 (voorlopige versie). Nota GWA0 - 89.1004. April 1989.
- Jong, H. de, Zeekat registraties in het Nauw van Bath (Westerschelde). GWA0 - 89.1357. December 1989.
- Kop, J.H., et al., Inleiding transport van stoffen en zuivering van water, bodem en lucht. Diktaat mi20 - TU Delft. Juli 1991.

- Krijger, G.M.**, Sedimentkarakteristieken in het oostelijk deel van de Westerschelde. DGW-stagerapport. Iri 1992.
- Krijger, G.M.**, Het Verdrongen Land van Saeftinghe komt weer boven water. Werkdocument GWWS - 93.838X. Juni 1993.
- Kuijper, C.**, Sedimentation and consolidation of mud; A literature survey. Delft Hydraulics/Rijkswaterstaat, Cohesive sediments, rapport 41. October 1992.
- Langendoen, E.J.**, Flow patterns and transport of dissolved matter in tidal harbours. TU Delft Report 92-8. November 1992.
- Leussen, W. van**, Beschrijving slibtransporten in de vertikaal met een 1DV-model. Notitie GWA0 - 90.10010 Januari 1990.
- Long, S.P.**, C.F. Mason, Saltmarsh ecology. Tertiary level biology, Blackie. 1983.
- Looff, D. de**, Beschouwing over de nabij de uitloop van de Zimmermangeul in het Nauw van Bath bij vloed aanwezige stroomsituatie, naar aanleiding van de op 18 februari 1980 verrichtte controle metingen. Nota WWKZ - 80.V017, 1982.
- Maldegem, D.C. van**, Eerste schatting sedimentatie in bouwdok en werkhaven W.O.V. (tracé westelijk van Terneuzen). Notitie GWA0 - 91.13036. Oktober 1991.
- Maldegem, D.C. van**, A. Langerak, Gegevens voor statistische analyse van slibconcentraties aan het wateroppervlak in het Schelde estuarium. GWA0 - 92.867X. November 1992.
- Maldegem, D.C. van**, Studierapport; De slibbalans van het Schelde estuarium. Rapport GWA0 - 91.081. Januari 1993.
- McLusky, D.S.**, The estuarine ecosystem, 2nd edition. Tertiary level biology, Blackie. 1989.
- Meire, P.**, G. Rossaert, N. de Regge, T. Ysebaert en E. Kuijken. Het Schelde-estuarium: ecologische beschrijving en een visie op de toekomst. Rapport RUG-WWE nr. 28/I.N. nr. A 92.57. Juli 1992.
- Moerland, G.**, Het Schelde estuarium. D.I.H.O.- studierapport no. 9, deel 1 en deel 2. 1987.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat**, Bestek en voorwaarden voor de inrichting van de Selenapolder in het Land van Saeftinghe, voor de Hertogin Hedwige polder in de gemeente Hulst. Besteknr. 89.32.01. 1993.
- Mulder, H.**, Erosie van slib in een gemengde bodem (zand-slib). Concept AOMNW3 - 55. Mei 1989.
- Nienhuis, P.H.**, Estuariene oecologie: Visie op een milieu onder druk. Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het het ambt van bijzonder hoogleraar in de estuariene oecologie aan de Katholieke Universiteit te Nijmegen. Oktober 1988.
- Pieters, T.**, C. Storm, T. Walhout, T. Ysebaert, Het Schelde-estuarium, méér dan een vaarweg. Nota GWWS-91.081. December 1991.
- Rijkswaterstaat**, Directie Zeeland, Grootschalige natuurontwikkelingen in Zeeland. Werkdocument Regio Zeeland; Concept 18 maart 1993. Maart 1993.
- Rijkswaterstaat**, Werkgroep Waterbeheer Westerschelde, Beleidsplan Westerschelde, Deelrapport 1: Zuurstofhuishouding en nutriëntenhuishouding. April 1989.
- Rijkswaterstaat**, Werkgroep Waterbeheer Westerschelde, Beleidsplan Westerschelde, Deelrapport 3: Slibhuishouding en Bodemkwaliteit. April 1989.
- Schaik, A.W.J. van**, D.J. de Jong, A.M. van de Pluym, Vegetatie buitendijkse gebieden Westerschelde. Nota GWA0 - 88.1003. December 1988.
- Smaal, A.C.**, R.C. Boeije, Veilig getij; De effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde. Nota GWWS 91.088, DGW/Directie Zeeland, Middelburg. 1991.

- Stuart, J.J., P.L. Meininger, P.M. Meire, Watervogels in de Westerschelde. Deel 1: tekst. Deel 2: figuren. RUG Nota W.W.E. nr. 14, RWS Nota GWA0 - 89.1010, ISBN 90-73286-02-6, 1989.
- Svasek B.V., Ingenieursbureau, Aanslibbing in de havens rond de Waddenzee. Rapport Project 865. December 1991.
- Swart, J.P., Beschrijving zoutmetingen in de Westerschelde, periode 1982-1983. Nota WWKZ - 84.V014, Juli 1984.
- Valente, T., Werkdocument: The water and sediment quality of the Western Scheldt and Saeftinge. Rapport GWWS - 92.894 X.
- Verspuyl, C., Lange golven, Handleiding en Bijlagen. Diktaat b73 - TU Delft. April 1987.
- Wartel, S., Variations in concentration of suspended matter in the Scheldt estuary. In: Sciences de la terre-Aardwetenschappen; no 49,2. December 1973.
- Wartel, S., Composition, transport and origin of sediments in the Scheldt estuary, In: Geologie en mijnbouw, no. 56. 1977.
- Waterloopkundig Laboratorium, Studie inrichting oostelijk deel Westerschelde; Analyse van het fysische systeem. Juli 1992.
- Wattel, G., Grensoverschrijdende vrachten bij Schaar van Ouden Doel in de periode 1980 t/m 1990. Notitie GWWS - 91.13091. September 1991.
- Winterterp, J.C., C. Kuijper, J.M. Cornelisse, Erosion of natural sediments from the Netherlands; Model simulations and sensitivity analysis. Delft Hydraulics/Rijkswaterstaat, Cohesive sediments, rapport 43. Z Ki-34. Februari 1993.
- Wolff, W.J., The estuary as a habitat, an analysis of data on the soft bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. In: Zoologische verhandelingen, no. 126, E.J. Brill Leiden. Juni 1973.
- Ysebaert, T. en P. Meire, Het macrozoobenthos van de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde. Rapport WWE - 12/ I.N. - A92.085. Oktober 1991.
- Zwolsman, J.G., G.T.M. van Eck, Historical input, postdepositional mobility and retention of major and trace elements in two salt marsh sediment cores from the Scheldt estuary, S.W. Netherlands. Marine chemistry. December 1991.

BIJLAGEN

- Bijlage 1: Mogelijke vervolgonderzoeken.**
- Bijlage 2: Biotische factoren in het gebied; een literatuurverwijzing.**
- Bijlage 3: De kombergingsbeschouwing.**
- Bijlage 4: Waardes voor de verschillende parameters betreffende erosie en sedimentatie.**
- Bijlage 5: Bepaling van de transportvalsnelheid.**
- Bijlage 6: Een indicatie van de erosiesnelheid.**
- Bijlage 7: Grootte van de in- en uitstroomduur bij vullen en ledigen onder verval.**
- Bijlage 8: Bepaling sedimentatiefracties bij de haven-analogie.**
- Bijlage 9: Bepaling van het dominante proces in de Hedwigepolder.**
- Bijlage 10: Aanlegkosten van de inrichtingsvarianten.**
- Bijlage 11: Veldonderzoek in Het Verdrongen Land van Saefdinge.**

Bijlage 1: Mogelijke vervolgonderzoeken.

Tijdens de studie zijn een aantal mogelijke onderzoeken opgedoken die interessant als vervolg op deze studie kunnen zijn. In deze bijlage zijn ze beschreven:

- Het ontwikkelen en uitbreiden van de schoranalogie, zowel kwalitatief als kwantitatief. De theorie kan worden toegepast op bestaande gebieden zoals Het Verdrongen Land van Saeftinge en de Selenapolder. Ook kunnen deze gebieden gegevens aanreiken voor het onderzoek (zie ook bijlage 11).
- Onderzoek naar de gevaren van een vervuilde aanslibbing in een ontpolderde Hedwigepolder. Langs welke paden kunnen de verontreinigingen zich buiten de polder verspreiden en hoe gevaarlijk is dat? Moet de vervuilde polderbodem na verloop van tijd wel of niet worden gesaneerd?
- Onderzoek naar het effect van de ontpoldering van een gebied als de Hedwigepolder op de slibbalans van de Westerschelde.
- Het ontwikkelen van een 'slibknop' in de mond van de Hedwigepolder. Onder een slibknop wordt een inrichting bedoeld waarmee de hoeveelheid sedimentatie die in het overstromingsgebied optreedt, kan worden geregeld.
- Ontwikkeling van een geleidelijke overgang van het overstromingsgebied naar de deltadijkhogte, waarbij de veiligheid is gewaarborgd. De geleidelijke overgang dient een natuurlijk verloop van het brakke, aquatische ecosysteem van de Westerschelde naar een droog, terreestisch ecosysteem op delta-hogte mogelijk te maken.
- Het onderzoeken van de mogelijkheden om de asymmetrie van het getij op de Westerschelde te beïnvloeden door de Hedwigepolder als spuikom uit te voeren. Onderzocht kan worden op welke wijze de spuikom het gunstigst kan werken ten behoeve van de reductie van de baggerintensiteit op de Westerschelde.
- Mogelijkheden van het verbinden van de Hedwigepolder met Saeftinge en de Selenapolder onderzoeken. Door het weghalen van een dijk en de gasdam kan een groot natuurgebied ontstaan waarin bepaalde functies ervan kunnen worden versterkt. Ook kunnen de geulen van Saeftinge met de komberging in de Hedwigepolder worden verbonden zonder dat de gasdam wordt weggehaald. Hierdoor moeten de geulen ook de komberging van de Hedwigepolder (en eventueel de Selenapolder) transporteren. De versnelde verlanding van Saeftinge kan hiermee misschien worden tegengegaan.

- Het onderzoeken van de mogelijkheden om door middel van de inrichting gewenste organismen in een overstromingsgebied te krijgen. Gedacht kan worden aan het door de inrichting bepalen en variëren van het zoutgehalte van de bodem, de substraat-samenstelling, de overstromingsduur en -frequentie etc., etc.
- Onderzoek naar de relatie tussen kombergingsvergroting en baggerintensiteit. Hoe veel neemt de baggerintensiteit af na vergroting van de komberging met een bepaalde waarde op een bepaalde plaats.
- Onderzoek naar de hinder van een ontpolderde Hedwigepolder voor de scheepvaart. Er kan een inlaat worden ontwikkeld die naast een rol in de aanslibbing de hinder voor de scheepvaart minimaliseert.

Bijlage 2. De biotische factoren en ontwikkeling in het gebied.

Tijdens de studie is een literatuuronderzoek gedaan naar de organismen die in de Hedwigepolder als overstromingsgebied zijn te verwachten. Tevens is gestart met het bepalen van de factoren in een inrichting waarmee gewenste organismen in de polder zijn te krijgen en is begonnen met het zoeken naar vereenvoudigde relaties tussen organismen en de hoogteligging van het gebied. Omdat de tijd te kort is geweest om deze studies af te ronden en in het verhaal te integreren alsmede omdat de resultaten buiten de lijn van dit rapport vallen, zijn in deze bijlage slechts de meest waarschijnlijke organismen in de ontpolderde polder opgesomd. Daarna wordt ter informatie de literatuur opgesomd die voor het opstarten van de genoemde onderzoeken is geraadpleegd.

In de Hedwigepolder te verwachten soorten.

Bodemdieren.

Macoma Balthica- Nonnetje
Mya Arenaria- Strandgaper
Arenicola Marina- Wadpier
Heteromastus filiformis- Draadworm
Manayunkia Aestuarina
Nereis Diversicolor- Veelkleurige zeeduizendpoot.
Nereis Succinea
Polydora ligni
Hydrobia Ulvae- Wadslakje.
Scrobularia Plana
Bathyporeia sp.- Kniksprietkreeftje.
Corophium sp.- Slijkgarnaal.

Vegetatie.

In het gebied zijn de volgende planten of plantengemeenschappen te verwachten:

Zeekraal- *Salicornia Strictae*.

Engels Slijkgras- *Spartina Townsendii*.

Gewoon Kweldergras- *Puccinellion Maritimae*.

Zilte rus- *Juncetum Gerardii*.

Zeeaster- *Aster Tripolim*.

Schorrezoutgras- *Triglochin Maritima*.

Fiorin gras- *Agrostis Stolifonera*.

Zeebies- *Scirpus Maritimus*.

Riet- *Phragmites Communis*.

Spiesmelde en strandkweek gemeenschap- *Atriplici Pungentis*.

Zeeweegbree en lamsoor- *Plantagini Limonietum*.

Melkkruid- *Glaux maritima*.

Ganzen.

Kolgans- *Anser Albifrons*

Grauwe Gans- *Anser Anser*

Eenden

Smient- *Anas Penelope*

Bergeend- *Tadorna Tadorna*

Wintertaling- *Anas Crecca*

Steltlopers.

Zwarte ruit- *Tringa Erythropus*.

Kluut- *Recurvirostra Avosetta*.

Tureluur- *Tringa Totanus*.

Literatuurverwijzing.

- Beeftink, W.G., De zoutvegetatie van Zuid-West Nederland beschouwd in Europees verband. Mededelingen Landbouwwuniversiteit Wageningen. 1965.
- Bruyne, R.H. de, Ecologische profielen vis en schelpdieren. Rapport RIVO - MO 90-207. 1990.
- Cornelis, P., Aantalsverloop, biomassa en produktie van de strandkrab *carcinus maenas* in enkele intertijdegebieden van de Oosterschelde gedurende het groeiseizoen 1985. DIHO, studentenverslagen D7-1987. 1985.
- DGW, Ecologisch profiel lagere planten.
- DGW, Ecologisch profiel bodemdieren.
- DGW, Ecologisch profiel vissen.
- DGW, Ecologisch profiel vogels en zeezoogdieren.
- Huiskes, H.L., The salt marshes of the Westerschelde and their role in the estuariene ecosystem. In: Hydrobiological bulletin 22(1). 1988.
- Koniuszek, J.W.J., Biomassa en produktie van macrozoöbenthos op de slikken van Flakkee. DIHO - Studentenverslagen nr. D7. 1979.
- Meire, P., G. Rossaert, N. de Regge, T. Ysebaert en E. Kuijken. Het Schelde-estuarium: ecologische beschrijving en een visie op de toekomst. Rapport RUG-WWE nr. 28/I.N. nr. A 92.57. Juli 1992.
- Moerland, G., Het Schelde estuarium. D.I.H.O.- studierapportno. 9, deel 1 en deel 2. 1987.
- Peeters, J.C.H., Invloed keuze gedempt geijmodel op de levensgemeenschap. Rijkswaterstaat-Deltadienst, Milieu & Inrichting; Nota 75-28. 1975 (?).
- Pieters, T., C. Storm, T. Walhout, T. Ysebaert, Het Schelde-estuarium, méér dan een vaarweg. Nota GWWS - 91.081. December 1991.
- Rijkswaterstaat, Werkgroep Waterbeheer Westerschelde, Beleidsplan Westerschelde, Deelrapport 1: Zuurstofhuishouding en nutriëntenhuishouding. April 1989.
- Ruiters, P.S., Relaties tussen verspreiding en dieetkeuzes van steltlopers en het voorkomen van macrozoobenthos in de Westerschelde. CEMO - Rapporten en verslagen 1992-04. 1992.
- Schaik, A.W.J. van, D.J. de Jong, A.M. van de Pluym, Vegetatie buitendijkse gebieden Westerschelde. Nota GWAO - 88.1003. December 1988.
- Smaal, A.C., R.C. Boeije, Veilig getij; De effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde. Nota GWWS 91.088, DGW/Directie Zeeland, Middelburg. 1991.
- S.O.V.O.N., Atlas van de Nederlandse vogels. ISBN 90-72121-015. 1990.
- Stouthamer, R., Het gedrag van steltlopers op de Oosterschelde: Voorstel voor een onderzoek. Rijkswaterstaat, Hoofdafdeling Milieu en Inrichting. Studentenrapport 1 - 82. Maart 1982.
- Stuart, J.J., P.L. Meininger, P.M. Meire, Watervogels in de Westerschelde. Deel 1: tekst, Deel 2: figuren. RUG Nota W.W.E. nr. 14, RWS Nota GWAO - 89.1010, ISBN 90-73286-02-6. 1989.
- Vanhooren, H., Verspreiding van macrozoobenthos in de Westerschelde: Invloed van abiotische factoren en pollutie. Promotie verhandeling R.U.G. 1989.
- Ysebaert, T. en P. Meire, Het macrozoobenthos van de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde. Rapport WWE - 12/ I.N. - A92.085. Oktober 1991.
- Ysebaert, T., N. de Regge, P. Meire, Het macrozoobenthos op twee debietraaien in het oostelijk deel van de Westerschelde. W.W.E. rapport no. 24. November 1991.
- Ysebaert, T., D. Maes, N. de Regge, P. Meire, Het macrozoobenthos op sedimentatie/erosieplots in het oostelijk deel van de Westerschelde. W.W.E. rapport no. 25. November 1991.

Bijlage 3. Kombergingsbeschouwing en het verloop van debieten en snelheden.

Bij het afschatten van de debieten en snelheden in de polder is uitgegaan van de zogenaamde kombergingsbeschouwing [Verspuy, 1987]. Deze beschouwing is toegestaan als de golflengte van de getijgolf in het kombergingsgebied groter is dan twintig maal de lengte van dit gebied, of;

$$L < \frac{1}{20} * \lambda, \text{ met } \lambda = T\sqrt{gh}$$

Waarin: L : Lengte van de polder, [m].
λ : Golflengte van het getij in de polder, [m].
T : Getijperiode, 44700 s., [s].
g : Zwaartekrachtversnelling, [m/s²].
h : De waterdiepte, [m].

Bij de kombergingsbeschouwing wordt aangenomen dat de waterstand over het hele gebied gelijk is;

$$\frac{dh}{dx} = 0$$

Met: h : De waterdiepte, [m].
x : De afstand tot de mond van de polder, [m].

Dit levert voor het debietverloop in de polder:

$$Q_x = B * (L-x) * \frac{dh}{dt}$$

Hierin is: Q_x : Het debiet in de polder op plaats x, [m³/s].
L : De lengte van de polder, [m].
x : De afstand tot de mond van de polder, [m].
h : De waterdiepte, [m].
t : De tijdschaal, [s].

Uit dit debietverloop is het snelheidsverloop af te leiden bij een horizontale bodemligging;

$$v_x = \frac{L-x}{h_x} * \frac{dh}{dt}$$

Met: v_x : De stroomsnelheid in het gebied op plaats x, [m/s].
 h_x : De waterdiepte op plaats x, [m].
 L : De lengte van de polder, [m].
 x : De afstand tot de mond van de polder, [m].
 h : De waterdiepte, [m].
 t : De tijdschaal, [s].

Indien de bodem van de polder onder een hoek α met de horizontaal ligt en indien het eind van de polder onder het waternivo ligt, wordt het snelheidsverloop bepaald met:

$$v_x = \frac{L-x}{h_0 - x \cdot \tan(\alpha)} * \frac{dh}{dt}$$

Met: v_x : De stroomsnelheid in het gebied op plaats x, [m/s].
 h_0 : De waterdiepte in de mond, [m].
 L : De lengte van de polder, [m].
 x : De afstand van de plaats tot het eind van de polder, [m].
 h : De waterdiepte, [m].
 t : De tijdschaal, [s].

Invullen hierin levert:

$$x=0 \text{ (mond): } v_x = (L/h_0) * (dh/dt).$$

$$x=L \text{ (eind): } v_x = 0.$$

Op de snelheden in de mond en op het eind van de polder heeft de bodemhelling geen invloed. Omdat bij een hellende bodem het debiet in een punt x een kleiner doorstroomprofiel heeft, is de stroomsnelheid groter dan bij een rechte bodem. Een hellende bodem vergroot dus de snelheden in de polder.

Uit de getijkromme is met behulp van de kombergingsbeschouwing een indicatie van de maximaal optredende debieten en snelheden in de mond van het gebied te verkrijgen. Het maximaal optredende debiet bedraagt ongeveer $1200 \text{ m}^3/\text{s}$, de maximale snelheid zo'n $2,5 \text{ m/s}$.

Uit het debietverloop is het snelheidsverloop af te leiden.

De grootte van de komberging in het gebied is in deze beschouwing gelijk aan het verschil tussen de maaiveldhoogte en G.H.W., vermenigvuldigd met het oppervlak van het kombergingsgebied. De invloed van de komberging op het G.H.W.-peil wordt niet meebeschouwd.

Bijlage 4. Waardes voor verschillende parameters betreffende erosie en sedimentatie.

Over de waardes van parameters benodigd voor het berekenen van de aanslibbing bij de Hedwigepolder is weinig bekend. Uit literatuuronderzoek en meetgegevens zijn de uitgangswaarden geselecteerd voor de berekening van de aanslibbing. Deze rekenwaardes worden hieronder beschreven en zijn gebruikt in hoofdstuk 4 van de hoofdtekst.

Korrelgrootteverdeling van het sediment.

De korrelgrootteverdeling van het sediment dat de Hedwigepolder binnenstroomt, is bepaald uit metingen, gedaan in 1987 en 1988 [DGW, 1987/1988]. In de metingen is een restfractie opgegeven, die bestaat uit carbonaten, organische koolstof, zogenaamde H_2O kleien en oxihydroxiden. Van deze restfractie is aangenomen dat ze een grootte van $< 53 \mu m$ hebben. Deze restfractie is dan ook proportioneel over de grootteklassen $< 53 \mu m$ verdeeld. In figuur 1.13. van de hoofdtekst en B.5.1. van bijlage 5 is de verdeling gegeven.

Valsnelheid.

In berekeningen is de invloed van de korrelgrootte verdeling verwerkt in de valsnelheid. Hiertoe wordt gerekend met de transportvalsnelheid. De transportvalsnelheid is de valsnelheid die vermenigvuldigd met de sedimentconcentratie in het water de sedimentatie in gewichtshoeveelheid per tijdseenheid geeft.

In bijlage 5 is voor de Hedwigepolder de transportvalsnelheid afgeleid. Het blijkt dat deze snelheid niet eenduidig vast te stellen is. Er is gerekend met een transport-valsnelheid w_{tr} van 1 mm/s.

Ingelaten concentratie.

De ingelaten concentraties zijn afhankelijk van de concentraties aan zwevend sediment in de hoofdgeul voor de Hedwigepolder. Deze concentraties zijn afhankelijk van de getijcyclus, de bovenafvoer, de doottij/springtij cyclus, van storminvloeden en van de diepte in de hoofdgeul. Bij de berekeningen is uitgegaan van de jaargemiddelde maximale en minimale concentraties tijdens één getijcyclus op drie hoogtenivo's in de hoofdgeul. Dit betekent dat de invloed van stormen wordt verwaarloosd en dat de invloed van de jaarlijkse variatie door de bovenafvoer en de doottij/springtij cyclus in de gemiddelden is

verwerkt. Over het verloop van de concentratie aan zwevende stof voor de Hedwigepolder zijn nauwelijks gegevens bekend. De bovenstaande waarden zijn dan ook afgeleid uit metingen bij de Schaar van de Noord (boven Saeftinge) [de Jong, december 1989]. Hierin wordt voor drie hoogtenivo's het verloop van de troebelheid over enkele dagen gegeven. Met behulp van [van Maldegem, 1992] zijn deze waarden omgerekend naar sedimentconcentraties en gemiddeld. Uiteindelijk zijn deze waardes, geldend voor de Schaar van de Noord, omgezet naar waardes voor het vaarwater voor de Hedwigepolder met behulp van [DGW, Waterkwaliteitgegevens 1989, 1990, 1991]. Dit is gedaan door de waardes voor de Schaar van de Noord te vermenigvuldigen met een factor gelijk aan de verhouding tussen de jaargemiddelde sedimentconcentratie voor de Hedwigepolder en de jaargemiddelde concentratie in de Schaar van de Noord. De uiteindelijke rekenwaarden van de concentraties voor de Hedwigepolder zijn in de onderstaande tabel gegeven. De gemiddelde jaarconcentratie voor de Hedwigepolder is 88,7 mg/l (= 88,7 g/m³). De onderstaande gemiddelde waarden zijn in g/l gegeven.

	maximaal	kentering
Aan het oppervlak.	145	48
60 % van de hoogte.	118	48
Nabij de bodem.	79	48

Uit de tabel zijn de volgende rekenwaardes af te leiden, waarbij een lineair verloop van de concentraties over het getij is aangenomen.

Jaargemiddelde concentratie onderin de hoofdstroom:

$$0,5 * (145 + 48) = 96,5 \text{ g/ml.}$$

Jaargemiddelde concentratie bovenin de hoofdstroom:

$$0,25 * (118 + 79 + 48 + 48) = 73,3 \text{ g/ml.}$$

Jaargemiddelde concentratie aan de oppervlakte:

$$0,5 * (79 + 48) = 63,5 \text{ g/ml.}$$

Rondom kentering bovenin de stroom:

$$0,5 * (48 + 73,3) = 60,7 \text{ g/ml.}$$

Rondom kentering onderin de stroom:

$$0,5 * (0,5 * (145 + 48) + 48) = 72,3 \text{ g/ml.}$$

Rondom 1 uur voor kentering bovenin de stroom:

$$0,5 * (0,5 * (118 + 79) + 73,3) = 85,9 \text{ g/ml.}$$

Rondom 1 uur voor kentering onderin de stroom:

$$0,5 * (145 + 0,5 * (145 + 48)) = 120,8 \text{ g/ml.}$$

Erosiesnelheid.

De enigste gevonden waarde voor de kritieke erosiesnelheid, is gegeven voor de Oosterschelde in [Boere, 1987]. Deze geeft een waarde van 0,5 m/s. Deze waarde is verder voor de berekeningen overgenomen.

Kritische erosieschuifspanning en erosiesnelheidscoëfficiënt.

[van Maldegem, 1993] geeft waardes voor de kritieke erosieschuifspanning τ_{cr} en de erosiesnelheidscoëfficiënt M van vers slib:

$$\tau_{cr} : 10^{-4} \text{ N/m}^2.$$

$$M : 10^{-2} \text{ s.m}^2/\text{kg}.$$

Kritische sedimentatiesnelheid.

[van Maldegem, 1991] rekt voor het westelijke deel van de Westerschelde met een kritische stroomsnelheid voor sedimentatie van 0,2 m/s voor slib.

[Boere, 1987] geeft dezelfde waarde voor de geulen van de Oosterschelde. Deze waarde is daarom ook in deze berekeningen aangehouden.

Dichtheid.

In de basisberekeningen wordt uitgegaan van een dichtheid van het gesedimenteerde materiaal van 750 kg/m^3 [Ten Brinke, 1992].

Maximale vloodsnelheid.

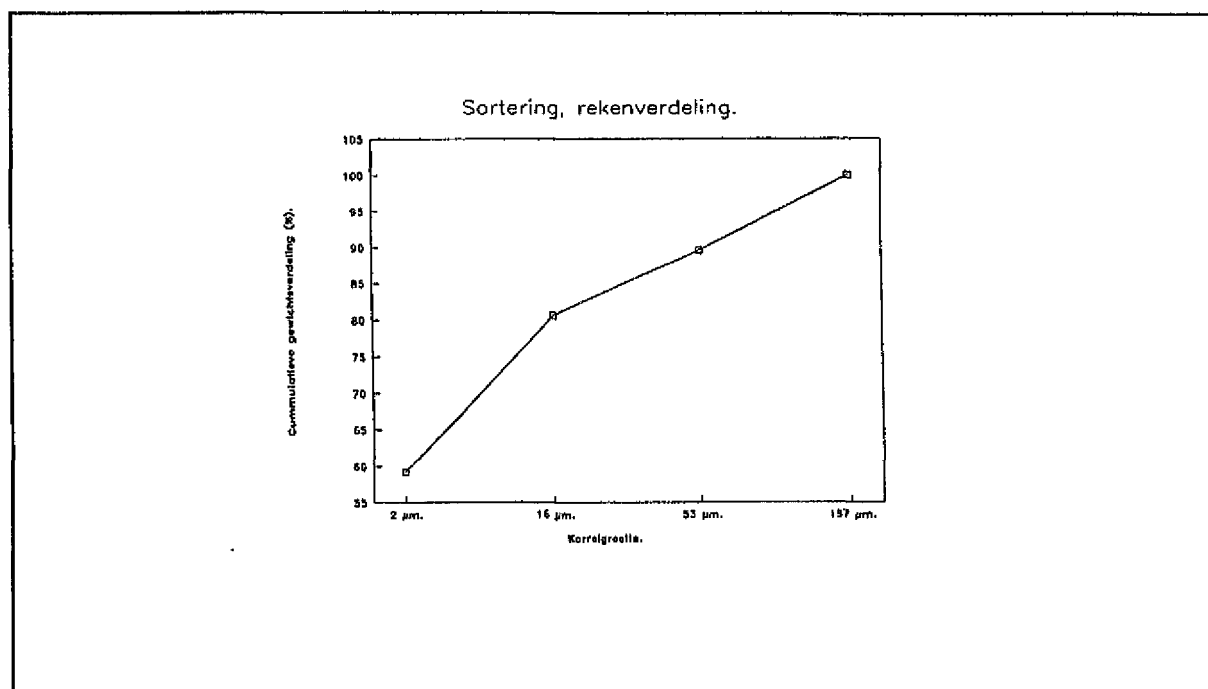
De maximale vloodsnelheid is berekend als het gemiddelde van drie metingen in de laatste 20 jaar, gegeven in [de Jong, April 1989]. Deze berekende waarde bedraagt 1,59 m/s.

Bijlage 5: Bepaling van de transportvalsnelheid.

Voor de bepaling van de transportvalsnelheid van het gesuspendeerde materiaal is een benadering gebruikt zoals die staat beschreven in [Boere, 1987].

De transportvalsnelheid w_{tr} is de valsnelheid van het sediment, die vermenigvuldigd met de concentratie van het sediment, de sedimentatie in massa per tijdseenheid geeft.

Voor de bepaling van w_{tr} is uitgegaan van de verdelingskromme van het sediment.



Figuur B.5.1.: De korrelgrootteverdeling van het zwevend sediment voor de Hedwigepolder [Metingen DGW, 1987/1988].

Per sedimentklassegrootte is nu de valsnelheid bepaalt volgens een aantal methodes. Als eerste is de Wet van Stokes gebruikt:

$$w = \frac{\Delta g}{18 \nu} * D^2$$

Waarin: w : Valsnelheid van een sedimentkorrel [m/s].
 Δ : Relatieve dichtheidsverschil tussen het water en het sediment (= 1,65), [1].
 g : Zwaartekrachtversnelling [m/s²].
 ν : Viscositeit (1 * 10⁻⁶ bij water van 20°C) [s/m²].
 D : Diameter van de korrel [m].

Andere benaderingen zijn:

Kajihara : $w = 0,67 * D^{0,57}$
 Gibbs : $w = 1,73 * D^{0,78}$
 Kawana & Tanimoto : $w = 10,63 * D^{1,20}$
 : $w = 14,17 * D^{1,24}$
 : $w = 8,66 * D^{1,17}$

Deze benaderingen leveren per sedimentklasse (zie figuur 1.13., hoofdtekst) een valsnelheid op, gegeven in mm/s.:

μm	Stokes	Kajihara	Gibbs	T&W 1	T&W 2	T&W 3
1	0,0009	0,255	0,036	0,0007	0,0005	0,0008
7	0,044	0,772	0,165	0,0069	0,0057	0,0081
34	1,07	1,92	0,572	0,047	0,0415	0,0521
125	14	4,0	1,56	0,22	0,205	0,23

Voor de bepaling van de totale transportvalsnelheid per benadering is nu het eerste-orde oppervlaktemoment van de valsnelheidsverdeling bepaalt. Concreet komt dit erop neer dat de transportvalsnelheid gelijk is aan de som van het produkt van de valsnelheid per

korrelgrootteklasse vermenigvuldigd met het gewichtspercentage in de korrelverdeling van de betreffende korrelgrootteklasse. Bijvoorbeeld voor de Wet van Stokes-benadering:

$$w_{tr} = 0,597 * 0,0009 + 0,214 * 0,044 + 0,09 * 1,07 + 0,104 * 14 = 1,56 \text{ mm/s.}$$

Voor de andere benaderingen levert dit:

Kajihara: 0,9 mm/s.

Gibbs: 0,3 mm/s.

Kawana & Tanimoto,

1: 0,03 mm/s.

2: 0,03 mm/s.

3: 0,03 mm/s.

Deze berekende waarden voor de valsnelheid houden geen rekening met het effect van flocculatie, dat door de vorming van grotere deeltjes voor hogere valsnelheden zorgt. [van Leussen, 1990] geeft een methode om flocculatie te benaderen. Dit vraagt om ingewikkeld en veel rekenwerk. Hier zijn praktijkwaardes voor het proces aangehouden; [van Maldegem, 1991] houdt voor berekeningen in de Westerschelde 1 tot 2 mm/s. aan. [van Leussen, 1990] geeft als hoogste waarde voor de Westerschelde 0,1 tot 0,2 mm/s. Deze waarden zijn inclusief flocculatie. In de berekeningen is gekozen voor een transport-valsnelheid van 1 mm/s.

Bijlage 6: Grootte indicatie erosiesnelheid.

In de berekeningen van hoofdstuk 4 is aangenomen dat de erosie van een gesedimenteerde laag zeer snel plaatstvindt, dat wil zeggen veel sneller dan de periode waarin de stroomsnelheid boven de kritieke erosiesnelheid uitkomt. Dit houdt in dat indien er op een moment erosie optreedt direkt al het tijdens het vullen gesedimenteerde sediment weer in suspensie geraakt en de erosieduur te verwaarlozen is.

In de volgende berekening wordt een indicatie over de waarheid van deze aanname verkregen.

Voor de erosiesnelheid geldt:

$$E = M * \frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c}$$

- Waarin: E : Erosiesnelheid [kg/m².s]
M : Sedimentafhankelijke constante [m₂.s/kg].
 τ_b : Schuifspanning bij de bodem [Pa].
 τ_c : Kritieke schuifspanning waarboven erosie optreedt [Pa].

Hierbij geldt voor vers slib een waarde voor M van 10⁻⁴ s.m²/kg [van Maldegem, 1993]. Verder gelden de volgende relaties [Battjes, 1991]:

$$\tau = g u_*^2 \quad \text{en} \quad u_* = \frac{\sqrt{g}}{C} * u$$

- Waarin: τ : Schuifspanning [Pa].
g : Zwaartekrachtversnelling [m/s²].
 u_* : Schuifspanningssnelheid [m/s].
C : Coëfficiënt van Chézy [m^{1/3}/s].
u : Stroomsnelheid [m/s].

De kritische erosiesnelheid is 0,5 m/s.

De zwaartekrachtversnelling is $9,8 \text{ m/s}^2$.

Neem C in een range van 30 - 120 m^3/s , met als ongunstigste 30 m^3/s .

Dit levert een u_* van 0,045 m/s, en een τ_c van 0,020 Pa.

Stel de maximale stroomsnelheden in de polder op 2 m/s.

Dit levert een u_* van 0,179 m/s, en een τ_b van 0,314 Pa.

Met M is $10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s/kg}$ leveren deze waardes een erosiesnelheid van $1,5 \cdot 10^{-1} \text{ kg/s}$.

Bij een gesedimenteerde laag per getij van 1 cm (= orde $1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$), levert dit een erosieduur op die veel kleiner is dan 1 sec.

De benadering met $E = \infty$, is aannemelijk, zeker gezien de waardes in de berekeningen voor de sedimentatie (5 - 20 cm/jr.) en voor de beschikbare erosieduur (minimaal een half uur).

Bijlage 7: Grootte van de in- en uitstroomduur bij vullen en ledigen onder verval.

In deze bijlage wordt een indicatie gekregen van de benodigde duur van vullen en legen van de polder, bij een maximaal verval (5,2 m.) en bij een maximaal kombergingsvolume ($16,1 * 10^6 \text{ m}^3$).

Vullen.

Bij het vullen bij maximaal verval staat het water in de hoofdgeul 5,2 m hoger dan in de (lege) polder. Tijdens het inlaten is er sprake van een volkomen overlaat. Hiervoor geldt:

$$Q = 1,7 * B * H^{\frac{3}{2}}$$

Waarin: Q : Het debiet over de overlaat (in de mond) [m^3/s].

B : Breedte van de overlaat (poldermond) [m].

H : Energiehoogte voor de overlaat (in de hoofdgeul) [m].

De energiehoogte voor de overlaat is 5,2 m (veronderstel eerst constant) als de nullijn van energie op de polderbodem (op G.L.W.-nivo) wordt aangenomen.

Q is dan $18.142 \text{ m}^3/\text{s}$ ($B = 900 \text{ m.}$), en de vultijd is dan $16,1 * 10^6 / 18.142 = 887 \text{ s}$ ($< \frac{1}{2} \text{ uur}$).

Na een half uur is het verval eigenlijk afgenomen tot zo'n 4,70 m. Dit levert een vuldebiet van $15.590 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit levert een vultijd op van 1.032 s. De polder kan zich binnen een half uur vullen.

Legen.

Bij ledigen loopt het verval van maximaal 5,2 m tot nul als de polder weer leeg is. De leeglooptijd wordt nu benadert met het gemiddelde verval, 2,6 m., en de volkomen overlaat formule. Dit levert een leeglooptijd van zo'n 2.510 s. De polder kan binnen één uur leeglopen.

Bijlage 8. Bepaling sedimentatiefracties bij de haven-analogie.

In de hoofdstekst, punt 3.2.1., is een benadering gepresenteerd waarmee de aanslibbing in een kombergingsgebied analoog aan havens kan worden berekend. Er worden drie processen onderscheiden, te weten neervorming, komvulling en dichtheidsstroming. Voor ieder proces kan de sedimentatie ten gevolge van dat proces worden berekend uit:

$$S = p \cdot C \cdot V_{uit}$$

Hierin is:

- S : De totale sedimentatie ten gevolge van een proces, [kg].
- p : De bezinkingsfractie van het proces, [1].
- C : De concentratie van het zwevend sediment in het uitgewisselde volume, [kg/m³].
- V_{uit} : Het uitgewisselde volume door het proces, [m³].

In de hoofdstekst is aangegeven hoe het uitgewisselde volume per proces is te bepalen en is de sedimentatiefractie als 1 aangenomen. In deze bijlage wordt een methode gepresenteerd om de bezinkingsfracties van de processen afzonderlijk te bepalen. De resulterende bezinkingsfractie wordt opgebouwd uit een fractie van het binnengevoerde materiaal dat sedimenteert (de sedimentatiefractie) en een erosiefractie, het deel van het gesedimenteerde materiaal dat erodeert;

$$p = p_s (1 - p_e)$$

Met:

- p : De resulterende fractie van het binnengevoerde sediment dat in de polder achterblijft, [1].
- p_s : Het deel van het binnengevoerde sediment dat sedimenteert [1].
- p_e : Het deel van het binnengevoerde sediment dat weer erodeert [1].

Neervorming.

Neervorming in de polder ontstaat indien $L/B > 1/2$. Twee of meerdere neren ontstaan wanneer $L/B > 2$ [Langendoen, 1992]. Hierin is L de lengte en B de breedte van de polder. Voor de maximale en de gemiddelde snelheid in de neer bestaan de volgende analytisch afgeleide relaties [Langendoen, 1992]:

$$U_{g,max} = 0,3 u_r \quad \left(\frac{L}{B} > 1,5 \right) \quad \text{tot} \quad 0,4 u_r \quad \left(\frac{L}{B} = 1 \right).$$

$$u_g = 0,67 u_{g,max}$$

Hierin is:

- u_g : Gemiddelde stroomsnelheid in de neer [m/s].
- $u_{g,max}$: Maximale stroomsnelheid in de neer [m/s].
- u_r : Stroomsnelheid in de rivier (de hoofdgeul) [m/s].

Het bezinkingspercentage p is opgebouwd uit twee fracties, nl. p_s en p_e .

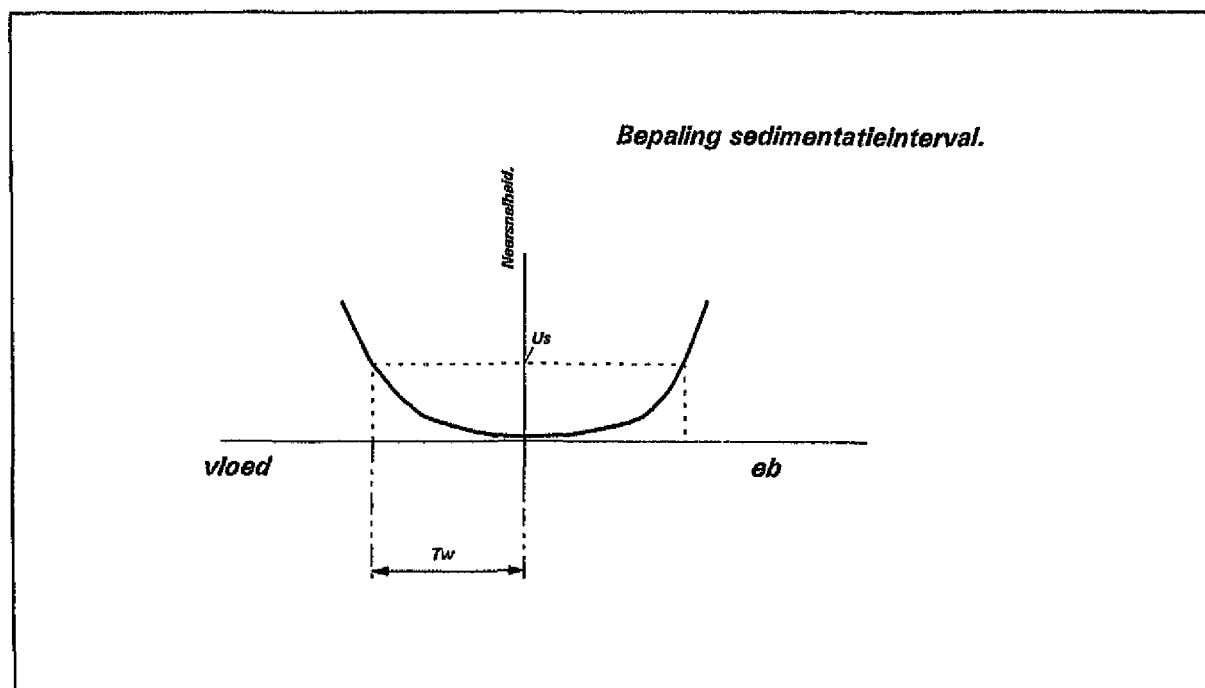
Voor p_s geldt [Svasek, 1991]:

$$p_s = \frac{T_w}{T_b}$$

Hierin is:

- T_w : Tijd die werkelijk beschikbaar is voor sedimentatie, ofwel de tijdsduur waarin de optredende snelheid u in de polder kleiner is dan de kritische sedimentatiesnelheid u_s (dit is de snelheid waaronder sedimentatie optreedt) [s].
- T_b : Tijd die benodigd is voor de sedimentatie van alle binnengevoerde sedimenten [s].

T_w wordt bepaald uit het snelheidsverloop in de polder;



Figuur B.8.1.; Bepaling van T_w .

T_w is de periode tijdens vloed waarin de snelheid in de neren kleiner is dan u_s . Tijdens eb, als de polder zich ledigt, is er geen neervorming indien er ook komvulling optreedt.

Voor T_b geldt [Svasek, 1991]:

$$T_b = \frac{h}{w}$$

Hierin is:

- h : De gemiddelde diepte in de periode dat er water in de polder staat [m].
- w : De valsnelheid van de gesuspendeerde korrels in een waterkolom [m/s]. Hiervoor wordt de zgn. transportvalsnelheid genomen, w_{tr} , die afhankelijk is van de korrelgrootteverdeling van het zwevend sediment [Boere, 1987].

Het bepalen van p_e , het deel van het bezonken sediment dat door komlediging weer erodeert, is beschreven in punt 4.2.1. van de hoofdttekst. Een meer gedetailleerdere bepaling hiervan is in deze bijlage beschreven. Indien er naast neervorming geen komvulling optreedt, is p_e afhankelijk van de neersnelheden, en op identieke wijze als p_s te bepalen:

$$p_e = \frac{T_w}{T_b}$$

Hierin is: T_w : De werkelijk beschikbare tijd voor erosie [s].
 T_b : De benodigde tijd om al het gesedimenteerde sediment te eroderen en in oplossing te brengen [s].

T_w is ook voor erosie te bepalen uit het snelheidsverloop en gelijk aan de tijd waarin de snelheid in de polder boven de kritieke erosiesnelheid u_c ligt. u_c is de snelheid waarboven het sediment gaat eroderen.

De bepaling van T_b :

Om T_b , de benodigde tijd om de tijdens vloed gesedimenteerde hoeveelheid volledig te eroderen, te bepalen, wordt uitgegaan van de volgende formule [Winterterp et al., 1993]:

$$E = M * \frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c}$$

Hierin is: E : De geërodeerde hoeveelheid per oppervlakte en tijdseenheid [kg/s.m²].
 M : Erosieconstante [s.m²/kg].
 τ_b : Schuifspanning bij de bodem [N/m²].
 τ_c : Kritieke schuifspanning voor erosie van het sediment [N/m²].

Ook wordt de volgende empirische formule gebruikt:

$$E = 8,5 \cdot 10^{-6} \cdot e^{36(\tau_b - \tau_o)}$$

Deze formule is algemeen afgeleid uit meetwaarden van diverse locaties, en gaat uit van sediment dat 24 uur heeft kunnen consolideren.

Voor de erosietijd T_b geldt:

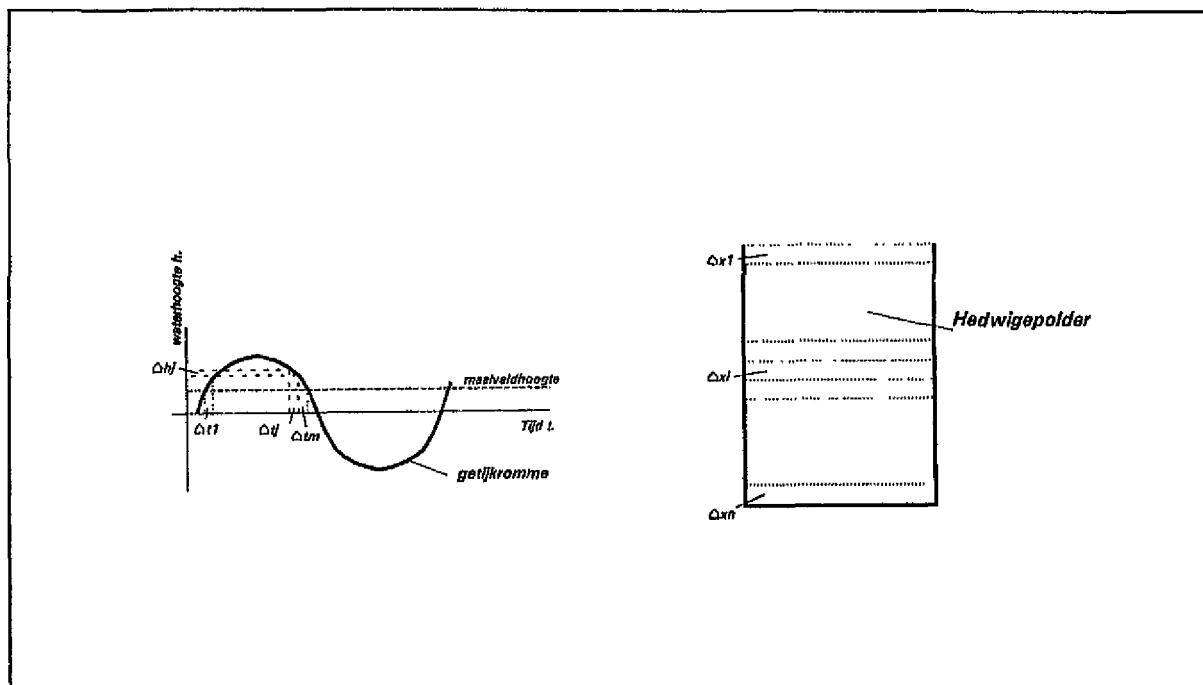
$$T_b = \frac{h \cdot c_{gen}}{E}$$

Waarin: T_b : De benodigde erosietijd [s].
 c_{gen} : De gemiddelde sedimentconcentratie in het water [kg/m³].
 h : De gemiddelde waterdiepte [m].
 E : De genoemde erosiesnelheid [kg/s.m³].

Komvulling.

Door komvulling, het vullen en ledigen van de polder door de wisselende waterstanden in de hoofdstroom, ontstaat uitwisseling van water en sediment tussen de hoofdstroom en de polder. Zoals bij het neervormingsproces wordt p_s bepaald uit de verhouding van T_w en T_b . Hierbij is T_w , de tijd waarin de stroomsnelheid in de polder kleiner is dan de kritische sedimentatiesnelheid u_s , te bepalen uit het snelheidsverloop in de polder.

Om het snelheidsverloop ten gevolge van komvulling te bepalen wordt uitgegaan van een kombergingsbeschouwing over het gebied (d.w.z. $dh/dx = 0$, zie bijlage 3) en wordt de lengte van het gebied alsmede de getijperiode in delen verdeeld, Δx_i en Δt_j ($i = 1..n$, $j = 1..m$).



Figuur B.8.2.: De opdeling van de polder en de getijkromme.

Voor iedere Δt_j is uit de getijkromme $(dh/dt)_{gem,j}$ te bepalen. $(dh/dt)_{gem,j} \approx \Delta h_j / \Delta t_j$. Hieruit is voor iedere periode Δt_j , in alle vakken Δx_i , de gemiddelde stroomsnelheid $v_{i,j}$ te bepalen met behulp van de volgende formule:

$$v_{i,j} = \frac{A_{rest}}{h_{gem} * B} * \left(\frac{dh}{dt} \right)_{gem}$$

- Hierin is:
- $v_{i,j}$: De gemiddelde snelheid in het betreffende deel van de polder [m/s].
 - A_{rest} : Het oppervlak van het achterliggende gebied, waarvan de komberging door het betreffende gebied moet stromen [m²].
 - h_{gem} : Gemiddelde waterhoogte in het gebied tijdens de betreffende tijdsperiode Δt [m].
 - dh/dt_{gem} : Gemiddelde stijging van de waterstand per tijdseenheid in de betreffende tijdsperiode Δt [m/s].
 - B : Lokale breedte van de polder [m].

Indien er n periodes Δt zijn genomen en de polder in m vakken Δx is verdeeld, zijn er $n \cdot m$ snelheden berekend die het verloop van de snelheid in tijd en in de polder vastleggen.

Per vak Δx_i wordt bepaald wanneer u_s wordt onderschreden. Hieruit wordt de duur $T_{w,i}$ voor ieder vak Δx_i bepaald:

$$T_{w,i} = n_{s,i} \cdot \Delta t$$

Hierin is $n_{s,i}$ het aantal periodes Δt waarin de gemiddelde stroomsnelheid in het vak kleiner is dan u_s .

T_b is voor ieder vak gelijk aan de waarde zoals die voor het neerproces is afgeleid.

$$T_b = \frac{h}{w_{tr}}$$

Voor ieder vak Δx_i ($i = 1..n$) is de bezinkingsfractie $p_{s,i}$ te bereken:

$$p_{s,i} = \frac{T_{w,i}}{T_b}$$

Als totale gemiddelde bezinkingsfractie over de hele polder wordt, indien Δx voor alle vakken constant is genomen, de gemiddelde waarde van alle $p_{s,i}$ van de vakken Δx_i t/m Δx_n genomen:

$$p_s = \frac{\sum p_{s,i}}{n}$$

Indien Δx niet constant is genomen moet voor elk vak gewogen worden naar de afstand daarvan. Voor de bepaling van de erosiefractie p_e tijdens het legen van de polder kan $T_{w,i}$

voor ieder vak op identieke wijze als bij sedimentatie worden bepaald. Hierbij wordt per vak gekeken wanneer de stroomsnelheid boven de kritieke erosiesnelheid u_c komt. Bepaling van T_b voor erosie kan voor ieder vak op identieke wijze als bij het neervormingsproces worden gedaan. Ook kan gebruik worden gemaakt van de vereenvoudigde benadering voor de bepaling van de erosiefractie zoals die in de hoofdttekst in punt 4.2.1. is beschreven.

Dichtheidsstroming.

Ook de sedimentatie ten gevolge van dichtheidsstroming is te berekenen na de bepaling van de sedimentatiefractie p .

Om p_s te bepalen worden ook hier de werkelijk beschikbare tijd T_w en T_b , de voor totale sedimentatie benodigde tijd, bepaalt.

T_w is afhankelijk van het snelheidsverloop ten gevolge van de dichtheidsstroming [Langendoen, 1992]:

$$u_d = \frac{1}{2} \sqrt{\epsilon g h}$$

Met:

$$\epsilon = \frac{\rho_r - \rho_h}{\rho_h}$$

Hierbij is:

- u_d : snelheid in de naar binnenstromende laag [m/s].
- ϵ : relatieve dichtheidsverschil tussen polder en hoofdstroom [1].
- ρ_r : dichtheid in de hoofdstroom [kg/m³].
- ρ_h : dichtheid in de polder [kg/m³].
- g : zwaartekrachtversnelling [m/s²].
- h : gemiddelde waterdiepte in de mond van de polder [m].

Het bepalen van het verloop van het dichtheidsverschil is een moeilijke zaak en lijkt alleen door monitoring vast te stellen. Een eenvoudigere benadering is het bepalen van het maximaal mogelijke dichtheidsverschil. Er wordt aangenomen dat er een lineair verloop in de tijd is tussen dit maximaal verschil en geen verschil (nul) in dichtheid. Dit levert een lineair snelheidsverloop in de tijd aan de hand waarvan de werkelijk aanwezige sedimentatietijd (als in figuur B.8.1.) bij dichtheidsstroming kan worden bepaald. De bepaling van T_w , de werkelijke erosieduur, verloopt identiek aan de bepaling voor de werkelijke sedimentatieduur.

De benodigde erosieduur T_b is gelijk aan:

$$T_b = \frac{h * C_{gem}}{E}$$

p_e is gelijk aan T_w/T_b .

Indien dichtheidsstroming tegelijk met komvulling optreedt, is er tijdens legen geen dichtheidsstroming en wordt p_e gelijk aan de waarde die voor het komvullingsproces geldt.

Bijlage 9: Bepaling van het dominante proces in de Hedwigepolder.

In deze bijlage zijn eerst de optredende sedimentatiefracties in de ontpolderde Hedwigepolder afgeschat. Daarna is het dominante proces, volgens paragraaf 3.2.3. uit de hoofdttekst, bepaald. De waarden van de meeste parameters zijn in bijlage 4 gegeven.

9.a. De sedimentatiefracties.

De sedimentatiefracties in de Hedwigepolder zijn per proces (neervorming, komvulling en dichtheidsstroming) afgeschat. Hierbij is voor ieder proces aangenomen dat het alleen in de polder optreedt. Er is uitgegaan van de theorie uit bijlage 8.

De benodigde sedimentatietijd.

Voor de transportvalsnelheid in de Hedwigepolder is 1 mm/s aangenomen (zie bijlage 5). Voor de benodigde sedimentatietijd T_b van al het sediment in het water in de Hedwigepolder kan maximaal (met een maximale waterhoogte h , in een verdieping, van 7,2 m) worden afgeleid;

$$T_b \leq 7,2/1 \cdot 10^{-3} = 7200 \text{ s. } (T_b \leq 2 \text{ uur}).$$

Neervorming.

De gemiddelde neersnelheid $u_{g, \text{gem}}$ is maximaal (bij een maximale stroomsnelheid in de hoofdgeul van 1,59 m/s):

$$u_{g, \text{gem}} = 0,3 \cdot 1,59 = 0,5 \text{ m/s.}$$

De kritische sedimentatiesnelheid is 0,2 m/s. Bij een lineair verloop van de neersnelheid tijdens de vloodsnelheid is er 2 uur een snelheid kleiner of gelijk aan 0,2. Dit levert een kleine onderschreiding op (het verloop is niet lineair) die gecompenseerd wordt door de ruime marge die de keus voor het rekenen met de maximale verdiepte waterhoogte levert. De sedimentatiefractie wordt in dit uiterste geval juist gehaald.

Dichtheidsstroming.

Het maximale dichtheidsverschil in het dichtheidsverloop van het water in de hoofdgeul is $3,4 \text{ kg/m}^3$ [Swart, 1984]. Met een waterhoogte in de mond van maximaal 5,2 m levert dit een maximale snelheid $u_{d,\max}$ van de eventuele dichtheidsstroming op van:

$$u_{d,\max} = 0,5 \cdot (3,4 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot 5,2)^{1/2} = 0,2 \text{ m/s.}$$

Deze snelheid is altijd kleiner dan of gelijk aan de kritische sedimentatiesnelheid, dus kan de sedimentatiefractie ook hier gelijk aan 1 worden genomen.

Komvulling.

De twee uur rondom kentering is (dh/dt) maximaal $2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. De waterhoogte is in die twee uur gemiddeld 4,85 m. Met een oppervlakte van de polder van $310 \cdot 10^4 \text{ m}^2$ en een mondbreedte van 900 m geldt voor de snelheden in die periode in de mond.

$$u_k = (2,7 \cdot 10^{-4} \cdot 310 \cdot 10^4) / (4,85 \cdot 900) = 0,2 \text{ m/s.}$$

De snelheid blijft in de mond twee uur onder de kritische sedimentatiesnelheid. Verder in de polder is de snelheid lager. De sedimentatiefractie is daarom bij komvulling in de gehele polder 1.

9.b. Het dominante proces in de Hedwigepolder.

Voor elk proces, mocht dat in de Hedwigepolder optreden, geldt dat de sedimentatiefractie gelijk aan 1 is. Met behulp hiervan en de waarden uit bijlage 4 zijn de verhoudingsgetallen tussen de sedimentatie ten gevolge van de afzonderlijke processen te bepalen (zie ook 3.2.3., hoofdtekst);

$$S_{neer}/S_{dichtheid} = (4 \cdot 0,04 \cdot 0,795) / (((1,7/1003,4) \cdot 9,8 \cdot 2,6)^{1/2}) = 0,6$$

Met: $C = 0,04$

Gemiddelde stroomsnelheid in de hoofdgeul = 0,795 m/s.

Gemiddelde dichtheidsverschil: 1,7 kg/m³.

Minimale dichtheid water: 1003,4 kg./m³.

Gemiddelde waterhoogte in de polder = 2,6 m.

$$S_{neer}/S_{komvulling} = (0,04 \cdot 900 \cdot 0,795 \cdot 2,6 \cdot 22350) / (5,2 \cdot 310 \cdot 10^4) = 0,1$$

Met: Mondbreedte = 900 m.

Vloedduur = 22.350 s.

Maximale waterstandsverschil = 5,2 m.

Oppervlakte van de polder = 310*10⁴ m².

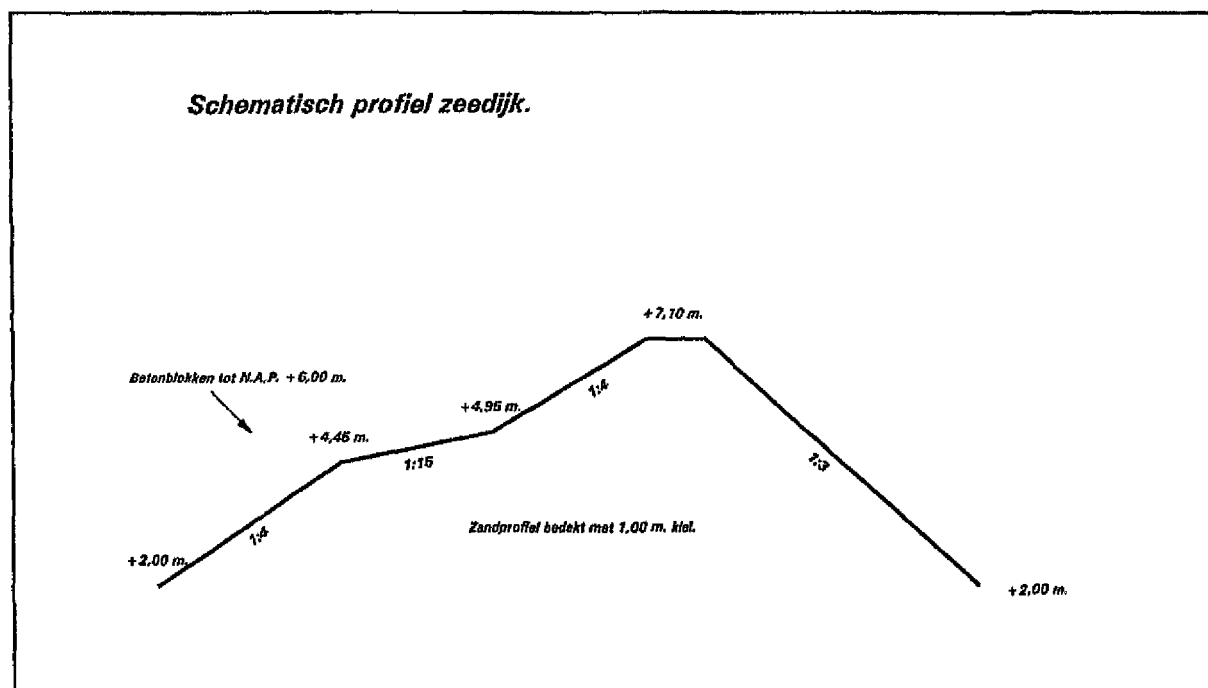
$$S_{komvulling}/S_{dichtheid} = (4 \cdot 5,2 \cdot 310 \cdot 10^4) / (900 \cdot 2,6 \cdot 22350 \cdot ((1,7/1003,4) \cdot 9,8 \cdot 2,6)^{1/2}) = 6,1$$

De komvulling is in de Hedwigepolder duidelijk dominant.

Bijlage 10: Uitwerking van de aanlegkosten.

In deze bijlage worden de aanlegkosten van de Hedwigepolder, zoals ze genoemd zijn in punt 4.2.4. van de hoofdtekst.

De kosten zijn gesplitst in een 'algemeen deel', kosten die voor iedere variant uit hoofdstuk 4 gelden en per variant specifieke kosten. De genoemde prijzen zijn afgeschat met behulp van dhr. H. Boot, hoofd afdeling kostprijzen van de Directie Zeeland.



Figuur B.10.1.: Aangenomen zeedijkprofiel.

10.a. De algemene kosten.

1. Aankoop grond, incl. schadeloosstelling huidige eigenaren.
fl. 40.000,-/ha
310 ha.

fl. 12.400.000,-
2. Weghalen verhardingen en funderingen wegen.
fl. 15,-/m²
5.000 m, 4 m breed.

fl. 300.000,-
3. Bomen rooien.
fl. 100,-/st.
200 st.

fl. 200.000,-
4. Sloop boerderijen.
Stel; fl. 100.000,-/st.
4 st.

fl. 400.000,-
5. Sloop spuikom en spuisluis.
Stel; fl. 200.000,-

fl. 200.000,-
6. Dijkverzwaring zuidelijke en westelijke dijk.

6.1. Ontgraven en in kade zetten oude binnendijk.

58 m² in profiel.
3920 m. lengte. == > 227.360 m³
fl 1,50 /m³

fl. 341.040,-

6.2. Winnen, vervoeren en persen zand in kaden.

172,3 m² in profiel.

3920 m. lengte, == > 675.416 m³

incl. 15% uitlevering: 776.728 m³.

fl 6,50,-/m³

fl. 5.048.735,-

6.3. Profieleren dijklichaam.

55 m. in profiel.

lengte 3920 m. == > 216.000 m².

fl. 0,65/m²

fl. 140.140,-

6.4. Verwerken klei uit kaden op zandlichaam.

227.360 m³ (6.1.)

fl 2,-/m³

fl. 454.720,-

6.5. Profieleren en verdichten klei op het lichaam.

227.360 m³

fl. 1,-/m³

fl. 227.360,-

6.6. Maken teenschot.

3920 m.

fl. 55,-/m.

fl. 215.600,-

6.7. Kreukelberm.

6 m. breed,

3920 m. lengte. $\Rightarrow 23.520 \text{ m}^2$.

500 kg steen/ $\text{m}^2 \Rightarrow 11.760 \text{ ton}$.

fl 35,-/ton

fl. 411.600,-

6.8. Klei onder betonblokken.

Klei komt uit de polder.

14,6 m^2 in profiel.

lengte 3920 m. $\Rightarrow 57.036 \text{ m}^3$.

fl. 10,-/ m^3 .

fl. 570.360,-

6.9. Aanleg betonblokken.

29,1 m. in profiel.

3920 m. lengte. $\Rightarrow 114.072 \text{ m}^2$.

fl. 55,-/ m^2

fl. 6.273.960,-

6.10 Totale kosten.

Totale aanlegkosten dijkverzwaring;

fl. 13.113.115,-

7. Versterken dijk tussen Selena- en Hedwigepolder met een harde glooiing.

Klei;

14,6 m^2 in profiel.

2820 m. lengte. $\Rightarrow 41.172 \text{ m}^3$ klei.

fl 10,-/ m^3

fl. 411.720,-

Betonblokken;
 29,1 m. in profiel.
 2820 m. lengte. $\Rightarrow$ 82.062 m²
 fl 55,-/m²

fl. 4.513.410,-

Totaal versterken Selenadijk: **fl. 4.925.130,-**

8. Weghalen zeedijk.

Zand, klei en betonblokken;
 220 m² in profiel;
 900 m. lengte. $\Rightarrow$ 198.000 m³.
 fl 5,-/m³

fl. 990.000,-

9. Ontgraven voorland tot zo'n N.A.P. +1,9 m.

270.000 m³ klei.
 fl. 3,50/m³ (excl. verkoop).

fl. 945.000,-

10. Samengevat.

Aankoop	fl. 12.400.000,-
Sloop wegen	fl. 300.000,-
boerderijen	fl. 400.000,-
bomen	fl. 200.000,-
spuikom en -sluis	fl. 200.000,-
Aanbrengen zeedijk	fl. 13.113.155,-
Versterken 'Sena'-dijk	fl. 4.925.130,-
Weghalen huidige zeedijk	fl. 990.000,-
Ontgraven voorland	fl. 945.000,-

fl. 33.473.285,-

10.b. Specifieke kosten.

Voor de verschillende inrichtingsvarianten uit punt 4.2.1., hoofdtekst, zijn de aanlegkosten verder bepaald met de volgende uitgangspunten:

- De ontgraven klei en teelaarde wordt in depot gezet en verkocht. De kosten:

Ontgraven en in depot zetten, fl 3,50/m³.

Opbrengst per ton: fl 6,-.

- Het ontgraven zand kan in de Westerschelde worden gestort.

Ontgraven en transport, fl 4,50/m³.

- De kunstwerken bij varianten 2.1. 'Maximale sedimentatie' en 3.1. 'Maximale aanslibbing' zijn, gezien de ontwerpfasen waarin ze verkeren, niet gedetailleerd uitgesplitst. Voor de aanleg van deze kunstwerken zijn de volgende bedragen aangenomen:

Kunstwerk variant 2.1., een afsluitbare inlaatconstructie:

fl 20.000.000,-

Kunstwerk variant 3.1., een diepe afsluitbare inlaatconstructie:

fl 30.000.000,-

Deze prijzen zijn inclusief alle ontgraafwerkzaamheden en noodzakelijke bestortingen.

Deze aannames leveren de volgende kosten per variant;

Variant 0. 'Niets doen'.

Algemene aanlegkosten	fl. 33.473.285,-
Aan- en afvoer materieel	fl. 150.000,-
sub	fl. 33.623.285,-
Uitvoeringskosten 7%	fl. 2.353.630,-
Algemene kosten 5%	fl. 1.681.164,-
Winst 5%	fl. 1.681.164,-
Risico 2%	fl. 672.466,-
Directiebehoeften	fl. 50.000,-
totaal	fl. 40.061.709,-
Eventuele verkoop van klei uit voorland;	
270.000 m ³ - 98.208 m ³ (onder beton) = 171.792 m ³ .	
= 257.688 ton.	
fl. 1.546.128,-	
Lever	totaal fl. 38.515.581,-

Variant 1.1. 'Schor'.

Ontgraven polder tot N.A.P. -2,4 m. over 310 ha.;

0,75 m. teelaarde, 2.325.000 m³,

1,50 m. klei, 4.650.000 m³,

2,15 m. zand, 6.665.000 m³.

Ontgraven klei voorland tot -2,4 m. over 27 ha.;

1.188.000 m³

Kosten;

Algemeen fl. 33.473.285,-

Ontgraven (incl. in depot zetten of afvoer);

teelaarde, fl. 3,50/m³ fl. 8.137.500,-

klei, fl. 3,50/m³ fl. 15.008.005,-

zand, fl. 4,50/m³ fl. 29.992.500,-

Aan- en afvoer materieel fl. 150.000,-

sub fl. 86.761.290,-

7% uitvoeringskosten, fl. 6.073.290,-

5% algemene kosten, fl. 4.338.065,-

5% winst, fl. 4.338.065,-

2% risico, fl. 1.735.226,-

directiebehoeften fl. 100.000,-

totaal fl.103.345.936,-

Eventuele verkoop klei en teelaarde,

fl. 6,-/ton,

6.284.691 ton klei, 3.836.250 ton teelaarde levert

fl. 60.725.646,-

Over **totaal fl. 42.620.290,-**

Variant 2.1. 'Maximale komberging', zonder inlaatconstructie.

Ontgraven polder tot N.A.P. -2,5 m. N.A.P. levert;

2.325.000 m³ teelaarde,

4.288.002 m³ klei,

6.975.000 m³ zand.

Kosten;

Algemene kosten	fl. 33.473.285,-
Teelaarde	fl. 8.137.500,-
Klei	fl. 15.008.005,-
Zand	fl. 31.387.500,-
Aan- en afvoer materieel	fl. 150.000,-

sub fl. 88.156.290,-

7% uitvoeringskosten	fl. 6.170.940,-
5% algemene kosten	fl. 4.407.815,-
5% winst	fl. 4.407.815,-
2% risico	fl. 1.763.126,-
directiebehoeften	fl. 100.000,-

totaal **fl.105.005.986,-**

Eventuele verkoop klei en teelaarde,
fl. 6,-/ton levert

fl. 60.725.646,-

totaal **fl. 44.280.340,-**

Variant 2.1. 'Maximale komberging', met inlaatconstructie.

Aanname: Inlaatconstuctie kost 20 miljoen gulden.

De dijk hoeft niet te worden weggehaald.

Algemene kosten,

excl. weghalen dijk,

incl. ontgraven polder tot N.A.P. -2,5 m.

	fl. 87.166.290,-
Inlaatconstructie	fl. 20.000.000,-
sub	fl.107.166.290,-
7% uitvoeringskosten	fl. 7.501.640,-
5% algemene kosten	fl. 5.358.315,-
5% winst	fl. 5.358.315,-
2% risico	fl. 2.143.326,-
directiebehoeften	fl. 100.000,-
totaal	fl.127.627.885,-
Verkoop klei en teelaarde,	fl. 60.725.646,-
totaal	fl. 66.902.239,-

Variant 3.1. 'Maximale aanslibbing', zonder inlaatconstructie.

Ten opzichte van variant 1.1. wordt de polder 2,1 m. dieper ontgraven, over 310 ha. Hierin zit 1,6 m. zand en 0,5 m. veen. Er is aangenomen dat de kosten van ontgraven en afvoer hiervan gelijk zijn, fl. 4,50/m³.

Kosten:

Algemeen	fl. 33.473.285,-
Ontgraven,	
Teelaarde	fl. 8.137.500,-
Klei	fl. 15.008.005,-
Zand, incl. extra ontgraving	fl. 59.287.500,-
Aan- en afvoer materieel	fl. 150.000,-
sub	fl.116.056.290,-
Uitvoerings-, algemene, directiekosten, winst en risico,	fl. 22.150.695,-
totaal	fl.138.206.985,-
Eventuele verkoop klei en teelaarde, à fl. 6,-/ton, levert	fl. 60.725.646,-
totaal	fl. 77.481.339,-

Variant 3.1. 'Maximale aanslibbing', met inlaatconstructie.

Aanname: Kosten inlaatconstructie 30 miljoen gulden.

Voorland en dijk worden niet ontgraven, besparing fl.4.158.000,- + fl. 990.000,- = fl. 5.148.000,-.

Kosten:

Zonder kunstwerk, zonder besparing fl.116.056.290,-

Besparing -fl. 5.148.000,-

Afsluitbare constructie fl. 30.000.000,-

sub fl.140.908.290,-

Uitvoerings-, algemene-, directiekosten,
winst en risico,

fl. 26.872.575,-

totaal fl.167.780.865,-

Verkoop teelaarde en klei,

fl. 50.033.646,-

totaal fl.117.747.219,-

In punt 4.2.4. van de hoofdtekst zijn de resultaten van deze bijlage samengevat weergegeven.

Bijlage 11. Veldonderzoek in Het Verdrongen Land van Saeftinge.

In aanvulling van de studie naar de aanslibbing van een overstromingsgebied (zie hoofdstuk 3) heeft de auteur een veldonderzoek in Het Verdrongen Land van Saeftinge uitgevoerd. Dit onderzoek is in het kader van het T.U. Delft practicum 'Ecologie en Milieubeheer' samen met enkele andere studenten onder leiding van prof. dr. M. Donze uitgevoerd in de eerste twee weken van juli 1993. Aanleiding voor dit onderzoek waren waarnemingen tijdens veldexcursies in dit gebied in maart en mei 1993. Tijdens deze tochten is er een gelaagdheid van de schorranden langs de geulen waargenomen waarvoor niet direct een verklaring is gevonden. Tevens is er geconstateerd dat bovenop enkele schorranden een laag onnatuurlijk licht zand is afgezet. Dit zand is afgelopen winter (1992-1993) daar afgezet (mond. med. B. Kuypers en G. Bun, gidsen van stichting 'Het Zeeuwse Landschap' voor het Verdrongen Land).

Doel van het onderzoek.

Het doel van het practicum is het met eenvoudige middelen in kaart brengen van de onnatuurlijke zandafzettingen en de gelaagdheid van de schorren geweest en indien mogelijk daarin verbanden te ontdekken.

Methoden.

Het gebied is in 7 tochten doorkruist, waarbij alleen het oostelijk deel niet is bekeken. Er is gebruik gemaakt van een aantal eenvoudige meetmethodes:

- Afsteken van de schorrand en met behulp van duimstok en papier de situatie optekenen.
- Met behulp van loep en microscoop in het veld gedetailleerder naar de verschillende lagen en overgangen ertussen kijken.
- Grondboringen met behulp van een guts en schep uitvoeren.

Resultaten.

De resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- Onnatuurlijke zandlagen bovenop de schorren komen alleen voor op de schorranden in diktes van 5 tot 30 cm.
- Onnatuurlijke zandlagen komen alleen achterin het gebied voor. Op de kaart op de laatste pagina zijn de plaatsen aangegeven waar wel en waar geen zand bovenop de schorren is aangetroffen.
- Veel onnatuurlijk en recent afgezet zand is in de grote geulen te zien. In de kleine geulen komt alleen zand bovenop de schorranden voor.
- De meeste schorranden kennen in de bovenste 50 cm een gelaagdheid van lichte zandlaagjes, in dikte variërend van enkele mm tot 1 cm, tussen donkere kleiige laagjes.
- Deze gelaagdheid is op enkele plaatsen gedetailleerder bekeken waarbij geen scherpe overgang tussen de laagjes is te constateren.
- Op één plaats, op de kaart op de volgende pagina aangegeven door A, zijn twee dikke zandlagen van elk 5 cm in de schorrand aangetroffen. Deze dikke lagen lopen langs de schorrand over zo'n 10 meter door.
- Dieper zijn geen duidelijke lagenstructuren te herkennen. Het sediment is daar kleiiger.
- Achter de oeverwal is de gelaagdheid zoals die in de schorrand voorkomt, niet geconstateerd.
- Horizontale lagen lopen een stuk langs de schorrand door. Om een horizontale laag of patroon op verschillende plaatsen terug te herkennen zijn betere meetmethodes nodig.

Evaluatie resultaten.

De resultaten kunnen op het volgende duiden:

- Het onnatuurlijke zand bovenop de schorren achterin het gebied is daar met hoge stroomsnelheden naartoe getransporteerd waardoor het niet voorin het gebied voorkomt.
- Het voorkomen van dit zand duidt, evenals het zand in de geulen, op onnatuurlijke processen in het gebied.
- Er bestaat een onbewezen hypothese dat de gelaagdheid van zand en klei in de schorrand het gevolg is van stormen die opgewerveld zand op de klei van de schorrand afzetten [mond. med. K. Storm]. Deze hypothese wordt door de waarneming van een geleidelijke overgang tussen de lagen niet bevestigd. De waarneming van twee plaatselijke dikke lagen kan wel het gevolg zijn van de dynamische omstandigheden tijdens stormen.

Dank.

Voor het uitvoeren van het onderzoek is dank verschuldigd aan de gids die ons tijdens het onderzoek in het gebied enthousiast heeft begeleid en geholpen, Ben Kuypers, en aan George Bun die dit voor ons regelde.

Het onderzoek is uitgevoerd door Ronald van de Berg, Hans Palte, Jetske Verkerk, Kit Buurman en Geert Roovers.

Het Verdronken Land van Saeftinghe

