

PAXA06 / 1

Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat Directie Zeeland
Afdeling Rivierkunde



Geulwandverdediging Zuidergat uitgediept

evaluatierapport en adviesnota met betrekking tot het ontwerp, de uitvoering en de monitoring van de geulwandverdediging in het Zuidergat

Hogeschool Zeeland
Opleiding Civiele Techniek

Afstudeerproject van:
Cornelis Breen
Nathalie Merrelaar

Middelburg, 4 juni 1999

Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat Directie Zeeland
Afdeling Rivierkunde

Geulwandverdediging Zuidergat uitgediept

evaluatierapport en adviesnota met betrekking tot het ontwerp, de uitvoering en de monitoring van de geulwandverdediging in het Zuidergat

Hogeschool Zeeland
Opleiding Civiele Techniek

Afstudeerproject van:
Cornelis Breen
Nathalie Merrelaar

Middelburg, 4 juni 1999

Opleiding Civiele Techniek

Afstudeeropdracht

Student(en) : Breen, Cornelis
Merrelaar, Nathalie
Bedrijf/Instelling : RWS Middelburg
Plaats : Middelburg
Mentor(en) Bedrijf/Instelling : M. Groenenberg
Opdrachtgever (docent/examinator) : ir. P. Dekker
ir. J. Rosink

Datum van uitreiking van de opdracht : 19-12-1998
Inleverdatum van het rapport uiterlijk : 04-06-1999

Titel opdracht: **Geulwandbestorting**

Omschrijving opdracht:

In het kader van de verruiming van de vaarweg naar Antwerpen is in 1998 een geulwandbestorting uitgevoerd ter plaatse van het Zuidergat tussen de enkele jaren geleden aangebrachte bestorting van Baalhoek en Walsoorden. Bij het aanbrengen is veel meer steen gebruikt dan begroot.

Vraag:

- Wat is hiervan de oorzaak
- Welke aanbevelingen zijn er om te verbeteren

1-3-1999
datum

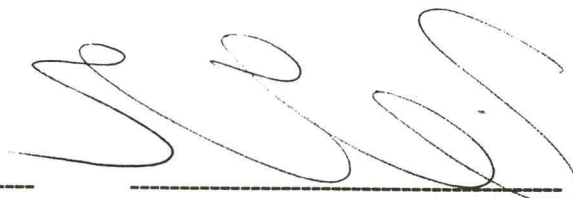
22-02-1999
datum

datum


N.J.P. Merrelaar


C. Breen

de student(en)



de mentor(en)

de opdrachtgever(s)

s&a/1999

Datum wijziging:




Voorwoord

Dit rapport is geschreven in opdracht van de Hogeschool Zeeland, in het kader van het afstuderen aan de opleiding HTS-Civiele Techniek.

De opdracht is aan ons verleend door Rijkswaterstaat Directie Zeeland, afdeling Rivierkunde (tegenwoordig afdeling Morfologie Watersystemen). Vanuit deze afdeling hebben wij alle hulp en begeleiding gekregen om tot het verslag te komen dat hier voor u ligt.

Graag willen wij iedereen bedanken die ons geholpen heeft bij het schrijven van dit verslag. In het bijzonder bedanken wij:

Piet van Rooijen, senior-projectleider Nieuwe Werken
Mireille Groenenberg, bedrijfsmentor, werkzaam op afdeling Rivierkunde
Kees van Westenbrugge, werkzaam op afdeling Rivierkunde

Ook de begeleidende docenten van de Hogeschool Zeeland, ir. P. Dekker en ir. J. Rosink, willen wij bedanken voor de ondersteuning vanuit school.

Cornelis Breen
Nathalie Merrelaar

Middelburg, juni 1999

Rijkswaterstaat draagt geen verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit verslag.

Samenvatting

Tengevolge van de verdieping van de Westerschelde zullen de stroomsnelheden in de vaargeulen toenemen, vooral ten oosten van Terneuzen. Door de hogere stroomsnelheden vindt (nog) meer erosie in de buitenbochten van de geulen plaats. Hierdoor ontstaan hinderlijke dwarsstromen die de veiligheid van de scheepvaart in gevaar brengen. Ook worden waardevolle schorren en slikken aangetast wat de stabiliteit van de waterkeringen kan bedreigen. Om de aantasting van de schorren en slikken tegen te gaan, zijn en worden de geulwanden in de buitenbochten van de Westerschelde verdedigd. Deze geulwandverdedigingen zijn opgebouwd uit de granulaire materialen breuksteen, fosforslakken en staalslakken.

Het Zuidergat is een geulwandgebied op de linkeroever van de Westerschelde, tussen Walsoorden en Baalhoek. In 1998 is hier een geulwandverdediging aangebracht. Aanleiding voor een onderzoek was het feit dat tijdens de uitvoering (veel) meer steen is gebruikt dan geraamd. Een evaluatie van het project werd daarom noodzakelijk geacht. Om in de toekomst dergelijke tegenvallers te voorkomen, moest ook een adviesnota worden opgesteld, met daarin mogelijke maatregelen ter optimalisatie van ontwerp, uitvoering en monitoring.

Het evaluatieverslag geeft een beschrijving van het geulwandgebied vóór, tijdens en na het aanleggen van de geulwandverdediging. De situatie van het gebied vóór aanleg van de geulwandverdediging wordt beschreven aan de hand van dwarsprofielen, resultaten van bodemonderzoek en stroomsnelheidsgegevens. Het blijkt dat het Zuidergat een grillig gebied is. Langs vrijwel de gehele geulrand, die een lengte van ca. 3 km heeft, komt een veenpakket voor, dat soms dikker dan 1 m is.

In de analyse van het ontwerp wordt ingegaan op welke materialen kunnen worden toegepast en aan welke eisen deze moeten voldoen. De beschrijving van het ontwerp is onderverdeeld in een analyse van het ontwerp van de niet door windgolven belaste zone en een analyse van de wel door windgolven belaste zone. Aan de hand van berekeningen die door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde zijn uitgevoerd, wordt uitgelegd hoe de keus voor een bepaalde steenafmeting tot stand komt.

De beschrijving van het geulwandgebied tijdens de aanleg van de geulwandverdediging geeft de uitvoering van het project weer. De bestortingswerkzaamheden zijn uitgevoerd met twee doseringsvaartuigen en een profiler. De werking van dit bestortingsmaterieel wordt beschreven.

De ontwikkeling van het geulwandgebied wordt gevolgd met behulp van een monitoringsprogramma. De resultaten van de monitoring maken bijvoorbeeld duidelijk of het aanbrengen van de bestorting invloed heeft op de stroomsnelheden die optreden in het Zuidergat. In het verslag wordt uitgelegd hoe het monitoringsprogramma is opgebouwd. Ook worden de dwarsprofielen geanalyseerd, die na het aanbrengen van de bestorting zijn gemeten.

De adviesnota begint met een beschrijving van de knelpunten in ontwerp, uitvoering en monitoring. Deze zijn bij het opstellen van het evaluatierapport aan het licht gekomen. Knelpunten bij het ontwerp zijn bijvoorbeeld het feit dat geen rekening is gehouden met de ondergrond en met de zeespiegelrijzing. Knelpunt bij de uitvoering is het probleem dat er meer steen is verbruikt dan geraamd, wat onder andere kan zijn veroorzaakt door ontmenging en verplaatsing tijdens het storten. Met betrekking tot monitoring worden geen knelpunten geconstateerd. Om te voorkomen dat de knelpunten bij ontwerp en uitvoering in de toekomst weer optreden, wordt gezocht naar mogelijke maatregelen. Het storten met een stortkoker is bijvoorbeeld een maatregel om verplaatsing tegen te gaan.

De geïnventariseerde mogelijke maatregelen worden beoordeeld op effectiviteit, efficiëntie, haalbaarheid en consequenties. Voor zowel ontwerp als uitvoering wordt een advies opgesteld, waarin de best beoordeelde maatregelen zijn opgenomen. De adviezen hebben tot doel een degelijk ontwerp en een efficiënte uitvoering van toekomstige geulwandverdedigingsprojecten te verwezenlijken.

Summary

Owing to the deepening of the Westerschelde, the velocity of the water will increase, especially to the east of Terneuzen. Because of the higher velocity of the water, in the outside bends of the river will be more erosion. Through this the valuable sludges and salt marshes will be harmed and the safety of the dams will be in danger. To reduce the encroaching of the sea upon the sludges and salt marshes, the outside bends of the Westerschelde have been and will be defended by bank protections. These bank protections are constructed with granular materials like quarry rock, phosphorus slags and steel slags.

The Zuidergat is an area on the left bank of the Westerschelde, between Walsoorden and Baalhoek. In 1998 a bank protection has been made in this area. During execution of the project was used more quarry rock and slags than estimated. This ran into a lot of money. Therefore an investigation was necessary. The results of the investigation are published in this evaluation and advisory report. The evaluation is a study of the situation of the Zuidergat before, during and after building the bank protection. The advisory gives a description of the problems which are signaled by the project. The advisory report includes possible measures to optimize design, execution and monitoring of bank protections.

As mentioned, the evaluation gives a description of the area before, during and after building the bank protection. The situation of the area before building the bank protection is described on base of cross-sections, results of soil research and data of the rate of flow. The evaluation shows that the Zuidergat has a very dynamic character. The riverbank has here a irregular shape. The Zuidergat has a length of 3 km. Along the whole side the soil contains a layer of peat. This layer sometimes is thicker than 1 m.

In the analysis of the design is gone more deeply into the use of different materials and (environmental) demands for these materials. The description of the design is divided into the analysis of the by wind waves attacked zone and the not by wind waves attacked zone. On base of calculations that are made by the Dienst Weg- en Waterbouwkunde, is explained how the granular diameters has been choosen.

The description of the area during building the bank protection, shows how the project has been executed. The building of the bank protection is executed by two dosagevessels and a 'profiler'. The working of this equipment is described in this report.

The development of the area is followed by means of a monitoringprogram. The results of the monitoring show for example if the bank protection has influence on the rate of flow in the Zuidergat. In this report is explained how the montoringprogram is drawn up. The cross-sections that were taken after building the bank protection are analysed.

The advisory report starts with a description of the choke points in design, execution and monitoring. These were found by writing the evaluation. A choke point found in the design is for example that the rising of the sea level is not involved in the calculations. The difficulty by the execution was that the contractor used more stone than was been estimated. To prevent this in future, this report gives some possible measures. The possible measures are assayed on effectivity, efficiency, feasibility and consequences. The advises are given with the purpose that in future a solid design, an efficient execution and an optimal monitoring of bank protections in the Westerschelde will be achieved.

Inhoudsopgave

Voorwoord
Samenvatting
Summary

Inleiding 1

Deel I - Evaluatierapport

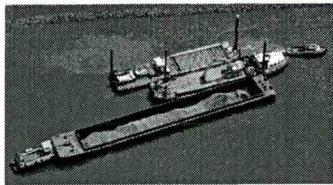
Hoofdstuk I-1	Achtergrond van dit afstudeerproject	3
	I-1.1 Verruiming Westerschelde	3
	I-1.2 Geulwandverdediging Zuidergat	4
Hoofdstuk I-2	Geulwandgebied vóór aanleg geulwandverdediging	5
	I-2.1 Dwarsprofielen	6
	I-2.2 Ondergrond	8
	I-2.3 Stroomsnelheid	10
	I-2.4 Ontwikkeling van de slikken	11
Hoofdstuk I-3	Ontwerp en uitvoering geulwandverdediging	13
	I-3.1 Materialen	15
	I-3.2 Informatie in ontwerpfase	18
	I-3.3 Ontwerp niet door windgolven belaste zone	21
	I-3.4 Ontwerp door windgolven belaste zone	26
	I-3.5 Uitvoering van het werk	29
Hoofdstuk I-4	Ontwikkeling geulwandgebied na aanleg geulwandverdediging	33
	I-4.1 Opzet monitoring	33
	I-4.2 Dwarsprofielen	36
Hoofdstuk I-5	Conclusie	37

Deel II - Adviesnota

Hoofdstuk II-1	Achtergrond van de adviesnota	39
	II-1.1 Bouwstoffenbesluit	39
	II-1.2 Verhang	40
	II-1.3 Talud	40
Hoofdstuk II-2	Beschrijving van de knelpunten	41
	II-2.1 Knelpunten ontwerp	41
	II-2.2 Knelpunten uitvoering	46
	II-2.3 Knelpunten monitoring	55
Hoofdstuk II-3	Mogelijke aanpassingen	56
	II-3.1 Mogelijke aanpassingen van het ontwerp	56
	II-3.2 Mogelijke aanpassingen van de uitvoering	60
Hoofdstuk II-4	Beoordeling mogelijke aanpassingen	64
	II-4.1 Beoordeling mogelijke aanpassingen ontwerp	64
	II-4.2 Beoordeling mogelijke aanpassingen uitvoering	66

Hoofdstuk II-5	Conclusie	68
	II-5.1 Adviezen bij het ontwerp	68
	II-5.2 Adviezen bij de uitvoering	69

Literatuurlijst		
Verklarende woordenlijst		
Bijlagen		



Inleiding

In opdracht van de afdeling Rivierkunde van Rijkswaterstaat Directie Zeeland, is dit rapport over de geulwandverdediging in het Zuidergat opgesteld. Aanleiding voor dit onderzoek is het feit dat bij het aanbrengen van de geulwandverdediging meer materiaal is gebruikt dan was geraamd. Dit rapport probeert een antwoord te geven op de vraag wat hiervan de oorzaak is. Met behulp van de adviezen die in dit verslag worden gegeven, kan wellicht bereikt worden dat in de toekomst bij het uitvoeren van bestellingen minder kosten worden gemaakt, een beter ontwerp mogelijk is en de opzet van de monitoring wordt verbeterd.

In het eerste deel van dit verslag, de evaluatie, wordt de toestand van het Zuidergat doorgelicht. *Hoe ziet dit gebied eruit vóór, tijdens en na het aanbrengen van de geulwandverdediging?* Er wordt uitgelegd dat het aanbrengen van de geulwandverdediging een onderdeel is van het project Verruiming Westerschelde. Het ontwerp van de geulwandverdediging komt uitgebreid aan bod. Met behulp van een monitoringsprogramma worden de effecten van de geulwandverdediging op het omringende gebied in kaart gebracht. De opzet van dit monitoringsprogramma wordt beschreven.

Naast een evaluatierapport bestaat dit verslag uit een adviesnota. Hierin is de centrale vraag: *Welke maatregelen kunnen het proces van ontwerp, uitvoering en monitoring van een geulwandverdediging verbeteren?* In de adviesnota wordt geïnventariseerd welke knelpunten er zijn opgetreden tijdens het ontwerp en de uitvoering. Ook wordt onderzocht op welke punten de monitoring mogelijk verbetering behoeft. Tot slot worden in de adviesnota mogelijke oplossingen gegeven voor de geconstateerde knelpunten. Deze mogelijke oplossingen worden tegen elkaar afgewogen en de beste oplossingen voor respectievelijk ontwerp, uitvoering en monitoring worden als advies naar voren gebracht.

Leeswijzer

Na de samenvatting en dit inleidende gedeelte volgen het evaluerende en het adviserende deel, welke worden afgesloten met conclusie en aanbevelingen.

Deel I Evaluatierapport

Hoofdstuk I-1 beschrijft de achtergrond van het afstudeerproject.

Hoofdstuk I-2 bespreekt de toestand van het Zuidergat zoals die was in de periode vóór het aanbrengen van de geulwandverdediging.

Hoofdstuk I-3 geeft inzicht in hoe het ontwerp van de geulwandverdediging van het Zuidergat tot stand is gekomen en hoe dit werk is uitgevoerd.

Hoofdstuk I-4 gaat in op de ontwikkeling van de geulwand na aanleg van de geulwandverdediging en hoe die ontwikkeling wordt gevolgd binnen het project Monitoring Verdieping Westerschelde (MOVE).

Hoofdstuk 1-5, de conclusie, geeft antwoord op de hoofdvraag.

Deel II Adviesnota

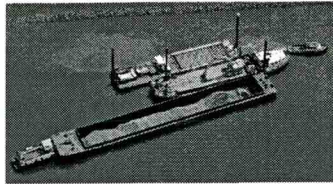
Hoofdstuk II-1 bespreekt de knelpunten die naar voren zijn gekomen in het evaluerende deel.

Hoofdstuk II-2 beschrijft de mogelijke oplossingen voor de knelpunten in ontwerp, uitvoering en monitoring.

Hoofdstuk II-3 beoordeelt de mogelijke maatregelen op kwaliteit en haalbaarheid.

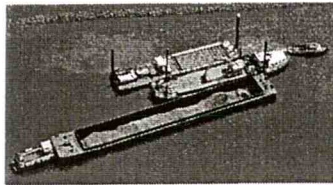
Hoofdstuk II-4, de conclusie, geeft antwoord op de centrale vraag van de adviesnota.

In het rapport wordt verwezen naar de bijlagen. Deze bijlagen geven vaak een duidelijker beeld dan de geschreven tekst. Het wordt dan ook aanbevolen de bijlagen intensief te raadplegen bij het lezen van dit verslag.



Deel I Evaluatierapport

*Hoe zag het Zuidergat eruit vóór, tijdens en na
het aanbrengen van de geulwandverdediging?*



Hoofdstuk I-1 Achtergrond van dit afstudeerproject

De Westerschelde is een zeer druk bevaren rivier. Per jaar varen duizenden schepen van en naar Antwerpen. De schepen zijn in de loop der jaren steeds groter geworden. In overleg tussen Nederland en Vlaanderen is besloten de Westerschelde uit te diepen voor grotere schepen. Hierdoor moet op vele plaatsen gebaggerd worden. Een consequentie van de verdieping is dat door stijgende stroomsnelheden geulwandverdedigingen moeten worden aangebracht. In dit verslag wordt de geulwandbestorting in het Zuidergat geëvalueerd. In dit hoofdstuk wordt eerst de achtergrond van de geulwandverdediging verhaald en de ligging van het Zuidergat duidelijk gemaakt.

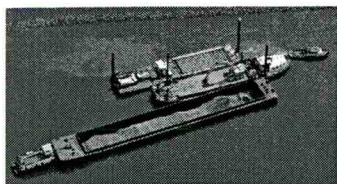
I-1.1 Verruiming Westerschelde

Op 17 januari 1995 is het 'Verdrag tussen het Koninkrijk der Nederlanden en het Vlaams Gewest inzake de verruiming van de vaarweg in de Westerschelde' ondertekend. Door middel van baggeren worden drempels verlaagd en wordt de hoofdgeul verdiept.

De huidige vaarmogelijkheden van en naar Antwerpen worden over het algemeen kortweg aangegeven met de term "44/40/34 voet". Dit betekent dat schepen met een maximale diepgang van 44 voet (1 voet is ongeveer 30 cm) in één getij, gebruikmakend van de vloedgolf, naar Antwerpen kunnen varen. Schepen met een diepgang van 40 voet kunnen in één getij van Antwerpen de Westerschelde afvaren. Schepen tot een maximale diepgang van 34 voet varen tij-ongebonden. Antwerpen wenst al tientallen jaren een betere toegankelijkheid voor dieper stekende schepen, omdat een groot aantal schepen (ongeveer 2000 per jaar) in de huidige situatie gedwongen wordt getijgebonden te varen op de Westerschelde. Dit is een ongewenste situatie, want getijgebonden varen kost veel tijd en tijd is geld [lit. 2]. Momenteel is men bezig met de uitvoering van de verdieping "48/43/38 voet".



Figuur 1: Baggerwerkzaamheden in de Westerschelde (bron: beoordeling van de effecten van de verdieping 48'-43')



De verwachting is dat ten gevolge van de huidige verdieping 48'/43'/38' de stroomsnelheden in het oostelijk deel van de Westerschelde gedurende een periode van ongeveer 10 jaar toenemen met 10 tot 20% [lit. 1]. Deze toename zal tot een sterke uitschuring van de buitenbochten van de rivier leiden, en daarmee tot een toenemende erosie van schorren en slikken. Om dit nadelige effect tegen te gaan, zijn en worden een aantal oevervakken in de rivier ten oosten van Terneuzen verdedigd met bestortingen (bijlage 1). Deze bestortingen, geulwandverdedigingen genaamd, zijn opgebouwd uit granulaire materialen, zoals breuksteen.

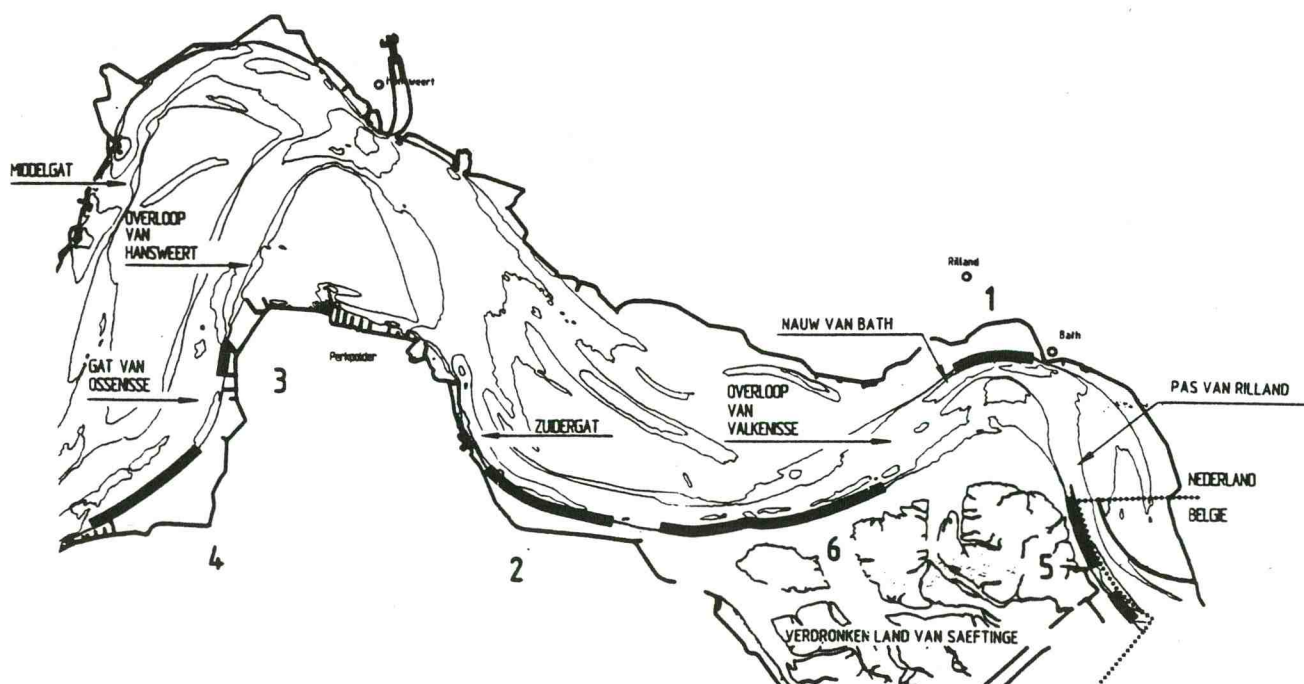
Naast gedeeltelijke bescherming van slikken, schorren en hoogwaterkeringen, dienen deze geulwandverdedigingen ook om te voorkomen dat de vaargeul meandert en hinderlijke dwarsstromen ontstaan, waarmee de veiligheid van de scheepvaart is gediend.

I-1.2 Geulwandverdediging Zuidergat

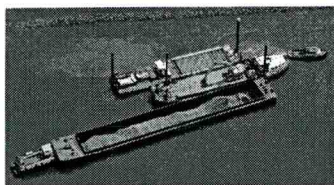
Eén van de lokaties waar men een geulwandverdediging heeft aangebracht is gelegen op de linkeroever van de Westerschelde, in het Zuidergat, tussen Baalhoek en Walsoorden in de gemeente Hontenisse, zie figuur 2. Dit werk is uitgevoerd van 10 februari tot 23 oktober 1998. De constructie reikt van de geulbodem tot NAP -2,0 m en heeft een lengte van totaal zo'n 3 km. De uitvoering bestaat uit een uitvulling en afstorting onder NAP -5,5 m van staal- en fosforslakken met daarboven breuksteen tot NAP -2,0 m.

Het probleem bij de uitvoering van deze bestorting was dat er meer steen is gebruikt dan geraamd. Hier wordt later op ingegaan.

Om in de toekomst kosten te besparen is het belangrijk dat er onderzoek wordt gedaan naar het ontwerp en de uitvoering van de geulwandbestorting in het Zuidergat. Onderzoek naar de monitoring is belangrijk om in de toekomst de effecten van de geulwandverdediging op het achterliggende gebied mogelijk beter te kunnen vastleggen.



Figuur 2: Ligging van het Zuidergat (bron: projectplan geulwandverdedigingen, projectplannummer COVW-287)



Hoofdstuk I-2 Geulwandgebied vóór aanleg geulwandverdediging

Om de effecten van de verdiepingen in de Westerschelde en eventuele gevolgen voor het milieu tijdig te signaleren, is er een monitoringprogramma opgesteld. Dit programma is een samenwerkingsverband tussen onder andere de afdelingen Rivierkunde, Nieuwe Werken en de Meetdienst van Rijkswaterstaat Zeeland en draagt de naam 'MONitoring VERdieping Westerschelde (MOVE)'. Binnen het project MOVE wordt bijgehouden hoe het fysische, chemische en biologische systeem van het estuarium wordt beïnvloed door de ingrepen ten behoeve van de verruiming. Omdat het aanbrengen van de geulwandverdedigingen onderdeel is van de uitdieping van de Westerschelde, worden de geulwanden per uitgevoerd werk ook gemonitord. Deze monitoring moet tevens worden uitgevoerd in het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater. Er is dus eigenlijk sprake van twee soorten monitoring:

- MOVE: vastleggen gevolgen verdieping Westerschelde en bijbehorende werken.
- Monitoring geulwanden: onderdeel van MOVE waarbij de ontwikkeling van een geulwandgebied wordt gevolgd, na het aanbrengen van een bestorting.

De monitoring van de geulwanden is voor dit verslag van belang. In het kader van de zorg voor veiligheid en milieu is het van belang dat de monitoringsmethode wordt beoordeeld. Bij veiligheid denkt men aan het gevaar voor de hoogwaterkering door afname van de slikken. Het milieu kan aangetast worden door stoffen die vrijkomen bij uitlogen van staal- en fosforslakken.

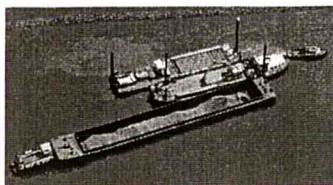
In dit verslag worden alleen de fysische kenmerken van het systeem geëvalueerd, vanwege de civieltechnische achtergrond van de auteurs. De evaluatie beperkt zich tot de geulwandverdediging van het Zuidergat, waarvan een overzicht is gegeven in bijlage 2.

De fysische parameters die in dit hoofdstuk onder de loep worden genomen zijn:

- veranderingen in de bodemligging
- veranderingen in stroomsnelheden
- veranderingen in sedimentatie (afzetting) van het slik achter de bestortingen

Ook worden de bodemgegevens van het Zuidergat bestudeerd. Bij het onderzoeken van de sedimentatie wordt aan de hand van profielen gekeken hoeveel de slikken zijn opgehoogd of verlaagd in de loop der jaren.

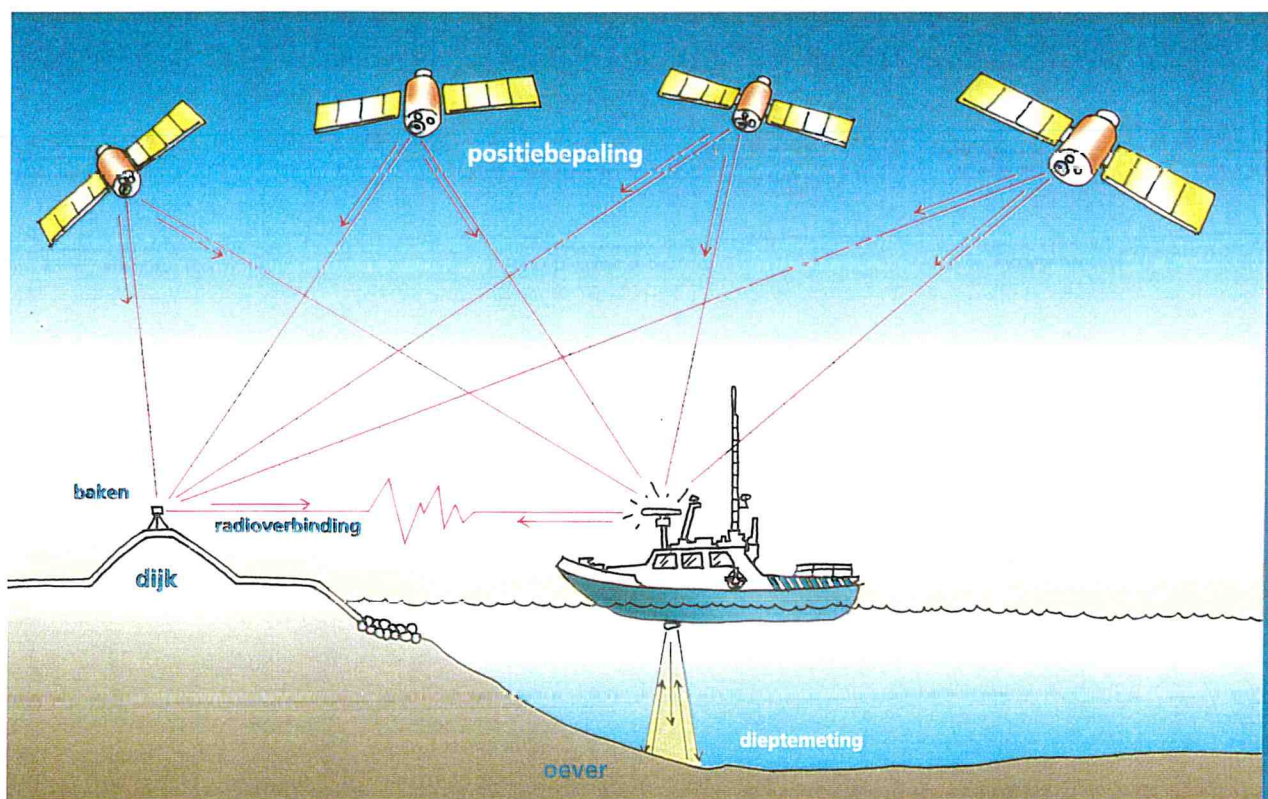
In dit deel I van het afstudeerverslag, het evaluerend gedeelte, wordt begonnen met het vastleggen van de toestand zoals die was in de periode vóór de bestorting.



I-2.1 Dwarsprofielen

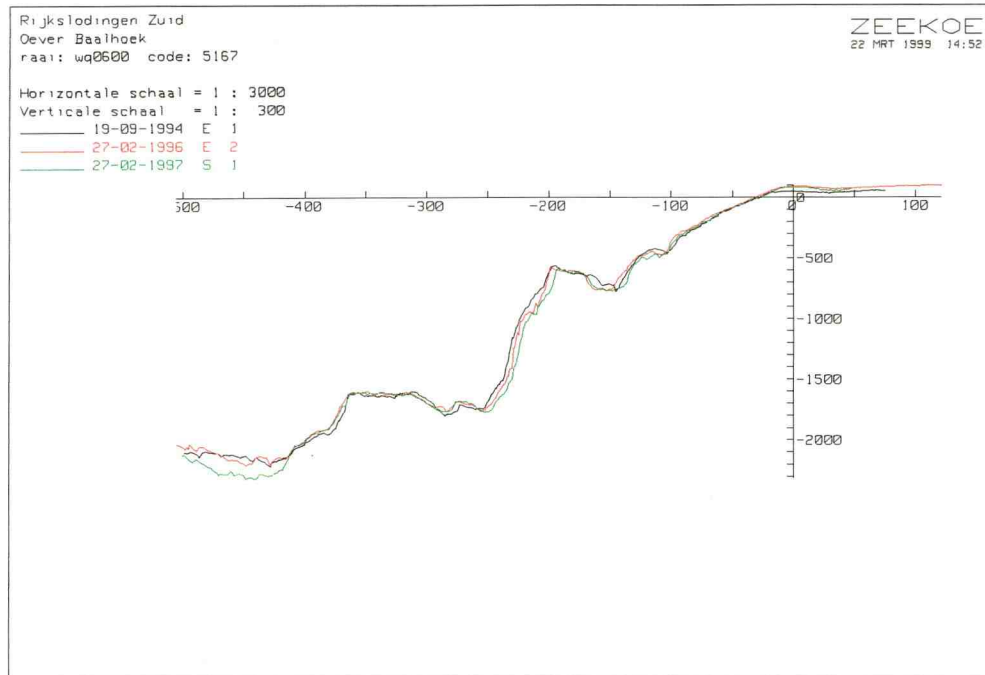
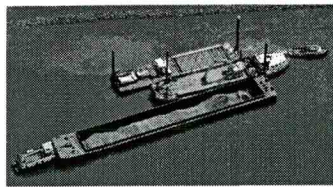
De Meetdienst van Rijkswaterstaat Zeeland neemt jaarlijks dwarsprofielen van de Westerschelde. Voor deze peilingen gebruikt men raaien. Deze raaien zijn vastgelegde meetlijnen, die ongeveer loodrecht op de kust staan. Elke raai heeft een nummer. De raaien liggen om de 50 meter. De peilingen worden uitgevoerd door een meetschip dat uitgerust is met een DGPS-plaatsbepalingssysteem (Differential Global Positioning System).

Het DGPS-systeem ontvangt permanent tijdsignalen van 5 tot 12 satellieten. Hoog op de waterkering wordt op een exact in positie en hoogte bekend meetpunt een GPS-ontvanger opgesteld. Met behulp van verschilberekeningen wordt op de peilboot met behulp van computers de positie bepaald met een nauwkeurigheid van 0 tot 5 centimeter. Figuur 3 laat de werking van een peilboot met een DGPS-plaatsbepalingssysteem zien.



Figuur 3: Peilboot met DGPS-systeem (bron: "In de peiling", hydrografie bij de Zeeuwse waterschappen)

De meetresultaten van de jaarlijkse peilingen worden gepresenteerd met behulp van het programma "Zeekoe". Met dit programma is het onder andere mogelijk de meetresultaten van verschillende jaren per raai weer te geven. Sedimentatie (aanzanding) en erosie (aantasting) kunnen zo door de jaren heen worden weergegeven. Figuur 4 laat ter illustratie een willekeurig dwarsprofiel zien.

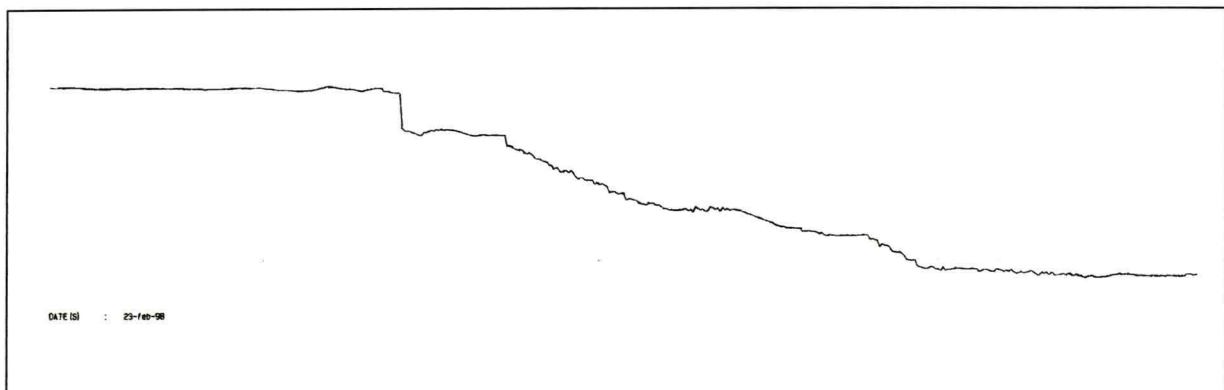


Figuur 4: Willekeurig dwarsprofiel uit "Zeekoe" (x- en y- schaal verschillen)

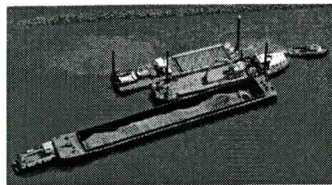
Door de profielen te bestuderen, die voor aanvang van de uitvoering van de bestorting zijn gemeten, kan een beeld gevormd worden van de geulwand.

Vlak voor aanvang van de bestorting, heeft de aannemerscombinatie ook dwarsprofielen in het bestortingsgebied gemeten. Men heeft om de negen meter een profiel genomen, omdat dit de stortbreedte van het gebruikte doseringsvaartuig (zie hoofdstuk 1-3.1) is. Een kleine tussenafstand tussen de raaien was ook nodig vanwege de grilligheid van de geulwand en de bodem. Alle dwarsdoorsnedes waren verschillend van elkaar.

De profielen zijn niet over de raaien van het raaienstelsel dat Rijkswaterstaat gebruikt gemeten. Figuur 5 laat een voorbeeld zien van een dwarsprofiel gemeten door de aannemerscombinatie.



Figuur 5: Dwarsprofiel gemeten door de aannemerscombinatie



In de volgende alinea's wordt weergegeven welk beeld men van het Zuidergat krijgt, na bestudering van de dwarsprofielen.

De bestudeerde dwarsprofielen laten zien dat het Zuidergat een grillig gebied is. Het beschouwde gebied is een buitenbocht in de Westerschelde, met een lengte van circa 3 km. In een buitenbocht treden hogere stroomsnelheden op dan in een binnenbocht. De vaargeul heeft daardoor de neiging om te meanderen. De buitenbocht erodeert, terwijl de binnenbocht aangroeit.

Uit de dwarsprofielen wordt duidelijk dat de geulwand van het Zuidergat jaarlijks, afhankelijk van de lokatie, 2 tot 9 m erodeert. Ook de bodemdiepte aan de voet van de geulwand varieert sterk. Er zijn gedeelten waar de bodem jaarlijks een verdieping van bijna 1,5 m laat zien, terwijl 500 m verder sprake is van 1,0 m verzanding per jaar. De taludhellingen van de geulwand variëren van 1:1 tot 1:10 à 12. De bovenrand van de geulwand is soms verticaal. Dit is waarschijnlijk een gevolg van onder andere de haalgolven van schepen en de bodemsamenstelling van de bovenrand. Achter de geulrand bevinden zich slikken, met een breedte variërend van 150 tot 500 m. Het areaal aan schorren is bij het Zuidergat minimaal. Van een aaneengesloten schorregebied is geen sprake. In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op bodemsamenstelling, optredende stroomsnelheden en de ontwikkeling van de slikken bij het Zuidergat.

I-2.2 Ondergrond

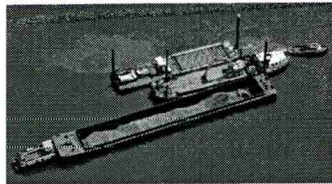
Omdat de ondergrond mogelijk invloed heeft op de stabiliteit van de constructie, is het van belang te weten uit welke grondsoorten de geulwand is opgebouwd.

Geografische inventarisatie Westerschelde

Voor het verkrijgen van gegevens over de ondergrond is gebruik gemaakt van de Geografische inventarisatie Westerschelde [lit. 6]. In deze inventarisatie zijn ter illustratie van de geologische laagopbouw drie lengte- en zeventien dwarsprofielen door de Westerschelde opgenomen. Lengteprofiel C3 en de dwarsprofielen 13 en 14 uit deze inventarisatie geven in bijlage 3 een globaal beeld van de geologie ter plaatse van het Zuidergat. Onderstaande tabel geeft een omschrijving weer van de bodempakketten waaruit de geulwand is opgebouwd.

Tabel 1: Overzicht van lithostratigrafische eenheden
(bron: Geologische inventarisatie van de Westerschelde)

Lithostratigrafie		
Formatie	Laagpakket	lithologische karakteristiek en milieu van afzetting
Westlandformatie	* Afzettingen van Duinkerke * Hollandveen * Afzettingen van Calais * Basisveen	klei, zand en veen afgezet in een kustvlakte waarvan de vorm is ontstaan door getjebewegingen (eb en vloed)
Formatie van Twente		zand, leem en veen in kleine fluviaatiele systemen en door de wind afgezet tijdens koude omstandigheden
Formatie van Tegelen		zand en klei gevormd in estuariene en fluviaatiele milieus
Formatie van Maassluis		zand en klei gevormd in een ondiep marien milieu



Na bestudering van de profielen uit bijlage 3 kan men het gebied van Walsoorden naar Baalhoek op basis van lengteprofiel C3 globaal onder worden verdeeld in drie delen:

- I. van 0,0 km tot 2,0 km
 - bovenste 4 m Westlandformatie - Afzettingen van Duinkerke
 - daarna circa 2,5 m Hollandveen
 - daarna tot bodem vaargeul Westlandformatie - Afzettingen van Calais
- II. van 2,0 km tot 3,5 km
 - geulwand bestaat volledig uit Westlandformatie - Afzettingen van Duinkerke
- III. van 3,5 km tot 4,6 km
 - bovenste 2 m Westlandformatie- Afzettingen van Duinkerke
 - daarna ruim 1 m Hollandveen
 - daarna ongeveer tot -16 m t.o.v. NAP afzettingen van Calais of Formatie van Twente
 - daarna tot bodem vaargeul Formatie van Tegelen/Maassluis

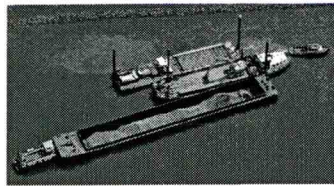
Boringen

In januari en februari 1997 zijn er boringen uitgevoerd door Rijkswaterstaat Meetdienst Zeeland ter plaatse van het Zuidergat. Deze boringen gaan tot een diepte van ruim 6 m onder NAP (maaiveld ligt op circa NAP -2,75 m). In mei 1998 heeft er nog een bodembemonstering plaatsgevonden bij het Zuidergat. Deze boringen zijn genomen langs de geulrand, tot een diepte van NAP -3,80 m. Beide bodembemonsteringen geven (o.a. aan de hand van foto's, zie bijlage 3), een goed beeld van de bovenste bodemlagen van de geulrand. De vaargeul heeft echter een diepte van circa 20 m t.o.v. NAP.

Uit de boringen blijkt dat er vooral veel veen zit in het gebied van raai mf5100 (bijlage 2) en het deel van het bestortingsgebied ten oosten van deze raai. Dit komt overeen met wat aangegeven is in de Geologische inventarisatie van de Westerschelde. Opvallend is dat er ook veen voorkomt in het gebied van raai mf5200 tot wq6250, waar volgens de Geologische inventarisatie alleen maar afzettingen van Duinkerke zouden zitten. Dit is onder andere te verklaren door het feit dat het lengteprofiel C3 van de Geologische inventarisatie is genomen langs de oever tussen Walsoorden en Baalhoek, terwijl de boringen zijn genomen op de geulrand van het Zuidergat.

Volgens de boringen zit er ter plaatse van het westelijk deel van de bestorting weinig veen in de bodem. Het zou kunnen zijn dat dat hier al geërodeerd is; de gemiddelde hoogte van de geulrand is in dit gebied iets lager dan in het oostelijk deel van de bestorting.

Uit de boringen blijkt dat het Hollandveen zich ter plaatse van de geulrand over het algemeen aan de oppervlakte bevindt, dus niet onder enkele meters zand van de afzettingen van Duinkerke. Dit komt omdat het maaiveld hier lager ligt dan in lengteprofiel C3 en omdat de afzettingen van Duinkerke hier geërodeerd zullen zijn.



I-2.3 Stroomsnelheid

Naast de lodingen die de Meetdienst jaarlijks uitvoert, worden ook jaarlijks debiet-, stroom- en sedimentmetingen uitgevoerd. Deze metingen worden genomen over raaien, maar dit zijn de debietraaien en niet de raaien waarover de dwarsprofielen worden gemeten. In bijlage 4 is een kaartje opgenomen, waar alle debietraaien in de Westerschelde zijn aangegeven. In dit hoofdstuk worden de stroomsnelheden besproken die zijn gemeten bij het Zuidergat op 15 oktober 1997, vóór het aanbrengen van de bestorting.

Raai 5a is opgedeeld in twee deelraaien en deelraai 1 betreft het Zuidergat. Bijlage 4, tekeningcode 01, geeft aan hoe de raai loopt. Op deze bijlage zijn ook de punten mp1, t/m mp4 aangegeven van deelraai 1. Op deze vier meetpunten zijn op hetzelfde tijdstip door 4 verschillende schepen de stroomsnelheden en de stroomrichting gemeten.

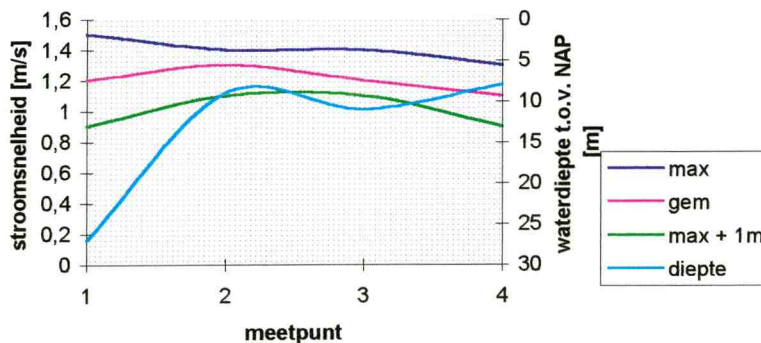
In een dwarsdoorsnede van het Zuidergat, bijgevoegd als bijlage 4 tekeningcode 02, worden de posities weergegeven van de meetpunten.

De resultaten van de peilingen zijn per meetpunt in een grafiek gezet, waar de gemiddelde stroomsnelheid (blauwe lijn) is aangegeven alsmede de stroomrichting (groene lijn). In bijlage 4, A3 0001 t/m 0004 zijn de resultaten opgenomen. Doordat de getijkromme (rode lijn) ook in de grafiek is ingetekend, kan precies gekeken worden waar en bij welk getij maximale stroomsnelheden optreden. De punten mp2, mp3 en mp4 zijn niet van belang, omdat deze niet bij de geulwand liggen die verdedigd is. Toch worden deze bij het onderzoek meegenomen, aangezien ze bij de monitoring vergeleken kunnen worden met de stroomsnelheden die gemeten zijn nadat de bestorting is aangebracht. Zo kan gekeken worden of de geulwandverdediging invloed heeft op de stroomsnelheden die optreden bij de meetpunten.

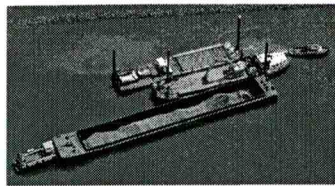
De stroomsnelheden die gemeten zijn op 15 oktober 1997, zijn in de tabel en worden gepresenteerd in grafiek 1.

Tabel 2: Maximale stroomsnelheden gemeten in raai 5A, deelraai 1

	max. gemeten stroomsnelheid	max. gemiddelde stroomsnelheid	max. stroomsnelheid 1 m boven bodem
mp1	1,5 m/s	1,2 m/s	0,9 m/s
mp2	1,4 m/s	1,3 m/s	1,1 m/s
mp3	1,4 m/s	1,2 m/s	1,1 m/s
mp4	1,3 m/s	1,1 m/s	0,9 m/s

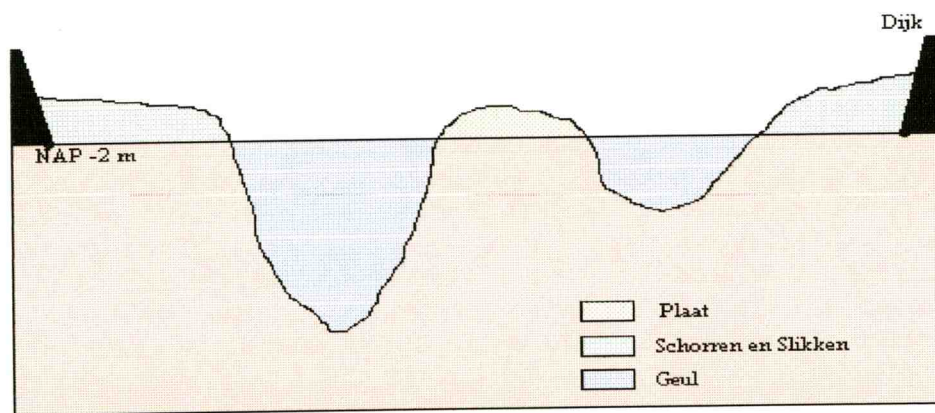


Grafiek 1: Maximale stroomsnelheden uitgezet tegen de diepte



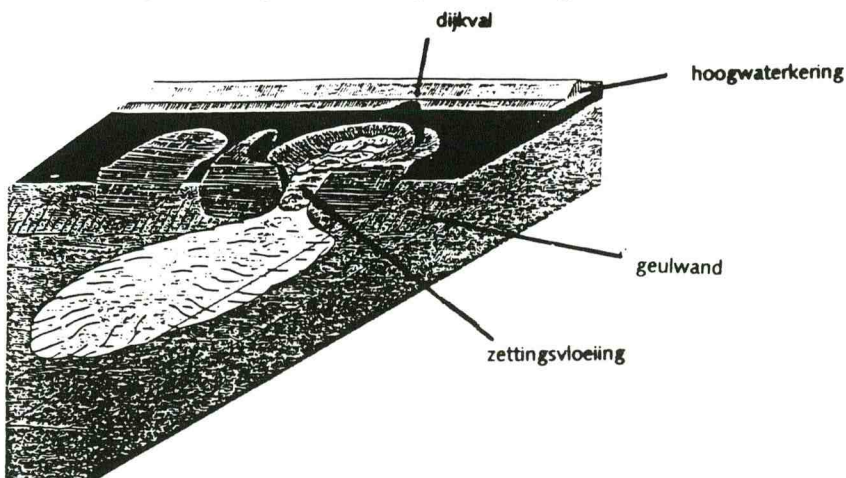
I-2.4 Ontwikkeling van de slikken

Slikken zijn het onbegroeide deel van de bodem hoger dan NAP -2 m en grenzen aan een dijk of schorgebied. Schorren zijn de begroeide delen tussen een dijk en slik en liggen hoger dan NAP -2 m (figuur 6). Schorren en slikken hebben een hoge ecologische waarde. Ze vormen de verblijfplaats voor bodemdieren en -planten. Tevens zijn vogels, vissen en in en rond de bodem levende dieren afhankelijk van schorren en slikken voor hun voedselvoorziening. Ook vormen schorren en slikken een belangrijk habitat voor een aantal bedreigde vogelsoorten die regelmatig in en rond de Westerschelde worden gesignaleerd [lit. 9].

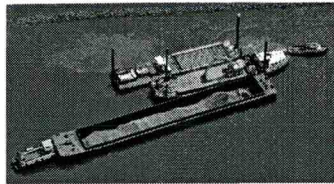


Figuur 6: Morfologische eenheden

Ten gevolge van de verruiming van de vaarweg naar Antwerpen zullen de stroomsnelheden in de vaargeulen toenemen. Toename van de stroomsnelheid leidt tot grotere erosie en grotere sedimenttransporten. Zonder aanleg van de geulwandverdediging zou de oever van het Zuidergat verder blijven eroderen. Hierdoor neemt de breedte van het slik tussen de geul en de hoogwaterkering steeds verder af. Dit is een gevaar voor de veiligheid, want de kans op dijkvallen neemt hierdoor toe. Dijkvallen kunnen ontstaan doordat zettingsvloeiing of afschuiving de hoogwaterkering bereikt, figuur 7 maakt dit duidelijk.



Figuur 7: Zettingsvloeiing bereikt hoogwaterkering (bron: Oevers, Hogeschool Zeeland)

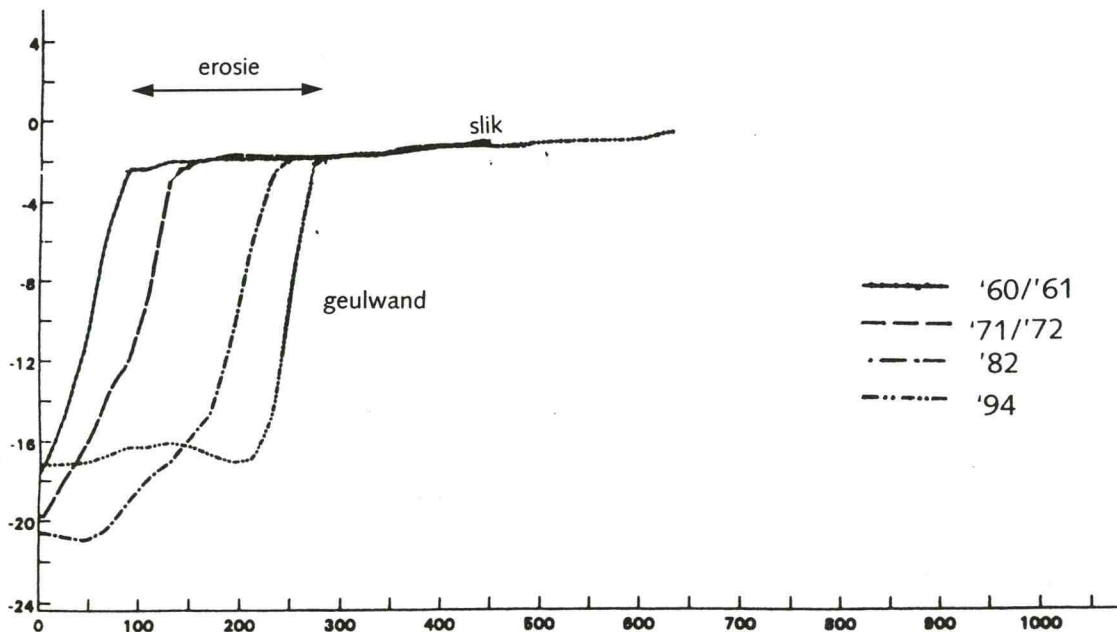


Door het opschuiven van het Zuidergat in de richting van de oever zal normaal gesproken in de binnenbocht ruimte ontstaan voor groei van de Platen van Valkenisse. Vanuit het belang van veilige scheepvaart zal deze groei echter niet getolereerd worden, omdat de verscherping van de bocht van het Zuidergat die hiervan het gevolg zal zijn, de veiligheid van de scheepvaart nadelig beïnvloedt. Uiteindelijk zal dan ook sprake zijn van verbreding van het Zuidergat ten gevolge van de uitschurende werking in de buitenbocht [lit. 9].

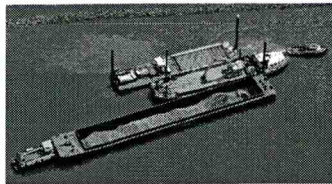
Het is uit opzicht van veel oogpunten belangrijk dat de schorren en slikken beschermd en behouden worden. Het areaal aan schorren is bij het Zuidergat minimaal. Daarom wordt in de volgende sub-paragraaf alleen gekeken naar de ophoging en verlaging van de slikken.

Ophoging en verlaging slikken

Aan de hand van dwarsprofielen ter plaatse van het Zuidergat kan gekeken worden hoeveel de slikken zijn opgehoogd of verlaagd. De profielen tot en met 1997 zijn bestudeerd, dus de profielen die de situatie vóór aanleg van de geulwandverdediging weergeven. Uit dit onderzoek bleek dat de slikken nauwelijks ophogen of verlagen. Ook uit metingen van het RIKZ (Rijksinstituut voor Kust en Zee) blijkt dit. Figuur 8 laat een van de gemeten profielen van het RIKZ ter hoogte van het Zuidergat zien. Duidelijk is dat de geulwand erodeert en de hoogte van de slikken gelijk blijft.



Figuur 8: Profiel RIKZ

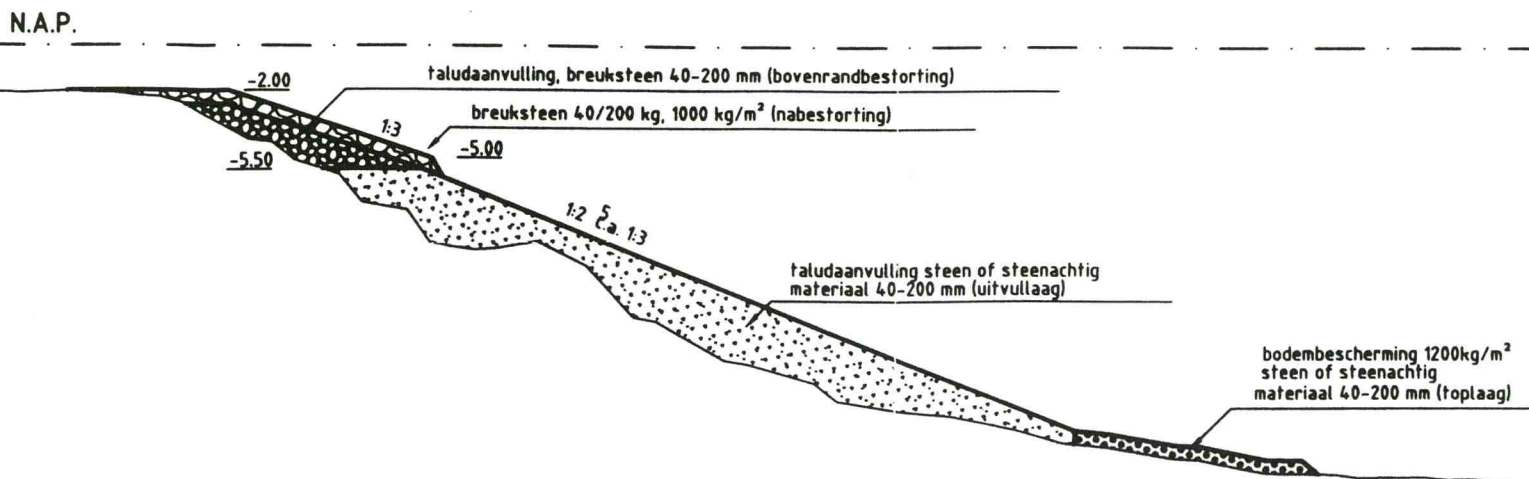


Hoofdstuk I-3 Ontwerp en uitvoering geulwandverdediging

De constructie van de geulwandverdediging wordt onderscheiden in [lit. 2]:

- taludaanvulling
- bodembescherming
- nabestorting

algemeen dwarsprofiel geulwandverdediging



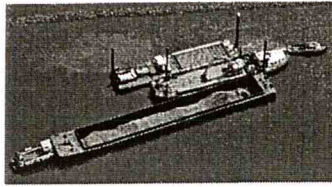
Figuur 9: Algemeen dwarsprofiel geulwandverdediging Zuidergat (bron: projectplan geulwandverdediging)

De geulwand is onder NAP -5,50 aangevuld met steenachtig materiaal 40-200 mm, tot een talud van 1:3. Als er meer dan 4 meter moest worden aangevuld, werd om materiaal te besparen gekozen voor 1:2,5. Het gedeelte boven NAP -5,50 is verdedigd met breuksteen 40-200 mm met een talud van 1:3.

Door de bodembeschermingslaag wordt de geulbodem vastgelegd, zodat er minder kans op verzakking van de geulwand is. De bodembescherming bestaat uit een bestorting van 1200 kg/m² steenachtig materiaal 40-200 mm (staalslakken).

Op het bovenste deel van de taludaanvulling (vanaf NAP -5 m) is een nabestorting aangebracht van zware breuksteen (40-200 kg) in een aaneengesloten laag van 1000 kg/m².

Ongeveer halverwege het te maken werk werd een opening gemaakt met een breedte van circa 70 m. Door deze opening kan het water stromen bij de wisseling van de getijden, zodat een getijdegeul gehandhaafd blijft ter plaatse van de opening. In deze getijdegeul is een soort drempel van breuksteen aangelegd, met het doel te voorkomen dat de stroomsnelheid in de getijdegeul te hoog wordt en uitspoeling zal ontstaan. Figuur 10 laat een foto zien van de beëindiging van het oostelijk en westelijk gedeelte van de geulwandverdediging. Hiertussen ligt op ongeveer 6 meter onder NAP de drempel, met een gemiddelde hoogte van 1,50 m.



Figuur 10: Oostelijke en westelijke beëindiging van de geulwandverdediging

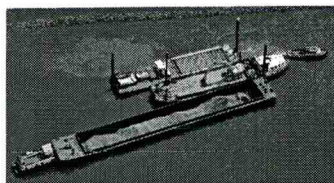
In het westelijke deel van de bestorting van het Zuidergat werden een aantal dwarsdammen gemaakt, als verbinding tussen de geulwandbestorting en de hoogwaterkering. Hierdoor wordt de stroomsnelheid van het water geremd, om uitschuring achter de bestorting, dus achterloopsheid, tegen te gaan.

Dit hoofdstuk beschrijft hoe het hierboven beschreven ontwerp van de geulwandverdediging van het Zuidergat tot stand is gekomen en hoe het werk is uitgevoerd.

Eerst komt aan bod welke opties voor de materialen aanwezig waren en welke milieuhygiënische eisen hieraan gesteld werden.

Wanneer een ontwerp doorgerekend wordt is het noodzakelijk te weten welke informatie aanwezig was tijdens de ontwerpfase. Dit komt aan bod in paragraaf 1-3.2.

In de paragrafen 1-3.3 en 1-3.4 worden de toplaagstabiliteit, filterstabiliteit en grondmechanische stabiliteit berekend van de geulwandverdediging.



I-3.1 Materialen

Opties voor materiaal taludaanvulling en toplaag

De meest gebruikte bestortingsmaterialen zijn:

- grind en grindzand
- breuksteen
- steenachtige materialen, zoals mijnsteen, fosforslak en staalslak

Grind en grindzand

In principe geeft Rijkswaterstaat Zeeland de aannemer de mogelijkheid om grind als bestortingsmateriaal toe te passen. De aannemer zal dit echter nooit doen, vanwege de hoge prijs van dit materiaal.

Mijnsteen

Mijnsteen is een verzamelnaam voor alle soorten nevingesteenten die bij de winning van steenkool vrijkomen. Het standpunt van Directie Zeeland is dat het toepassen van mijnsteen in de Westerschelde uit den boze is. Bij gebruik van mijnsteen is het gevaar aanwezig dat niet met mijnsteen verwante verontreinigingen, zoals koolstofgruis en hydrauliekolie (van de vjzels in de steenkoolmijnen), in het milieu worden gebracht. Aan de steenkooloverslag in de Everingen, in de Westerschelde, ter hoogte van Ellewoutsdijk, worden erg strenge eisen gesteld met betrekking tot het vrijkomen van koolstofgruis in het milieu. Rijkswaterstaat, die met betrekking tot milieuzorg een voortrekkersrol wil spelen, wil dan ook liever geen mijnsteen in de vrije natuur aan brengen.

Breuksteen

De breuksteen voor waterbouwkundige doeleinden is voornamelijk afkomstig uit steengroeven in België en Duitsland en in mindere mate uit steengroeven in Noorwegen en Schotland. Bij breuksteen, in het spraakgebruik vaak stortsteen genoemd, kan onderscheid worden gemaakt tussen twee hoofdsoorten nl. [lit. 7]:

- soorten met een relatief hoge soortelijke massa;
- soorten met een relatief lage soortelijke massa;

Tot de eerste soort behoren o.a.

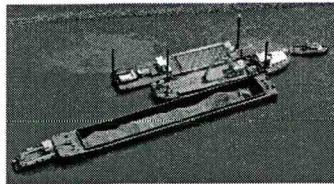
Basalt	3000 kg/m ³
Diabaas	2900-3000 kg/m ³
Basaltlava	2800 kg/m ³

Tot de tweede soort behoren o.a.

Gneis	2700 kg/m ³
Kalksteen	2650 kg/m ³
Graniet en Grauwacke	2600 kg/m ³

Fosforslakken

Het soortelijk gewicht van fosforslakken bedraagt gemiddeld 2700 kg/m³. Fosforslak is een stollingsproduct dat vrijkomt bij de bereiding van fosfor en is voor Nederlands gebruik veelal afkomstig van de fosforfabriek Hoechst te Vlissingen [lit. 7]. Fosforslakken zijn grillig van vorm en hebben als zodanig een vrij grote haakweerstand; gesteld kan worden dat de hoek van inwendige wrijving 45° bedraagt [lit. 8].



Staalslakken

Staalslak is een stollingsproduct dat vrijkomt bij het productieproces van staal en wordt door staalfabrieken in Nederland, België en Duitsland op de markt gebracht. Afhankelijk van het variërende holtepercentage bevindt de dichtheid zich tussen de 3100 en 3300 kg/m³.

Staalslakken hebben drie voordelen ten opzichte van breuksteen:

- 1) Relatieve hoge dichtheid (Δ) onder water.
Dit is constructief een voordeel (grotere stabiliteit, gelijkblijvende diameter). Vooral LD-staalslakken hebben dit dichtheidsvoordeel, omdat ze een bijna 50% grotere dichtheid hebben dan bijvoorbeeld natuurlijke breuksteen.
- 2) Grote wrijvingshoek (ϕ). Slakken 45°, breuksteen 35°. Dit is een groot voordeel bij bestorting op een talud.
- 3) Slakken hebben een gunstige prijs. Het verschil in prijs met stort-/breuksteen is ongeveer 10 à 15 gulden per ton.

Ook gezien de gunstige aanvoermogelijkheden en de wenselijkheid van herbruik van materialen, was toepassing van slakken als bestortingsmateriaal in het Zuidergat aantrekkelijk. Bij toepassing van slakken moet echter eerst aangetoond worden dat de uitloging van schadelijke stoffen voldoet aan de geldende normen, zoals duidelijk wordt gemaakt in onderstaande subparagraaf over milieuhygiëne.

Milieuhygiëne

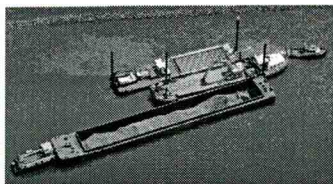
De keuze van de constructie en van het toe te passen materiaal is in eerste instantie een technisch probleem. De keuze moet echter ook worden getoetst aan de eisen die worden gesteld vanuit het oogpunt van de waterkwaliteit en de natuurbescherming [lit. 3]. Zoals in bovenstaande subparagraaf al beschreven werd, heeft Rijkswaterstaat er vanuit milieuhygiënisch oogpunt voor gekozen om in ieder geval geen mijnsteen toe te passen als bestortingsmateriaal. Aan het toepassen van breuksteen en staal- en fosforslakken kunnen echter ook milieuhygiënische bezwaren kleven.

Het milieueffect van toe te passen materialen op de omgeving, wordt beoordeeld aan de hand van [lit. 7]:

- de chemische samenstelling van het materiaal.
- verspreiding door uitloging van ongewenste stoffen, die een bepaalde toepassing van het materiaal tot gevolg heeft.
- geschiktheid van het materiaal als drager van flora, fauna of menselijke activiteiten.

In afwachting van het nieuwe Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterbescherming, dat sinds januari 1999 in werking is getreden, was tijdens het ontwerp en de uitvoering van de geulwandverdediging Zuidergat het IPO-besluit (IPO = interprovinciaal overleg) van kracht. Dit is het interimbeleid voor de toepassing van secundaire bouwstoffen. Secundaire bouwstoffen zijn bouwstoffen die vrijkomen bij een industrieel proces, zoals het smelten van ijzer uit ijzererts. Staal- en fosforslakken zijn secundaire bouwstoffen.

Breuksteen is een primaire bouwstof, omdat dit bouw materiaal uit de natuur (steengroeve) afkomstig is. In het kader van het IPO-besluit is voor het gebruik van secundaire bouwstoffen een WVO-vergunning vereist. De Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) verbiedt het namelijk om zonder vergunning schadelijke stoffen in welke vorm dan ook aan te brengen in het oppervlaktewater [lit. 8].



Directie Zeeland moest dus eerst een WVO-vergunning aanvragen. Verplichting bij de WVO-vergunning is dat aangetoond wordt dat de te verwerken bouwstoffen niet schadelijk zijn. De bouwstoffen moesten met name worden getoetst op uitloging, een chemisch proces, waarbij anorganische microverontreinigingen (metalen en anionen) vrijkomen [lit. 3].

Het milieuhygiënisch onderzoek van de bouwstoffen is uitgevoerd door INTRON uit Sittard, een laboratorium voor toetsing van bouwstoffen. Er zijn verschillende methoden om bouwstoffen te beproeven op uitloging [lit. 5 en lit. 4]:

- kolomproef
- diffusieproef
- schudproef

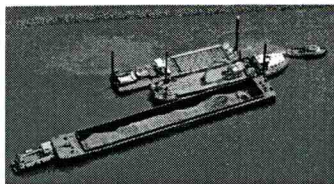
De kolomproef verloopt aanzienlijk sneller dan de diffusieproef en wordt om deze reden ook vaker toegepast. Er zijn echter vragen gerezen met betrekking tot de representativiteit van de kolomproef [lit. 4]. Hier wordt in de adviesnota verder op ingegaan. De schudproef is nog sneller, maar niet nauwkeurig, en wordt dus normaal gesproken ook niet toegepast [lit. 42].

Voor de taludaanvulling en bodembescherming liet Rijkswaterstaat Zeeland aan de aannemer de keuze of hij breuksteen of slakken toepaste. Daarom was in het bestek de volgende omschrijving voor de taludaanvulling gegeven: "steen of steenachtig materiaal 40-200 mm".

De fluoride-afgifte van fosforslakken kan een milieuhygiënische belemmering voor de toepassing van fosforslakken zijn, maar in zout water speelt de fluoride-afgifte geen belangrijke rol, vanwege de hoge achtergrondconcentratie en de grote verdunning die bij uitloging optreedt. Voorts blijkt fosforslak een betrekkelijk hoge natuurlijke radioactiviteit te hebben, maar deze is minder dan de norm voor niet-natuurlijke straling [lit. 7]. Uit eerdere door INTRON uitgevoerde onderzoeken was al gebleken dat fosforslakken en breuksteen geen kritische componenten bevatten voor uitloging. De aannemer geeft echter de voorkeur aan staalslakken, want het soortelijk gewicht hiervan is groter dan het soortelijk gewicht van fosforslakken. Met andere woorden, hij hoeft minder volume te verwerken, om aan hetzelfde aantal tonnen te komen. Het is voor hem dus voordeliger in prijs om staalslakken te verwerken. Losgestorte fosforslakken hebben een dichtheid van 2700 kg/m^3 . Hiervan kan ongeveer 6000 ton per week worden verwerkt. Staalslakken wegen ongeveer 3200 kg/m^3 . Hiervan kan 10.000 à 12.000 ton per week worden verwerkt.

De LD-staalslakken die bestemd waren om te worden verwerkt in het Zuidergat, werden door de aannemer gehaald bij Sidmar te Gent (België). Uit een volledig uitloogonderzoek van INTRON aan een totaal mengmonster van staalslakken leek de uitloging van barium kritisch ten opzichte van de toelaatbare emissie voor een categorie-1 bouwstof bij een toepassingshoogte van 2 meter. Volgens de toetsingsformule uit het keuringsplan van INTRON (rapport 971046), dat is gebaseerd op het IPO-beleid en de Uitvoeringsregeling Bouwstoffenbesluit, is de maximale toepassingshoogte als categorie-1 bouwstof gelijk aan 1,33 m [lit. 5].

Staalslakken (in de bovenlaag) waren in het werk Zuidergat vereist vanwege de grotere stroombestendigheid van het materiaal ten opzichte van fosforslakken (zie paragraaf 1-3.3). Maar op grond van het onderzoeksresultaat van de kolomproef heeft Rijkswaterstaat Zeeland ervoor gekozen om de taludaanvullingen uit te voeren in fosforslakken, afgedekt met een laag staalslakken met een dikte van maximaal 1,30 m. De keuze voor de toe te passen gradering wordt uitgewerkt in de volgende paragrafen.



Op grond van het IPO-besluit mag boven NAP -5,0 m, in het ondiep watergebied, alleen met breuksteen gewerkt worden. Dit primaire materiaal wordt geschikter geacht als drager van flora en fauna. Blijkens een onderzoek dat in opdracht van Directie Zeeland is uitgevoerd, zal het breuksteen bij de heersende stroomsnelheden en het huidige golfklimaat mogelijk aangroeien met zeer waardevolle planten en dieren. De uiteindelijke biomassa, het gewicht aan leven per vierkante meter, zal in dat geval na aanleg van de geulwandverdediging ter plaatse van het breuksteen hoger zijn dan ervoor.

Deze hogere biomassa en hogere biodiversiteit wordt als positief beoordeeld voor het ecologisch systeem en dus voor de natuurwetenschappelijke waarde van het gebied, hoewel het voornamelijk gaat om organismen die van oorsprong niet in Zeeland voorkomen [lit. 9]. Om er zeker van te zijn dat er boven NAP -5,0 m geen slakken worden aangebracht, heeft Rijkswaterstaat Zeeland in het bestek aangegeven dat boven NAP -5,50 breuksteen moet worden toegepast.

I-3.2 Informatie in ontwerpfase

In deze paragraaf wordt weergegeven welke informatie de afdeling Nieuwe werken heeft gebruikt en met welke factoren men rekening heeft gehouden bij het ontwerp van de geulwandverdediging van het Zuidergat. Bij het ontwerp werd op de afdeling Nieuwe Werken (NWT) uitgegaan van richtlijnen voortgekomen uit onderzoeken van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW).

De vorm van de bestortingsconstructie is vastgesteld op basis van de Rijkslodingen Zuid van het Zuidergat uit de jaren 1994 en 1996, zoals die zijn opgeslagen in het programma Zeekoe. Deze dwarsprofielen hebben een onderlinge afstand van 50 m. Ook de geraamde hoeveelheden zijn bepaald met behulp van deze peilingen.

De vorm van de bestortingsconstructie is naast de dwarsprofielen bijvoorbeeld ook afhankelijk van de hoek van inwendige wrijving van het toe te passen materiaal en de benodigde laagdikte. Deze aspecten worden in de paragrafen I-3.2 tot en met I-3.4 verder uitgewerkt.

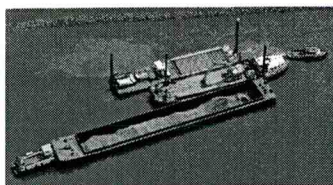
Windgolven

De belangrijkste natuurlijke hydraulische belastingen op de geulwandbestorting zijn de stroming en (tijdens storm) windgolven. De stroming wordt veroorzaakt door het getij, doch tijdens storm kan door (verschillen in) opwaaiing de stroming aanzienlijk worden versterkt. De windgolven kunnen globaal worden gekarakteriseerd door middel van de significante golfhoogte en de bijbehorende periode.

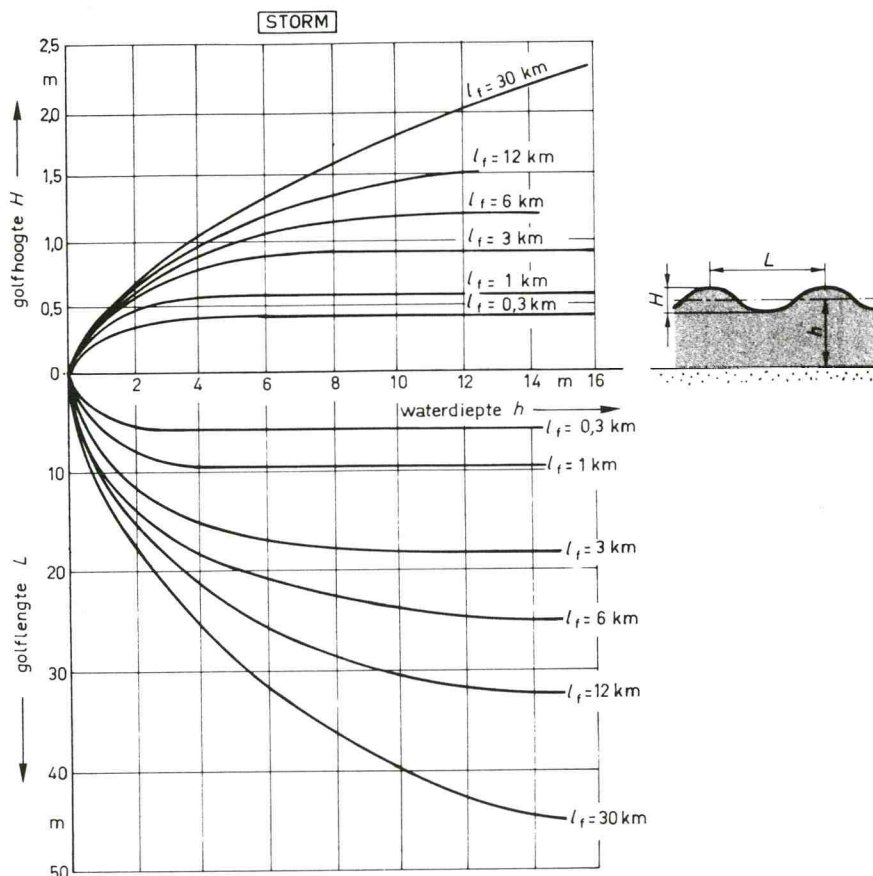
De constructie is gedimensioneerd op windgolven met een overschrijdingskans van eenmaal per tien jaar. De windsnelheid uit de maatgevende (noordelijke) richting, die gemiddeld eenmaal per tien jaar voorkomt, is 24 m/s (windkracht 9 à 10 Beaufort). De bijbehorende hydraulische belasting kan als volgt worden omschreven [lit. 13]:

- H_s = significante golfhoogte = 0,9 m
- T = golfperiode = 3,5 s

Deze hydraulische belasting treedt ook op als er gedurende twee uur uit noordelijke richting een wind waait met een snelheid van 16 m/s (windkracht 7 Beaufort). De windsnelheid heeft in het Zuidergat dus niet zo heel veel invloed op de golfhoogte. Ook een hoge, of juist lage waterstand, heeft volgens de Dienst Weg- en Waterbouwkunde weinig invloed op de



golfhoogte [lit. 8]. Een verklaring hiervoor is dat de golflengte in principe niet minder kan worden dan zevenmaal de golfhoogte. Als de golflengte tóch minder wordt, dit komt voor in ondiep water, verliest de golf zijn stabiliteit en gaat schuimen en breken. De maximale golfhoogte is dan bereikt. De strijklengte in het Zuidergat is voor alle windrichtingen kleiner dan 6 km. Figuur 11 laat zien dat bij windkracht 9 de golfhoogte niet meer toeneemt als de waterdiepte groter is dan 10 m. Omdat het in het Zuidergat ook bij laag water dieper is dan 10 m, heeft een hoge, of juist lage waterstand daar weinig invloed op de golfhoogte [lit. 11].



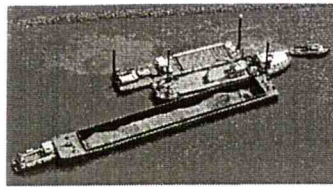
Figuur 11: Maximale golfontwikkeling bij een gegeven strijklengte en waterdiepte tijdens storm (bron: Toegepaste vloeistofmechanica)

Scheepsgolven

De waterbeweging door een varend schip veroorzaakt komt tot uiting in:

- Een kleine verhoging van de waterspiegel die voor het schip uitloopt.
- Een grotere daling van de waterspiegel tijdens het passeren van het schip.
- Een retourstroom.
- Golfbewegingen die uitgaan van de boeg en van het achterschip en die de oever onder een scheve hoek aanlopen en hierop breken of bij steile oevers geheel of ten dele terugkaatsen.
- Het effect van de schroefstraal tijdens ongunstige omstandigheden.

Hoe sterk deze effecten zijn, ligt geheel aan de omvang en zwaarte van het schip. Het is duidelijk dat men, wanneer men het vaarwater verdiept, steeds grotere schepen zal kunnen verwachten.



Door Rijkswaterstaat Directie Zeeland zijn de volgende scheepstypen als maatgevend genomen [lit. 8]:

Type 1: Massagoedschip
 $L = \text{lengte} = 300 \text{ m}$
 $B = \text{breedte} = 50 \text{ m}$
 $T = \text{diepgang} = 15 \text{ m}$
 $V_s = \text{vaarsnelheid} = 6,2 \text{ m/s}$

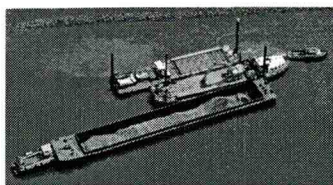
Type 2: Containerschip
(3^e-generatie)
 $L = 290 \text{ m}$
 $B = 33 \text{ m}$
 $T = 13 \text{ m}$
 $V_s = 7,2 \text{ m/s}$



Figuur 12: Belasting van de scheepvaart ter plaatse van het Zuidergat

Bij de berekening van de constructie is rekening gehouden met de volgende, door bovenstaande scheepstypen veroorzaakte parameters:

- snelheid nabij de bodem ten gevolge van de schroefstraal (U_b)
- gemiddeld verhang in de haalgolf (l_{bg})
- gemiddeld verhang in de frontgolf (l_{fg})



De parameters haalgolf, retourstroom en secundaire scheepsgolven worden in verband met de afmetingen van de vaarweg als 'uitgedempt' beschouwd, dus verwaarloosd. De gevonden (maximum) waarden voor de beschouwde scheepswaterbewegingen zijn:

Tabel 3: Scheepswaterbewegingen

(bron: Beoordeling voorgesteld ontwerp voor de talud- en bodembescherming te Walsoorden)

Scheepstype	U_b [m/s]	I_{hg} [-]	I_{fg} [-]
1) Massagoedschip	0,75	0,016	0,039
2) Containerschip (3 ^e generatie)	0,34	0,033	0,041

U_b = bodem stroming
 I_{hg} = verhang haalgolf
 I_{fg} = verhang frontgolf

Het maatgevende verhang is $I_{fg} = I_{schip} = 0,04$. Het kritieke verhang I_{kr} voor de bestorting moet hoger zijn dan I_{sch} . De uiteindelijke keus van het bestortingsmateriaal dat volgens DWW voldoet aan deze en andere eisen wordt beschreven in de paragrafen I-3.3 en I-3.4.

Stroomsnelheden

De afmetingen van het toe te passen materiaal voor een bestorting zijn onder andere afhankelijk van de optredende stroomsnelheden. De basisformule [lit. 11] voor het berekenen van de benodigde korreldiameter is namelijk:

$$\sqrt{d} = u_{cr}/c_3$$

Hierin is:

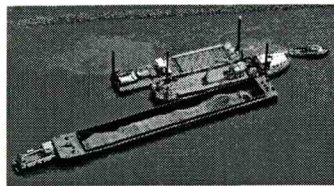
d de korreldiameter [m]
 u_{cr} de stroomsnelheid waarbij de korrel begint te bewegen [m/s]
 c_3 een constante die onder meer afhankelijk is van de korrelvorm en het korrelmateriaal [$m^{1/2}/s$]

Voor de stabiliteitsanalyse van de geulwandbestorting is de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat (DWW) uitgegaan van een ontwerpsnelheid van 2,80 m/s. Dit is de stroomsnelheid die na de verruiming verwacht wordt. Het is een dieptegemiddelde waarde, berekend met behulp van het model WAQUA, voor condities die eenmaal in de tien jaar voorkomen. De stroomsnelheid is gebaseerd op een extreme combinatie van getij en windopzet [lit. 13].

Stroomsnelheden door schepen in een beperkte vaarweg en met name in schroefstralen van schepen, kunnen in een ongunstige samenloop van omstandigheden hoger zijn dan 2,80 m/s. Deze stroomsnelheden treden echter zeer lokaal op en dan incidenteel. Slechts extreem zware bestortingen zijn bestand tegen deze belastingen. Gezien het lage risico van beschadiging is het zeer oneconomisch de bestorting hierop te dimensioneren; dit heeft men dan ook niet gedaan [lit. 13].

I-3.3 Ontwerp niet door windgolven belaste zone

De analyse van het ontwerp moet opgesplitst worden in twee delen, al naar gelang de diepteligging van de constructie. De te controleren bezwijkmechanismen treden namelijk niet alle op dezelfde plaats op, deze zijn diepte-afhankelijk. De constructie wordt verdeeld in twee delen en wel een deel dat door windgolven belast wordt (aansluitend op de onverdedigde vooroever) en een deel dat voornamelijk door stroming en scheepvaart wordt belast.



Constructief gezien kan gesteld worden dat de scheidingslijn ligt op NAP -4 à -5 m. Beide constructiedelen worden getoetst op de voor hen relevante bezwijkmechanismen [lit. 8].

In de volgende paragraaf wordt uitgelegd hoe het ontwerp van de niet door windgolven belaste zone tot stand is gekomen. Dat is dus het deel van de geulwandverdediging onder NAP -4 à -5 m. Het ontwerp van een geulwandverdediging in de niet door windgolven belaste zone, bestaande uit granulaire materialen moet worden geanalyseerd en getoetst op:

- toplaagstabiliteit
- filterstabiliteit

Toplaagstabiliteit

Het mechanisme toplaagstabiliteit is vooral belangrijk voor het permanent onder water gelegen deel van de constructie. Voor de bepaling van de topstabiliteit onder stroombelasting, maar zonder golfaanval, wordt gebruik gemaakt van de formule van Shields:

$$(k * U)^2 = C^2 * \tau * \delta * D_{50} * K_t$$

Hierin is:

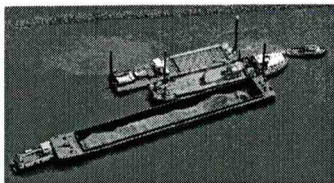
- k factor die verstoring van het stroombeeld weergeeft t.o.v. de eenparige toestand
 U gemiddelde stroomsnelheid over de verticaal
 C Chézy factor
 τ Shields parameter
 δ relatieve dichtheid toplaagmateriaal
 D_{50} gemiddelde diameter toplaag
 K_t taludfactor

Met behulp van deze formule wordt de kritieke stroomsnelheid uitgerekend. Wanneer men wil weten of men een bepaalde steensoort en gradering kan toepassen, moet men kijken of de kritieke stroomsnelheid van het materiaal kleiner is dan de stroomsnelheid in het gebied: $U/U_{cr} \leq 1$.

De kritieke stroomsnelheden zijn berekend voor verschillende standaardsorteringen met behulp van de formule van Shields. De berekening is uitgevoerd door DWW. De resultaten zijn in de volgende tabel vermeld (onder hoog verstaat men NAP -5,5 m, onder diep NAP -15 m):

Tabel 4: Kritieke stroomsnelheden (U_{cr}) diep en hoog op het talud
(bron: DWW, rapport AK-B-96136)

STEENSORTERING			KRITIEKE STROOMSNELHEID (m/s)	
materiaal	sortering	D_{50} (mm)	hoog	diep
staalslakken	40/160 mm	65	2,5	2,9
fosforslakken	40/160 mm	65	2,1	2,5
breuksteen	50/150 mm	93	2,2	2,7
breuksteen	10-60 kg	265	3,0	3,8
breuksteen	40-200 kg	345	3,2	4,1



Voor het Zuidergat is de relatie van de ontwerpstroomsnelheid tot de kritieke stroomsnelheid (U/U_{cr}) voor steen en steenachtige materialen als volgt:

Tabel 5: Verhouding U/U_{cr} voor de in aanmerking komende materialen voor de toplaagconstructie (bron: DWW, rapport AK-B-96136)

U	SLAKKEN				BREUKSTEEN					
	Staal		Fosfor							
	40/160 mm				50/150 mm		10-60 kg		40-200 kg	
	hoog	diep	hoog	diep	hoog	diep	hoog	diep	hoog	diep
2,8 m/s	1,1	1,0	1,3	1,1	1,3	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7

Voor een stabiele toplaag moet worden geëist dat $U/U_{cr} \leq 1$. Als aan dit criterium niet wordt voldaan kan uitzeven van de fijnste fracties voor een stabielere sortering zorgen, zodat de sortering toepasbaar wordt.

Fosforslakken

Uit de tabel blijkt dat toepassing van fosforslakken in het Zuidergat geheel niet mogelijk is.

Staalslakken

LD-/staalslakken vallen voor toepassing hoog op het talud af en op grotere diepte is toepassing niet aan te bevelen.

Breuksteen

Voor het Zuidergat komt de standaard-sortering 10-60 kg in aanmerking. Toepassing van de sortering 50/150 mm op grotere diepte is niet aan te bevelen.

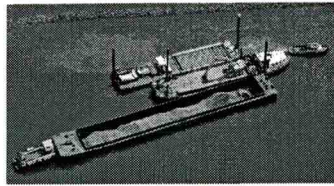
Uit de tabel blijkt dat toepassing van staalslakken 40-160 mm en breuksteen 50/150 mm niet is aan te bevelen als toplaag in de niet door windgolven belaste zone ($U = U_{cr}$). Toepassing van breuksteen 10-60 kg is duur. Daarom heeft RWS ervoor gekozen een uitgezeefde sortering staalslakken of breuksteen 40-200 mm toe te passen.

Een toplaag van dit materiaal kan tevens dienst doen als filter, dus als taludaanvulling (zie subparagraaf Filterstabiliteit). Vandaar dat bij het Zuidergat onder NAP -5,50 m een taludaanvulling is aangebracht zonder aparte toplaag. Het filter van steen of steenachtig materiaal 40-200 mm fungeert namelijk tevens als toplaag. Aan staalslakken zit de beperking dat het uitloopt en dus eerst getest moet worden. Uit de proeven is gebleken dat de maximale toelaatbare laagdikte voor staalslakken 1,33 m was (paragraaf I-3.1).

Rijkswaterstaat heeft toen gekozen voor het ontwerp van een taludaanvulling in fosforslakken, afgedekt met een 1,30 m dikke laag staalslakken. Volgens Rijkswaterstaat kwam de stabiliteit van de constructie hierdoor niet in gevaar.

Filterstabiliteit

Omdat de taludaanvulling direct op het bodemmateriaal wordt aangebracht, zonder dat er sprake is van een tussenlaag in de vorm van bijvoorbeeld een filterdoek, moet de filterfunctie door de uitvullaag zelf vervuld worden. Gezien de belastingen is gesteld dat een geometrisch dicht filter (een filter waar het basismateriaal, gezien zijn korrelafmetingen niet door het filtermateriaal kan komen) hier niet nodig is. Een geometrisch dicht filter moet pas toegepast worden op plaatsen waar zeer grote verhangen ($i \geq 0,5$) over het filter optreden.



De keuze voor een niet-geometrisch dicht filter houdt wel in dat de filterstabiliteit een functie wordt van zowel de geometrische parameters als van de hydraulische belasting. De hydraulische belasting op het filter in de niet door windgolven belaste zone valt uiteen in twee onderdelen, te weten:

- de belasting op het grensvlak tussen basis- en filtermateriaal t.g.v. de overtrekkende stroom
- de belasting op het grensvlak tussen basis- en filtermateriaal t.g.v. de scheepsvaart

De hydraulische belasting moet, om vergeleken te kunnen worden met de sterkte van de constructie, omgezet worden in een verhang evenwijdig aan het talud. Onder verhang wordt verstaan: de helling van een wateroppervlak over een bepaalde afstand. Bij het ontwerp van de geulwandverdediging is men voor de berekening van het verhang uitgegaan van het DWW-rapport WBA-N-88-138. De berekening is daarin echter uitgevoerd voor een filter van fosforslakken in de sortering 'tout-venant'. Deze sortering wordt als volgt gekarakteriseerd [lit. 8]:

- $D_{15} = 15 \text{ mm}$
- $D_{50} = 35 \text{ mm}$
- $D_{85} = 80 \text{ mm}$

Naast de sortering 'tout-venant' kent men ook 'vormgegeven materiaal'. Dit is een sortering waar de fijne fractie is uitgezeefd.

Het is de vraag of het juist is de waarden voor de sortering fosforslakken 'tout-venant' te gebruiken bij het bepalen van de filterstabiliteit van een uitvullaag in breuksteen of staalslakken 40-200 mm (vormgegeven materiaal).

Verhang t.g.v. stroming

Het verhang als gevolg van stroming is berekend met de formule van Chézy:

$$U = C \sqrt{(h * i)} \rightarrow i = U^2 / (C^2 * h)$$

Voor fosforslakken 'tout-venant' werden de volgende waarden ingevoerd:

U ontwerpstroomsnelheid: 1,37 m/s (Deze snelheid wordt in rapport WBA-N-88-138 gehanteerd en is gebaseerd op enkele stroommetingen, met een veiligheidsfactor van 1,5).

C coëfficiënt van Chézy: $18 \log 12 R/k_n$

R = hydraulische straal; bij de Westerschelde geldt voor deze waarde de diepte. DWW hanteerde de waarde $R = 10 \text{ m}$ [lit. 8]

k_n = equivalente ruwheid volgens Nikuradse; stortsteen: $k_n \approx 2 * D_{50}$ [lit. 12]

D_{50} : in de praktijk veelal de gemiddelde korreldiameter genoemd, de juiste benaming is echter mediane korreldiameter [lit. 11]. $D_{50} = 0,35 \text{ m}$

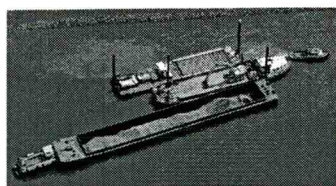
$\rightarrow k_n = 2 * 0,35 = 0,70 \text{ m}$

$\rightarrow C = 18 \log (12 * 10) / 0,70 = 58,2 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$.

h waterdiepte: DWW hanteerde de waarde $h = 10 \text{ m}$ [lit. 8]

$$i = U^2 / (C^2 * h)$$

$$\rightarrow i = 1,37^2 / (58,2^2 * 10) = 0,000055$$



Om een onverklaarbare reden kwam er bij DWW een andere waarde uit bovenstaande berekening, namelijk $i = 0,003$ [lit. 8]. Gezien onzekerheden ten aanzien van de schematisatie van de stroming en onder andere lokale oneffenheden in de bodem werd voorgesteld om een factor 2 op het bepaalde verhang te zetten, hiermee kwam het parallel verhang als gevolg van stroming op 0,006. In hoeverre de gemaakte rekenfout gevolgen heeft voor het ontwerp van de constructie wordt beschreven in paragraaf II-1.1.

Verhang t.g.v. scheepvaart

Dit is al besproken in paragraaf I-3.2. Als maatgevend parallel verhang t.g.v. scheepvaart wordt 0,04 aangehouden.

Filtersterkte constructie

De filtersterkte van de constructie is afhankelijk van het toegepaste materiaal. Het maximaal verhang waartegen het filter bestand is, wordt i_{kri} = kritiek verhang genoemd.

Het kritiek verhang voor een niet-geometrisch dicht filter, waarvan bij het Zuidergat dus sprake was, is volgens de berekening van DWW 0,038 tot 0,041, afhankelijk van het basismateriaal (de bodem).

Tabel 6: Kritiek parallel verhang
(bron: Beoordeling voorgesteld ontwerp voor de talud- en bodembescherming te Walsoorden)

Korrelgrootte bodemmateriaal d_{50} (μm)	kritiek verhang i_{kri}
150	0,038
175	0,040
200	0,041

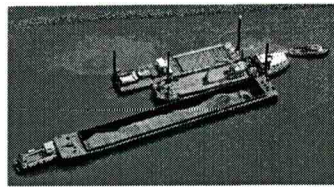
Conclusies met betrekking tot filterstabiliteit

Het optredend verhang bij stroming is door DWW gesteld op 0,006. Dit is lager dan $i_{kri} = 0,04$. Het filter zal dus niet bezwijken ten gevolge van de stroming. Het optredend verhang bij scheepvaart ($i_{sch} = 0,04$) is praktisch gelijk aan het kritieke verhang.

Dit werd toch acceptabel geacht, omdat $i_{sch} = 0,04$ alleen zeer plaatselijk zal optreden, namelijk als het maatgevende schip boven de bestorting vaart. Het maatgevende schip zal echter hooguit tot de rand van de bodembescherming komen.

Conclusies naar aanleiding van toetsing toplaag- en filterstabiliteit

Omdat zowel het verhang ten gevolge van stroming, als het verhang ten gevolge van scheepvaart kleiner zijn dan 0,05, kan volgens DWW als globaal criterium worden gebruikt $D_f/D_b < 200$. Met als basismateriaal $D_{50b} \approx 200$ mm, leidt dit voor de uitvullaag, die tevens dienst doet als toplaag, tot de globale eis: $D_f < 40$ mm. Er is aangenomen dat in de praktijk zowel bij staalslakken als bij breuksteen 40-200 mm de fractie < 40 mm ervoor zorgt dat aan deze eis wordt voldaan. In de niet door windgolven belaste zone zal een taludaanvulling van breuksteen of staalslakken 40-200 mm dus voldoen aan de gestelde eisen met betrekking tot toplaagstabiliteit en filterstabiliteit.



I-3.4 Ontwerp door windgolven belaste zone

In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe het ontwerp van de door windgolven belaste zone tot stand is gekomen. Dit is dus het deel rond de stilwaterlijn. Het stabiliteitsonderzoek voor de constructie rond de stilwaterlijn valt in drie delen uiteen, te weten:

- de grondmechanische stabiliteit onder windgolfbelasting
- het ontwerpen van de toplaag onder windgolfbelasting
- de filterstabiliteit onder windgolfbelasting

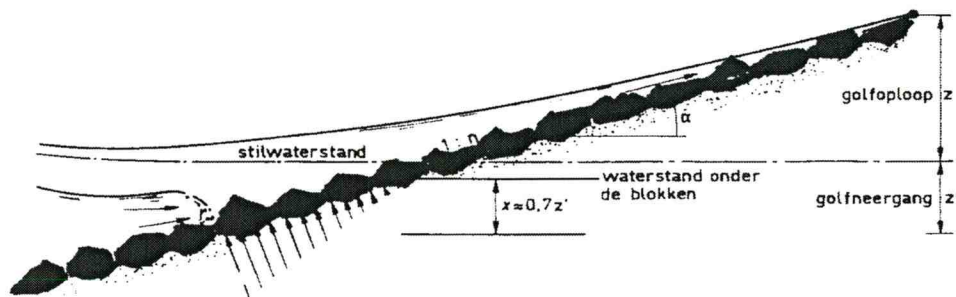
Grondmechanische stabiliteit

De grondmechanische stabiliteit wordt getoetst op de volgende situaties:

- de teruggetrokken golf
- de golfklap

De teruggetrokken golf

Zodra een golf van zijn hoogste olooppunt is teruggetrokken tot zijn laagste punt (golfterugloop, 'run-down'), wordt er onder de bestorting een waterdruk opgebouwd. Dit geeft figuur 13 te zien. Dat komt doordat de grondwaterstand niet zo snel kan meezakken als het water aan het oppervlak van het talud.



Figuur 13: Teruggetrokken golf (bron: Toegepaste Vloeistofmechanica)

Het punt dat de grootste kans op beschadiging heeft bij een teruggetrokken golf, ligt net boven de waterlijn. Het water zal op dat punt ongeveer horizontaal uit het talud van de geulwand treden. In de geulwand zelf zal halverwege de grondwaterstand en de buitenwaterstand de stroming nagenoeg evenwijdig aan het talud plaatsvinden. Voor beide situaties zijn eisen af te leiden, waaraan de taludhelling van de bestorting moet voldoen:

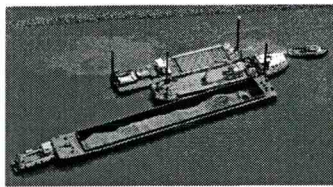
<p>Horizontale stroming: $\alpha \leq \rho_g' / \rho_g * \theta$ Evenwijdige stroming: $\text{tg } \alpha \leq \rho_g' / \rho_g * \text{tg } \theta$</p>

waarbij:

- α taludhelling
- ρ_g' het gewicht onder water van grond 10,2 (kN/m²)
- ρ_g nat gewicht grond 20,2 (kN/m²)
- θ hoek van inwendige wrijving (35° voor breuksteen)

Voor de toplaag geldt:

<p>Horizontale stroming: $\alpha \leq \rho_g' / \rho_g * \theta \rightarrow \alpha \leq 10,2 / 20,2 * 35 \rightarrow \alpha \leq 17,67$ \rightarrow het talud mag niet steiler worden dan 1:3,1 Evenwijdige stroming: $\text{tg } \alpha \leq \rho_g' / \rho_g * \text{tg } \theta \rightarrow \text{tg } \alpha \leq 10,2 / 20,2 * \text{tg } 35$ $\rightarrow \alpha \leq 19,47 \rightarrow$ het talud mag niet steiler worden dan 1:2,8</p>



Het talud van de toplaag is ontworpen op 1:3. De taludhelling van de toplaag voldoet niet aan de gestelde eis t.a.v. horizontale afstroming bij de toplaag. Echter gezien de marges (eis 1:3,1; ontwerp 1:3) achtte DWW de voorgestelde taludhelling acceptabel.

Golfklap

De toplaagdikte rond de stilwaterlijn is onder andere afhankelijk van de golfklapbelasting. Bij de berekening van de golfklapbelasting wordt de golfklap geschematiseerd als een lijnlast. Maximale drukstoot:

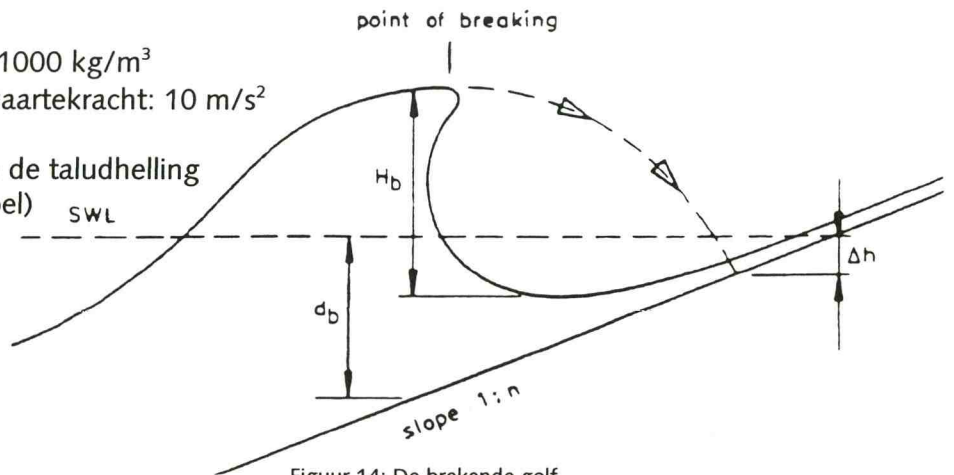
$$p = \rho_w * g * q * H$$

Hierin is:

- ρ_w dichtheid van water: 1000 kg/m³
- g versnelling van de zwaartekracht: 10 m/s²
- H golfhoogte: 1 m
- q factor afhankelijk van de taludhelling (zie onderstaande tabel)

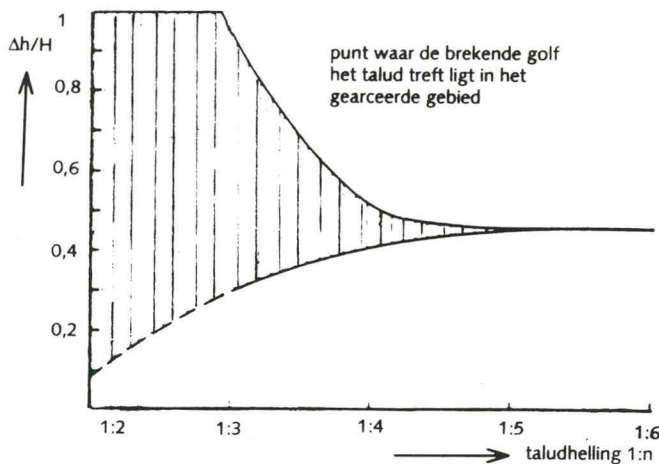
Tabel 7: Taludfactor

taludhelling	q
1:2	2,3
1:3	2,7
1:4	2,3
1:6	2

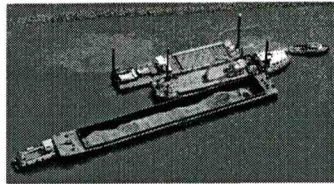


Figuur 14: De brekende golf

De maximale drukstoot bedraagt $1000 * 10 * 2,7 * 1 = 27 \text{ kN/m}^2$. De brekende golf treft het talud op een afstand Δh onder de waterspiegel, deze afstand kan worden bepaald met behulp van onderstaande figuur.



Figuur 15: Punt waar de brekende golf het talud treft



Voor een talud 1:3 wordt gevonden: $\Delta h = 0,3$ tot $0,95$ m.

De sterkte S kan met behulp van de vergelijking van Brinch Hansen bepaald worden. DWW komt op een sterkte $S = 58 \text{ kN/m}^2$. Als de sterkte tweemaal groter is dan de maximale drukstoot, wordt de constructie als voldoende veilig beschouwd.

$$S/P > 2 \rightarrow 58/27 = 2,1 \rightarrow \text{voldoet}$$

De sterkte is ruim tweemaal groter dan de maximale drukstoot; de constructie voldoet dus aan de grondmechanische eisen.

Toplaagstabiliteit

Voor het ontwerp van de toplaagconstructie zijn er twee principe-oplossingen mogelijk, te weten de statisch stabiele toplaag en de dynamisch stabiele toplaag.

Het verschil tussen beide principe-oplossingen is dat bij statische stabiele toplagen het materiaal van de laag niet mag verplaatsen onder windgolfbelasting en bij dynamisch stabiele toplagen kan het materiaal wel verplaatsen. Voor de constructie in het Zuidergat is gekozen voor een statisch stabiele toplaag. Er wordt dus verondersteld dat elke steen die verplaatst, geen bijdrage meer levert aan de sterkte van de constructie. De statisch stabiele toplaag bestaat veelal uit zwaarder materiaal dan de dynamische stabiele toplaag, maar behoeft daarentegen weinig onderhoud of inspectie. Omdat het Vlaams Gewest er nadrukkelijk op heeft gewezen dat de geulwandverdediging onderhoudsvrij moet zijn, is gekozen voor de statisch stabiele constructie.

Voor de statische toplaag geldt:

$$(H_s / \Delta D_n) \leq \text{ca. } 4 \rightarrow (1,0/1,61 * 0,23) \leq \text{ca. } 4 \rightarrow 2,7 \leq 4 \rightarrow \text{Voldoet}$$

Waarbij:

H_s = significante golfhoopte = $1,0$ [m]

$\Delta = (\rho_{\text{mat.}} - \rho_{\text{water}}) / \rho_{\text{water}} = (2650 - 1015) / (1015) = 1,61$ [-]

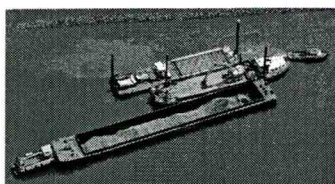
D_n = nominale steendiameter = $0,23$ m (breuksteen 10-60 kg)

Vanwege het feit dat de toplaag nog belast wordt door scheepsgolven en dus ook niet onder de kracht van de golven mag verplaatsen, is overgedimensioneerd tot de gradering 40-200 kg van breuksteen. Deze gradering heeft een hoge ruwheidsfactor en vangt daardoor veel golfenergie op.

Filterstabiliteit

Ten einde te voorkomen dat uitvul-/filtermateriaal uitspoelt, moet de toplaag dienen als een geometrisch dicht filter (dit is een filter waar het basismateriaal, gezien zijn korrelafmetingen, niet door het filtermateriaal kan komen). Om dit te controleren wordt het geometrische filtercriterium toegepast: $D_{15t} / D_{85f} < 5$.

Bij het Zuidergat heeft men gekozen voor een toplaag van breuksteen 40-200 kg. Uit onderstaande tabel blijkt dat het materiaal van de uitvullaag dan een sortering 30/80 zou moeten hebben voor breuksteen en 40/160 voor slakken.



Tabel 8: Toepassing filtercriterium en opties voor uitvul-/filtermateriaal
(bron: DWW, rapport AK-B-96136)

Toplaag			Uitvul-/filterlaag		
			criterium (toplaag/filter)	keuzemogelijkheid (toplaag/filter/basismateriaal)	
materiaal	sortering	D _{15t} (mm)	D _{85f} > .. (mm)	materiaal	sortering (mm)
breuksteen	40-200 kg	340	70	breuksteen	30/80
breuksteen	10-60 kg	225	45	slakken	40/160
breuksteen	50/150 mm	20	5	breuksteen	30/80
				slakken	40/160
				grint	2/6
				steenslag	2/6
				slakken	40/160
slakken	40/160 mm	100	20	mijnsteen	0/70
				grint	4/32
				steenslag	8/22
				slakken	40/160
				mijnsteen	10/125

I-3.5 Uitvoering van het werk

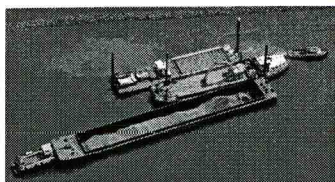
Het bestortingswerk aan het Zuidergat werd uitgevoerd door een combinatie van drie aannemers. Elk van de aannemers nam ongeveer een derde deel van de te storten tonnen materiaal voor zijn rekening. Twee van de aannemers hebben een doseringsvaartuig gebruikt namelijk het vaartuig De Waal en de Pados. De derde aannemer heeft gebruik gemaakt van een profiler om de bestorting aan te brengen. Hieronder wordt uitgelegd hoe de verschillende manieren van aanbrengen werken. Aan het eind van het hoofdstuk wordt beschreven op welke wijze de verwerkte hoeveelheden werden bepaald.

Doseringsvaartuig Pados

De Pados is een vaartuig met een lengte van ruim 30 meter en een breedte van 9 meter. Het vaartuig bevat een middengedeelte (16 x 8 m) zonder bodem. Dit middendeel is verdeeld in 32 vakken van 2x2 meter, waarvan de helft een stalen, horizontaal verschuifbare vloer heeft. De 16 gesloten vakken worden door een kraan geladen. Doordat bekend is hoe dik de laag bestorting moet worden, is exact de juiste hoeveelheid op de schuiven aan te brengen.

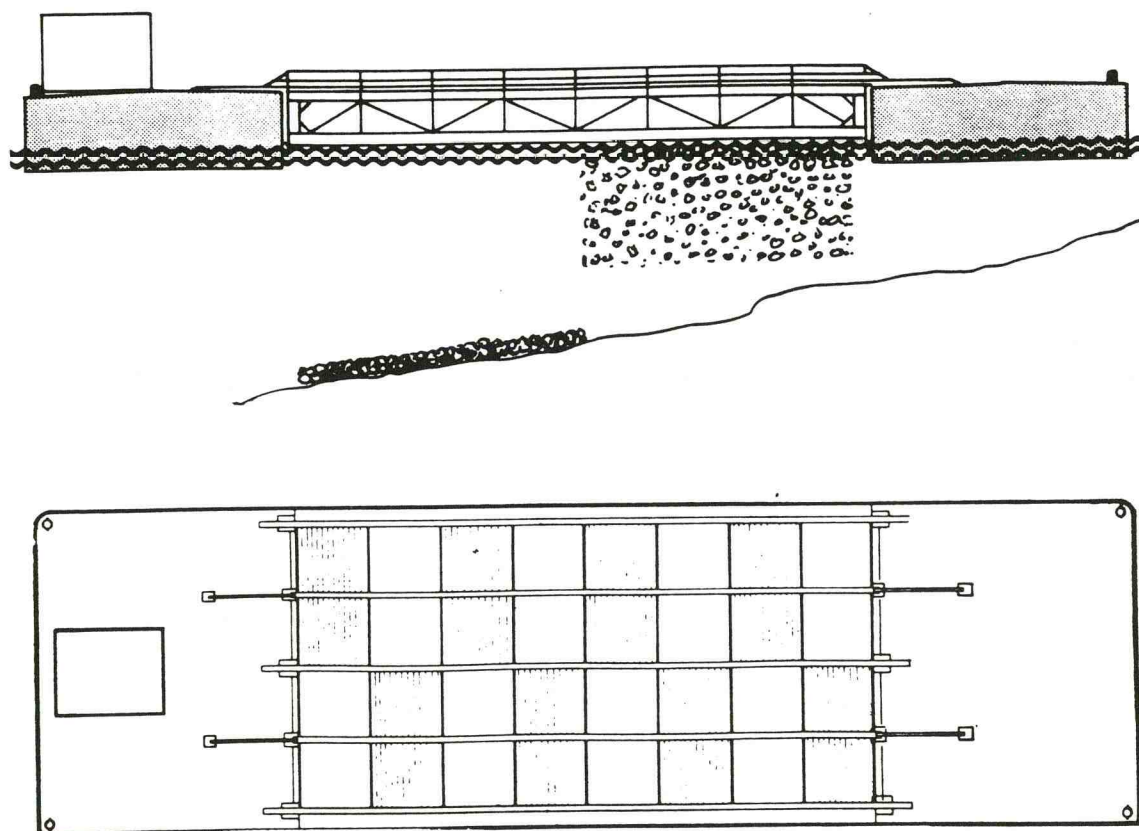
Laagdiktes van 10 tot 40 cm worden in één keer gestort. Voor werkzaamheden waar een bepaald bestortingsgewicht per vierkante meter gevraagd wordt, is het een kwestie van omrekenen om tot een laagdikte te komen. In principe kunnen alle materialen gedoseerd aangebracht worden, met als maximum de gradering 60-300 kg. De minimum gradering hangt af van de locatie waar gestort wordt. Is het materiaal namelijk te fijn, dan zal het slecht bezinken, met name bij grotere waterdiepten en hogere stroomsnelheden.

Als de vakken vol zijn, worden de schuiven op hydraulische wijze van onder de vakken weggeschoven. Het stortmateriaal valt zodoende rechtstandig op de te bestorten plaats. De 16 open vakken worden door het verschuiven van de platen gesloten, en kunnen worden beladen. Nadat ook deze gestort zijn wordt het vaartuig omgesteld.



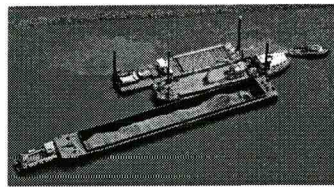
De Pados is niet zelfvarend, maar wordt verhaald met behulp van een zestal lieren en ankers, die in zes verschillende richtingen uitgezet zijn. De ankerdraden worden met onderwaterhouders op diepte gehouden om zodoende de scheepvaart onbelemmerd doorgang te kunnen laten vinden. Bovendien kan de Pados in meer stationair werk uitgerust worden met 2 spudpalen. De spudpalen zijn standaard beschikbaar in de lengten van 13, 17 of 22 meter. Ook is het nog mogelijk de Pados te combineren met een duwboot, waardoor het mogelijk wordt bestortingen op een andere locatie aan te brengen als op de laadplaats.

De Pados is uitgerust met een DGPS-systeem (Differential Global Positioning System) waarbij met grote nauwkeurigheid gepositioneerd kan worden. Dit systeem bepaald met behulp van satelieten en een vast punt op aarde de positie van het schip. Het werk wordt daarbij verdeeld in stortvakken, en de schipper van de Pados kan via een monitor zijn vaartuig exact op het goede vak positioneren. Hieronder is figuur 16 weergegeven, deze geeft een overzicht van de Pados.



PADOS	
lengte	30,50 m
breedte	9,00 m
holte	2,10 m
diepgang	0,80 m
laadvlak	126 m ²

Figuur 16: Een overzicht van doseringsvaartuig de Pados



Doseringsvaartuig De Waal

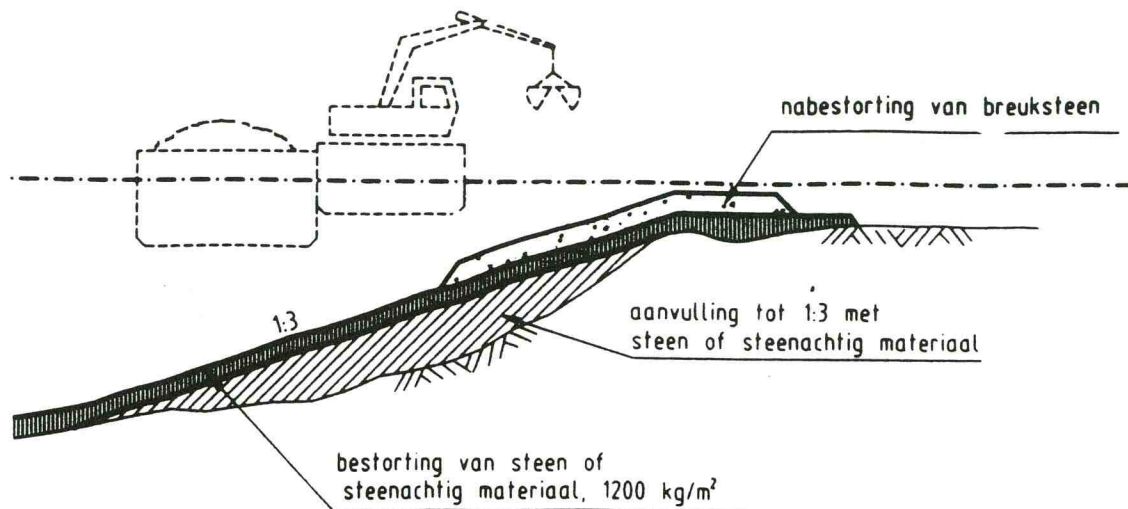
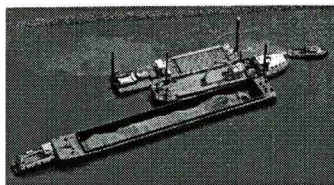
De bodem van doseringsvaartuig De Waal bestaat uit vierkante balken. Een met staal- of fosforslakken gevulde duwbak wordt langs zij een kraanschip gelegd, waarna de hydraulische kraan de beun van het doseringsvaartuig tot een bepaalde hoogte vult met een laag slakken. Daarna worden deze slakken gestort. De helft van de balken wordt hierbij neergelaten, waarna de slakken door de openingen naar beneden zakken en in een egale laag over de geulwand worden verdeeld.



Figuur 18: Doseringsvaartuig De Waal in actie bij het Zuidergat

Profiler

De nabestorting, die voor een groot deel in ondiep water plaatsvond, werd vanaf een profiler rechtstreeks in het water aangebracht. Ook is een gedeelte van de taludaanvulling met een profiler aangebracht. Onder een profiler wordt een vaste hydraulische kraan verstaan, die op een werkschip met geringe diepgang staat. De kraan pakt met de grijper het stortmateriaal van de naastliggende duwbak en deponert het met behulp van een DGPS-systeem op de plaats van bestemming. Figuur 17 geeft een beeld van het aanbrengen van een bestorting met behulp van een profiler.



Figuur 17: Het aanbrengen van een bestorting met een profiler

Ijken van een schip

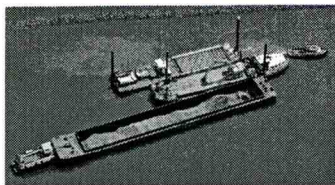
De hoeveelheden aangevoerde en geloste stortsteen werden gemeten aan de ijk. Met behulp van de ijkbrief kan de waterverplaatsing van een schip worden bepaald. De duwbakken of binnenvaartschepen waarin het stortsteen werd aangevoerd waren voorzien van ijkstrepen. Het meten aan de ijk werd uitgevoerd door een beëdigd scheepsmeter. Met behulp van een duimstok werd vanuit het gangboord aan de hand van de ijkstrepen de gemiddelde inzinking bepaald, zowel bij "lastvlot" als bij "leegvlot". Bij lastvlot is het schip geladen, bij leegvlot is het schip niet geladen. Bij de meting werd met behulp van een zoutmeter het zoutgehalte van het water bepaald, omdat de inzinking van een schip in zout water minder is dan in zoet water en het zoutgehalte in de Westerschelde varieert al naar gelang het eb of vloed is. Bij elk schip hoort een meetbrief, met daarin vermeld de waterverplaatsing van het schip, per centimeter inzinking. Aan de hand van de meetbrief berekende de scheepsmeter het gewicht van de lading stortsteen.

Stroomsnelheid

Verandering in de gradering kan optreden door uitspoeling en ontmenging van fijnere deeltjes. Om dit tegen te gaan is geëist dat tijdens de uitvoering alleen bij een stroomsnelheid lager dan 0,5 m/s gestort wordt (kenteringsvenster).

Plaatsen van korven

Om ten behoeve van de monitoring de uitloging te kunnen meten, zijn er op verzoek van de Zeeuwse Milieufederatie op de geulrand van het Zuidergat drie korven (ca. 0,5 m³) geplaatst, respectievelijk gevuld met breuksteen, staal- en fosforslakken. Een jaar na het aanbrengen (mei 1999) zijn deze korven gelicht, om de uitloging van de slakken te kunnen bepalen. Op deze wijze kunnen de laboratoriumproeven worden getoetst. De bevindingen moeten ook worden gerapporteerd aan de provincie als verplichting in het kader van de verstrekte WVO-vergunning.



Hoofdstuk I-4 **Ontwikkeling geulwandgebied na aanleg geulwandverdediging**

Door de verdiepingen worden zowel het fysische, het chemische als biologische systeem van de Westerschelde beïnvloed. Om de omvang van deze gevolgen van de verdieping te leren kennen en vast te leggen en indien nodig het beleid te kunnen aanpassen is het project Monitoring Verdieping Westerschelde opgestart.

In dit verslag zal alleen de monitoring van de geulwandverdediging in het Zuidergat worden besproken. De resultaten van de monitoring staan niet in dit verslag, aangezien de metingen pas in het tweede kwartaal van 1999 verricht worden. Helaas kunnen de resultaten van deze metingen dus niet meer opgenomen worden in dit evaluatieverslag.

I-4.1 Opzet monitoring

De verdieping van de Westerschelde is op 27 juni 1997 gestart. Deze zal vier jaar duren tot medio 2001.

Voor de uitvoering van de verdieping "48/43/38 voet" zijn de volgende werken gepland:

- Het verwijderen van wrakken en andere obstakels die liggen in de vaargeul en in de anker- en noodankergebieden. Hiermee is reeds in 1996 op kleine schaal begonnen.
- Het plaatselijk verruimen, door te baggeren, van de vaargeul en het verdiepen en eventueel verplaatsen van anker- en noodankergebieden. In de Westerschelde gaat deze verdieping tot ongeveer NAP -16 m. Dit wordt in de eerste twee jaren van de verdieping uitgevoerd. In de mond wordt een verdieping uitgevoerd van ongeveer NAP -16,8 tot -17,4 m. Deze zal in de laatste twee jaren van het verdiegingsproject plaatsvinden.
- Het plaatselijk verdedigen van geulwanden. Hier is reeds in 1996 een begin mee gemaakt.
- Herstelwerk in verband met het verlies aan natuurwaarden.

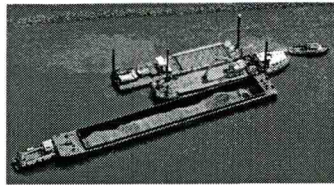
Het monitoren van de geulwandconstructie en het achterliggend voorland heeft als doel:

- 1) Controle op stabiliteit van de constructie zelf en het beschermende voorland.
- 2) Evaluatie dimensionering van de constructie d.m.v. het toetsen van de randvoorwaarden die bij het ontwerp gehanteerd zijn.
- 3) Controle op uiteenvallen van de staalslakken d.m.v. visuele inspectie.
- 4) Bepaling van het effect van de geulwandverdediging op het ecosysteem
- 5) Het meten van onderlinge verschillen in uitloging uit de gebruikte stortmaterialen.

De tijdsplanning van de monitoring van de geulwandverdediging in het Zuidergat is weergegeven in bijlage 5. De volgende metingen zullen uitgevoerd worden om bovenstaande doelen te bereiken [lit. 15]:

Controle op stabiliteit van de constructie

Peiling van raaien op een onderlinge afstand van 50 meter met een nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van 1 meter en de dieptebeïndiging 0,3 meter. De uitvoering van de peiling begint direct na het beëindigen van de aanleg, tweemaal in 1998 en de periode daarna eenmaal per jaar. Verder wordt er gecontroleerd door visuele inspectie en door middel van vastleggen met foto's tijdens laagwater.



Controle op stabiliteit van het voorland

Peiling van raaien op een onderlinge afstand van 50 meter met een nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van 1 meter en de dieptebepaling 0,3 meter. De uitvoering van de peiling begint direct na het beëindigen van de aanleg, tweemaal in 1998 en de periode daarna eenmaal per jaar. De peilingen worden uitgevoerd tijdens hoogwater en op de peiling sluit een waterpassing aan tot aan de teen van de dijk met een nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van 1 meter en de hoogtebepaling 0,1 meter.

Deze waterpassing wordt om de 200 meter gemeten. De waterpassing van de slikken achter de geulwandverdedigingen geschiedt jaarlijks in combinatie met de waterspassingen van slikken en platen in de Westerschelde. Ook het voorland wordt net als de constructie visueel geïnspecteerd met foto's. De toetsing van de uitkomsten is de vergelijking met de opnamen gemaakt na het beëindigen van het werk. Dit is voor het Zuidergat begin 1999.

Stroomsnelheidsmetingen

Als gevolg van de verruiming van de vaargeul zullen de stroomsnelheden ten oosten van Terneuzen tijdelijk 10 tot 40% toenemen [lit. 16]. De stroomsnelheid speelt een grote rol in het aanpassingsproces van de geulen na de verdieping van de drempels. Te grote stroomsnelheden kunnen een bedreiging opleveren voor de veiligheid. Dit betreft de veiligheid van de dijken en de scheepvaart.

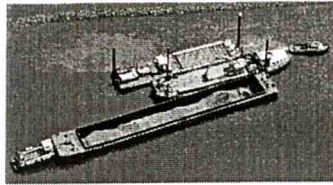
In de tweede helft van 1999 zullen de maximale stroomsnelheden in de verticaal gemeten worden in een lengteraaai evenwijdig aan de geulwand tijdens springtij. De gewenste plaatsnauwkeurigheid is horizontaal 5 meter en in de verticaal 0,5 m; de meetnauwkeurigheid van de stroomsnelheid is 5 cm/s. De raai het dichtst bij het Zuidergat is raai 5a. Deze wordt nu jaarlijks gemeten met het ADCP-systeem. Na het jaar 2002 zal deze raai voor de monitoring slechts één keer per vijf jaar worden gemeten.

Laagdikte op het veen

De dikte van de losgepakte lagen op het veen zullen gemeten worden tot een maximale dikte van 1 meter met een gewenste nauwkeurigheid van 5 cm, gelijktijdig met de waterpassing van het voorjaar van 1999 (zie controle op stabiliteit van het voorland). Om de 150 meter wordt een raai gemeten op 3 punten, namelijk nabij de geulwand, nabij het schor en ongeveer tussenin. Op de plaatsen waar de dikte van de laag meer bedraagt dan een meter, waar dus de veenlaag niet aangemeten is, zal na het optreden van erosie opnieuw op die punten gemeten dienen te worden. Bij de laagdiktemetingen is geen sprake van een toetsing. Indien de dikte vastgesteld is, worden veranderingen gemeten middels peilingen en waterpassingen. Op deze manier kunnen de morfologische ontwikkelingen in relatie tot de laagdikte van losgepakt materiaal boven het veen gevolgd worden. Dit is in verband met de ecologische waarde van het slik.

Erosie en sedimentatie

Erosie- en sedimentatieplotjes (4 stuks) in een raai loodrecht op de geulwandverdediging op het achterliggende slik worden maandelijks ingemeten. De toetsing vindt plaats door de uitkomsten af te zetten tegen de verwachtingen, die middels hypothesen in het totale monitoringproject MOVE opgesteld zijn. Door de metingen kunnen morfologische veranderingen gevolgd worden, maar zeker ook de ontwikkeling van het slik in relatie tot de jaargetijden.



Monitoring van de chemische en biologische aspecten

Omdat dit een afstudeerverslag is dat de fysische aspecten van de geulwandverdediging evalueert, worden de chemische en biologische aspecten van de bestorting verder niet uitvoerig behandeld. Voor de monitoring van de chemische en biologische aspecten worden de volgende peilingen uitgevoerd:

- *Microfytobenthos*, jaarlijkse bemonstering van fyto­benthos, dit zijn micros­chopische kleine planten die op de bodem leven en met het blote oog niet te zien zijn.
- *Macrozoöbenthos*, halfjaarlijkse bemonstering van zoöbenthos, dit zijn alle dierlijke organismen die met het blote oog zichtbaar zijn en op of in de bodem leven.
- *Sedimentsamenstelling*, bepaling van de korrelgroottesamenstelling van het slik.
- *Hardsub-organismen*, bemonstering van organismen die leven op bestortingsmateriaal.
- *Uitloging van breuksteen, staal- en fosforslakken*
- *Effecten van uitloging op hardsub-organismen*, de effecten van de uitloging op deze organismen die leven op het bestortingsmateriaal.

Voor de ontwikkeling ten gevolge van de aanleg van de geulwandverdedigingen in de Westerschelde zijn concrete hypothesen opgesteld die als volgt luiden:

De geulen in het oostelijk deel zullen niet verder inscharen.

Toelichting:

Door het aanleggen van de geulwandverdedigingen worden alle oevers waar veel inscharing wordt verwacht verdedigd. Er zal met name aandacht worden geschonken aan de einden van de geulwandverdedigingen (in lengterichting).

De slikken achter de geulwandverdedigingen zullen niet verder verlagen.

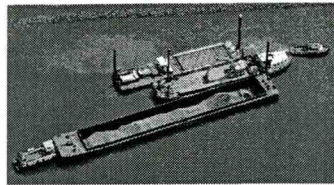
Toelichting:

De geulwandverdedigingen worden aangelegd om de achterliggende slikken en schorren te beschermen. De verlaging van de slikken wordt door deze geulwandverdedigingen tot staan gebracht.

Met behulp van de metingen die ten behoeve van de monitoring geschieden, kan worden getoetst in hoeverre de hypothesen juist zijn.



Figuur 19: Schorren en slikken in de Westerschelde



1-4.2 Dwarsprofielen

Voor de uitpeiling, oftewel de meting van de dwarsprofielen na aanleg van de geulwandverdediging, wordt gekeken naar de peilingen van de aannemerscombinatie (gemeten vlak nadat de bestorting was aangebracht). Dit zijn dwarsprofielen die om de negen meter zijn gemeten. Negen meter is de systeemmaat van de doseringsvaartuigen. Omdat het veel tijd kost om alle door de aannemer gemeten profielen te analyseren, zijn de volgende profielen geselecteerd: A, B, C, D en E. Deze profielen liggen verdeeld over de geulwandbestorting zodat een goed beeld wordt verkregen van de gemiddelde toestand van de aangebrachte bestorting. De profielen zijn weergegeven in bijlage 6. Wanneer men de boringen (uit hoofdstuk I-2.2) combineert met de dwarsprofielen komt daar het volgende uit:

Raai A (8)

Bij het profiel van raai A is te zien dat het stortmateriaal waarschijnlijk naar beneden is geschoven. Aan de bovenzijde van het talud ligt het stortmateriaal onder de ontwerphoogte, terwijl aan de voet van het talud de ontwerphoogte wordt overschreden. Mogelijk is de aannemer blijven storten totdat het theoretische profiel was bereikt. De geulrand bestaat uit veen met houtresten en daaronder klei met veel plantenresten en zand, volgens de boringen van de Meetdienst.

Raai B (97)

Ook hier is waarschijnlijk het stortmateriaal naar beneden geschoven, maar in mindere mate dan bij raai A. Duidelijk is te zien dat er in de periode tussen 23 februari en 14 oktober (dus tijdens de uitvoering) ongeveer 2,5 meter van de geulwand is weggeslagen of afgebroken. De geulwand bestaat hier uit veen en klei met veenresten. Het profiel dat aangebracht is, ligt onder de theoretische lijn. Mogelijk is men hier niet blijven aanvullen, dus de plaats waar het materiaal zat dat weggeschoven is, is niet opgevuld.

Raai C (146)

Deze raai is op 6 juli 1998 een keer extra gemeten. Op deze datum was de taludaanvulling al gestort, maar de breuksteen nog niet. De geulrand bestaat hier uit 60 cm veen met daaronder klei met veenbrokjes, schelpen en wat zand. Het profiel van de aangebrachte bestorting ligt gemiddeld 1 meter boven de lijn van het theoretische profiel.

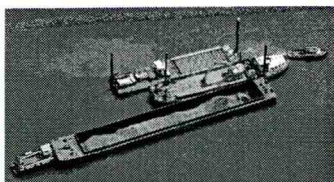
Raai D (190)

Over dit profiel is weinig op te merken. De geulrand is hier richting de slikken opgeschoven over ongeveer 2,5 meter. De grondsoort ter plaatse van de geulrand is zand (afzetting van Duinkerke, zie hoofdstuk I-2.2).

Raai E (256)

Tot een diepte van NAP -8 m is de bestorting waarschijnlijk gemiddeld 60 centimeter gezakt ten opzichte van de theoretische lijn. Onder NAP -8 m ligt de bestorting volledig volgens het theoretische profiel. Volgens de boring bestaat de ondergrond van de geulrand hier uit schelpengruis en klei.

Uit dit gedeelte van de monitoring blijkt dat het stortmateriaal tijdens het storten niet altijd op de juiste plaats terecht is gekomen, of na het stortproces is verschoven. Over bijna de gehele bestorting is dit het geval.



I-5 Conclusie

In dit evaluatieverslag is de toestand van het Zuidergat uitgediept. Het Zuidergat is een geulwandgebied in de Westerschelde, tussen Baalhoek en Walsoorden. De aanleiding voor de evaluatie was het feit dat in 1998 bij het aanbrengen van een geulwandverdediging in het Zuidergat meer materiaal is gebruikt dan geraamd. Het evaluatieverslag vormt de basis voor een adviesnota, waarin maatregelen worden gezocht om het proces van ontwerp tot en met monitoring van een geulwandverdediging te verbeteren.

De hoofdvraag van het evaluatieverslag luidt:

Hoe zag het geulwandgebied eruit vóór, tijdens en na aanleg van de geulwandverdediging?

Het Zuidergat is een grillig gebied, met een lengte van zo'n 3 kilometer. De geulwand erodeerde vóór aanleg van de bestorting, afhankelijk van de lokatie, 2 tot 9 meter per jaar. Ook de diepte aan de voet van de geulwand varieerde sterk. Op sommige plaatsen vond jaarlijks een verdieping van 1,5 meter plaats, terwijl 500 meter verder sprake was van een meter verzanding per jaar. De taludhellingen variëren van 1:1 tot 1:10 à 12. De bovenrand was soms verticaal. Met betrekking tot de ondergrond trekt vooral de aanwezigheid van een veenpakket in de bovenste lagen de aandacht. Dit veenpakket is soms dikker dan een meter.

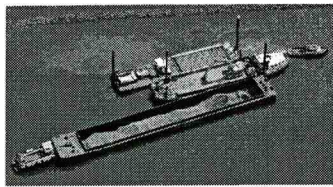
Het slik, dat zich bevindt tussen de vaargeul en de waterkering, heeft een breedte variërend van 150 tot 500 meter. Er vond hier de achterliggende jaren nauwelijks erosie of aanzanding plaats.

Naast onderzoek naar bodemligging, ondergrond en sedimentatie is ook onderzocht welke stroomsnelheden optraden ter plaatse van het Zuidergat. De stroomsnelheden in de periode vóór aanleg van de geulwandverdediging waren onder normale weersomstandigheden niet hoger dan circa 1,5 m/s.

Bij het beschrijven van het geulwandgebied tijdens de aanleg van de geulwandverdediging, komt niet alleen de uitvoering van het project ter sprake, maar vooral ook het ontwerpproces. Bij de toepassing van secundaire materialen in de Westerschelde, in dit geval staal- en fosforslakken, moet worden bekeken welke effecten deze materialen op het watersysteem hebben. Deze eis is een gevolg van de Provinciale Milieuvordering. Staalslakken mochten slechts in een maximale laagdikte van 1,30 meter worden aangebracht, omdat er volgens laboratoriumonderzoek een te hoge concentratie barium uit dit materiaal vrijkwam. De constructie van de geulwandverdediging is opgebouwd uit een taludaanvulling, bodembescherming en nabestorting. De gradering van de materialen is bepaald aan de hand van onderzoeksresultaten van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde. De taludaanvulling bestaat onder NAP -5,50 m uit staal- en fosforslakken 40-200 mm. Boven NAP -5,50 m is breuksteen 40-200 mm toegepast. De bodembescherming bestaat uit staalslakken 40-200 mm. De nabestorting, in de door windgolven belaste zone, bestaat uit breuksteen 40-200 kg.

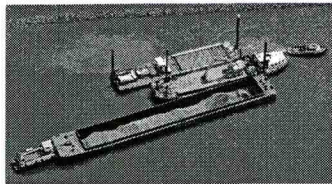
Het bestortingswerk in het Zuidergat is uitgevoerd met twee doseringsvaartuigen en een profiler. Alle systemen waren uitgerust met een DGPS-systeem, zodat met grote nauwkeurigheid gemanoeuvreed kon worden.

De ontwikkelingen van het geulwandgebied na aanleg van de bestorting worden gevolgd aan de hand van een monitoringsprogramma. De resultaten van de metingen voor deze monitoring konden niet meer opgenomen worden in de evaluatie. Wel is de opzet van het monitoringsprogramma besproken en zijn de uitpeilingen van de aannemer geanalyseerd. De uitpeilingen laten zien dat het stortmateriaal niet overal op ontwerphoogte ligt. Mogelijk is het tijdens het storten niet op de juiste plaats terechtgekomen, of is het na het storten verschoven.



Deel II Adviesnota

Welke maatregelen kunnen het ontwerp, de uitvoering en de monitoring van een geulwandverdediging verbeteren?



Hoofdstuk II-1 Achtergrond van de adviesnota

Deze adviesnota is gebaseerd op deel I van dit afstudeerverslag, het evaluatierapport over de geulwandbestorting in het Zuidergat. Omdat bij het uitvoeren van de bestorting, in 1998, 58000 ton meer steen was gebruikt dan geraamd, achtte Afdeling Rivierkunde het opstellen van een evaluatierapport over het project noodzakelijk, met daaraan gekoppeld een adviesnota met maatregelen om dergelijke verrassingen in de toekomst te voorkomen.

In deze adviesnota worden de knelpunten behandeld die tijdens het schrijven van het evaluatierapport naar voren zijn gekomen. Om deze knelpunten in de toekomst te voorkomen zijn mogelijke maatregelen gezocht. Er zijn echter ook punten naar voren gekomen die in de praktijk echter niet voor problemen zorgen. Dit kunnen dus geen knelpunten worden genoemd. Wel moet hiermee bij volgende ontwerpen rekening worden gehouden.

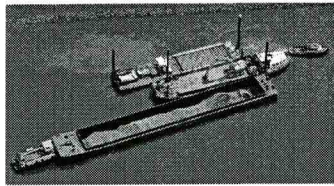
Het gaat om de volgende punten:

- Bouwstoffenbesluit
- Verhang t.g.v. stroming
- Talud
- Drempel

II-1.1 Bouwstoffenbesluit

Tijdens het ontwerp van de geulwandverdediging Zuidergat was met betrekking tot toepassing van secundaire bouwstoffen het IPO-besluit (IPO = interprovinciaal overleg) van kracht. In afwachting van het vernieuwde Bouwstoffenbesluit (BsB) dat in januari 1999 in werking zou treden, was in het IPO-besluit het interimbeleid voor de toepassing van secundaire materialen vastgelegd. De opdrachtgever had de plicht zich te houden aan het IPO-besluit. Verder is in het PMV (Provinciale Milieuverordening) geregeld dat het betrokken gebied onder de bepalingen vallen die gelden voor integrale milieubeschermingsgebieden. Het PMV verbiedt namelijk het gebruik van secundaire grondstoffen in integrale milieubeschermingsgebieden. Ook de bepalingen in het PMV waren geldig in afwachting van het vernieuwde Bouwstoffenbesluit. De normen in het vernieuwde Bouwstoffenbesluit waren minder zwaar dan de bepalingen in IPO en PMV. Directie Zeeland verkeerde tijdens het ontwerp van de geulwandverdediging (1997,1998) in het volgende dilemma: Moeten we ons, nu het BsB nog niet van kracht is al conformeren aan het BsB, of de strengere normen handhaven, vanwege het karakter van de Westerschelde als natuurgebied? Uiteindelijk heeft men besloten om de geulwandverdediging aan te leggen volgens de eisen van het IPO, mede ook omdat hiervoor reeds een WVO-vergunning was verleend. De bovenrand (vanaf NAP -5,50 m) is dus uitgevoerd in breuksteen, zoals beschreven in paragraaf I-3.1.

Provincie Zeeland gaat accoord met het toepassen van secundaire grondstoffen boven NAP - 5,00 m, nu vanaf 1 januari 1999 het BsB in werking is getreden. Bij de uitvoering van de bestorting in het Zuidergat zijn korven met breuksteen, staal- en fosforslakken geplaatst (paragraaf I-3.5). Om een jaar na aanleg de uitloging van deze materialen te kunnen meten, zijn deze korven in mei 1999 boven water gehaald en is de inhoud overgebracht naar een laboratorium. De uitloogproeven lopen nu nog. Rijkswaterstaat wacht hiervan eerst de uitslag af, voordat een beslissing genomen wordt over het te volgen beleid (voorzorgsprincipe). Men houdt namelijk rekening met de vraag welke consequenties toepassing van het Bouwstoffenbesluit heeft. Op grond van onderzoek en studie kan worden gezegd dat de concentraties microverontreinigingen in het Westerscheldewater, ook na de aanleg van de geplande geulwandverdedigingen, beneden de in Nederland gehanteerde niveaus liggen.



Het halen van de streefwaarden wordt echter door het toepassen van slakken wel bemoeilijkt. De streefwaarden zijn concentratieniveaus waaronder risico's minimaal zijn. Dit kunnen bijvoorbeeld concentraties zijn die van nature in een watersysteem voorkomen. De streefwaarden moeten op de langere termijn bereikt kunnen worden.

II-1.2 Verhang

Het ontwerp is gemaakt onder andere aan de hand van "Beoordeling voorgesteld ontwerp voor de talud- en bodembescherming te Walsoorden". Bij de berekening van het verhang van de stroming bij filterstabiliteit, wordt gebruik gemaakt van de formule van Chézy. In het rapport staat:

$$U = C \sqrt{(h * i)}$$

Omgeschreven naar het verhang luidt deze:

$$i = U^2 / (C^2 * h) = (1,37)^2 / (18 \log [12 * 10 / (2 * 0,35)])^2 * 10$$

$$i = 0,003$$

De uitkomst van de berekening is echter $i = 0,000055$. In hoofdstuk I-3.3 is al gebleken dat het verhang door scheepsgolven maatgevend is en niet het verhang door stroming. Het optredend verhang ten gevolge van stroming is nog kleiner dan door DWW berekend, dus de constructie is nog veiliger dan men dacht. In feite is hier ondanks de rekenfout geen sprake van een knelpunt.

II-1.3 Talud

Voor de toplaag geldt ten aanzien van de grondmechanische stabiliteit bij een teruggetrokken golf:

$$\text{Horizontale stroming: } \alpha \leq \rho_g' / \rho_g * \theta$$

waarbij:

α taludhelling

ρ_g' onder water gewicht grond 10,2 (kN/m²)

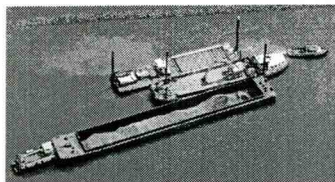
ρ_g nat gewicht grond 20,2 (kN/m²)

θ hoek van inwendige wrijving (35° voor zand)

$$\rightarrow \alpha \leq 10,2 / 20,2 * 35 \rightarrow \alpha \leq 17,7$$

\rightarrow het talud mag niet steiler worden dan 1:3,1

De uitgevoerde taludhelling van de toplaag bedraagt 1:3, dit voldoet in principe niet aan de gestelde eis t.a.v. horizontale afstroming bij de toplaag. Het talud is dus grondmechanisch niet stabiel. Mogelijk kan hierdoor schade ontstaan aan de bodem onder de bestorting. Bij een talud 1:3,5 er is sprake van grondmechanische stabiliteit. Het extra materiaalgebruik maakt deze aanpassing echter fors duurder. Het gangbare ontwerp (1:3) kan gehandhaafd blijven. De aantasting van de ondergrond bij een talud 1:3 zal zo gering zijn dat dit niet opweegt tegen de extra kosten van een talud 1:3,5.



Hoofdstuk II-2 Beschrijving van de knelpunten

In het traject van ontwerp tot monitoring van de geulwandverdediging in het Zuidergat zijn knelpunten naar voren gekomen. In dit hoofdstuk worden deze knelpunten voor respectievelijk ontwerp, uitvoering en monitoring beschreven.

II-2.1 Knelpunten ontwerp

Getijgegevens

Bij het ontwerp is het van groot belang te weten wat de waterstanden zijn ter plaatse van de aan te brengen geulwandverdediging. Om deze te weten te komen is er gebruik gemaakt van getijtafels. Dit zijn de voorspelde waterstanden voor spring-, gemiddeld- en doottij. Voor ontwerpen wordt gewerkt met een tienjarig gemiddelde, omdat het getij van jaar tot jaar kan verschillen. Neemt men de gemiddelde getijden over tien jaar, dan heeft men een redelijk beeld van hoe het getij op een bepaalde plaats verloopt. 1981.0 geeft de gemiddelde waterstanden van 1972 tot en met 1981. Deze waterstanden zijn gebruikt bij het ontwerpen van de bestorting in het Zuidergat. In 1991 is weer een tienjarig gemiddelde genomen van 1982 tot en met 1991, die 1991.0 heet. Tabel 9 geeft de gemiddelde waterstanden van 1981.0 en 1991.0 weer. Knelpunt bij het ontwerp is het feit dat men uitgegaan is van het tienjarig gemiddelde 1981.0, terwijl 1991.0 al beschikbaar is. Er is dus gewerkt met verouderde gegevens.

Tabel 9: Waterstanden als gevolg van het getij voor Hansweert, 1981.0 en 1991.0 (bron: getijtafel 1997)

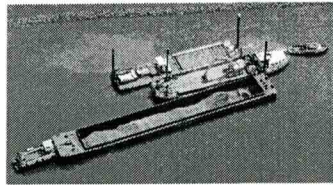
Gem. waterstanden 1972-1981 (1981.0)	Springtij	Gem. tij	Doottij
Gem. H.W.	NAP +2,68	NAP +2,35	NAP +1,88
Gem. L.W.	NAP -2,35	NAP -2,12	NAP -1,78
Waterstanden 1982-1991 (1991.0)	Springtij	Gem. tij	Doottij
Gem. H.W.	NAP +2,77	NAP +2,42	NAP +1,95
Gem. L.W.	NAP -2,28	NAP -2,06	NAP -1,70

Uit deze tabel blijkt dat het water volgens 1991.0 bij vloed gemiddeld 7,5 centimeter hoger komt en bij eb komt het water gemiddeld 7 centimeter hoger dan bij 1981.0.

Ondergrond

In een goed ontwerp dient, mede in verband met de wijze van uitvoering, tijdig te worden onderkend welke geotechnische mechanismen een rol kunnen spelen bij de stabiliteit en vervorming van de constructie. Belangrijke geotechnische mechanismen zijn:

- afschuiving
- opdrijving
- zijdelingse wegpersing of 'squeezing'
- zetting
- horizontale vervorming
- negatieve kleef



Bij het aanbrengen van de geulwandbestorting in het Zuidergat kunnen, vooral ten gevolge van aanwezigheid van een veenpakket, de volgende mechanismen zijn opgetreden:

- zetting
- squeezing
- opdrijving

Zetting

Zetting is samendrukking van grond onder invloed van een bovenbelasting. Vooral klei en veen kunnen aanzienlijk worden samengedrukt, waardoor de bovenkant van de grondconstructie in het algemeen relatief grote zettingen ondergaat. Bijlage 3 laat zien dat op sommige plaatsen in het Zuidergat een veenpakket zit met een dikte van meer dan een meter. Omdat de breuksteen soms ook op de bovenrand werd aangebracht, kan tengevolge van de belasting van de aangebrachte breuksteen het veenpakket zijn samengedrukt (initiële zetting = zetting die onmiddellijk na c.q. tijdens het aanbrengen van de belasting plaatsvindt). Hierdoor kan meer breuksteen nodig zijn geweest dan geraamd. Uit de resultaten van de monitoring zal moeten blijken of er in de bovenrand sprake is van consolidatiezetting (zetting t.g.v. uitdrijven poriënwater) en secundaire zetting (kruip). De bovenrand zal dan namelijk in de loop van de tijd nog blijven zakken, wat met behulp van peilingen zou kunnen worden vastgesteld.

Zijdelingse wegpersing of 'squeezing'

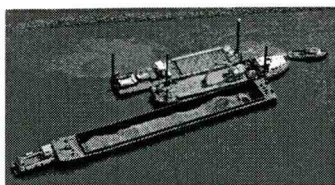
Wanneer een weinig draagkrachtige laag, die is gesitueerd boven een vaste zandlaag, wordt belast, door een ophoging waarvan de afmetingen in horizontale richting beperkt zijn, bestaat de mogelijkheid dat deze tussenliggende weinig draagkrachtige laag horizontaal wordt weggeperst, terwijl de onderlaag nauwelijks vervormingen en de bovenlaag alleen zettingen ondergaat. Dit verschijnsel staat bekend als het zogenaamd ijswafeleffect of 'squeezing' en kan in theorie ook bij het Zuidergat zijn opgetreden.

Opdrijving

Wanneer zich beneden een weinig draagkrachtige klei- of veenlaag, die vaak slecht doorlatend is, een zandlaag bevindt waarin relatief hoge waterdrukken heersen, kan in de klei- of veenlaag een instabiele situatie ontstaan ten gevolge van waterdrukverschillen. Door het aanbrengen van het breuksteen op de bovenrand van de geulwand (tot NAP -2 m), kan de waterdruk in het zand nog hoger worden. De in dit geval optredende waterdruk tegen de onderkant van de klei of veenlaag, kan de laag oplichten of doen oppersen, wanneer het eigen gewicht ervan te laag is [lit. 10].

Bodemonderzoek

In januari en februari 1997 zijn er boringen uitgevoerd door Rijkswaterstaat Meetdienst Zeeland, ter plaatse van het Zuidergat. Deze boringen gingen tot een diepte van ruim 6 m onder NAP. De resultaten van deze boringen gaven een goed beeld van de bodemgesteldheid ter plaatse van de toekomstige geulwandverdediging. De boringen laten zien dat zich op sommige plaatsen een veenpakket bevindt van enkele decimeters tot ruim een meter. In mei 1998 heeft er nog een bodembemonstering plaatsgevonden bij het Zuidergat. Deze boringen zijn genomen tot een diepte van 1,80 m onder NAP met als doel de laagdikte van het slib te meten. Ook hieruit blijkt de aanwezigheid van een veenpakket.



Bij het aanbrengen van de bestorting was in verband met de hoge plasticiteit van veen te verwachten dat er zettingen zouden optreden. Bij het ontwerp van de geulwandverdediging Zuidergat hiermee geen rekening gehouden. Ook is tijdens de evaluatie niet gebleken dat men bij het ontwerp rekening heeft gehouden met mogelijke opdrijving of squeezeing.

Er waren dus wel voldoende bodemgegevens beschikbaar, in de vorm van verschillende boringen, maar deze zijn niet betrokken bij het ontwerp van de geulwandverdediging Zuidergat.

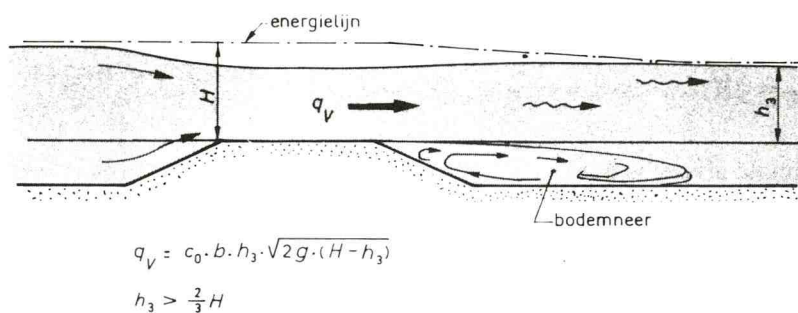
Drempel

Ongeveer halverwege het te maken werk, werd een opening gemaakt met een breedte van ca. 70 m en een lengte van 16 m en een diepte op gemiddeld NAP -6,25 m. Door deze opening kan het water stromen bij de wisseling van de getijden, zodat een getijdegeul gehandhaafd blijft ter plaatse van de opening. In deze getijdegeul is een soort drempel van breuksteen aangelegd, met het doel te voorkomen dat de stroomsnelheid in de getijdegeul te hoog wordt en uitspoeling zal ontstaan. Bij het ontwerp is echter geen rekening gehouden met het feit dat de drempel zich als een overlaat zou kunnen gedragen. Een overlaat is in principe niets anders dan een verhoging in de bodem van een open leiding [lit. 11].

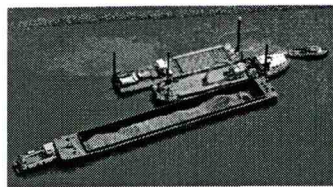
De drempel kan worden beschouwd als een lange overlaat. Een lange overlaat heeft een zodanige lengte dat er zich boven de overlaat rechte stroomlijnen ontwikkelen. Bovendien wordt bij een lange overlaat verondersteld dat de waterstand benedenstrooms en bovenstrooms van de overlaat weinig van elkaar zullen verschillen [lit. 11]. Tijdens een bezoek aan het Zuidergat is visueel geconstateerd dat de aangelegde drempel aan deze voorwaarde voldoet.

De lange overlaat is onder te verdelen in twee soorten, namelijk de volkomen overlaat en de onvolkomen overlaat. We spreken van een gestuwde afvoer of een onvolkomen overlaat wanneer de waterstand benedenstrooms invloed uitoefent op de afvoer. Het benedenwater wordt gestuwd door het water dat over de overlaat stroomt.

We spreken van een volkomen overlaat (of ongestuwde afvoer) als het benedenwater geen remmende invloed uitoefent op de afvoer. Naarmate de benedenstand lager wordt, zal het debiet van een onvolkomen werkende overlaat groter worden. De drempel in het Zuidergat is een onvolkomen lange overlaat. Figuur 20 geeft een beeld van zo'n overlaat.



Figuur 20: Onvolkomen lange overlaat

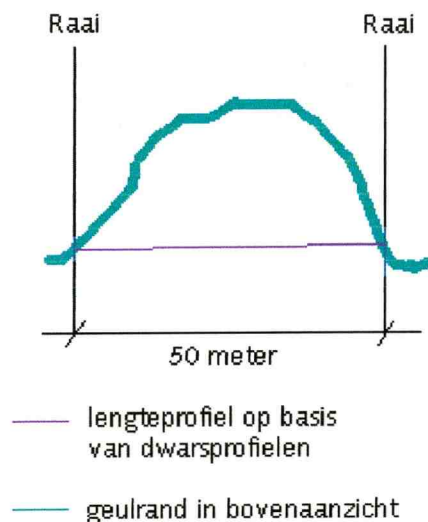


Bij een onvolkomen overlaat kan zich een bodemneer vormen. Ter plaatse van een neer op de bodem is het water in een draaiende beweging, maar neemt het geen deel aan de stroming in de langsdoorsnede. Door de draaiende beweging kan erosie ontstaan, of zelfs een ontgrondingskuil. Dit kan het bovenste deel van de geulwandverdediging ondermijnen en de constructie kan hierdoor bezwijken in het ergste geval.

Bij het ontwerp van de constructie voor de geulwandverdediging in het Zuidergat is geen rekening gehouden met het feit dat de drempel zich kan gedragen als een overlaat. In de praktijk is gebleken dat de drempel zich niet gedraagt als een overlaat, mede door het feit dat de geul geen stroomgeul is maar een getijdegeul.

Dwarsprofielen

De profielen die jaarlijks door de Meetdienst van Rijkswaterstaat worden gemeten (hoofdstuk I-2.1), liggen om de 50 meter. Dit is voor een grillig gebied als het Zuidergat echter te weinig. Figuur 21 laat een raai zien die 50 meter uit elkaar ligt. Tussen twee profielen wordt geïnterpoleerd en zo ontstaat de lijn (in de figuur het lengteprofiel op basis van dwarsprofielen) waarop de raming wordt gemaakt. Wanneer men dus om de 50 meter meet en deze dwarsprofielen interpoleert, krijgt men een verkeerd lengteprofiel van de geulwand.

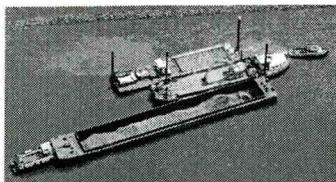


Figuur 21: Interpoleren van dwarsprofielen gemeten om de 50 meter

Kolomproef

In paragraaf I-3.1 is gezegd dat er bij het bepalen van de uitloging van stortmateriaal vragen zijn met betrekking tot de representativiteit van de kolomproef. Toch werd deze proef meestal toegepast, omdat deze aanzienlijk sneller verloopt dan de diffusieproef.

Bij de diffusieproef wordt gebruik gemaakt van ongebroken materiaal, dat enkele maanden in de proefopstelling verblijft.



Voor de snellere kolomproef wordt het monster gebroken tot kleiner dan 4 mm. De breekstappen zijn nodig, omdat de uitloognorm NEN 7343 voor de kolomproef voorschrijft dat de uitloging moet plaatsvinden aan een korrelgrootte kleiner dan 4 mm. Ook dient te worden voorkomen dat oxidatieverschijnselen optreden. Bij het uitloogonderzoek van de staalslakken van het Zuidergat werd daarom door INTRON, het instituut dat het uitloogonderzoek uitvoert, het gebroken materiaal < 4 mm meteen na breken onder stikstof bewaard. Na uitvoering van de kolomproef op het materiaal, bleek dat bij staalslakken de uitloging van barium te hoog was. De diffusieproef, waarvan de gegevens pas later bekend werden, wees dit echter niet uit.

Volgens INTRON moet de oorzaak hiervan worden gezocht in het breken van het materiaal.

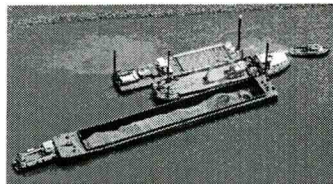
Uitloging is een gevolg van oxidatie, de reactie van het oppervlak van het materiaal met de zuurstof in de lucht. In de praktijk liggen de partijen LD-staalslak vele maanden opgeslagen in weer en wind en dit betekent dus vrij spel voor oxidatie. In het werk waar het materiaal wordt toegepast, wordt het materiaal ongebroken in oppervlaktewater aangebracht. Er ontstaan dus geen verse breukvlakken, die in het water zouden kunnen gaan oxideren en dus uitlogen.

Wordt de LD-staalslak onderworpen aan een diffusieproef, dan wordt de LD-staalslak niet gebroken. Nu blijkt dat de uitloging zeer gering is. Bij deze diffusieproef zijn geen verse breukvlakken gemaakt, die nog zouden kunnen oxideren. De diffusieproef is dus representatief voor de werkelijke situatie.

Het hoge bariumgehalte dat bij de kolomproef uitloogt uit het gebroken materiaal is te wijten aan de NEN/NVN 7300, waarin staat dat voorzorgsmaatregelen moeten worden getroffen om uitloging te voorkomen. Door het tegengaan van oxidatie door middel van afdekking onder stikstof, wordt afgeweken van de situatie in de praktijk, waar de slakken langdurig aan de buitenlucht worden blootgesteld.

Daardoor kan pas tijdens het uitvoeren van de kolomproef uitloging plaatsvinden. Dit is niet representatief voor de werkelijke situatie, waarbij deze uitloging al in de buitenlucht heeft plaatsgevonden. Ook het breken van het materiaal bevordert de representativiteit van de kolomproef niet. Door het breken ontstaan zeer veel verse breukvlakjes, die alle gaan oxideren, waardoor een veel sterkere uitloging plaatsvindt, dan in de praktijk zou plaatsvinden.

Doordat het ontwerp van de geulwandverdediging Zuidergat is gebaseerd op de uitkomsten van kolomproeven, is daar alleen staalslak gebruikt in een maximale toepassingshoogte van 1,30 m. De rest van de taludaanvulling is uitgevoerd in fosforslakken. Dit is voor Rijkswaterstaat financieel gezien ongunstig geweest, omdat uitgezeefde fosforslakken (40-200 mm) duurder zijn dan staalslakken in dezelfde gradering. Staalslakken kosten circa 22 gulden per ton, terwijl fosforslakken bijna 25 gulden per ton kosten (leveren + verwerken).



II-2.2 Knelpunten uitvoering

Hoeveelheden

Tijdens de uitvoering van de bestorting in het Zuidergat is er totaal ruim 58.000 ton teveel steen gebruikt over een lengte van 3 kilometer. Tabel 10 geeft aan om welke hoeveelheden het per steensoort gaat.

Tabel 10: Geraamde en verwerkte hoeveelheden per steensoort

Omschrijving	Gebruikt (ton)	Geraamd (ton)	Vershil (ton)	Vershil
Breksteen 40-200 kg	54.514	50.320	4.194	8,3%
Breksteen 40-200 mm	83.926	73.350	10.576	14,4%
Fosforslakken	101.096	64.000	37.096	58%
Staalslakken	312.763	306.000	6.227	2,0%
totaal	551.763	493.670	58.093	11,8%

Het stortproces

Bij het aanbrengen van de bestorting is er gebruik gemaakt van twee verschillende doseringsvaartuigen en een profiler (zie hoofdstuk I-3.4). Met een doseringsvaartuig wordt er gestort vanaf de waterlijn. Er kan dan verplaatsing optreden van het materiaal als het naar beneden zakt.

Een bedrijf dat digitale meetsystemen ontwikkeld voor toepassing in de waterbouw is IHC-Systems. Tijdens een interview met twee surveyors van IHC vertelde één van hen dat hij de ervaring had dat een sortering 40-200 mm te fijn is om vanaf de waterlijn te storten. Een behoorlijk percentage van de fijnere fractie gaat dan verloren ten gevolge van de ontmenging en spreiding in stromend water. Hierdoor zijn dus ook extra tonnen bestortingsmateriaal nodig.

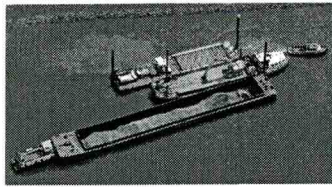
Rijkswaterstaat gaat echter van het volgende uit: "Over verlies van materiaal tijdens en na de aanleg van de geulwandverdediging kan het volgende gesteld worden. Door bepalingen in het bestek omtrent het storten tijdens stroming, de dimensionering van het te storten materiaal en de nauwkeurigheid van de gebruikte plaatsbepaling kan aangenomen worden dat geen materiaalverlies tijdens het aanbrengen zal optreden" [lit. 16].

In onderstaande subparagrafen wordt bekeken in hoeverre de veronderstelling van Rijkswaterstaat juist is.

Ontmenging tijdens het storten

Bij het storten in stilstaand of stromend water, kan ontmenging optreden op de weg die het materiaal ondergaat vanaf het stortschip tot op de bodem. Dit wil zeggen dat de fijnere delen uit het mengsel op een andere plaats terecht komen dan de grovere delen. Wanneer dit verschijnsel optreedt, voldoet de sortering niet langer aan de door de filterregels opgelegde graderingsnorm. Deze ontmenging kan tijdens het stortproces op twee manieren optreden, te weten:

1. Verschil in valsnelheid, waardoor grovere korrels eerder de bodem bereiken dan de fijnere korrels. De valsnelheid wordt hieronder berekend. Dit noemen we in het verslag verticale ontmenging.
2. Verschil in horizontale uitwijking bij het storten in stromend water, wat horizontale ontmenging genoemd wordt. Dit komt verderop aan bod.



Berekening van de valsnelheid:
Voor de berekening van de valsnelheid geldt:

$$W^2 = 4/3 * (\Delta * D_n / C_s) * g$$

Waarbij:

W valsnelheid [m/s]

Δ relatieve dichtheid materiaal [-]

$$\begin{aligned} \text{staalslakken: } \Delta &= (\rho_{\text{mat.}} - \rho_{\text{water}}) / (\rho_{\text{water}}) = (3200 - 1015) / (1015) = 2,15 \\ \text{fosforslakken: } \Delta &= (\rho_{\text{mat.}} - \rho_{\text{water}}) / (\rho_{\text{water}}) = (2700 - 1015) / (1015) = 1,66 \end{aligned}$$

D_n nominale steendiameter [m]

$$\begin{aligned} \text{sortering 40-200 mm: } D_n &= 0,84 * D_{50} [\text{lit. 12}] = 0,84 * 0,077 = 0,065 \text{ m} \\ D_{50} &= 0,077 \text{ is afgelezen uit grafiek 2} \end{aligned}$$

g valversnelling [m/s²] g = 9,81 m/s²

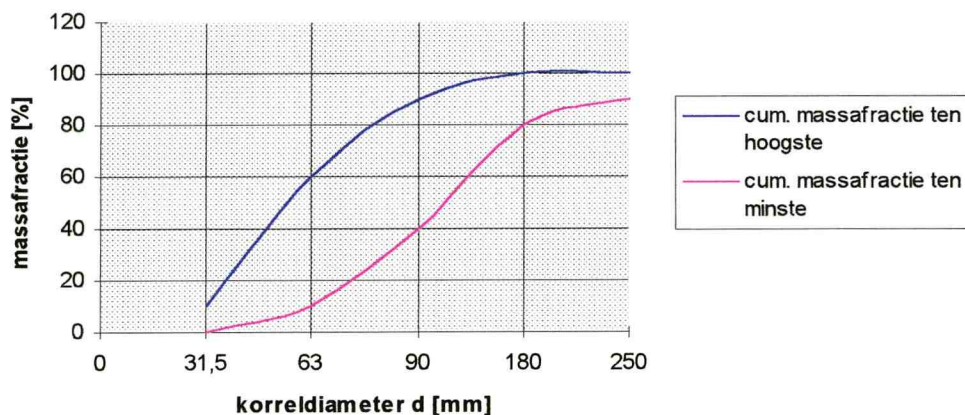
C_s sleepcoëfficiënt [-]

$C_s = 0,5$ voor grove, ronde korrels [lit. 11]

$C_s = 1,2$ voor afgeplatte, plaatvormige korrels [lit. 11]

Omdat slakken niet bepaald rond of afgeplat zijn, is voor de berekening van de valsnelheid gebruik gemaakt van het gemiddelde van deze waarden: $C_s = 0,85$.

**korrelverdeling steenachtige materialen
40-200 mm
(bron: werkbestek ZL-4055)**



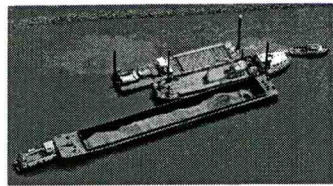
Grafiek 2: voorgeschreven relatie korreldiameter-massafractie

Voor de formule van de valsnelheid geldt:

$$W^2 = 4/3 * (\Delta * D_n / C) * g$$

ofwel

$$W = \sqrt{4/3 * (\Delta * D_n / C) * g}$$



Fosforslakken:

$$W = \sqrt{(4/3 * (1,66 * 0,065/0,85) * 9,81)} = 1,29 \text{ m/s}$$

Staalslakken:

$$W = \sqrt{(4/3 * (2,15 * 0,065/0,85) * 9,81)} = 1,47 \text{ m/s}$$

Bij bovenstaande berekeningen is er gerekend met de nominale steendiameter. Wanneer voor verschillende diameters van de sortering de valsnelheid wordt berekend, is er duidelijk verschil in snelheid. In tabel 11 zijn voor enkele willekeurige diameters uit de sortering 40-200 mm, de valsnelheid en de valtijd berekend voor fosforslakken en staalslakken.

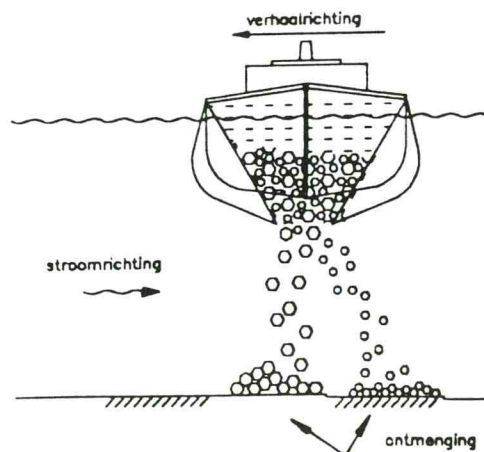
De afstanden waarvoor de valtijd is berekend, is de afstand tussen de waterlijn en het te bestorten gedeelte van de geulwand.

Tabel 11: Verschillende korreldiameters hebben verschillende valsnelheden

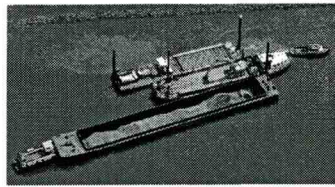
D (m)	Fosforslakken				Staalslakken			
	Valsnelheid (m/s)	Valtijd (s)			Valsnelheid (m/s)	Valtijd (s)		
		2 m	8 m	15 m		2 m	8 m	15 m
0,032	0,90	2,22	8,89	16,67	1,02	1,96	7,84	14,71
0,040	1,01	1,98	7,92	14,85	1,15	1,74	6,96	13,04
0,070	1,34	1,49	5,97	11,19	1,52	1,32	5,26	9,87
0,110	1,68	1,19	4,76	8,93	1,91	1,05	4,19	7,85
0,150	1,96	1,02	4,08	7,65	2,23	0,90	3,59	6,73
0,170	2,08	0,96	3,85	7,21	2,37	0,84	3,38	6,33
0,200	2,26	0,88	3,54	6,64	2,57	0,78	3,11	5,84

Uit deze tabel blijkt: hoe groter de korreldiameter, hoe groter de valsnelheid.

Het is te verwachten dat wanneer men slakken met een gradering van 40-200 mm stort vanaf de waterlijn, dus ook met een doseringsvaartuig, er ontmenging optreedt. Het fijnere materiaal zal langzamer zakken dan het grotere, en zal dus bovenop komen te liggen. Doordat de kleinere deeltjes de bovenkant van de constructie vormen en niet bestand zijn tegen de ter plaatse optredende stroomsnelheden, zal de constructie minder duurzaam zijn.



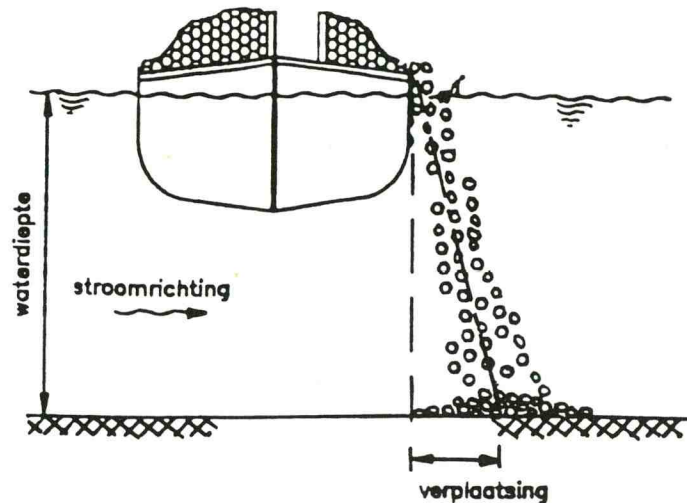
Figuur 22: ontmenging



Bovendien kan naast ontmenging ook nog verplaatsing optreden, zodat het materiaal geheel niet op de gewenste plaats komt te liggen. Wat de verplaatsing van het materiaal tijdens het storten in het Zuidergat kan zijn, wordt hieronder behandeld.

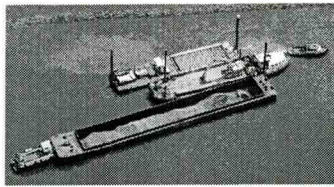
Verplaatsing

Indien er gestort wordt onder stromingscondities zal er meer rekening gehouden moeten worden met een extra verplaatsing van het stortmateriaal, dan wanneer men in stilstaand water stort. Deze verplaatsing, zoals aangegeven in figuur 23, moet gecorrigeerd worden op de stortpositie van het stortschip.



Figuur 23: Verplaatsing t.g.v. stroming [bron: handboek uitvoering bodemverdedigingsconstructies van losgestorte granulaire materialen]

Er is ook nog verschil in verplaatsing wanneer het stortschip met de kop op stroom ligt, of dwars op de stroom ligt. Hieronder wordt berekend wat het verschil is tussen deze twee posities van het schip.



KOP OP STROOM, stortmiddel evenwijdig aan stroomrichting

$$l_k = h_o * (C_l / \sqrt{\Delta g D_b}) * U * \cos \alpha$$

$$d_k = h_o * (C_d / \sqrt{\Delta g D_b}) * U * \sin \alpha$$

Waarin:

- l_k Verplaatsing in lengterichting [m]
 d_k Verplaatsing in dwarsrichting [m]
 h_o Waterdiepte [m] Bij hoogwater: 19,4 m, bij laagwater: 14,9 m
 C_l / C_d Weerstandscoefficiënt
 Voor dwars op stroom geldt: $C_d = 0,86 \Delta^{-1/2}$

→ Fosforslakken: $\Delta = (\rho_{mat.} - \rho_{water}) / (\rho_{water}) = (2700 - 1015) / (1015) = 1,66$
 $C_d = 0,86 \Delta^{-1/2} \rightarrow 0,86 * 1,66^{-1/2} = 0,67$
 $C_l = 1/3 C_d \rightarrow 1/3 * 0,67 = 0,22$
 → Staalslakken: $\Delta = (\rho_{mat.} - \rho_{water}) / (\rho_{water}) = (3200 - 1015) / (1015) = 2,15$
 $C_d = 0,86 \Delta^{-1/2} \rightarrow 0,86 * 2,15^{-1/2} = 0,59$
 $C_l = 1/3 C_d \rightarrow 1/3 * 0,59 = 0,2$

Voor kop op stroom geldt $C_l = 1/3 C_d$ [-] [lit. 7]

- Δ $(\rho_{mat.} - \rho_{water}) / (\rho_{water})$ [-]
 g valversnelling [m/s^2] $g = 9,81 m/s^2$
 D_b karakteristieke steendiameter [m]
 hiervoor geldt: $D_b = \sqrt[3]{(6/\pi * M_{50} / \rho_{mat.})}$

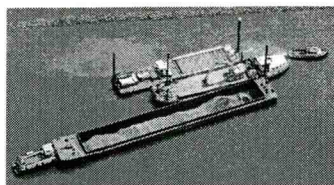
$M_{50} = \rho_{mat.} * D_n^3$
 sortering 40-200 mm: $D_n = 0,84 * D_{50} = 0,84 * 0,077 = 0,065 m$
 fosforslakken: $\rho_{mat.} = 2700 kg/m^3 \rightarrow M_{50} = 2700 * (0,065)^3 = 0,74 kg$
 staalslakken: $\rho_{mat.} = 3200 \rightarrow M_{50} = 3200 * (0,065)^3 = 0,88 kg$
 → Fosforslakken: $D_b = \sqrt[3]{(6/\pi * M_{50} / \rho_{mat.})} = \sqrt[3]{(6/\pi * 0,74 / 2700)} = 0,08 m$
 → Staalslakken: $D_b = \sqrt[3]{(6/\pi * M_{50} / \rho_{mat.})} = \sqrt[3]{(6/\pi * 0,88 / 3200)} = 0,08 m$

- M_{50} Massa van een steen overschreden door 50% van de massa [kg].
 U Stroomsnelheid [m/s]
 α Aanstroomhoek [graden] Deze is 0 graden.

Opmerkingen bij de factoren waterdiepte en aanstroomhoek:

Waterdiepte

De stroomsnelheid treedt op in het kenteringsvenster van 0,5 m/s. De waterdiepte tijdens het storten heeft dus twee waarden, namelijk één bij hoogwater en één bij laagwater. De diepte van de geul is gemiddeld NAP -17 m, bij hoogwater komt daar 2,42 m bij (waterdiepte is dan 19,4 m) en bij laagwater gaat daar 2.06 m af (waterdiepte is dan 14,9 m).

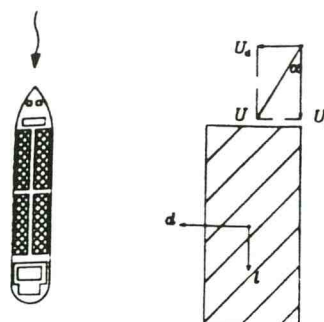


Aanstroomhoek

De aanstroomhoek wordt op nul graden gehouden, omdat de berekening voor de stroomrichting evenwijdig aan het stortmiddel is. Figuur 24 laat dit zien.

Omdat de aanstroomhoek nul is, zal er theoretisch ook geen verplaatsing van het materiaal in de dwarsrichting optreden, immers $\sin 0 = 0$. De formule $d_k = h_o * (C_d / \sqrt{\Delta g D_b}) * U * \sin \alpha$ wordt niet uitgerekend, omdat deze toch nul is wanneer de aanstromingshoek nul is.

l = verplaatsing in lengterichting
 d = verplaatsing in dwarsrichting
 U = stroomsnelheid
 α = aanstroomhoek



Figuur 24: Kop op stroom (bron: handboek uitvoering bodemverdedigingsconstructies van losgestorte granulaire materialen)

Invullen van de formule:

$$l_k = h_o * (C_l / \sqrt{\Delta g D_b}) * U * \cos \alpha$$

Fosforslakken

$$\text{Laagwater: } l_k = 14,9 * (0,22 / \sqrt{(1,66 * 9,81 * 0,08)}) * 0,5 * \cos 0 = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Hoogwater: } l_k = 19,4 * (0,22 / \sqrt{(1,66 * 9,81 * 0,08)}) * 0,5 * \cos 0 = 1,9 \text{ m}$$

Staalslakken

$$\text{Laagwater: } l_k = 14,9 * (0,2 / \sqrt{(2,15 * 9,81 * 0,08)}) * 0,5 * \cos 0 = 1,1 \text{ m}$$

$$\text{Hoogwater: } l_k = 19,4 * (0,2 / \sqrt{(2,15 * 9,81 * 0,08)}) * 0,5 * \cos 0 = 1,5 \text{ m}$$

DWARS OP STROOM, stortmiddel dwars op stroomrichting

$$l_d = h_o * (C_l / \sqrt{\Delta g D_b}) * U * \sin \alpha$$

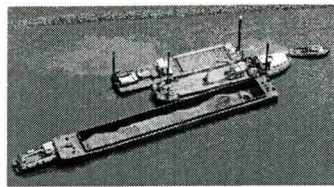
$$d_d = h_o * (C_d / \sqrt{\Delta g D_b}) * U * \cos \alpha$$

Hierin is:

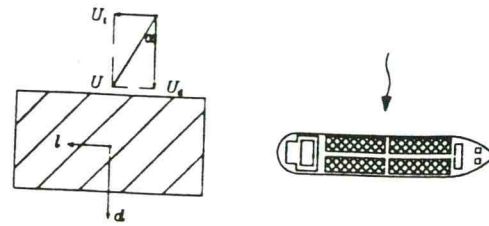
l_k Verplaatsing in lengterichting [m]

d_d Verplaatsing in dwarsrichting [m]

Voor de andere parameters van de formule kunnen de waarden ingevuld worden die bij de formule van kop op stroom ook gebruikt zijn. Ook hier wordt de aanstroomhoek nul genomen. Hieruit blijkt dat de verplaatsing in de lengterichting niet hoeft berekend te worden, want $\sin 0 = 0$ (figuur 25).



l = verplaatsing in lengterichting
 d = verplaatsing in dwarsrichting
 U = stroomsnelheid
 α = aanstroomhoek (0)



Figuur 25: Dwars op stroom (bron: handboek uitvoering bodemverdedigingsconstructies van losgestorte granulaire materialen)

Invullen van de formule:

$$d_d = h_o * (C_d / \sqrt{\Delta g D_b}) * U * \cos \alpha$$

Fosforslakken

$$\text{Laagwater: } d_d = 14,9 * (0,67 / \sqrt{(1,66 * 9,81 * 0,08)}) * 0,5 * \cos 0 = 4,4 \text{ m}$$

$$\text{Hoogwater: } d_d = 19,4 * (0,67 / \sqrt{(1,66 * 9,81 * 0,08)}) * 0,5 * \cos 0 = 5,7 \text{ m}$$

Staalslakken

$$\text{Laagwater: } d_d = 14,9 * (0,59 / \sqrt{(2,15 * 9,81 * 0,08)}) * 0,5 * \cos 0 = 3,4 \text{ m}$$

$$\text{Hoogwater: } d_d = 19,4 * (0,59 / \sqrt{(2,15 * 9,81 * 0,08)}) * 0,5 * \cos 0 = 4,4 \text{ m}$$

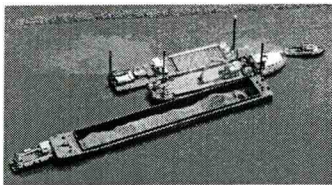
Tabel 12: Overzicht van de verplaatsing bij laag- en hoogwater voor staal- en fosforslakken

	FOSFORSLAKKEN		STAALSLAKKEN	
	laag water	hoog water	laag water	hoog water
l_k (kop op stroom)	1,4 m	1,9 m	1,1 m	1,5 m
d_d (dwars op stroom)	4,4 m	5,7 m	3,4 m	4,4 m

De uitgevoerde berekening is eigenlijk bedoeld om de verplaatsing van stortmateriaal uit te rekenen bij het storten met een zijstorter of slijtbak. Voor een doseringsvaartuig kunnen de gevonden waarden enigszins afwijken. Al naar gelang de stortpositie, stroomsnelheid, stroomrichting en diepte kan het stortmateriaal tot enkele meters verplaatsen tijdens het storten. Omdat hiermee geen rekening is gehouden, is het heel goed mogelijk dat hierdoor een bepaalde hoeveelheid materiaal op een verkeerde plaats is terecht gekomen, ook al heeft men zich gehouden aan het voorgeschreven kenteringsvenster. Er is een duidelijk verschil in verplaatsing wanneer men met dwars op stroom stort of kop op stroom. Bij dwars op stroom is de verplaatsing ongeveer drie keer zo groot.

Stroomsnelheidsgegevens

Bovenstaande berekening wijst uit dat er bij het storten vanaf de waterlijn enkele meters verplaatsing optreedt van het stortmateriaal als de stroomsnelheid circa 0,5 m/s is. Volgens het bestek ZL-4055 mocht alleen worden gestort tijdens de kentering, of wanneer de stroomsnelheid minder dan 0,5 m/s bedroeg. Omdat de output van de stroomsnelheidsmetingen, die tijdens het storten moesten worden gedaan, niet zijn bewaard door de directie, kan niet worden nagegaan hoe de situatie in het Zuidergat was ten opzichte van optredende stroomsnelheden. Ook eventuele overschrijding van het kenteringsvenster kan dus niet worden achterhaald.



Als de aannemer zich niet aan het voorgeschreven kenteringsvenster heeft gehouden, kan de verplaatsing nog groter geweest zijn dan in de vorige alinea is berekend. In de praktijk werd er zo'n 1½ uur per werkdag niet gestort. Als men het kenteringsvenster intekent in de stroommeting van bijlage 4, meetpunt 1, blijkt dat in theorie slechts 4 uur per werkdag kan worden gestort. Dat in de praktijk langer werd gestort, komt waarschijnlijk omdat men in ondiep water werkte. Toch is het goed mogelijk dat het voorgeschreven kenteringsvenster is overschreden.

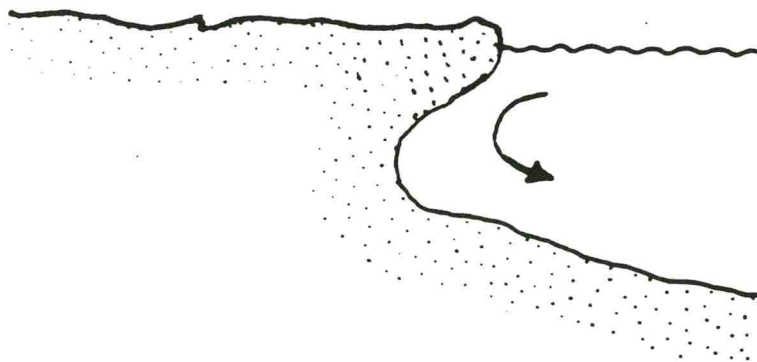
Tussentijd stortperiode

Tijdens de uitvoering van de bestorting stagneerde de aanvoer van breuksteen. Toen de taludaanvulling van fosfor- en staalslakken al was aangebracht tot NAP -5,50 m, kon de breuksteen in de door windgolven belaste zone niet worden aangebracht. Hierdoor werd de geulrand blootgesteld aan scheeps- en windgolven die braken op de taludaanvulling. Dit heeft waarschijnlijk aanzienlijke beschadiging van de geulrand tot gevolg gehad.

Wanneer een bestortingsconstructie uit meerdere lagen wordt opgebouwd, en er enig tijdsverloop is tussen het aanbrengen van de opeenvolgende lagen, kan zich sediment afzetten op de reeds gestorte laag. Hierdoor bestaat de kans dat er een zodanige hoeveelheid sediment ingesloten wordt, dat dit uit oogpunt van functionering (filterregels) ontoelaatbaar is. Daar de opvolgende filter- of toplaag niet zand- en slibdicht is, bestaat het gevaar dat onder een zekere belasting het sediment erodeert, met als gevolg ongewenste zettingen. Vooral een mengsel van zand en slib heeft, afhankelijk van de onderlinge verhouding, de eigenschap dat het snel kan stabiliseren, waardoor een slechte waterdoorlatendheid ontstaat, zodat de filterfunctie teniet kan worden gedaan [lit. 7].

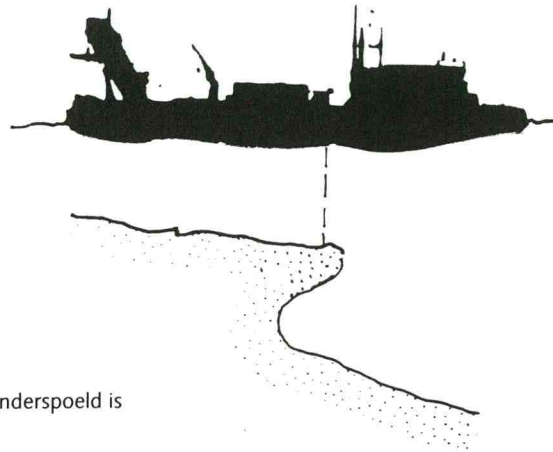
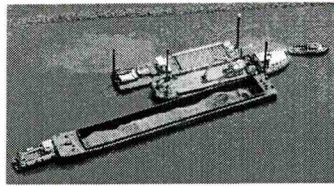
Onderspoeling van de geulrand

Tijdens de uitvoering van een bestorting kwam men erachter dat de geulrand op sommige plaatsen onderspoeld was. Zo'n onderspoelde geulrand ontstaat door erosie van de zandlaag onder een veenpakket. Het veenpakket is beter bestand tegen de scheeps- en windgolven dan het zand. Het veenpakket blijft stabiel, terwijl het zand wordt weggevoerd. Figuur 26 laat zien wat men met een onderspoelde geulrand bedoelt.



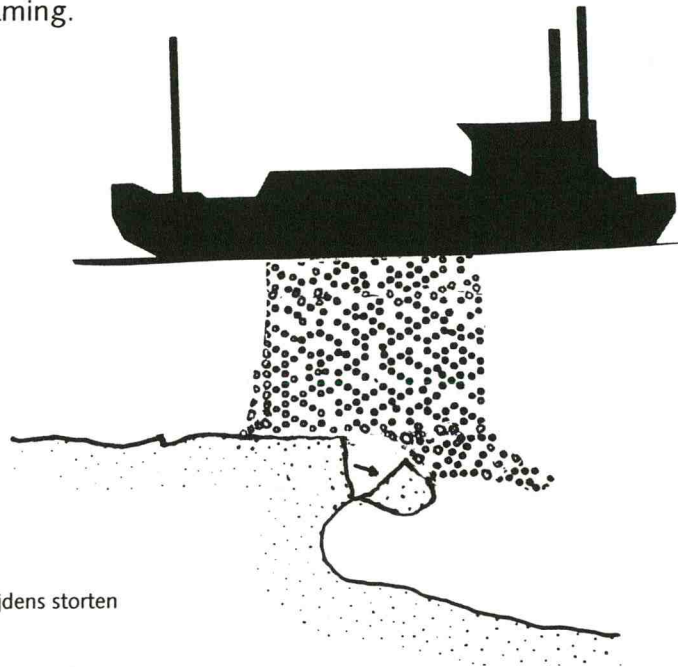
Figuur 26: Onderspoelde oever

Dat de bovenrand onderspoeld was, viel overigens niet op te maken uit de dwarsprofielen, maar bleek bij de uitvoering van het werk. Dat een onderspoelde oever niet door een meetschip gesignaleerd wordt, is duidelijk gemaakt in figuur 27.



Figuur 27: Meten van een oever die onderspoeld is

Wanneer men op een onderspoelde oever gaat storten, kan de oever afbreken (figuur 28). Het weggeslagen materiaal moet worden opgevuld. Dit kan een belangrijke oorzaak zijn van de overschrijding van de raming.

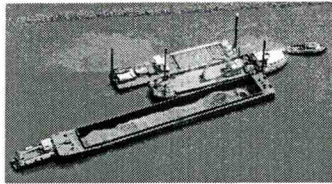


Figuur 28: Afbreken van een oever tijdens storten

Profiler

De term 'profiler' schijnt hoofdzakelijk in Zeeland te worden gebruikt volgens enkele mensen uit de aannemerswereld. Onder een profiler wordt verstaan: een bestortingswerktuig voorzien van een hydraulische kraan, die het bestortingsmateriaal rechtstreeks op de bodem aanbrengt. In de oorspronkelijke betekenis werd onder deze term verstaan: een meetinstrument om onder water de helling van een zinkstuk continu te kunnen meten.

De taludaanvulling in het meest oostelijke deel van de geulwandverdediging is over een lengte van circa 900 meter aangebracht door een profiler. De rest van de taludaanvulling is gedoseerd aangebracht. Hoewel dit niet direct is op te maken uit de uitpeilingen, wordt verondersteld dat met een profiler meer steen per strekkende meter wordt verbruikt dan met een doseringsvaartuig. De profiler vult namelijk aan tot de ontwerphoogte van het talud, zoals die staat ingevoerd in de monitor van de profiler. Wanneer een deel van de bestorting tijdens het aanbrengen 'verdwijnt', bijvoorbeeld door het wegzakken in de ondergrond, ziet de machinist van de profiler op zijn monitor dat de ontwerphoogte nog niet is bereikt en

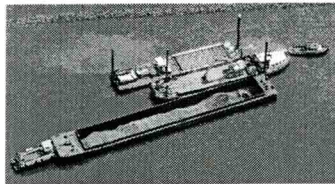


brengt hij extra steen aan. Bij een slappe ondergrond worden met een profiler dus grote hoeveelheden 'teveel' aangebracht.

Een doseringsvaartuig brengt het vereiste gewicht aan en houdt verder geen rekening met het ideale talud, ofwel de ontwerphoogte. Wel wordt, als men vermoedt dat de ontwerphoogte nog niet is bereikt, een extra laag aangebracht.

II-2.3 Knelpunten monitoring

Bij de bestudering van de opzet van de monitoring zijn geen knelpunten geconstateerd. Alle metingen die worden verricht zijn nodig om de ontwikkeling in de Westerschelde te kunnen volgen. Over de meetresultaten en de verwerking hiervan kan nog weinig worden opgemerkt, omdat er nog weinig resultaten bekend zijn.



Hoofdstuk II-3 Mogelijke aanpassingen

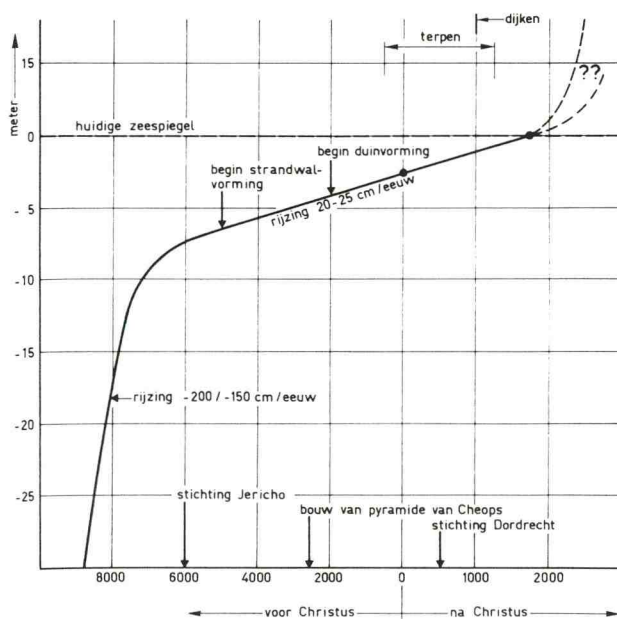
In onderstaande paragrafen zullen maatregelen worden besproken die mogelijk een oplossing vormen voor de knelpunten die in het vorige hoofdstuk zijn besproken.

II-3.1 Mogelijke aanpassingen van het ontwerp

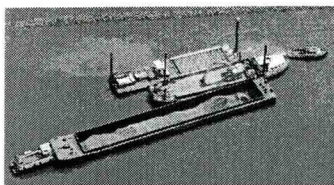
Getijgegevens

Bij het ontwerp is men uitgegaan van het tienjarig gemiddelde 1981.0, terwijl 1991.0 al beschikbaar was. De getijgegevens worden onder andere gebruikt voor het berekenen van de golfhoogte. Bij het Zuidergat bleek dat de golfhoogte niet erg gevoelig was voor de waterstand (paragraaf I-3.2). Op andere locaties kan dit echter wel het geval zijn. Daarom is het bij het ontwerp van volgende geulwandverdedigingen raadzaam gebruik te maken van de meest recente gegevens.

Gezien de geplande levensduur van een waterbouwkundige verdedigingsconstructie, doorgaans 50 jaar, kan het goed zijn bij het ontwerp rekening te houden met de zeespiegelrijzing. Reeds zeer lange tijd vindt over de gehele aarde een rijzing van de zeespiegel plaats. Sinds het begin van de jaartelling is de zeespiegel inmiddels al zo'n 3 meter gestegen. Voor werken aan zee werd in Nederland tot voor kort uitgegaan van een zeespiegelrijzing van 20 à 25 cm per eeuw (zie figuur 29). Over de periode 1850-1950 was de zeespiegelrijzing inderdaad zo'n 25 cm/eeuw. Gedurende het laatste decennium lijkt deze stijging echter 5x zo groot (gem. 12 à 13 cm per 10 jaar). Dit kan onder andere te maken hebben met het broeikas effect, dat ervoor zorgt dat de aarde warmer wordt. Daardoor smelten gletsjers af en door opwarming van het klimaat zet ook het water van de wereldzeeën uit [lit. 11]. Als deze zeespiegelrijzing zich doorzet, is de zeespiegel over 50 jaar ruim 60 cm hoger. Daar de Westerschelde een rivier is die zich richting Antwerpen steeds meer vernauwt (trechtersvorm) zal de zeespiegelrijzing daar groter zijn dan 60 cm (opslingering). In verband met de referentietijd van een geulwandverdediging is het dus verstandig de constructie te ontwerpen op de verwachte waterstand over 50 jaar.



Figuur 29: Zeespiegelrijzing (lange termijn) (bron: Nortier, Toegepaste Vloeistofmechanica)



De huidige verdieping kan leiden tot een toename van het getijverschil. Bij de verdieping in de jaren '70 was dit ook het geval. Door de verdieping wordt het V-vormige profiel van de rivier namelijk scherper. Ook dit aspect kan bij het ontwerp worden betrokken. Modelberekeningen zijn hierbij een hulpmiddel.

Ondergrond

Bij het ontwerp van de geulwandverdediging Zuidergat is geen rekening gehouden met de resultaten van het uitgevoerde bodemonderzoek. In verband met de bodemgesteldheid van met name de geulrand, was te verwachten dat er zetting zou optreden bij het aanbrengen van een bestorting. Ook met grondmechanische verschijnselen zoals zijdelingse wegpersing is geen rekening gehouden.

De grondmechanische stabiliteit van een constructie kan worden berekend. Bij het ontwerp van een geulwandverdediging kan op basis van boringen een zettingsberekening plaatsvinden, zodat men rekening kan houden met een bepaalde hoeveelheid materiaalverlies ten gevolge van dit verschijnsel. Ook de kans op afschuiving van een talud kan worden berekend. Blijkt een gebied gevoelig voor afschuiving, dan kan gekozen worden voor een zwaardere/langere bodembescherming. De gevoeligheid van de ondergrond voor zijdelingse wegpersing kan ook worden berekend. Als de ondergrond gevoelig is voor dit verschijnsel en hierdoor groot materiaalverlies dreigt, kan besloten worden de bovenste, weinig draagkrachtige laag te verwijderen.

Ook al worden er geen maatregelen getroffen om de beschreven grondmechanische verschijnselen te voorkomen, toch is het noodzakelijk om de kans van optreden van deze verschijnselen te berekenen. Het bijbehorende materiaalverlies kan dan worden geraamd, en men komt bij de uitvoering van het werk niet voor verrassingen te staan.

De geulwand van het Zuidergat is erg grillig, omdat de bodem daar onder andere bestaat uit veenlagen. Wanneer bij het aanbrengen van een geulwandverdediging de natuurlijke loop van de geulrand wordt gevolgd, kost dit heel veel stortsteen. Om hierop te besparen zou de geulwand geëgaliseerd kunnen worden door uitstekende delen van de geulwand af te graven. Voor het afgegraven zand en klei is waarschijnlijk wel een bestemming te vinden. Eventueel kan dit materiaal worden gestort. Eén van de problemen waarop men is gestuit was de vraag waar men moest blijven met het afgegraven veen. Dit materiaal blijft drijven en kan dus niet worden gestort in het oppervlaktewater. Voor opslag aan land is een vergunning nodig. Omdat men op bovenstaande vraag tot dusver geen oplossing had, werd de keus gemaakt om het veen te laten zitten, waardoor dus erg veel steen werd gebruikt. RIKZ Haren heeft onderzoek verricht naar de mogelijke toepassing van compostbodems in baggerdepots. Er is onderzocht of een combinatie van compost en actieve kool als onderlaag kan worden gebruikt. Het idee was dat dit mengsel schadelijke stoffen aan zou binden, zodat deze niet in het milieu konden spoelen. Mogelijk kan het veen dat vrijkomt bij afgravingen ten behoeve van bestortingen ook in baggerdepots worden verwerkt. RIKZ Haren heeft op ons verzoek deze oplossing meegenomen in haar onderzoek.

Uit het onderzoek van het RIKZ bleek dat de combinatie van compost en actieve kool geen goede mogelijkheden biedt voor toepassing in baggerdepots. Uit compost komt namelijk TOC, opgeloste koolstof, vrij. TOC is een contaminant van actieve kool; de werking van de actieve kool gaat door TOC verloren. Dit wil echter niet zeggen dat uit veen ook TOC vrijkomt, want veen is namelijk een oud materiaal. Wellicht komt uit veen geen TOC meer vrij. RIKZ Haren acht het dan ook heel goed mogelijk dat een mengsel van veen en actieve kool wel als onderlaag in baggerdepots kan worden gebruikt. Nader onderzoek kan dit uitwijzen.

Een ander probleem is dat door het afgraven de vaargeul wordt gekanaliseerd, waardoor de stroomsnelheden zullen toenemen en het natuurlijke karakter van het gebied wordt aangetast.

Drempel

Een drempel die twee delen van een bestorting met elkaar verbindt, kan worden beschouwd als een (onvolkomen lange) overlaat. Bij een onvolkomen overlaat kan zich een bodemneer vormen, waardoor de bodem bij de overlaat kan worden aangetast. In het ergste geval kan het bovenste deel van de bestorting hierdoor bezwijken. Daarom is het noodzakelijk om bij het ontwerp een beeld te krijgen van hoe de overlaat zich zal gedragen, bij de waterstanden en stroomsnelheden ter plaatse.

De beste manier om dit te onderzoeken is door middel van een schaalmodel in een waterbouwkundig laboratorium. Als hiervan wordt afgezien, kan door middel van berekeningen de te verwachten stroomsnelheid achter de overlaat worden bepaald. Als de optredende stroomsnelheid hoger is dan de kritieke stroomsnelheid voor het bodemmateriaal, zal ontgronding plaatsvinden.

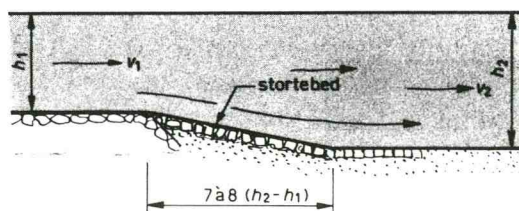
Door het aanbrengen van een stortebed (bodembescherming) achter de drempel kan uitschuring van de bodem worden tegengegaan. Globaal kan worden gesteld dat deze bodembescherming een lengte moet hebben van 7 à 8 ($h_2 - h_1$).

Hierin is:

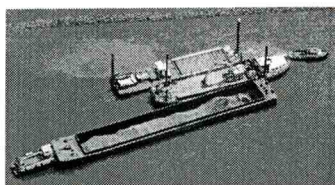
h_1 waterdiepte boven drempel

h_2 de diepte achter de drempel, waarbij een zodanige snelheid optreedt dat geen uitschuring van de zandbodem ontstaat

De zwaarte van de bodembescherming kan worden berekend aan de hand van optredende snelheden en de kritieke snelheden voor het toe te passen materiaal.

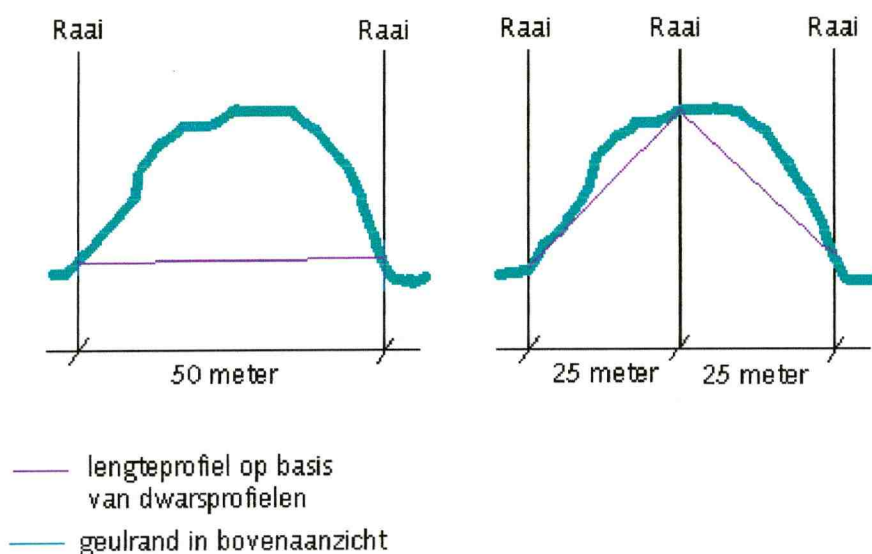


Figuur 30: Bodembescherming of stortebed bij drempel



Dwarsprofielen

Om een goede raming te maken, is het van belang dat de vorm van de geulrand en geulwand bekend is. Hoe dichter de gemeten dwarsprofielen op elkaar liggen, des te nauwkeuriger worden de geulwand en geulrand gevolgd. Wanneer men dwarsprofielen interpoleert die bijvoorbeeld 25 meter van elkaar af liggen, krijgt men een nauwkeurigere raming dan wanneer men interpoleert met dwarsprofielen die om de 50 meter zijn gemeten (figuur 31). Om een goede raming te maken moeten de dwarsprofielen in een grillig gebied dicht op elkaar gemeten worden. Te denken valt aan een tussenafstand van 20-25 meter. De aannemer nam zelfs dwarsprofielen om de 9 meter.

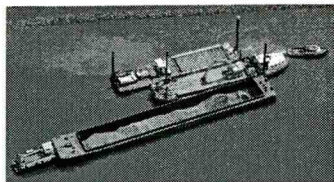


Figuur 31: Interpoleren van dwarsprofielen

Kolomproef

In paragraaf II-1.1 is uitgelegd dat de diffusieproef representatief is ten opzichte van de werkelijkheid, omdat deze proef de slakken toetst in de vorm waarin ze worden toegepast (ongebroken). De kolomproef is niet representatief omdat het materiaal wordt gebroken en hierdoor meer uitlooft. Daarom is het aan te raden om gebruik te maken van de diffusieproef in plaats van de kolomproef.

In NEN/NVN 7300 staat voorgeschreven dat bij de kolomproef voorzorgsmaatregelen moeten worden getroffen om oxidatie te voorkomen. Hierdoor kan het materiaal voor aanvang van de proef niet reageren met de lucht, zodat het materiaal alleen tijdens de proef reageert en dan dus flink oxideert. Dit is niet representatief voor de werkelijkheid, omdat in de praktijk het materiaal ruim de gelegenheid krijgt te oxideren tijdens opslag. Er moet dus in deze NEN-norm gewijzigd worden dat het materiaal wel voor aanvang van de proef mag oxideren met de lucht. Ondanks het feit dat het te onderzoeken materiaal dan nog steeds gebroken wordt, zal de kolomproef toch meer met de werkelijkheid overeenkomen dan voorheen.



Onderspoeling van de geulrand

Het is aan te raden voordat men met het ontwerp en de raming begint, het bestortingsgebied te onderwerpen aan een visuele inspectie vanaf het water bij een lage waterstand. Zo kan men controleren waar de oever eventueel onderspoeld is en hier rekening mee houden in de raming. Na de inspectie kunnen onderspoelde stukken eventueel afgegraven worden.

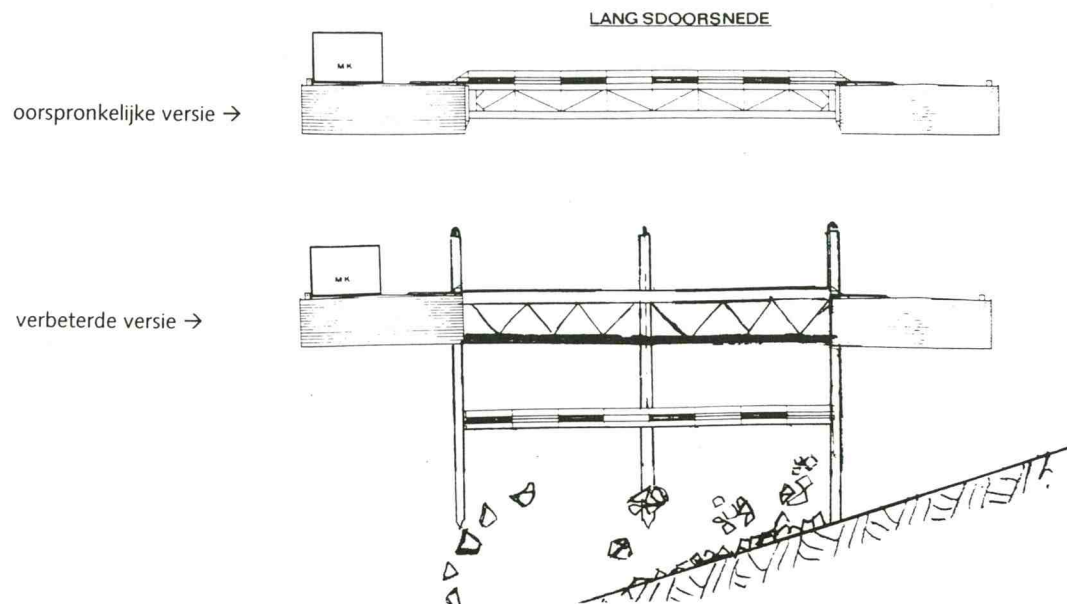
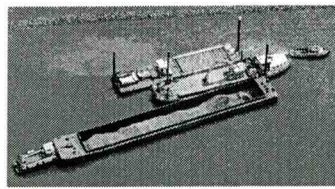
II-3.2 Mogelijke aanpassingen van de uitvoering

Ontmenging

Uit de berekening van de valsnelheid in paragraaf II-1.2 is gebleken dat materiaal met een kleine korreldiameter langzamer bezinkt dan materiaal met een grotere korreldiameter. Hierdoor ontstaat ontmenging: het grove materiaal komt eerst aan op de bodem en het fijne materiaal het laatst. Het fijne materiaal komt dus op het grove te liggen. Door de optredende stroomsnelheden brengt dit de stabiliteit van de constructie in gevaar. Het fijne materiaal wordt namelijk meegenomen met de stroming en weer ergens anders afgezet. Het grove materiaal fungeert niet goed als filter, waardoor de ondergrond wordt aangetast.

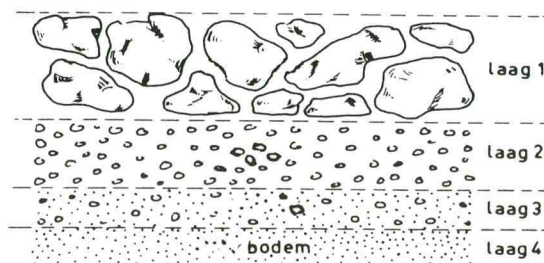
Mogelijke aanpassingen:

1. Onder invloed van stroming tijdens het stortproces kan verplaatsing optreden. Deze verplaatsing kan horizontale ontmenging veroorzaken. Bij het voorgeschreven stortvenster van 0,5 m/s kunnen ten gevolge van horizontale ontmenging nadelige verschijnselen optreden, zoals een inhomogeen filter. Breed gegradeerde mengsels (verhouding $D_{90}/D_{10} > 3$) met een $d_{50} \geq 0,03$ m, dienen daarom te worden gestort binnen een stroomsnelheidsvenster van 0,3 m/s [lit. 7]. Voor de sortering 40-200 mm geldt: $D_{90}/D_{10} = 3,5$. Dit wil zeggen dat deze sortering niet gestort mag worden met een stroomsnelheid kleiner dan 0,3 m/s en niet zoals in het bestek ZL4055 is voorgeschreven, kleiner dan 0,5 m/s.
2. Het is zeer belangrijk dat men tijdens het ontwerp al rekening houdt met de relatie tussen het stortmateriaal en het stortmaterieel. Wanneer men, bijvoorbeeld vanwege eisen aan de filterwerking, een sortering met een fijne fractie (≤ 40 mm) wil toepassen, kan men in het bestek de eis stellen dat niet vanaf de waterlijn wordt gestort. Bij het storten vanaf de waterlijn is vooral bij grotere waterdiepte de valtijd dermate lang, dat aanzienlijke ontmenging kan optreden. De profiler is een voorbeeld van een bestortingswerktuig, waarbij de valtijd sterk wordt beperkt, omdat het materiaal rechtstreeks op de bodem wordt aangebracht. In bijlage 7 wordt informatie gegeven over een XPM-systeem met een surveypakket. Bij toepassing van dit systeem zullen een aantal van de geconstateerde knelpunten bij de uitvoering niet meer optreden.
3. Er zou onderzoek gedaan kunnen worden naar een verbeterde versie van het huidige type doseringsvaartuigen, waarbij het ruim van het doseringsvaartuig wordt neergelaten tot op bijvoorbeeld 1 m boven de bodem en dan pas gelost. Een doseringsvaartuig van het type 'Waal' lijkt hiervoor beter geschikt te zijn dan het type 'Pados'. Bij de Pados wordt per stortgang namelijk slechts de helft van het vloeroppervlak gebruikt. Bij de Waal, het doseringsvaartuig waarbij de vloer bestaat uit vierkante balken, kan het vloeroppervlak volledig benut worden. Figuur 31 geeft een suggestie voor de verbetering van een doseringsvaartuig.

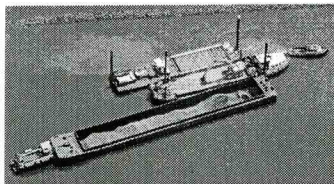


Figuur 32: Ruwe schets van een verbeterde versie van een doseringsvaartuig

4. Als de opdrachtgever tóch de mogelijkheid wil bieden voor storten vanaf de waterlijn is een mogelijke oplossing het zogenaamde kokerstorten, een techniek die veel in de offshore wordt toegepast. Ook doseringsvaartuig de Pados is al veel gebruikt in combinatie met een stortkoker. Een doseringsvaartuig is hiervoor beter geschikt dan een ponton omdat zo'n vaartuig voldoende lieren bezit voor nauwkeurige positionering. Bij toepassing van een stortkoker wordt verschil in horizontale uitwijking tussen het grove en fijne materiaal bij het storten in stromend water voorkomen.
5. In plaats van het materieel aan te passen aan het materiaal, kan een andere mogelijke oplossing zijn om de gradering van het materiaal af te stemmen op het stortproces. Men kan bijvoorbeeld het fijne materiaal uit de sortering zeven of voor een andere gradering kiezen. De fijne fractie, die zich ook bevindt in een vormgegeven sortering (in 40-200 mm kan circa 20% fijner dan 40 mm zijn!), zorgt namelijk bij het storten vanaf de waterlijn voor aanzienlijke materiaalverliezen volgens een surveyor van IHC. Door het uitgeven ontstaat een 'smalle' sortering: het verschil tussen de grootste en kleinste korreldiameter in de sortering is niet groot. Er zal dus minder ontmenging optreden.
6. Bij een uitgezeefde sortering treedt minder ontmenging op. Wanneer de keuze voor een uitgezeefde gradering van het materiaal gecombineerd wordt met het aanbrengen van een filterdoek zorgt het doek voor de filterfunctie.
7. Een al eerder toegepaste mogelijkheid is het aanbrengen van een zinkstuk, waarop de bestorting wordt aangebracht. Het zinkstuk vervult dan de filterfunctie.



Figuur 33: Het principe van de filterconstructie



8. De hoofdoorzaak van ontmenging is het verschil in valsnelheid van de korrels in een bepaalde sortering. De valsnelheid is afhankelijk van de korreldiameter. Van deze eigenschap kan gebruik worden gemaakt door de materialen met verschillende korreldiameters afzonderlijk te storten. Hierdoor treedt minder ontmenging op. De opbouw van het filter moet hiervoor worden gewijzigd. Er moet in meerdere lagen worden gestort. Het filter wordt opgebouwd uit korrels van verschillende diameter. Figuur 33 op de vorige pagina geeft dit aan. De korreldiameter van laag 1 wordt bepaald uit de eisen van voldoende bestendigheid tegen de belastingen in de niet door windgolven belaste zone. De korrels van laag 4 (= de te beschermen bodem) vormen eveneens een bekend gegeven. Men probeert nu de korrelgrootte van laag 2 zodanig te bepalen dat deze korrels niet door de poriën van laag 1 gezogen kunnen worden. Daarna tracht men een korreldiameter van laag 3 vast te stellen, waarbij de korrels van laag 3 niet door de poriën van laag 2 mogen kunnen gaan.

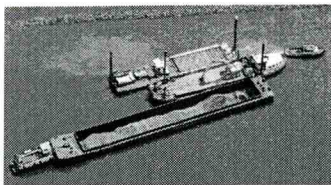
Verplaatsing

Wanneer gestort wordt onder stromingscondities is het noodzaak dat men kijkt wat de invloed van de stroming is tijdens het stortproces. In het bestek ZL-4055, bestorting Zuidergat, is de eis gesteld dat alleen gestort mocht worden bij een stroomsnelheid kleiner dan 0,5 m/s. In de berekening van de verplaatsing in paragraaf II-1.2 is gerekend met een stroomsnelheid van 0,5 m/s. Uit deze berekening bleek dat er dan toch nog verplaatsing optreedt. Ook bleek dat de verplaatsing bij fosforslakken groter is dan bij staalslakken.

Het maakt uit of er kop op stroom of dwars op stroom wordt gestort. Bij dwars op stroom is de verplaatsing ongeveer drie keer zo groot.

Mogelijke aanpassingen:

1. De meeste maatregelen ter voorkoming van ontmenging verminderen ook de kans op verplaatsing. Dit zijn met name de maatregelen 1 tot en met 5.
2. De verplaatsing bij het storten van fosforslakken is groter dan bij het storten van staalslakken. De oorzaak hiervan is de lagere soortelijke massa van fosforslakken. Breuksteen is ook lichter dan staalslak, maar wordt in de Westerschelde volgens het gangbare ontwerp niet onder NAP - 5,0 m toegepast. Hoe korter de stortweg, hoe minder de verplaatsing. De verplaatsing zal dus bij breuksteen, dat in de hogere zone wordt toegepast, over het algemeen gering zijn. Vanwege de grotere verplaatsing van fosforslakken, die volgens het gangbare ontwerp in de diepe zone mogen worden toegepast, kan worden besloten om dit steenachtig materiaal niet meer toe te passen, of alleen op geringere diepte.
3. Omdat bij dwars op stroom storten de verplaatsing ongeveer drie keer zo groot is als bij kop op stroom storten, kan worden verplicht om met de kop op stroom te storten.



Tussentijd stortperiode

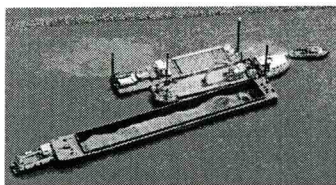
Wanneer de aan te brengen constructie uit meerdere lagen wordt opgebouwd, moet voorkomen worden dat er sediment wordt ingesloten. Dit kan gebeuren wanneer er een te lange tijd zit tussen het storten van de verschillende lagen. Het sediment kan voor onstabieleit van de filter- of top laag zorgen. In verband hiermee dienen eisen te worden gesteld aan de mate waarin sedimentatie mag plaatsvinden en zal het bestortingsproces hierop afgestemd dienen te worden.

Mogelijke aanpassingen:

1. Meer materieel inzetten, dus tijd tussen het storten van de verschillende lagen wordt ingekort.
2. Storten in vakken, zodat de periode tussen het storten van de taludaanvulling en top laag veel kleiner wordt en zo ook de kans op insluiting van sediment.

Stroomsnelheidsmetingen

In het kader van de kwaliteitszorg moeten de resultaten van de stroomsnelheidsmetingen, die tijdens het storten worden uitgevoerd, aan de directie worden overhandigd. De directie kan deze gegevens dan bewaren, ten behoeve van de evaluatie van het werk.



Hoofdstuk II-4 Beoordeling mogelijke aanpassingen

In dit hoofdstuk worden de mogelijke aanpassingen voor ontwerp, uitvoering en monitoring beoordeeld. De voor- en nadelen van de mogelijke verbeteringen worden in het kort tegen elkaar afgewogen. De mogelijke aanpassingen worden beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:

- effectiviteit: is de maatregel geschikt om het knelpunt op te lossen?
- efficiëntie: hoe verhouden zich de kosten tegenover de baten?
- haalbaarheid: zijn de aanpassingen praktisch toepasbaar?
- consequenties: wat zijn de positieve en negatieve gevolgen van de aanpassingen?

Bij de beoordeling is de volgende legenda gebruikt:

symbool	betekenis
++	zeer goed
+	goed
+/-	matig
-	slecht
?	onbekend

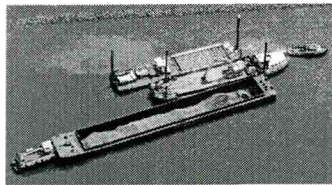
II-4.1 Beoordeling mogelijke aanpassingen ontwerp

Getijgegevens

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
recente getijgegevens gebruiken	+	+	++	weinig positieve gevolgen, geen negatieve gevolgen
zeespiegelrijzing betrekken bij ontwerp	++	++	++	het ontwerp van de constructie zal waarschijnlijk moeten worden aangepast
modelberekening toenemende getijverschil	+/-	-	-	kostbare, tijdrovende zaak met weinig effect

Ondergrond

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
resultaten boring in ontwerp betrekken	+	++	++	beter zicht op mogelijk materiaalverlies ten gevolge van zetting, etc.
uitvoeren zettingsberekeningen	+	+	+	beter zicht op mogelijk materiaalverlies ten gevolge van zetting
uitvoeren berekening zijdelings wegpersen	+/-	+/-	+	berekening in principe overbodig, is het gebied gevoelig voor zetting, dan ook voor squeezing
uitvoeren berekening oppersen	+/-	+/-	+	berekening in principe overbodig, is het gebied gevoelig voor zetting, dan ook voor oppersing
afgraven onregelmatigheden in geulwand	?	+/-	?	effectiviteit en haalbaarheid zijn nog niet bekend, er is nog geen oplossing voor het vrijkomende veen



Drempel

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
maken van een schaalmodel	++	-	+	dit is duur, maar geeft goed beeld van hoe de overlaat zich zal gedragen
berekenen van de te verwachten stroomsnelheden t.p.v. de drempel*	+	+	++	goede methode maar aannames en vereenvoudigingen kunnen afwijken van werkelijkheid
bodembescherming aanbrengen	++	+/-	+	bodembescherming voor en achter de drempel voorkomt erosie, maar kost extra geld

* berekening kan worden uitgevoerd met Duflow of gelijksoortig programma

Profielen Zeekoe

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
tussenafstand raaien verkleinen	++	++	++	betere raming mogelijk, dus minder onverwachte kosten meetwerk voorkomt meerwerk!
multi-beam peilingen	++	+	++	duurder dan single-beam peilingen

Kolomproef

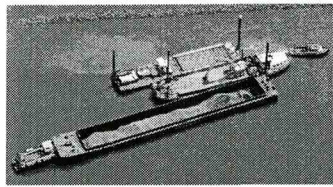
mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
gebruik maken van diffusieproef i.p.v. kolomproef*	++	-	+	efficiëntie wordt negatief beoordeeld omdat de diffusieproef enkele maanden duurt
wijzigen NEN-norm**	++	+/-	-	gebruikers moeten worden ingelicht, proef wordt representatiever

* In het verleden werden beide proeven uitgevoerd.

** Naar de NEN-norm-commissie die het project reducerende materialen begeleidt is door INTRON reeds het voorstel gedaan om de maatregelen ter voorkoming van oxidatie achterwege te laten

Onderspoeling

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
visuele inspectie voor aanvang ontwerp	+	+	++	betere raming is hierdoor mogelijk, dus minder onverwachte kosten



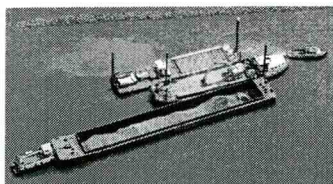
II-4.2 Beoordeling mogelijke aanpassingen uitvoering

Ontmenging

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
stroomsnelheidsvenster afstemmen op gradering	+	-	+/-	aantal uren per dag waarin kan worden gestort wordt sterk gereduceerd
niet vanaf waterlijn storten, bijvoorbeeld profiler toepassen	++	+/-	++	meer materiaalgebruik, nauwelijks ontmenging
huidig type doseringsvaartuigen verbeteren	++	-	+/-	ontwikkeling van aangepast type doseringsvaartuig kost veel tijd en geld
toepassen van kokerstorten	+	+/-	+	verticale ontmenging blijft kokerstorten vergt veel tijd
gradering afstemmen op stortproces	+	-	-	kostprijs materiaal per ton veel hoger wegens uitzeven is filterwerking nog in orde?
gebruik van filterdoek onder de constructie	++	-	-	grover materiaal kan toegepast worden maar een filterdoek onder water aanbrengen is praktisch niet haalbaar
bestorting aanbrengen op zinkstuk	++	-	+/-	geen ontmenging, zinkstuk kan worden afgedekt met grove sortering; zinkstuk wel erg duur.
storten in lagen	+	-	+/-	ontmenging sterk verminderd, het fijne materiaal ligt onder het grove materiaal, logistiek moeilijk uit te voeren

Verplaatsing

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
stroomsnelheidsvenster afstemmen op gradering	+	-	+/-	aantal uren per dag waarin kan worden gestort wordt sterk gereduceerd
niet vanaf waterlijn storten, bijvoorbeeld profiler toepassen	++	+/-	++	meer materiaalgebruik, nauwelijks verplaatsing
huidig type doseringsvaartuigen verbeteren	++	-	+/-	ontwikkeling van aangepast type doseringsvaartuig kost veel tijd en geld
toepassen van kokerstorten	++	+/-	+	geen verplaatsing, materiaal wordt naar bodem begeleid, kokerstorten kost meer tijd
gradering afstemmen op stortproces	+	-	-	kostprijs materiaal per ton veel hoger wegens uitzeven is filterwerking nog in orde?
geen fosforslakken toepassen op grotere diepten	+	+	++	het verwerken van fosforslakken is duurder dan van staalslakken, deze maatregel brengt geld op
alleen kop op stroom storten	++	++	++	duidelijk minder verplaatsing door een eenvoudige maatregel

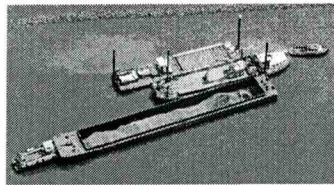


Tussentijd stortperiode

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
meer materieel inzetten	+	+/-	+	Kosten aan materieel hoog maar productie ook hoog en geen sediment tussen de bestortingslagen
storten in vakken	+	+	+	goede logistiek nodig

Stroomsnelheidsmetingen

mogelijke aanpassing	effectiviteit	efficiëntie	haalbaarheid	consequenties/opmerkingen
resultaten stroomsnelheidsmetingen bewaren	+	+	++	betere evaluatie van het werk mogelijk



Hoofdstuk II-5 Conclusie en aanbevelingen

In de adviesnota is geprobeerd een antwoord te vinden op de vraag welke maatregelen het proces van ontwerp, uitvoering en monitoring van een geulwandverdediging kunnen verbeteren. Op basis van de knelpunten die zijn opgetreden rondom het project geulwandverdediging Zuidergat zijn mogelijke maatregelen gezocht en beoordeeld. In deze conclusie wordt aangegeven welke van de beschreven en beoordeelde maatregelen de voorkeur verdienen en waarom. Met andere woorden: er worden adviezen gegeven en argumenten voor deze adviezen. Met behulp van de adviezen die worden gegeven kan wellicht bereikt worden dat in de toekomst bij het uitvoeren van bestortingen minder kosten worden gemaakt, een beter ontwerp mogelijk is en de opzet van de monitoring wordt verbeterd.

II-5.1 Adviezen bij het ontwerp

Getijgegevens

Naast het feit dat het een goede gewoonte is om bij een ontwerp recente getijgegevens te gebruiken, is het zeker belangrijk de zeespiegelrijzing te betrekken bij het ontwerp. Naar verwachting zal de zeespiegel de komende 50 jaar zo'n 60 centimeter stijgen. In de Westerschelde zal de zeespiegel over 50 jaar waarschijnlijk meer dan 60 centimeter zijn gestegen, in verband met het "trechtereffect". Toekomstige geulwandverdedigingen moeten bestand zijn tegen de belastingen behorende bij deze waterstand.

Ondergrond

Er worden boringen uitgevoerd op de plaatsen waar geulwandverdedigingen uitgevoerd zullen worden. Het is dan wel raadzaam om de resultaten van dit bodemonderzoek in het ontwerp te betrekken. Dit kan gedaan worden in de vorm van een zettingsberekening. Hierdoor verkrijgt men een beter zicht op mogelijk materiaalverlies.

Drempel

Wanneer een drempel in het ontwerp wordt opgenomen, is het noodzakelijk te onderzoeken hoe de drempel zich zal gedragen. Een prognose van de stroomsnelheden achter de drempel zal uitwijzen of er bodemerosie te verwachten is. Hier kunnen dan maatregelen tegen genomen worden.

Profielen Zeekoe

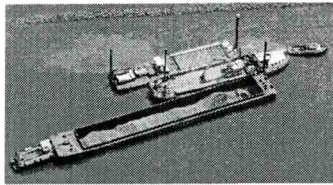
Bij volgende bestortingen in een grillig gebied zullen de dwarsprofielen om de 20 meter gemeten moeten worden. Hierdoor verkrijgt men een beter inzicht in de vorm van de geulwand en is een betere raming mogelijk.

Kolomproef

Om realistische waarden van de uitloging van het stortmateriaal te verkrijgen, is het nodig de diffusieproef toe te passen. De diffusieproef duurt echter veel langer dan de kolomproef, maar is representatief voor de werkelijkheid. Met betrekking tot aanbesteding en gunning dient de opdrachtgever er rekening mee te houden dat de resultaten van de diffusieproef langer op zich laten wachten.

Onderspoeling

Visuele inspectie van de geulrand is absoluut noodzakelijk. Dit vergt weinig inspanning maar vermindert de kans op onverwachte kosten. Onderspoelde gedeelten en andere bijzonderheden kunnen bij de visuele inspectie worden gesignaleerd.



II-5.2 Adviezen bij de uitvoering

Ontmenging

Het is aan te raden om vanaf de waterlijn te storten. Zo kan verticale en horizontale ontmenging worden voorkomen. Een profiler is een nauwkeurig bestortingswerktuig, zeker wanneer dit is uitgerust met een XPM-systeem met surveypakket. Wel is meer materiaalverbruik te verwachten; als ook bij zakking van het materiaal tot de ontwerphoogte wordt aangevuld. De kwaliteit van het werk gaat er echter sterk op vooruit.

Verplaatsing

Een voorwaarde om verplaatsing zoveel mogelijk te voorkomen, is dat kop op stroom wordt gestort. Het materiaal dat wordt gestort is ook van belang. Toepassen van fosforslakken op grotere diepten wordt afgeraden. Door de lage soortelijke massa van dit materiaal treedt grotere verplaatsing op dan bij staalslakken, zeker op grotere diepten. Het verwerken van fosforslakken is bovendien relatief duurder dan het verwerken van staalslakken.

Tussentijd stortperiode

Het is niet nodig om meer materieel in te zetten als gestort wordt in vakken. Als wordt gestort in vakken moeten verschillende materialen binnen korte tijd worden verwerkt. Dit vergt een wel goede logistiek.

Stroomsnelheidsmetingen

De stroomsnelheidsgegevens die door de aannemer tijdens het storten worden gemeten, moeten worden overhandigd aan de directie. Deze dienen te worden bewaard ten behoeve van evaluatie van het project.

Literatuurlijst

lit.nr. auteur/titel/uitgave

- [1] Beoordeling van de effecten van de verdieping 48' - 43', plan van aanpak - rapport 2, Project MONotoring VERdieping Westerschelde, Rijkswaterstaat Directie Zeeland.
- [2] Boon T.J. en drs. P. van Heteren, Het verdrag inzake de verruiming van de vaarweg in de Westerschelde, Rijkswaterstaat directie Zeeland, 7 augustus 1995, Otter.
- [3] Boone K., Toe te passen bouwstoffen voor geulwandverdediging Westerschelde, memo, 2 februari 1999.
- [4] Braad R., Diffusieproef LD-staalslakken, 25 maart 1998, Intron.
- [5] Braad R., Keuring van LD-slak locatie Sidmar te Gent, indicatieve controle vooraf depot A en B, eindrapport, 25 maart 1998, Intron.
- [6] Geologische inventarisatie van de Westerschelde, Rijks Geologische Dienst, Hoofdafdeling Ondiepe Ondergrond, Nuenen.
- [7] Handboek uitvoering bodemverdedigingsconstructies van losgestorte granulaire materialen, Directoraat-Generaal van Rijkswaterstaat, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht juni 1991.
- [8] Hernandez J.A. en A.M.H. Buitenrust Hettema, Beoordeling voorgesteld ontwerp voor de talud- en bodembescherming te Walsoorden (bestek ZL-3385), Rijkswaterstaat, Hoofdafdeling waterbouw, afdeling advies, november 1989 (rapportnummer WBA-N-88138).
- [9] Kleef O. van, Brokstukken voor Aanvraag vergunning geulwandverdediging Zuidergat.
- [10] Lubking P. et al., Construeren met grond, grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare grond, Civieltechnisch centrum uitvoering research en regelgeving, Gouda CUR 1992 (ISBN 9037600247)
- [11] Nortier I.W. en P. de Koning Toegepaste Vloeistofmechanica, hydraulica voor waterbouwkundigen, zevende druk, vierde oplage, 1996, Stam Techniek.
- [12] Rekenregels voor waterbouwkundige ontwerpen, Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwen/Bouwdienst Rijkswaterstaat i.o., Hoofdafdeling Waterbouw, Vakgroep Waterloopkunde en Grondmechanica, Utrecht 1990.
- [13] W. Leeuwenstein, Geulrandbestorting Westerschelde, rapportnummer AK-B96136, 12 november 1996, Delft, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde.
- [14] Werkbestek ZL-4055 Geulwandverdediging Zuidergat, Bestek en voorwaarden voor het aanbrengen van een geulwandverdediging in de Westerschelde op de linkeroever van het Zuidergat in de gemeente Hontenisse, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, afdeling Nieuwe Werken, Middelburg oktober 1997.

- [15] Westenbrugge C.J. van, Monitoring geulwandconstructies Zuidergat en Ossenisse I, Notitie NWL-98.07, 27 januari 1998.
- [16] Westenbrugge C.J. van, Notitie NWL 98.50, Effecten van de aanleg van geulwandverdediging aan noord-oostzijde van het Verdrongen Land van Saeftinge op het Verdrongen Land van Saeftinge in het kader van de Natuurbeschermingswet, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg 18 januari 1999.

Overige gebruikte literatuur

Hijum E. van, Oevers, collegedictaat t.b.v. het HTS Onderwijs, september 1993.

Werkbestek ZL-4055 Geulwandverdediging Zuidergat, Bestek en voorwaarden voor het aanbrengen van een geulwandverdediging in de Westerschelde op de linkeroever van het Zuidergat in de gemeente Hontenisse, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, afdeling Nieuwe Werken, Middelburg oktober 1997.

Glabbeek, E.E.M. van, Training effectief schrijven in de beroepspraktijk, schriftelijk rapporteren, LAB Oudelande, januari 1996.

Mol G., A.M. van Berchum, G.M. Krijger, De toestand van de Westerschelde aan het begin van de verdieping 48'/43', Rapport RIKZ-97.049, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Verdrag tussen het Koninkrijk der Nederlanden en het Vlaams Gewest inzake de verruiming van de vaarweg in de Westerschelde, 17 januari 1995.

Verklarende woordenlijst

achtergrondconcentratie	concentratie van een bepaalde stof die al van nature aanwezig is in het water
achterloopsheid	aantasting van de stabiliteit van de constructie ten gevolge van een waterstroom achter de constructie
ADCP-systeem	Acoustic Doppler Current Profiler; systeem waarbij met behulp van geluidsgolven varend de stroomsnelheid wordt gemeten
bestek	een nauwkeurige beschrijving van een werk met de daarbij behorende tekeningen en de voor het werk te leveren waarden
biomassa	totale hoeveelheid of gewicht van een verzameling organismen in een bepaald gebied
debiet	capaciteit van de geul of zee, het geeft aan hoeveel kubieke meter water per seconde door een bepaalde oppervlakte stroomt
DUFLOW	stromingsprogramma voor stelsels van open waterlopen
ecologisch systeem	het interactieve geheel van een biologische gemeenschap en haar niet-levende omgeving
estuarium	een door getijstromen wijde riviermond
fluviaal	door stromend water gevormd
getijkromme	het verloop van de waterniveaus, verticaal getij
gradering	verdeling van de korreldiameter
hoogwaterkering	een waterkering, zoals bijvoorbeeld een dijk, die beveiliging biedt tegen overstromingen
kenteringsvenster	de tijd waarin een bepaalde (lage) stroomsnelheid heerst tijdens de kentering (wisseling van eb en vloed)
korrelverdelingsdiagram	een kromme die aangeeft hoeveel procent van een bepaalde korrelgrootte in een korrelmengsel aanwezig is t.o.v. de totale massa van alle korrels
kritieke stroomsnelheid	stroomsnelheid waarbij de korrel begint te bewegen
LD-staalslakken	LD staat voor Linz-Donawitz. Dit is de naam van een proces waarbij de betreffende staalslakken vrijkomen. Bij bereiding van staal volgens het LD-proces wordt zuurstof geblazen in een converter die is gevuld met vloeibaar ruw ijzer, kalk en schroot.

lithostratigrafie	beschrijving van de laagopbouw van de ondergrond
maaiveld	bovenkant van het terrein dat een bouwwerk omgeeft
marien	in of bij de zee voorkomend of daardoor gevormd
meanderen	zich bochtig door het landschap kronkelen
morfologie	leer van de vorm en ontwikkeling van waterbodems
NAP	Normaal Amsterdams Peil
schroefstraal	stroming direct achter een schip als gevolg van de voortstuwingsinstallatie van dat schip
significante golfhoogte	gemiddelde golfhoogte van het hoogste derde deel van de golven (de golfhoogte die door ongeveer 13,5% van de golven wordt overschreden)
spudpalen	valpalen die een ponton of werkschip op zijn plaats houden
strijklengte	lengte van het watergebied gezien in de richting waar de wind vandaan komt
uitloging	chemische reactie (redoxreactie) waarbij door inwerking van zuurstof anorganische microverontreinigingen vrijkomen in het milieu
Zeekoe	computerprogramma waarin Rijkswaterstaat en de waterschappen alle lodingen van Zeeland over de laatste jaren beschikbaar hebben

