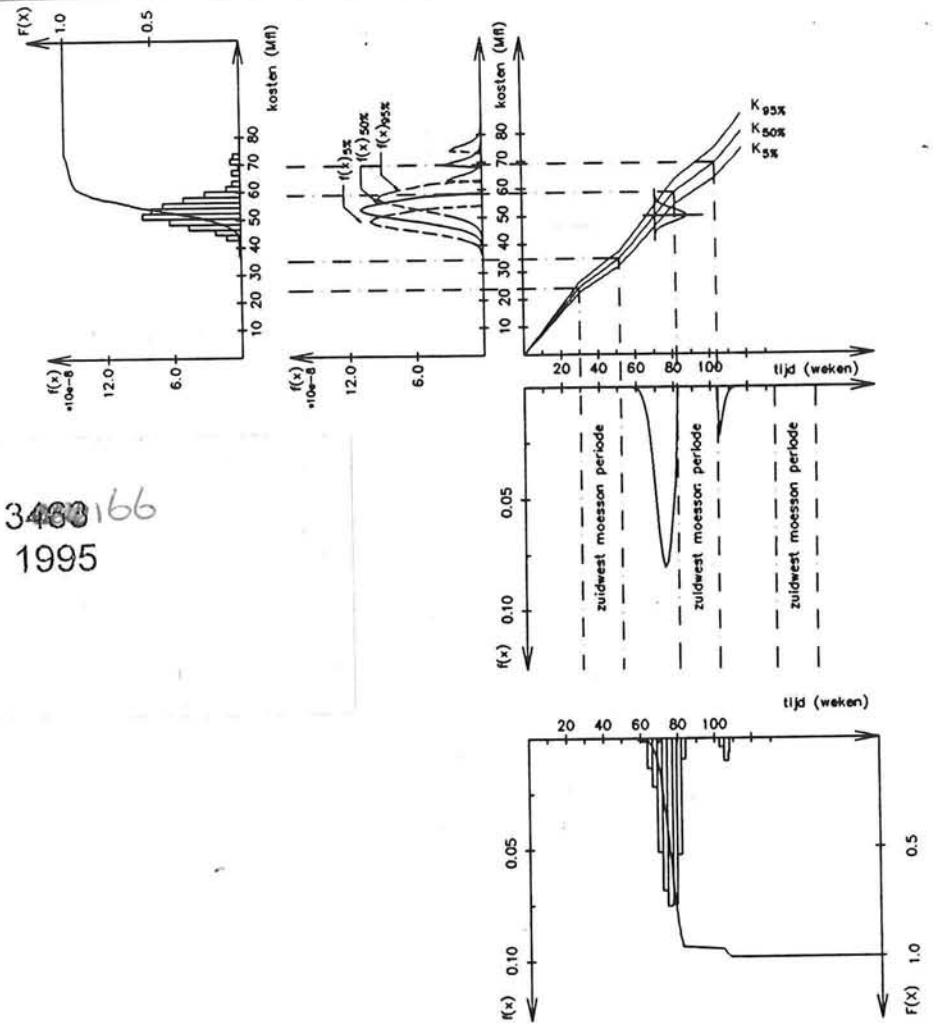


Probabilistische kostenafweging tussen een conventionele golfbreker en een bermgolfbreker

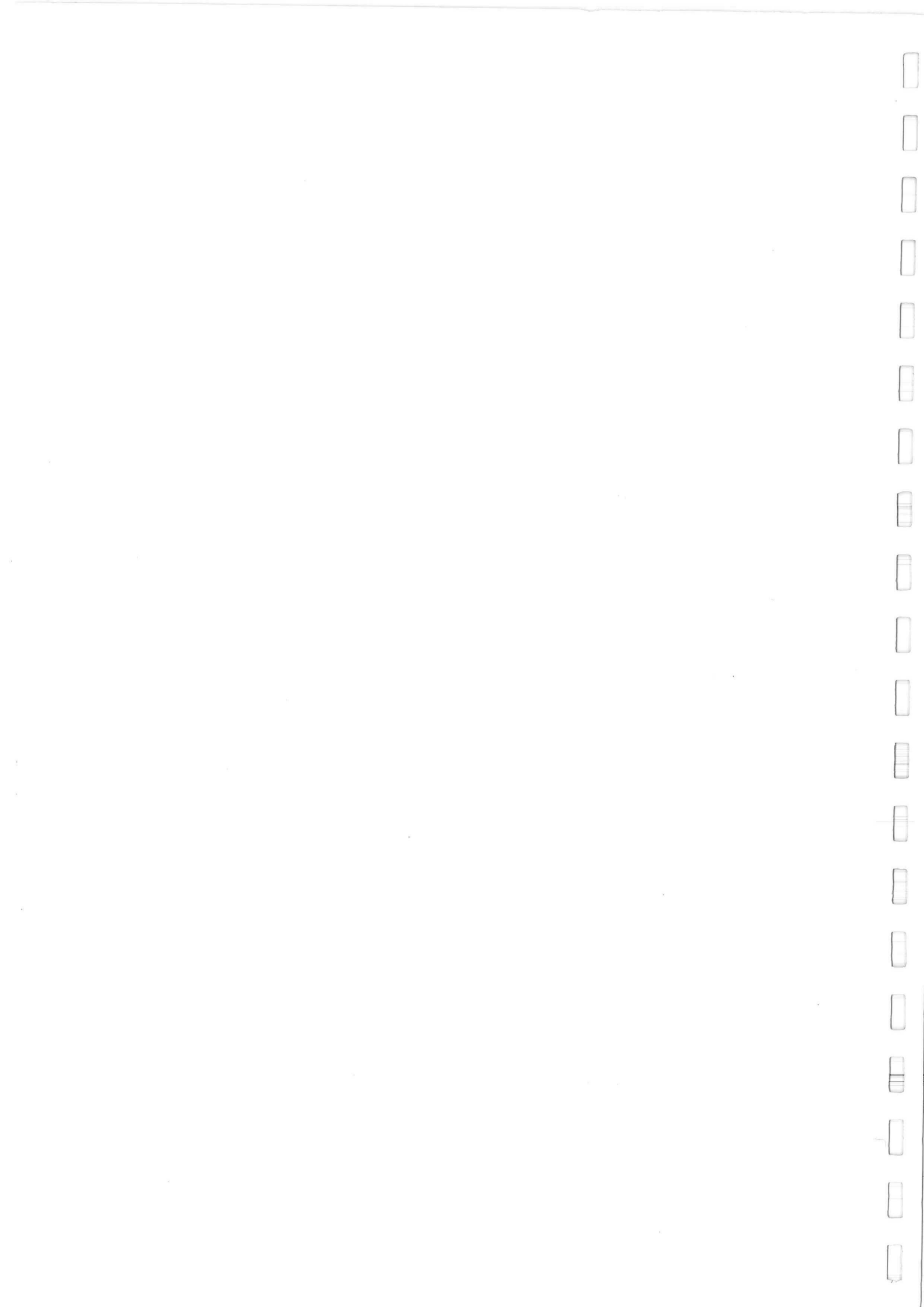
juni 1995

ing. A.M.W. Duijvestijn



KW-GSK
Duijvestijn

3483 166
1995



afstudeerproject

Probabilistische kostenafweging tussen een conventionele en een bermgolfbreker

door:

ing. A.M.W. Duijvestijn

afstudeercommissie:

Prof. drs. ir. J.K. Vrijling
ir. W.H. Tutuarima
ir. R.J. de Heer

In dit rapport is de bedrijfs-
gevoelige informatie onleesbaar
gemaakt.
Het volledige rapport berust bij
Boskalis bv te Papendrecht.



VOORWOORD

Ter afsluiting van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft heb ik als afstudeerproject een vergelijkende studie naar verschillende kostenaspecten tussen twee typen golfbrekers gemaakt.

Aan de hand van actuele praktijk gegevens, welke beschikbaar zijn gesteld door Boskalis Zinkcon bv, zijn in dit rapport twee concept ontwerpen vergeleken.

Dit rapport, dat in eerste instantie geschreven is als afstudeerscriptie, geeft een globaal inzicht in verschillende kostenaspecten. Aan de orde komen materiaalkosten, uitvoeringskosten en kosten die ontstaan als gevolg van schade aan de golfbreker tijdens de bouw.

Daarnaast geeft de probabilistische aanpak voor het voorspellen van de werkbaarheid en het opstellen van een kostenraming, een in de praktijk nog weinig gebruikte werkwijze weer. De door mij gebruikte methoden maken het beter mogelijk om rationele beslissingen te nemen.

Aan het begin van dit verslag wil ik graag de mensen bedanken die hielpen tijdens mijn afstuderen. Die dank geldt in de eerste plaats mijn dagelijkse begeleider ir. W.H. Tutuarima die met zijn grote kennis van de bedrijfspraktijk de verschillende concept versies kritisch doorlas en van commentaar voorzag. Daarnaast wil ik ir. J.M.J. Journée van de Faculteit Maritieme Techniek (T.U.D.) en ing. R. van der Hoeven en P. van der Sloot van Boskalis bedanken voor de informatie over specifieke onderwerpen uit dit verslag.

Natuurlijk wil ik ook de leden van de afstudeercommissie bedanken waarin zitting hebben Prof. drs. ir. J.K. Vrijling, ir. W.H. Tutuarima en ir. R.J. de Heer van de T.U. Delft.

In deze definitieve versie (juni 1995) is dankbaar gebruik gemaakt van adviezen en opmerkingen van de examencommissie en dr. ir. J.W. van der Meer (W.L.-Delft) over de conceptversie (mei 1995).

Delft, juni 1995



SAMENVATTING

Een van de meest toegepaste typen golfbrekers is de conventionele golfbreker. Dit is een constructie van meerdere lagen natuursteen soms afgedekt met een of twee lagen betonblokken waarbij verplaatsingen van elementen over het talud niet worden toegelaten.

Een bermgolfbreker, opgebouwd uit meer, maar lichtere steen kan goedkoper zijn. Het idee bij dit type golfbreker is dat de taluds bij aanleg steil worden opgetrokken waarna de dwarsdoorsnede onder golfaanval zijn uiteindelijke vorm krijgt. Door het toelaten van verplaatsingen van de bekledings-elementen loodrecht op de as van de golfbreker kunnen kleinere stenen worden toegepast, welke over het algemeen in grotere hoeveelheden in de groeves voorkomen waardoor ze goedkoper zijn. Omdat voor bermgolfbrekers meer eenvoudige uitvoeringsmethoden toegepast kunnen worden kan hierop ook vaak bespaard worden.

Aan de hand van een case: 'de havenuitbreiding van Galle (Sri Lanka)' is als alternatief voor een gegeven ontwerp van een conventionele golfbreker met tetrapods (betonnen elementen) in de toplaag, een bermgolfbreker ontworpen. Op basis van materiaalkosten, uitvoeringskosten en het risico van schade tijdens de bouw is een afweging tussen bovengenoemde constructies gemaakt.

Materiaalkosten

Breuksteen, het basismateriaal waarmee de golfbrekers worden gebouwd, wordt gewonnen in steengroeves. Een groeve werkt optimaal als bij elke ontplofing of elke serie ontploffingen, de benodigde hoeveelheid van de verschillende fracties vrijkomt. Vaak is dit echter niet het geval.

Aan de hand van opbrengstcurven voor een groeve op Sri-Lanka is de benodigde overproductie voor de golfbrekerontwerpen bepaald.

Voor het ontwerp van de conventionele golfbreker moet 1,74 keer zoveel rots gesprongen worden als nodig is voor de bouw van de golfbreker. Voor de bermgolfbreker moet 1,18 keer zoveel gesprongen worden als nodig is voor het ontwerp.

Omdat voor de bermgolfbreker meer breuksteen nodig is, wordt het verschil in de hoeveelheid rots die gesprongen moet worden enigszins gereduceerd. Per strekkende meter golfbreker moet voor de conventionele golfbreker 156 ton extra breuksteen worden gesprongen ten opzichte van de bermgolfbreker. Het grootste prijsverschil voor de materiaalkosten wordt echter gevormd door de tetrapods en het betonnen kruinelement van de conventionele golfbreker. Deze kostenposten samen zijn hoger dan de kosten voor breuksteen van de bermgolfbreker.

De totale materiaalkosten bedragen f 27,7 miljoen voor de conventionele golfbreker en f 13,6 miljoen voor de bermgolfbreker met een lengte van 1170 m.

Uitvoeringskosten

Om de werkbaarheid te bepalen zijn de bewegingen onder golfaanval van verschillende stortschepen bepaald door simulatie van golfspectra uit het golfklimaat van Galle. Met behulp van uit de praktijk bekende golfhoogten waarbij een bepaald schip niet meer kan werken is, door het berekenen van verschillende spectra met constante golfhoogte, een schatting gemaakt van de maximaal toegelaten bewegingen.

Door lange deininggolven met een lage golfsteilheid, gemiddeld lager dan 1%, volgde een lage werkbaarheid voor drijvend materieel. Het gebruik van drijvende kranen is door de verwachte lage werkbaarheid niet toegepast.

Voor land materieel is de werkbaarheid bepaald op basis van een toegelaten overslag-debiet voor de golfbreker. De invloed op de hoogte van het materieel boven de waterspiegel is aanzienlijk, daarom is gekozen om de gebruikte landkraan zo hoog mogelijk te plaatsen.

Voor de conventionele golfbreker is voor het storten van het onderwatergedeelte gebruik gemaakt van een zijlosser. Dit stortschip is als enige geschikt voor het storten van de relatief dunne filterlagen van twee maal de nominale steendiameter. De landkraan die op de golfbreker de elementen plaatst is maatgevend voor de werkvoortgang.

Het onderdeel van de bermgolfbreker wordt gestort vanaf een ponton dat tijdens het storten afgemeerd is langs een positioneringsponton. Deze uitvoeringsmethode heeft een lagere stortnauwkeurigheid, maar gezien de dikkere filterlagen die toegepast worden is dit toelaatbaar. Ook hier wordt het gedeelte boven water gestort met een landkraan.

Uit de vergelijking van de projecttijd volgt dat deze voor beide typen golfbrekers ongeveer gelijk is en ruim 75 weken bedraagt.

Het plaatsen van de grote zware elementen (tetrapods, kruinelementen) neemt dus nagenoeg evenveel tijd in als het storten van meer kleiner materiaal (breuksteen).

De uitvoeringskosten voor de bermgolfbreker bedragen ongeveer f 44 miljoen en voor de conventionele golfbreker f 43 miljoen. De kosten voor de bermgolfbreker zijn wat hoger omdat de wekkosten voor het materieel bij de uitvoeringsmethode waarbij gestort wordt met een ponton ongeveer f 20.000,= hoger zijn.

De uitvoeringskosten voor de bermgolfbreker zijn dus niet goedkoper zoals vaak het geval is. Dit komt doordat de hogere produktie die gepaard gaat met het storten vanaf een ponton niet volledig benut kan worden omdat de landkraan maatgevend blijkt voor de werkvoortgang. Als uitbouwen van de golfbreker vanaf het land mogelijk is, is de uitvoering van de bermgolfbreker waarschijnlijk wel goedkoper.

Risico van schade tijdens de bouw

Met behulp van probabilistische sterkte berekeningen is de kans berekend dat schade optreedt in verschillende bouwstadia.

Voor beide typen golfbrekers valt op dat het gemiddelde van de kosten voor het extra benodigde materiaal om schade te herstellen laag is. Voor de conventionele golfbreker gemiddeld f 2000,= (125 ton breuksteen) en voor de bermgolfbreker gemiddeld f 9000,= (560 ton breuksteen). Omdat de kans op schade klein is, is de standaardafwijking groot ten opzichte van het gemiddelde.

Het grootste aandeel in de kosten, die het gevolg zijn van schade tijdens de bouw, wordt gevormd door de vertraging die het project ondervindt als gevolg van de herstelwerkzaamheden. De gemiddelde kosten van de verlenging van de projecttijd bedragen voor de conventionele golfbreker f 97.000,= met een standaardafwijking van f 587.000,=. Voor de bermgolfbreker zijn de gemiddelde kosten f 528.000,= met een spreiding van f 1.404.000,=

Totale bouwkosten

De gemiddelde prijs voor de bermgolfbreker is ongeveer f 15,5 miljoen gulden (15%) lager dan die van de conventionele golfbreker. Door een grotere spreiding in de materiaalkosten en uitvoeringskosten, en een lagere spreiding in kosten als gevolg van schade blijkt de uiteindelijke spreiding in de totale kosten voor de conventionele golfbreker iets groter te zijn dan die van de bermgolfbreker.

Inhoudsopgave

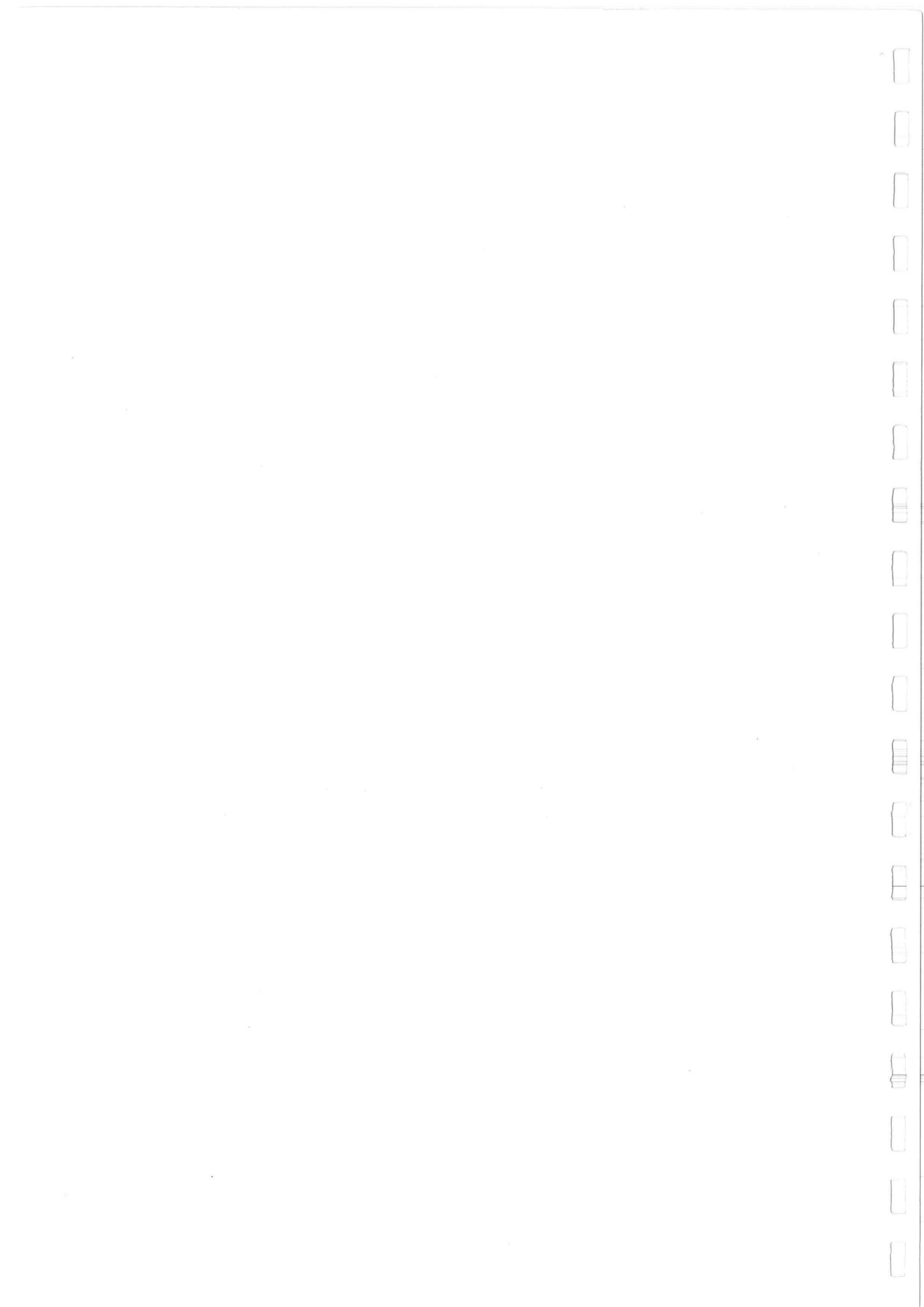
1. Inleiding	1.1
1.1 Probleemstelling	1.1
1.2 Doelstelling	1.1
1.3 Plan van aanpak	1.2
1.4 Afbakening	1.2
1.5 Opbouw van het rapport	1.2
2. Statisch en dynamisch stabiele golfbrekers	2.1
2.1 Golfbrekers	2.1
2.2 Statisch stabiele golfbrekers	2.2
2.3 Dynamisch stabiele golfbrekers	2.2
2.4 Vergelijking tussen statisch en dynamisch stabiele golfbrekers	2.3
2.4.1 Materiaal	2.3
2.4.2 Het gedrag van de constructie onder golfaanval	2.4
2.4.3 Uitvoering en onderhoud van de constructies	2.5
3. Aandachtspunten bij ontwerp, planning en constructie van golfbrekers	3.1
3.1 Belangrijkste aandachtspunten	3.1
3.2 Beschikbaarheid van het constructie materiaal	3.1
3.2.1. Breuksteen als constructie materiaal	3.1
3.2.2. Beton als constructie materiaal	3.4
3.3 Beschikbaarheid en inzet van het materieel	3.5
3.3.1 Constructie met drijvend materieel	3.7
3.3.2 Constructie met land materieel	3.9
3.3.3 Voor en nadelen van land- en drijvendmaterieel	3.11
3.4 Onderhoud van de constructie	3.11
4. Case: De nieuwe haven van Galle (Sri-Lanka)	4.1
4.1 De nieuwe haven van Galle als uitgangspunt	4.1
4.2 Achtergrond van de havenuitbreiding voor Galle	4.1
4.3 Omgevingsfactoren voor de haven van Galle	4.2
4.3.1 Algemene kenmerken van de locatie	4.2
4.3.2 Meteorologie	4.3
4.3.3 Oceanografie	4.3
4.3.4 Geologie	4.4
4.4 De golfbrekers	4.5
4.4.1 Locatie van de golfbrekers	4.5
4.4.2 Beschikbaar materiaal	4.5
4.4.3 Werkbaarheid & planning	4.7
5. Ontwerp van de golfbrekers	5.1
5.1 Functie van de golfbreker en faalorzaken	5.1
5.2 Ontwerp van de statisch stabiele golfbreker	5.2
5.2.1 Ontwerp en faalorzaken	5.2
5.2.2 Stabiliteit van buitenste beschermingslaag	5.2
5.2.3 Stabiliteit van de teenconstructie	5.4
5.2.4 Hoeveelheid benodigd materiaal	5.4

5.3	Ontwerp van de dynamisch stabiele golfbreker	5.8
5.3.1	Ontwerpvariabelen voor een bermgolfbreker	5.8
5.3.2	Bepaling van steenklassen met als uitgangspunt de groeve	5.9
5.3.3	Kruinhoogte en breedte	5.11
5.3.4	Berm hoogte, breedte en talud hoeken	5.11
5.3.5	Controle van de stabiliteit van het binnentalud	5.13
5.3.6	Hoeveelheid benodigd materiaal	5.13
6.	Factoren die de keuze van de uitvoeringsmethode kunnen beïnvloeden	6.1
6.1	Keuze van uitvoeringsmethode op basis van kosten	6.1
6.1.1	Directe kosten	6.2
6.1.2	Indirecte kosten	6.3
6.1.3	Uitvoeringsrisico	6.4
6.2	Werkbaarheid	6.7
6.2.1	Factoren die de werkbaarheid beïnvloeden	6.7
6.2.2	Werkbaarheid voor drijvend materieel	6.8
6.2.3	Werkbaarheid voor land materieel	6.19
6.3	Risico van schade aan de golfbreker tijdens de bouw	6.22
6.3.1	Probabilistische sterkteberekeningen	6.24
6.3.2	Betrouwbaarheidsfunctie voor sub-merged breakwater	6.25
6.3.3	Betrouwbaarheidsfunctie voor low-crested breakwater	6.26
6.3.4	Rekenresultaten van de faalkans berekeningen	6.27
7.	Uitvoeringsmethoden	7.1
7.1	Storten breuksteen met een ponton	7.2
7.2	Storten breuksteen met een splijtbak	7.4
7.3	Storten breuksteen met een zijlosser	7.5
7.4	Storten breuksteen met een kraan	7.6
7.5	Plaatsen van tetrapods en betonelementen met een kraan	7.8
8.	Keuze van materieelinzet op basis van kosten	8.1
8.1	Deelactiviteiten en werkvolgorde voor de golfbrekerontwerpen	8.1
8.1.1	Deelactiviteiten en werkvolgorde voor de statisch stabiele golfbreker	8.2
8.1.2	Deelactiviteiten en werkvolgorde voor de bermgolfbreker	8.3
8.2	Keuze van materieelinzet op basis van kosten	8.4
8.2.1	Materieelinzet in december-februari voor statisch stabiele golfbreker	8.7
8.3	Resultaten van de optimalisatie voor de materieelinzet	8.10
9.	Begroting van de golfbrekerontwerpen	9.1
9.1	Berekeningswijze van materiaalkosten en hoeveelheid	9.2
9.1.1	Benodigde hoeveelheid materiaal	9.2
9.1.2	Materiaal prijzen	9.3
9.1.3	Berekening van de totale materiaalkosten	9.4
9.2	Mobilisatie en installatie kosten	9.6
9.3	Berekeningswijze van materieelkosten	9.6
9.3.1	Bepaling van de projecttijd	9.6
9.3.2	Bepaling van materieelkosten per week	9.9
9.3.3	Berekening van de totale materieelkosten	9.11
9.4	Berekeningswijze van risico van schade tijdens de bouw	9.11

9.5	Eerste raming voor statisch stabiele golfbreker	9.12
9.5.1	Materiaalkosten	9.12
9.5.2	Uitvoeringsmethode en materieelinzet	9.12
9.5.3	Bepaling van de totale projecttijd	9.14
9.5.4	Bepaling van de totale materieelkosten	9.17
9.5.5	Bepaling van het schade risico tijdens de bouw	9.18
9.5.6	Monte Carlo simulatie eerste raming statisch stabiele golfbreker	9.18
9.6	Tweede raming voor statisch stabiele golfbreker	9.21
9.7	Vergelijking van de kostenramingen voor de statisch stabiele golfbrekers	9.24
9.8	Eerste raming voor bermgolfbreker	9.25
9.9	Tweede raming voor bermgolfbreker	9.27
9.10	Vergelijking van de kostenramingen voor de dynamisch stabiele golfbreker	9.29
9.11	Onderhoudskosten	9.29
10.	Vergelijking tussen een statisch en dynamisch stabiele golfbreker	10.1
10.1	Materiaal kosten	10.1
10.2	Projecttijd en materieel kosten	10.3
10.3	Risico tijdens de bouw	10.4
10.4	Totale bouwkosten	10.5
10.5	Nabeschouwing	10.6

Bijlagen:

5.1	Dwarsdoorsnede statisch stabiele golfbreker
5.2	Dwarsdoorsnede dynamisch stabiele golfbreker
6.1	Verdeling van significante deinings- en windgolven
6.2	Relatie tussen significante golfhoogte en golfpiekperiode
6.3	Verdeling van windsnelheid en richting
6.4	Klimaat tabel voor Colombo
6.5	Berekening van bewegingen voor KORSOR en TP1 (pontons)
6.6	Berekening van bewegingen voor pseudo NOVIOMAGUM 669 (splitsbak)
6.7	Berekening van bewegingen voor TAURUS (zijlosser)
6.8	Verdeling van de totale golfhoogten per periode
6.9	Berekening van faalkansen tijdens de bouw
7.1	Cyclustijden en werkbaarheid voor verschillende uitvoeringsmethoden
7.2	Materieelkosten
8.1	Optimaliseringsmodel voor materieelinzet
8.2	Rekenresultaten optimalisering materieelinzet
9.1	MATLAB-programma Monte Carlo simulatie begroting
9.2	Gegevens tweede raming statisch stabiele golfbreker
9.3	Gegevens eerste raming bermgolfbreker
9.4	Gegevens tweede raming bermgolfbreker
9.5	Eerste aanzet voor de berekening van onderhoudskosten



1. Inleiding

Meer nog dan op het land zijn activiteiten op zee onderhevig aan wisselende omstandigheden. Golven, wind en neerslag kunnen de activiteiten bemoeilijken.

Op die plekken waar activiteiten veelvuldig gehinderd worden door golven worden golfbrekers gebouwd. Golfbrekers zijn constructies die de golven breken en daardoor de golfslag aan de lijzijde van de constructie vermindere-
ren.

De functie van een golfbreker kan zijn:

- breken van golven
- geleiden van stromingen
- bescherming tegen deining
- beveiligen van haven of kade activiteiten
- geleiden van sediment transport om dichtslibben van vaargeulen te voorkomen.

Combinaties van deze functies zijn natuurlijk mogelijk.

Een van de meest toegepaste typen golfbrekers is de conventionele golfbreker, ook wel genoemd: statisch stabiele golfbreker. Dit is een constructie van meerdere lagen natuursteen soms afgedekt met een of twee lagen betonblokken waarbij verplaatsingen van elementen over het talud niet mogen voorkomen. Een ander type, de bermgolfbreker ook wel dynamisch stabiele golfbreker genoemd, welke doorgaans opgebouwd is uit veel meer lichtere steen, kan goedkoper zijn. In dit verslag wordt met de term statisch stabiele golfbreker steeds de conventionele golfbreker bedoeld, en met de dynamisch stabiele golfbreker de bermgolfbreker.

De technische randvoorwaarden zoals sterkte en stabiliteit vormen vaak de belangrijkste ontwerpvariabelen. Voor een goede aanpak zou aan de hand van de opbrengst van de steengroeve, de transportafstand en andere kosten bepalende factoren tezamen met de technische eisen een ontwerp gemaakt moeten worden.

1.1 Probleemstelling

Hoe komt men nu tot een kosten afweging tussen een statisch en dynamisch stabiele golfbreker? Naast een technische optimalisatie moet rekening worden gehouden met andere factoren. Uitgaande van technische randvoorwaarden, rekening houdend met de beschikbaarheid van het constructie materiaal, mogelijke uitvoeringsmethoden en het risico van schade tijdens de bouw moet een afweging worden gemaakt.

1.2 Doelstelling

Aan de hand van een case worden concept ontwerpen voor een statisch en dynamisch stabiele golfbreker gemaakt. Hierbij wordt zoveel mogelijk gestreefd naar technische gelijkwaardigheid. Voor deze ontwerpen wordt op systematische wijze op basis van materiaalgebruik, uitvoeringsmogelijkheden en het risico van schade tijdens de bouw een kostenafweging gemaakt.

1.3 Plan van aanpak

Voor de havenuitbreiding van Galle (Sri Lanka) worden concept ontwerpen gemaakt van een statisch en dynamisch stabiele golfbreker. Aan de hand van opbrengstcurven van de dichtstbijzijnde steengroeve kan dan het materiaalgebruik en de bijbehorende kosten worden beoordeeld.

Voor verschillende materieeltypen, die gebruikt kunnen worden voor de bouw van een golfbreker, wordt de werkbaarheid bepaald. Door het schatten van cyclustijden en materieelkosten worden voor verschillende uitvoeringsmethoden de kosten geschat.

Afhankelijk van de uitvoeringsmethode kan met behulp van probabilistische sterkte berekeningen de kans berekend worden dat schade optreedt in verschillende bouwstadia.

Door het maken van probabilistische kostenramingen wordt een afweging van de kosten en de bijbehorende onzekerheden gemaakt.

1.4 Afbakening

De kostenafweging wordt gemaakt tussen een statisch stabiele golfbreker uit rots met als buitenste beschermingslaag tetrapods en een dynamisch stabiele golfbreker. Economische optimalisatie van de concept golfbreker ontwerpen is buiten beschouwing gelaten.

Tijdens een volledige kostenafweging zijn niet alleen de bouwkosten, maar ook de onderhoudskosten van belang. In dit rapport zijn deze kosten niet verwerkt.

1.5 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk twee wordt beschreven hoe de constructies voor statisch en dynamisch stabiele golfbrekers in het algemeen opgebouwd worden en wat de karakteristieke verschillen daartussen zijn.

Daarna wordt voor het algemene geval het winnen van het materiaal, het transport naar de havenlokatie en de mogelijke uitvoeringsmethoden beschreven.

Uitgangspunt voor de concept ontwerpen is de eerder genoemde havenuitbreiding van Galle. Achtergronden van deze case worden in hoofdstuk vier beschreven. In hoofdstuk vijf worden de ontwerpen van de statisch en dynamisch stabiele constructie toegelicht.

Vervolgens worden verschillende factoren opgesomd die de keuze van de uitvoeringsmethode beïnvloeden. De werkbaarheid, een belangrijke factor voor de keuze van de uitvoeringsmethode, is voor verschillende stortschepen en voor landmaterieel bepaald.

Met behulp van deze gegevens zijn in hoofdstuk zeven verschillende uitvoeringsmethoden opgesteld, waarvoor de bijbehorende kosten bepaald zijn.

Vervolgens is op basis van produktiesnelheid en de bijbehorende kosten de materieelinzet geoptimaliseerd.

De basis voor de uiteindelijke kostenafweging wordt gevormd door de kostenramingen die in hoofdstuk negen zijn gemaakt.

Ter afsluiting is een vergelijking van de kosten tussen de twee golfbreker ontwerpen gemaakt.

2. Statisch en dynamisch stabiele golfbrekers

2.1 Golfbrekers

De functie van golfbrekers voor een haven is om golven te breken en daardoor een beschutte plaats te creëren voor schepen om af te meren voor het laden en lossen. Daarnaast kunnen golfbrekers ervoor zorgen dat sedimenttransport wordt voorkomen of gereduceerd.

In vroeger tijden werden golfbrekers volledig uit rots opgebouwd. Aan de buitenkant werden de zwaarste blokken geplaatst die de golfaanval moesten weerstaan. Daaronder werden lichtere stenen uit de groeve gebruikt.

Door ontwikkeling van de scheepvaart die steeds grotere diepten van haveningangen vereist, moeten golfbrekers op steeds grotere diepten worden gebouwd waar ze hogere golven moeten breken.

De ontwikkeling van materieel voor steen winning en havenbouw is tegelijk met de scheepvaart verder ontwikkeld, maar om geologische redenen (zie paragraaf 3.2.1) is het maximale gewicht van een rotsblok beperkt.

Het benodigde gewicht van een element om stabiel te blijven onder een gegeven golfhoogte is onder andere een functie van de taludhoek en de golfhoogte.

Hoe steiler de taludhoek, hoe groter het gewicht van een element moet zijn om stabiel te blijven bij aanval van eenzelfde golfhoogte.

Wanneer geen zware natuursteenblokken voorhanden zijn kunnen kunstmatig elementen van beton worden vervaardigd. Hierdoor kan een steil talud worden toegepast, met als voordeel dat de totaal benodigde hoeveelheid materiaal beperkt blijft.

Een andere oplossing bij gebrek aan zware stenen is het toepassen van een flauwe taludhoek, waardoor lichter materiaal gebruikt kan worden.

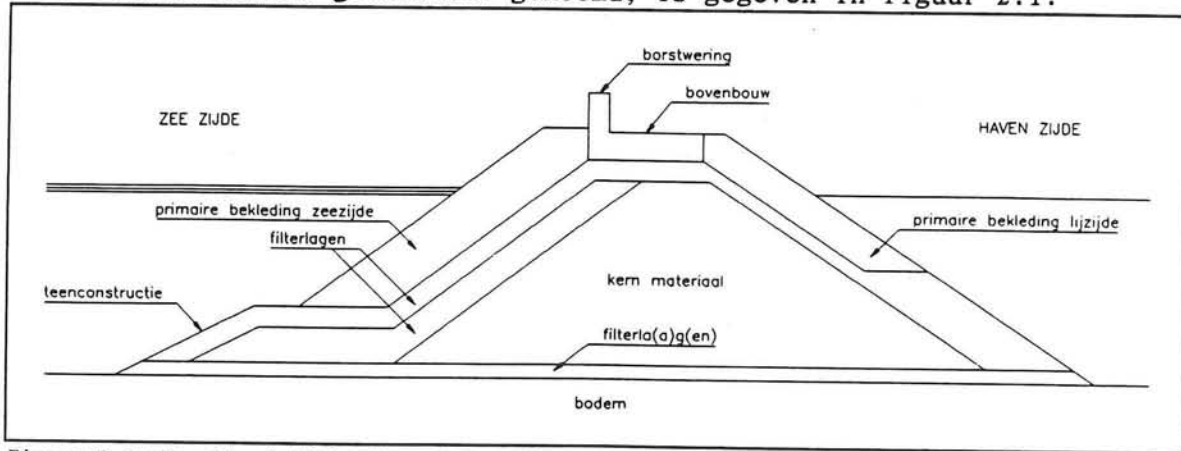
Er zijn twee hoofdtypen golfbrekers te onderscheiden, namelijk statisch en dynamisch stabiele golfbrekers. Bij een statisch stabiele constructie is de vorm tijdens de constructie gelijk aan die in de gebruikstoestand. Statisch stabiele constructies worden vaak gebouwd met zware elementen op het buitentalud en een steile taludhelling.

Bij een dynamisch stabiele constructie wordt het buitentalud door de zee vervormd. Om een verplaatsing van de elementen door de zee te laten plaatsvinden worden lichtere stenen gebruikt, het vervormde talud is flauw.

Hierna wordt de karakteristieke opbouw van statisch en dynamisch stabiele golfbrekers beschreven. Tot slot wordt een overzicht gegeven van voor- en nadelen van statisch en dynamisch stabiele golfbrekers.

2.2 Statisch stabiele golfbrekers

Een karakteristieke dwarsdoorsnede van een statisch stabiele golfbreker, ook wel conventionele golfbreker genoemd, is gegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1: Karakteristieke dwarsdoorsnede van een statisch stabiele golfbreker

De buitenste laag van de golfbreker bestaat uit de zwaarste elementen die statisch stabiel zijn onder de ontwerpgolffhoogte. Tussen de kern van de golfbreker en de buitenste laag worden filterlagen aangebracht. Dit zijn overgangsconstructies om te voorkomen dat het lichtere kernmateriaal uitspoelt door de openingen van het materiaal van de buitenste laag. Tussen de bodem en het kernmateriaal wordt ook vaak een filterlaag aangebracht om te voorkomen dat het bodem materiaal door het filter verdwijnt.

Op de kruin van de golfbreker wordt soms een betonnen kruinmuur geplaatst. Deze constructie beperkt het overslaan van golven en maakt de constructie begaanbaar voor constructiematerieel.

De teen aan het buitentalud van de constructie ondersteunt het beschermingsmateriaal van de buitenste laag en moet voorkomen dat erosie van de ondergrond plaatsvindt.

2.3 Dynamisch stabiele golfbrekers

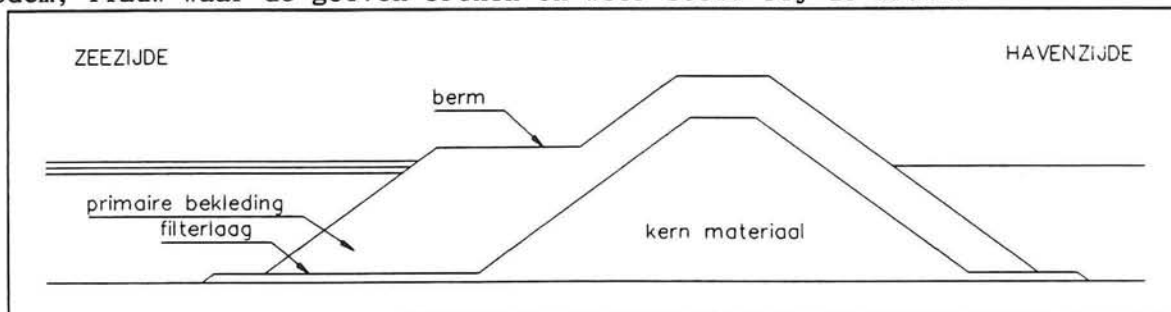
In tegenstelling tot statisch stabiele golfbrekers treden bij dynamisch stabiele constructies zoals bermgolfbrekers verplaatsingen van het taludbekledingsmateriaal, loodrecht op de as van de golfbreker, op. De naam dynamisch stabiele golfbreker is maar gedeeltelijk juist omdat de constructie na vervorming van het profiel ook statisch stabiel is. Daarom is het, in tegenstelling tot de dagelijkse praktijk, beter te spreken van een bermgolfbreker.

Het idee bij een bermgolfbreker is dat de taluds bij aanleg steil worden opgetrokken waarna de dwarsdoorsnede door golfaanval zijn uiteindelijke vorm krijgt. Door het toelaten van verplaatsingen van de bekledingselementen kunnen kleinere stenen worden toegepast, die over het algemeen in grotere hoeveelheden voorkomen en daardoor goedkoper zijn dan de grotere stenen die bij statisch stabiele constructies nodig zijn.

Bij een technisch optimaal ontwerp zou de stabiliteit van elk bekledingselement op het talud net iets groter zijn dan de belasting. De stabiliteits eis kan dus lager zijn op plaatsen waar de hydraulische belasting kleiner is. Dit betekent dat als uniform materiaal wordt toegepast de taludhoek van een golfbreker steiler kan zijn op plaatsen waar de hydraulische belasting kleiner is.

Bij een bermgolfbreker ontstaat deze situatie omdat de stenen vrij kunnen bewegen over het talud. De elementen worden tijdens een storm verplaatst naar een positie waar ze net stabiel liggen. Wanneer de constructie dynamisch stabiel is betekent dit dat het netto transport loodrecht op de as van de golfbreker gelijk is aan nul.

Het uiteindelijke profiel krijgt een S-vorm; het talud is steil bij de bodem, flauw waar de golven breken en weer steil bij de kruin.



Figuur 2.2: Karakteristieke dwarsdoorsnede van een bermgolfbreker

De constructie van een bermgolfbreker (figuur 2.2) bestaat uit een dijklichaam met een berm. Vaak bestaat de constructie uit twee steenklassen. De buitenste laag bestaat uit de zwaarste stenen, deze laag mag door de golven aangepast worden tot een nieuw profiel. De kern van de constructie bestaat uit een veel lichtere steenklasse en mag daarom niet door golfaanval aangetast worden omdat dat tot bezwijken kan leiden.

2.4 Vergelijking tussen statisch en dynamisch stabiele golfbrekers

Een korte vergelijking tussen de twee golfbreker typen, waarbij wordt ingegaan op het constructie materiaal, het gedrag van de constructie onder golfaanval, de uitvoering en het onderhoud volgt hierna.

2.4.1 Materiaal

Wanneer de statisch stabiele golfbreker volledig uit rots wordt gebouwd zijn zwaardere stenen nodig dan bij de bermgolfbreker. Doordat het aantal grote stenen dat gewonnen wordt in een groeve vaak beperkt is, is vaak een aanzienlijke overproductie nodig om de benodigde stenen te krijgen. Als alternatief kunnen betonelementen worden toegepast. De productie is echter duur en het leggen gaat relatief traag.

Over het algemeen zijn voor het ontwerp meer dan drie fracties van verschillende steengrootte nodig.

Een bermgolfbreker is beter in staat om de beschikbare steen uit een groeve te benutten, soms kan zelfs de totale productie benut worden. Bovendien zijn de produktietechnieken in de groeve om het materiaal te winnen over het algemeen sneller.

Voor een bermgolfbreker is een kleiner aantal fracties voldoende (meestal twee), wat het sorteren in de groeve vereenvoudigt. In de buitenste laag zijn veel stenen nodig waarbij een brede gradatie kan worden toegepast. Het totale volume steen benodigd voor een bermgolfbreker is groter dan bij een statisch stabiele golfbreker.

	statisch stabiele golfbreker	dynamisch stabiele golfbreker
gewicht benodigde stenen uit groeve	veel zware stenen nodig welke weinig in de groeve voorkomen	minder zware stenen nodig waardoor minder extra rots gewonnen hoeft te worden
aantal steenklassen	meestal groter dan 3	2-3 steenklassen zijn vaak voldoende
filterlagen	2 * Dn50 dik met smalle gradaties worden toegelaten	dikte van lagen veel groter dan 2 * Dn50, daardoor kunnen bredere gradaties worden gebruikt
totaal benodigde hoeveelheid	in totaal vaak minder materiaal nodig dan bermgolfbreker	vaak grotere hoeveelheid materiaal nodig dan statisch stabiele golfbreker

Tabel 2.1: Constructie materiaal voor statisch en dynamisch stabiele golfbrekers

2.4.2 Het gedrag van de constructie onder golfaanval

Een bermgolfbreker heeft door de dikke buitenste beschermingslaag een hogere doorlatendheid ten opzichte van de statisch stabiele golfbreker. Hierdoor is de bermgolfbreker beter in staat om golfenergie te dissiperen, waardoor up- en downrush krachten kleiner worden.

Wanneer een element bij een statisch stabiele golfbreker door golven uit het talud wordt getild komt de kern snel bloot te liggen, terwijl bij een bermgolfbreker meer reserve aanwezig is. De kans dat een element uit het talud wordt getild bij een bermgolfbreker is echter groter.

De duurzaamheid van de rots wordt bij een bermgolfbreker zwaarder op de proef gesteld omdat tijdens stormen de stenen over elkaar rollen.

Bij scheef invallende golven, kan bij een bermgolfbreker langstransport van steen ontstaan, wat extra onderhoud met zich meebrengt. Bij een statisch stabiele golfbreker zal geen langstransport optreden bij scheef invallende golven.

	statisch stabiele golfbreker	dynamisch stabiele golfbreker
doorlatendheid	vaak lagere doorlatendheid dan dynamisch stabiele golfbreker, daardoor grotere up- en downrush krachten	door brede gradatie vaak hogere doorlatendheid wat lagere up- en downrush krachten tot gevolg heeft
stabiliteit elementen in het buitentalud	kans relatief klein dat een element uit het talud verdwijnt, het gevolg is snel desastreus	kans groter dat een element uit het talud verdwijnt, het gevolg is minder ernstig
degradatie rots bij stormen	kans op schade aan individuele blokken door botsen tijdens storm	meer kans op schade aan individuele elementen door over elkaar rollen van stenen
langstransport	treedt niet op	kans op langstransport is duidelijk aanwezig, tijdens onderhoud zal daar rekening mee gehouden moeten worden

Tabel 2.2: Gedrag van constructie onder golfaanval voor statisch en dynamisch stabiele golfbrekers

2.4.3 Uitvoering en onderhoud van de constructies

Bij de statisch stabiele golfbrekers verloopt de constructie trager doordat stenen stuk voor stuk geplaatst moeten worden en de toegelaten toleranties in de relatief dunne buitenste laag kleiner zijn dan bij de bermgolfbreker. Een bermgolfbreker leent zich over het algemeen meer voor eenvoudige en snelle uitvoeringsmethoden.

Voor het onderhoud van de statisch stabiele golfbrekers is vaak zwaar gespecialiseerd materieel nodig. Bij schade zullen verschillende lagen vaak door elkaar zijn gemengd wat extra werk met zich mee brengt bij reparatie. Het onderhoud van een bermgolfbreker kan worden uitgevoerd met vrij algemeen toepasbaar materieel (als de constructie toegankelijk is). Het bestaat uit het eenvoudig storten van steen en eventueel bijwerken van het talud met een kraan.

	statisch stabiele golfbreker	dynamisch stabiele golfbreker
uitvoeringsmethode	veel materiaal moet stuk voor stuk geplaatst worden en de toegelaten toleranties zijn relatief klein	grote hoeveelheden materiaal kunnen tegelijk verwerkt worden waardoor de uitvoeringssnelheid vaak hoger licht.
onderhoud/reparatie	er is vaak zwaar gespecialiseerd materiaal nodig wat hoge mobilisatie kosten met zich meebrengt	onderhoud kan uitgevoerd worden met algemeen toepasbaar materieel

Tabel 2.3: *Uitvoering en onderhoud van de constructie voor statisch en dynamisch stabiele golfbrekers*



3. Aandachtspunten bij ontwerp, planning en constructie van golfbrekers

3.1 Belangrijkste aandachtspunten

De belangrijkste aandachtspunten die een grote invloed hebben op de totale kosten van een golfbreker zijn:

- de beschikbaarheid van het constructiemateriaal
- de omgevingscondities tijdens het bouwen
- de beschikbaarheid en inzetbaarheid van het materieel
- het verwachte onderhoud aan de golfbreker in de toekomst

Deze aandachtspunten zullen in dit hoofdstuk worden toegelicht.

3.2 Beschikbaarheid van het constructie materiaal

Voor de constructie van golfbrekers wordt breuksteen gebruikt, soms aangevuld met betonnen elementen voor de buitenste laag. De kosten van de productie, het transport en het plaatsen van grote hoeveelheden rots en beton vormen een belangrijke afweging in het ontwerp.

3.2.1. Breuksteen als constructie materiaal

Rots wordt gewonnen in steengroeven. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen commerciële groeven en groeven die voor één project worden gebruikt (dedicated quarry).

Een commerciële groeve wint rots voor verschillende klanten. In deze groeven is het percentage onbruikbaar materiaal vaak laag, maar het percentage grote stenen is vaak te klein voor de bouw van een golfbreker.

Een andere mogelijkheid is om een speciale groeve te openen voor een golfbreker. De manier van winnen kan dan zoveel mogelijk worden afgestemd op de benodigde steenafmetingen. Dit wordt gedaan door in een systematisch patroon gaten te boren waarin dynamiet wordt gestopt. Met behulp van explosies wordt zo de rots losgemaakt. Door het toepassen van een uitgekend boorpatroon kan de grootte van de gewonnen stenen enigszins beïnvloed worden.

Rots wordt ingedeeld naar ontstaanswijze in drie primaire groepen:

1. Stollingsgesteenten: gevormd door kristallisatie van gesmolten magma.
2. Sedimentgesteenten: gevormd door sedimentatie van minerale korrels die geconsolideerd zijn tot rots.
3. Metamorfischegesteenten: gevormd door het effect van hitte en druk op stollingsgesteenten en sedimentgesteenten.

Afhankelijk van de ontstaanswijze bevinden zich in de rots (potentiële) breukvlakken. Opeenvolgende lagen gesteenten worden gescheiden door 'bedding planes', deze vlakken zijn potentiële breukvlakken voor het rotsmassief.

Zowel stollingsgesteenten als sedimentgesteenten bevatten joints. Dit zijn scheuren in een rotsvolume waar geen zichtbare verplaatsing heeft plaats gevonden. Een groep parallelle joints heet een set, verschillende jointsets snijden elkaar en vormen zo een joint systeem. Verder worden in het rotsmassief 'fouten' in de structuur aangetroffen, dit zijn breukzones waar wel zichtbare verplaatsingen zijn opgetreden.

De grootte van te winnen stenen kan beïnvloed worden door de methode waarop de stenen worden gewonnen, maar de maximale grootte wordt bepaald door het systeem van beddingplanes, joints en discontinuïteiten in het rotsmassief. Aan de hand van deze data kan een verwachte fragmentatiecurve getekend worden. Daarnaast moet onderzoek worden gedaan naar het soortelijk gewicht, de mechanische sterkte, de weerstand tegen slijten en de chemische persistentie van de rots.

Naast de eisen die gesteld worden aan de kwaliteit van de rots worden de volgende eisen gesteld aan een groeve:

- de groeve moet goed bereikbaar zijn
- het volume van de formatie moet voldoende zijn voor het hele werk
- de exploitatie van de groeve moet mogelijk zijn zonder ernstige gevolgen voor de omgeving
- er moet toestemming zijn voor het winnen van rots
- in de buurt van de groeve moet voldoende plaats zijn voor het aanleggen van een werkterrein, depots etc.

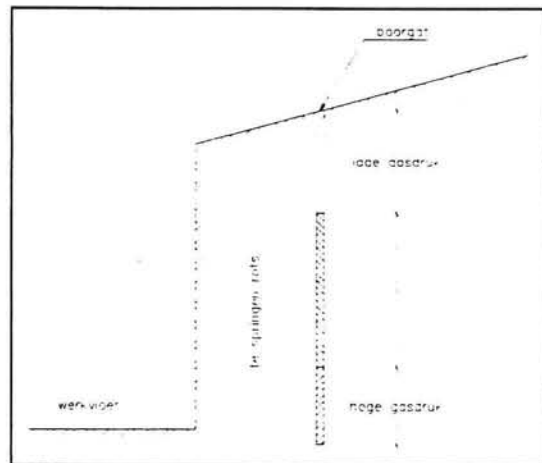
Een groeve werkt optimaal als bij elke ontploffing of elke serie ontploffingen, de benodigde hoeveelheid van de verschillende fracties vrijkomt.

Als er te weinig elementen voor de buitenste beschermingslaag bij zitten kan dit leiden tot:

- een toename van de kosten doordat meer materiaal moet worden gewonnen dan gebruikt kan worden
- gedwongen gebruik van betonnen elementen in de constructie
- noodzaak tot het zoeken van een andere groeve die het gevraagde materiaal wel kan leveren, een verder gelegen groeve zal de transportkosten doen stijgen

Het is dus zowel technisch als financieel belangrijk om zoveel mogelijk materiaal van de groeve te kunnen gebruiken zonder dat er veel onbruikbaar materiaal vrijkomt.

Voor het losmaken van steen uit het rotsmassief worden, parallel aan de verticale rotswand, gaten geboord waarin dynamiet tot ontploffing wordt gebracht. De gasdruk in de schacht bepaalt de grootte van de dynamische spanningen die ontstaan na de explosie. De grootte van de gesprongen rots neemt toe met een afname van de gasdruk die ontstaat in de boorschacht na de ontploffing. Door in het boorgat de benodigde hoeveelheid dynamiet te variëren kunnen verschillende steengroottes worden verkregen.



Figuur 3.1: Boorgat in rotsmassief

Een voorbeeld is gegeven in figuur 3.1. Het bovenste deel van het boorgat wordt zodanig gevuld dat het breekt in zeer grote brokken. Onderin de boorschacht wordt het dynamiet zodanig aangebracht dat beneden een grote gasdruk ontstaat waardoor kleinere stenen ontstaan.

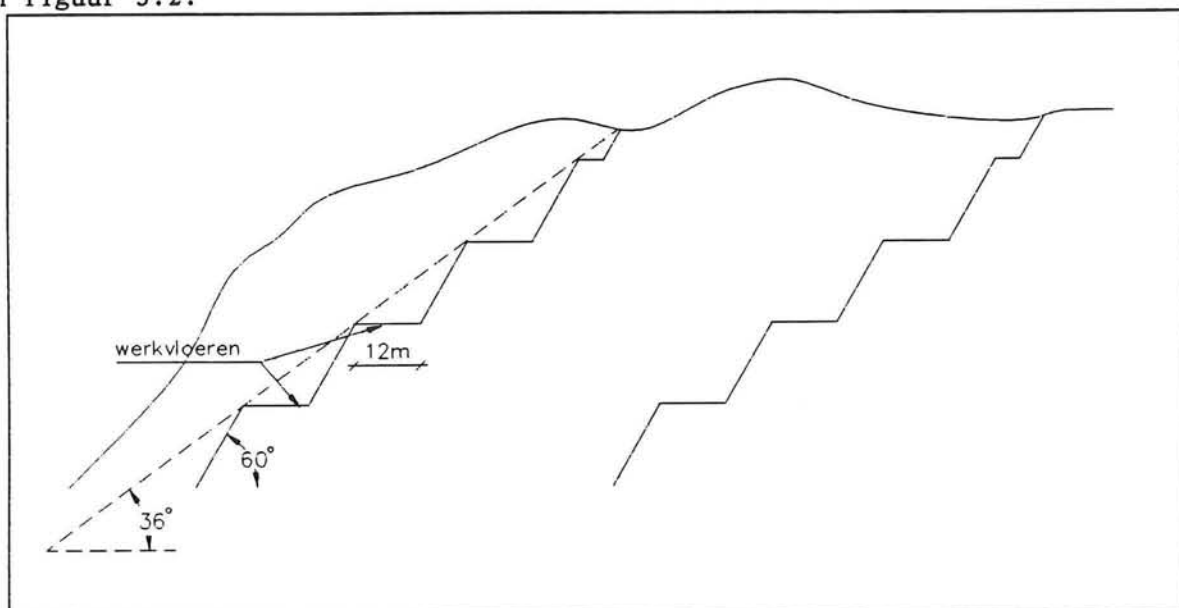
Naast de verdeling van dynamiet over de boorschacht is ook het boorpatroon van belang.

De produktie van middelzware en zware graderingen is niet eenvoudig. Min of meer bevredigende resultaten kunnen alleen verkregen worden na een aantal experimenten.

Een aantal vuistregels om grotere percentages zware stenen te verkrijgen zijn (CUR154, 1991):

1. Een lage specifieke lading dynamiet aanbrengen. Een lading van $0.2 \text{ kg dynamiet} / \text{m}^3 \text{ rots}$ is in het algemeen voldoende.
2. De afstand tussen de wand en het boorgat moet groot zijn en de afstand tussen de boorgaten onderling klein. Voor de afstand tussen boorgat en wand kan ongeveer 60 maal de boorgatdiameter worden aangehouden, mits dit groter is dan de afstand tussen de discontinuïteiten in het rotsmassief.
3. Als de hoogte van de te springen laag te groot of te klein is zal de produktie van grote stenen laag zijn. Een eerste schatting geeft een hoogte van twee tot drie keer de afstand tussen boorgat en rotswand.
4. Een smal boorgat met een diameter kleiner dan 100mm is aanbevolen (normaal tussen 50 en 75mm).
5. Eén rij boorgaten parallel aan de rotswand is vaak beter dan meerdere rijen.
6. Alle gaten moeten gelijktijdig tot ontploffing worden gebracht, door tussentijden ontstaan hoge grondtrillingen.

Tijdens het winnen ontstaan werkvloeren langs de rotswand (bench-floors) waarop de gesprongen rots valt. De werkvloer moet breed genoeg zijn voor het gesprongen materiaal plus werkruimte voor materieel dat nodig is voor classificatie, laden en transport. Volgens een vooraf gesteld plan (mining-plan) wordt zo de rots gewonnen, een schematisch voorbeeld is weergegeven in figuur 3.2.



Figuur 3.2: Schematisch voorbeeld van een winplan in een groeve

Wanneer het materiaal in de groeve gewonnen is wordt het gesorteerd. Daarna zullen de verschillende fracties tijdelijk worden opgeslagen totdat ze getransporteerd kunnen worden. De grootte van deze opslagplaats moet zodanig zijn dat de voortgang van het totale werk niet mag worden belemmerd.

De planning van de groeve-exploitatie is hoofdzakelijk gebaseerd op de verwachte fragmentatiecurve. Voor de verschillende benodigde fracties kan hieruit afgelezen worden wat de opbrengst van de groeve is. Vaak moet meer materiaal gesprongen worden om de benodigde fracties te verkrijgen. Een kleine afwijking tussen de geschatte fragmentatiecurve en de wenselijke curve heeft dan ook grote gevolgen.

De produktiekosten liggen in het algemeen tussen \$5-8/ton (inclusief kapitaal investeringskosten maar exclusief mobilisatie en demobilisatie), met de volgende onderverdeling (CUR 154, 1991):

20-30%	boren/ontploffingen en verwijderen van niet bruikbaar materiaal.
30-40%	laden en selecteren op het oog
20%	transport en opslag
10%	sorteren en scheiden
10%	laden uit opslag voor transport

De kosten kunnen bovendien nog stijgen als licentiekosten (royalties) afgedragen moeten worden.

3.2.2. Beton als constructie materiaal

Wanneer er voor gekozen wordt om de grootste elementen van beton te maken is veel beton nodig. De kosten van het betonwerk kunnen oplopen tot meer dan 65% van de totale kosten van de golfbreker (Breakwaters design and construction, 1983). Het materieel om enkele duizenden kubieke meters beton per dag te maken moet aanwezig zijn. Verder zijn er honderden tonnen cement per dag nodig wat in sommige landen zeer problematisch kan zijn.

Het beton wordt toegepast in een agressief milieu. Daarom worden hoge eisen gesteld aan de kwaliteit. Toepassing van wapening in betonnen elementen is vaak problematisch omdat de kans op corrosie van de wapening aanzienlijk is. Om dezelfde reden is het toepassen van hijs-ogen in de elementen af te raden (Bruun, 1987). Het is belangrijk dat de elementen goed gehard zijn, voordat ze geplaatst worden, bijvoorbeeld 1/2 jaar. Als ze in hetzelfde seizoen geplaatst worden als waarin ze geproduceerd worden, wordt door Bruun een hardingstijd van minimaal 3 maanden geadviseerd.

3.3 Omgevingscondities tijdens het bouwen

Golfbrekers worden gebouwd op plaatsen waar zonder deze constructie hinder ondervonden wordt van de omgevingscondities. Tijdens de bouw van een golfbreker zal dus terdege rekening moeten worden gehouden met omstandigheden die de uitvoering kunnen bemoeilijken of (tijdelijk) onmogelijk maken.

Omgevingsfactoren die de uitvoering kunnen beïnvloeden zijn:

1. Golfslag:

Golven kunnen de uitvoering tijdelijk onmogelijk maken. Drijvend materieel kan boven een bepaalde golfhoogte met onvoldoende precisie werken en de kans op schade aan het schip en de constructie zal toenemen bij hogere golven.

Ook bij constructie vanaf het land kan de uitvoering onmogelijk worden gemaakt door golven. Wanneer de golfoploop zodanig is dat deze het niveau waarop het materieel staat bereikt, zal het risico voor beschadiging van het materieel aanzienlijk worden.

Tenslotte kan de constructie zelf beschadigd raken als bepaalde golfhoogten worden overschreden. Wanneer een laag, die niet stabiel is onder de gegeven golfhoogte, nog niet is afgedekt met zwaardere elementen kan aanzienlijk verlies van materiaal optreden.

Met behulp van een analyse van het golfklimaat kan bepaald worden in welke periode het best gewerkt kan worden. Afhankelijk van voorspellingen moet het werk gepland worden zodat beschermende maatregelen genomen kunnen worden.

De constructiemethode moet soms tijdens het werk worden veranderd. Bijvoorbeeld doordat het golfklimaat voor de hele constructie aanmerkelijk varieert, of doordat de golfcondities per seizoen verschillend zijn.

2. Waterstand:

Op veel plaatsen waar golfbrekers gebouwd worden varieert de waterstand onder invloed van het getij. Zeker wanneer deze verandering van de waterstand over de dag aanzienlijk is zal de uitvoering moeten worden afgestemd op de waterstand.

Bij een lage waterstand kan de diepte onvoldoende zijn voor een schip om de constructie te naderen. Bij een hoge waterstand kan een deel van de constructie onder water staan waardoor deze onbereikbaar wordt voor landmaterieel.

3. Wind:

Bij harde wind kunnen kranen van zowel land- als drijvendmaterieel met onvoldoende precisie werken, bovendien wordt het werk gevaarlijk.

4. IJs:

Wanneer het hard vriest moet de uitvoering stilgelegd worden.

5. Mist:

Bij gebruik van drijvend materieel zal bij dichte mist het werk stilgelegd worden.

6. Stroming:

Bij sterke stroming is het positioneren en storten vanaf drijvend materiaal zeer lastig.

3.3 Beschikbaarheid en inzet van het materieel

Golfbrekers kunnen vanaf het land of vanaf het water worden gebouwd. Beide methoden hebben hun eigen voor- en nadelen. Een afweging van het te gebruiken materieel zal voor elke golfbreker opnieuw moeten worden gemaakt. Een combinatie van land- en drijvend materieel wordt vaak toegepast.

In eerste instantie wordt de uitvoering zo bepaald dat voor elk onderdeel het meest geschikte materieelstuk ingezet kan worden.

Echter niet altijd zal het zo gekozen materieel ingezet worden, redenen hiervoor kunnen zijn:

- de hoge mobilisatiekosten van gespecialiseerd materieel
- de mobilisatie is onmogelijk
- het materieel is niet beschikbaar

Voor grote belangrijke projecten geeft het vaak het meeste voordeel om groot materieel in te zetten zodat het werk zo snel mogelijk kan worden uitgevoerd. Kleinere projecten worden daarna ingepast met het overig beschikbare materieel.

In onderstaande tabel is weergegeven welk materieel bij de verschillende onderdelen van de uitvoering gebruikt kan worden wanneer de constructie gebouwd wordt met rotsblokken.

Onderdeel	Te gebruiken materieel
laden gewonnen materiaal	- shovel - draadkraan
transport naar opslag groeve	- vrachtwagens - (trein)
eventueel breken van steen	- grizley's
sorteren stenen	- shovel - hydraulische kraan - draadkraan
laden voor transport naar het bouwterrein	- shovel - hydraulische kraan - draadkraan
transport naar bouwterrein	- vrachtwagen - schip - (trein)
lossen opslag op bouwterrein	- dumpen van transportmiddel - kraan
laden uit opslag terrein	- shovel - kraan
transport naar constructie	- vrachtwagen - schip
aanbrengen elementen	- dumpen - (drijvende) kraan - draadkraan - onderlosser - zijlosser - splijtbakken - ponton met ballast tanks - ponton met shovel (duwen)

Tabel 3.1: Te gebruiken materieel bij de bouw van een golfbreker uit rots

Vaak is er op de bouwplaats nog een tussenopslag als voorraad. Zeker wanneer de groeve verder weg is dan ongeveer 25 km wordt dit aangeraden omdat anders de voortgang van het werk erg gevoelig is voor oponthoud tijdens het transport van de groeve naar het bouwterrein. Nadeel van tussenopslag is dat er extra ruimte nodig is en de rotsblokken moeten meerdere keren worden geladen en gelost (rehandling), wat extra tijd en geld kost.

In bovenstaande tabel 3.1 zijn twee tussenopslag plaatsen opgenomen, in de groeve en op het bouwterrein. Afhankelijk van de situatie kan gekozen worden om een van de twee, of allebei de opslagplaatsen weg te laten.

Afhankelijk van de uitvoeringswijze, vanaf het land of met drijvend materieel, wordt gekozen voor het laden van vrachtwagens of schepen om de rotsblokken in het werk te brengen.

Wegtransport heeft het voordeel dat het flexibel is. De aflevering kan goed op de behoefte op het bouwterrein worden afgestemd. Terwijl de kosten voor transport met wegverkeer hoger zijn dan transport over water kan bespaard worden op het overladen en een kleinere voorraad in de buurt van het bouwterrein.

Hierna zal kort worden ingegaan op de constructiemethoden met land- en drijvend materieel.

3.3.1 Constructie met drijvend materieel

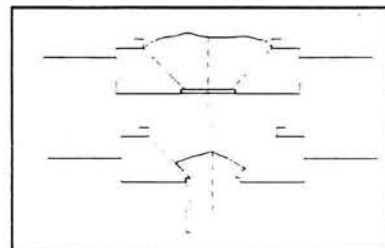
Wanneer gekozen wordt om de rotsen met drijvend materieel aan te brengen zullen de schepen eerst geladen moeten worden. Het laden van schepen kan op de volgende manieren worden gedaan:

- direct vanaf de vrachtwagens die de rots transporteren
- laden met een kraan die bijvoorbeeld voorzien is van een steenstort bak met de inhoud van de vrachtwagen
- de vrachtwagen lost in de haven, shovels laden het materiaal daarna op het schip
- met een transportband

De keuze is afhankelijk van het volume en de grootte van het materiaal. Bij het laden van een schip zijn soms de waterstanden van belang omdat rekening moet worden gehouden met een maximale valhoogte om beschadigingen aan het schip te voorkomen. Het direct laden met een vrachtwagen gaat het snelst. Wanneer dit niet mogelijk is kan gekozen worden om shovels te gebruiken voor het laden. Laden met een kraan is economisch als een grote dagelijkse hoeveelheid benodigd is en de aanvoer redelijk constant is zodat de kraan continu werk heeft. Een transportband wordt alleen gebruikt voor stenen van 0-1 ton, waardoor deze methode voor de bouw van een golfbreker minder geschikt is.

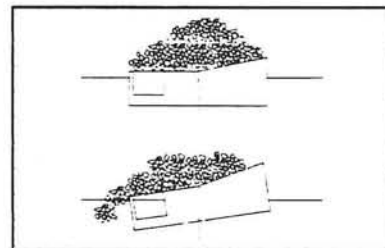
Ruwweg worden er zes typen drijvend materieel gebruikt voor de bouw van golfbrekers:

1. Bodemlossers: nemen het materiaal mee in compartimenten die onderwater kunnen worden geopend boven de gewenste plek. Deze hoppers kunnen zelf aangedreven zijn of worden voort getrokken. De grootste kan 500-1000 ton materiaal meenemen. Dit type is niet geschikt voor grote stenen. Door het ontstaan van boogwerking in het ruim is het lossen via de bodemluiken bij grote stenen niet mogelijk.



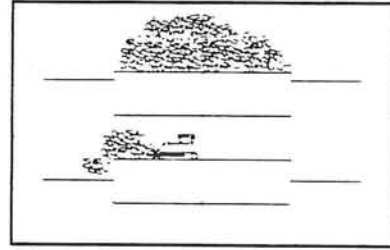
Figuur 3.3: Bodemlosser

2. Ponton met ballasttanks: Deze hebben het materiaal aan dek. Met behulp van een ballast systeem kunnen ze sterk scheef hangen waardoor de lading overboord wordt gezet. De grootste neemt enkele honderden tonnen materiaal mee.



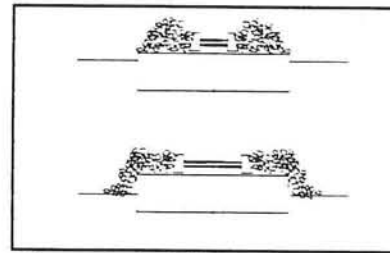
Figuur 3.4:
Ponton met ballasttank

3. Pontons: Verschil met het vorige materieel is dat ze niet met behulp van ballast tanks scheef kunnen hangen. Ze worden gelost met een kraan of door vanaf het dek met een shovel of bulldozer het materiaal overboord te schuiven. Deze methode kan soms gebruikt worden als alternatief voor zijlossers, hoewel een zijlosser nauwkeuriger kan storten. Het voordeel ten opzichte van zijlossers is dat over het algemeen meer materiaal meegenomen kan worden.



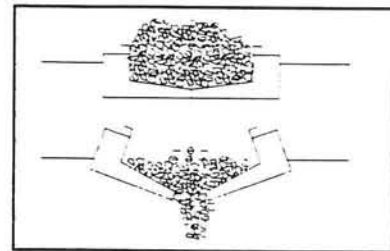
Figuur 3.5: Ponton

4. Zijlossers: dumpen de materialen van het dek door aan elke zijde van de as van het schip met een bulldozer-achtig blad het materiaal overboord te schuiven. Zij kunnen een dunne homogene laag storten door de verhaalsnelheid en dumpsnelheid te controleren. Het overboord gedrukte materiaal heeft een beperkte valsnelheid wat krater vorming op de bodem beperkt.



Figuur 3.6: Zijlosser

5. Splijtbakken: gemaakt van twee waterdichte caissons waarin het materiaal ligt. De delen zijn verbonden met scharnieren parallel aan de as van het schip. Hierdoor kan het totale materiaalcompartiment worden geopend.



Figuur 3.8: Splijtbak

6. Drijvende kraan: Een ponton waarop een kraan staat. De kraan kan vanaf hetzelfde of een ander ponton rotsblokken pakken en plaatsen. Wanneer dumpen niet meer toelaatbaar is, doordat de stenen te groot zijn, zal deze methode worden toegepast.

De benodigde capaciteit van de kraan wordt bepaald door het produkt van de afstand en het steengewicht, vaak uitgedrukt in het koppel (ton*meter). De benodigde maximale waarde bepaalt de grootte van de kraan.

De produktie capaciteit ligt vast door de rotatie en lift-snelheid. Dit betekent dat ondanks hogere steen-kosten voor zwaardere stenen toepassing toch economischer kan zijn omdat de oppervlakte van de stenen groter is waarmee de voortgangssnelheid van het werk toeneemt.

Voor de kern, de filterlagen en de buitenste beschermingslaag wordt hierna kort beschreven welk materieel toegepast kan worden.

* Kern van de constructie.

De kernconstructie kan gemaakt worden met de schepen 1 t/m 5 zoals boven beschreven. De maximale constructie hoogte wordt bepaald door de diepgang van het schip plus een veiligheidsfactor voor de verticale scheepsbeweging. Voor bodemlossers komt daar nog de hoogte van de gestorte lading bij.

* Filter en teenconstructie.

Deze onderdelen vereisen een grotere precisie. Alleen de kranen, zijlossers of pontons waarvan het materiaal wordt afgeduwd kunnen dit realiseren. Een speciaal aangepaste hopper kan dunne lagen gravel leggen via de oorspronkelijke zuigbuis, voor de bouw van golfbrekers is deze methode echter minder geschikt.

* Elementen van de buitenste beschermingslaag.

Deze elementen kunnen tot ongeveer 2 ton worden aangebracht met zijlossers, wanneer deze de constructie dicht genoeg kunnen naderen. Voor elementen boven 1 ton of betonblokken kan een drijvende kraan worden ingezet. Dumpen is vaak niet toegestaan in verband met de nauwkeurigheid.

Bovendien is het gevaarlijk om elementen zwaarder dan 2 ton te dumpen omdat er dan holle ruimten in het talud kunnen ontstaan door boogwerking. Na verloop van tijd zou dit ontoelaatbare verzakking van het talud tot gevolg kunnen hebben.

3.3.2 Constructie met land materieel

Wanneer vanaf het land gewerkt wordt kan meer algemeen toepasbaar materieel worden gebruikt dat goedkoper is dan drijvend materieel.

Voor het transport kunnen vrachtwagens worden gebruikt. Het aanbrengen van het materiaal kan geschieden door het dumpen vanuit vrachtwagens of met behulp van een kraan.

Werk dat alleen gemaakt wordt vanaf het land kan alleen vanaf één punt uitgebouwd worden terwijl bij werk vanaf het water op meerdere plaatsen tegelijk gewerkt kan worden. Voor gebruik van landmaterieel is het noodzakelijk de constructie (tijdelijk) breder te maken dan noodzakelijk voor het gebruik van drijvend materieel. Dit komt omdat vrachtwagens en kranen op de constructie moeten kunnen staan. Dumptrucks moeten kranen kunnen passeren, kunnen kippen en omdraaien en natuurlijk ook elkaar kunnen passeren. Het gebruik van draaiplatformen op verschillende punten van de golfbreker kan de bereikbaarheid van het uitbouwpunt vergroten.

Voordat op de golfbreker gereden kan worden moet de hoogte zodanig zijn dat voortgang van het werk niet wordt belemmerd door overtoppende golven. Een methode is om het niveau van de kruin van de kern boven het hoogste waterniveau te brengen voordat begonnen wordt met de afdeklaag.

Als de buitenste beschermingslaag tegelijkertijd met de kernconstructie wordt opgebouwd kan het voor bescherming zorgen voor een weg op een lager niveau.

Als gebruik van landmaterieel extra eisen stelt aan de breedte en hoogte van de kruin zal dit een hoger volume tot gevolg hebben. Omdat dit vooral van invloed is op de hoeveelheid relatief goedkoop kernmateriaal zal het effect op de kosten relatief klein zijn.

Wanneer land materieel gebruikt wordt, zal met aanleg en onderhoud van de wegen rekening moeten worden gehouden, omdat dit een belangrijke invloed heeft op de voortgang van het werk en de kosten.

Te gebruiken materieel voor aanleg van de kern, filterlagen en de buitenste beschermingslaag wordt hierna kort beschreven wanneer land materieel wordt gebruikt:

* kern constructie

De kernconstructie wordt meestal met dump trucks (20-50 ton) gemaakt, vaak met assistentie van een bulldozer. Wegen moeten minimaal 4 m breed zijn en keer- en inhaalplaatsen 7 m. De hoogte van de weg moet minimaal 1,5 m boven zeeniveau liggen.

Rijden op grote rotsblokken is niet mogelijk met rubber banden, het kan aan de oppervlakte begaanbaar worden gemaakt door fijn materiaal met een bulldozer uit te spreiden. Blokken tot 1 ton kunnen zo begaanbaar gemaakt worden. Als het ontwerp de hierdoor gevormde ondoorlatende laag niet toelaat moet deze naderhand worden verwijderd, bijvoorbeeld met behulp van waterdruk. Dit is duur en moet waar mogelijk worden vermeden.

Direct dumpen is het voordeligst maar heeft twee nadelen:

1. Er ontstaat een talud van ongeveer 1:1-1:2. Als buiten dat profiel materiaal nodig is moet gebruik worden gemaakt van een kraan.
2. Tijdens het storten kan otmenging optreden doordat grotere stenen verder naar beneden rollen dan kleinere, hierdoor ontstaat een slechte filter werking.

* filterlaag

Ook de filterlaag kan worden gemaakt door middel van dumpen vanuit de vrachtwagens. Een hydraulische kraan om de filterlaag af te werken is noodzakelijk. Als de afstand te groot is voor een hydraulische kraan moet een draadkraan gebruikt worden.

* teenconstructie en buitenste beschermingslaag.

Deze constructie onderdelen kunnen niet met een hydraulische kraan worden gemaakt maar moeten met een draadkraan worden gemaakt. Indien het gewicht van de buitenste beschermingselementen hoog is kan er voor gekozen worden om geen grijper aan de draadkraan te monteren, maar hijs-ogen in de elementen. De grijper heeft namelijk een gewicht dat kan oplopen tot 50-65% van het op te tillen element.

3.3.3 Voor en nadelen van land- en drijvendmaterieel

Tot slot worden de voor en nadelen van land- en drijvendmaterieel in tabel 3.2 weergegeven:

drijvend materieel	
voordelen	nadelen
<ul style="list-style-type: none"> - Heeft vaak een grotere capaciteit dan landmaterieel. - Er kan op meerdere plaatsen tegelijk aan de constructie gewerkt worden. - Grote hoeveelheden kunnen ineens aangebracht worden. - Voor vervoer over grote afstand economisch. - Lengte van de golfbreker heeft weinig invloed op logistiek, door een lang werkfront is er minder kans op congestie. - Verschillende uitvoeringsfasen min of meer onafhankelijk van elkaar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Wanneer stormschade optreedt zal deze ernstiger zijn doordat het werkfront groter is. - Er is een service haven nodig. - Afstemming van aanlevering materiaal is minder flexibel dan bij wegtransport. - Gespecialiseerd materieel is nodig, vaak hoge mobilisatie kosten. - Voor onderhoud moet opnieuw drijvend materieel worden gemobiliseerd. - Grote voorraden rots zijn nodig voor efficiënte uitvoering.
land materieel	
voordelen	nadelen
<ul style="list-style-type: none"> - Flexibel, de aanvoer kan gemakkelijk worden afgestemd op de benodigde hoeveelheid. - Gebruik van standaard materieel, mobilisatie is over het algemeen minder duur en duurt korter. - Onderhoud kan ook met landmaterieel worden uitgevoerd. - De voorraad breuksteen kan wellicht kleiner zijn dan bij uitvoering met drijvendmaterieel. Echter de voorraad moet hier wel bestaan uit alle fracties die toegepast worden in het ontwerp. 	<ul style="list-style-type: none"> - Weinig flexibele werkvolgorde van verschillende fasen. - Er moeten wegen worden aangelegd en onderhouden, op de golfbreker en soms op het land. - Stelt eisen aan afmetingen van de constructie (kruin breedte en hoogte). - Lengte van talud wordt vaak beperkt door reikwijdte van de kraan. - Werk wordt vanuit een punt uitgebouwd, wat kan leiden tot congestie problemen op lange golfbrekers. - Voortgang van het werk is vaak afhankelijk van 1 of twee kranen.

Tabel 3.2: Voor en nadelen van drijvend- en landmaterieel
Bron: (CUR 154, 1991) (Breakwaters, design and construction, 1983)

3.4 Onderhoud van de constructie

Nadat de constructiefase is voltooid zal regelmatig moeten worden gecontroleerd of de toestand van de constructie zodanig is dat een goed functioneren mogelijk is.

Onder onderhoud worden alle activiteiten verstaan die tot doel hebben om de toestand van de constructie zodanig te houden of weer te brengen dat de constructie zijn functie kan vervullen.

Om het onderhoud systematisch uit te voeren moet een onderhoudsprogramma worden opgesteld. Het onderhoud bestaat uit drie hoofdactiviteiten, namelijk:

1. Inspecteren en controleren van de constructie en de omgevingscondities. Er zijn verschillende oorzaken waardoor de constructie in tijd verandert zoals afschuren, breken, verouderen of verdwijnen van elementen en zetting van de ondergrond. Voor het inspecteren van de constructie moet de

geometrie gecontroleerd worden en de toestand/positie van de elementen in het talud.

Om inzicht te krijgen in het gedrag van de constructie onder bepaalde omgevingscondities is het belangrijk om voor elke inspectie periode ook gegevens te hebben over de waterniveaus, het wind- en golfklimaat en de spanningen in de fundering.

2. Interpreteren van de inspectie gegevens en vaststellen van maatregelen. Aan de hand van de inspectie gegevens kan worden vastgesteld wat de toestand van de constructie is. Met behulp van gedragsmodellen voor verschillende schadebeelden kan daarna de restlevensduur van de constructie worden geschat. Door de kosten van verschillende maatregelen en de extra verlenging van de levensduur die daardoor ontstaat tegen elkaar af te wegen kan de meest optimale onderhoudsmaatregel bepaald worden.

3. Repareren of vervangen van constructie onderdelen.

Welke mogelijkheden er zijn om reparatie of vervanging uit te voeren is sterk afhankelijk van het ontwerp van de constructie.

Wanneer het ontwerp erop gebaseerd is dat de totale constructie vanaf het water wordt gebouwd, zullen de onderhoudsmaatregelen ook vanaf het water uitgevoerd moeten worden. De mobilisatie kosten voor het uitvoeren van onderhoud zijn dan in relatie tot de kosten van het onderhoud zeer hoog.

Wanneer, om hoge mobilisatie kosten te voorkomen, een betonnen kruinmuur is aangebracht om materieel op de constructie te kunnen zetten is het van belang dat deze constructie nog intact is op het moment dat onderhoud uitgevoerd wordt.

Als door een storm rotsen uit het talud zijn geslagen kan met behulp van een kraan het talud worden hersteld. Als het materiaal niet ver weg is getransporteerd kan het opnieuw worden gebruikt, anders moet rots aangevoerd worden.

Bij schade aan betonnen elementen zullen de beschadigde elementen vervangen moeten worden. Het maken van een kleine hoeveelheid elementen is relatief duur, daarom verdient het de voorkeur om tijdens de constructie extra elementen te maken die opgeslagen worden.

4. Case: De nieuwe haven van Galle (Sri-Lanka)

4.1 De nieuwe haven van Galle als uitgangspunt

Om de vergelijking tussen een statisch stabiele golfbreker en een berm golfbreker met zo realistisch mogelijke randvoorwaarden uit te voeren is gebruik gemaakt van een bestaande case.

De case betreft een uitbreiding voor de haven van Galle in Sri-Lanka. Voor de golfbrekers van deze haven zullen alternatieve ontwerpen worden gemaakt: een statisch- en dynamisch stabiele golfbreker.

Eerst zal de achtergrond van deze havenuitbreiding worden toegelicht. Daarna worden de meteorologie en de oceanografie van het gebied beschreven, deze zijn van belang voor de ontwerpen van de golfbrekers en de mogelijke uitvoeringsmethoden.

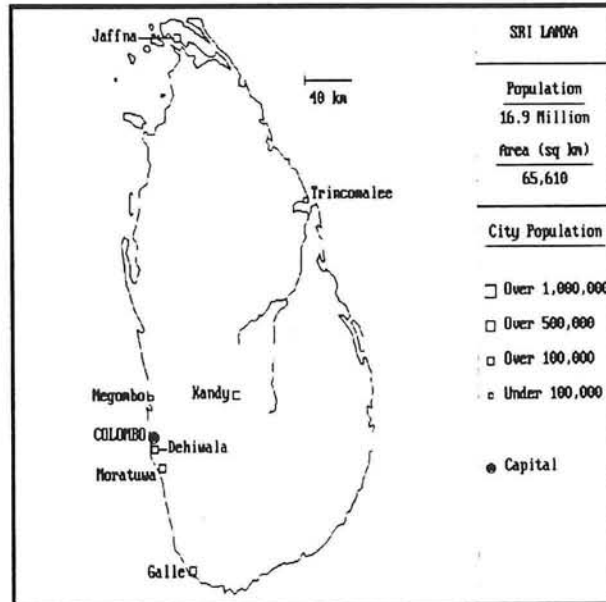
Tot slot wordt voor de nieuw te bouwen golfbrekers de locatie, de grondgesteldheid, het beschikbare materiaal voor de golfbrekers en de werkbaarheid en planning besproken.

4.2 Achtergrond van de havenuitbreiding voor Galle

Sri-Lanka, een eiland in de Indische Oceaan, ligt voor de oost/zuid-oostelijke punt van India. Het eiland heeft een maximum lengte van 432 km en een breedte van 224 km, met een totaal oppervlak van 65.610 km² (zie figuur 4.1)

Door economische ontwikkeling van Sri-Lanka stijgt de internationale handel van het eiland. De haven van Colombo speelt een belangrijke rol als overslaghaven in de wereld als gevolg van containerisatie en haar voordelige ligging op zeeroutes tussen het oosten en het westen.

De omvang van de overslag van containers stijgt nog steeds in de haven van Colombo. Er wordt dan ook naar uitbreidings mogelijkheden gezocht, maar uitbreiding van de haven wordt bemoeilijkt door bebouwing in de omgeving van de haven. Daarom is gezocht naar een haven die, naast de haven van Colombo, een deel van de overslag kan overnemen.



Figuur 4.1: Sri-Lanka

Een oplossing is gevonden door het uitbreiden van de bestaande haven van 'Galle'. De haven ligt ongeveer 100 km onder Colombo in het zuiden van Sri-Lanka. Voordeel van de haven is dat ze zeer dicht bij de bestaande scheepvaart routes ligt. Bovendien is het zuiden van Sri-Lanka minder ontwikkeld dan de rest van het land, waardoor de komst van de haven een goede stimulans voor de ontwikkeling van het gebied vormt.

De haven wordt uitgebreid met kades voor het lossen van containers en bulkgoederen terwijl de bestaande kades blijven bestaan.

De baai van Galle, waarin de bestaande haven ligt wordt het hele jaar aangevallen door deininggolven, daarnaast vindt vooral in de zuid-west moesson periode een aanval door deining en windgolven plaats. Daarom moeten lange golfbrekers worden gebouwd om in het havenbassin niet teveel hinder van golfslag te ondervinden.

Nadat door de autoriteiten verschillende alternatieven zijn bekeken is gekozen voor een ontwerp dat in twee fasen wordt verwezenlijkt.

Het masterplan, met als planhorizon 2005, bevat de volgende uitbreiding:

	soort kade	diepte	lengte
3	containers	-14.0 m	1050 m
2	stukgoed/bulkgoed	-14.0 m -12.0 m	510 m
1	olie	-7.5 m	120 m

Tabel 4.1: Masterplan havenuitbreiding Galle (Japan international cooperation agency, 1991)

Verder is een toegangskanaal met een breedte van 300 m en een diepte van 14 m gepland, een zuid-west golfbreker met een lengte van 1200 m, en een oostelijke golfbreker met een lengte van 250 m.

Andere onderdelen, zoals laad/los-inrichtingen, pakhuizen, opslagplaatsen en uitbreiding van de infrastructuur behoren ook tot het masterplan.

Een korte termijnplan, met als planhorizon 1997 bestaat uit:

	soort kade	diepte	lengte
1	containers	-14.0 m	1050 m
1	stukgoed/bulkgoed	-12.0 m	240 m
1	olie	-7.5 m	120 m

Tabel 4.2: Korte termijnplan havenuitbreiding Galle (Japan international cooperation agency, 1991)

De zuid-west golfbreker (1200 m) en de oostelijke golfbreker (250 m) horen ook bij dit plan, evenals laad/los-inrichtingen en pakhuizen.

4.3 Omgevingsfactoren voor de haven van Galle

4.3.1 Algemene kenmerken van de locatie

De baai van Galle, in het zuid-westen van Sri-Lanka, heeft een ovale vorm. Van zuid-oost naar noord-west is de baai 2.5 km en van noord-oost naar zuid-west is ongeveer 1.8 km lang.

De ingang van de baai ligt aan het zuid-oosten. Aan de westkant van de baai bevindt zich een oud fort dat gebouwd is op een rots. Het oostelijke deel van de baai wordt omgeven door steile rotswanden (Rumassala Hill).

Twee kleine rivieren met een afvoergebied van nauwelijks 50 km², de Moragoda en de Lunuvila, lozen op de baai. De rivieren hebben een licht hellend bed en in droge tijden is de afvoer nul, waardoor nauwelijks sediment afzetting door de rivieren plaatsvindt.

4.3.2 Meteorologie

Het klimaat in Sri-Lanka kan verdeeld worden in verschillende perioden:

- zuid-west moesson periode (mei-september)
- noord-oost moesson periode (december-februari)
- twee tussen perioden (oktober-november, maart-april)

De overheersende windrichting is zuid-west in de twee moesson seizoenen en 56,6% van de windrichtingen komen van deze kant gezien over het hele jaar. Terwijl tijdens het zuid-west moesson seizoen deze windrichting gemiddeld 69,2% van de tijd voorkomt.

Sterke windvlagen met een snelheid boven 20 knopen komen tijdens het zuid-west moesson seizoen voor met een frequentie van minder dan 0,2%

Jaarlijks valt er tussen de 1550 en 2560 mm regen met een jaarlijks gemiddelde van 2154 mm. Over de seizoenen gezien is de regenval geconcentreerd in april-juni en september-november, dit zijn de perioden voor en na het zuid-west moesson seizoen.

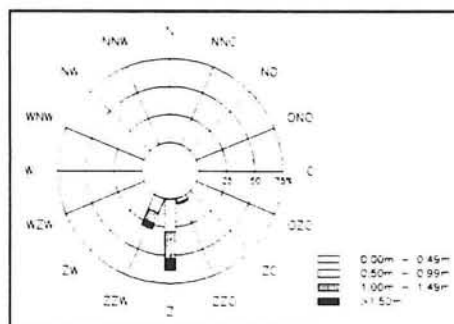
4.3.3 Oceanografie

Kennis van de karakteristieken van de golven die de haven aanvallen, zoals golfhoogte, periode, richting en frequentie van voorkomen is een vereiste bij het ontwerp van de golfbrekers. De haven wordt aangevallen door deiningsgolven en door windgolven.

De golfhoogte is maar over een korte periode gemeten. Metingen van de deinings- en windgolf karakteristieken voor de baai van Galle zijn gemeten door de 'Coast Conservation Department' gedurende de periode van maart 1989 tot februari 1990.

Deiningsgolven

De richting waaruit de deinigsgolven komen is ZZO tot ZZW over het hele jaar. De meest voorkomende richting is de Z met 63,2%, gevolgd door ZZW met 28,5%. Een maximale golfhoogte van 2,89 m is opgetreden tijdens het zuid-west moesson seizoen en deiningsgolven van 1,0 m en 2,0 m of hoger komen voor met een frequentie van respectievelijk 88% en 8,5%. In figuur 4.2 is de verdeling van de significante golfhoogte en richting voor deining weergegeven over het hele jaar. De golfhoogte is minimaal tijdens de noord-oost moesson. Deinings golven met een hoogte van 0,5 m komen het hele jaar voor.

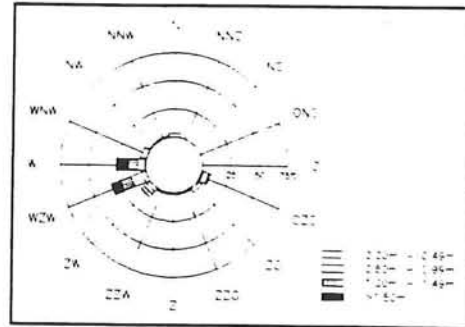


Figuur 4.2: Deiningsgolven

Windgolven

De invloed van windgolven is het meest significant tijdens de zuidwest moesson periode, met windgolven van 1,5 m of meer met een frequentie van 50%. Windgolven met een hoogte van 2,5 m of meer komen voor met een frequentie van 0,5%

De meest voorkomende windgolf richting is WZW en W met een gecombineerde frequentie van 83,7%. Windgolven hoger dan 1.0m komen voor met een frequentie van 19,3% uit de richting ZO tot OZO. Deze golven komen rond de zuidelijkste punt van eiland. De verdeling van de significante en richting voor windgolven is weergegeven in figuur 4.3.



Figuur 4.3: Windgolven

De verdeling van de significante en richting voor windgolven is weergegeven in figuur 4.3.

Extreme golven met terugkeer periode

Met behulp van een analyse op basis van de Gumbel-Weibull extremewaarde statistiek, is door de 'Japan international cooperation agency' aan de hand van de data met een terugkeerperiode van 50 jaar, de golfhoogte op 5,0 m geschat.

Rekening houdend met het voorkomen van cyclonen, welke zeer zelden voorkomen op het zuidelijke deel van het eiland, zijn voor het ontwerp de volgende waarden aangehouden:

richting	hoogte (Ho')	hoogte (Hs)	periode (Tz)
W-S	5,5 m	5,1 m	9,5 sec

Tabel 4.3: Ontwerp golfhoogte en periode
(Japan international cooperation agency, 1991)

getijde niveaus

De verschillende getij-niveaus zijn:

H.W.O.S.T.	0,607 m
M.S.L.	0,336 m
L.W.O.S.T.	0,065 m
D.L.	0,000 m

H.W.O.S.T.	high water of ordinary spring tide
M.S.L.	mean sea level
L.W.O.S.T.	low water of ordinary spring tide
D.L.	datum level

4.3.4 Geologie

De bodem van de baai van Galle bestaat uit een Gneiss-formatie die gedeeltelijk bedekt is door een lateriet laag.

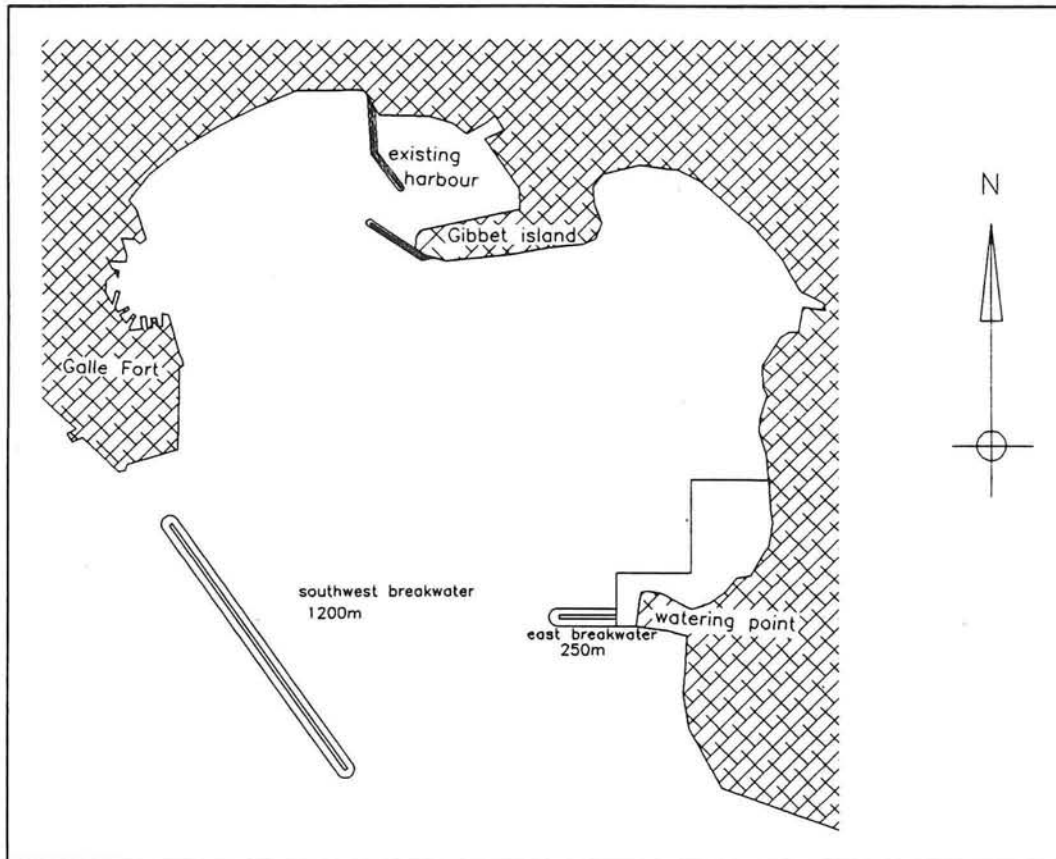
Op de plaats waar de zuidwest golfbreker gemaakt moet worden bevindt zich weinig sediment op de bodem, de ondergrond bestaat voornamelijk vastgepakte rots ('bedrock') en gravel.

De locatie van de oost golfbreker wordt gekenmerkt door een laag van siltig zand en een cohesieve klei-laag, deze laag is 10 m dik.

4.4 De golfbrekers

4.4.1 Locatie van de golfbrekers

De nieuwe haven wordt in de toekomst beschermd door twee golfbrekers. De eerste zal vanaf het fort naar het zuid-oosten worden gebouwd, waardoor golfaanval vanuit het westen en zuidwesten, voornamelijk tijdens de zuid-west moesson periode, wordt opgevangen.



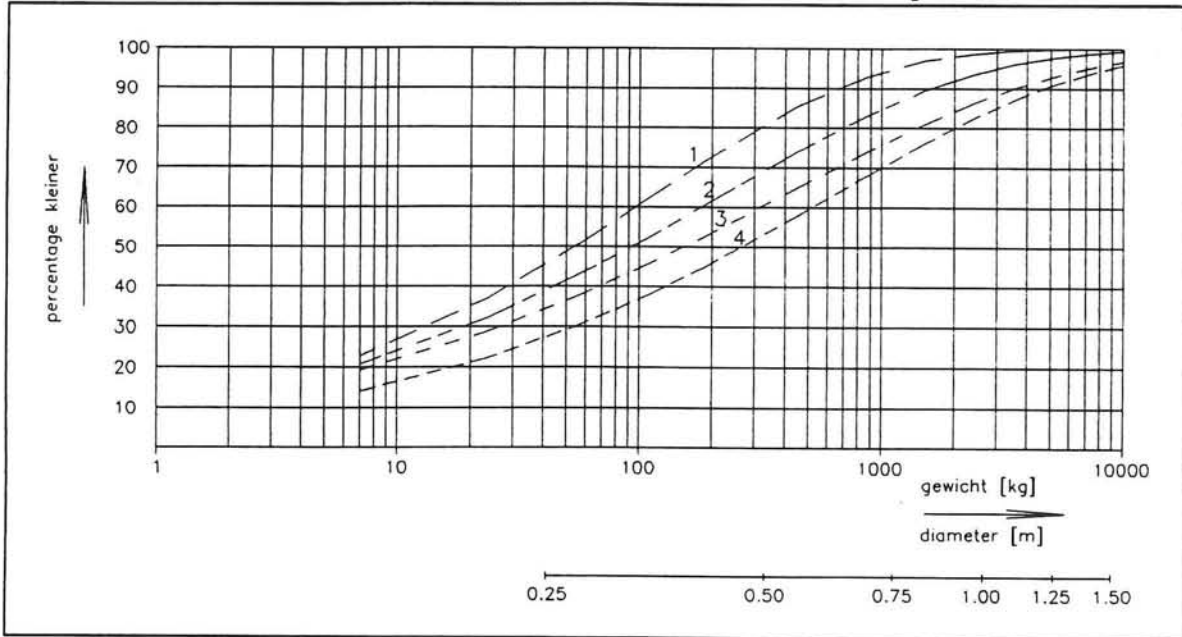
Figuur 4.4: Lay-out van de haven van Galle

De tweede golfbreker wordt vanaf 'Watering point' naar het westen gebouwd, deze golfbreker moet voorkomen dat deinings golven (voornamelijk uit het zuiden) ongehinderd in de haven komen (figuur 4.4). De lengte van de golfbrekers is voor de zuidwest golfbreker 1200 m en voor de oost golfbreker 250 m.

4.4.2 Beschikbaar materiaal

Een groot deel van het bouw materiaal van de golfbrekers bestaat uit rots. Deze rots wordt in een steengroeve gewonnen. Op vijf kilometer afstand van de bestaande haven van Galle bevindt zich een steengroeve die op dit moment op kleine schaal wordt geëxploiteerd. Voor de bouw van de golfbrekers zal de steengroeve min of meer opnieuw moeten worden geopend om de benodigde grote produktie te kunnen halen. Afhankelijk van de manier waarmee de rots gewonnen wordt kan de opbrengst van de groeve enigszins beïnvloed worden. Door het toepassen van verschillende boorpatronen voor het plaatsen van dynamiet kan de steengrootte worden beïnvloed (zie paragraaf 3.2). Aan de hand van geologisch onderzoek en gegevens uit de bestaande groeve kan een voorspelling van de mogelijke opbrengstcurven worden gedaan.

Een voorspelling van de fragmentatie curve voor de nieuw te openen groeve is weergegeven in figuur 4.5. De lijnen 1 t/m 4 geven mogelijke opbrengstcurven aan welke te verkrijgen zijn bij verschillende boorpatronen.



Figuur 4.5: Voorspelling fragmentatie curve 'New Galle Quarry'

De opbrengstcurven kunnen worden benaderd worden door een Rosin-Rammler vergelijking. Dit is een Weibull verdeling met een locatie parameter voor het 63.2 percentiel punt (CUR 154, 1991), de vergelijking is:

$$y = 1 - \exp \left[- \left(\frac{D_y}{D_{63.2}} \right)^{n_{rr}} \right] \quad [4.1]$$

waarin:

y	=	percentage kleiner dan D_y	[%]
D_y	=	steendiameter, y % is kleiner dan D_y	[kg]
$D_{63.2}$	=	63.2 percentiel punt, 63.2% is kleiner dan D	[kg]
n_{rr}	=	uniformiteitsindex	[-]

Deze functie kan de meeste opbrengstcurven vrij goed benaderen alhoewel opgemerkt moet worden dat de extremen (de fijne en grove fracties) afwijken.

Het voordeel van het beschrijven van de opbrengstcurve met een verdelingsfunctie is dat door te differentiëren gemakkelijk de dichtheidsfunctie wordt verkregen. Door de dichtheidsfuncties voor de vraag en opbrengst van verschillende fracties te tekenen wordt grafisch duidelijk hoe goed een bepaalde curve aansluit op een gemaakt ontwerp.

De parameters $D_{63,2}$ en n_{rr} voor de verschillende opbrengst curven uit figuur 4.5 zijn weergegeven in onderstaande tabel.

fragmentatie curve	$D_{63,2}$	n_{rr}
1	0,3523	1,4487
2	0,4375	1,2633
3	0,5318	1,1438
4	0,6218	1,2558

Tabel 4.4: Parameters voor Rosin-Rammler verdeling 'New Galle Quarry'

4.4.3 Werkbaarheid & planning

De baai van Galle wordt vanaf de Indische Oceaan blootgesteld aan zuidelijke deininggolven van meer dan 0,5 m gedurende het hele jaar. Bovendien komen er windgolven van meer dan 1,5 m in de baai uit zuid tot zuidwestelijke richting gedurende de vijf zuid-west moesson maanden (mei-september).

Windsnelheden van 10 m/sec of meer en een significante golfhoogte van 0,3 tot 0,5 m of meer zijn over het algemeen kritische condities waaronder het werken in een haven zeer onpraktisch of zelfs onmogelijk wordt.

Door het maken van golfbrekers wordt de tijd dat de haven niet gebruikt kan worden beperkt.

Het aantal dagen dat gewerkt kan worden aan de golfbrekers op basis van de golfhoogte is weergegeven in onderstaande tabel welke is overgenomen uit het bestek (zie bronvermelding tabel).

Voor het bepalen van het aantal werkbare dagen is in deze tabel als uitgangspunt aangenomen dat golfhoogten van minder dan 1,5 m de constructie activiteiten niet beperken. Hiermee wordt echter alleen een zeer globale indicatie voor de werkbaarheid verkregen, in hoofdstuk 6 zal met behulp van simulatie van het golfklimaat een nauwkeurigere schatting van de werkbaarheid worden uitgewerkt.

seizoen		golfhoogte				werkbare dagen
		$\leq 0,49$ m	0,5 m - 0,99 m	1,0 m - 1,49 m	$\geq 1,5$ m	
maand	totaal aantal dagen	aantal dagen A	aantal dagen B	aantal dagen C	aantal dagen D	totaal A°C
maart-april	61	-	15	34	12	49
mei-september	153	-	-	4	149	4
oktober-november	61	-	9	27	25	36
december-februari	90	-	43	45	2	88
totaal	365	-	67	110	188	177

Tabel 4.5: Werkbaarheid voor de bouw van de golfbrekers in Galle (Bron: Japan international cooperation agency, 1991)

Volgens de planning uit het final-report duurt de bouw van de zuidwest golfbreker van april 1993 tot november 1997 (bouwtijd: vijf jaar). Met de oost-golfbreker wordt tegelijk met de zuidwest golfbreker begonnen, deze constructie is volgens de planning klaar in mei 1995 (bouwtijd: twee jaar).

De zuidwest-golfbreker zal volgens deze planning tijdens de constructie fase vijf moesson seizoenen mee maken, terwijl het werk aan de oost golfbreker twee moesson perioden mee maakt in de constructie fase.

Zoals uit de tabel blijkt is de werkbaarheid in de moesson periode zeer laag (3%). Bescherming en versterkingen zullen moeten worden aangebracht (zeker aan de punt van de golfbreker) voordat het moesson seizoen begint om schade aan de constructie te voorkomen.

5. Ontwerp van de golfbrekers

5.1 Functie van de golfbreker en faaloorzaken

In deze studie wordt de te bouwen zuid-west golfbreker voor de haven-uitbreiding uitgewerkt voor een statisch en dynamisch stabiele golfbreker.

De hoofdfunctie van de golfbreker is om de nieuwe haven van Galle te beschermen tegen golfaanval. Wanneer de golfbreker niet voldoet aan de hoofdfunctie faalt de golfbreker.

Faaloorzaken van de golfbreker kunnen zijn:

- instabiliteit van de constructie.
- golftransmissie: het verschijnsel dat golven door of over de constructie slaan waardoor aan de havenzijde van de constructie te hoge golven ontstaan.
- diffractie: golven die worden afgebogen door de golfbreker en in de haven te hoge golven veroorzaken.
- reflectie: golven die in de haven gereflecteerd worden en te hoge golven in het havenbassin tot gevolg hebben.

Een ontwerp van de statisch stabiele constructie is gegeven in het eindrapport van een studie naar de uitbreidingsmogelijkheden (Japan international cooperation agency (1991)). Er mag aangenomen worden dat dit ontwerp zodanig is dat aan de hoofdfunctie van de golfbreker is voldaan. Met andere woorden, bij het ontwerp is rekening gehouden met stabiliteit, transmissie, diffractie en reflectie.

Als alternatief is een dynamisch stabiele constructie ontworpen, uitgaande van de opbrengst van de groeve en de hydraulische randvoorwaarden.

Diffractie, reflectie en transmissie zijn buiten beschouwing gelaten voor deze laatste ontwerpen omdat de parameters die deze effecten voornamelijk beïnvloeden hetzelfde zijn gekozen als bij de statisch stabiele constructie.

Diffractie en reflectie worden voornamelijk bepaald door de layout van de golfbreker. De reflectie zal bij een bermgolfbreker lager zijn dan bij een statisch stabiele golfbreker omdat een flauwer talud wordt toegepast.

De golftransmissie wordt voornamelijk bepaald door de kruinhoogte en de ontwerp golfhoogte (Van der Meer, 1992).

Door de layout, de kruinhoogte en de ontwerp golfhoogte gelijk te houden voor de ontwerpen worden technisch gelijkwaardige constructies verkregen.

Voor de statisch stabiele constructie zijn verschillende onderdelen van de constructie nagerekend met ontwerpformules. Dit ter controle van de stabiliteit en om in een later stadium uitspraken te kunnen doen over het onderhoud aan de constructie.

Voor de dynamisch stabiele constructie is een ontwerp gemaakt op basis van de opbrengst curve van de groeve. Het effect van verschillend gebruik van de groeve op aanlegkosten wordt voor de ontwerpen worden vergeleken.

Beide ontwerpen zullen in het vervolg van dit rapport worden uitgewerkt.

5.2 Ontwerp van de statisch stabiele golfbreker

5.2.1 Ontwerp en faaloorzaken

Een karakteristiek dwarsprofiel van de stabiele golfbreker voor de zuid-west haven van Galle is weergegeven in bijlage 5.1.

De stabiliteit van dit type golfbreker kan worden ondermijnd door:

1. Instabiliteit van het buitentalud: wanneer de elementen van het buitentalud onder invloed van golfaanval worden verplaatst zal materiaal uit onderliggende lagen uitspoelen wat falen tot gevolg heeft.
2. Instabiliteit van de teenconstructie: als erosie aan de teenconstructie optreedt, zal verzakking van de buitenste beschermingslaag optreden waardoor de constructie zal falen.
3. Instabiliteit van materiaal in onderliggende lagen: als door golfaanval en/of stroming materiaal uit onderliggende lagen weg stroomt zullen verzakkingen ontstaan.
4. Ondermijning van de betonnen top constructie: wanneer de top constructie wordt ondermijnd zal het bovenste deel van de golfoploop niet meer worden tegen gehouden, waardoor extra golfoverslag optreedt.
5. Golfoverslag: door golfoverslag kan aantasting van de kruin en het binnentalud optreden.
6. Afschuiving van de taluds: in de constructie en of ondergrond kunnen glijcirkels ontstaan waardoor afschuiving optreedt.
7. Uitvoering van golfbreker niet conform het ontwerp: als de golfbreker niet volgens het ontwerp wordt gebouwd kan dit falen tot gevolg hebben.
8. Kapot gaan van gebruikt materiaal: de tetrapods in de buitenste laag en de rotsblokken in de overige lagen kunnen kapot gaan door fysische en chemische belastingen. Wanneer de elementen kapot zijn is het gewicht kleiner waardoor de stabiliteit niet meer gewaarborgd is.

Elk van bovenstaande mechanismen kan falen van de golfbreker tot gevolg hebben. Bij falen zal vaak een combinatie van oorzaken optreden.

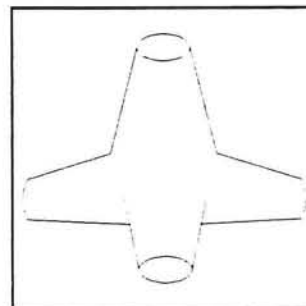
Aan de hand van ontwerpformules is voor de eerste twee mechanismen getoetst of deze niet tot falen leiden. Daarna is het benodigde materiaal per strekkende meter golfbreker bepaald. De benodigde overproduktie van de groeve om de benodigde gradaties te produceren kan dan berekend worden.

5.2.2 Stabiliteit van buitenste beschermingslaag

Het ontwerp van de statisch stabiele golfbreker bevat als buitenste beschermingslaag een laag tetrapods (zie figuur 5.1) van 16 ton per stuk.

Voor betonnen elementen heeft Van der Meer (1992) verschillende formules opgesteld. Voor tetrapods is de formule gebaseerd op een talud 1:1,5 en een doorlatendheidsfactor P van 0,4.

Schade aan betonnen elementen wordt in deze formule beschreven met het schadegetal N_0 . N_0 is het aantal verplaatste elementen over een breedte (langs de longitudinale as van de golfbreker) van een nominale diameter D_n .



Figuur 5.1: Tetrapod

Door een extra subscript toe te voegen kan het schadegetal aangescherpt worden:

$$\begin{aligned} N_{od} &= \text{aantal elementen verplaatst uit beschermingslaag} \\ &\quad (\text{hydraulische schade}) / D_n \text{ m} \\ N_{or} &= \text{aantal botsende (rocking) elementen} / D_n \text{ m} \\ N_{onov} &= \text{verplaatste elementen} / D_n \text{ m, } N_{onov} = N_{od} + N_{or} \end{aligned}$$

Voor tetrapods geldt:

$$\begin{aligned} N_{od} &= 0 && \text{start schade} \\ N_{od} &= 1,5 && \text{falen van constructie} \end{aligned}$$

De formule van 'Van der Meer' voor tetrapods is:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (3,75 * \frac{N_{od}^{0,5}}{N^{0,25}} + 0,85) * s_m^{-0,2} \quad [5.1]$$

waarin:

H_s	ontwerp golfhoogte	[m]
Δ	relatieve dichtheid	[-]
D_n	nominale diameter	[m]
N	aantal golven tijdens belastings periode	[-]
s_m	golfsteilheid (gebaseerd op T_m)	[-]

Wanneer aangenomen wordt dat de ontwerpstorm 6 uur duurt dan is het aantal golven: $(6 \text{ uur} * 60 \text{ min} * 60 \text{ sec}) / 9,51 \text{ sec} = 2.271$ golven

De golfsteilheid volgt uit:

$$s_m = \frac{2 \pi H_s}{g T_m^2} \quad [5.2]$$

De nominale diameter, bij $N_{od}=0$ is dan 2,30 m. Het hierbij horende gewicht is, $W_{50} = 29.200$ kg. De gevonden waarde kan niet zonder meer worden vergeleken met het gewicht van de tetrapods in het ontwerp.

Voor het berekende gewicht is ervan uitgegaan dat geen schade is ontstaan, terwijl bij de ontwerpstorm vaak wel een bepaalde schade wordt toegelaten. Een lager gewicht is dan toegestaan.

Verder is het talud waarop de formule gebaseerd is (1:1,5) iets flauwer dan het talud (1:4/3) uit het ontwerp. Daardoor zal de gevonden waarde een onderschatting van het werkelijk benodigde element gewicht geven.

Wanneer de structurele sterkte (wel of niet breken van elementen) een rol speelt, is het interessant om het aantal verplaatste elementen plus het aantal botsende elementen te kennen.

Een zeer conservatieve benadering is om elk botsend element als gebroken te beschouwen. De ondergrens (alleen verplaatsende elementen) is hierboven berekend, de bovengrens (N_{onov}) wordt gegeven door de formule (Van der Meer, 1992):

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (3,75 * \frac{N_{onov}^{0,5}}{N^{0,25}} + 0,85) s_m^{-0,2} - 0,5 \quad [5.3]$$

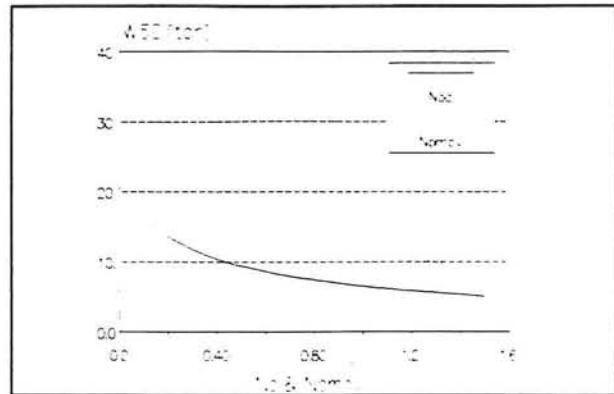
Voor $N_{onov}=0$ geldt: $D_n = 3,29$ m, $W_{50} = 85.500$ kg.

Voor beschermingslagen van grote betonnen elementen zal het aantal gebroken elementen liggen tussen de waarde van N_{od} en N_{onov} .

Hiernaast is het toegepaste steengewicht uitgezet als functie van de schade (N_{od} en N_{onov}). In het ontwerp is als gewicht 16 ton gekozen. De bijbehorende schadeniveaus zijn:

$$\begin{aligned} N_{od} &= 0,12 \\ N_{onov} &= 0,66 \end{aligned}$$

(Geldig voor een talud 1:1,5)



Figuur 5.2: Schadeniveaus tetrapods

Uit de formules van Van der Meer voor tetrapods volgt dat bij het ontwerp schade wordt toegelaten tijdens de ontwerpstorm. De te verwachten schade ligt tussen de gevonden waarden voor N_{od} en N_{onov} (0,21 en 0,61). Deze schade wordt weergegeven op een schaal van 0 tot 1,5, waarbij de waarde 0 start van schade inhoud en de waarde 1,5 ernstige schade bij falen betekent.

5.2.3 Stabiliteit van de teenconstructie

Voor de teenconstructie wordt, wanneer dat mogelijk is lichter materiaal gebruikt dan het materiaal van de buitenste beschermingslaag. Controle op stabiliteit van dit materiaal is van belang omdat instabiliteit van de teenconstructie leidt tot bezwijken van de primaire beschermingslaag.

Van der Meer (1992) stelt voor bepaling van de stabiliteit van de teenconstructie de volgende formule, die aangemerkt kan worden als een veilige benadering, voor:

$$\frac{h_t}{h} = 0,253 \left(\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \right)^{0,7} \quad [5.4]$$

waarin:

$$\begin{aligned} h_t &= \text{diepte teen tot waterspiegel} \\ h &= \text{diepte bodem tot waterspiegel} \end{aligned}$$

Met $h_t = 8,1$ m, $h = 12,1$ m, $\Delta = 1,58$ en $H_s = 5,1$ m volgt $D_n = 0,80$ m en $W_{50} = 1.360$ kg. De teenconstructie is uitgevoerd met rots van gemiddeld 2 ton, wat ruim voldoet.

5.2.4 Hoeveelheid benodigd materiaal

De constructie bestaat uit een buitenlaag aan de zeezijde voorzien van tetrapods, verschillende lagen breuksteen en een betonnen blok op de kruin. In deze paragraaf wordt achtereenvolgens bepaald hoeveel tetrapods, beton en breuksteen nodig is voor het ontwerp.

De benodigde hoeveelheid tetrapods en beton kan eenvoudig worden berekend (zie ook bijlage 5.1). Voor het bepalen van de hoeveelheid breuksteen moeten verschillende fracties gekozen worden en een opbrengst curve die hier het beste op aansluit.

Tetrapods

Het aantal elementen dat voor een gegeven oppervlakte, loodrecht op het talud, nodig is wordt gegeven door (SPM, 1984):

$$\frac{N_r}{A} = nk_A \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{w_r}{W}\right)^{2/3} \quad [5.5]$$

waarin:

Nr	benodigde hoeveelheid elementen	[-]
A	oppervlakte loodrecht op talud	[m ²]
n	aantal lagen	[-]
k _A	laagdikte coëfficiënt	[-]
P	gemiddelde porositeit	[%]
W	massa van individuele elementen	[kg]
w _r	massa dichtheid	[kg/m ³]

Het oppervlak per strekkende meter loodrecht op de golfbreker is 25,39 m². Tetrapods worden twee lagen dik gelegd (n=2). Voor tetrapods geldt verder dat de laagdikte coëfficiënt 1,04 is en de gemiddelde porositeit 50%. Met een massa voor de individuele elementen van 16000 kg en een massa dichtheid van 2350 kg volgt dat er 7,35 elementen per strekkende meter nodig zijn.

Beton

De oppervlakte van het betonnen blok op de kruin is 11,20 m² in de dwarsdoorsnede van de golfbreker. Per strekkende meter golfbreker is dus 11,20 m³ beton nodig.

Breuksteen

De buitenste laag van de golfbreker is zodanig gedimensioneerd dat deze de hydraulische ontwerp belasting kan weerstaan. Tussen de buitenste laag en de bodem moet de constructie zo zijn opgebouwd dat de korrels in de bodem en de constructie stabiel zijn tijdens de ontwerp belasting.

Hiervoor is een opbouw nodig, vaak bestaande uit verschillende lagen, die een filter tussen de bodem (fijn materiaal) en de buitenste laag (grof materiaal) vormt.

Verder is het belangrijk dat het gekozen materiaal zo goed mogelijk aansluit bij de opbrengst van de groeve.

Voor het ontwerp worden vier verschillende fracties breuksteen gebruikt. Voor het binnentalud en de kern zijn de grenzen van de fracties al bepaald, namelijk 4-6 ton respectievelijk 100 kg-500 kg. Voor de filterlagen wordt een gewicht van 1 ton en 2 ton gegeven. Het ligt voor de hand om de grenzen van deze fracties te laten aansluiten op de andere fracties om in de groeve geen materiaal over te houden.

De benodigde hoeveelheid breuksteen wordt nu:

fractie [kg]	oppervlakte in dwarsdoorsnede [m ²]	hoeveelheid per m' golfbreker [ton/m']	benodigd percentage [%]
4000-6000	47.14	74,95	8,76
1500-4000	50.19	79,80	9,33
500-1500	129.81	206,40	24,13
100-500	310.73	494,06	57,77
TOTAAL		855,21	100,00

Tabel 5.1: Benodigde hoeveelheid breuksteen voor statisch stabiele golfbreker

Voor de verschillende opbrengst curven van de groeve kan nu het beschikbare en benodigde percentage worden bepaald, waaruit de produktie van de steengroeve volgt.

Het beschikbare percentage materiaal bij de verschillende opbrengst curven is weergegeven in tabel 5.2.

fractie [kg]	opbrengst curve 1	opbrengst curve 2	opbrengst curve 3	opbrengst curve 4
I. 4000-6000	0%	1%	5%	7%
II. 1500-4000	1%	5%	8%	10%
III. 500-1500	6%	11%	13%	16%
IV. 100-500	23%	24%	22%	24%

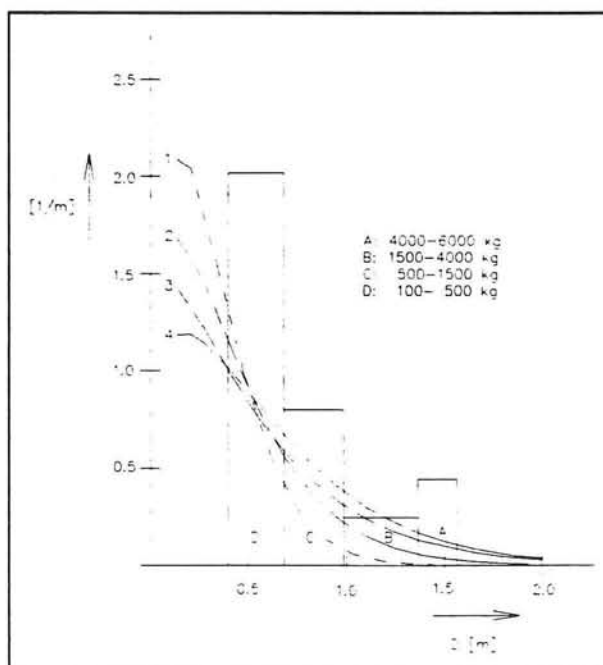
Tabel 5.2: Opbrengst van verschillende fracties voor verschillende opbrengstcurven

Door nu per fractie het benodigde volume percentage te delen door het beschikbare percentage kan voor elke curve bepaald worden wat de produktie van de groeve moet zijn om de benodigde fracties te leveren.

Hiernaast zijn de vraag-dichtheids-functie en opbrengst-dichtheids-functies weergegeven.

Opbrengst curve 1 is ongeschikt voor dit ontwerp omdat er nagenoeg geen breuksteen van de zwaarste gradatie vrij komt.

Het blijkt dat curve 4 de benodigde steenfracties kan leveren met de kleinste totale produktie. Het materiaal van 100-500 kg is daarbij maatgevend voor de totale produktie. Omdat teveel materiaal van de grotere fracties vrijkomt, wordt dit materiaal gebroken en toegevoegd aan de fractie 100-500 kg.



Figuur 5.3: Dichtheidsfuncties

Het te produceren volume per fractie voor opbrengst curve 4 is weergegeven in tabel 5.3.

fractie [kg]	gemiddelde opbrengst [%]	benodigd volume [%]	te produceren volume [%]	over [%]	tekort [%]
4000-6000	7	9	12	3	0
1500-4000	10	9	17	8	0
500-1500	16	24	28	4	0
100-500	24	57	42	0	15
<100	43	-	75		
totaal	100	100	174		

Tabel 5.3: Benodigde produktie van de groeve voor opbrengstcurve 4

Er moet dus 1,74 keer zoveel breuksteen gesprongen worden als nodig is voor de golfbreker.

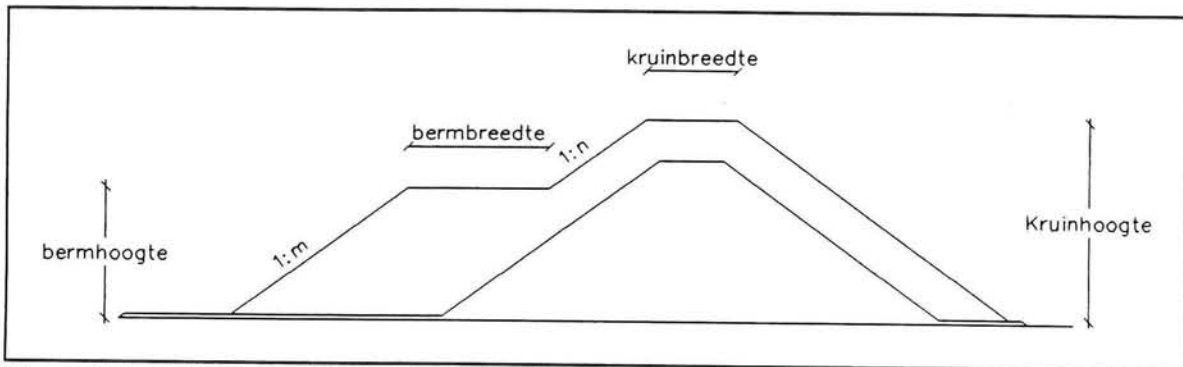
5.3 Ontwerp van de dynamisch stabiele golfbreker

5.3.1 Ontwerpvariabelen voor een bermgolfbreker

Het basis ontwerp voor een bermgolfbreker kan gekarakteriseerd worden door verschillende ontwerp variabelen.

De verschillende variabelen voor een bermgolfbreker zijn (figuur 5.4):

- kruin hoogte en breedte
- berm hoogte en breedte
- steenklasse voor buitenste laag en kern
- toe te passen taludhellingen



Figuur 5.4: Ontwerp variabelen van een bermgolfbreker

Door het dynamische karakter van de constructie verdienen de volgende punten extra aandacht bij ontwerp van een bermgolfbreker:

1. Het langtransport:

Stenen mogen bij een bermgolfbreker loodrecht op de as van de golfbreker verplaatsen. Wanneer de golfbreker echter onder een hoek wordt aangevallen is het mogelijk dat ook langtransport optreedt. Langtransport moet zoveel mogelijk beperkt worden omdat daardoor op de lange duur de kern bloot komt te liggen, wat tot falen van de constructie zal leiden.

Een eerste benadering voor de start van langtransport bij bermgolfbrekers wordt door Burcharth en Frigaard (1987) (Van der Meer, 1992) gegeven door:

$$\text{talud blootgesteld aan steile golven: } \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} < 4,5$$

$$\text{talud blootgesteld aan lange scheve golven: } \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} < 3,5 \quad [5.6-1]$$

$$\text{kop van golfbreker: } \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} < 3,0$$

Een andere criterium voor het voorkomen van langtransport, welke echter nog steeds gebaseerd is op een beperkte hoeveelheid empirische data, is dat de parameter $H_0 T_{op} < 105$.

$$H_0 T_{op} = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \cdot T_p \cdot \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} \quad [5.6-2]$$

waarin:

T_p	golfpiekperiode	[sec]
g	zwaartekracht versnelling	[m ² /sec ²]

Hierbij wordt aangenomen dat de invloed van golfhoogte en golfperiode van gelijke grootte is.

2. *Degradatie van stenen:*

Doordat stenen in een dynamisch stabiele constructie over elkaar rollen zullen de stenen rond worden en soms breken. Het steengewicht neemt hierdoor af evenals de onderlinge haakweerstand wat de stabiliteit van het talud niet ten goede komt. Hierover is nog weinig bekend.

Bij bermgolfbrekers is dit proces van minder belang omdat de stenen alleen bewegen totdat de stabiele eindsituatie (het vervormde profiel) bereikt is.

3. *Golfoverslag:*

Als gevolg van de relatief lichte steen die wordt toegepast op de buitenste laag zowel op het binnen talud als het buitentalud kan golfoverslag de stabiliteit van het binnentalud ondermijnen.

Van der Meer (1992) geeft de volgende ontwerp regel waarmee stabiliteit van het binnentalud kan worden gecontroleerd:

$$\frac{R_c}{H_s} * S_{op}^{1/3} = 0,25: \textit{start van schade}$$

$$\frac{R_c}{H_s} * S_{op}^{1/3} = 0,21: \textit{middelmatige schade} \quad [5.7]$$

$$\frac{R_c}{H_s} * S_{op}^{1/3} = 0,17: \textit{ernstige schade}$$

waarin:

R_c	relatieve kruinhoogte (verticale afstand SWL-kruin)	[m]
S_{op}	diepwater golfsteilheid (gebaseerd op T_p)	[-]

5.3.2 Bepaling van steenklassen met als uitgangspunt de groeve

Bij een bermgolfbreker kan, door de relatieve eenvoud van de constructie, eenvoudiger de groeve als uitgangspunt worden genomen voor het ontwerp.

Wanneer voor het ontwerp van de bermgolfbreker twee graderingen gebruikt worden volgt uit ruwe ontwerp schetsen dat ongeveer 60% van de dwarsdoorsnede uit kernmateriaal bestaat en 40% uit het materiaal van de buitenste laag.

Met als uitgangspunt dat de totale opbrengst van de groeve wordt gebruikt kunnen dan voor de vier opbrengst curven de twee fracties worden bepaald. (tabel 5.4)

	gradatie			
	gewicht [kg]	D_{n50} [m]	W_{50} [kg]	D_{85}/D_{15} [-]
curve I				
60-100%	100 - 2700	0,49	310	1,93
10- 60%	1 - 100	0,20	20	2,54
curve II				
60-100%	180 - 8300	0,64	700	2,13
10- 60%	1 - 180	0,22	30	2,91
curve III				
60-100%	320 - 10000	0,81	1400	2,31
15- 60%	5 - 320	0,27	55	2,68
curve IV				
60-100%	520 - 10000	0,91	2000	2,14
15- 60%	10 - 520	0,34	105	2,46

Tabel 5.4: Opbrengst per fractie voor verschillende opbrengst curven

Als maximum grens voor de breedte van de graderingen is $D_{85}/D_{15} < 3,0$ (Dit is een zeer brede gradatie, welke in praktijk weinig toegepast wordt. Een waarde van $D_{85}/D_{15} < 2,0 - 2,5$ is meer gebruikelijk). Dit om de interne stabiliteit te waarborgen en om ontmenging tijdens het storten tegen te gaan. Omdat de gebruikte gradatie zeer breed is, is een controle met behulp van modelproeven aan te bevelen.

De ondergrens is om te voldoen aan het gestelde maximum voor de gradering gesteld op deze reden bij gebruik van de eerste twee opbrengst curven van 0 naar 10% verschoven en bij de laatste twee van 0 naar 15%.

Men spreekt van een bermgolfbreker wanneer de parameter $H_s/\Delta D_n$ tussen 2.5 en 6 ligt. In verband met langstransport is bij een hoge waarde (groter dan 3,5-4,5) langstransport te verwachten als de belasting niet loodrecht op de constructie werkt.

De parameter $H_s/\Delta D_n$ is bij gebruik van de eerste twee curven gelijk aan 6,6 en 5,0, wat gebruik van deze opbrengstcurven ongeschikt maakt voor de bermgolfbreker.

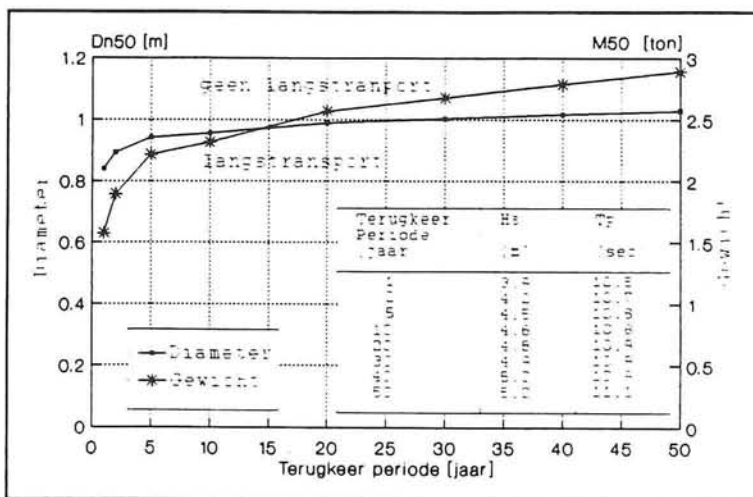
De andere twee curven leveren een bruikbare gradatie op voor het ontwerp van de bermgolfbrekers, uitgaande van het criterium in formule 5.6-1. Bij gebruik van opbrengstcurve drie wordt de parameter $H_s/\Delta D_n = 4,0$ en bij opbrengst curve vier geldt $H_s/\Delta D_n = 3,5$ (Voor H_s is hier de ontwerp golfhoogte met een terugkeerperiode van 1/50 jaar gebruikt). Curve drie en vier zijn op basis van het eerste criterium bruikbaar voor het ontwerp van een bermgolfbreker.

Het resultaat van toetsing aan het tweede criterium, zoals omschreven in formule 5.6-2, is voor deze situatie grafisch weergegeven in figuur 5.5.

Uit de grafiek blijkt dat bij toepassing van opbrengstcurve drie ($Dn50 = 0,81$ m, zie tabel 5.4) al bij een 1/1 jaar golf langstransport kan optreden.

Bij toepassing van opbrengstcurve vier ($Dn50 = 0,91$ m) zal langstransport optreden bij een 1/3 tot 1/4 jaar golf.

Afhankelijk van de onderhoudskosten kan een keuze worden gemaakt of en zo ja, hoeveel langstransport toegelaten wordt.



Figuur 5.5: Benodigd materiaal van de buitenlaag waarbij geen langstransport optreedt ($H_o T_{op} < 105$)

Opgemerkt wordt dat de meeste golfbrekers die reeds gebouwd zijn ongeveer een parameter $H_s/\Delta Dn=3,0$ hebben. In overleg met de project begeleiders is in dit geval gekozen om een iets hogere waarde toe te laten om een duidelijk verschil tussen de constructies te maken. Het gevolg hiervan is dat de kans dat langstransport optreedt toeneemt, zoals blijkt uit een eerste schatting in bijlage 9.5.

5.3.3 Kruinhoogte en breedte

De kruinhoogte is hetzelfde als bij het statisch stabiele ontwerp, $5,0m + C.D.$ Dit om een technisch gelijkwaardige vergelijking tussen de dynamisch- en statisch stabiele golfbreker mogelijk te maken.

Opgemerkt moet hierbij worden dat dit een lage waarde voor de kruinhoogte tot gevolg heeft. Na globale berekening voor het statisch stabiele ontwerp van de golfoverslag bleek deze aanzienlijk te zijn.

Bij een bermgolfbreker wordt liever weinig golfoverslag toegelaten omdat anders in extreme omstandigheden materiaal van het buitentalud over de kruin kan slaan.

Om het mogelijk te maken dat er materieel op de kruin van de constructie kan staan wordt een breedte van 8 m gekozen.

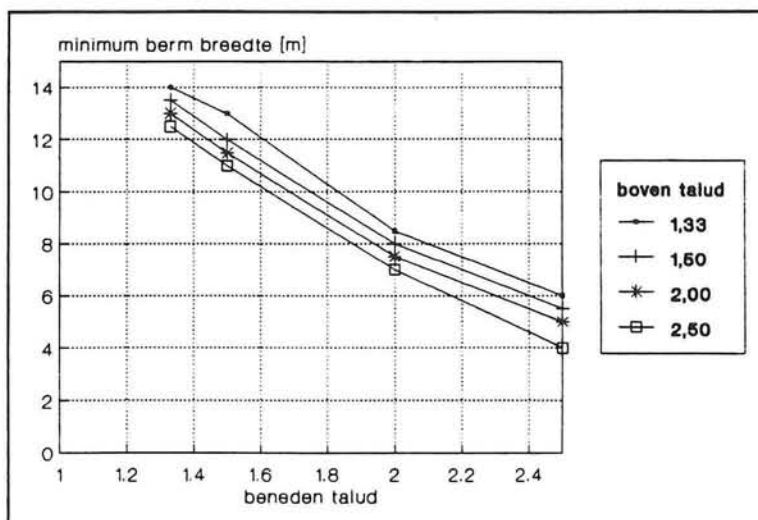
5.3.4 Berm hoogte, breedte en talud hoeken

De hoogte van de berm is gekozen op ruim 1 m boven SWL, wat na afronding neerkomt op $1,5 m + C.D.$.

De keuze van de taludhoeken, onder en boven de berm, en de breedte van de berm bepalen samen met het gekozen steengewicht, de vorm van het uiteindelijke profiel na de ontwerp storm.

Wanneer het talud bij constructie steil wordt opgezet is een bredere berm noodzakelijk dan bij een flauwer talud.

De minimale bermbreedte is berekend voor verschillende taluds boven en onder de berm (1:1,33, 1:1,5 1:2 en 1:2,5) met het programma 'BREAKWAT'. Het resultaat is in figuur 5.6 weergegeven. In deze figuur zijn verschillende constructies weergegeven die allemaal stabiel zijn onder de ontwerp omstandigheden.



Figuur 5.6: Minimum bermbreedte (M50 = 1400 kg)

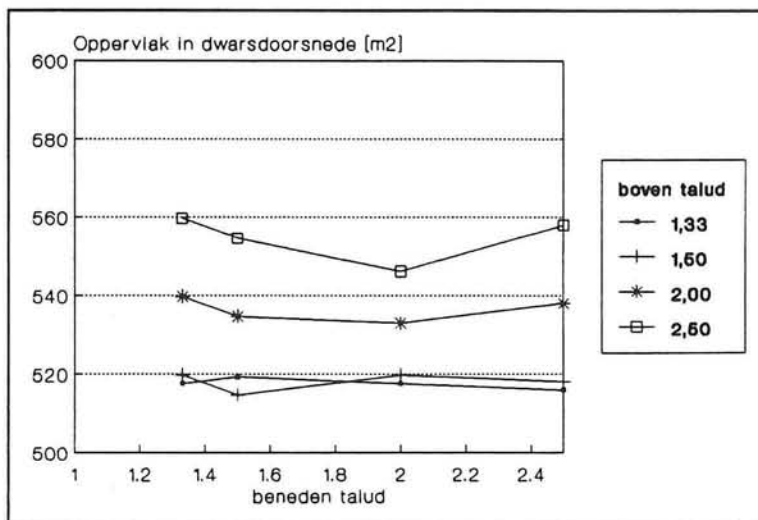
Uitgangspunt bij het berekenen van de minimale bermbreedte is dat tijdens de ontwerpstorm het boventalud in tact blijft.

Bij de berekeningen van het benedentalud met een talud 1:2 en 1:2,5 moet opgemerkt worden dat deze berekeningen minder betrouwbaar zijn omdat deze situatie bijna statisch stabiel bleek.

Een optimalisering van de totaal benodigde hoeveelheid materiaal kan gevonden worden door de oppervlakte van het beschouwde deel van het dwarsprofiel als functie van de taludhoeken te bepalen (zie figuur 5.7). De bermbreedte bij combinaties van de taludhoeken volgt hierbij uit figuur 5.6.

Een flauwe hoek van het boventalud heeft een forse toename van het totale volume tot gevolg. Wanneer het beneden talud een flauwere helling krijgt leidt dit in eerste instantie tot reductie van de bermbreedte waardoor het volume niet sterk verandert.

Wanneer de taluds 1:1,33 en 1:1,5 worden vergeleken zijn de verschillen minimaal. Gekozen is om alle taluds van de bermgolfbreker onder een talud van 1:4/3 op te zetten. Deze taludhoek ligt dicht bij de hoek van inwendige wrijving van rots, waardoor de taludhoek ontstaat wanneer de steen gestort wordt.



Figuur 5.7: Oppervlakte in dwarsdoorsnede (M50 = 1400 kg)

Bij gebruik van opbrengst curve IV ($H_s/\Delta D_n=3,5$) volgt nu een bermbreedte van 13 m, voor opbrengst curve III ($H_s/\Delta D_n=4,0$) wordt een bermbreedte van

14 m gevonden. Een toename van het gewicht van de buitenste laag geeft dus een geringe afname van het totale volume met 13,5 m³.

Wanneer aangenomen wordt dat exploitatie van de groeve volgens opbrengst-curve III goedkoper is dan volgens curve IV (meer zware stenen) zal de vermindering van het benodigde volume waarschijnlijk niet opwegen tegen de hogere exploitatie kosten. Hierom is voor het ontwerp van de bermgolfbreker opbrengst curve III gebruikt. De gradaties uit tabel 5.5 worden afgerond naar in de praktijk gebruikelijke waarden:

- buitenlaag 300 - 8000 kg
- kern materiaal 5 - 300 kg

5.3.5 Controle van de stabiliteit van het binnentalud

Voor de controle van de stabiliteit van het binnentalud wordt de eerder genoemde ontwerpregel van 'Van der Meer' toegepast (formule 5.7). Hierin wordt aan de hand van de verhouding van de relatieve kruinhoogte, de significante golfhoogte en de golfsteilheid een maat voor schade aan het binnentalud geven. Voor de ontwerpomstandigheden volgt een waarde voor $R_c/H_s * s_{op}^{(1/3)} = 0,23$. Volgens de ontwerpregel begint start van schade bij een waarde van 0,25; tijdens de ontwerp storm zal dus enige schade aan het binnentalud optreden, wat acceptabel is.

Beschouwen we een nog extremere schade waarbij een 20% grotere H_s optreedt dan wordt $R_c/H_s * s_{op}^{(1/3)} = 0,20$ wat een indicatie is tussen middelmatige en ernstige schade. Ook hierbij treedt dus nog geen bezwijken op.

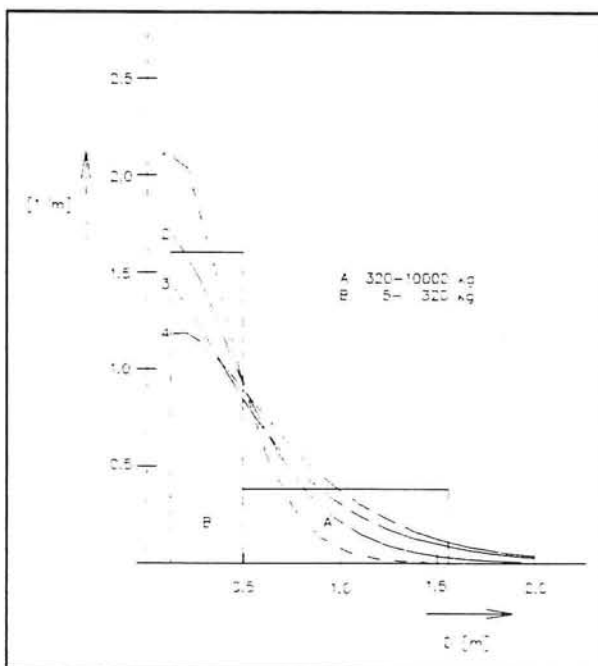
5.3.6 Hoeveelheid benodigd materiaal

Het uiteindelijke ontwerp van de bermgolfbreker is weergegeven in bijlage 5.2. De benodigde hoeveelheid van de twee gradaties volgt uit de oppervlakten in de dwars doorsnede. De stippellijn geeft het vervormde profiel na de ontwerpstorm weer.

Hiernaast zijn de vraag-dichtheids-functie en opbrengst-dichtheids-functies van de bermgolfbreker weergegeven.

Bij het ontwerp is uitgegaan van opbrengst curve 3, waarbij de fractie kleiner dan 5 kg niet is gebruikt.

De benodigde hoeveelheid breuksteen voor dit ontwerp is weergegeven in tabel 5.5.



Figuur 5.8: Dichtheidsfuncties

fractie [kg]	oppervlakte in dwarsdoorsnede [m ²]	hoeveelheid per m' golfbreker [ton/m']	benodigd percentage [%]
I. 320-10000	288,32	458,43	40,59
II. 5- 320	422,01	671,00	59,41
TOTAAL		1129,00	100,00

Tabel 5.5: Benodigde hoeveelheid breuksteen voor dynamisch stabiele golfbreker

Het te produceren volume per fractie voor opbrengst curve 3 is weergegeven in tabel 5.6.

fractie [kg]	gemiddelde opbrengst [%]	benodigd volume [%]	te produceren volume [%]	over [%]	tekort [%]
I. 320-10000	40	40	47	7	0
II. 5- 320	45	60	53	0	7
<5	15	-	18		
totaal	100	100	118		

Tabel 5.6: Benodigde produktie van de groeve voor opbrengstcurve 3

Er moet dus 1,18 keer zoveel breuksteen geproduceerd worden als nodig is voor de golfbreker.

In dit hoofdstuk zijn concept ontwerpen voor een conventionele en bermgolfbreker besproken. Uit de dwarsdoorsneden, welke zijn weergegeven in bijlage 5.1 en 5.2, kan nu de totaal benodigde hoeveelheid materiaal per lengte eenheid worden berekend.

Uit de tabellen 5.3 en 5.6 volgt dat voor de conventionele golfbreker een grotere overproduktie in de groeve nodig is dan voor de bermgolfbreker. Dit verschil heeft invloed op de materiaalkosten, hoe meer overproduktie gemaakt moet worden hoe hoger de kosten.

Omdat de materiaalkosten voor breuksteen sterk worden bepaald door de lokale omstandigheden en hierover slechts globale gegevens beschikbaar zijn wordt de overproduktie niet verwerkt in de materiaalprijs.

6. Factoren die de keuze van de uitvoeringsmethode kunnen beïnvloeden

De keuze van een uitvoeringsmethode voor de bouw van een golfbreker is afhankelijk van veel factoren zoals: de specifieke eigenschappen van de golfbreker (dwarsprofiel), het heersende golfklimaat, de waterdiepte en de bereikbaarheid van de golfbrekerlocatie.

Binnen deze vastgestelde randvoorwaarden kan vaak nog een keuze gemaakt worden tussen verschillende werkvolgorden en materieeltypen.

Uitgangspunt voor de keuze van de materieelinzet is de geschiktheid van het materieel voor een bepaalde activiteit, daarnaast spelen de produktiesnelheid en de bijbehorende kosten een belangrijke rol.

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe op basis van de produktiesnelheid en kosten de materieelinzet gekozen kan worden.

6.1 Keuze van uitvoeringsmethode op basis van kosten

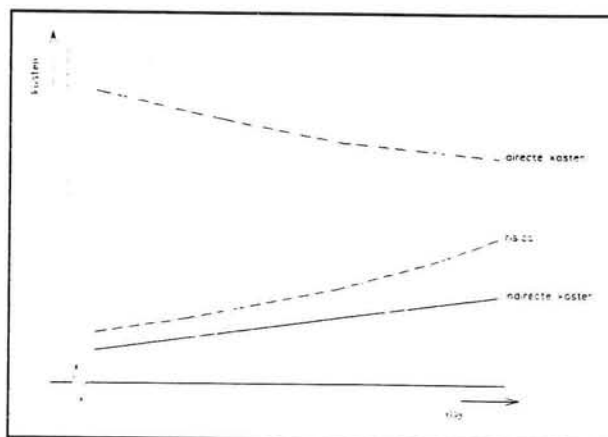
De kosten van de uitvoering zijn een functie van de totale bouwtijd. Voor de uitvoering zijn drie typen kosten te onderscheiden:

1. Directe kosten: Alle kosten die tijdens de bouw aan verschillende onderdelen toegerekend kunnen worden; het zijn kosten waarvoor een onmiddellijk verband met een resultaat of deel daarvan kan worden gelegd. Bijvoorbeeld de kosten voor materiaal en de huur van materieel om een activiteit uit te voeren.
2. Indirecte kosten: De kosten die niet rechtstreeks aan een project of een onderdeel ervan kunnen worden toegerekend, maar met een verdeel sleutel over verschillende onderdelen van het bedrijf moeten worden verdeeld. Hieronder vallen de kosten van kantoren, huisvesting van personeel en dergelijke.
3. Uitvoeringsrisico: Het risico dat de bouwondernemer loopt bij het uitvoeren van het werk. Dit risico bestaat onder andere uit schade die tijdens de uitvoering aan de gedeeltelijk voltooide constructie optreedt en onwerkbaar weer waarbij het kostbare materieel stil ligt, maar wel geld kost!

In figuur 6.1 is schematisch het verloop van de drie kostensoorten als functie van de projecttijd weergegeven.

De totale uitvoeringskosten worden gevormd door de som van de drie kostenposten. Het variëren van de totale projecttijd heeft dus invloed op de totale kosten.

Hierna worden de drie kostenposten in detail bekeken en wordt een lineair programmeringsprobleem opgesteld om de materieelkosten te minimaliseren.



Figuur 6.1: Uitvoeringskosten als functie van de projecttijd

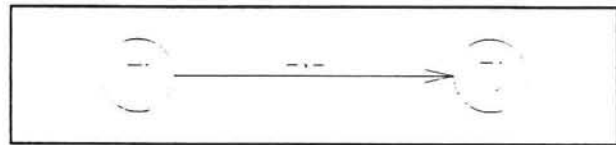
6.1.1 Directe kosten

In het algemeen geldt dat de directe kosten lager zijn naarmate het werk langer duurt. Dit is als volgt te verklaren: als er geen beperkingen aan de tijdsduur worden gesteld kan een bepaalde activiteit op de goedkoopste manier worden uitgevoerd. Wanneer de uitvoeringstijd beperkt is zullen andere of extra middelen ingezet moeten worden om de activiteit sneller uit te voeren. Hierdoor zullen de kosten stijgen.

Voor de uitvoering van een golfbreker bestaan de directe kosten onder andere uit de kosten voor gebruik van het materieel dat nodig is om een bepaalde activiteit uit te voeren. Het te gebruiken materiaal van het ontworpen dwarsprofiel wordt ook gerekend tot de directe kosten, maar kan hier buiten beschouwing worden gelaten omdat dit onafhankelijk is van de uitvoeringsmethode.

Vaak is er niet één methode voor uitvoering mogelijk, maar bestaan er verschillende alternatieven. Rationele alternatieven hebben een kortere bewerkingstijd en hogere kosten, of een hogere bewerkingstijd met lagere kosten.

Voor het vastleggen van de werkvolgorde wordt gebruik gemaakt van een gericht netwerk (figuur 6.2). Hierin wordt het begin tijdstip T_i genoemd en het einde T_j . De pijl tussen knoop T_i en T_j stelt de activiteit (x) voor.

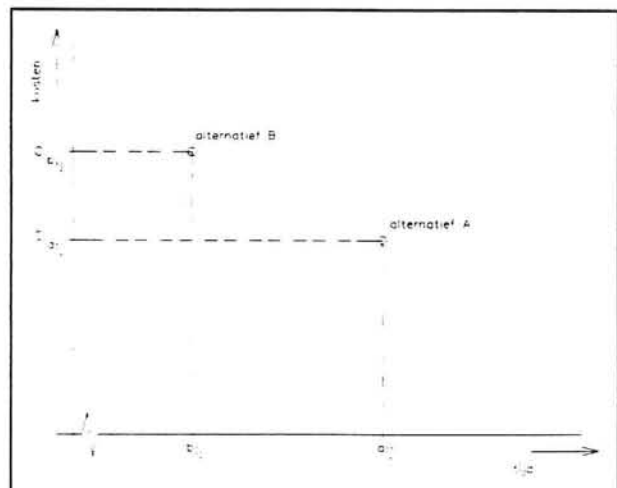


Figuur 6.2: Principe gericht netwerk

De directe kosten zijn nu geen continue functie van de tijd, zoals in figuur 6.1 is getekend, maar worden weergegeven als punten in een tijd-geld grafiek. Dit omdat het inzetten van halve materieelstukken natuurlijk niet mogelijk is.

De capaciteit van het materieel bepaalt tezamen met de geschatte werkbaarheid de duur van een activiteit. Uit de tijdsduur dat het materieel toegewezen is aan een activiteit volgen de bijbehorende kosten.

Voor de eenvoud zullen we voorlopig aannemen dat een activiteit kan worden uitgevoerd met twee verschillende materieelstukken. Activiteit $i-j$ kan uitgevoerd worden met materieelstuk A waarbij de tijd a_{ij} bedraagt en bijbehorende kosten C_{aij} zijn. Een snellere werkwijze bestaat uit het toepassen van materieelstuk B waarbij de doorlooptijd b_{ij} is met bijbehorende kosten C_{bij} . (Figuur 6.3)



Figuur 6.3: Directe kosten van materieel

De totale directe kosten van het netwerk uit figuur 6.3 kunnen geminimaliseerd worden door de directe kosten als een lineair programmerings probleem (LP) te formuleren en dit op te lossen.

Het LP probleem is als volgt te formuleren:

$$\min f(y, T) = \sum_i \sum_j (C_{aij} \cdot y_{aij} + C_{bij} \cdot y_{bij})$$

zodanig dat

$$T_i + A_{ij} \cdot y_{aij} + B_{ij} \cdot y_{bij} - T_j \leq 0 \quad \forall i, j$$

$$y_{aij} + y_{bij} = 1 \quad \forall i, j$$

$$T_E - T_1 \leq \lambda$$

$$T_x \geq 0, y_{xij} = 0 \vee 1$$

waarin:

C_{aij} = kosten voor activiteit i-j wanneer materieelstuk A wordt gebruikt.

C_{bij} = kosten voor activiteit i-j wanneer materieelstuk B wordt gebruikt.

y_{aij} en y_{bij} zijn binaire hulpvariabelen waarvoor geldt:

$y_{aij} = 1$ als activiteit ij uitgevoerd wordt in tijd a_{ij} .

$y_{aij} = 0$ als activiteit ij niet uitgevoerd wordt in tijd a_{ij} .

$y_{bij} = 1$ als activiteit ij uitgevoerd wordt in tijd b_{ij} .

$y_{bij} = 0$ als activiteit ij niet uitgevoerd wordt in tijd b_{ij} .

T_x = (onbekende) hulpvariabelen die het vroegste begin voor knoop x ($x=1,2,3,\dots,E$) weergeven.

T_E = knoop die het einde van het netwerk weergeeft.

λ = constante randvoorwaarde die de totale maximale projectduur weergeeft.

Als een activiteit op meer dan twee methoden uitgevoerd kan worden is dit eenvoudig toe te voegen door het introduceren van extra hulpvariabelen.

Wanneer de directe kosten van elke activiteit van het project dalen als de toegestane projecttijd toeneemt zal het kosten minimum gevonden worden wanneer voor elke activiteit de langzaamste uitvoeringsmethode wordt gekozen.

6.1.2 Indirecte kosten

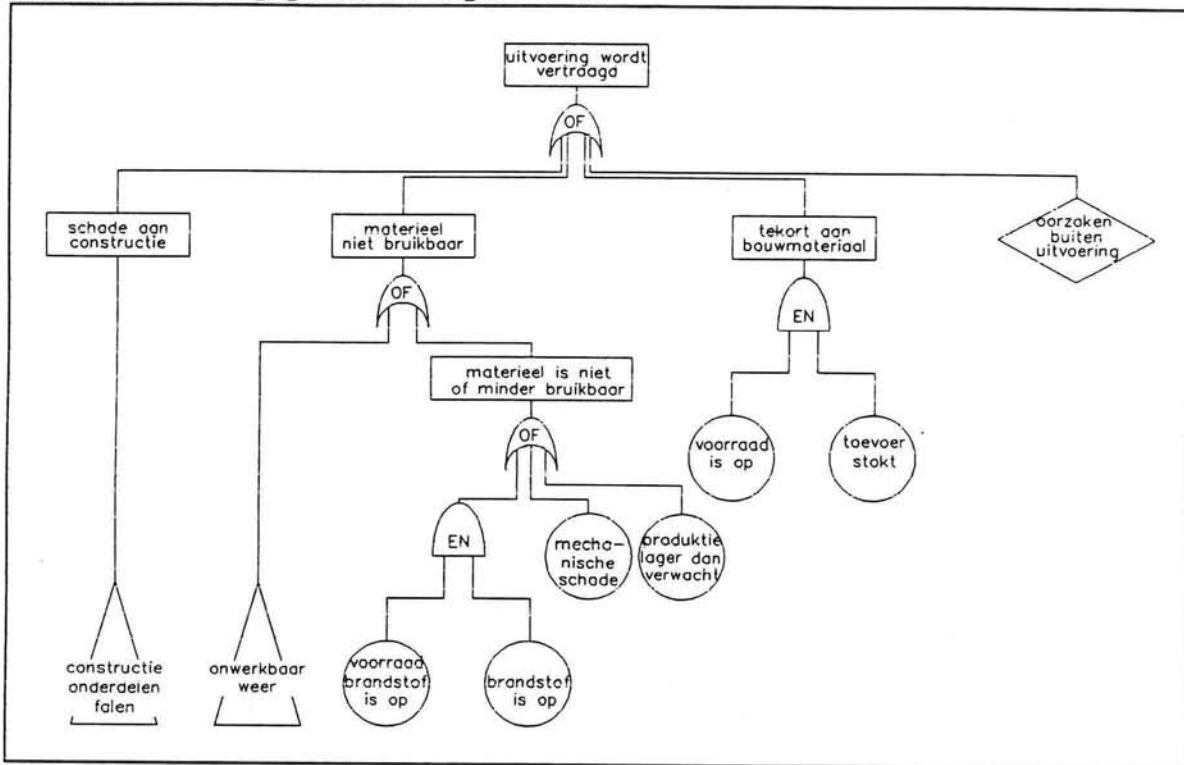
De indirecte kosten stijgen als functie van de tijd. Een redelijke veronderstelling is dat deze kosten lineair toenemen met de tijd. Hoe langer het werk duurt, des te langer kosten betaald moeten worden voor de bouwplaatsinrichting, huisvesting van personeel etc.

Het toevoegen van de indirecte kosten in het lineaire programmeringsprobleem kan eenvoudig geschieden door in de objectfunctie de indirecte kosten per tijdseenheid te vermenigvuldigen met de totale projectduur.

6.1.3 Uitvoeringsrisico

De uitvoering van een werk kan door verschillende oorzaken vertraagd worden. Vertragingen leveren extra kosten op. Wanneer het werk te laat wordt opgeleverd moet vaak een boete worden betaald; voor het inlopen van achterstanden op de planning moet vaak extra inspanning en materieel worden geleverd.

De hoofdfoutenboom voor het oplopen van vertraging bij de bouw van een golfbreker is aangegeven in figuur 6.4.



Figuur 6.4: Hoofdfoutenboom vertraging van uitvoering

In de foutenboom worden de volgende faaloorzaken genoemd:

1. Schade tijdens de uitvoering aan de constructie

Wanneer een storm optreedt tijdens het bouwen van de constructie kan dit leiden tot verlies van een deel van de constructie.

De niet afgedekte kern is, door de relatief kleine steenafmetingen, het meest gevoelig voor stormen. Naarmate het dwarsprofiel verder voltooid is en steeds zwaardere filterlagen aangebracht zijn, zal de kans op schade afnemen.

Voor elke fase van het project kan, aan de hand van ontwerpformules en overschrijdingskansen van de golfhoogte en periode, de kans op falen per tijdseenheid bepaald worden met behulp van probabilistische sterkteberekeningen. Door de tijdstippen waarop verschillende activiteiten voltooid zijn te vermenigvuldigen met de kans per tijdseenheid volgt de kans dat een constructieonderdeel tijdens de bouwphase faalt. Het zal duidelijk zijn dat het risico op schade toeneemt, naarmate het langer duurt voordat de kern en onderlagen worden afgedekt.

De schade die ontstaat bij verlies van een deel van de constructie kan berekend worden door de totale kosten te bepalen die geïnvesteerd zijn om

het verloren gegane deel van de constructie te maken plus extra kosten als gevolg van het opruimen, andere werkcondities etc.

Het risico is nu te berekenen door de kans op falen van een constructie onderdeel te vermenigvuldigen met de kosten van de bijbehorende schade. Dit risico kan toegevoegd worden in de object functie van het optimaliseringsprobleem.

2. Materieel is niet bruikbaar

Vertraging kan ook ontstaan doordat het materieel niet te gebruiken is. De oorzaak kan bij het materieel liggen of van buitenaf komen.

Als de weersomstandigheden zodanig zijn dat het materieel niet gebruikt kan worden, wordt gesproken van onwerkbaar weer. Het risico met betrekking tot onwerkbaar weer kan verwerkt worden in de verwachte tijdsduur die nodig is voor het uitvoeren van een activiteit, gegeven een bepaalde uitvoeringsmethode. De verwachte tijdsduur bestaat dan uit een geschatte werkbare en onwerkbare tijd. De kosten kunnen worden verhoogd met het produkt van het percentage onwerkbare tijd en de kosten die gemaakt worden als het materieel stil ligt.

Ook kan er vertraging optreden door falen van materieel. Het falen van materieel kan optreden doordat er geen brandstof is of doordat het materieel kapot is. Voor het risico van het falen van materieel wordt een vast percentage toegepast.

3. Tekort aan bouw materiaal

Onnodige vertraging kan optreden doordat het bouw materiaal, zoals de benodigde breuksteen, niet op tijd wordt geleverd. Dit risico kan gedeeltelijk worden ingedekt door een opslagplaats dicht bij de bouwlokatie aan te leggen. Deze tussenopslag kost wel extra geld doordat vaak een terrein gehuurd moet worden. Bovendien moet het materiaal een keer extra worden overgeladen ('rehandling').

Aan de hand van de projectplanning kan worden bepaald wanneer, hoeveel materiaal nodig is. Afhankelijk van de risico's in de logistieke keten kan dan de grootte van een eventuele tussenvoorraad worden bepaald.

Vertragingen als gevolg van dit risico worden buiten beschouwing gelaten.

4. Risico's waarvan de oorzaken buiten de uitvoering liggen

Tot slot zijn er nog een aantal, door derden bepaalde oorzaken, waardoor een werk sterk vertraagd kan worden. Hierbij kan gedacht worden aan het uitbreken van stakingen, het te laat afgeven van vergunningen en vertragingen bij het invoeren van goederen. Dit risico is moeilijk calculeerbaar, zeker als de bouwondernemer niet goed bekend is in het land van uitvoering. In deze studie is dit risico buiten beschouwing gelaten.

Het optimaliseringsprobleem om de totale materieelkosten te minimaliseren kan nu als volgt geformuleerd worden:

$$\min f(y, T) = \sum_i \sum_j (C_{aij} \cdot y_{aij} + C_{bij} \cdot y_{bij}) + \sum_k (C_k \cdot P_k \cdot T_k) + C_{ind} \cdot T_E$$

zodanig dat

$$T_i + A_{ij} \cdot y_{aij} + B_{ij} \cdot y_{bij} - T_j \leq 0 \quad \forall i, j$$

$$y_{aij} + y_{bij} = 1 \quad \forall i, j$$

$$T_E - T_1 \leq \lambda$$

$$T_x \geq 0, y_{xij} = 0 \vee 1$$

waarin:

C_k	=	kosten die schade weergeeft op het moment dat de constructie faalt in knoop k.
P_k	=	kans dat constructie faalt per tijdseenheid in knoop k.
T_k	=	tijdsduur dat situatie blootgesteld is aan golfaanval.
C_{ind}	=	indirecte kosten per tijdseenheid.

In hoofdstuk 8 wordt bovenstaand beslismodel gebruikt om de materieelinzet te bepalen bij de bouw van de golfbrekers voor de haven van Galle. Voordat dit model kan worden toegepast wordt het uitvoeringsrisico met betrekking tot de werkbaarheid en de kans op schade aan de constructie verder uitgewerkt in §6.2 en 6.3.

6.2 Werkbaarheid

Bij de uitvoering van golfbrekers wordt het aantal dagen waarop gewerkt kan worden vaak sterk beïnvloed door de omgevingscondities. Wanneer de omgevingscondities de bouw belemmeren ontstaan onwerkbaar dagen.

Per uitvoeringsmethode, waarvoor de werkvolgorde en keuze van het materieel is vastgelegd, kan het aantal werkbaar dagen verschillen.

6.2.1 Factoren die de werkbaarheid beïnvloeden

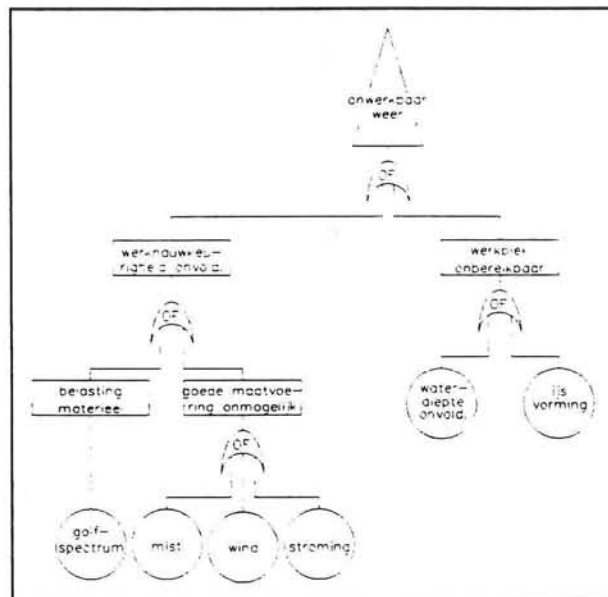
De belangrijkste factoren die de werkbaarheid in het algemeen beïnvloeden zijn (zie § 3.3): golfaanval, de waterstand, wind, ijs en mist. De invloed van deze factoren is weergegeven in de foutenboom van figuur 6.5, die een vervolg is van de foutenboom van het uitvoeringsrisico (figuur 6.4).

Deze factoren zijn niet constant over het hele jaar, hierdoor kan de werkbaarheid bij een zelfde uitvoeringsmethode over het jaar verschillen.

Voor de bepaling van de werkbaarheid, voor de bouw van de golfbreker in Galle, kan het jaar worden ingedeeld in vier perioden waarvoor karakteristieke waarden van de bovenstaande factoren kunnen worden bepaald (zie ook § 4.3.2).

Deze perioden zijn:

- de zuid-west moesson periode (mei-september)
- de noord-oost moesson periode (december-februari)
- twee tussen perioden (oktober-november, maart-april).



Figuur 6.5: Foutenboom onwerkbaar weer

Voor de golfaanval zijn voorwaardelijke verdelingen van de significante golfhoogte voor deinings- en windgolven in de verschillende perioden weergegeven in bijlage 6.1. Een relatie tussen de significante golfhoogte en golfpiekperiode is afgeleid in bijlage 6.2.

Bij mist, neemt het gevaar voor personeel en schade aan materieel toe. Bovendien wordt het moeilijker om met de vereiste precisie werkzaamheden uit te voeren. In bijlage 6.4 is een klimaat tabel voor Colombo weergegeven, een haven op ongeveer 100 km afstand van Galle. Omdat geen gegevens over mist voor de haven van Galle beschikbaar zijn wordt deze tabel gebruikt. Uit de tabel volgt dat er geen onwerkbaar weer door mist hoeft te worden verwacht.

Stroming bemoeilijkt het positioneren van stortschepen en beïnvloedt de plaats waar gestort materiaal terecht komt. Op de lokatie van de golfbrekers is de stroming gering.

Ook harde wind kan de werkbaarheid belemmeren. Hoge wind snelheden zullen optreden tegelijk met hoge windgolven. Alleen als de wind van de landzijde afkomstig is hoeft dit niet het geval te zijn.

Voorwaardelijke verdelingsfuncties van de wind-snelheid en richting zijn weergegeven in bijlage 6.3. Omdat hieruit blijkt dat harde wind vanaf de land-zijde (NNE-SSE) nauwelijks voorkomt wordt ook voor de wind aangenomen dat harde wind samenvalt met grote golfhoogten. Hierdoor kan ook voor de wind de golfhoogte als maatgevend worden beschouwd voor de werkbaarheid.

De variatie van de waterstand als gevolg van het astronomisch getij is reeds gegeven in § 4.3.3. Deze waterstanden zijn voor elke periode gelijk. Verhoging van waterstanden als gevolg van andere effecten zoals buistoten en seiches zullen tegelijkertijd optreden met extreem harde wind en hoge golven. Over het optreden van deze effecten zijn geen gegevens bekend. Aangenomen wordt dat de golfhoogte maatgevend is voor de werkbaarheid.

De temperatuur op Sri-Lanka ligt tussen 22 en 31 °C gemeten over het hele jaar. Verlet door ijs zal dus niet optreden.

Hierna wordt voor verschillende typen drijvend materieel en voor land materieel de werkbaarheid bepaald aan de hand van de beschikbare gegevens.

6.2.2 Werkbaarheid voor drijvend materieel

In deze paragraaf wordt voor een ponton, een splijtbak en een zijlosser de werkbaarheid bepaald in de baai van Galle, op de lokatie van de te bouwen golfbreker. Dit om een indruk te krijgen van de werkbaarheid voor de verschillende typen drijvend materieel.

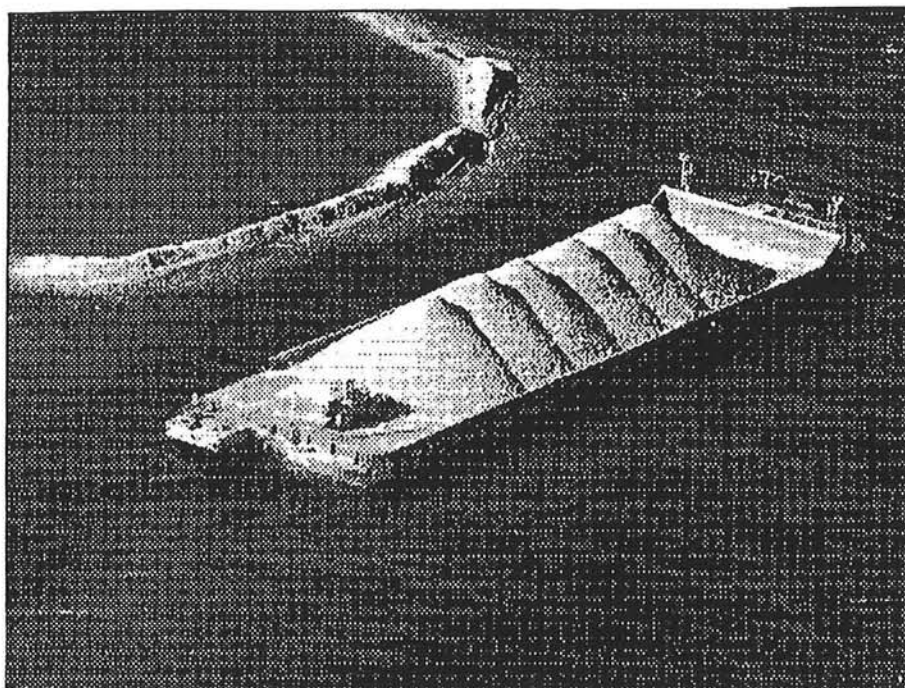
De bodemlosser, welke naast het genoemde drijvende materieel ook in §3.4.2. is beschreven, wordt buiten beschouwing gelaten omdat deze niet geschikt is voor het grove materiaal waaruit de golfbrekers voor de haven van Galle zijn opgebouwd.

Pontons

Pontons kunnen ingezet worden om grote hoeveelheden materiaal te storten op plaatsen waar de stort nauwkeurigheid niet erg hoog hoeft te zijn.

Verder kunnen ze gebruikt worden voor het aanleveren van stortsteen en grote elementen voor een drijvende- of landkraan op de golfbreker.

(zie figuur 6.6)



Figuur 6.6: Ponton met kernmateriaal

Zoals hiervoor beschreven kan de werkbaarheid geschat worden aan de hand van verwachte golfhoogten.

Drijvend materieel zal als gevolg van de golven bewegen. Wanneer de bewegingen te groot worden kan niet met voldoende nauwkeurigheid worden gewerkt, bovendien is het mogelijk dat de lading gaat schuiven waardoor instabiliteit van het schip kan optreden.

Om een indruk te krijgen van de bewegingen van pontons onder golfaanval in de verschillende perioden zijn de bewegingen voor twee pontons, de 'KORSOR' en de 'TP1', berekend. Dit zijn twee pontons die veel worden gebruikt bij de bouw van golfbrekers. De KORSOR is een ponton van 20*70 m, de TP1 is even breed, maar ongeveer 8 m korter.

De werkbaarheid is bepaald door middel van een simulatie.

Per periode is uit de verdelingsfuncties van wind- en deiningsgolven een data-set gegenereerd. Voor iedere trekking uit deze data-set is een golfspectrum berekend op basis van de golfhoogte en periode van de deinings- en windgolven.

Via de overdrachtsfuncties van de pontons kan dan berekend worden wat de resulterende bewegingen zijn van de pontons.

Voor de werkbaarheid van de pontons zijn de bewegingen in x,y en z-richting van belang. De bewegingen in het horizontale vlak (x,y-richting) zijn van belang in verband met de stornauwkeurigheid. Aan de verticale beweging (z-richting) wordt een maximum gesteld omdat een ponton voor het lossen vaak wordt afgemeerd langs een positioneringsponton. Bij te grote verticale bewegingen geeft dit problemen.

Voor de pontons is uitgerekend hoeveel procent van de tijd de significante amplitude van een punt op de pontons in x,y én z-richting kleiner is dan een bepaalde waarde. In bijlage 6.5 wordt beschreven hoe de bewegingen berekend zijn.

In figuur 6.7 is het resultaat voor de TP1 en KORSOR weergegeven voor de periode maart-april. Samenvattende tabellen voor alle perioden zijn tevens weergegeven in bijlage 6.5.

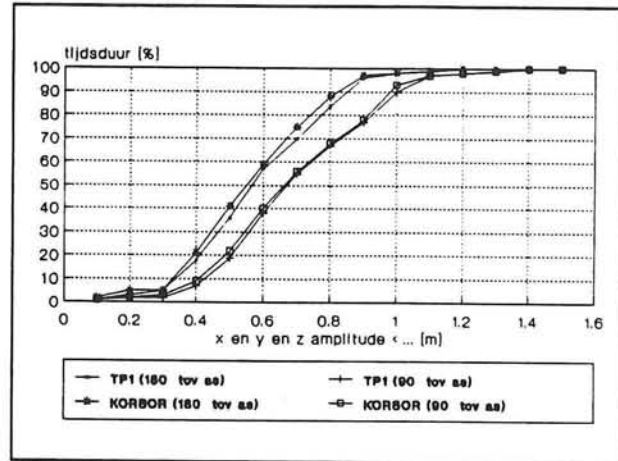
Door nu een maximaal toelaatbare amplitude op de horizontale as te kiezen kan de werkbaarheid worden afgelezen op de verticale as in figuur 6.7.

De bewegingen zijn uitgerekend voor golfaanval op de kop van de pontons (180° ten opzichte van de scheeps-as) en loodrecht op de as (90° ten opzichte van de scheeps-as). Uit de grafiek volgt dat de golfrichting van groot belang is, golven die evenwijdig aan de scheeps-as invallen hebben aanzienlijk minder effect dan golven die dwars op het schip invallen.

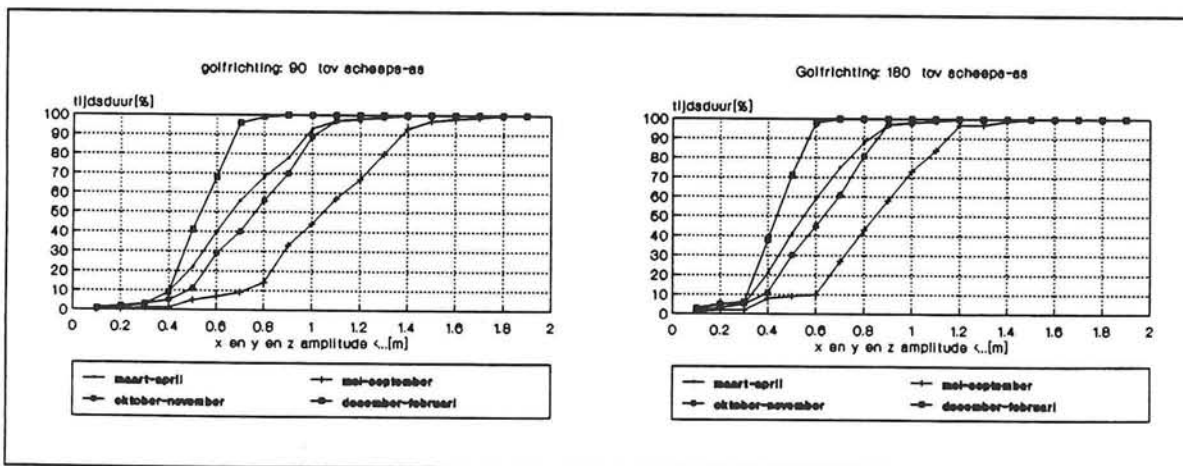
De grotere lengte van de KORSOR ten opzichte van de TP1 heeft weinig effect op de bewegingen.

Omdat de berekeningen voor de KORSOR en TP1 nagenoeg dezelfde resultaten opleveren wat de werkbaarheid betreft, is voor de overige perioden de werkbaarheid alleen uitgerekend voor de KORSOR.

Hieronder zijn de resultaten voor de bewegingen van de KORSOR weergegeven aan loef-zijde van de golfbreker voor alle perioden. De numerieke gegevens zijn opgenomen in bijlage 6.5.



Figuur 6.7: Bewegingen van Korsor en TP1 aan loef-zijde van de in aanbouw zijnde golfbreker (periode: maart-april)



Figuur 6.8: Bewegingen van KORSOR aan loef-zijde van de golfbreker voor alle perioden

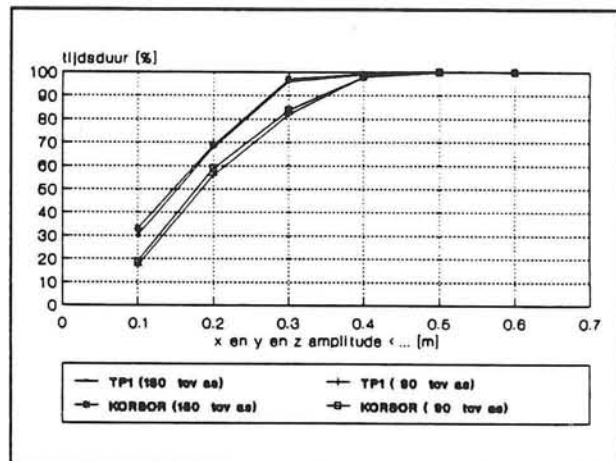
Figuur 6.7 en 6.8 geven de werkbaarheid weer als de pontons aan de loef-zijde van de in aanbouw zijnde golfbreker liggen en dus volledig blootgesteld worden aan het heersende golfklimaat. Hierbij moet opgemerkt worden dat met reflectie van golven door de golfbreker geen rekening is gehouden.

Het ligt echter voor de hand om, indien mogelijk, de pontons neer te leggen aan de lij-zijde van de golfbreker. Daardoor kan een aanzienlijke reductie van de invallende golven worden bereikt waardoor de werkbaarheid groter wordt.

De verdeling van de maximale significante amplitude, voor de pontons achter de in aanbouw zijnde golfbreker, is weergegeven in figuur 6.9. In bijlage 6.5 wordt de berekening van deze bewegingen toegelicht.

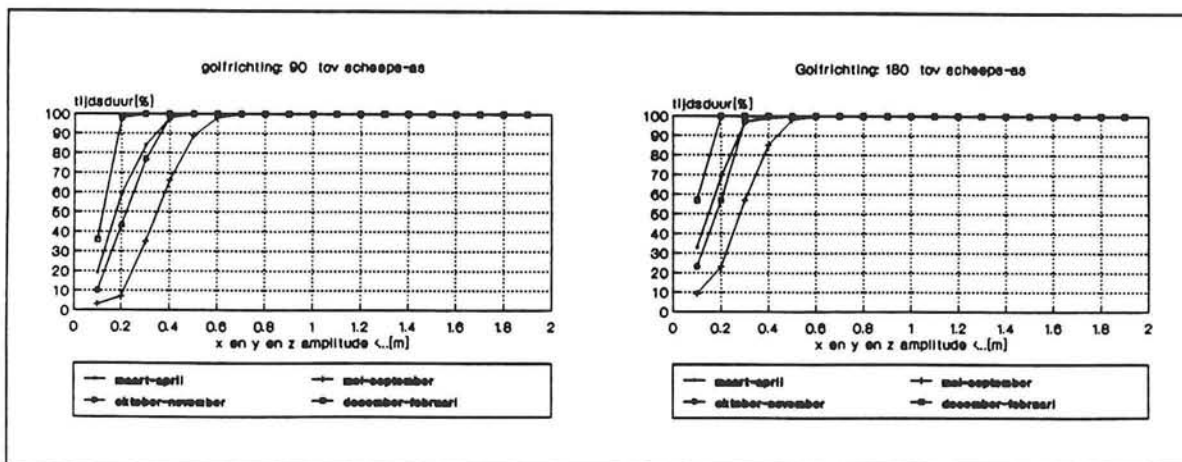
De toename van de werkbaarheid door de bakken beschermd achter de golfbreker te leggen is zeer groot. Bij een maximaal toelaatbare amplitude van 0,4 m is de werkbaarheid bijna 100%.

Indien mogelijk moeten de pontons dus achter de in aanbouw zijnde golfbreker worden gelegd.



Figuur 6.9: Bewegingen voor KORSOR en TP1 aan lij-zijde van de in aanbouw zijnde golfbreker (periode: maart-april)

Omdat ook hier een klein verschil tussen de KORSOR en TP1 optreedt is voor de bewegingen in de overige perioden alleen naar de KORSOR gekeken. Het resultaat is weergegeven in figuur 6.10.

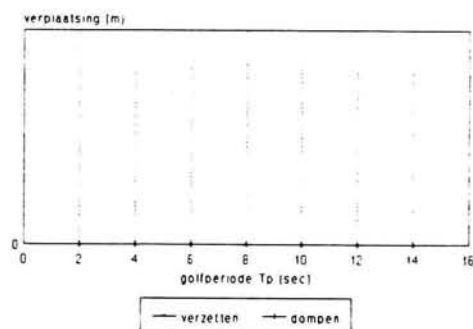


Figuur 6.10: Bewegingen van KORSOR aan lij-zijde van de golfbreker voor alle perioden

In de praktijk wordt vaak aan de hand van de golfhoogte bepaald of nog gewerkt kan worden of niet. Het schatten van de bewegingen van het schip is lastig, maar een ervaren zeeman kan de significante golfhoogte redelijk schatten. Het schatten van de bijbehorende periode is weer erg lastig.

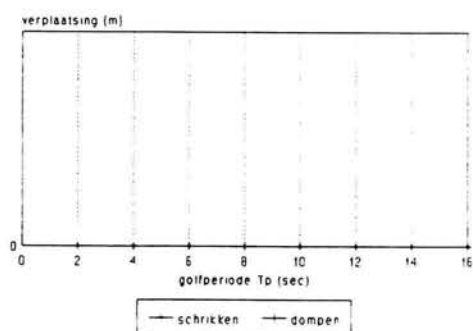
Om te bepalen welke grens voor de maximale significante bewegingsamplitude in de praktijk wordt gesteld zijn de bakken over het hele spectrum met eenzelfde golfhoogte belast. Verletten voor de Korsor treden in de praktijk op bij een golfhoogte $H_s=0,75$ m voor dwarsinvallende golven en $H_s=2,00$ m voor koggolven. De bijbehorende bewegingen zijn hieronder weergegeven.

Tp (sec)	y-verpl (m)	y-anpl (sec)	z-verpl (m)	z-anpl (m)
2,00	XX	XX	XX	XX
4,00	XX	XX	XX	XX
6,00	XX	XX	XX	XX
8,00	XX	XX	XX	XX
10,00	XX	XX	XX	XX
12,00	XX	XX	XX	XX
14,00	XX	XX	XX	XX
16,00	XX	XX	XX	XX



Tabel 6.1: Korsor $H_s=0,75$ m 90° tov scheepsas

Tp (sec)	x-verpl (m)	x-anpl (sec)	z-verpl (m)	z-anpl (m)
2,00	XX	XX	XX	XX
4,00	XX	XX	XX	XX
6,00	XX	XX	XX	XX
8,00	XX	XX	XX	XX
10,00	XX	XX	XX	XX
12,00	XX	XX	XX	XX
14,00	XX	XX	XX	XX
16,00	XX	XX	XX	XX



Tabel 6.2: Korsor $H_s=2,00$ m 180° tov scheepsas

Uit bovenstaande tabellen volgt niet een echt criterium voor de maximale bewegingen die worden toegelaten. De damp beweging kent voor beide golf-richtingen een echt maximum, maar de verzet- en schrik beweging blijven toenemen met de golfperiode. Een werkbaarheidsgrens voor de maximale significante bewegingsamplitude van 0,8 m lijkt een redelijke aanname.

Wanneer een werkbaarheidsgrens met een maximale significante amplitude van 0.8 m wordt toegelaten kan uit figuur 6.8 en 6.10 de werkbaarheid worden afgelezen.

Uit de overdrachtsfuncties (bijlage 6.5) blijkt dat de KORSOR bij golfaanval onder 90° en 180° ten opzichte van de scheeps-as vooral gevoelig is voor golven met een frequentie kleiner dan 1,2 rad/sec ofwel een periode groter dan 5,2 sec. De KORSOR is in dit geval dus vooral gevoelig voor

deiningsgolven waarvan de periode rond de 12 sec ligt en minder gevoelig voor windgolven waarvan de periode rond de 5 sec ligt.

Uit bijlage 6.1 volgt dat de deiningsgolven altijd uit de richting SSW tot SSE komen, dus min of meer evenwijdig met de as van de golfbreker die van SSE naar NNW loopt. Om zo min mogelijk hinder te ondervinden van de golven zal de bak daarom zoveel mogelijk evenwijdig aan de golfbreker worden gelegd.

Het voordeel van het gebruik van een ponton ten opzichte van splijtbakken of zijlossers is dat in principe over alle zijkanten gestort kan worden. Hierdoor wordt het mogelijk om de as van de bak altijd nagenoeg evenwijdig met de golfrichting te leggen, wat de werkbaarheid aanzienlijk ten goede komt.

De werkbaarheid kan dus bepaald worden uit de grafieken met golfaanval onder 180° ten opzichte van de scheeps-as, bij een maximale significante amplitude van 0,8 m. Het resultaat is weergegeven in tabel 6.3.

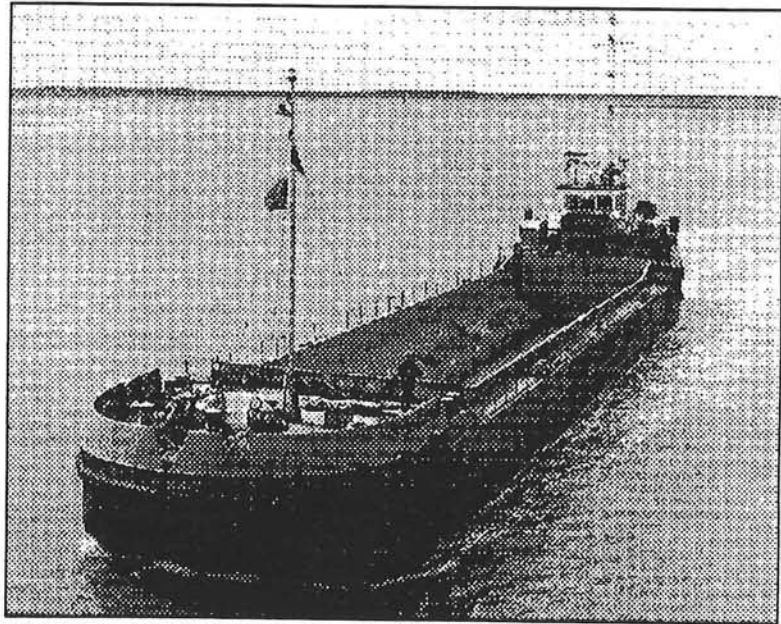
periode	werkbaarheid voor ponton aan loefzijde van de golfbreker [%]	werkbaarheid voor ponton aan lijzijde van de golfbreker [%]
maart-april	88	100
mei-september	43	100
oktober-november	81	100
december-februari	100	100

Tabel 6.3: Werkbaarheid voor KORSOR aan loef- en lijzijde van golfbreker per periode

Splijtbakken

Splijtbakken kunnen ingezet worden om materiaal met de kleinere afmetingen, zoals het kernmateriaal, te storten. Het storten met splijtbakken gaat relatief snel, maar minder nauwkeurig. Dit type materieel is dan ook alleen te gebruiken als geen hoge eisen aan de stort nauwkeurigheid worden gesteld.

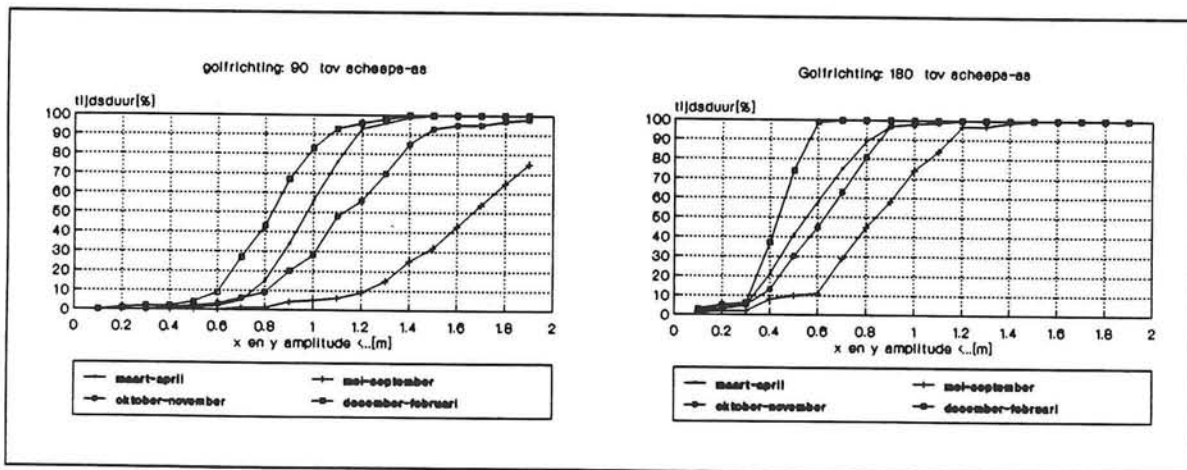
Om een indruk van de werkbaarheid van splijtbakken te krijgen zijn, voor een splijtbak, de NOVIOMAGUM-669, de bewegingen in het golfklimaat van Galle bepaald op een zelfde manier als voor de pontons is gedaan.



Figuur 6.11: Splijtbak NOVIOMAGUM-669

Het storten met een splijtbak kan niet plaatsvinden in de luwte van de in aanbouw zijnde golfbreker omdat het schip boven de golfbreker moet varen om te storten. Daarom zijn alleen de bewegingen aan de loefzijde van de golfbreker berekend.

In figuur 6.12 is de werkbaarheid weergegeven voor golven die loodrecht en op de kop van de NOVIOMAGUM 669 invallen.



Figuur 6.12: Bewegingen van NOVIOMAGUM 669 splijtbak voor alle perioden

De reken-procedure en resultaten zijn beschreven in bijlage 6.6.

Uit de overdrachtsfunctie van de NOVIOMAGUM (bijlage 6.6) volgt dat het schip bij golfaanval onder 180° ten opzichte van de scheepsas vooral gevoelig is voor deiningsgolven (golfperioden rond 12 sec).

Bij golfaanval loodrecht op het schip (90° ten opzichte van de scheeps-as) is het schip gevoelig voor frequenties tot 1,6 rad/sec (periode $> 3,9$ sec), voor de damp-amplitude, en tot 1,3 rad/sec (periode $> 4,8$ sec) voor de verzet beweging.

De beweging is in dit geval dus afhankelijk van de deinings én de windgolven. Kritiek zijn frequenties rond 1,2 rad/sec (golfperiode = 5,2 sec), die onder 90° invallen. Deze frequentie ligt dicht in de buurt van de eigenfrequentie, waardoor een zeer grote slingerbeweging optreedt (slinger hoek $> 30^\circ$ bij een golfhoopte van 1 m). Deze extreme gevoeligheid is in de overdrachtsfunctie van de verzetbeweging terug te vinden door een scherpe knik.

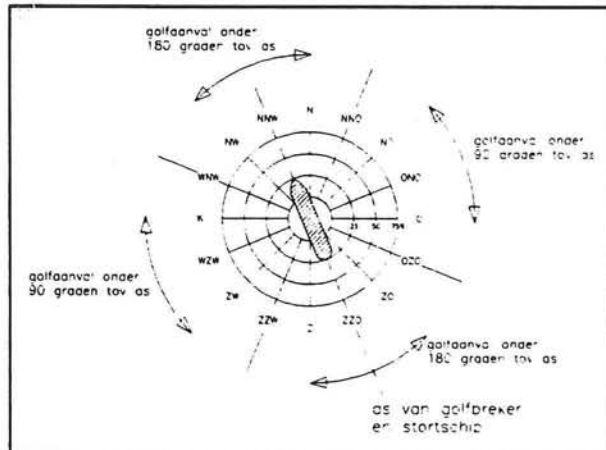
Het schip is dus gevoelig voor deiningsgolven (frequenties $< 1,0$ rad/sec) evenals golven rond de eigenfrequentie (1,2 rad/sec). Voor golven met een frequentie net iets groter dan de eigenfrequentie (1,3 rad/sec) is het schip veel minder gevoelig.

Een splijtbak moet bij het storten evenwijdig aan de as van de golfbreker varen, anders zal een deel van de lading buiten het profiel van de golfbreker worden gestort.

De deining is nagenoeg evenwijdig aan de as van de golfbreker, maar de richting van de windgolven vertoont een grotere spreiding.

Een benadering voor het percentage van de tijd dat golven op de kop en dwars op het schip invallen wordt gevonden door de richtingen ESE-SSW en WNW-NNE te beschouwen als golven die onder 180° invallen.

De overige richtingen worden dan beschouwd als dwars invallende golven (zie figuur 6.13).



Figuur 6.13: Definitie van golfaanval loodrecht en evenwijdig aan as

Het percentage van de tijd dat golfaanval evenwijdig aan, en loodrecht op de scheeps-as optreedt is weergegeven in tabel 6.4.

periode	golfaanval onder 90° tov scheepsas [%]	golfaanval onder 180° tov scheepsas [%]
maart-april	61	39
mei-september	97	3
oktober-november	79	21
december-februari	34	66

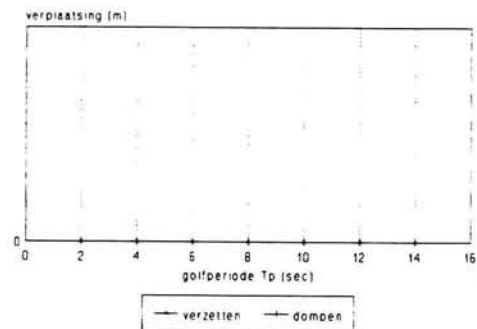
Tabel 6.4: percentage dat golfaanval loodrecht en evenwijdig aan scheepsas optreedt

Bij het berekenen van de bewegingen is steeds aangenomen dat de deinings- en windgolven dezelfde richting hebben. Door de percentages uit tabel 6.2 aan te houden voor de verdeling van de richting van golfinval wordt een veilige en dus pessimistische voorspelling voor de werkbaarheid gedaan.

Een betere voorspelling zou gemaakt kunnen worden door eerst voor deinings- en windgolven een trekking te doen uit de richtingsverdelingen waarna voor deze richting een deinings- en windgolfhoogte getrokken kan worden. Wanneer de overdrachtsfuncties voor alle richtingen bekend zijn kunnen dan de bewegingen berekend worden. In het kader van deze studie voert dit echter te ver, daarom is gekozen voor de voorzichtige voorspelling van de werkbaarheid via tabel 6.4.

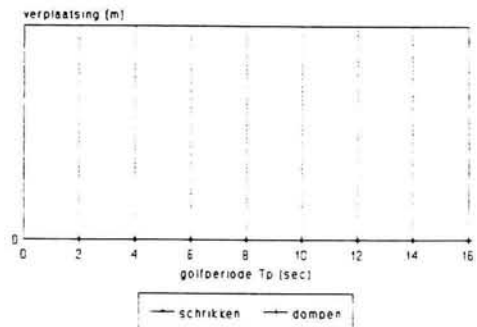
Verlet door te hoge golven voor de slijtbak NOVIOMAGUM 669 treedt in praktijk op bij een golfhoogte $H_s=1,0$ m voor dwarsinvallende golven en $H_s=1,5$ m voor kopgolven. Hieronder zijn de damp- stamp- en verzetbewegingen bij deze golven weergegeven.

T_p (sec)	y-verpl (n)	y-ampl (sec)	z-verpl (n)	z-ampl (n)
2,00	XX	XX	XX	XX
4,00	XX	XX	XX	XX
6,00	XX	XX	XX	XX
8,00	XX	XX	XX	XX
10,00	XX	XX	XX	XX
12,00	XX	XX	XX	XX
14,00	XX	XX	XX	XX
16,00	XX	XX	XX	XX



Tabel 6.5: Noviomagum, $H_s=1,0$ m 90° tov scheepsas

T_p (sec)	x-verpl (n)	x-ampl (sec)	z-verpl (n)	z-ampl (n)
2,00	XX	XX	XX	XX
4,00	XX	XX	XX	XX
6,00	XX	XX	XX	XX
8,00	XX	XX	XX	XX
10,00	XX	XX	XX	XX
12,00	XX	XX	XX	XX
14,00	XX	XX	XX	XX
16,00	XX	XX	XX	XX



Tabel 6.6: Noviomagum $H_s=2,0$ m 180° tov scheepsas

Omdat voor een splijtbak de beweging in z-richting van minder belang is wordt voor de maximale significante bewegingsamplitude op basis van de verzet beweging 0,8 m gekozen.

Uitgaande van de richtingsverdeling volgens tabel 6.4 en een maximale significante amplitude van 0.8 m volgt uit grafiek 6.12 de werkbaarheid.

periode	werkbaarheid [%]
maart-april	51
mei-september	2
oktober-november	24
december-februari	81

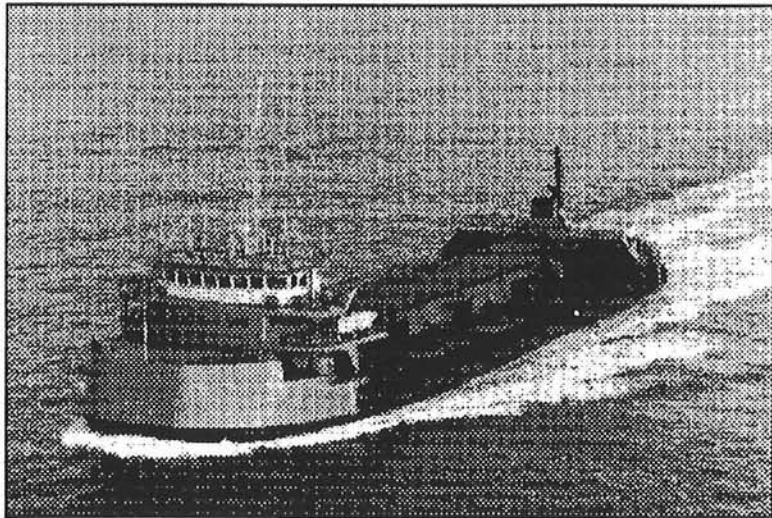
Tabel 6.7: Werkbaarheid voor NOVIOMAGUM-splijtbak per periode

336

Zijlossers

Met zijlossers kan relatief nauwkeurig onderprofiel gestort worden, omdat het mogelijk is met deze schepen verhalend te storten. Op deze manier wordt de lading in lagen op de bodem aangebracht.

Ook voor een zijlosser zijn de bewegingen berekend, het schip waarop de berekeningen zijn uitgevoerd is de TAURUS (zie bijlage 6.7).

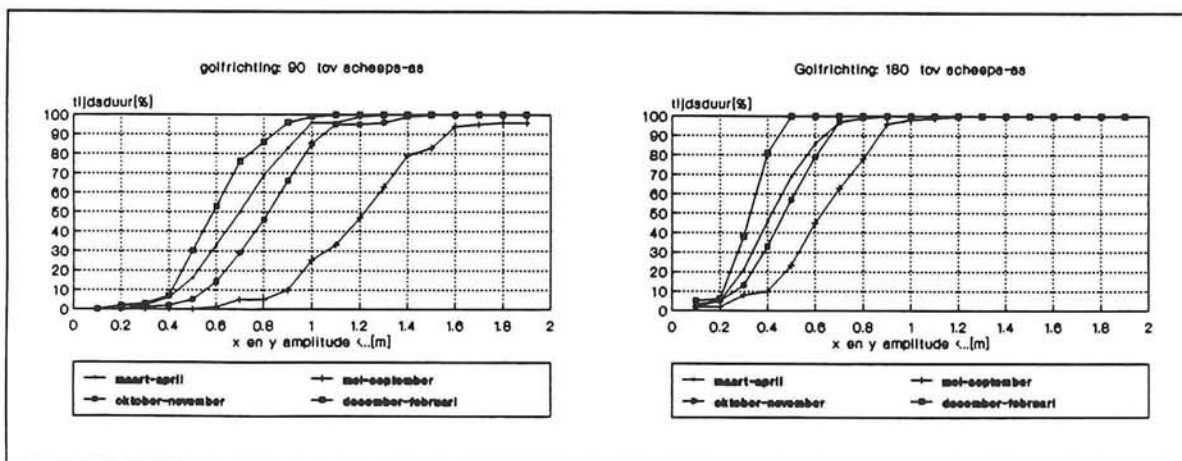


Figuur 6.14: Zijlosser TAURUS

Evenals voor splijtbakken kan een zijlosser niet werken in de luwte van de golfbreker, storten is alleen mogelijk varend boven de in aanbouw zijnde golfbreker. De bewegingen van de TAURUS zijn daarom alleen berekend aan de loef-zijde van de golfbreker.

De werkbaarheid van een zijlosser wordt vooral bepaald door de bewegingen in het horizontale vlak (schrikken en verzetten), deze bewegingen bepalen namelijk de stortnauwkeurigheid. De beweging van het schip in verticale richting (dompen) is van ondergeschikt belang.

De bewegingen in het horizontale vlak voor de TAURUS zijn weergegeven in figuur 6.15 en in bijlage 6.7.



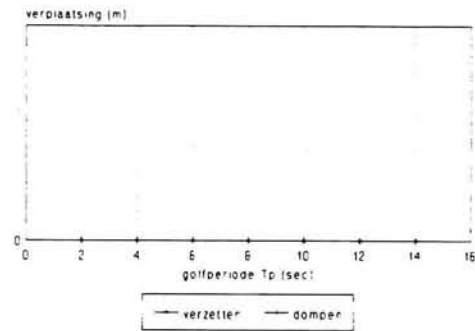
Figuur 6.15: Bewegingen van Taurus zijlosser voor alle perioden

Uit de overdrachtsfunctie van de TAURUS (bijlage 6.7) volgt dat deze bij golfaanval onder 180° alleen gevoelig is voor deininggolven, de overdrachtsfuncties zijn nagenoeg nul voor radiaal frequenties groter dan 1 rad/sec (golffrequentie $< 6,2$ sec).

De Taurus is bij golfaanval onder 90° vooral gevoelig voor golfperioden tussen 1,0 en 1,4 rad/sec voor de dombeweging. Bij golfaanval onder 90° is de TAURUS dus gevoelig voor deinings- en windgolven.

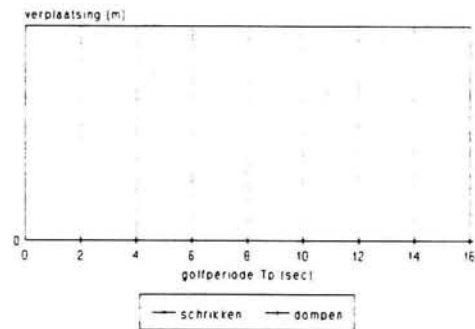
Verlet door te hoge golven voor de zijlosser TAURUS treedt in praktijk op bij een golfhoogte Hs=1,2 m voor dwarsinvallende golven en Hs=2,0 m voor kopgolven. Hieronder zijn de domp- stamp- en verzetbewegingen bij deze golven weergegeven.

Tp (sec)	y-verpl (m)	y-anpl (sec)	z-verpl (m)	z-anpl (m)
2,00	XX	XX	XX	XX
4,00	XX	XX	XX	XX
6,00	XX	XX	XX	XX
8,00	XX	XX	XX	XX
10,00	XX	XX	XX	XX
12,00	XX	XX	XX	XX
14,00	XX	XX	XX	XX
16,00	XX	XX	XX	XX



Tabel 6.8: TAURUS Hs=1,2 m 90° tov scheepsas

Tp (sec)	x-verpl (m)	x-anpl (sec)	z-verpl (m)	z-anpl (m)
2,00	XX	XX	XX	XX
4,00	XX	XX	XX	XX
6,00	XX	XX	XX	XX
8,00	XX	XX	XX	XX
10,00	XX	XX	XX	XX
12,00	XX	XX	XX	XX
14,00	XX	XX	XX	XX
16,00	XX	XX	XX	XX



Tabel 6.9: TAURUS Hs=2,0 m 180° tov scheepsas

Op basis van de verzetbeweging uit bovenstaande tabel is een werkbaarheids-grens met een significante bewegingsamplitude van 0,7 m aangenomen.

Uitgaande van de richingsverdeling volgens tabel 6.4 en een maximale significante amplitude van 0,7 m volgt uit grafiek 6.15 de werkbaarheid.

periode	werkbaarheid [%]
maart-april	68
mei-september	6
oktober-november	43
december-februari	92

Tabel 6.10: Werkbaarheid voor TAURUS-zijlosser per periode

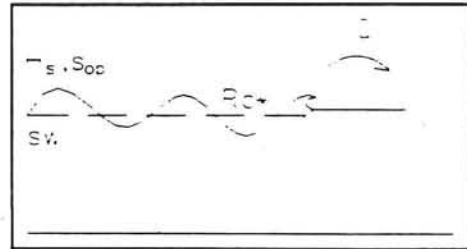
447

6.2.3 Werkbaarheid voor land materieel

Land materieel dat op de in aanbouw zijnde constructie wordt geplaatst kan worden gehinderd wanneer er golven over de constructie heen slaan.

In figuur 6.16 is het mechanisme van golf-overslag weergegeven.

Een ruwe indicatie van de golfoverslag kan verkregen worden door een relatie tussen de significante golfhoogte (H_s), de golfsteilheid (s_{op}) en de relatieve kruinhoogte van de constructie.



Figuur 6.16: Golf overslag

Het gemiddelde overslag debiet, Q , is een maat voor de golfoverslag. Een dimensiloze parameter voor het gemiddelde overslag debiet is gedefinieerd door Owen (Van der Meer, 1992):

$$Q_p^* = \frac{Q}{\sqrt{g \cdot H_s^3}} \cdot \sqrt{\frac{s_{op}}{2 \cdot \pi}} \quad [6.1]$$

De dimensiloze parameter Q_m^* volgt uit:

$$Q_m^* = a \cdot \exp(-b \cdot R_m^*/r)$$

en

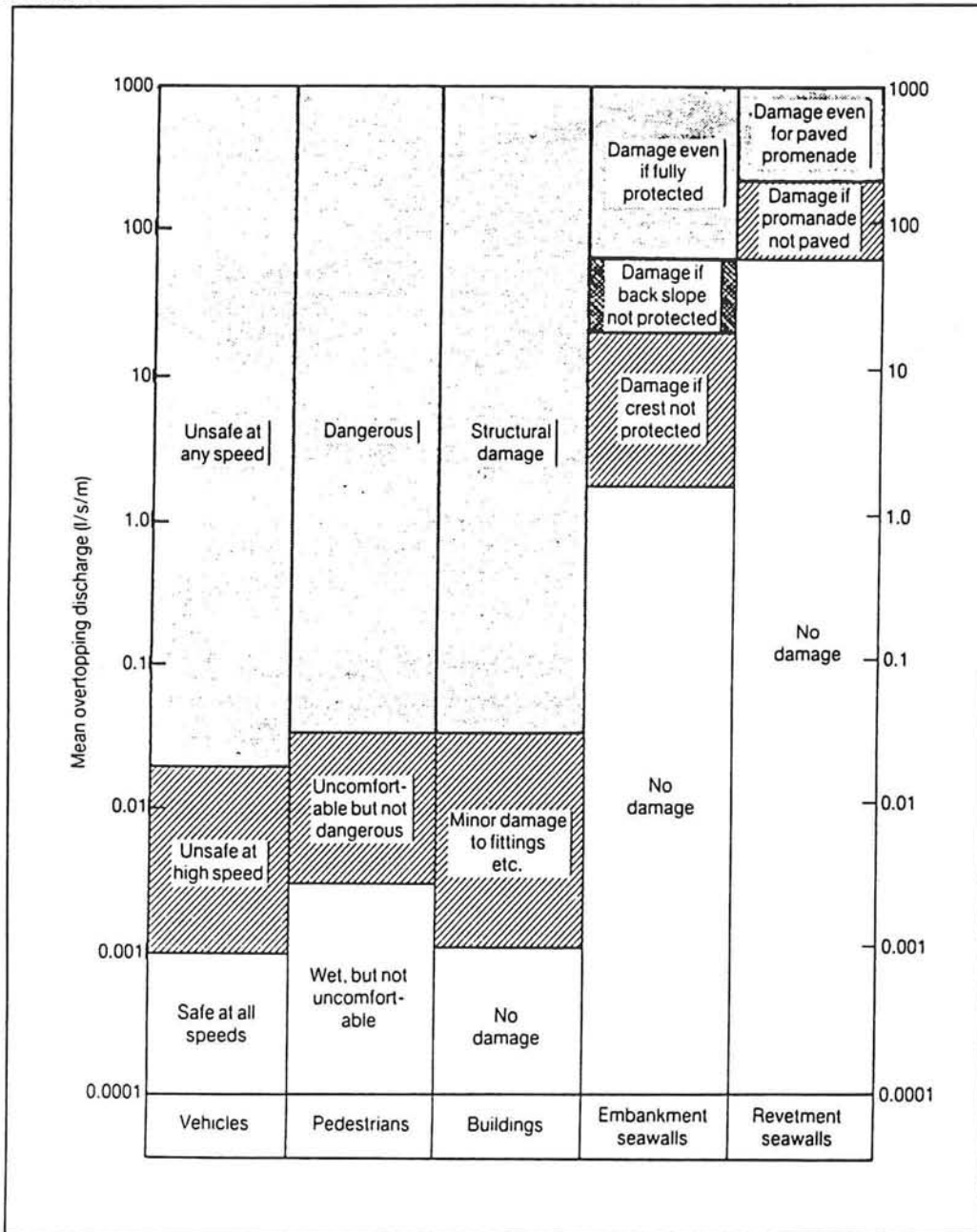
$$R_m^* = R_c / H_s * \sqrt{s_{om}/2 \cdot \pi} \quad [6.2]$$

De coëfficiënten van a en b zijn voor een taludhoek 1:1.33:

$$a = 0.01065$$

$$b = 20.12$$

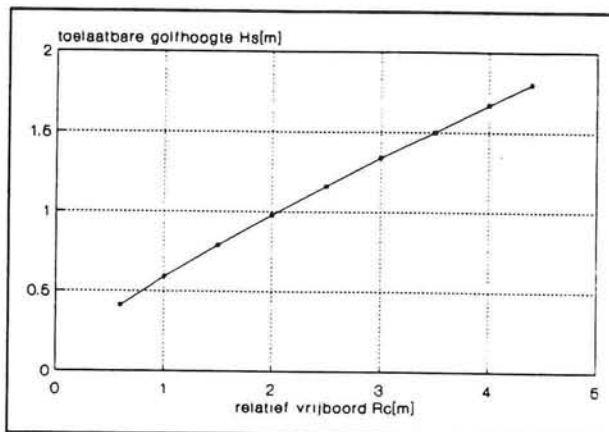
Figuur 6.17 geeft een orde van grootte aan van het maximaal toelaatbare overslag debiet. Op basis van deze tabel wordt aangenomen dat bij een overslag debiet groter dan 0,01 l/s/m er niet gewerkt kan worden vanaf de constructie.



Figuur 6.17: Golfoverslag debiet (Bron: CUR 154)

In bijlage 6.2 is een verdelingsfunctie voor de golfsteilheid bepaald. Hieruit volgt dat vijftig procent van de golven een steilheid $s_{op}=0,59247\%$ niet overschrijden.

Door de golfsteilheid constant te houden kan voor verschillende hoogten waarop het materieel staat de maximaal toelaatbare golfhoogte worden berekend. In figuur 6.18 is de toelaatbare golfhoogte als functie van de relatieve kruinhoogte gegeven, waarbij een overslag debiet van 0.01 l/s/m optreedt.



Figuur 6.18: Toelaatbare golfhoogte bij verschillende relatieve kruinhoogten

De verdelingsfunctie van de totale golfhoogte kan per periode geschat worden uit een data-set die berekend is uit de marginale verdelingen voor deinings- en windgolven.

De resulterende golfhoogte wordt bepaald door:

$$H_{s, \text{ totaal}} = \sqrt{H_{s, \text{ deining}}^2 + H_{s, \text{ wind}}^2} \quad [6.3]$$

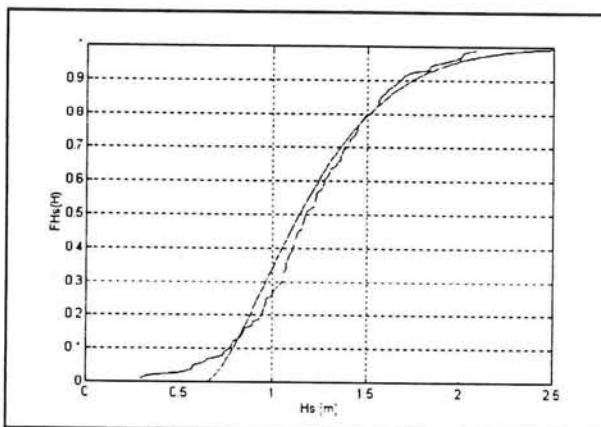
Voor de periode maart-april is op basis van de 100 trekkingen die in §6.3.2 gebruikt zijn om de scheepsbewegingen te bepalen een Weibull verdeling voor de totale golfhoogte gefit (zie figuur 6.19).

$$F_{H_s}(H) = 1 - \exp\left(-\frac{H-0.645}{0.632}\right)^{1.5} \quad [6.4]$$

voor $H > 0.645$

gem H_s : 1.2094 m
 std H_s : 0.3614 m
 max H_s : 2.0851 m
 min H_s : 0.2959 m

In bijlage 6.8 zijn de verdelingsfuncties van de totale golfhoogten per periode weergegeven.



Figuur 6.19: Verdeling van significante golfhoogte in maart-april

Nu kan voor verschillende waarden van de relatieve kruinhoogte de werkbaarheid in de periode maart-april worden bepaald aan de hand van de verdelingsfuncties van de golfhoogten. Het resultaat hiervan is in tabel 6.11 weergegeven.

relatieve kruinhoogte [m]	maximaal toelaatbare golfhoogte Hs [m]	werkbaarheid maart-april [%]	werkbaarheid mei-september [%]	werkbaarheid oktober-november [%]	werkbaarheid december-februari [%]
0.6	0.41	-	-	-	-
1.0	0.59	-	-	-	0.2
1.5	0.79	10.4	-	-	20.9
2.0	0.98	31.4	-	8.2	46.1
2.5	1.16	51.0	-	27.1	66.0
3.0	1.34	67.2	0.7	46.6	80.2
3.5	1.50	78.1	8.3	61.7	88.5
4.0	1.67	86.4	19.7	74.3	93.8
4.4	1.80	90.8	29.2	81.7	96.3

Tabel 6.11: Werkbaarheid voor land materieel per periode als functie van de relatieve kruinhoogte

6.3 Risico van schade aan de golfbreker tijdens de bouw

6.3.1 Probabilistische sterkteberekeningen

De kans dat er schade optreedt aan de golfbreker als gevolg van een storm kan worden berekend met behulp van probabilistische sterkteberekeningen. Bij deze methode wordt in de ontwerpformules die gebruikt worden om de stabiliteit van de golfbreker te bepalen, voor elke variabele de kansverdeling ingevoerd in plaats van een deterministische waarde. Veel variabelen in de ontwerpformules zijn niet exact bekend. Door het toepassen van een probabilistische rekenmethode kunnen de onzekerheden mee worden genomen op een theoretisch correcte manier.

Voor een probabilistische berekening worden de ontwerpformules geschreven als een betrouwbaarheidsfunctie. De betrouwbaarheidsfunctie heeft de volgende basis vorm:

$$Z = R - S \quad [6.5]$$

waarin:

R	sterkte
S	belasting

Door het definiëren van deze Z-functie kan nu een veilig gebied, een onveilig gebied en de daartussen liggende bezwijkgrens worden weergegeven.

Er geldt, zie ook figuur 6.20:

$Z > 0$, veilig gebied
 $Z = 0$, bezwijkgrens
 $Z < 0$, onveilig gebied

Bij probabilistische sterkte berekeningen wordt het punt op de bezwijkgrens gezocht met de hoogste kansdichtheid, het ontwerppunt.

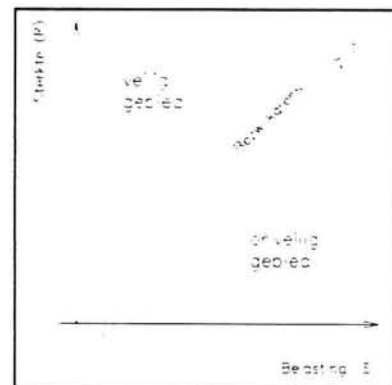
Om het risico van falen tijdens de bouw te berekenen is in dit rapport gebruik gemaakt van een 'Approximate Full Distribution Approach (AFDA)', ofwel een verfijnde niveau-II benadering.

Bij deze methode wordt de faalkans berekend door de Z functie te lineariëren rond het punt van de bezwijkgrens met de hoogste kansdichtheid.

Voor de diverse stadia van de bouw gelden verschillende stabiliteitsformules. Hierbij zijn drie situaties te onderscheiden:

1. De golfbreker bevindt zich nog geheel onder water, in dit geval wordt gesproken van een 'sub-merged breakwater'.
2. Stortsteen steekt voor een deel boven het water uit, maar de golfbreker heeft nog niet de uiteindelijke hoogte bereikt, waardoor veel golfoverslag optreedt bij een storm. Hier wordt gesproken van een 'low-crested breakwater'.
3. De constructie is klaar. Voor het statisch stabiele ontwerp wordt een ontwerpformule voor tetrapods gebruikt, voor de bermgolfbreker kan het vervormde profiel worden berekend.

In de eerste twee stadia gelden voor de conventionele en de bermgolfbreker dezelfde stabiliteitsformules. Dit komt doordat voor beide ontwerpen de constructies in dit stadium statisch stabiel moeten zijn. Bij de bermgolf-



Figuur 6.20: Veilig, onveilig gebied en bezwijkgrens

breker mag het uitgezakte profiel pas ontstaan nadat de buitenste laag volledig is aangebracht, anders ontstaat een oncontroleerbaar dwarsprofiel.

Schade aan de golfbrekers wordt in de ontwerpformules gekarakteriseerd door een schadegetal S (Van der Meer, 1993). Het schadegetal is gedefinieerd door:

$$S = \frac{A_e}{D_{n50}^2} \quad [6.6]$$

Waarin:

A_e	oppervlak geërodeerd gebied	[m ²]
D_{n50}	nominale steen diameter	[m]

Voor filterlagen wordt vaak een schadegetal S=2 gekarakteriseerd als de start van schade, afhankelijk van de taludhoek treedt bezwijken op bij een schadegetal van S=12-17.

Deze definitie geldt voor een filterlaag met een dikte van tweemaal de nominale steendiameter. Bezwijken is gedefinieerd als het ontstaan van een gat in deze filterlaag.

Wanneer niet de schade aan een filterlaag, maar aan een dikkere laag wordt berekend kan het schadegetal S grotere waarden aannemen.

De ontwerpformules en betrouwbaarheidsfuncties voor het eerste en tweede stadium worden in §6.3.2 en §6.3.3 gegeven.

6.3.2 Betrouwbaarheidsfunctie voor sub-merged breakwater

Zolang de in aanbouw zijnde golfbreker nog niet boven de waterspiegel uitkomt kan de golfbreker worden beschouwd als een zogenaamde 'submerged breakwater'. De stabiliteit van de golfbreker is dan afhankelijk van de relatieve kruinhoogte, het schadeniveau en het zogenaamde spectrale stabiliteitsgetal.

Een analyse van proeven uitgevoerd door Givler en Sørensen leidde tot de volgende stabiliteitsformule (Van der Meer, 1992):

$$\frac{h'_c}{h} = (2.1 + 0.1 * S) * e^{(-0.14 * N_s^*)} \quad [6.7]$$

Waarin:

h'_c	constructiehoogte boven de bodem	[m]
h	waterdiepte	[m]
N_s^*	spectrale stabiliteitsgetal, gedefinieerd als: $N_s^* = N_s * s_p^{(-1/3)} = H_s / (\Delta * D_{n50}) * s_p^{(-1/3)}$	

Uit de stabiliteitsformule 6.7 is de volgende betrouwbaarheidsfunctie af te leiden:

$$Z = \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) * D_{n50} - \frac{-0.14 * H_s}{\sqrt[3]{S_p} * \ln \left(\frac{h'_c/h}{2.1 + 0.1 * S} \right)} \quad [6.8]$$

6.3.3 Betrouwbaarheidsfunctie voor low-crested breakwater

Als de golfbreker boven water uitsteekt, gelden andere stabiliteitsformules. Door Van der Meer (1993) zijn twee formules ontwikkeld, een voor overstortende golven ('plunging waves') en een voor deinende golven ('surging waves').

Voor overstortende golven geldt:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \quad [6.9]$$

Voor deinende golven geldt:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P \quad [6.10]$$

Waarin:

P	Porositeitsparameter	[-]
	P=0.4 weinig doorlatende bekleding	
	P=0.6 goed doorlatende bekleding	
N	Aantal golven tijdens ontwerpstorm	[-]
α	Taludhoek	[°]
ξ_m	Surf similarity parameter: $\tan(\alpha)/\sqrt{s_m}$	[-]

De overgang tussen plunging en surging waves kan berekend worden door de kritische waarde van de brekerparameter ξ_{mc} te berekenen volgens:

$$\xi_{mc} = [6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha}]^{\frac{1}{P+0.5}} \quad [6.11]$$

Als ξ_m kleiner is dan ξ_{mc} is sprake van overstortende golven, anders van deinende golven.

Deze formules zijn opgesteld voor een taludverdediging waar geen of weinig golfoverslag optreedt. In die situatie gaat er geen energie uit de golven over de constructie heen.

Als de constructie, nog niet zover boven het water uitkomt, zullen de golven nog wel voor een deel over de constructie heen slaan, waardoor een deel van de golfenergie over de constructie heen slaat.

Voor deze situatie kunnen toch de formules 6.9 en 6.10 worden gebruikt wanneer een reductie op de steen diameter toegepast wordt volgens (Van der Meer 1993):

$$D_{n50} = \frac{1}{1.25 - 4.8 R_p^*} \quad \text{voor } 0 < R_p^* < 0.052 \quad [6.12]$$

$$\text{met: } R_p^* = \frac{R_c}{H_s} \sqrt{\frac{S_p}{2\pi}}$$

Hieruit kan een betrouwbaarheidsfunctie worden afgeleid voor plunging en surging waves. Als R_p^* buiten het definitie gebied ligt, wordt geen reductie toegepast.

De betrouwbaarheidsfunctie voor overstortende golven is, voor $0 < R_p^{\dagger} < 0.052$:

$$Z = \Delta \left(1.25 - 4.8 \left(\frac{R_c}{H_s} \sqrt{\frac{S_p}{2\pi}} \right) \right) D_n - \frac{H_s \sqrt{\xi_m}}{6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2}} \quad [6.13]$$

De betrouwbaarheidsfunctie voor deinende golven is, voor $0 < R_p^{\dagger} < 0.052$:

$$Z = \Delta \left(1.25 - 4.8 \left(\frac{R_c}{H_s} \sqrt{\frac{S_p}{2\pi}} \right) \right) D_n - \frac{H_s P^{0.13}}{1.0 \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^p} \quad [6.14]$$

In bijlage 6.9 is voor de twee golfbrekerontwerpen aan de hand van formule 6.8 voor 'sub-merged breakwaters' en formules 6.13 en 6.14 voor 'low-crested breakwaters' de faalkans in verschillende stadia van de bouw berekend.

6.3.4 Rekenresultaten van de faalkans berekeningen

Hiervoor zijn met behulp van empirisch bepaalde stabiliteitsrelaties de faalkansen berekend in verschillende bouwstadia. Bij het maken van de begrotingen in hoofdstuk 9 zullen deze faalkansen gebruikt worden om het risico van schade tijdens de bouw in te kunnen schatten.

Bij de rekenresultaten moet echter een kritische kanttekening gemaakt worden. De formule voor de 'submerged breakwater' geeft hogere faalkansen voor het conventionele golfbrekerontwerp in situatie 2, dan de formule voor de 'low-crested breakwater' in situatie 4 uit bijlage 6.9 (beide met een zelfde steendiameter).

Dit komt niet overeen met de werkelijkheid. In situatie 4, waar de constructie belast wordt op de waterlijn zal de schade groter zijn dan in situatie 2.

De oorzaak hiervan is direct terug te leiden naar de ontwerpformules, die in dit geval een onlogisch resultaat opleveren.

Omdat de schadekansen in hoofdstuk 9 meer als orde van grootte dienen om inzicht te krijgen in de kosten die falen tijdens de bouw met zich meebrengt zijn de resultaten in dit geval toch bruikbaar.



7. Uitvoeringsmethoden

In dit hoofdstuk worden verschillende uitvoeringsmethoden, voor het bouwen van de golfbrekers, uitgewerkt. Per uitvoeringsmethode wordt een schatting van de produktie en de bijbehorende kosten gemaakt.

Voor het bouwen van een golfbreker kan de totale transportketen van het bouw materiaal opgesplitst worden in vijf onderdelen, namelijk:

1. Laden vanuit opslag in de groeve.
2. Transport naar de haven.
3. Lossen in de haven.
4. Transport naar de golfbreker.
5. Lossen bij de golfbreker.

De groeve 'New Galle Quarry' waarvan de opbrengst curven in paragraaf 4.4.2 gegeven zijn, ligt op 5 km afstand van de oorspronkelijke haven van Galle. De methode waarop materiaal in deze groeve wordt gewonnen wordt buiten beschouwing gelaten. Voor de breuksteen uit de groeve wordt gerekend met een eenheidsprijs waarvoor het materiaal gesorteerd in de groeve wordt geleverd.

De groeve is per schip niet bereikbaar, daarom worden voor het transport van het materiaal vrachtauto's gebruikt. Het overslaan van het materiaal in de haven is afhankelijk van het materieel dat gebruikt wordt voor de bouw van de golfbreker. Hiervoor zijn verschillende alternatieven mogelijk die hierna worden besproken.

In verticale zin kan men de golfbreker, op basis van verschillende materiële typen, die gebruikt kunnen worden voor uitvoering, verdelen in twee zones.

Ten eerste het gedeelte onderwater dat, wat betreft de stortsteen onderdelen, vanaf een schip kan worden gestort. De bovenkant van dit gebied wordt begrensd door de diepgang van de stortschepen plus een veiligheidsmarge (kielspeling) in verband met deining, stort onnauwkeurigheid etc. In de praktijk ligt deze grens meestal ongeveer 4 m onder de waterspiegel.

Door de laatste ladingen bij hoogwater te storten wordt optimaal gebruik gemaakt van de voordelen van het storten met drijvend materieel, namelijk een hoge werksnelheid en relatief lage kosten per ton ten opzichte van het gedeelte boven water.

Wanneer het niet meer mogelijk is om met schepen boven de in aanbouw zijnde golfbreker te varen kan gestort worden met behulp van een drijvende kraan. Als een gedeelte van de golfbreker ruim boven HHW uitkomt kan, indien de kruin breed genoeg is en het rotsmateriaal niet te grof is, land materieel op de kruin geplaatst worden.

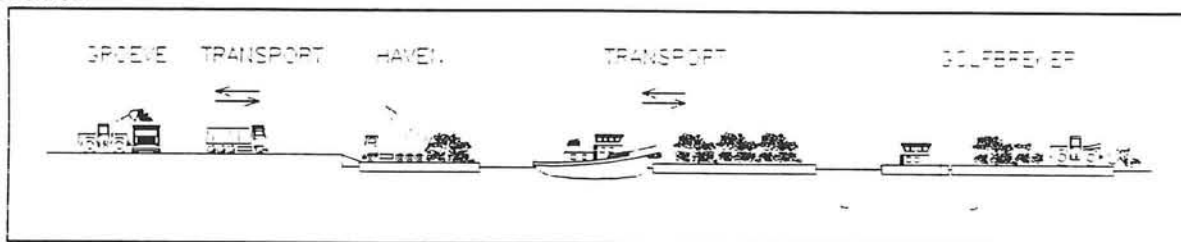
Voor het onderwatergedeelte kan gebruik worden gemaakt van splijtbakken, zijlossers of pontons. Voor het gedeelte dat niet direct vanaf een schip gestort kan worden moet een kraan worden gebruikt om de rots te storten. Omdat een drijvende kraan ongeveer tweemaal zo duur is als een kraan die op de golfbreker staat en de werkbaarheid voor een drijvende kraan lager zal zijn dan voor een landkraan wordt een landkraan toegepast.

Mogelijke produktie cycli voor deze uitvoeringsmethoden worden hierna uitgewerkt. Verschillende uitvoeringsmethoden, waarden voor produkties en

kosten van materieel, die opgenomen zijn in dit hoofdstuk en in de bijlagen, zijn verkregen tijdens gesprekken met R. van den Hoeven, P. van der Sloot (Boskalis Zinkcon), W.H. Tutuarima (Boskalis Zinkcon/TUD) en R.J. De Heer (IHE/TUD).

7.1 Storten breuksteen met een ponton

Bij deze uitvoeringsmethode rijden de vrachtwagens die uit de groeve komen in de haven op een ponton. Om het ponton te laden wordt een brug gemaakt tussen de kade en het daarvoor liggende ponton. De vrachtwagens uit de groeve kunnen dan op het ponton rijden om daar hun lading op het dek te kiepen. Om te voorkomen dat schade ontstaat aan het dek door de vallende stenen, wordt het dek van het ponton beschermd door een laag hout of asfalt.



Figuur 7.1: Storten met een ponton

Het geladen ponton wordt met behulp van een sleepboot naar de golfbreker gevaren waar het wordt afgemeerd aan een positioneringsponton, dat gepositioneerd kan worden met zes ankerdraden. Met behulp van plaatsbepalingsapparatuur kan het positioneringsponton het ponton met breuksteen op de stortlocatie afmeren. Wanneer het ponton op de juiste plaats ligt wordt de lading met behulp van shovels overboord geduwd.

De totale cyclustijd wordt bepaald door het duurste materieel, in dit geval het ponton. Het lossen van de lading door de shovels op de juiste positie is maatgevend voor de totale cyclus. Aangenomen wordt een lossnelheid van 350 ton/uur, door twee shovels die elk 175 ton/uur lossen.

In bijlage 7.1 is de totale produktie cyclus voor deze uitvoeringsmethode weergegeven. Hieruit volgt een bruto produktie van 162,5 ton/uur. In dit hoofdstuk wordt met bruto produktie de produktie zonder enig verlet gerekend. Per periode is in dezelfde bijlage het aantal onwerkbare dagen berekend, uitgaande van de berekende weerverletten in hoofdstuk 6 en een aanname van 25% technische verletten. Hieruit is de netto produktie (inclusief verletten) per periode berekend. In bijlage 7.2 zijn materieelkosten opgenomen. Voor de prijzen is een reële, een lage en een hoge schatting gegeven. In dit hoofdstuk wordt het bedrag van de reële schatting gebruikt.

Om het ponton met 350 ton/uur te kunnen laden zijn in de groeve 2 shovels nodig en 11 vrachtwagens om het materiaal naar de haven te transporteren. Wanneer twee pontons gebruikt worden, wordt voorkomen dat een deel van het materieel langdurig stil komt te liggen (de kraan, als het ponton in de haven ligt, of de vrachtwagens, als het ponton bij de golfbreker ligt). Bij gebruik van twee pontons wordt de totale bruto produktie twee maal zo groot, namelijk $2 * 162 = 324$ ton/uur.

Voor de twee pontons worden twee sleepboten ingezet, waarvan er steeds maar een actief is. Echter het inzetten van 1 sleepboot heeft als nadeel dat een storing in de sleepboot de totale cyclus stillegt.

Een derde boot is nodig om de ankers van het positioneringsponton te kunnen verzetten. Omdat geen kostengegevens over een dergelijk schip bekend zijn wordt aangenomen dat de kosten gelijk zijn aan die van een sleepboot.

Voor reserve onderdelen wordt een extra vrachtwagen en shovel gebruikt.

De materieel-inzet voor de uitvoeringsmethode 'storten breuksteen met ponton' is weergegeven in tabel 7.1.

materieel	aantal	kosten f/wk	totaal f/wk
- shovel	5	11.805	59.025,00
- vrachtwagen	12	12.810	153.720,00
- ponton	2	27.272	54.544,00
- positioneringsponton	1	29.196	29.196,00
- sleepboot	2	51.407	102.814,00
- boot om ankers ponton te verzetten	1	51.407	51.407,00
TOTAAL			450.706,00

Tabel 7.1: kosten materieel 'storten breuksteen met ponton'

Bij inzet van twee pontons wordt de bruto produktie per week 54.583 ton. Per periode kunnen nu de netto produkties en de netto kosten worden uitgerekend, een overzicht hiervan is gegeven in tabel 7.2. Bij benadering zijn de materieelkosten bij verlet gehalveerd ten opzicht van de draaikosten.

periode	bruto produktie (ton/wk)	onwerkbare dagen (dagen)	netto produktie (ton/wk)	draai kosten (f/wk)	verlet kosten (f/wk)	TOTALE KOSTEN	
						(f/wk)	(f/ton)
okt-nov	54.583	24	33.186	450.706	225.353	362.368	10,91
dec-feb	54.583	23	40.937	450.706	225.353	394.368	9,63
mrt-apr	54.583	21	36.024	450.706	225.353	374.085	10,38

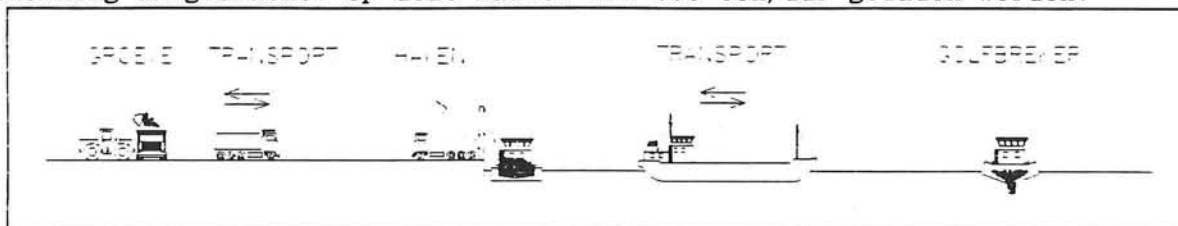
Tabel 7.2: netto produkties en kosten per periode 'storten breuksteen met ponton'

Deze methode kan gebruikt worden voor het storten van de volgende fracties:

- kernmateriaal statisch stabiele golfbreker (100 - 500 kg)
- kernmateriaal bermgolfbreker (5 - 300 kg)
- buitenlaag bermgolfbreker (300 - 8000 kg)

7.2 Storten breuksteen met een splijtbak

Een alternatief voor het storten vanaf een ponton is het storten met splijtbakken. Voor het laden van splijtbakken kunnen de vrachtwagens met breuksteen niet het schip op rijden om te dumpen. Daarom wordt vaak gebruik gemaakt van een soort trechter-constructie waar de vrachtwagens in lossen. Door de splijtbak onder de trechter te varen kan het beun worden geladen. Om beschadigingen aan het schip te voorkomen worden de stenen met behulp van kettingen afgeremd in de trechter en op het schip wordt een beunbescherming aangebracht. Op deze manier kan 600 ton/uur geladen worden.



Figuur 7.2: Storten met een splijtbak

Nadat de splijtbak geladen is vaart het schip op eigen kracht naar de golfbreker waar de lading gelost wordt door het beun te openen.

In bijlage 7.1 is de productie cyclus en het aantal onwerkbaar dagen per periode weergegeven. Hierbij wordt opgemerkt dat in de perioden oktober-november en maart-april de werkbaarheid van de splijtbak erg laag is, namelijk 18,7% en 37,9%. In de meest werkbaar periode, december-februari, is de werkbaarheid 60,5%. De lage werkbaarheid is vooral te wijten aan de geringe breedte (10 m) van het stortschip waarmee gerekend is in hoofdstuk 6. Wanneer een grotere splijtbak gebruikt zou worden zal de werkbaarheid aanzienlijk verbeterd worden.

Als een splijtbak wordt gebruikt kunnen de vrachtauto's gedurende de hele cyclus geladen worden. Om 1000 ton/uur in 2,86 uur te kunnen laden moeten 19 vrachtauto's en 3 shovels worden ingezet. Voor reserve onderdelen wordt een extra shovel en een extra vrachtwagen gebruikt.

De totale hoeveelheid benodigd materieel voor deze uitvoeringsmethode is weergegeven in tabel 7.3.

materieel	aantal	kosten f/wk	totaal f/wk
- shovel	3	11.805	35.415,00
- vrachtwagen	20	12.810	256.200,00
- splijtbak	1	46.209	46.209,00
TOTAAL			337.824,00

Tabel 7.3: Kosten materieel 'storten breuksteen met splijtbak'

In tabel 7.4 is een overzicht van de netto produkties en netto kosten per periode gegeven voor deze uitvoeringsmethode.

periode	bruto produktie (ton/wk)	onwerkbare dagen (dagen)	netto produktie (ton/wk)	draai kosten (f/wk)	verlet kosten (f/wk)	TOTALE KOSTEN	
						(f/wk)	(f/ton)
okt-nov	58.741	50	10.985	337.824	168.912	200.499	18,25
dec-feb	58.741	36	35.538	337.824	168.912	271.104	7,63
mrt-apr	58.741	38	22.262	337.824	168.912	232.930	10,46

Tabel 7.4: Netto produkties en kosten per periode 'storten breuksteen met splijtbak'

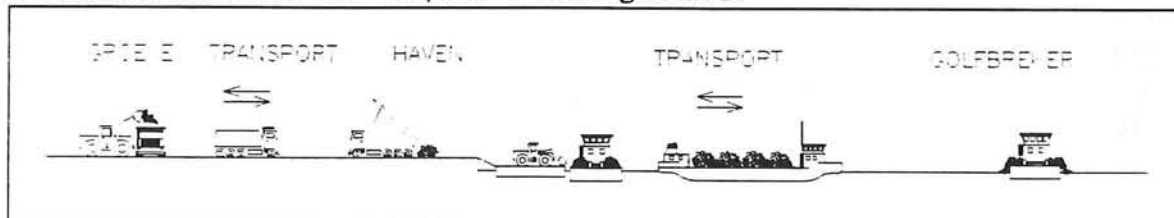
Een splijtbak kan alleen gebruikt worden voor het storten van de fijne fracties. Bij grof materiaal zal het lossen, wanneer de beunopening kleiner is dan 2-3 maal de steendiameter, problemen geven doordat boogwerking op kan treden waardoor het materiaal voor de opening vast blijft zitten. Deze uitvoeringsmethode kan daarom gebruikt worden voor de volgende onderdelen:

- kernmateriaal statisch stabiele golfbreker (100 - 500 kg)
- kernmateriaal bermgolfbreker (5 - 300 kg)

7.3 Storten breuksteen met een zijlosser

Om onderwater nauwkeurig te kunnen storten kan gebruik worden gemaakt van een zijlosser. Het laden van een zijlosser kan gebeuren met een shovel. Om de shovel op dezelfde hoogte als het stortdek van de zijlosser te brengen kan een laad-ponton worden gebruikt. Bij deze laadmethode wordt de zijlosser aan één kant tegelijk geladen.

De vrachtwagens uit de groeve storten het materiaal in een tussenopslagplaats in de haven. Wanneer de zijlosser met 2 shovels geladen wordt kan een laadsnelheid van 400 ton/uur worden gehaald.



Figuur 7.3: Storten met een zijlosser

De capaciteit van de shovels in de groeve wordt lager verondersteld (meer rij-tijd) dan de capaciteit in de haven. Hierdoor zijn voor het laden van de vrachtwagens in de groeve 3 shovels nodig, in de haven zijn 2 shovels nodig. Om een transport capaciteit van 400 ton/uur te halen zijn 13 vrachtwagens nodig. Nadat de zijlosser geladen is kan deze op eigen kracht naar de golfbreker varen, waar de lading verhalend gestort wordt.

Ook bij deze uitvoeringsmethode worden voor reserve onderdelen een extra vrachtwagen en shovel gebruikt. De totale materieel inzet is weergegeven in tabel 7.5.

materieel	aantal	kosten f/wk	totaal f/wk
- shovel	6	11.805	70.830,00
- vrachtwagen	14	12.810	179.340,00
- laad ponton	1	3.304	3.304,00
- zijlosser	1	126.081	126.081,00
TOTAAL			379.555,00

Tabel 7.5: Kosten materieel 'storten breuksteen met zijlosser'

In tabel 7.6 is een overzicht van de netto produkties en netto kosten per periode gegeven voor deze uitvoeringsmethode.

periode	bruto produktie (ton/wk)	onwerkbaar dagen (dagen)	netto produktie (ton/wk)	draai kosten (f/wk)	verlet kosten (f/wk)	TOTALE KOSTEN	
						(f/wk)	(f/ton)
okt-nov	45.143	41	14.671	379.555	189.777	251.455	17,14
dec-feb	45.143	28	31.149	379.555	189.777	320.212	10,28
mrt-apr	45.143	30	23.023	379.555	189.777	286.564	12,45

Tabel 7.6: Netto produkties en kosten per periode 'storten breuksteen met zijlosser'

Door de nauwkeurigheid waarmee gestort kan worden is deze uitvoeringsmethode geschikt voor zowel het storten van kernmateriaal als filterlagen onderwater. Ook grote stenen (> 2000 kg) kunnen met een zijlosser gestort worden. Bij zware stenen is het wel noodzakelijk dat de stenen maar één laag dik op het dek worden gelegd, omdat een vallende steen anders, tijdens het transport of het lossen, het dek zou kunnen beschadigen.

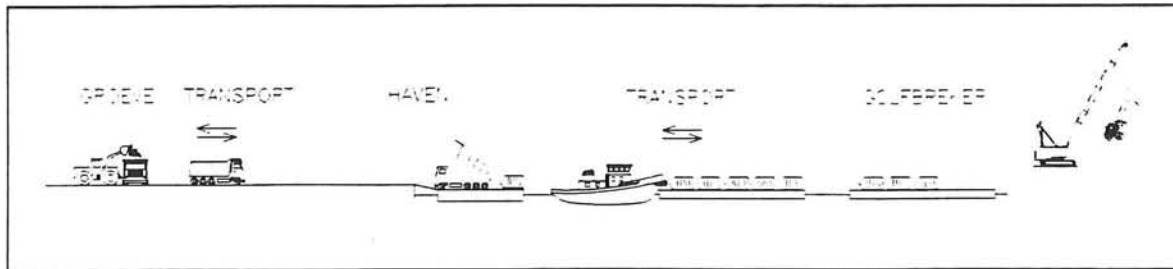
Deze uitvoeringsmethode is te gebruiken voor de fracties:

- kernmateriaal statisch stabiele golfbreker (100 - 500 kg)
- filterlaag statisch stabiele golfbreker (500 - 1500 kg)
- filterlaag statisch stabiele golfbreker (1500 - 4000 kg)
- kernmateriaal bermgolfbreker (5 - 300 kg)
- buitenlaag bermgolfbreker (300 - 8000 kg)

7.4 Storten breuksteen met een kraan

Het deel van de constructie hoger dan ongeveer 4m boven de waterspiegel kan met een kraan worden aangebracht. Breuksteen tot ongeveer 3 ton kan uit vrachtwagens in open containers worden geladen, die op een ponton in de haven staan. Wanneer het ponton naar de golfbreker is geduwd kan de kraan op de golfbreker de containers oppakken en lossen op de juiste plek.

Voor stenen groter dan 2-3 ton wordt een poliep-bak gebruikt, waarmee de stenen een voor een op het dek van het ponton gezet kunnen worden. De kraan op de golfbreker zal deze stenen op een zelfde wijze oppakken en plaatsen in de constructie.



figuur 3.4: Storten breuksteen met een kraan

Het storten van de open containers zal een grotere productie capaciteit tot gevolg hebben dan het plaatsen van de grote stenen. In bijlage 7.1 is een gemiddelde productie geschat voor deze uitvoeringsmethode.

Voor de cyclustijd is het lossen van het ponton door de kraan maatgevend. Wanneer de kraan 50 cycli per uur draait met een gemiddelde van 4 ton/cyclus is de lossnelheid 200 ton/uur.

Om een gemiddelde laadsnelheid van 200 ton/uur te halen zijn 7 vrachtwagens voor het transport vanuit de groeve nodig en 2 shovels in de groeve. Ook hier wordt door het inzetten van twee pontons het langdurig stil liggen van materieel voorkomen. De maximale capaciteit van de kraan (200 ton/uur) is maatgevend voor de totale cyclus, de bruto productie wordt:

$$200 \text{ ton/uur} * 168 \text{ uur/wk} = 33.600 \text{ ton/wk}$$

Voor het duwen van de pontons worden twee sleepboten ingezet. Om reserve onderdelen voorhanden te hebben worden een extra vrachtwagen en shovel gebruikt.

In tabel 7.7 is het materieel dat nodig is voor deze uitvoeringsmethode opgesomd.

materieel	aantal	kosten f/wk	totaal f/wk
- shovel	3	11.805	35.415,00
- vrachtwagen	8	12.810	102.480,00
- ponton	2	27.272	54.544,00
- sleepboot	2	51.407	102.814,00
- landkraan	1	33.543	33.543,00
TOTAAL			328.796,00

Tabel 7.7: kosten materieel 'storten breuksteen met kraan'

In tabel 7.8 is een overzicht van de netto producties en netto kosten per periode gegeven voor deze uitvoeringsmethode.

periode	bruto productie (ton/wk)	onwerkbare dagen (dagen)	netto productie (ton/wk)	draai kosten (f/wk)	verlet kosten (f/wk)	TOTALE KOSTEN	
						(f/wk)	(f/ton)
okt-nov	33.600	24	20.597	328.796	164.385	265.152	12,87
dec-feb	33.600	25	24.259	328.796	164.385	283.090	11,67
mrt-apr	33.600	19	22.882	328.796	164.385	276.330	11,08

Tabel 7.8: netto producties en kosten per periode 'storten breuksteen met kraan'

Deze uitvoeringsmethode kan gebruikt worden voor alle breuksteen fracties boven water:

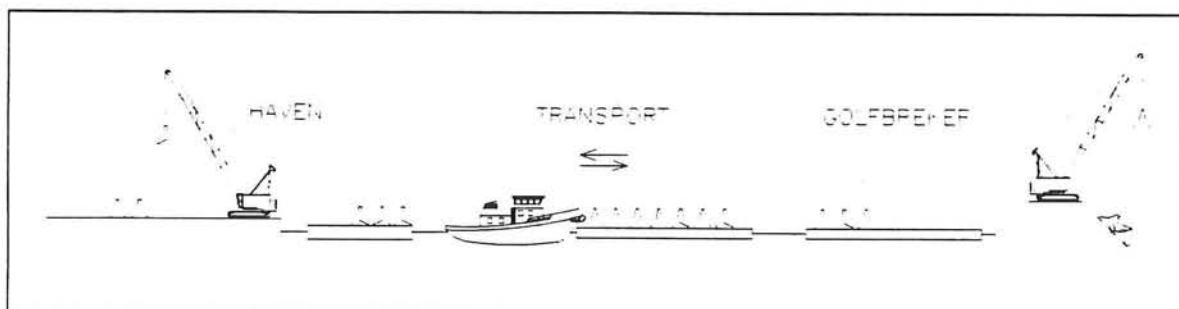
- kernmateriaal statisch stabiele golfbreker (100 - 500 kg)
- uitvullaag statisch stabiele golfbreker (50 - 100 mm)
- filterlaag statisch stabiele golfbreker (500 - 1500 kg)
- filterlaag statisch stabiele golfbreker (1500 - 4000 kg)
- filterlaag statisch stabiele golfbreker (4000 - 6000 kg)
- kernmateriaal bermgolfbreker (5 - 300 kg)
- buitenlaag bermgolfbreker (300 - 8000 kg)

7.5 Plaatsen van tetrapods en betonelementen met een kraan

Voor tetrapods en betonelementen van de kruinconstructie wordt een eenheidsprijs gebruikt van $f200/m^3$, hierbij is levering in de haven van de elementen inbegrepen.

De tetrapods en elementen worden met eenzelfde kraan als op de golfbreker aanwezig is geladen op een ponton. Met een sleepboot wordt dit ponton naar de golfbreker geduwd, waar het ponton gelost wordt met een kraan vanaf de golfbreker. In bijlage 7.1 is de cyclustijd voor het plaatsen van tetrapods berekend. De bruto produktie is 6,1 tetrapod/uur, bij de inzet van twee pontons is de kraan maatgevend en wordt de bruto produktie:

$$12 \text{ ttp/uur} * 168 \text{ uur/wk} = 2.016 \text{ ttp/wk}$$

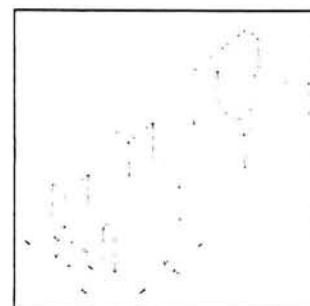


figuur 7.5: Plaatsen tetrapods met een kraan

Op de kruin van de statisch stabiele golfbreker bevindt zich een betonnen kruinelement. Omdat de werkbaarheid van de kraan drastisch naar beneden gaat als de kraan niet zo hoog mogelijk staat (zie hoofdstuk 6) is het belangrijk dat de kraan op het betonblok kan staan.

Wanneer alleen ter plaatse beton gestort wordt zal de voortgang van de kraan belemmerd worden door het uitharden van het beton. Om dit te voorkomen kunnen prefab H-vormige elementen op de kruin tegen elkaar worden geplaatst. De kraan kan dan direct verder werken, terwijl op een later tijdstip de ruimte tussen de elementen ter plaatse gestort kan worden waarbij de elementen als bekisting dienst doen.

Voor het plaatsen van de betonelementen wordt een zelfde produktiesnelheid aangenomen als voor de tetrapods.



figuur 7.6: Prefab H-vormige elementen

Voor deze uitvoeringsmethode zijn twee kranen nodig en 2 pontons met twee sleepboten. De kosten voor materieel van deze uitvoeringsmethode zijn weergegeven in tabel 7.9.

materieel	aantal	kosten f/wk	totaal f/wk
- ponton	2	27.272	54.544,00
- sleepboot	2	51.407	102.814,00
- landkraan	2	33.543	67.086,00
TOTAAL			224.444,00

Tabel 7.9: kosten materieel 'plaatsen van tetrapods en betonelementen met kraan'

De netto produktie en kosten per periode zijn weergegeven in tabel 7.10.

periode	bruto produktie (ttp/wk)	onwerkbare dagen (dagen)	netto produktie (ton/wk)	draai kosten (f/wk)	verlet kosten (f/wk)	TOTALE KOSTEN	
						(f/wk)	(f/ton)
okt-nov	2.016	24	1.256	224.444	112.222	181.014	146,47
dec-feb	2.016	25	1.479	224.444	112.222	193.246	132,76
mrt-apr	2.016	19	1.395	224.444	112.222	188.645	137,41

Tabel 7.10: netto produkties en kosten per periode 'plaatsen van tetrapods en betonelementen met kraan'

Deze uitvoeringsmethode kan dus gebruikt worden voor het plaatsen van tetrapods en betonnenkruinelementen van de statisch stabiele golfbreker.



8. Keuze van materieelinzet op basis van kosten

Aan het begin van hoofdstuk 6 is een optimaliseringsprobleem geformuleerd waarmee op basis van produktiesnelheid en bijbehorende kosten de meest optimale materieelinzet bepaald kan worden.

Om dit model toe te kunnen passen worden in dit hoofdstuk de te bouwen constructies opgesplitst in deelactiviteiten, waarna de werkvolgorde en de onderlinge verbanden vastgelegd worden in een netwerk. Vervolgens kan met behulp van de beschreven uitvoeringsmethoden uit hoofdstuk 6 worden bekeken welke methode de laagste totale kosten tot gevolg heeft.

8.1 Deelactiviteiten en werkvolgorde voor de golfbrekerontwerpen

Rekening houdend met de boven beschreven uitvoeringsmethoden zijn in de beide golfbreker ontwerpen verschillende deelactiviteiten te onderscheiden. Naast de deelactiviteiten die voortvloeien uit mogelijke uitvoeringsmethoden, worden nog per fractie deelactiviteiten onderscheiden.

Wat het onderwatergedeelte betreft zijn drie uitvoeringsmethoden beschreven. Met behulp van een zijlosser kan het onderwatergedeelte vrij nauwkeurig worden gestort ($\pm 1,5$ m). Splijtbakken en pontons kunnen minder nauwkeurig storten, maar zijn over het algemeen wel goedkoper.

In tabel 8.1 zijn de netto stortprijzen uit hoofdstuk 7 voor een ponton, een zijlosser en een splijtbak samengevat.

periode	storten met een zijlosser (f/m^3)	storten met een splijtbak (f/m^3)	storten met een ponton (f/m^3)
oktober-november	17,14	18,25	10,91
december-februari	10,28	7,63	9,63
maart-april	12,45	10,46	10,38

Tabel 8.1: Stortkosten voor zijlosser, splijtbak en ponton per periode

Door het extreme golfklimaat hebben de zijlosser en de splijtbak vooral in de periode oktober-november een zeer lage werkbaarheid, waardoor de kosten erg hoog worden. De periode december-februari geeft een beeld van de kosten in een meer normale werksituatie.

Om te kunnen profiteren van het relatief goedkope storten met een ponton of splijtbak, worden vaak eerst met een zijlosser een soort stortkaden gemaakt. Deze kaden worden aan de kant van het talud direct onder de juiste hoek gestort, terwijl aan de andere kant de hoek gelijk mag zijn aan de hoek van inwendige wrijving.

Achter deze kaden kan het materiaal dan in de zo gemaakte 'kuip' met een ponton of splijtbak worden gestort.

De hoogte van de stortkaden moet aan de ene kant zo klein mogelijk zijn, omdat dan zo min mogelijk materiaal wordt gestort met duurder materieel.

Aan de andere kant moet de hoeveelheid die per keer met de zijlosser gestort wordt voldoende groot zijn zodat deze zoveel mogelijk continu door kan werken met volle ladingen. Een in de praktijk gebruikte hoogte voor deze stortkaden is 4-6 m.

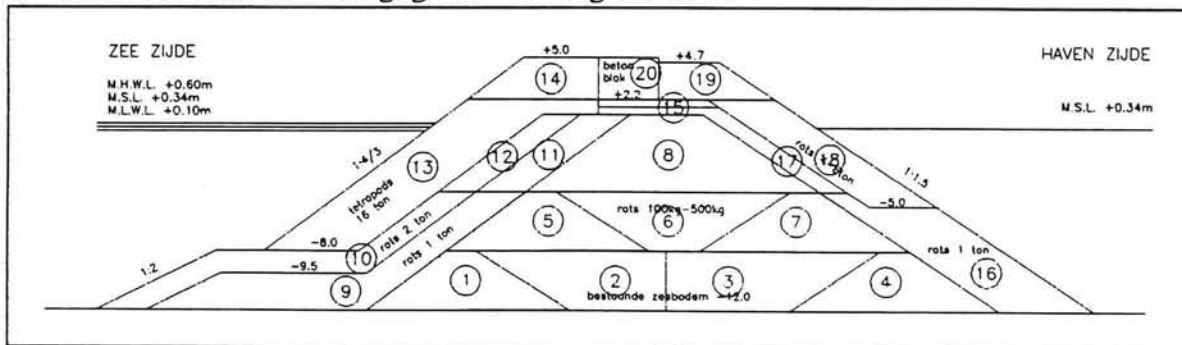
Voor het gedeelte boven water is de meest voor de hand liggende uitvoeringsmethode uitgewerkt, namelijk het gebruik van een kraan op de golfbre-

Voor het gedeelte boven water is de meest voor de hand liggende uitvoeringsmethode uitgewerkt, namelijk het gebruik van een kraan op de golfbreker. Een kraan kan ook gebruikt worden om een gedeelte onder water te storten, maar dit is vaak duurder dan het storten met schepen. Bovendien is de produktie van kranen lager dan de produktie van stortschepen.

Aan de hand van bovenstaande overwegingen worden hierna voor de beide golfbrekerontwerpen verschillende deelactiviteiten en een mogelijke werkvolgorde vastgelegd.

8.1.1 Deelactiviteiten en werkvolgorde voor de statisch stabiele golfbreker

Een verdeling van het dwarsprofiel van de statisch stabiele golfbreker in deel activiteiten is weergegeven in figuur 8.1.



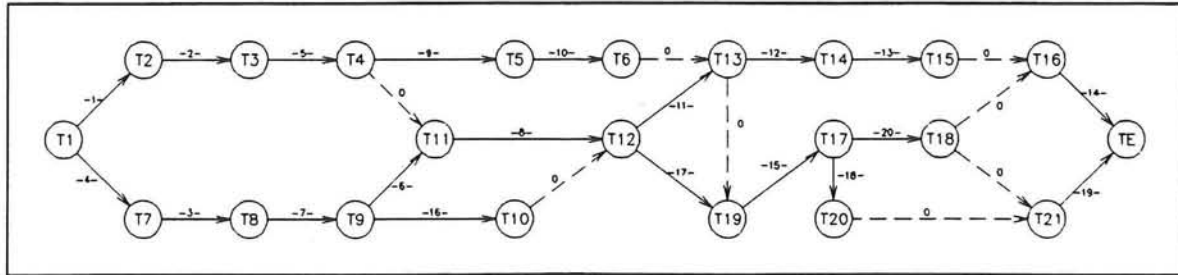
Figuur 8.1: Deelactiviteiten voor de statisch stabiele golfbreker

Aan de hand van deze indeling kan nu voor de verschillende onderdelen bepaald worden welk materieel geschikt is voor de uitvoering.

Voor activiteit 1,4,5,7,9,10 en 16 kan gekozen worden tussen een zijlosser, een ponton of een kraan. De tetrapods (activiteiten 13 en 14) moeten stuk voor stuk met een kraan geplaatst worden. Ook voor de overige activiteiten zal gebruik gemaakt moeten worden van een kraan.

Met behulp van de indeling in aparte activiteiten kan nu een minimale werkvolgorde worden opgesteld. Uitgangspunt hierbij is dat bijvoorbeeld een filterlaag niet gestort kan worden als de onderliggende kern nog niet is aangebracht. Of dit de meest optimale werkvolgorde is moet in een later stadium worden gecontroleerd.

De werkvolgorde van de verschillende activiteiten kan worden weergegeven in een gericht netwerk, waarin de pijlen de verschillende activiteiten weergeven en de knopen de verbindingspunten tussen opeenvolgende activiteiten. Dit netwerk, opgesteld voor de dwarsdoorsnede uit figuur 8.1, is in figuur 8.2 weergegeven.

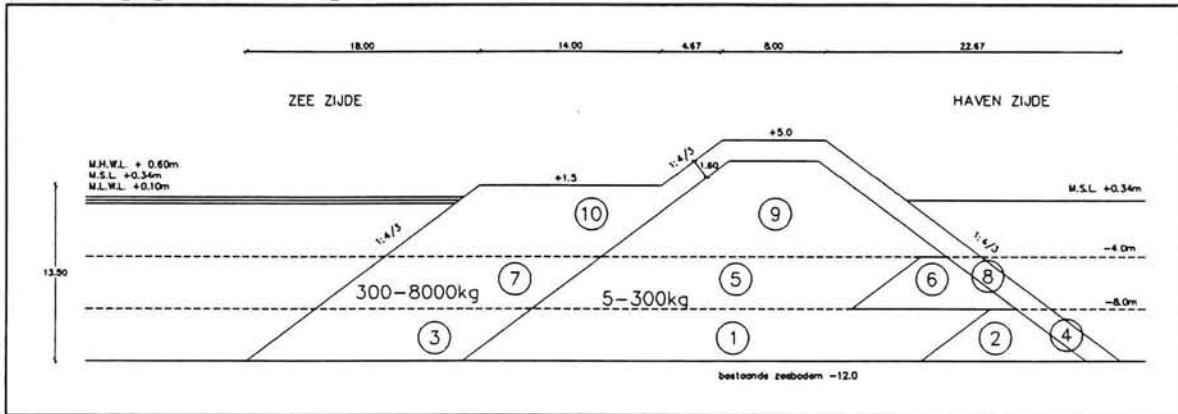


Figuur 8.2: Werkvolgorde voor de statisch stabiele golfbreker

In dit netwerk is tussen twee knopen waar geen activiteit plaats vindt, maar waartussen wel een 'finish-start'-relatie geldt een stippellijn getrokken met een tijdsduur 0.

8.1.2 Deelactiviteiten en werkvolgorde voor de bermgolfbreker

Analoog aan het statisch stabiele ontwerp kunnen deelactiviteiten voor de bermgolfbreker bepaald worden. De deelactiviteiten voor de bermgolfbreker zijn weergegeven in figuur 8.3.



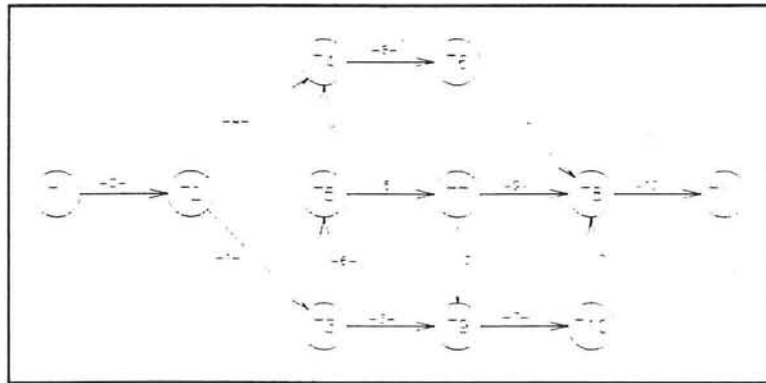
Figuur 8.3: Deelactiviteiten voor de bermgolfbreker

Bij de bermgolfbreker worden alleen aan de kant van de filterlaag aan de lij-zijde van de golfbreker 'stortkaden' gemaakt. Dit omdat aan de sterkst aangevallen kant van de golfbreker een veel dikkere laag voor de kern wordt gestort. De buitenste laag is vele malen groter dan twee maal de steendiameter die bij de filterlagen wordt toegepast, waardoor een minder nauwkeurig profiel geen nadelige gevolgen zal hebben voor de constructie. Het is dus mogelijk om hier een lagere stortnauwkeurigheid toe te laten.

De minimale werkvolgorde is weergegeven in het gerichte netwerk van figuur 8.4.

Direct valt op dat bij de bermgolfbreker veel minder deelactiviteiten zijn te onderscheiden dan bij het statisch stabiele ontwerp.

Het gevolg hiervan is dat bij de bermgolfbreker de aparte activiteiten groter van omvang zijn. Bovendien zal de uitvoering van de bermgolfbreker minder complex zijn door het kleinere aantal deelactiviteiten.



Figuur 8.4: Werkvolgorde voor de bermgolfbreker

8.2 Keuze van materieelinzet op basis van kosten

Nu de deelactiviteiten voor beide ontwerpen zijn vastgelegd kan per deelactiviteit worden bepaald welk materieel het best ingezet kan worden aan de hand van het optimaliseringsprobleem uit hoofdstuk 6. Hierin zijn de totale uitvoeringskosten geschreven als som van de directe kosten, kosten voor het risico van mogelijke schade aan de constructie tijdens de uitvoering en de indirecte kosten. Door deze functie te minimaliseren volgt per activiteit de materieelinzet waarbij de totale uitvoeringskosten zo klein mogelijk zijn.

Omdat de werkbaarheid over de verschillende perioden in het jaar verschilt, is het mogelijk dat per periode een andere oplossing wordt gevonden. Het ligt echter niet voor de hand om per periode ander materieel te mobiliseren waarmee een andere uitvoeringswijze kan worden toegepast.

Daarom wordt de materieelinzet bepaald voor de langste en meest werkbare periode: december-februari.

Directe kosten

Zoals in hoofdstuk 6 reeds vermeld kunnen voor het optimalisatiemodel de directe kosten worden opgevat als de materieelkosten die nodig zijn om een bepaalde activiteit uit te voeren.

De tijdsduur dat een materieelstuk nodig heeft voor het uitvoeren van een activiteit wordt bepaald door de omvang van die activiteit.

Voor het optimaliseren van de materieelinzet wordt de golfbreker opgedeeld over de lengte-as in secties van 45 m. Deze lengte volgt uit de grootte van het stortdek van de te gebruiken stortschepen. De zijlosser TAURUS heeft een stortdek van 45 m lengte. De minimale lengte van het werkfront ligt hiermee vast. Om de materieelinzet te bepalen wordt de te verwerken hoeveelheid materiaal uitgerekend over een sectie van 45 m.

Aan de hand van de produkties, werkbaarheid en kosten (zie tabel 8.2) kan nu, per activiteit, de benodigde tijdsduur en de benodigde kosten worden berekend. Deze kosten kunnen worden opgevat als de directe kosten uit het optimaliseringsprobleem.

uitvoeringsmethode	bruto productie	onwerk- bare dagen (dagen)	netto productie	draai kosten (f/wk)	verlet kosten (f/wk)	totale kosten (f/wk)	totale kosten
storten met ponton	54.583 t/wk	23	40.937 t/wk	450.706	225.353	394.368	9.63 f/t
storten met splijtbak	58.741 t/wk	36	35.538 t/wk	337.824	168.912	271.104	7.63 f/t
storten met zijlosser	45.143 t/wk	28	31.149 t/wk	379.555	189.777	320.212	10.28 f/t
storten met kraan	33.600 t/wk	25	24.259 t/wk	328.796	164.385	283.090	11.67 f/t
plaatsen tetrapods	2.016 stk/wk	25	1.479 stk/wk	224.444	112.222	193.246	132.76 f/stk
plaatsen kruin elem.	2.016 stk/wk	25	1.479 stk/wk	224.444	112.222	193.246	132.76 f/stk

Tabel 8.2: Netto produktie en kosten per uitvoeringsmethode, periode: december-februari

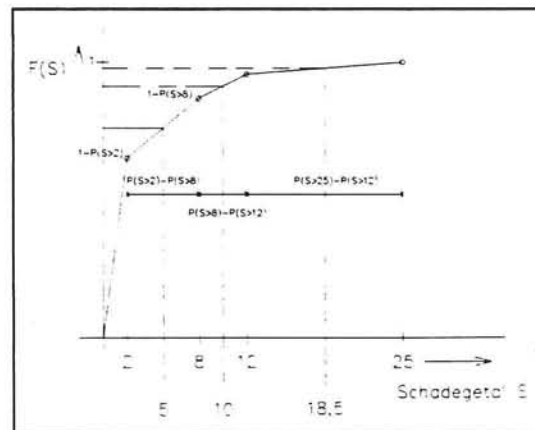
Risico

Het tweede deel van de te minimaliseren functie bestaat uit het risico van schade tijdens de bouw. In bijlage 6.9 is voor verschillende bouwstadia de kans op een bepaald schadeniveau berekend. Bij een schadeniveau kan de hoeveelheid verloren gegaan materiaal worden uitgerekend. Door een uitvoeringsmethode te kiezen om de reparatie uit te voeren kunnen ook de herstelkosten in rekening worden gebracht.

De kans op schade aan de golfbreker in verschillende stadia is berekend in hoofdstuk 6. In elke situatie is de kans berekend dat het schadeniveau S groter wordt dan 2, 8, 12 en 25.

Rekening houdend met de nauwkeurigheidsmarges waarmee het dwarsprofiel gemaakt kan worden is een redelijke aanname dat voor een schadegetal S tussen nul en twee geen actie ondernomen hoeft te worden om de constructie te repareren. Is het schadegetal groter dan twee, dan zal het profiel hersteld moeten worden.

In bijlage 6.9 is de kans berekend dat een bepaald schadeniveau gehaald wordt als de constructie gedurende de hele periode blootgesteld wordt aan de golven. De kans dat een bepaald schadeniveau optreedt tijdens de bouw volgt door het delen van de kans per periode door het aantal weken per periode, maal het aantal weken dat de constructie in een bepaalde situatie onbeschermd is.



figuur 8.5: Verdelingsfunctie van het Schadegetal S

De kans dat het schadegetal tussen 2 en 8, tussen 8 en 12 en tussen 12 en 25 in ligt kan berekend worden wanneer de tijdsduur dat de constructie in een bepaalde fase bloot ligt bekend is (zie figuur 8.5).

Er geldt:

$$\begin{aligned}P(0 < S < 2) &= 1 - P(S > 2) \\P(2 < S < 8) &= P(S > 2) - P(S > 8) \\P(8 < S < 12) &= P(S > 8) - P(S > 12) \\P(12 < S < 25) &= P(S > 12) - P(S > 25)\end{aligned}$$

Het risico is gedefinieerd als kans maal gevolg. Het risico dat een schadeniveau tussen 2 en 8 optreedt is te benaderen door de kans $P(2 < S < 8)$ te vermenigvuldigen met de kosten die optreden bij een schadeniveau $S=5$.

Bij benadering geldt:

$$\begin{aligned}\text{Risico}(2 < S < 8) &= P(2 < S < 8) * \text{Kosten}(S=5) \\ \text{Risico}(8 < S < 12) &= P(8 < S < 12) * \text{Kosten}(S=10) \\ \text{Risico}(12 < S < 25) &= P(12 < S < 25) * \text{Kosten}(S=18,5)\end{aligned}$$

Indirecte kosten

Het laatste deel van de te minimaliseren functie bestaat uit de indirecte kosten. Door de indirecte kosten te variëren kan het effect hiervan op de materieel inzet bepaald worden.

8.2.1 Materieelinzet in december-februari voor statisch stabiele golfbreker
 In tabel 8.3 is voor de activiteiten van het statisch stabiele golfbreker-ontwerp per activiteit de benodigde hoeveelheid materiaal berekend voor een sectie van 45 m lang. Met behulp van de produkties en kosten uit tabel 8.2 kan hieruit per activiteit de benodigde tijdsduur worden berekend.

activiteit	bruto oppervlak (m ²)	verlies percentage (%)	netto oppervlak (m ²)	hoeveelheid per m'	Totaal werklengte	TJDSDUUR					KOSTEN			
						Storten breuksteen			Plaatsen		Storten breuksteen		Plaatsen	
						ponton tijd/wk	splijtbak tijd/wk	zijlosser tijd/wk	breuksteen tijd/wk	elem/lp tijd/wk	ponton kosten [f]	splijtbak kosten [f]	zijlosser kosten [f]	breuksteen kosten [f]
1. (y12)	30,96	5	32,51	56 lon	2.520 lon	0,06	0,07	0,08	0,10		24.274	19.222	25.903	29.404
2. (y23)	38,17	5	40,08	69 lon	3.107 lon	0,06	0,09	0,10	0,13		29.627	23.699	31.936	36.252
3. (y78)	44,88	5	47,12	81 lon	3.653 lon	0,09	0,10	0,12	0,15		35.188	27.865	37.550	42.825
4. (y17)	32,00	5	33,60	58 lon	2.604 lon	0,06	0,07	0,08	0,11		25.090	19.868	26.773	30.392
5. (y34)	30,96	5	32,51	56 lon	2.520 lon	0,06	0,07	0,08	0,10		24.274	19.222	25.903	29.404
6. (y911)	37,76	5	39,65	68 lon	3.073 lon	0,06	0,09	0,10	0,13		29.606	23.444	31.593	35.863
7. (y89)	32,00	5	33,60	58 lon	2.604 lon	0,06	0,07	0,08	0,11		25.090	19.868	26.773	30.392
8. (y1112)	63,48	5	66,65	115 lon	5.167 lon	0,13	0,15	0,17	0,21		49.772	39.413	53.112	60.291
9. (y45)	52,95	15	60,89	97 lon	4.357 lon	0,11	0,12	0,14	0,18		41.972	33.237	44.789	50.842
10. (y56)	37,19	15	42,77	68 lon	3.060 lon	0,07	0,09	0,10	0,13		29.479	23.344	31.458	35.710
11. (y1213)	17,33	15	19,93	32 lon	1.426 lon	0,03	0,04	0,05	0,06		13.737	10.678	14.659	16.840
12. (y1314)	13,00	15	14,95	24 lon	1.070 lon	0,03	0,03	0,03	0,04		10.305	8.160	10.996	12.483
13. (y1415)	67,67	2	69,02	4.118 lon	257 stk					0,17				33.632
14. (y1622)	19,23	2	19,61	1.174 lon	73 stk					0,05				9.584
15. (y1917)	3,81	5	4,00	7 lon	310 lon	0,01	0,01	0,01	0,01		2.987	2.366	3.188	3.619
16. (y910)	45,97	15	52,87	84 lon	3.783 lon	0,09	0,11	0,12	0,16		38.439	28.855	38.884	44.140
17. (y1219)	13,56	15	15,59	25 lon	1.116 lon	0,03	0,03	0,04	0,05		10.749	8.512	11.470	13.020
18. (y1920)	32,45	15	37,32	59 lon	2.670 lon	0,07	0,08	0,09	0,11		25.722	20.399	27.448	31.156
19. (y2122)	14,69	5	15,42	27 lon	1.198 lon	0,03	0,03	0,04	0,05		11.518	9.121	12.291	13.952
20. (y1718)	11,2	2	11,42	1,36 stk	61 stk					0,04				7.076

Tabel 8.3: Tijdsduur en kosten per activiteit

In de tabel zijn de waarden voor materieel dat niet geschikt is voor het uitvoeren van een bepaalde activiteit grijs gekleurd.

Voorbeeld:

Activiteit 1, welke in het netwerk van figuur 8.2 aangegeven is door activiteit y die gaat van knoop T1 naar T2 (y12), kan uitgevoerd worden door een zijlosser of door een kraan. Wanneer activiteit 1 uitgevoerd wordt door een zijlosser duurt het 0,08 weken en zijn de kosten f 25.903. Als dezelfde activiteit door een kraan wordt uitgevoerd duurt het 0,10 weken en zijn de kosten f 29.404.

Het uitvoeren met een kraan duurt dus langer en is ook duurder, waardoor op basis hiervan gekozen moet worden voor een zijlosser.

De afwegingen tussen de inzet van een splijtbak of een ponton is daarentegen afhankelijk van het gekapitaliseerde risico en de indirecte kosten. Het ponton werkt sneller, maar is duurder.

Aan de hand van het schadegetal S (zie formule 6.6) kan het erosiegebied Ae voor de verschillende nominale diameters van de breuksteen in de buitenste laag worden berekend. In situatie 1,2 en 4 uit bijlage 6.9 is de nominale diameter 0,52 m en in situatie 3 en 5 is de nominale diameter 0,81 m.

Door aan te nemen dat van het geërodeerde oppervlak al het materiaal verloren is gegaan en uitgaande van een kostprijs in de groeve van f15,- /ton voor de materiaal kosten kunnen de verlieskosten berekend worden.

Wanneer de schade wordt hersteld met een kraan, de duurste uitvoeringsmethode, kan ook de bijbehorende prijs voor de uitvoeringskosten worden berekend. Om een deel te repareren moeten waarschijnlijk meer kosten gemaakt worden dan tijdens een normale produktie cyclus. Echter in sommige situaties zal niet met een kraan de constructie hersteld worden, maar met een goedkopere uitvoeringsmethode. Als uitgangspunt is aangenomen dat het rekenen met de duurste uitvoeringsmethode een goed gemiddelde geeft.

In tabel 8.4 en 8.5 zijn de kosten van het behalen van een bepaald schade-niveau voor $D_{n50}=0,52$ m en $D_{n50}=0,81$ m weergegeven.

schadeniveau S	oppervlak Ae per m' (m ²)	volume per 45 m (m ³)	gewicht rots per 45 m (ton)	materieel kosten (f)	materiaal kosten (f)	TOTAAL (f)
5	2,62	118	213	2.488	3.199	5.687
10	5,24	236	426	4.977	6.397	11.374
18,5	9,69	436	789	9.207	11.835	21.042

Tabel 8.4: Kosten bij schadeniveau 5,10 en 18,5 voor $D_{n50}=0,52$ m

schadeniveau S	oppervlak Ae per m' (m ²)	volume per 45 m (m ³)	gewicht rots per 45 m (ton)	materieel kosten (f)	materiaal kosten (f)	TOTAAL (f)
5	4,05	182	361	4.213	5.415	9.628
10	8,10	365	722	8.426	10.830	19.256
18,5	14,99	674	1.336	15.588	20.036	35.624

Tabel 8.5: Kosten bij schadeniveau 5,10 en 18,5 voor $D_{n50}=0,81$ m

Invullen van het optimalisatie probleem

Nu de benodigde waarden bekend zijn kan het optimalisatie probleem worden ingevuld. In bijlage 8.1 is het totale model weergegeven. Voor het oplossen van dit probleem is gebruik gemaakt van het computerprogramma PCPROG (TUD). Dit programma kan verschillende optimaliseringsproblemen oplossen.

Het optimalisatie model voor de golfbreker is een 'gemixt integer probleem' (MIP), wat wil zeggen dat sommige variabelen alleen integere waarden aan mogen nemen, maar andere variabelen reële waarden aan kunnen nemen. De integere variabelen in het model zijn de beslisvariabelen die bepalen of een materieelstuk wel of niet gebruikt wordt, zij kunnen alleen een waarde 0 (niet gebruiken) of 1 (wel gebruiken) krijgen. De tijdstippen waarop een activiteit begint mogen reële waarden aannemen.

Het oplossen van dit probleem kan met behulp van de 'Branch en Bound' methode (Hillier en Lieberman, 1990).

In bijlage 8.1 wordt de opbouw van het optimaliseringsprobleem toegelicht. Resultaten van het toepassen van het optimaliseringsprobleem worden hierna besproken.

Optimaliseren zonder indirecte kosten

Wanneer de kosten van schade aan de constructie en de indirecte kosten niet worden opgenomen in het model, is de object functie minimaal als voor elke activiteit de meest goedkope uitvoeringsmethode wordt gekozen. De totale uitvoeringstijd per sectie van 45 m bedraagt dan 0,88 weken.

Wanneer wél rekening wordt gehouden met de kosten voor schade aan de constructie, maar geen indirecte kosten worden opgenomen, wordt een kostenminimum gevonden bij 1,19 weken. Met de start van activiteit 3 wordt nu gewacht zodat activiteit 3 en 9 tegelijk klaar zijn. De kans op schade in situatie twee wordt zo gelijk aan nul.

De waarde van de objectfunctie is nu: f 497.859,=

De kansen op schade aan de golfbreker in de periode december-februari zijn erg klein, bovendien wordt in het netwerk uit figuur 8.2 uitgegaan van een

minimale projecttijd (zoveel mogelijke activiteiten worden tegelijk uitgevoerd), waardoor de kosten van schade tijdens de bouw zeer laag zijn. Als geen indirecte kosten worden berekend, is alleen de kans op een schade in situatie 1 voor een schadeniveau tussen 2 en 8 (PS5SIT1) groter dan $1 \cdot 10^{-3}$.

De totale schadekosten bedragen nu:

$$PS5SIT1 * f 5.687 = 0,001 * f 5.687 = f 5,69$$

Optimaliseren mét indirecte kosten

Als elke activiteit op de langzaamste manier wordt uitgevoerd bedraagt de uitvoeringstijd 0,88 weken.

De schadekosten bedragen dan:

$$PS5SIT1 * f 5.687 = 0,001 * f 5.687 = f 5,69$$

$$PS5SIT2 * f 5.687 = 0,003 * f 5.687 = f 17,06$$

$$PS10SIT2 * f 11.374 = 0,001 * f 11.374 = f 11,37$$

$$PS18SIT2 * f 21.042 = 0,002 * f 21.042 = f 42,08$$

	+
TOTAAL	f 76,20

De extra schadekosten die optreden als de sectie in 0.88 weken wordt uitgevoerd bedragen dus $f 76,20 - f 5,69 = f 70,51$.

De objectfunctie wordt minimaal als de indirect kosten groter zijn dan:

$$K_{ind} > \frac{f70,51}{(1,19 - 0,88)} = f227,45$$

Omdat het gekapitaliseerde risico op schade tijdens de bouw, uitgaande van de 1/1 jaar golfhoogte verdeling waarmee de schadekansen zijn berekend, zo laag is heeft dit geen invloed op de materieelkeuze in dit geval.

Als de 'directe' uitvoeringskosten al bijna een half miljoen gulden zijn, zullen de indirecte kosten zeker groter zijn dan $f 227,45$.

In bijlage 8.2 zijn de rekenresultaten weergegeven wanneer de indirecte kosten $f 100.000,=$ per week bedragen. Uit het optimaliseringsmodel volgt dan voor elke knoop uit het netwerk het tijdstip van het vroegste begin van de activiteit, bij een minimale waarde van de objectfunctie.

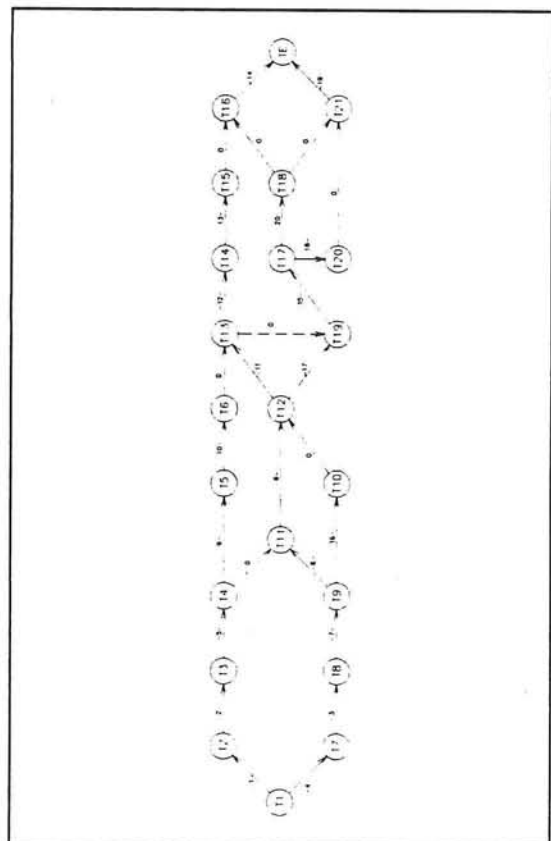
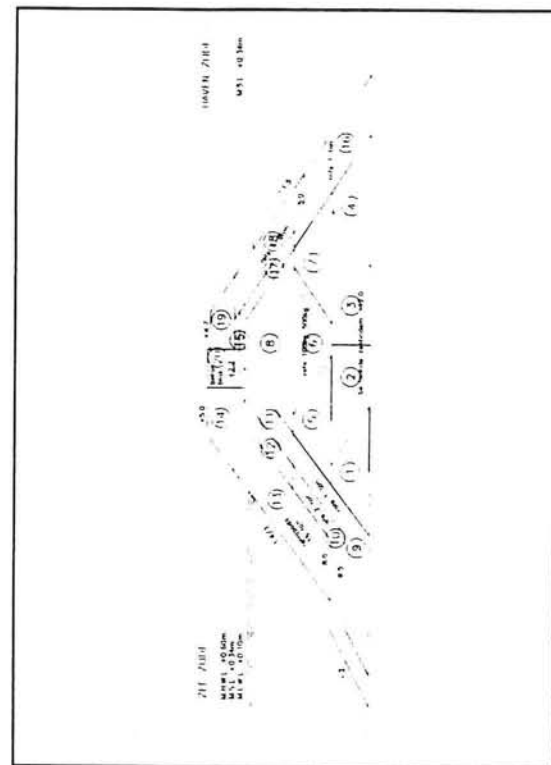
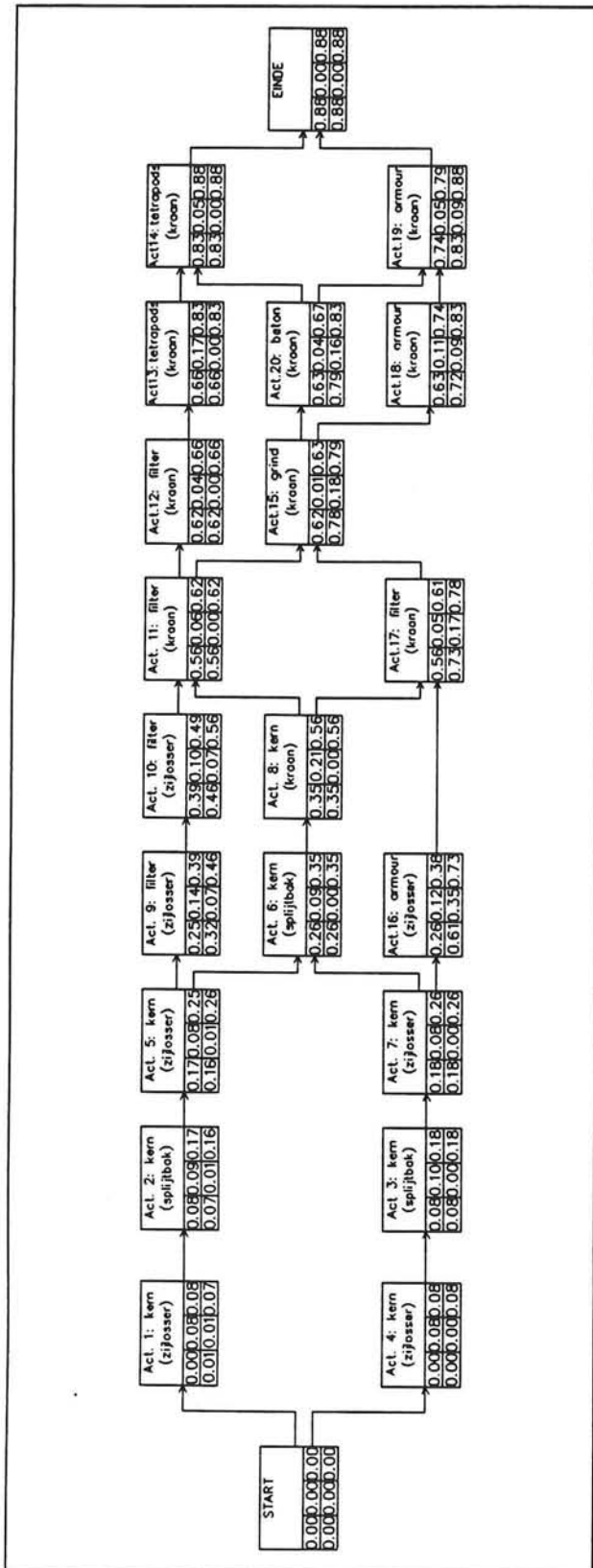
Het resultaat hiervan kan worden weergegeven in een netwerk planning. In een netwerkplanning wordt per activiteit het vroegste en laatste begin en einde berekend. Daarna kan de speling per activiteit, welke gelijk is aan de maximale vertraging dit op kan treden zonder dat de totale projecttijd beïnvloed wordt, berekend worden (zie figuur 8.6).

ACTIVITEIT		
vroegste begin	tijdsduur	vroegste einde
laatste begin	speling	laatste einde

*Figuur 8.6:
Activiteit in netwerkplanning*

De tijdsplanning die volgt uit de rekenresultaten van bijlage 8.2 is in figuur 8.7 weergegeven.

Voor de duidelijkheid is het dwarsprofiel en de werkvolgorde op dezelfde bladzijde opnieuw weergegeven.



figuur 8.7: Optimale tijdplanning voor statisch stabiele golfbreker bij indirecte kosten van f 100.000,= per week

Wanneer is een snellere maar duurdere uitvoeringsmethode rendabel?

Voor het uitvoeren van activiteit twee, drie en zes is het bij indirecte kosten van f100.000,= per week het voordeligst om te storten met splijtbakken. Naarmate de indirecte kosten hoger worden is echter een omslagpunt te verwachten waarbij beter een ponton ingezet kan worden omdat de activiteiten met een ponton sneller uitgevoerd kunnen worden.

In tabel 8.6 is de uitvoeringsduur en de bijbehorende kosten voor activiteit twee, drie en zes samengevat.

activiteit	tijdsduur splijtbak (wk)	tijdsduur ponton (wk)	verschil tijd (wk)	kosten splijtbak (f)	kosten ponton (f)	verschil kosten (f)
2	0,09	0,08	0,01	23.699	29.927	6.228,00
3	0,10	0,09	0,01	27.865	35.188	7.323,00
6	0,09	0,08	0,01	23.444	29.606	6.162,00

Tabel 8.6: Tijdsduur en kosten voor activiteit 2,3 en 6

Uit de tabel blijkt dat voor alle drie de activiteiten de tijdsduur met 0,01 week wordt verkort als een ponton wordt ingezet in plaats van een splijtbak.

De minste extra kosten worden gemaakt als activiteit zes met een ponton wordt uitgevoerd. Bij een tijdwinst van 0,01 weken en extra kosten van f 6.162,= kan activiteit zes beter met een ponton worden uitgevoerd als de indirecte kosten groter zijn dan:

$$f 6.162 / 0,01 = f 616.200 / \text{week}$$

Op een zelfde manier volgt voor activiteit drie dat een ponton moet worden ingezet als de indirecte kosten groter zijn dan:

$$f 7.323 / 0,01 = f 732.300 / \text{week}$$

In beide gevallen zouden de indirecte kosten hoger moeten zijn dan de uitvoeringskosten, dat zal nooit het geval zijn. De uitvoeringsmethode met een splijtbak verdient dus de voorkeur.

Het uitvoeren van activiteit twee met een ponton in plaats van een splijtbak heeft geen zin omdat deze activiteit niet op het kritieke pad ligt, ook niet nadat de tijdsduur van de activiteit is verkort.

8.3 Resultaten van de optimalisatie voor de materieelinzet

Op een zelfde manier als voor het statisch stabiele ontwerp is gedaan zou voor de bermgolfbreker het effect van verschillende uitvoeringsmethoden bekeken kunnen worden. Het toepassen van het optimaliseringsprobleem zoals opgesteld in hoofdstuk zes en uitgewerkt in paragraaf 8.4.1 blijkt in dit geval echter niet zondermeer resultaten op te leveren waarmee de meest optimale materieelinzet bepaald kan worden. Daarom is voor de bermgolfbreker het optimalisatie probleem niet uitgewerkt.

Door randvoorwaarden als nauwkeurigheid van storten en bereikbaarheid van het materieel is, van de vijf beschreven uitvoeringsmethoden uit hoofdstuk 7, voor de meeste activiteiten maar één uitvoeringsmethode aan te bevelen.

Alleen de keuze tussen storten vanaf een ponton of een splijtbak was voor drie activiteiten afhankelijk van de indirecte kosten en het risico.

De splijtbak kwam als goedkoopste uitvoeringsmethode naar voren, echter deze uitvoeringsmethode heeft in de perioden oktober-november en maart-april een veel lagere werkbaarheid dan een ponton. Daarom is het nog de vraag of dit de meest optimale uitvoeringsmethode is.

Verder is alleen een minimale werkvolgorde uitgerekend. Het gevolg hiervan is dat zoveel mogelijk activiteiten parallel worden uitgevoerd. Daardoor is veel materieel nodig. Dit zal vaak niet leiden tot de laagste totale uitvoeringskosten, bovendien kan dit leiden tot congestie op het werkfront. Bovendien wordt in het optimalisatie model niet geoptimaliseerd naar continuïteit voor de inzet van het materieel, waardoor rekening gehouden moet worden met extra verlet kosten.

De schadekosten, welke hier benaderd worden door de gemiddelde waarden zijn erg laag. Dit komt doordat de kans op schade erg klein is, de bijbehorende standaardafwijking is veel groter en daardoor interessanter.

Om de materieelinzet te optimaliseren moet het optimaliserings model dus uitgebreid worden met de volgende onderdelen:

- meer verschillende soorten stortschepen
- alle werkbare perioden
- de onzekerheid in de kosten van schade
- continuïteit voor de afzonderlijke materieelstukken

Als dit toegevoegd is kunnen met het model verschillende werkvolgorden worden uitgerekend, waaruit de meest optimale keuze gemaakt kan worden.

In de praktijk spelen echter nog andere aspecten mee voor het bepalen van de materieelinzet, zoals de beschikbaarheid van eigen materieel. Ook de tijdsdruk waaronder de beslissingen vaak moeten worden genomen maakt het opzetten van een uitgebreid optimalisatiemodel waarschijnlijk onmogelijk.

Omdat het gebruik van het optimalisatiemodel in deze vorm niet zondermeer leidt tot de beste keuze voor de materieelinzet wordt deze methode verder niet meer gebruikt.

Om een indruk te krijgen van de totale kosten van de bouw van de golfbrekers worden hierna verschillende probabilistische kostenramingen gemaakt. Hiermee wordt voor hetzelfde ontwerp en verschillende uitvoeringsmethoden een indruk van de totale uitvoeringskosten én de onzekerheid verkregen.

9. Begroting van de golfbrekerontwerpen

Voor het begroten van de bouwkosten worden de kostenposten voor het materiaal en de materieelkosten apart beschouwd. Waar in dit hoofdstuk wordt gesproken van materieelkosten worden alle tijdgebonden kosten bedoeld. In de post materieelkosten zijn dus ook posten voor lonen, brandstof etc. verwerkt.

De opzet van de uiteindelijk te maken kostenraming voor de golfbrekerontwerpen is in tabel 9.1 weergegeven.

	materiaalkosten
	(de)mobilisatie kosten materieel
	materieelkosten
	_____+
	DIRECTE KOSTEN
- 12.5% directe kosten	INDIRECTE KOSTEN
	_____+
	PRIMAIRE KOSTEN
overheadkosten:	algemene kosten
- 6.5% primaire kosten	rente verliezen en verzekering
- 2.5% primaire kosten	_____+
	BASISRAMING
	risico
	_____+
	RAMING

Tabel 9.1: Opzet kostenraming voor golfbrekerontwerpen

De kostenraming is dus opgebouwd uit drie hoofdonderdelen, namelijk de vaste kosten (hier de materiaalkosten), de (de)mobilisatie kosten en de tijdgebonden kosten welke hier zijn samengevoegd in de materieelkosten. De som van deze posten is gelijk aan het totaal aan directe kosten.

De indirecte kosten zijn geschat op 12,5% van de directe kosten. Tot de indirectekosten worden bijvoorbeeld de kosten gerekend die door het hoofdkantoor worden gemaakt. De directekosten vormen samen met de indirectekosten de primaire kosten.

Over de primaire kosten worden overheadkosten berekend, namelijk algemene bouwplaatskosten, renteverliezen en verzekeringen.

De algemene bouwplaatskosten bestaan uit kosten van de staf op het werk (zoals de uitvoerder, werkadministrateur, organisatie-assistenten en bewaking) plus kosten voor elektriciteit, telefoon en inrichting/ontruiming van het werkterrein. De algemene bouwplaatskosten zijn geschat op 6,5% van de primaire kosten.

De tweede post onder het kopje overheadkosten bestaat uit renteverliezen en verzekeringen. Renteverliezen treden op doordat de bouwondernemer vaak in termijnen betaald krijgt, nadat een bepaalde prestatie geleverd is. Voor de constructie wordt vaak een CAR-verzekering (construction all risks) afgesloten. De renteverliezen en verzekering worden samen geschat op 2,5% van de primaire kosten.

De primaire kosten plus de overheadkosten vormen de basisraming. Aan de basisraming wordt vaak nog een post 'onvoorzien' toegevoegd om bepaalde voorziene en onvoorzien risico's te dekken.

De post onvoorzien vormt samen met de basisraming de uiteindelijke raming.

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens beschreven hoe de post materiaal-kosten en materieelkosten kan worden bepaald. Verder wordt een deel van de post onvoorzien ingevuld door het risico van schade tijdens de bouw te berekenen.

Daarna wordt voor verschillende uitvoeringsmethoden een kostenraming voor de golfbrekerontwerpen gemaakt.

Zoveel mogelijk wordt geprobeerd om de onzekerheid in de elementen waaruit de begroting is opgebouwd te verwerken, daardoor kan een indruk van de betrouwbaarheid van het ramingsbedrag worden verkregen.

9.1 Berekeningswijze van materiaalkosten en hoeveelheid

9.1.1 Benodigde hoeveelheid materiaal

Uit de ontwerptekeningen van de golfbrekers kan de theoretisch benodigde hoeveelheid materiaal worden uitgerekend. Vaak is er meer materiaal nodig dan zo berekend. Uit nacalculaties van Boskalis Zinkcon blijkt dat bovenop de berekende hoeveelheid materiaal rekening gehouden moet worden met een verliespercentage.

Oorzaken voor het ontstaan van verlies zijn:

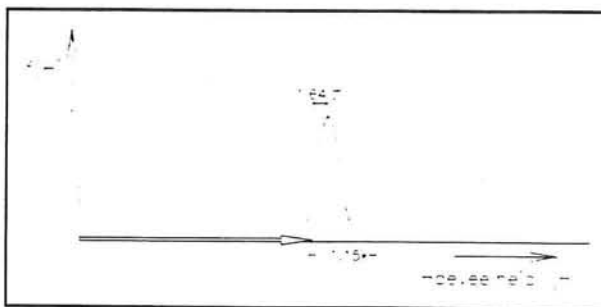
- onzekerheid in exacte bodemligging
- optreden van zetting van de ondergrond
- zetting van het materiaal zelf
- buiten profiel storten (materiaal dat op de verkeerde plaats terecht komt)
- verlies van materiaal tijdens overslag en transport

De verliespercentages, gevonden door nacalculaties van diverse werken, zijn voor kernmateriaal 5%, filterlagen 15% en voor betonelementen 2%.

De gemiddelde totale benodigde hoeveelheid kan nu berekend worden door de theoretische hoeveelheid te vergroten met het verliespercentage. Het kan echter voorkomen dat minder materiaal nodig is, bijvoorbeeld bij een hogere bodemligging dan verwacht. Door een onverwacht grote zetting zal extra materiaal nodig zijn.

Wanneer aangenomen wordt dat de onderschreidingskans 5% is van de theoretische hoeveelheid (H) en dat de hoeveelheid materiaal normaalverdeeld is, kan de variatiecoëfficiënt volgens formule 9.1 worden berekend.

$$vc(x) = \frac{\sigma(x)}{\mu(x)} \quad [9.1]$$



Figuur 9.1: Kansdichtheid van de hoeveelheid materiaal

waarin:

vc(x) = variatiecoëfficiënt
 $\sigma(x)$ = standaardafwijking
 $\mu(x)$ = gemiddelde

Een onderschreidingskans van 5% komt overeen met een factor 1.64 maal de standaardafwijking in de normale verdeling.

De variatiecoëfficiënten voor kernmateriaal, filterlagen en betonelementen zijn nu:

- * kernmateriaal : $vc(x) = \sigma(x)/\mu(x) = ((0.05 H)/1.64) / 1.05 H = 0.0294$
- * filterlagen : $vc(x) = \sigma(x)/\mu(x) = ((0.15 H)/1.64) / 1.15 H = 0.0795$
- * betonelementen : $vc(x) = \sigma(x)/\mu(x) = ((0.02 H)/1.64) / 1.02 H = 0.0120$

In tabel 9.1 is de theoretisch berekende hoeveelheid, de gemiddelde benodigde hoeveelheid en de standaardafwijking voor het materiaal weergegeven.

fractie	theoretische hoeveelheid	gemiddelde hoeveelheid	standaardafwijking
Statisch stabiele golfbreker	7.678 ton	8.830 ton	702 ton
50-100 mm	626.221 ton	657.533 ton	19.331 ton
100 - 500 kg	241.485 ton	277.708 ton	22.078 ton
500 - 1500 kg	93.368 ton	107.374 ton	8.536 ton
1500 - 4000 kg	87.695 ton	100.848 ton	8.017 ton
4000 - 6000 kg	8.599 stk	8.771 stk	105 stk
tetrapods	13.103 m ³	13.366 m ³	160 m ³
kruinelement			
Bermgolfbreker			
5 - 300 kg	850.487 ton	893.012 ton	26.254 ton
300 - 8000 kg	536.361 ton	563.180 ton	16.557 ton

Tabel 9.1: Benodigde hoeveelheid materiaal voor de golfbrekerontwerpen

9.1.2 Materiaal prijzen

Bij de uitvoeringsmethoden is ervan uitgegaan dat de breuksteen klaar ligt in de groeve om te worden getransporteerd. De totstandkoming van de kosten voor het winnen en sorteren worden buiten beschouwing gelaten, gerekend wordt met prijzen uit het rapport 'Development of the port of Galle, 1991', welke in tabel 9.2 zijn samengevat.

breuksteen gradatie	kosten [Rs/m ³]	kosten [hfl/m ³]	kosten [hfl/ton]
50 - 100 mm	600	25,30	15,90
100 - 500 kg	370	15,60	9,80
100 - 6000 kg	390	16,40	10,30
1000 - 6000 kg	410	17,30	10,90

Tabel 9.2 Kosten breuksteen, bij levering in groeve

Bron: Development of the port of Galle, 1991

Gebruikte koers: US\$ 1,00 = Rs 40,37 = hfl 1,70

Met behulp van deze tabel zijn de kosten voor de benodigde fracties geschat. Voor de betonelementen is f200,-/m³ gerekend, waarbij levering in de haven is inbegrepen.

De variatiecoëfficiënt van de materiaalprijzen is niet bekend. Om deze te bepalen zou een nadere analyse van de groeve en het productieproces van de elementen moeten worden gemaakt. Om de onzekerheid in de eenheidsprijs van het materiaal in de begroting te verwerken wordt voor de prijzen een normale verdeling verondersteld, met een gemiddelde zoals vermeld in tabel 9.3 en een variatiecoëfficiënt 0,1.

fractie	gemiddelde prijs [f/ton]	standaardafwijking [f/ton]
Statisch stabiele golfbreker		
50 - 100 mm	15,90	1,59
100 - 500 kg	9,06	0,91
500 - 1500 kg	10,00	1,00
1500 - 4000 kg	11,00	1,10
4000 - 6000 kg	12,00	1,20
tetrapods 16 ton	1362,00	136,20
kruinconstructie	200,00	20,00
Bermgolfbreker		
5 - 300 kg	9,00	0,90
300 - 8000 kg	10,00	1,00

Tabel 9.3: Materiaal prijzen

9.1.3 Berekening van de totale materiaalkosten

Nu de hoeveelheid en de prijs van het materiaal zijn vastgesteld kunnen de totale materiaalkosten worden bepaald. Met behulp van de standaardafwijkingen is tevens de onzekerheid in deze prijs bekend.

Hiervoor wordt een benaderende niveau-II methode gebruikt. Bij deze methode wordt gerekend met het gemiddelde en de standaardafwijking. Ongeacht het type kansdichtheidsfunctie (k.d.f.) mogen de verwachtingswaarden lineair en de standaardafwijkingen kwadratisch worden opgeteld. De kostenposten moeten dan wel onafhankelijk zijn. Dit betekent dat een bepaalde afwijking in de ene post, geen gevolgen heeft voor de afwijking in een andere post.

Voor het bepalen van de hoeveelheid materiaal is wel sprake van afhankelijkheid tussen verschillende posten. Als er kernmateriaal buitenprofiel wordt gestort, er is dan teveel materiaal gestort, zal minder materiaal nodig zijn van de hierop volgende filterlaag. Het weghalen van teveel gestort materiaal is onder water erg moeilijk en zal zoveel mogelijk voorkomen worden.

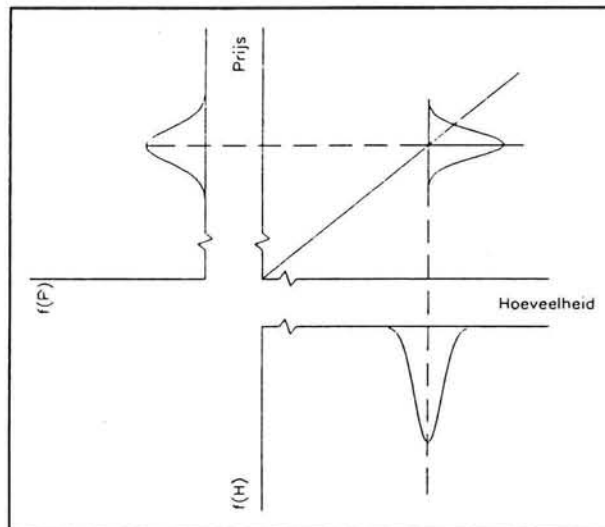
Andere oorzaken van de spreiding in de materiaalhoeveelheid kunnen wel onafhankelijk verondersteld worden. Wanneer er bijvoorbeeld een kuil in de bodem is, zal deze worden opgevuld met kernmateriaal. De extra benodigde

hoeveelheid van het kernmateriaal heeft niet tot gevolg dat voor de volgende lagen meer materiaal nodig is.

De afhankelijkheid van de verschillende materiaalposten zal niet zo groot zijn, deze wordt geschat op 20% .
Om deze gedeeltelijke afhankelijkheid te modelleren wordt het kwadraat van de standaardafwijking (de variantie) verdeeld in een afhankelijk en een onafhankelijk deel. Het afhankelijke deel van de standaardafwijking wordt lineair opgeteld en het onafhankelijke deel kwadratisch.

Een uitgebreide beschrijving van de hier toegepaste ramingsmethode wordt gegeven in 'Raming als prognose' (Vrijling 1994).

De essentie van de berekening is in figuur 9.2 grafisch weergegeven. In de figuur rechtsonder is de k.d.f. van de hoeveelheid getekend. Rechtsboven is het verband tussen de hoeveelheid en de kosten uitgezet. Ook in de materiaalkosten is spreiding aanwezig. De resulterende k.d.f. van de kosten is links weergegeven. Het gemiddelde volgt uit vermenigvuldiging van de gemiddelde hoeveelheid met de gemiddelde prijs. De spreiding in de materiaalprijs is groter dan de spreiding van de kosten als functie van de hoeveelheid omdat ook de onzekerheid van de hoeveelheid is verwerkt. Dit blijkt uit de lagere en bredere k.d.f. van de materiaalkosten.



figuur 9.2: Spreiding in hoeveelheid en prijs

In tabel 9.4 zijn de resulterende materiaalkosten voor beide golfbrekerontwerpen weergegeven.

Raming van kosten voor conventionele golfbreker									
Materiaal	Hoeveelheid	Prijs	Subtotaal	Totaal	vc hoef	vc prijs	afhank	sigma tot	vc totaal
- breuksteen 50 - 100 mm	8.830 ton	15,9 f/ton	140.397		0,080	0,100	0,200		
- breuksteen 100 - 500 kg	657.533 ton	9,1 f/ton	5.957.249		0,029	0,100	0,200		
- breuksteen 500 - 1500 kg	277.708 ton	10,0 f/ton	2.777.080		0,080	0,100	0,200		
- breuksteen 1500 - 4000 kg	107.374 ton	11,0 f/ton	1.181.114		0,080	0,100	0,200		
- breuksteen 4000 - 6000 kg	100.848 ton	12,0 f/ton	1.210.176		0,080	0,100	0,200		
- tetrapods 16 ton	8.771 stk	1362,0 f/stk	11.946.102		0,012	0,100	0,200		
- prefab kruin elementen	13.366 m3	200,0 f/m3	2.673.200		0,012	0,100	0,200		
				25.885.318				1.517.455	0,059

Raming van kosten voor bermgolfbreker									
Materiaal	Hoeveelheid	Prijs	Subtotaal	Totaal	vc hoef	vc prijs	afhank	sigma tot	vc totaal
- breuksteen 5 - 300 kg	839.012 ton	9,0 f/ton	7.551.108		0,029	0,100	0,200		
- breuksteen 300 - 8000 kg	563.180 ton	10,0 f/ton	5.631.800		0,029	0,100	0,200		
				13.182.908				1.000.513	0,076

Tabel 9.4: Totale materiaalkosten voor de golfbrekerontwerpen

9.2 Mobilisatie en installatie kosten

De mobilisatie kosten voor het materieel worden gevormd door de transport kosten van het materieel naar een werk en door de (interne) huurkosten tijdens het transport van het materieel. Vaak worden de mobilisatie kosten door het startende werk betaald, zodat de demobilisatie kosten door een volgend werk betaald worden.

Groot drijvendmaterieel, zoals een zijlosser kan op eigen kracht naar de bouwplaats varen. Het overige materieel wordt vervoerd met zogenaamde 'dock-ships', dit zijn half afzinkbare schepen waar het te transporteren materieel in kan varen. Afhankelijk van de hoeveelheid te mobiliseren materieel en het dekoppervlak van het dock-ship volgt hoeveel van deze schepen nodig zijn. Het niet gespecialiseerde droge materieel zoals shovels en trucks wordt vaak in de buurt van het werk gehuurd of gekocht.

Na aankomst van het materieel begint de installatie, dit zijn de werkzaamheden om het materieel gereed te maken om te functioneren.

Omdat de afstand waarover het natte materieel getransporteerd moet worden onbekend is, is de mobilisatie post niet gemakkelijk in te schatten. De kosten voor mobilisatie van dit soort grote werken zijn echter aanzienlijk. Om deze kosten in de eindprijs wel mee te nemen, maar in de vergelijking tussen de twee golfbrekers niet te verwerken, is overal een bedrag van f10.000.000,= voor mobilisatie aangenomen. Omdat de onzekerheid in deze kosten groot is, is een variatiecoëfficiënt van 0,1 aangenomen.

9.3 Berekeningswijze van materieelkosten

De materieelkosten kunnen worden bepaald door de totale projectduur te vermenigvuldigen met de prijs voor het materieel dat nodig is voor de uitvoering. Eerst zal worden uiteengezet hoe de k.d.f. van de projecttijd berekend kan worden. Vervolgens wordt ingegaan op de berekening van de kosten van de materieelinzet als functie van de projecttijd. In paragraaf 9.3.3 wordt aangegeven hoe uit de k.d.f. van de projecttijd, via de kosten van de materieelinzet, de k.d.f. van de totale materieelkosten kan worden bepaald.

9.3.1 Bepaling van de projecttijd

Voor verschillende uitvoeringsmethoden kan berekend worden wat de totale projecttijd is. Omdat de schade die mogelijk tijdens de bouw ontstaat afhankelijk is van de werksnelheid, moet de planning zodanig gedetailleerd zijn dat de tijdsduur, waarover verschillende onderdelen door golven worden aangevallen, hieruit bepaald kan worden.

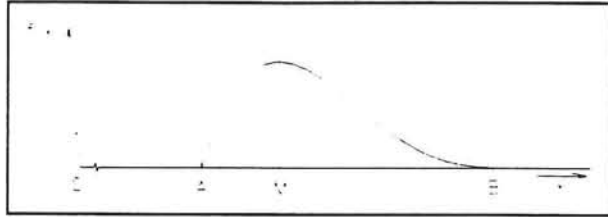
Allereerst wordt de verwachtingswaarde en bijbehorende standaardafwijking van de produktiesnelheid bij verschillende uitvoeringsmethoden bepaald.

Daarna kan voor verschillende deelactiviteiten de tijdsduur voor het maken van een sectie in een bepaalde periode worden bepaald. Als de totale projectduur bekend is, is bekend hoe lang welk materieel ingezet moet worden. Hieruit volgen de materieelkosten.

Schatting van de produkties per uitvoeringsmethode

Om de produktie van een uitvoeringscyclus te schatten kan gebruik worden gemaakt van een reële, een hoge en een lage waarde voor de tijdsduren van verschillende deelactiviteiten.

De reële waarde (M) is de tijdsduur die het meest waarschijnlijk is. Deze waarde komt overeen met het hoogste punt uit een kansdichtheidsfunctie. De lage waarde (A) is een niet waarschijnlijke, maar wel mogelijke tijdsduur die optreedt als alles goed gaat. Deze waarde komt overeen met de ondergrens van de k.d.f..



Figuur 9.3: K.d.f. van activiteit duur

Een hoge waarde (B) geeft de tijdsduur weer als alles tegenzit, deze waarde geeft het punt van de bovengrens van een k.d.f. weer. De plaats van de drie schattingen in de k.d.f. zijn aangegeven in figuur 9.3.

Om uit de schattingen M, A en B een waarde voor het gemiddelde en de standaardafwijking te bepalen zijn twee aannamen gedaan:

1. De standaardafwijking σ (tijdsduur) wordt gelijk verondersteld aan een zesde deel van de afstand tussen de schattingen A en B.

$$\sigma(\text{Tijdsduur}) = \left[\frac{1}{6}(B-A) \right] \quad [9.2]$$

2. Om een schatting van de verwachtingswaarde μ (tijdsduur) te krijgen moet een aanname over de vorm van de k.d.f. worden gedaan. Voor deze vorm wordt een beta-verdeling aangenomen. Deze verdeling heeft een vorm zoals getekend in figuur 9.3.

De verwachtingswaarde μ (tijdsduur) is nu:

$$\mu(\text{tijdsduur}) = \frac{1}{3} \left[2M + \frac{1}{2}(A+B) \right] \quad [9.3]$$

De keuze van een beta-verdeling is gedaan omdat deze scheef naar rechts is, wat vaak overeenkomt met praktijksituaties voor dit soort schattingen (Hillier and Lieberman, 1990).

Door, voor de beschreven uitvoeringsmethoden in hoofdstuk 7, per onderdeel van de cyclus verschillende schattingen voor de tijdsduur te doen, kan de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van de tijdsduur worden bepaald. De hoeveelheid materiaal die per cyclus verwerkt wordt is voor elke uitvoeringsmethode bekend, hieruit volgt dan het gemiddelde en de standaardafwijking van de bruto produktie volgens:

$$\mu(\text{brutoproduktie}) = \frac{\text{hoeveelheid}}{\mu(\text{tijdsduur})} \quad [9.4]$$

$$\sigma(\text{brutoproduktie}) = \sqrt{\left(-\frac{\text{hoeveelheid}}{\mu(\text{tijdsduur})^2} \cdot \sigma(\text{tijdsduur}) \right)^2} \quad [9.5]$$

De nettoproduktie is afhankelijk van de het aantal werkbare dagen in de betreffende periode. De uitvoering van activiteiten op het water is hierbij steeds maatgevend omdat daar, naast de technische verletten, ook rekening wordt gehouden met weerverletten.

De onwerkbare tijd is voor elke uitvoeringsmethode per periode bepaald (zie bijlage 7.1) als percentage van de totale tijd. De netto produktie voor een uitvoeringsmethode volgt wanneer de werkbare tijd in procenten wordt ingevuld uit:

$$\mu(\text{Nettoproduktie}) = \frac{\text{werkbare tijd}}{100} * \mu(\text{Brutoproduktie}) \quad [9.6]$$

$$\sigma(\text{Nettoproduktie}) = \sqrt{\left(\frac{\text{werkbare tijd}}{100}\right)^2 * \sigma(\text{Brutoproduktie})^2} \quad [9.7]$$

Nu de netto produktie bekend is kan de tijdsduur voor het uitvoeren van de verschillende activiteiten per periode worden berekend. Voor de hoeveelheden wordt rekening gehouden met de spreiding in de hoeveelheid zoals omschreven in paragraaf 9.1.

De duur van een activiteit kan nu berekend worden met:

$$\mu(\text{duuractiviteit}) = \frac{\mu(\text{hoeveelheid})}{\mu(\text{nettoproduktie})} \quad [9.8]$$

$$\sigma(\text{duuractiviteit})^2 = \left(\frac{1}{\mu(\text{nettoproduktie})} * \sigma(\text{hoeveelheid})\right)^2 + \left(-\frac{\mu(\text{hoeveelheid})}{\mu(\text{nettoproduktie})^2} * \sigma(\text{nettoproduktie})\right)^2 \quad [9.9]$$

Voor de uitvoering wordt de totale golfbreker opgedeeld in 26 secties van elk 45 m lang. Deze lengte van de secties wordt bepaald door de lengte van het stortdek van de te gebruiken stortschepen. Per sectie wordt eerst het onderwaterdeel gestort, waarna met een andere uitvoeringsmethode het gedeelte boven water wordt gemaakt.

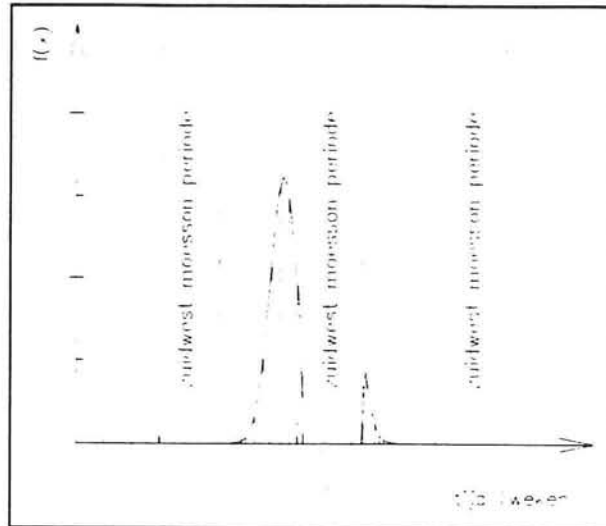
Nu de tijdsduur van de verschillende deelactiviteiten van een sectie van de golfbreker bekend zijn kan het aantal secties dat in een periode gemaakt kan worden berekend worden.

Wanneer in de zuidwest moesson periode niet gewerkt wordt, in verband met het ruige golfklimaat in deze periode, kan de totale projectduur worden bepaald. Doordat de projectduur de som is van een groot aantal deelactiviteiten welke normaalverdeeld verondersteld zijn, zal ook de totale projectduur normaalverdeeld zijn.

Doordat in de zuidwest moesson niet gewerkt wordt zal in deze periode de kansdichtheid nul zijn, waardoor de normale verdeling afgekapt wordt.

Een dergelijke k.d.f. voor de projectduur is in figuur 9.4 weergegeven.

In dit voorbeeld is het, het meest waarschijnlijk dat het werk voor de tweede moesson periode gereed is, er is echter een kleine kans dat dit niet lukt. Wanneer de bouw pas in het derde jaar voltooid wordt zullen de kosten aanzienlijk hoger zijn omdat het materieel een extra moesson periode stilligt en later beschikbaar is voor een volgend werk.



Figuur 9.4: K.d.f projectduur

9.3.2 Bepaling van materieelkosten per week

Per uitvoeringsmethode is in hoofdstuk 7 beschreven welk materieel nodig is om de golfbreker te bouwen.

De totale materieelkosten kunnen nu opgebouwd worden uit (de)mobilisatiekosten, en de weekkosten vermenigvuldigd met de projecttijd.

In bijlage 7.2 is, analoog aan de berekening van de cyclustijden uit hoofdstuk 7, voor het materieel een verwachtingswaarde en een standaardafwijking van de weekkosten bepaald.

De materieelprijzen zijn opgebouwd uit de volgende posten:

- afschrijving + rente
- onderhoud en reparatie
- brandstof
- smeermiddelen
- lonen
- verzekering

Per uitvoeringsmethode kunnen nu de totale weekkosten voor het benodigde materieel worden berekend. Het gemiddelde van de totale weekkosten volgt uit de som van de verwachtingswaarden van het benodigde materieel.

Bij het berekenen van de standaardafwijking moet rekening worden gehouden met een afhankelijkheid in de posten waaruit de materieelkosten zijn opgebouwd. De materieelkosten worden afhankelijk verondersteld in de posten: rente, brandstof, smeermiddelen en lonen.

Wanneer de prijzen voor deze kostenposten stijgen, zal dat gelden voor alle kostenposten van het afzonderlijke materieel.

De afhankelijkheidsfactor kan berekend worden uit het aandeel van de afhankelijke factoren in de weerprijs volgens:

$$\bar{a}_{afh, materieel} = \frac{\sigma_{kosten, afhankelijk}}{\sigma_{totalekosten}} \quad [9.10]$$

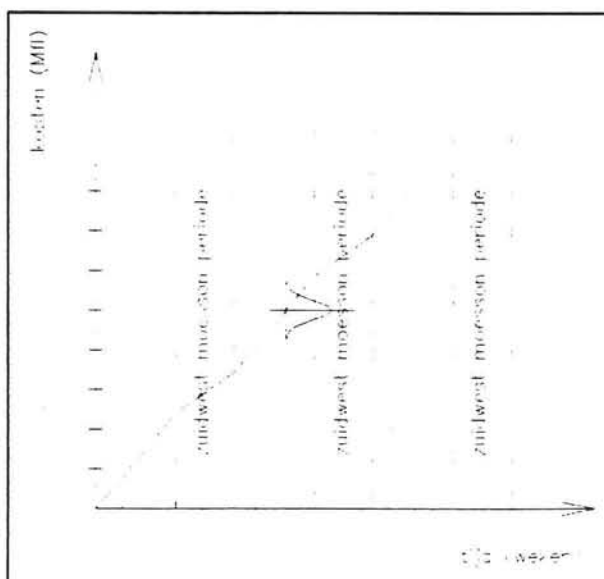
De afhankelijkheidsfactoren zijn weergegeven in tabel 9.5.

Materieel	Totale kosten $\mu(K)$ (f/wk)	Totale kosten $\sigma(K)$ (f/wk)	$\sigma_{kosten, afh}$ (f/wk)	afhanke- lijheidsfactor ($\sigma_{afh}/\sigma_{tot}$)
shovel	11.983	1.101	392	0.356
vrachtwagen	13.083	898	464	0.517
ponton	27.300	959	85	0.089
landkraan	33.881	2.286	993	0.435
splijtbak	46.927	3.421	1.972	0.576
zijlosser	127.797	9.370	3.528	0.377
positionerings- ponton	29.411	1.711	990	0.578
sleepboot	54.163	5.103	4.213	0.825
survey boot	32.316	1.979	1.409	0.712
laad-ponton	3.475	330	159	0.479

Tabel 9.5: Afhankelijkheidsfactoren van materieelkosten

Omdat in de materieelkosten ook lonen en brandstof verwerkt zitten is de helling van lijn die het kostenverloop als functie van de tijd weergeeft niet constant. In de zuidwest moesson periode, waarin niet gewerkt kan worden, zullen de kosten alleen bestaan uit de (interne) huur van het materieel. Voor de overige periode zullen, afhankelijk van de werkbaarheid, de kosten sneller stijgen doordat ook lonen en brandstof worden betaald.

Figuur 9.5 geeft schematisch het verloop van de kosten als functie van de projecttijd weer.



Figuur 9.5: Materieelkosten als functie van de project tijd

9.3.3 Berekening van de totale materieelkosten

Wanneer de projecttijd niet beschreven zou worden door een afgekapte k.d.f. en de weekkosten lineair toenamen met de projecttijd, dan zouden de totale kosten berekend kunnen worden volgens de niveau-II methode zoals beschreven in paragraaf 9.1.3. In dit geval is dat niet mogelijk.

Om toch de totale materieelkosten te berekenen moet gebruik worden gemaakt van een Monte Carlo simulatie. Hierbij wordt een groot aantal malen een trekking gedaan uit de k.d.f. van de projecttijd en de bijbehorende materieelkosten. Uit al deze trekkingen volgt dan de k.d.f. van de totale materieelkosten.

9.4 Berekeningswijze van risico van schade tijdens de bouw

In bijlage 6.9 zijn de faalkansen van de constructie in verschillende bouwstadia berekend. De berekeningen zijn gemaakt met een 1/1 jaar golfhoogteverdeling. De berekende faalkansen uit de bijlage geven dus de kans weer dat een bepaald schadeniveau (S) wordt overschreden wanneer de constructie gedurende de hele periode blootgesteld wordt aan een 1/1 jaar golfaanval.

Wanneer de constructie wordt gebouwd in secties van 45 m zal de tijd dat de constructie blootgesteld wordt aan de golfaanval kleiner zijn, en dus zal de overschrijdingskans van een bepaald schadeniveau lager zijn.

De werkelijke kans op schade is ongeveer gelijk aan de berekende faalkans gedeeld door het aantal weken dat de betreffende periode telt, vermenigvuldigd met het aantal weken dat de constructie blootgesteld wordt in deze periode. Met de overschrijdingskans van verschillende schadeniveaus ligt de verdelingsfunctie van de schade vast.

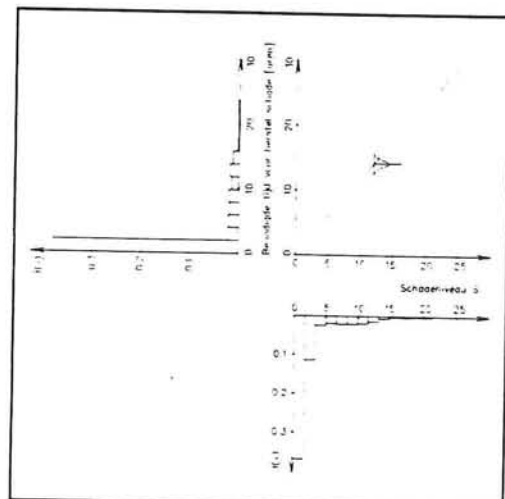
Het optreden van schade aan de golfbreker heeft invloed op de materiaalkosten en de materieelkosten. Het materiaal dat weggeslagen is door golfaanval zal opnieuw moeten worden gekocht, bovendien zal het herstel van schade een verlenging van de projectduur tot gevolg hebben.

Voor de berekening van de verlenging van de projectduur is aangenomen dat schade wordt hersteld met behulp van een landkraan. Afhankelijk van de grootte van het geërodeerde gebied kan de tijd worden berekend die nodig is om de schade te herstellen.

Verder wordt aangenomen dat bij een schadeniveau $S < 2$ geen herstelwerkzaamheden hoeven te worden verricht.

Als voorbeeld is in figuur 9.6 met behulp van simulatie uit een fictieve dichtheidsfunctie voor de schade de resulterende dichtheidsfunctie voor de tijdsduur van herstel bepaald.

Op een zelfde manier kan de k.d.f. voor de extra materiaalkosten worden bepaald. Ook voor het bepalen van het risico van schade tijdens de bouw moet dus gebruik worden gemaakt van een Monte Carlo simulatie.



Figuur 9.6: Bepaling van k.d.f. van extra tijd die nodig is om schade tijdens de bouw te herstellen

9.5 Eerste raming voor statisch stabiele golfbreker

In deze paragraaf wordt een eerste kostenraming van de statisch stabiele golfbreker gemaakt. De verschillende elementen voor het opbouwen van de kostenraming, zoals hiervoor besproken, worden hierna ingevuld voor het ontwerp van de statisch stabiele golfbreker.

9.5.1 Materiaalkosten

Het dwarsprofiel van het golfbrekerontwerp is in belangrijke mate bepalend voor de mogelijke uitvoeringsmethode. Wanneer een bepaalde uitvoeringswijze veel voordelen biedt, maar niet zondermeer toegepast kan worden op het gegeven ontwerp, wordt soms voorgesteld om het ontwerp van de opdrachtgever ten behoeve van de uitvoering enigszins aan te passen. Een eventuele aanpassing heeft natuurlijk invloed op de totaal benodigde hoeveelheid materiaal.

Voor deze eerste kostenraming wordt aangenomen dat de golfbreker precies zo gemaakt kan worden als het aangegeven ontwerp.

In paragraaf 9.1 is berekend dat de materiaal kosten in dat geval zijn:

$$\mu(\text{materiaal}) = f \ 25.885.318$$

$$\sigma(\text{materiaal}) = f \ 1.517.455$$

9.5.2 Uitvoeringsmethode en materieelinzet

In hoofdstuk 7 zijn verschillende uitvoeringsmethoden beschreven.

Voor deze kostenraming wordt het gedeelte dat onder water nauwkeurig gestort moet worden uitgevoerd door een zijlosser. De zijlosser wordt dus gebruikt voor het storten van de kaden van het kernmateriaal en de filterlagen.

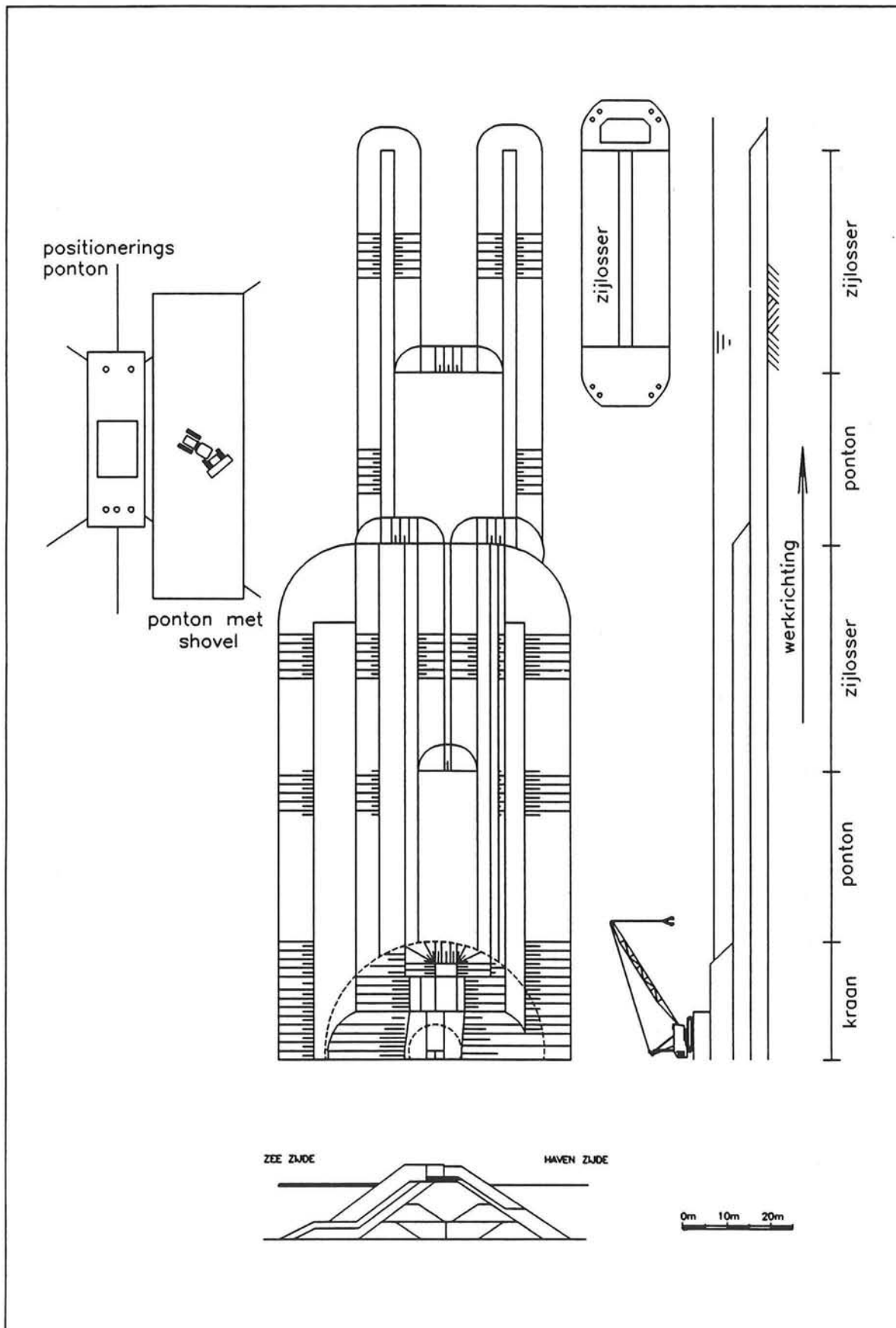
De rest van het kernmateriaal onder water wordt gestort vanaf een ponton waarop een shovel rijdt die het materiaal overboord duwt.

Voor het gedeelte van de golfbreker waarvoor geen gebruik van stortschepen gemaakt kan worden, wordt een landkraan die op de golfbreker staat gebruikt.

De werkvolgorde van de uitvoeringsmethode is op de volgende bladzijde in bovenaanzicht weergegeven.

De benodigde materieelinzet voor de verschillende uitvoeringsmethoden is opgesomd in hoofdstuk 7. Omdat, zoals later uit de globale tijdplanning zal blijken, niet al het materieel continu wordt ingezet is de totale materieelinzet lager dan die van de som van de drie uitvoeringsmethoden apart. Wanneer de zijlosser stil ligt, kunnen de vrachtwagens die normaal de zijlosser laden bijvoorbeeld gebruikt worden om een ponton te laden.

Bovendien is, voor de uitvoeringsmethode waarbij de landkraan op de golfbreker gebruikt wordt, in hoofdstuk 7 gewerkt met twee pontons die ombeurten materiaal voor de kraan aanleveren. De bijbehorende produktie die hierdoor voor de landkraan ontstaat is erg hoog en zal vaak niet kunnen worden gehaald. Een oorzaak hiervan is dat vaak eerst het materiaal snel gelost wordt vanaf het ponton op de kruin van de golfbreker. Als het ponton een nieuwe lading materiaal aan het halen is zal de kraan het materiaal precies gaan plaatsen. Om deze reden is voor de produktiesnelheid van de kraan de waarde aangehouden uit bijlage 7.1 en niet een twee maal zo grote waarde zoals in hoofdstuk 7 eerder was voorgesteld.



Figuur 9.7: Uitvoeringsplan statisch stabiele golfbreker

De gekozen materieelinzet met de bijbehorende kosten is weergegeven in tabel 9.6.

Materieelkosten									
	Hoeveelheid	Prijs	Subtotaal	Totaal	vc hoefv	vc prijs	afhank	sigma tot	vc totaal
Materieel									
- shovel	11 stk	11.984 f/wk	131.821		0,000	0,092	0,356		
- vrachtwagen	26 stk	13.083 f/wk	340.158		0,000	0,069	0,517		
- ponton (70*20 m)	2 stk	27.300 f/wk	54.600		0,000	0,035	0,089		
- positioneringsponton	1 stk	29.411 f/wk	29.411		0,000	0,058	0,578		
- laad-ponton	1 stk	3.476 f/wk	3.476		0,000	0,095	0,479		
- sleepboot	2 stk	54.163 f/wk	108.326		0,000	0,094	0,825		
- supply boot	1 stk	54.163 f/wk	54.163		0,000	0,094	0,712		
- zijlosser	1 stk	127.797 f/wk	127.797		0,000	0,073	0,377		
- kraan (Matitowoc 4100W)	2 stk	33.881 f/wk	67.763		0,000	0,067	0,435		
- surveyboot (incl. app.)	1 stk	32.316 f/wk	32.316		0,000	0,061	0,712		
				f949.830				f44.976	0,047

Tabel 9.6: Materieelkosten per week voor de gekozen uitvoeringsmethode

De meest optimale materieelinzet wordt verkregen door het nauwkeurig afstemmen van de verschillende cycli op elkaar. Hiervoor is het nodig om een totale planning te maken van het hele werk, omdat per periode de werkbaarheid voor verschillende materieeltypen anders is. Omdat dit veel tijd kost en niet zoveel invloed heeft op de uiteindelijke afweging doordat voor alle kostenramingen een zelfde globale benadering wordt gebruikt, is dit hier achterwege gelaten.

9.5.3 Bepaling van de totale projecttijd

Voor de gekozen uitvoeringsmethode kan per activiteit (zie nummering uit figuur 8.1) de tijdsduur in de verschillende perioden worden berekend. De rekenresultaten zijn weergegeven in tabel 9.7.

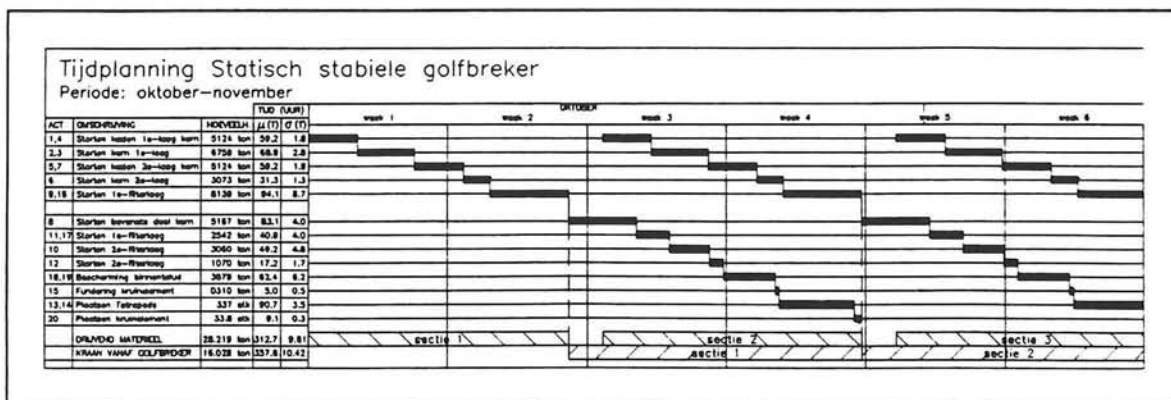
activiteit	materieel	materiaal		oktober-november		december-februari		maart-april	
		u(H)	sig(H)	u(T) uur	sig(T)	u(T) uur	sig(T)	u(T) uur	sig(T)
(1,4)	zijlosser	5.124	156 ton	59,2	1,9	27,9	0,9	37,8	1,2
(2,3)	ponton	6.759	206 ton	68,9	2,8	55,9	2,3	53,0	2,1
(5,7)	zijlosser	5.124	156 ton	59,2	1,9	27,9	0,9	37,8	1,2
(6)	ponton	3.073	93 ton	31,3	1,3	25,4	1,0	28,9	1,2
(9,16)	zijlosser	8.139	744 ton	94,1	8,7	44,3	4,1	60,0	5,5
(8)	kraan	5.167	157 ton	83,1	4,0	70,6	3,4	74,8	3,6
(11,17)	kraan	2.542	232 ton	40,9	4,0	34,7	3,4	36,8	3,6
(10)	kraan	3.060	279 ton	49,2	4,8	41,8	4,1	44,3	4,4
(12)	kraan	1.070	97 ton	17,2	1,7	14,6	1,4	15,5	1,5
(18,19)	kraan	3.879	355 ton	62,4	6,2	53,0	5,2	56,2	5,5
(15)	kraan	310	28 ton	5,0	0,5	4,2	0,4	5,0	0,5
(13,14)	kraan	337	4 stk	90,7	3,5	77,0	2,9	81,7	3,1
(20)	kraan	34	0,4 stk	9,1	0,3	7,7	0,3	8,2	0,3
onderwaterdeel				1,861	0,057	1,080	0,030	1,295	0,037
bovenwaterdeel				2,129	0,062	1,807	0,052	1,920	0,056
TOTAAL				670,3	14,2	485,0	10,1	540,0	11,3

Tabel 9.7: Tijdsduur voor verschillende activiteiten

Op basis van deze tabel kan het begin van de planning voor de periode oktober-november worden opgezet (zie figuur 9.7).

Boven in de planning is per groep van activiteiten de tijdsduur weergegeven. Deze informatie is nodig om de schade in een bepaalde periode te kunnen bepalen. Onderin de planning zijn de delen die onder water en de delen die boven water gemaakt worden samengevoegd.

Het blijkt dat het deel dat boven water gemaakt wordt maatgevend is voor de totale cyclus.



Figuur 9.7: Tijdplanning uitvoering statisch stabiele golfbreker

Bij het maken van de kostenramingen is ervan uitgegaan dat in de zuidwest moesson periode niet gewerkt wordt en dat het dwarsprofiel van de golfbreker, over de gereed gekomen lengte, volledig afgebouwd is.

In dit geval is het niet handig om het drijvend materieel verder vooruit te laten werken ten opzichte van de kritieke landkraan omdat dan alleen de kans op schade groter wordt.

Zoals uit de planning blijkt is in elke periode de kraan maatgevend. Uitgaande van de tijdsduur die de kraan in de verschillende perioden nodig heeft om een sectie te bouwen kan worden uitgerekend hoeveel secties gemiddeld in elk van de perioden gebouwd kunnen worden.

Oktober–november (8.71 weken)

onderwaterdeel $\mu(T) = 1,86$ wk, $\sigma(T) = 0,057$ wk

bovenwaterdeel $\mu(T) = 2,13$ wk, $\sigma(T) = 0,062$ wk

$\mu(\text{aantal secties}) = (8,71 - 1,86) / 2,13 = 3,22$ secties/periode

$\sigma(\text{aantal secties}) = \sqrt{(-1/2,13 * 0,057)^2 + (-(8,71 - 1,86) / 2,13^2 * 0,062)^2}$

$\sigma(\text{aantal secties}) = 0,097$ secties/periode

December–februari (12.86 weken)

bovenwaterdeel $\mu(T) = 1,81$ wk, $\sigma(T) = 0,052$ wk

$\mu(\text{aantal secties}) = (12,86) / 1,81 = 7,10$ secties/periode

$\sigma(\text{aantal secties}) = \sqrt{(-12,86 / 1,81^2 * 0,052)^2} = 0,204$ secties/periode

Maart–april (8.71 weken)

bovenwaterdeel $\mu(T) = 1,92$ wk, $\sigma(T) = 0,056$ wk

$\mu(\text{aantal secties}) = (8,71) / 1,92 = 4,54$ secties/periode

$\sigma(\text{aantal secties}) = \sqrt{(-8,71 / 1,92^2 * 0,056)^2} = 0,132$ secties/periode

jaar	periode	aantal secties	cumulatief aantal secties
1e jaar	oktober–november	3,22	3,22
	december–februari	7,10	10,32
	maart–april	4,54	14,86
2e jaar	oktober–november	3,22	18,08
	december–februari	7,10	25,18
	maart–april	0,82	26,00

Tabel 9.8: aantal secties dat per periode gemiddeld wordt gebouwd

Wanneer het werk start direct na de zuidwest moessonperiode kan berekend worden hoeveel secties gemiddeld in de verschillende perioden gemaakt zullen worden. Via het aantal te maken secties per periode en de bouwtijd per sectie kan dan de totale projecttijd worden bepaald (zie tabel 9.9).

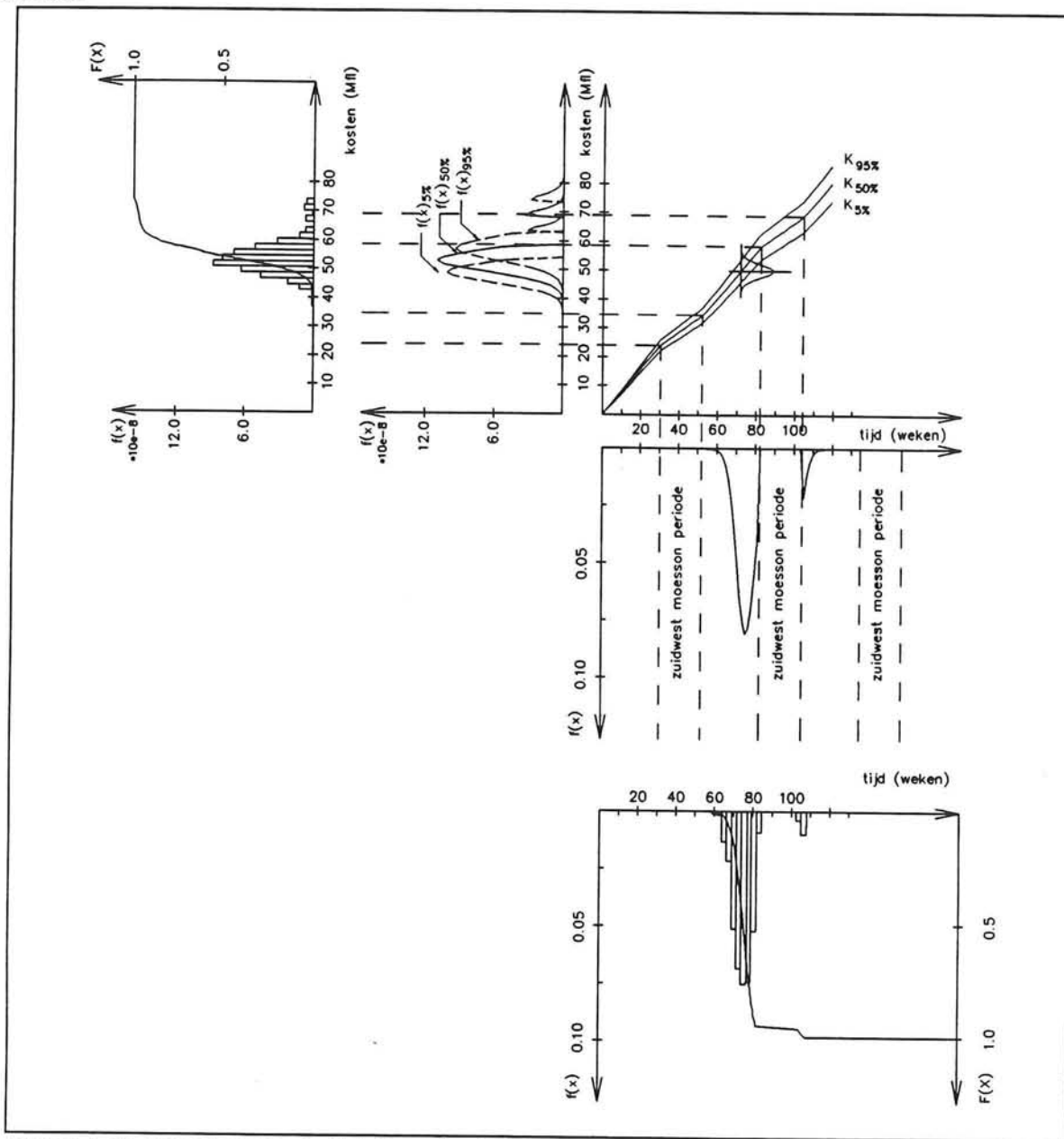
periode	aantal secties		bouwtijd per sectie (wk)		totale tijd (wk)	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
okt-nov	2,00	0,00	1,86	0,098	3,72	0,23
	6,44	0,19	2,13	0,149	13,72	1,04
dec-feb	14,20	0,41	1,81	0,126	25,70	1,94
mar-apr	5,36	0,16	1,92	0,134	10,29	0,72
mei-sep	1,00	0,00	21,86	0,00	21,86	0,00
					75,29	3,92

Tabel 9.9: Schatting van de totale bouwtijd

9.5.4 Bepaling van de totale materieelkosten

De materieelkosten, waaronder hier dus alle tijdgebonden kosten vallen, volgen nu uit het produkt van de weekkosten en de projecttijd.

Figuur 9.9 illustreert de berekening van de k.d.f. van de totale materieelkosten.



Figuur 9.9: Bepaling van de totale materieelkosten

Zoals eerder beschreven is de k.d.f. van de tijdsduur afgekapt in de moesson perioden (2e grafiek van onder). Voor de relatie tussen materieelkosten en de projecttijd zijn lijnen getekend met een 5%, 50% en 95% onderschrijdingskans (grafiek rechtsboven). Aan de hand van deze drie lijnen kunnen drie kansdichtheidsfuncties voor de totale materieelkosten worden bepaald (2e grafiek van links, bovenin).

Een exacte verdeling van de materieelkosten wordt gevonden door een Monte Carlo simulatie. De grafiek rechtsonder geeft een histogram en de verdelingsfunctie de tijdsduur. De grafiek linksboven geeft een histogram en de verdelingsfunctie van de uiteindelijke kosten.

9.5.5 Bepaling van het schade risico tijdens de bouw

Om de kans op schade in de verschillende bouwstadia te berekenen moet de tijdsduur berekend worden dat de constructie, in een bouwstadium en een bepaalde periode, blootgesteld wordt aan golfaanval. Deze tijdsduur volgt voor de vijf bouwstadia (zie bijlage 6.9) uit tabel 9.7 en is in tabel 9.10 weergegeven.

	van activiteit tot activiteit	oktober-november		december-februari		maart-april	
		μ (wk)	σ (wk)	μ (wk)	σ (wk)	μ (wk)	σ (wk)
situatie 1	(1,4)-(5,7)	1,11	0,02	0,67	0,02	0,77	0,02
situatie 2	(5,7)-(9,16)	1,09	0,05	0,58	0,03	0,75	0,03
situatie 3	(9,16)-(8)	0,75	0,05	0,41	0,03	0,52	0,03
situatie 4	(8)-(11,17)	0,74	0,03	0,63	0,02	0,66	0,03
situatie 5	(11,17)-(12)	0,64	0,04	0,54	0,03	0,57	0,04

Tabel 9.10: Tijdsduur dat een situatie blootgesteld wordt aan golfaanval

Met deze gegevens kan, zoals in paragraaf 9.4 beschreven, de verdelingsfunctie van de schade worden berekend. Met behulp van simulatie kan nu de benodigde extra tijd en kosten worden berekend.

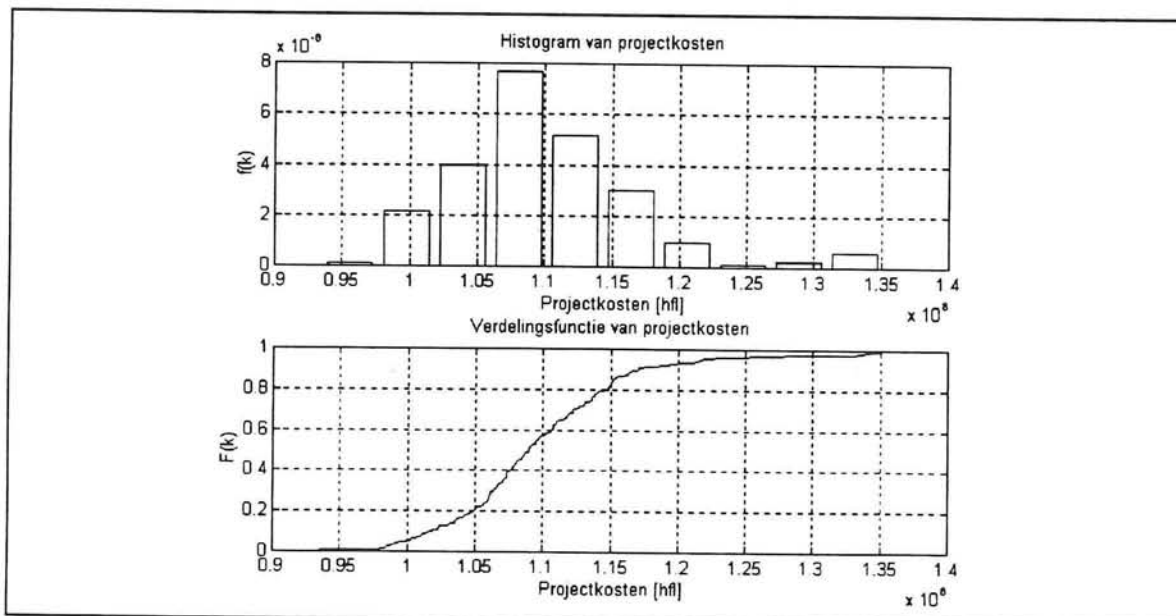
9.5.6 Monte Carlo simulatie eerste raming statisch stabiele golfbreker

De uiteindelijke begroting is gemaakt door een Monte Carlo simulatie uit te voeren. In het computerprogramma 'MATLAB' is model gemaakt dat uit de afzonderlijke verdelingen, zoals hierboven beschreven, steeds een trekking doet en daarna het uiteindelijke ramingsbedrag berekend. In bijlage 9.1 is het 'MATLAB' programma opgenomen.

Een samenvatting van de rekenresultaten welke het gemiddelde en de standaardafwijking bij 200 trekkingen aangeeft is gegeven in tabel 9.11. Figuur 9.10 geeft een histogram en de verdelingsfunctie van de totale projectkosten weer.

POST	GEMIDDELDE	STANDAARDAFWIJKING
materiaalkosten	26.015.000	1.426.000
(de)mobilisatie kosten	10.009.000	951.000
materieelkosten	53.441.000	5.208.000
	+	
DIRECTE KOSTEN	89.465.000	5.565.000
	+	
indirecte kosten	11.183.000	656.000
	+	
PRIMAIRE KOSTEN	100.650.000	6.261.000
	+	
overheadkosten:		
- algemene kosten	6.542.000	407.000
- renteverliezen en verzekering	2.516.000	157.000
	+	
BASISRAMING	109.710.000	6.824.000
	+	
risico:		
- verlenging projecttijd	141.000	803.000
- extra benodigd materiaal	2.000	5.511
	+	
RAMING	109.850.000	6.921.000

Tabel 9.11: Eerste kostenraming voor statisch stabiele golfbreker



Figuur 9.10: Histogram en verdelingsfunctie eerste kostenraming statisch stabiele golfbreker

Uit de verdelingsfunctie kan nu worden afgelezen wat de kans is dat de totale kosten lager zijn dan een bepaalde waarde.

Uit het histogram blijkt dat het 'gat' uit de k.d.f. van de tijdsduur niet geheel opgevuld wordt door de spreiding van andere posten. De uiteindelijke kosten mogen hierdoor niet normaal verdeeld worden verondersteld.

Bij de kostenramingen in dit hoofdstuk zijn de volgende vereenvoudigingen van de werkelijkheid toegepast.

1. De hele golfbreker is berekend met een karakteristiek dwarsprofiel over de 26 secties (1170m). In werkelijkheid zullen vaak verschillende dwarsprofielen gebruikt worden in verband met de ongelijke bodemligging.
2. De uiteinden van de golfbrekers hebben een afwijkend ontwerp, bestaande uit een zwaardere constructie omdat hier de belasting door golfaanval groter is. Het maken van deze uiteinden is niet verwerkt in de kostenafwegingen.
3. Wanneer de gehele golfbreker niet gereed is voor een moesson periode zal een tijdelijke constructie moeten worden gemaakt om de golfbreker aan de uiteinden te beschermen. Bij de verwachte bouwtijd van ongeveer 76 weken moet dit zeker 1 keer gebeuren en misschien 2 keer. Deze extra kosten zijn niet in de begrotingen opgenomen.

Verwacht wordt dat de invloed van bovenstaande vereenvoudigingen gering zijn op de vergelijking tussen de twee typen golfbrekers.

Verder wordt nog opgemerkt dat de raming exclusief overige risico's en winst voor de bouwondernemer is.

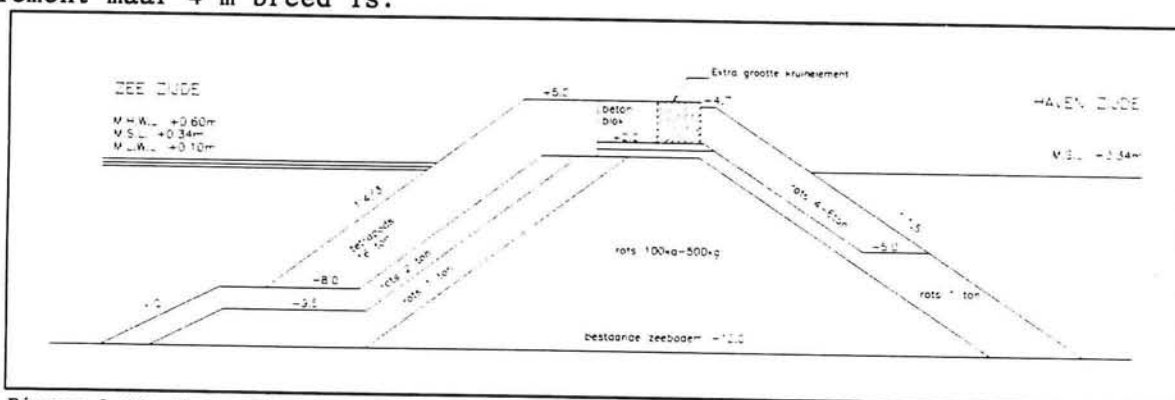
9.6 Tweede raming voor statisch stabiele golfbreker

In paragraaf 9.5 is een eerste kostenraming gemaakt voor de statisch stabiele golfbreker. Uit de tijdplanning blijkt dat het materieel, voor het storten van het onderwatergedeelte, niet continu kan doorwerken.

De toegepaste methode voor het storten van het onderwatergedeelte met een zijlosser (voor nauwkeurig te storten onderdelen), en een ponton (voor overige onderdelen) is een veel toegepaste methode. Deze methode is echter alleen zinvol als beide stortmethoden ook tegelijkertijd plaats kunnen vinden.

Op zich is de tijdsduur dat het materieel stil ligt tussen het maken van twee secties nog wel aanvaardbaar, maar doordat na elkaar een gedeelte vanaf een ponton en een ander gedeelte van een zijlosser wordt gestort neemt de tijd dat het stortmaterieel stil ligt nog verder toe. Bij deze tweede kostenraming is daarom gekozen om het hele onderwaterprofiel te storten met een zijlosser.

Verder is voor de eerste kostenraming ervan uitgegaan dat het dwarsprofiel precies zo gemaakt wordt als in het ontwerp is aangegeven. De landkraan, die in verband met de werkbaarheid op het betonnen kruinelement van de golfbreker staat, heeft echter een breedte van 6,43 m, terwijl het kruinelement maar 4 m breed is.



Figuur 9.11: Vergroting van kruinelement voor de uitvoering

Om mogelijk te maken dat de kraan op de golfbreker kan staan moet het kruinelement verbreed worden van 4 m, het oorspronkelijke ontwerp, naar 7 m. Hierdoor is meer beton nodig voor het kruinelement en is minder breuksteen 4-6 ton nodig.

Samenvattend zijn de wijzigingen van de tweede kostenraming ten opzichte van de eerste raming:

1. Het onderwaterdeel wordt geheel met een zijlosser gestort.
2. Het kruinelement wordt verbreed van 4 naar 7 m.

Volgens dezelfde procedure als gebruikt in paragraaf 9.5 wordt nu de tweede kostenraming voor de golfbreker gemaakt. De berekening van de invoergegevens zijn samengevat in bijlage 9.2. Een samenvatting van de posten is opgenomen in tabel 9.12.

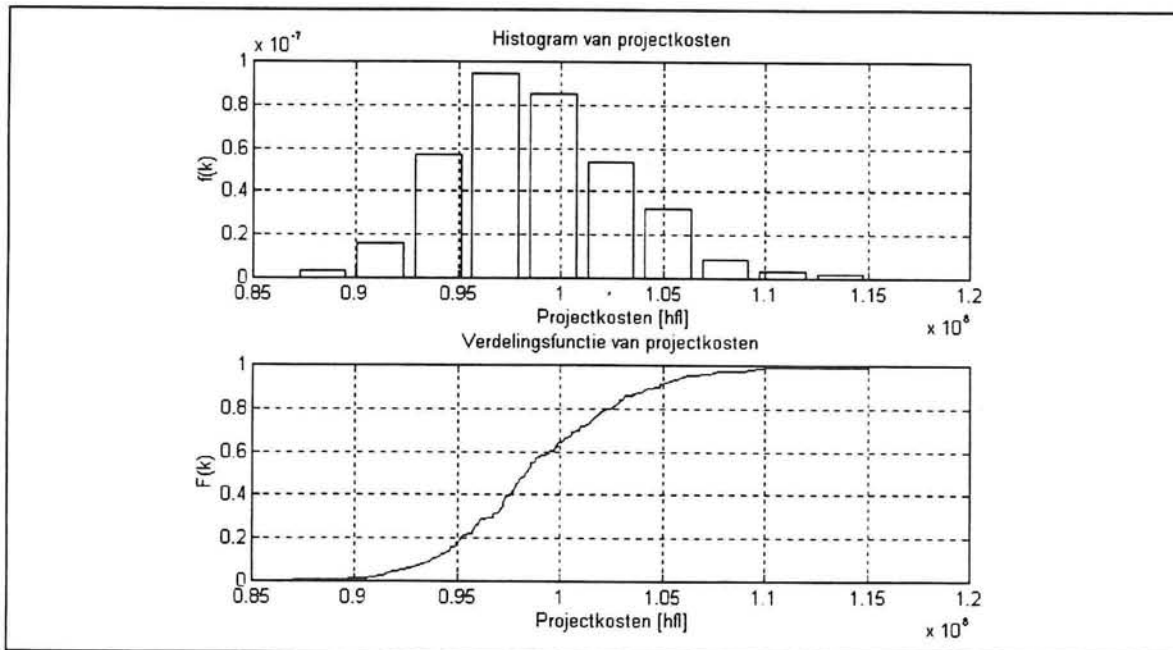
POST	GEMIDDELDE	STANDAARDAFWIJKING
materiaalkosten	27.697.790 f	1.574.823 f
materieelkosten	762.657 f/wk	36.300 f/wk
projecttijd	75,26 wk	2,64 wk

Tabel 9.12: Invoergegevens tweede kostenraming statisch stabiele golfbreker

De resultaten van de Monte Carlo simulatie van de begroting zijn op de volgende bladzijde weergegeven.

POST	GEMIDDELDE	STANDAARDAFWIJKING
materiaalkosten	27.680.000	1.421.000
(de)mobilisatie kosten	10.063.000	997.000
materieelkosten	42.767.000	2.927.000
	+	
DIRECTE KOSTEN	80.511.000	3.477.000
	+	
indirecte kosten	10.064.000	435.000
	+	
PRIMAIRE KOSTEN	90.575.000	3.921.000
	+	
overheadkosten:		
- algemene kosten	5.887.000	254.000
- renteverliezen en verzekering	2.264.000	98.000
	+	
BASISRAMING	98.727.000	4.264.000
	+	
risico:		
- verlenging projecttijd	97.000	587.000
- extra benodigd materiaal	2.000	5.000
	+	
RAMING	98.826.000	4.317.000

Tabel 9.13: Tweede kostenraming voor statisch stabiele golfbreker



Figuur 9.12: Histogram en verdelingsfunctie tweede kostenraming statisch stabiele golfbreker

9.7 Vergelijking van de kostenramingen voor de statisch stabiele golfbreker

Materiaalkosten

Ten opzichte van de eerste kostenraming zijn de materiaalkosten met ongeveer 1 miljoen gulden gestegen. De reden hiervan is dat de kosten voor het grotere betonnenkruinelement in de tweede raming veel hoger zijn dan de kostenreductie die optreedt voor het volume rots 4-6 ton.

Projecttijd en materieelkosten

Door het hele onderwaterdeel met een zijlosser te storten verandert de totale projecttijd nauwelijks. Dit komt omdat het ponton en de zijlosser eerst na elkaar werkten, terwijl de zijlosser nu continu door kan werken. De spreiding van de projecttijd, bij de tweede uitvoeringsmethode, is wel kleiner omdat de spreiding van de capaciteit van een zijlosser kleiner is dan die van een ponton.

Doordat de wekkosten van de totaal benodigde materieelset lager zijn, zijn in de tweede kostenraming de materieelkosten 11 miljoen gulden lager, ook de standaardafwijking verandert van 5,2 naar 2,9 miljoen gulden.

Extra kosten door schade tijdens de bouw

De lagere kosten voor de totaal benodigde materieelset hebben ook invloed op de kosten voor het risico op schade tijdens de bouw. De kosten voor het extra benodigde materiaal is in beide ramingen ongeveer gelijk, wat logisch is omdat de projecttijd niet verandert en dus de kans op schade even groot is. Door de lagere kosten voor de totale materieelset heeft de verlenging van de projectduur op de schadekansen minder effect in de tweede raming dan in de eerste raming.

Gezien de uitgangspunten voor de tweede kostenraming is deze een reëlere raming van de kosten dan de eerste raming.

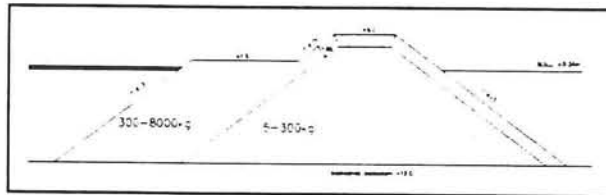
9.8 Eerste raming voor bermgolfbreker

Bij deze eerste raming voor de kosten van de bermgolfbreker wordt het onderwaterdeel van de golfbreker volledig gestort met een zijlosser. Het gedeelte boven water wordt gestort met behulp van een landkraan die op de golfbreker staat.

Voor de werkbaarheid van de landkraan is het belangrijk dat de kraan geplaatst is bovenop de uiteindelijke kruin van de golfbreker. In de eindsituatie bestaat de kruin echter uit de fractie 300-8000 kg. Vooral de blokken groter dan 2 ton maken het voor een rupskraan onmogelijk om hier overheen te rijden.

Daarom wordt eerst de kruinhoogte van 5.0 m+ gemaakt met het kernmateriaal (5-300 kg) waarop de kraan wel kan rijden.

Wanneer de kraan verplaatst wordt, zal het kernmateriaal worden vervangen door de fractie 300-8000 kg.



Figuur 9.13: Extra te verplaatsen materiaal

Door deze uitvoeringsmethode moet de landkraan dus twee maal de hoeveelheid van de tijdelijke kruin extra verwerken, eerst om het materiaal te storten en daarna om het te verwijderen.

In bijlage 9.3 zijn de invoergegevens voor deze kostenraming weergegeven, een samenvatting hiervan is opgenomen in tabel 9.14.

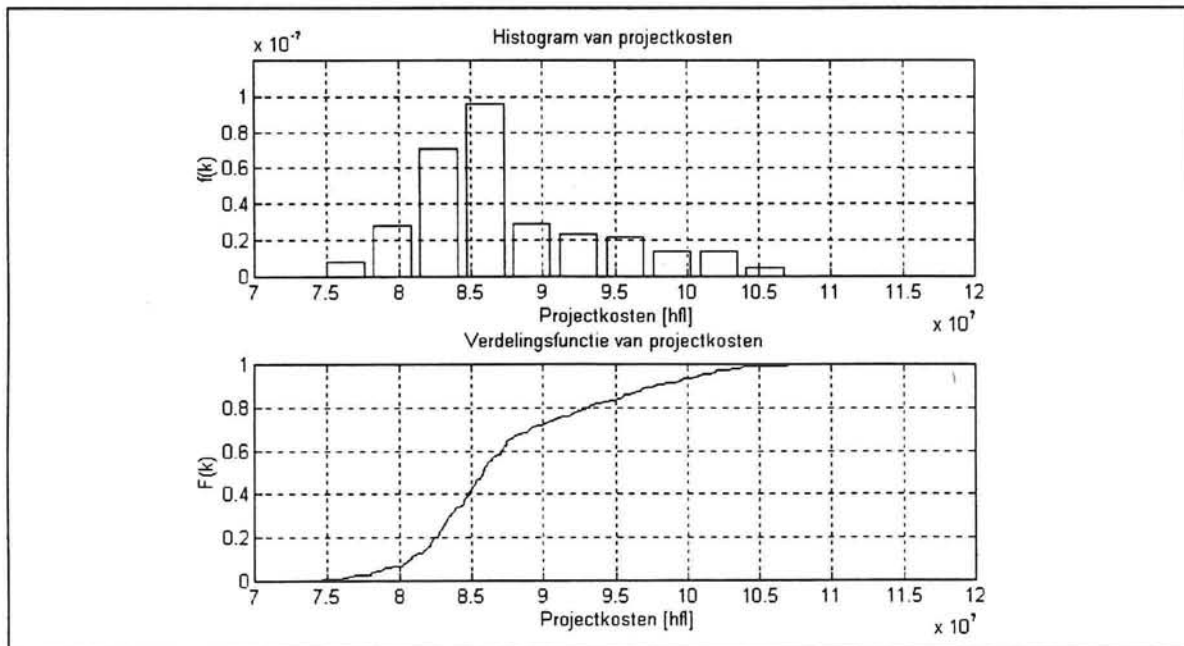
POST	GEMIDDELDE	STANDAARDAFWIJKING
materiaalkosten	13.182.908 f	1.000.513 f
materieelkosten	762.657 f/wk	36.300 f/wk
projecttijd	79,71 wk	2,42 wk

Tabel 9.14: Invoergegevens eerste kostenraming bermgolfbreker

De rekenresultaten van de Monte Carlo simulatie van deze begroting zijn op de volgende bladzijde weergegeven.

POST	GEMIDDELDE	STANDAARDAFWIJKING
materiaalkosten	13.247.000	1.003.000
(de)mobilisatie kosten	10.094.000	1.081.000
materieelkosten	46.902.000	4.974.000
	+ _____	
DIRECTE KOSTEN	70.243.000	5.139.000
	=====	
indirecte kosten	8.780.000	642.000
	+ _____	
PRIMAIRE KOSTEN	79.023.000	5.782.000
	=====	
overheadkosten:		
- algemene kosten	5.137.000	376.000
- renteverliezen en verzekering	1.976.000	145.000
	+ _____	
BASISRAMING	86.135.000	6.302.000
	=====	
risico:		
- verlenging projecttijd	1.340.000	2.860.000
- extra benodigd materiaal	14.000	12.000
	+ _____	
RAMING	87.489.000	6.524.000

Tabel 9.15: Eerste kostenraming voor bermgolfbreker



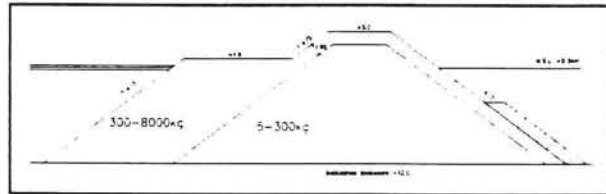
Figuur 9.14: Histogram en verdelingsfunctie, eerste raming bermgolfbreker

9.9 Tweede raming voor bermgolfbreker

De uitvoeringsmethode, welke gebruikt is bij de eerste raming van de bermgolfbreker, maakt voor het storten van het onderwatergedeelte gebruik van de relatief dure stortmethode met een zijlosser. Een zijlosser kan nauwkeurig storten, maar deze nauwkeurigheid is echter alleen nodig voor de filterlaag aan het binnen talud. Voor het buitentalud, waar een zeer dikke beschermingslaag wordt aangebracht zullen geen hoge eisen gesteld worden aan de stortnauwkeurigheid.

Een goedkopere stortmethode is het storten vanaf een ponton. Bij deze uitvoeringsmethode is het echter moeilijk om de filterlaag van het binnentalud nauwkeurig te storten. Om toch te zorgen dat, bij het gebruik van de onnauwkeurigere stortmethode, toch een goed filter ontstaat kan de bekleding aan de havenzijde extra dik gemaakt worden. Voor de tweede raming is gekozen om de filterlaag van het binnen talud onder water twee maal zo dik te maken.

De keuze van deze uitvoeringsmethode heeft tot gevolg dat nu meer materiaal nodig is, maar een goedkopere stortprocedure gebruikt kan worden. De extra benodigde hoeveelheid materiaal is gearceerd in figuur 9.15.



Figuur 9.15: Extra te storten materiaal

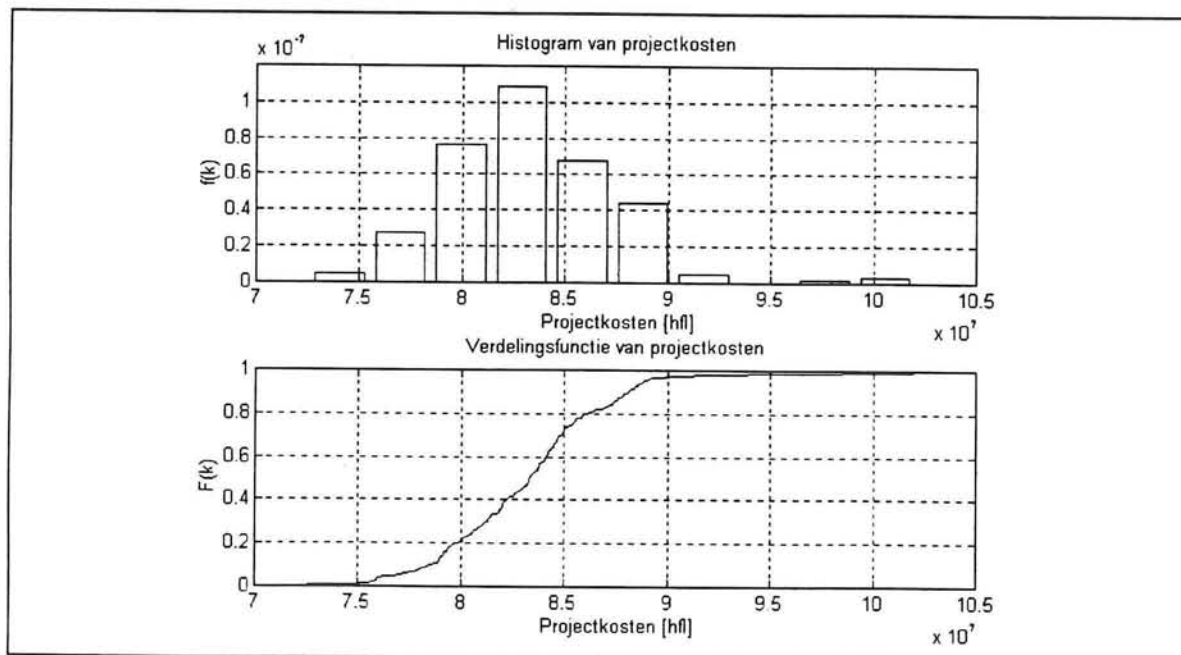
De invoergegevens voor deze kostenraming zijn opgenomen in bijlage 9.4, tabel 9.16 geeft een samenvatting van de resultaten.

POST	GEMIDDELDE	STANDAARDAFWIJKING
materiaalkosten	13.599.348 f	1.027.912 f
materieelkosten	785.571 f/wk	39.153 f/wk
projecttijd	75,70 wk	2,27 wk

Tabel 9.16: Invoergegevens tweede kostenraming bermgolfbreker

POST	GEMIDDELDE	STANDAARDAFWIJKING
materiaalkosten	13.471.000	1.009.000
(de)mobilisatie kosten	10.058.000	1.019.000
materieelkosten	43.922.000	2.600.000
	+ _____	
DIRECTE KOSTEN	67.452.000	2.951.000
	=====	
indirecte kosten	8.432.000	369.000
	+ _____	
PRIMAIRE KOSTEN	75.883.000	3.320.000
	=====	
overheadkosten:		
- algemene kosten	4.932.000	216.000
- renteverliezen en verzekering	1.897.000	83.000
	+ _____	
BASISRAMING	82.713.000	3.619.000
	=====	
risico:		
- verlenging projecttijd	528.000	1.404.000
- extra benodigd materiaal	9.000	10.000
	+ _____	
RAMING	83.249.000	4.076.000

Tabel 9.17: Tweede kostenraming voor bermgolfbreker



Figuur 9.16: Histogram en verdelingsfunctie van tweede raming bermgolfbreker

9.10 Vergelijking van de kostenramingen voor de dynamisch stabiele golfbreker

Materiaalkosten

De materiaalkosten in de tweede kostenraming zijn f 416.000,= hoger dan in de eerste kostenraming doordat een extra dikke filterlaag voor het binnentalud wordt gestort.

Projecttijd en materieelkosten

De materieelkosten per week zijn voor het storten met een ponton (2e kostenraming) hoger dan voor het storten met een zijlosser. De totale projecttijd voor het storten met een zijlosser is echter hoger. Dit komt omdat de werkbaarheid in de periode oktober-november voor de zijlosser erg laag is. Hierdoor wordt het storten van het onderwatergedeelte maatgevend in deze periode.

De langere projecttijd heeft tot gevolg dat de kans dat het werk voor de tweede moesson periode nog niet voltooid is toeneemt. Hierdoor neemt de spreiding in de totale projectkosten toe met bijna 3,5 miljoen gulden.

Extra kosten door schade tijdens de bouw

De langere uitvoeringstijd heeft een zeer grote invloed op de kans op schade tijdens de bouw.

Het verschil in de extra materiaalkosten is niet zo groot, f 14000,= in de eerste kostenraming en f 9000,= in de tweede kostenraming. De toename van de kosten die samenhangt met de verlenging van de projecttijd verschilt echter een factor twee voor de kostenramingen. In de eerste raming, waarbij de projecttijd gemiddeld vier weken langer is, zal het optreden van schade er vaker voor zorgen dat het werk pas in het derde jaar kan worden voltooid.

De kosten die gepaard gaan met het verlet dat moet worden gerekend over een extra moesson periode zorgen voor de verhoging van de kosten.

Omdat de tweede kostenraming de laagste uiteindelijke kosten en spreiding heeft is deze uitvoerings methode, waarin het onderwaterdeel wordt gestort vanaf een ponton en het bovenwaterdeel met een landkraan wordt gemaakt, het voordeligst.

9.11 Onderhoudskosten

Voor het maken van een kostenafweging tussen de twee golfbreker ontwerpen moet ook rekening gehouden worden met de te verwachten onderhoudskosten.

In bijlage 9.5 is een eerste aanzet gegeven voor het berekenen van onderhoudskosten. Voor een eerste globale opzet, bleek het onontkoombaar om hierbij verschillende aannamen en vereenvoudigingen te doen. De methode waarop de onderhoudskosten bepaald zijn, is daarom belangrijker dan de uiteindelijk berekende onderhoudskosten.



10. Vergelijking tussen een statisch en een dynamisch stabiele golfbreker

In de voorgaande hoofdstukken is aan de hand van een case-studie een probabilistische kostenraming gemaakt voor een statisch en een dynamisch stabiele golfbreker.

Het uitgangspunt bij het maken van beide ontwerpen is geweest dat de constructies ontworpen zijn voor dezelfde ontwerp omstandigheden. Voor beide golfbrekers is gekeken naar drie kostenfactoren, namelijk de materiaalkosten, de uitvoeringskosten en de kosten die het gevolg zijn van het optreden van schade aan de constructie tijdens de bouw. Hierna zijn deze drie kostenposten van de twee golfbrekers met elkaar vergeleken.

10.1 Materiaal kosten

Uit tabel 5.3 volgt dat voor de statisch stabiele golfbreker 1,74 keer meer rots gesprongen moet worden dan nodig is voor de bouw van deze golfbreker. Uit de opbrengst curven van de groeve volgt dat het niet mogelijk is om een statisch stabiele golfbreker volledig met breuksteen te maken, omdat te weinig zware stenen vrijkomen.

Voor de dynamisch stabiele golfbreker volgt uit tabel 5.6 dat de produktie in de groeve 1,18 maal groter moet zijn dan de benodigde hoeveelheid voor de golfbreker. Omdat voor de dynamisch stabiele golfbreker meer breuksteen nodig is, wordt het verschil in de hoeveelheid breuksteen die gesprongen moet worden enigszins gereduceerd.

In tabel 5.7 is weergegeven hoeveel breuksteen per strekkende meter golfbreker in totaal gewonnen moet worden. Het verschil tussen de twee ontwerpen, ongeveer 182.500 ton over de totale lengte van de golfbreker (1170 m), is in het voordeel van de dynamisch stabiele golfbreker.

	benodigde hoeveelheid breuksteen per m golfbreker (ton)	produktie factor	te springen per m golfbreker (ton)
statisch stabiele golfbreker	855	1,74	1488
dynamisch stabiele golfbreker	1129	1,18	1332

Tabel 10.1: Vergelijking totale hoeveelheid te winnen breuksteen

Een van de redenen dat voor de statisch stabiele golfbreker meer materiaal nodig is dan voor de dynamisch stabiele golfbreker, is dat het kernmateriaal voor eerste genoemde golfbreker volgens het bestek een ondergrens heeft van 100 kg. Bij de dynamisch stabiele golfbreker is als ondergrens van de fractie voor het kernmateriaal 5 kg gekozen.

Wanneer bij de statisch stabiele golfbreker ook voor de kern een fractie van 5-500 kg zou worden toegepast volgt een produktie factor van 1,5 (ook in dit geval is opbrengst curve 4 uit figuur 4.5 het gunstigst). De totale hoeveelheid benodigde breuksteen is dan voor beide ontwerpen nagenoeg gelijk.

Er is echter een goede reden om bij de statisch stabiele golfbreker een minder brede gradering voor het kernmateriaal toe te passen. Bij een statisch stabiele golfbreker worden dunne filterlagen toegepast van twee maal de nominale steendiameter. Om te voorkomen dat delen van de onderliggende laag door de filterlaag uitspoelen (grensvlak stabiliteit) mogen de gebruikte graderingen niet te breed zijn en moet de interne stabiliteit redelijk verzekerd zijn ($U < 10$).

Bij een dynamisch stabiele golfbreker is de buitenlaag vele malen dikker dan twee maal de nominale steendiameter waardoor de kans op uitspoelen van het kernmateriaal kleiner is.

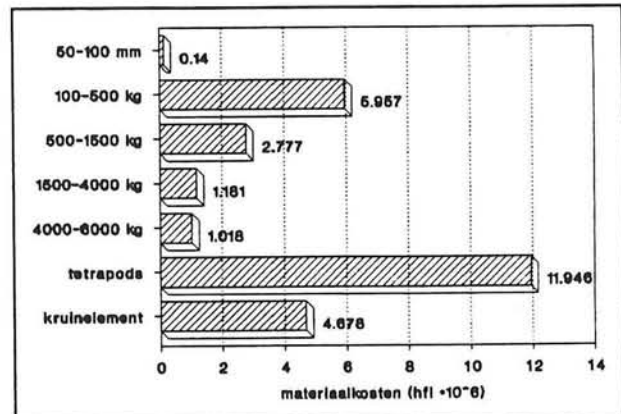
Wanneer de groeve alleen voor de bouw van de golfbreker gebruikt wordt zullen de kosten die het laten springen van extra materiaal met zich mee brengt direct bij de bouwkosten worden opgeteld.

Voor de kosten van het winnen van het materiaal uit de groeve, welke verwerkt zijn in de kostenramingen, is voor beide golfbrekers uitgegaan van dezelfde materiaalprijzen, waarvan een overzicht is gegeven in tabel 9.3. De materiaalprijzen voor breuksteen zijn dus niet vermenigvuldigd met een factor voor extra of aangepaste productie in de groeve.

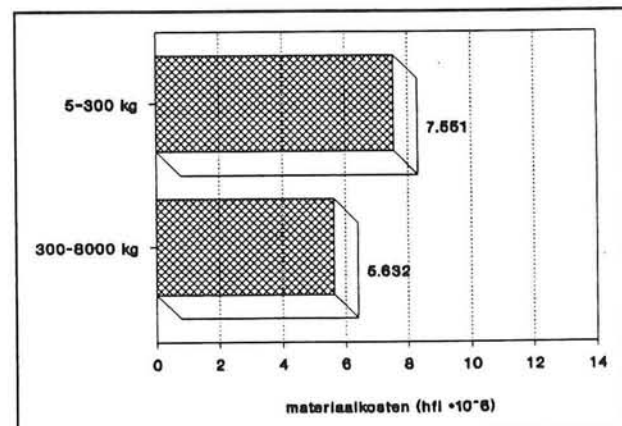
In figuur 10.1 zijn de kosten voor de verschillende onderdelen van de statisch stabiele golfbreker weergegeven. Uit de grafiek blijkt dat minder dan de helft van de materiaalkosten voor de statisch stabiele golfbreker bestaat uit de kosten voor breuksteen. De grootste post vormen de tetrapods met 12 miljoen gulden. Voor de kosten van de tetrapods is gerekend met een eenheidsprijs van f 200, =/m³, inclusief storten en levering in de haven.

Hoewel deze eenheidsprijs eerder aan de lage dan aan de hoge kant is vormen de kosten van de tetrapods dus een zeer belangrijke kostenpost in het ontwerp. Ook het betonnen kruinelement vormt een belangrijk deel van de kosten.

In figuur 10.2 zijn de kosten voor de fracties van de dynamisch stabiele golfbreker weergegeven. Voor deze golfbreker kan volstaan worden met twee fracties, bovendien kunnen veel bredere gradaties worden toegepast. Om deze twee redenen zal het winnen en sorteren in de groeve minder tijd vergen, waardoor de kosten om deze fracties te winnen lager zullen zijn dan bij de statisch stabiele golfbreker.



Figuur 10.1:
Materiaalkosten statisch stabiele golfbreker



Figuur 10.2:
Materiaalkosten dynamisch stabiele golfbreker

De totale materiaalkosten voor de statisch stabiele golfbreker bedragen f 27,7 miljoen terwijl de totale kosten voor de dynamisch stabiele golfbreker f 13,6 miljoen bedragen.

Het ontwerp van de dynamisch stabiele golfbreker is dus, wat betreft de materiaalkosten, goedkoper dan de statisch stabiele golfbreker.

10.2 Projecttijd en materieel kosten

Over het algemeen is het bouwen van een golfbreker vanaf het land goedkoper dan het bouwen met drijvend materieel. Omdat de golfbreker in Galle niet met de wal verbonden is, is uitvoering over het land buiten beschouwing gelaten. Mogelijkheden om toch vanuit het land uit te bouwen door een (tijdelijke) brug of langere golfbreker te maken zijn wel bedacht maar niet uitgewerkt.

Door lange deininggolven met een lage golfsteilheid, gemiddeld lager dan 1%, volgde een lage werkbaarheid voor het drijvend materieel. Het gebruik van drijvende kranen is door deze lage werkbaarheid niet toegepast. Voor het storten van het onderwatergedeelte is in de verschillende kostenramingen gebruik gemaakt van een zijlosser en een grote ponton.

Splijtbakken zijn niet gebruikt omdat deze meestal gebruikt worden om, samen met een stortschip dat in staat is nauwkeuriger te storten, een hoge produktie te halen. Omdat het deel dat boven water gestort moet worden door een kraan steeds maatgevend bleek, was verhoging van de produktie voor het onderwater te storten deel niet zinvol.

Voor de statisch stabiele golfbreker is voor het storten van het onderwatergedeelte gebruik gemaakt van een zijlosser. Dit type stortschip is als enige geschikt voor het storten van de relatief dunne filterlagen. De landkraan die op de golfbreker de elementen plaatst is maatgevend voor de werkvoortgang.

Het onderwaterdeel van de dynamisch stabiele golfbreker wordt gestort vanaf een ponton dat tijdens het storten afgemeerd is langs een positioneringsponton. Deze uitvoeringsmethode heeft een lagere stortnauwkeurigheid, maar gezien de dikkere filterlagen die toegepast worden is dit toelaatbaar.

Uit vergelijking van de bijbehorende projecttijd volgt, dat deze voor beide typen golfbrekers ongeveer even groot is en ruim 75 weken bedraagt. Ook de verwachte spreiding is nagenoeg gelijk.

Het plaatsen van de grote zware elementen (tetrapods, kruinelementen) neemt dus nagenoeg evenveel tijd in als het storten van meer kleiner materiaal (breuksteen).

In figuur 10.3 zijn voor de beide uitvoeringsmethoden de kosten van de totale materieelset opgesplitst in verschillende posten.

De grootste post wordt gevormd door onderhoud en reparatie van het materieel. Twee andere belangrijke kostenposten vormen afschrijving/rente en brandstof.

De lonen zijn voor lokaal personeel in Sri Lanka erg laag, het personeel op het dure gespecialiseerde materieel verdient een hoger salaris. De post verzekering van het materieel en de post overig, waaronder bijvoorbeeld nieuwe banden voor de shovels vallen, zijn klein.

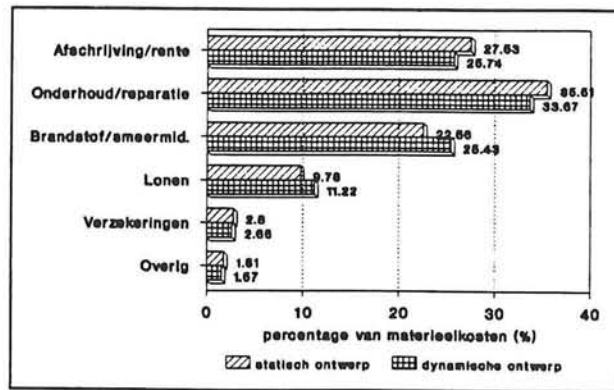
De verdeling van de materieelkosten per golfbreker over de verschillende kostenposten is, zoals uit figuur 10.3 blijkt bijna aan elkaar gelijk. De

post brandstof en smeermiddelen is voor de uitvoering van de dynamisch stabiele golfbreker hoger.

Dit komt doordat het ponton waarmee het onderwaterdeel gestort wordt verplaatst wordt met sleepboten die relatief veel brandstof verbruiken.

De uitvoeringskosten voor de dynamisch stabiele golfbreker bedragen ongeveer f 44 miljoen en voor de statisch stabiele golfbreker f 43 miljoen. De kosten voor de dynamisch stabiele golfbreker zijn wat

hoger omdat de weekkosten voor het materieel bij de uitvoeringsmethode waarbij gestort wordt met een ponton ongeveer f 20.000,= hoger zijn.



Figuur 10.3: Materieelkosten

10.3 Risico tijdens de bouw

Met behulp van probabilistische sterkte berekeningen is in hoofdstuk 6 de kans berekend dat schade optreedt in verschillende bouwstadia.

Als basis voor deze berekeningen zijn twee empirisch bepaalde formules gebruikt, voor een golfbreker die niet boven het water uitsteekt en voor een lage kruin golfbreker.

De rekenresultaten leverde deels onlogische resultaten op, doordat een stortsteen talud onderwater meer schade ondervond dan hetzelfde talud aan de wind/waterlijn.

Omdat de werkelijk optredende schade nog niet goed voorspeld kan worden moeten de berekende schade kosten gezien worden als een globale benadering.

Voor het opstellen van de probabilistische kostenramingen zijn per raming 200 trekkingen gedaan. Voor een nauwkeuriger schatting van de kosten moeten meer trekkingen worden gedaan, bijvoorbeeld 10.000. In verband met de langdurige rekentijd die hierbij hoort, is dit achterwege gelaten.

Omdat de kans dat schade optreedt klein is, zal het effect van het lage aantal trekkingen hierop sterker van invloed zijn dan op de overige posten.

Voor beide typen golfbrekers valt op dat het gemiddelde van de kosten voor het extra benodigde materiaal om schade te herstellen tijdens de bouw laag is. Voor de statisch stabiele golfbreker gemiddeld f 2000,= (125 ton breuksteen) en voor de dynamisch stabiele golfbreker gemiddeld f 9000,= (560 ton breuksteen). Omdat de kans op schade klein is, is de standaardafwijking groot ten opzichte van het gemiddelde.

Het grootste aandeel van de kans op schade tijdens de bouw wordt echter gevonden in de vertraging die het project ondervindt door herstelwerkzaamheden. De gemiddelde kosten van de verlenging van de projecttijd bedragen voor de statisch stabiele golfbreker f 97.000,= met een standaardafwijking van f 587.000,=. Voor de dynamisch stabiele golfbreker zijn de gemiddelde kosten f 528.000,= met een standaardafwijking van f 1.404.000,=.

Voor deze 'bijzondere gebeurtenissen' waarvan de kans van optreden klein is, maar de gevolgen groot zijn, is de standaardafwijking dus aanmerkelijk groter dan het gemiddelde!

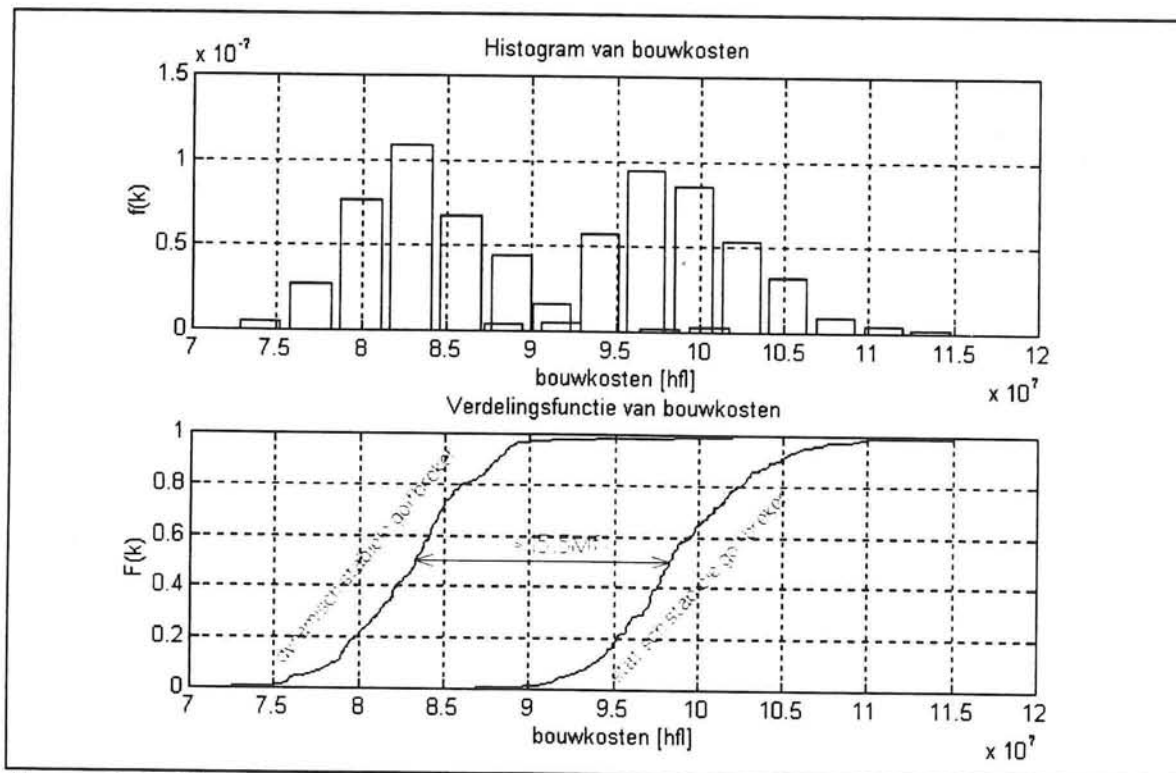
Bij de dynamisch stabiele golfbreker is het dus waarschijnlijk dat meer schade optreedt tijdens de bouw. Dit is logisch omdat het kernmateriaal van deze constructie uit lichter materiaal bestaat.

Omdat de projecttijd en de bijbehorende spreiding voor beide typen golfbrekers ongeveer even groot zijn, maar de kans op schade (en dus verlenging van de projecttijd) voor de dynamisch stabiele golfbreker groter is, is de kans dat het werk langer duurt in het laatste geval groter.

Een langere projecttijd heeft in dit geval tot gevolg dat de kans dat het werk pas afgerond kan worden na een tweede moesson periode groter wordt. Dit geeft aanzienlijke extra kosten omdat dan voor de totale materieelset 21 weken extra verletkosten betaald moeten worden.

10.4 Totale bouwkosten

De gemiddelde prijs voor de dynamisch stabiele golfbreker is ongeveer f 15,5 miljoen gulden (15%) lager dan van de statisch stabiele golfbreker. Door een grotere spreiding in de materiaalkosten en de materieelkosten en een lagere spreiding in de schade kosten blijkt de uiteindelijke spreiding in de totale kosten voor de statisch stabiele golfbreker iets groter te zijn dan die van de dynamisch stabiele golfbreker.



Figuur 10.4: Histogram en verdelingsfunctie van de totale kosten voor de golfbrekers

In figuur 10.4 is het histogram en de verdelingsfunctie van de totale kosten voor beide golfbrekers weergegeven. In beide grafieken zijn horizontaal de totale bouwkosten uitgezet. In een histogram is de oppervlakte onder een kolom gelijk aan de kans op de bijbehorende projectkosten. Omdat de som van alle kansen gelijk aan 1 is, is de totale oppervlakte van het histogram gelijk aan 1. De verticale schaalverdeling heeft in het histogram alleen betekenis als hulpmiddel bij het tekenen.

De verdelingsfunctie geeft de oppervlakten (kansen) onder het histogram cumulatief weer. Omdat de som van de alle kansen gelijk aan 1 is nadert de kansverdelingsfunctie naar 1. Op de verticaleas kan nu afgelezen worden wat de kans is dat, op basis van de gemodelleerde onzekerheid, de bijbehorende project kosten niet worden overschreden.

10.5 Nabeschuwing

Met behulp van het bestek voor de havenuitbreiding van Galle, de NIVAG-kosten-norm en uitvoeringskosten uit de praktijk is in dit rapport een kostenvergelijking voor twee golfbreker ontwerpen gemaakt. De berekende kosten hebben een globaal karakter omdat ontwerp, uitvoeringsmethode en materieelinzet niet tot in detail zijn uitgewerkt.

In dit verslag en de bijlagen zijn tussenuitkomsten vaak weergegeven met een hogere significantie dan de precisie van de uitkomsten in principe toelaat. Toch is deze representatie toegepast zodat, indien de lezer bepaalde berekeningen wil uitvoeren, een goede controle mogelijk is.

Naast het globale kosteninzicht in materiaalkosten, uitvoeringskosten en kosten welke ontstaan als gevolg van schade aan de constructie tijdens de bouw geeft de probabilistische aanpak een in de praktijk nog weinig gebruikte werkwijze weer.

De gebruikte methoden voor het voorspellen van de werkbaarheid en het opstellen van een kostenraming maken het beter mogelijk om rationele beslissingen te nemen.

Literatuur

- Allshop e.a., 1991. Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering (CUR 154). London, Civieltechnisch Centrum voor Uitvoering Research en Regelgeving
- Bruun, 1985. Design and construction of mounds for breakwaters and coastal protection. Elsevier, Amsterdam
- Gerritsma, 1994. Bewegingen en sturen I: Golven College dictaat: MT513; rapport: 473-K. Delft, Faculteit Maritieme Techniek, T.U.-Delft
- Hillier and Lieberman, 1990. Introduction to operations research. McGraw-Hill international editions, Singapore
- Hookway e.a., 1986. Construction of rubble mound breakwaters at Ras Lanuf, Libya. Proceedings of conference on Breakwaters 2-4okt '85 London.
- Huis in 't Veld e.a., 1984. The closure of tidal basins. Delft University Press, Delft
- Journée, 1992. Seaway-Delft; user manual of release 4.00. Rapport: 910. Delft, Faculteit Maritieme Techniek (T.U. Delft)
- Journée, 1992. Bewegingen van constructies in golven; Collegedictaat X2-MT1 rapport: 942-K. Delft, Faculteit Maritieme Techniek (T.U. Delft)
- Kensuke Yanagiya, 1991. The study on the development of the port of Galle in the democratic socialist republic of Sri Lanka. Japan international cooperation agency
- Massie e.a., 1986. Coastal engineering, Volume III Breakwater Design. Delft, Faculteit Civiele Techniek (T.U. Delft)
- Meermans, 1989. Approximate full distribution approach; rapport B.85.04.02/14. Delft, Faculteit Civiele Techniek (T.U. Delft)
- Moder, J.J., Cecil, R.P., Davis, 1983. Project management with CPM, PERT and Precedence diagramming. Van Nostrand Reinhold company, New York
- Moder, J.J., Elmaghraby, 1978. Handbook of operations research, foundations and fundamentals. Van Nostrand Reinhold Company, New York
- NIVAG (Nieuwe Vereniging van Aannemers Grootbedrijf), 1980. Kostennormen voor aannemersmaterieel. Samsom uitgeverij, Alphen a/d Rijn
- Oorschot e.a., 1993. Filters in de waterbouw (CUR 161). Gouda, Civieltechnisch Centrum Uitvoering van Research en Regelgeving
- Physical model study proposed container harbour, Galle. 1987
Lanka hydraulic institute ltd.

Proceedings of conference, 1983. Breakwaters, design and construction.
London, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford Limited

Shore Protection Manual (SPM). Coastal engineering research center, 1984.
US army engineer waterways exp, Washington

Streefkerk, 1952. Quarrying stone for construction projects.
Waltman, Delft

Van der Meer, 1992 en 1993. Conceptual design of rubble mound breakwaters.
Delft Hydraulics, Emmeloord

Volker, 1970. Raming van kosten voor de uitvoering van materieel-intensieve werken.
Delft, Faculteit Civiele Techniek (T.U. Delft)

Vrijling, 1993. Probabilistisch ontwerpen in de waterbouwkunde.
Delft, Faculteit Civiele Techniek (T.U. Delft)

Vrijling, 1994. Afhankelijkheid en correlatie.
Delft, Faculteit Civiele Techniek (T.U. Delft)

Vrijling, 1994. Raming als prognose.
Delft, Faculteit Civiele Techniek (T.U. Delft)

Vrijling J.K., Nooy van de Kolf, 1990. Quarry yield and breakwater demand.
6th international IAEG Congres, pagina: 2927-2934

West Coast of India pilot, eleventh edition, 1975
The hydrographer of the navy,

Willis, e.a., 1987. Bermbreakwaters; unconventional rubble-mound structures.
American society of civil eng., New York