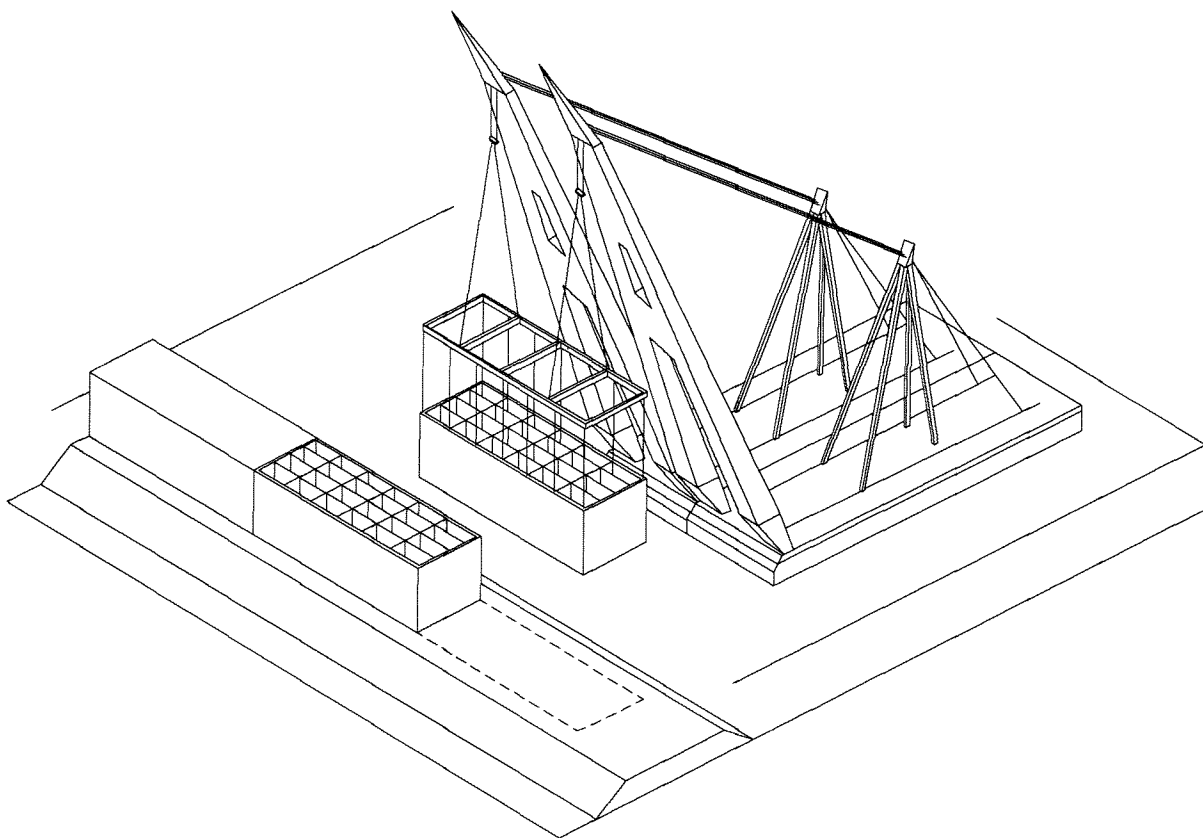


Ontwerp van een verplaatsbare caissongolfbreker voor Maasvlakte 2

-plaatsing en verplaatsing van caissons met offshore materieel-



afstudeerverslag van:

C.M. Spanjers

augustus 1997

TU Delft

Ontwerp van een verplaatsbare caissongolfbreker voor Maasvlakte 2

-plaatsing en verplaatsing van caissons met offshore materieel-

Eindrapportage van een afstudeeronderzoek
aan de Technische Universiteit Delft
faculteit der Civiele Techniek
vakgroep Waterbouwkunde

student:	C.M. Spanjers
studienummer:	788618
datum:	augustus 1997
afstudeercommissie:	prof. drs. ir. J.K. Vrijling
	ir. W.H. Tutuarima
	ir. J.G. de Gijt (Gemeentewerken Rotterdam, Ingenieursbureau Havenwerken)

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van een afstudeerwerk dat is gedaan ter afsluiting van mijn studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft.

In dit afstudeerwerk is onderzoek verricht naar de mogelijkheden van een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2 en is een golfbreker ontworpen met caissons die ten dienste van deze fasering kunnen worden verplaatst.

In de voorstudie bij dit onderzoek is ingegaan op het hoe en waarom van Maasvlakte 2 en is het verder te bestuderen onderwerp afgebakend.

In het eindrapport is een verplaatsbare caissongolfbreker ontworpen. Hiervoor zijn onder andere twee computerprogramma's geschreven. Het eerste programma heeft als doel het bepalen van de benodigde hoogte en breedte van de caissons. Het tweede programma berekent de afmetingen van de cellen en van de betonnen wanden en vloer van het caisson, waarbij de totale kosten voor het bouwen en plaatsen van een caisson worden geminimaliseerd.

Mijn dank bij het tot stand komen van dit rapport gaat uit naar mijn afstudeercommissie bestaande uit professor Vrijling, de heer Tutuarima en de heer de Gijt voor begeleiding van de gehele afstudeerperiode.

Tevens dank ik Projectorganisatie Maasvlakte 2 voor alle informatie en werkruimte in Europoint en de firma HeereMac voor het beschikbaar stellen van gegevens.

Coen Spanjers, 27 augustus 1997

Leeswijzer

Voor de bestudering van het onderwerp "Toepassing en ontwerp van verplaatsbare caissons bij een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2" is dit afstudeerwerk gesplitst in twee delen.

Het eerste deel betreft een voorstudie, toegelicht in bijlage I, II, en III, waarin de technische mogelijkheden voor de aanleg van Maasvlakte 2 en de diverse varianten voor de ligging van dit nieuwe gebied zijn beschreven. Uit de voorstudie volgt een afbakening van het te bestuderen onderwerp.

Het tweede deel bestaat uit het eindrapport, toegelicht door de bijlagen A tot en met P. In het eindrapport is het afgebakende onderwerp nader onderzocht en uitgewerkt. De listing van twee bij het ontwerp behorende computerprogramma's is gegeven in bijlage Q en R.

Samenvatting

Voorstudie

Om de leidende rol die de haven van Rotterdam in de wereldhandel heeft te kunnen handhaven is het noodzakelijk voor de komende decennia ruimte te creëren in de nabijheid van de haven. Dit kan door het aanleggen van een tweede Maasvlakte, een landaanwinning in zee. Het is mogelijk gebleken deze Maasvlakte 2 technisch, morfologisch, milieuhygiënisch en ecologisch op een verantwoorde manier in te passen in de huidige situatie. Een referentieontwerp voor 2000 ha netto haventerrein in zee kost ongeveer 6.6 miljard gulden.

Een groot aantal mogelijkheden is geopperd voor de aanleg van het terrein en de benodigde zeeweringen en golfbrekers. Enkele reële oplossingen daarvan komen in aanmerking voor nadere bestudering. Als uitgangspunt voor het verdere ontwerp is voor de realisering van Maasvlakte 2 gekozen voor een met zand opgespoten terrein, dat wordt beschermd door een zeewering of golfbreker bestaande uit caissons. Door Projectorganisatie Maasvlakte² is een viertal principevarianten voor de situering van Maasvlakte 2 beschreven, vergeleken en beoordeeld.

Het is uit oogpunt van kosten en onbetrouwbaarheid van economische voorspellingen gewenst om Maasvlakte 2 gefaseerd aan te leggen. Daarom is onderzocht in welke van de beschreven varianten caissons, die in eerste instantie worden gebruikt als zeewering of golfbreker, opnieuw kunnen worden gebruikt als zeewering, golfbreker of kademuur bij de aanleg van een volgende fase.

Een caissonzeewering die in een volgende aanlegfase als kademuur wordt gebruikt lijkt in alle principevarianten een interessante optie. Verplaatsing van een caissongolfbreker bij een gefaseerde aanleg van de zogenaamde noordelijke aanlegvariant lijkt financieel aantrekkelijk en praktisch goed toepasbaar. Deze optie wordt in de vervolgstudie nader onderzocht.

Enkele uitvoeringsaspecten die van belang zijn bij het verplaatsen van een caisson worden in het slot van deze voorstudie globaal besproken. Een aantal van deze aspecten wordt in het vervolgonderzoek verder uitgewerkt. Tevens worden in dit onderzoek de te verplaatsen caissons ontworpen.

Eindrapport

Voor de gefaseerde aanleg van de zogenaamde noordelijke aanlegvariant van Maasvlakte 2 is een golfbreker ontworpen, bestaande uit caissons die op een drempel van stortsteen worden geplaatst. De methode voor uitvoering en plaatsing van de caissons is zo gekozen dat de caissons bij de aanleg van een volgende fase eenvoudig kunnen worden verplaatst om er elders een nieuwe golfbreker mee te bouwen.

De caissons worden gebouwd op een terrein dat wordt opgespoten langs de kust van Maasvlakte 1. Dit terrein zal later deel uitmaken van Maasvlakte 2. De betonnen bakken worden vanaf dit terrein op pontons gevijzeld en getransporteerd naar plaats van bestemming. Het caisson wordt vervolgens met een kraanschip, dat speciaal is ontworpen voor werkzaamheden in ondiep water, van het ponton getild en op de drempel geplaatst.

Door gaten onder in de wanden vult het caisson zich met water. Na plaatsing wordt het caisson vol met zand gepompt en afgesloten met betonnen platen. Bij verplaatsing van de golfbreker worden de dekplaten en het ballastzand verwijderd en worden de caissons met het kraanschip weer op pontons geplaatst.

De voordelen die het bouwen met een kraanschip biedt ten opzichte van het bouwen met drijvende caissons die in een dok worden geconstrueerd zijn talrijk: Het graven van een dok en het baggeren van een vaargeul is niet nodig. De tijd die nodig is voor het plaatsen van de caissons is veel korter, omdat de positionering van een caisson snel en nauwkeurig is en het transport en de plaatsing minder afhankelijk zijn van de weersomstandigheden. Het verplaatsen van een caisson is eenvoudiger. Een afgezonken caisson moet waterdicht worden afgesloten en worden opgedreven, hetgeen ingewikkelder is dan het optillen van een caisson met een kraanschip.

De golfbreker is in eerste fase 7500 meter lang en wordt gebouwd in water met een diepte variërend van NAP -17.5 meter tot NAP -22.2 meter. De stortstenen drempel heeft een aanleghoogte van NAP -16 meter. De drempel is zo laag mogelijk ontworpen omdat blijkt dat over de diepte gezien een meter caisson goedkoper is dan een meter drempel en omdat een hoog caisson de haalbaarheid van de fasering en verplaatsing vergroot (het drempelmateriaal wordt verondersteld niet te worden hergebruikt).

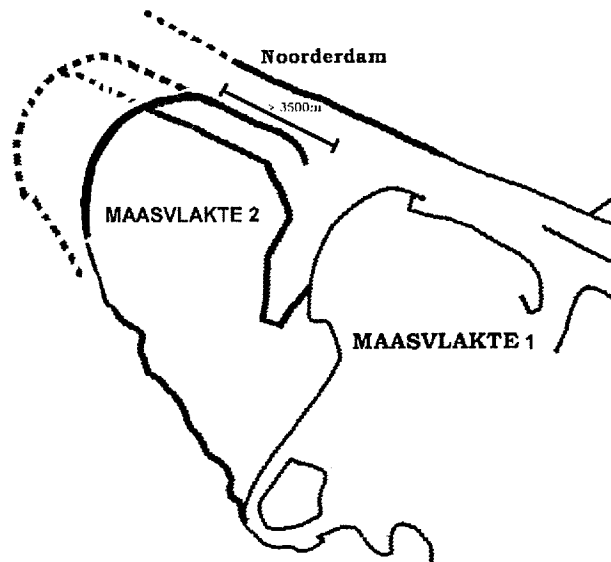
Voor het ontwerp van de caissons zijn twee computerprogramma's geschreven. Naast de beschrijving van en de berekening met deze programma's wordt aandacht besteed aan een groot scala van uitvoeringsaspecten die bij het bouwen van een caissongolfbreker aan de orde komen.

Het eerste programma heeft als doel het bepalen van de hoogte en breedte van de caissons aan de hand van respectievelijk een golftransmissieberekening en stabiliteitsberekeningen voor verschillende faalmechanismen. De invloed van diverse ontwerpvariabelen op de benodigde hoogte en breedte kan met dit programma worden bepaald. Uit de berekeningen blijkt dat bezwijken van de ondergrond het maatgevende faalmechanisme is. De berekende hoogte van de caissons is 23.7 meter. De bij deze hoogte benodigde breedte is 26.0 meter.

Het tweede programma berekent de goedkoopste oplossing voor de afmetingen van de cellen in het caisson, de caissonlengte en de bijbehorende dikte van de voorgespannen betonnen wanden en vloer van het caisson. Hierbij worden de kosten en hoeveelheden van het gewapend beton, de voorspanning, de bekisting, de ballast en de plaatsingskosten van het caisson beschouwd. In deze berekening is een maximaal ledig caissongewicht van 12.000 ton gehanteerd, gelijk aan de maximale hefcapaciteit van het kraanschip.

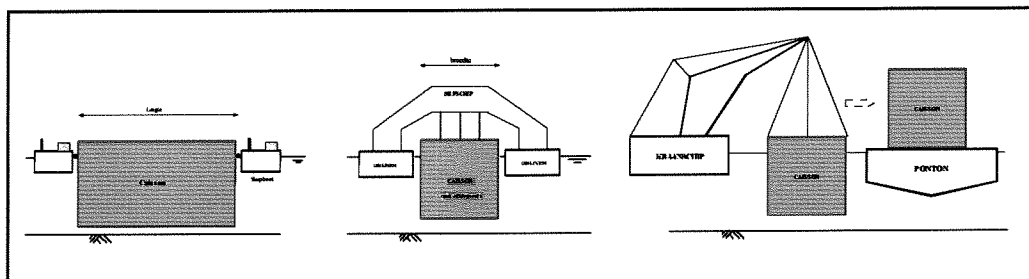
Uit de berekeningen volgt dat de goedkoopste oplossing gerealiseerd wordt met caissons met een lengte van 51 meter. Deze caissons hebben een kostprijs van ruim fl 69.000,- per strekkende meter. De kosten voor transport en plaatsing van het caisson bedragen slechts 7% van dit bedrag.

Inclusief de kosten voor de drempel, BTW en overige kosten kan de golfbreker in de eerste fase worden gebouwd voor fl 112.500 per strekkende meter. Een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2 waarbij na 15 jaar 4000 meter golfbreker wordt verplaatst en 2000 meter wordt bijgebouwd blijkt technisch goed haalbaar en levert een besparing op van ruim 130 miljoen gulden ten opzichte van de aanleg van de gehele golfbreker ineens.



Voorstudie:

Hergebruik van caissons bij een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2



Inhoudsopgave voorstudie

1. Inleiding	3
1.1 De haven van Rotterdam.....	3
1.2 De noodzaak van een uitbreiding.....	3
1.3 Verder in deze voorstudie.....	4
2. Het project Maasvlakte 2	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Kwaliteit van de ruimte.....	5
2.3 Kwantiteit van de ruimte.....	5
3. Ontwerp van Maasvlakte 2	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Variabelen.....	7
3.3 Bouwstenen.....	8
3.4 Aanzet tot een afweging.....	9
3.5 Waterloopkundige en morfologische effecten.....	10
3.6 Kosten en baten.....	11
3.7 Ontwikkelingsscenario's.....	11
3.8 Conclusie	12
4. Inventarisatie van constructieve elementen	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Terreinophogingen.....	13
4.2.1 Algemeen.....	13
4.2.2 Massief vanaf de bodem.....	13
4.2.3 Boven het water	14
4.2.4 In of op het water	15
4.3 Zeeweringen.....	15
4.4 Golfbrekers	17
4.4.1 Algemeen.....	17
4.4.2 Fysieke blokkade.....	17
4.4.3 Breken van golven.....	19
4.4.4 Energiedissipatie.....	21
4.4.5 Golfrichting beïnvloeden	22
4.5 Conclusie	22
5. Globale kosten van de zeewering.....	23
6. Gefaseerde uitvoering van Maasvlakte 2	24
6.1 Inleiding	24
6.2 Kansrijke varianten.....	24
6.3 Fasering van de aanleg.....	26
6.4 Conclusie	29

7. Verplaatsen van een caissongolfbreker	31
7.1 Inleiding	31
7.2 Situatieschets	31
7.3 Verplaatsen van een afgezonken caisson	33
7.4 Hergebruik van drempelmateriaal	35
7.5 Tijdvenster voor verplaatsing	35
7.6 Verloren gaan van een caisson	36
7.7 Financiële consequenties	36
7.8 Conclusie	37
 Lijst van geraadpleegde literatuur.....	 38

Bijlagen

Bijlage I	Contourvarianten Maasvlakte 2
Bijlage II	Voorbeelden van golfbrekers
Bijlage III	Kansrijke varianten

1. Inleiding

1.1 De haven van Rotterdam

De haven van Rotterdam kenmerkt zich door een uitstekende geografische ligging. Samen met de door de overheid ter beschikking gestelde infrastructurele randvoorwaarden is deze haven tot een mainport op het Europese continent geworden. Mainport Rotterdam draagt bijna 10 % bij aan het bruto nationaal produkt en genereert 6.3 % van de werkgelegenheid in Nederland. Zij is daarmee een belangrijke pijler van de Nederlandse economie.

Tabel 1: Indirecte en directe toegevoegde waarde

Direct	10.9 miljard
Indirect	38,1 miljard
Totaal	49 miljard
<i>Iedere 10 gulden die in de Rotterdamse haven wordt verdiend levert elders nog eens 35 gulden op.</i>	
<i>Bron: GHR, Trendrapport 1994</i>	

Tabel 2: Werkgelegenheid, gegenereerd door de Rotterdamse haven

	Aantal	Landelijk Aandeel (%)
Direct	68.300	1,2
Indirect (waarvan bijna 100.000 in het Rijnmondgebied)	300.000	5,3
Totaal	368.300	6,3
<i>Iedere 10 banen in de haven leveren elders in Nederland 44 banen op.</i>		
<i>Bron: NEI</i>		

Op het Europese continent moet de haven van Rotterdam concurreren met havens die onderdeel uitmaken van de zogenaamde Hamburg-Le Havre range (HHR). Hiertoe behoren bijvoorbeeld ook de havens van Antwerpen, Amsterdam en Bremen. De laatste jaren heeft de haven van Rotterdam een aandeel van 42% in de totale goederenoverslag in de HHR. Voortdurende inspanning en aanpassing is nodig om deze positie te stabiliseren. Zo heeft bijvoorbeeld een deel van de overslag van bulkgoederen plaats gemaakt voor op- en overslag van containers.

Op mondiaal niveau is naast op- en overslag van goederen vooral de vestiging van grote industrieën in de haven een punt van concurrentie. Met name in Azië is een aantal grote havencomplexen sterk in ontwikkeling.

De verslechterende economische en sociale structuur van de havenregio is het gevolg van het neerslaan van indirecte havenverbonden bedrijvigheid buiten de zuidelijke Randstad. Het vestigingsklimaat in de haven wordt hierdoor aangetast. Gebrek aan ruimte en kwaliteit van de leefomgeving en de kosten die gemoeid zijn met vestiging in de mainport zijn hier de voornaamste oorzaken van. Dit geldt vooral voor sommige activiteiten in de distributiesector.

1.2 De noodzaak van een uitbreiding

Om de status van mainport die de haven heeft in de wereldhandel te kunnen behouden is het ook steeds nodig om nieuwe trends en ontwikkelingen, zoals globalisering van de wereldhandel, europeanisering en duurzame ontwikkeling, te volgen. De voornaamste knelpunten die worden gesignaleerd wanneer wordt geprobeerd adequaat op deze ontwikkelingen in te spelen zijn:

- a) de kwaliteit van de achterlandverbindingen;
- b) kosten en organisatie van arbeid;
- c) het ruimtetekort;
- d) de kwaliteit van de woonomgeving en de natuur.

Het ruimtetekort is dusdanig dat er op dit moment geen mogelijkheden voor grote bedrijven meer zijn om zich in deze mainport te vestigen. Binnen afzienbare tijd zullen ook kleine bedrijven hier niet meer kunnen worden gehuisvest. Ook is de kans groot dat reeds gevestigde bedrijven op den duur zullen vertrekken, omdat zij niet kunnen of willen opereren in een omgeving waar groei onmogelijk is.

Wanneer geen adequate oplossing voor dit probleem wordt gevonden zal de haven van Rotterdam de scherpe concurrentieslag waarin zij verwickeld is met andere havens op het Europese continent en in de wereld verliezen. Een uitbreiding van de haven in de richting van de zee lijkt daarom onvermijdelijk. Deze uitbreiding zal Maasvlakte 2 worden genoemd.

Voor een oplossing van de overige knelpunten wordt bijvoorbeeld de Betuwelijn aangelegd voor een betere ontsluiting van de mainport en worden nieuwe natuur- en recreatiegebieden in het Rijnmondgebied ingericht ter verbetering van het leefklimaat.

1.3 Verder in deze voorstudie

In het volgende hoofdstuk wordt het project Maasvlakte 2 verder toegelicht, waarna in hoofdstuk 3 de aanpak van het globale ontwerp van Maasvlakte 2 wordt beschreven.

In hoofdstuk 4 wordt een uitgebreid overzicht gegeven van civieltechnische constructies die van toepassing kunnen zijn bij het aanleggen van een terrein in de zee. Ook wordt een keuze gemaakt voor de te gebruiken constructies voor de aanleg van Maasvlakte 2.

In hoofdstuk 5 wordt een globale kostenvergelijking gemaakt voor verschillende typen zeewering.

De mogelijkheden voor een, zeer gewenste, gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2 worden bekeken in hoofdstuk 6. Speciale aandacht is hier voor situaties waarin het hergebruik van caissons nuttig kan zijn.

In hoofdstuk 7 worden enkele uitvoeringsaspecten die samenhangen met het verplaatsen van caissons globaal uitgewerkt. Dit hoofdstuk kan worden gezien als een inleiding op de rest van het afstudeerwerk.

Tenslotte wordt in drie toegevoegde bijlagen toelichting en achtergrondinformatie gegeven bij de hierboven genoemde hoofdstukken.

2. Het project Maasvlakte 2

2.1 Inleiding

In 1994 is het project Maasvlakte 2 (MV 2) gestart. Aanleiding hiervoor was het in 1993 gesignaleerde ruimtetekort in de haven van Rotterdam in het havenplan 2010. Op initiatief van gemeente Rotterdam, als havenbeheerder, en het ministerie van Verkeer en Waterstaat, als verantwoordelijke voor het Nederlandse zeehavenbeleid en beheerder van de kustwateren, is in september 1994 de voorstudie van het project Maasvlakte 2 gestart. In het project worden zij vertegenwoordigd door respectievelijk het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam en Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland.

Naast het versterken van de concurrentiepositie maken het versterken van de nationale en regionale economische structuur en het verbeteren van de kwaliteit van de ruimtelijke structuur in Rijnmond en Nederland ook deel uit van de strategische visie op het project Maasvlakte 2.

De inhoud van dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op de Rapportage Voorstudie Maasvlakte 2, fase 1a [lit.4].

2.2 Kwaliteit van de ruimte

Het bieden van ruimte voor extra haven- en industrieterrein voor mainport Rotterdam en de aanleg van extra natuur- en recreatieterrein voor het totale Rijnmondgebied worden als even belangrijke toekomstige functies van Maasvlakte 2 gezien. Ook zullen er mogelijkheden komen om de verschillende functies in de regio te herschikken waardoor een beter leefklimaat in het gebied ontstaat. Daardoor kan de kwaliteit van de woonomgeving en de natuur in het gehele Rijnmondgebied verbeterd worden. Dit sluit aan bij het streven van de overheid naar een duurzame samenleving.

In het nieuwe gebied wordt bedrijven de mogelijkheid gegeven zich vlak bij elkaar te vestigen. Industrieën kunnen hierdoor gaan clusteren en elkaars restprodukten gebruiken. Zo worden gesloten productieprocessen mogelijk. Hetzelfde geldt voor recycling-activiteiten, die een grotere kans maken wanneer diverse bedrijven, die verschillende componenten van samengesteld afval behandelen, dicht opeen staan. Ook is het in dit nieuwe gebied mogelijk om bedrijven te huisvesten die vanwege milieu-overwegingen of de zware hindercategorie ver buiten woongebieden gewenst zijn.

De aanleg zorgt voor ruimte voor economische bedrijvigheid, een basisvoorwaarde voor de nodige werkgelegenheidsgroei in Nederland.

Tenslotte kan bestaand agrarisch-, natuur- en recreatiegebied gehandhaafd blijven wanneer economische activiteiten zich op Maasvlakte 2 kunnen uitbreiden.

2.3 Kwantiteit van de ruimte

Op middellange termijn, tot 2010, is volgens het Havenplan 2010 een MV 2 van 1000 ha haven- en industrieterrein nodig. Ook is er behoefte aan herinrichting van het Rijnmondgebied. Door de beschikbare herplaatsingsruimte kunnen nieuwe woningbouwlocaties worden gerealiseerd en kan vanuit milieu-optiek een harmonieus evenwicht tussen stad en haven worden gecreëerd.

Gezien de omvang van de plannen en de aard van de problematiek is besloten de tijdshorizon in de planvorming te verruimen tot enkele decennia (2025/2035). Daarom wordt in de verdere planvorming voor Maasvlakte 2 een gebied van 2000 ha aangehouden. De risico's die met de onzekerheden van een dergelijke landaanwinning samenhangen kunnen door flexibiliteit en fasering in ontwerp en aanleg worden beperkt. Hierdoor kunnen in de planologische procedures de morfologische, verkeerstechnische en milieueffecten beter in beeld gebracht worden.

Fasering van de aanleg, en wanneer verschillende faseringen moeten plaatsvinden, is een complex probleem. Te vroeg investeren leidt tot onnodige financiële lasten, te laat investeren beknot de ontwikkeling van de mainport en leidt tot missen van kansen die veelal eenmalig zijn.

In de Rijnmondregio bestaat tevens de behoefte aan 1750 ha extra natuur- en recreatiegebied. Afgesproken is dat 750 ha hiervan gerealiseerd zal worden in het project Maasvlakte 2. Wanneer wordt uitgegaan van een aan te leggen haven- en industriegebied van 2000 ha zal bekeken moeten worden of deze 750 ha naar verhouding nog voldoende is. Dit natuur- en recreatiegebied dient volwaardig en op een veilige plaats te worden ingepast in het ontwerp en mag niet in restruimten worden weggestopt.

Het aanleggen van Maasvlakte 2 betekent een ingreep in de huidige situatie. Veranderingen zullen optreden in de waterbeweging voor de kust en in de diverse natuurwaarden in het Voornse duin en het Voordeltagebied. De nieuwe activiteiten en het benodigde achterlandtransport zullen invloed hebben op de directe leefomgeving.

Alternatieven voor het aanleggen van Maasvlakte 2 zijn:

- Continueren van het lopend beleid: doorgaan met het traditionele inbreiden van het havengebied;
- Innovatief inbreiden; creëren van extra ruimte in het huidige havenareaal met behulp van innovatieve technieken zoals ondergronds bouwen en het ontwikkelen van nieuwe logistieke concepten.

Pas na een uitgebreide inventarisatie van velerlei effecten kunnen deze alternatieven worden beoordeeld. Het aanleggen van Maasvlakte 2 wordt vooralsnog als uitgangspunt gehanteerd.

3. Ontwerp van Maasvlakte 2

3.1 Inleiding

In mei 1995 is de Taakgroep Ontwerpvarianten Maasvlakte 2 opgericht. Na de productie van een groot aantal modellen en contourvormen is een selectie gemaakt uit de vele plannen. Dit leidde tot een viertal contourvarianten (zie kaarten in bijlage I), die het onderwerp vormen van de vervolgstudies.

Bij aanvang van ontwikkeling van de plannen is gekozen voor een parallelle aanpak. Daarbij wordt door technici, milieu- en landschapsdeskundigen, economen en juristen tegelijk opgewerkt waardoor bij de eerste verkenning en vormgeving niet kon worden uitgegaan van een concreet programma van eisen ten aanzien van de grootte, faseerbaarheid en inrichting van Maasvlakte 2.

Als plangebied werd gekozen het zeegebied gelegen in de gemeenten Westvoorne en Rotterdam ten zuiden van de Maasgeul/Euromond, het aanliggende territoriale zeegebied alsmede de duinkust van Voorne.

Het studiegebied omvat voor elk afhankelijk te bestuderen onderwerp dat gebied waarbinnen effecten als gevolg van de realisering van een Maasvlakte 2 merkbaar zijn.

De inhoud van dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op de Rapportage Voorstudie Maasvlakte 2, fase 1a [lit.4].

3.2 Variabelen

De volgende variabelen zijn in het ontwerp gehanteerd:

Grootte van het industrie- en havencomplex:

- A: 500 ha
- B: 1000 ha
- C: 2000 ha

Fasering van aanleg:

Bij de ontwikkeling van de varianten moet worden nagegaan in hoeverre de landuitbreiding gefaseerd kan plaatsvinden.

Ontsluiting voor de zeevaart:

- A: 500 ha netto zonder ontsluiting voor zeescheepvaart
- B: 1000 ha netto zonder ontsluiting voor zeescheepvaart
- C: 1000 ha netto met ontsluiting voor zeescheepvaart
- D: 2000 ha netto met ontsluiting voor zeescheepvaart

Aard van de zeewering:

Voor de aard van de zeewering gaat het primair om de keuze tussen een zandige of een 'harde' kust (b.v. caissons) of een combinatie van deze beide vormen, en om de positionering ervan.

Hoogteligging van het industrieterrein:

- A: hooggelegen gebied (zonder dijken)
- B: gedeeltelijke aanleg als polder (met dijken)

3.3 Bouwstenen

Het ontwerp wordt verondersteld te zijn opgebouwd uit een aantal bouwstenen, die ieder hun eigen functie vervullen. In het ontwerpproces zijn eerst enkele zeer ruwe (hoofd)bouwstenen gedefinieerd. Een logische combinatie van bouwstenen levert een variant voor Maasvlakte 2 op. De mate van detail van een ontwerpvariant is sterk afhankelijk van de mate waarin de bouwstenen zijn gedifferentieerd en de mate waarin per bouwsteen gedetailleerde kennis aanwezig is.

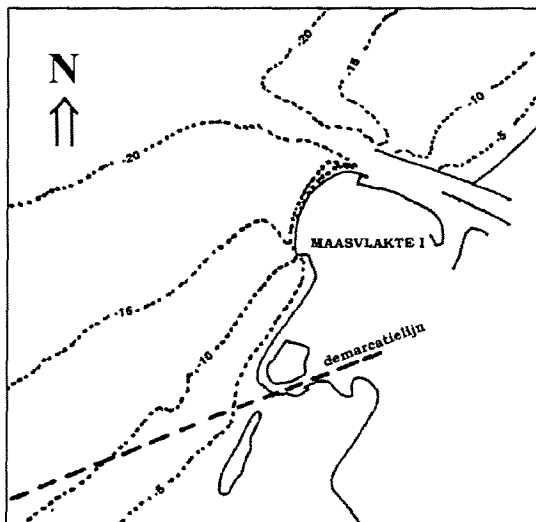
De ruwe bouwstenen worden gevormd door:

Locatie

Het plangebied wordt noordelijk begrensd door een lijn langs de verlengde Noorderdam. Aanleg van nieuw land zal in principe ten zuiden van de Eurogeul plaatsvinden. Voor het haven- en industrieterrein geldt de demarcatielijn¹ als zuidelijke begrenzing.

Grootte

Uit de uitgangspunten en randvoorwaarden is bepaald welke bruto oppervlakten er bij iedere fase horen. Hiervoor is een voorlopige aanname van de bruto/netto-verhouding gedaan.



Bij de fase van 1000 ha is zowel met als zonder zeeontsluiting gerekend (nat/droog).

Kaart 1: Situatieschets plangebied Maasvlakte 2

De beschouwde oppervlaktevarianten zijn:

- netto 500 ha droog bruto 775 ha
- netto 1000 ha droog bruto 1550 ha
- netto 1000 ha nat bruto 1850 ha
- netto 2000 ha nat bruto 3450 ha

Vorm/positionering

De omvang en de contour van Maasvlakte 2 zullen bepalen welke effecten in het aangrenzende zeegebied optreden. Ook de keuze van het type zeewering is hierbij van belang.

Zeewering

De keuze van de zeewering is afhankelijk van de lokale waterdiepten, de golfaanval en de oriëntatie ten opzichte van de evenwichtskustlijn.

Met deze voorlopige ruwe bouwstenen is als start van het ontwerpproces een viertal zoekrichtingen gedefinieerd. Dit zijn:

¹ De zogenaamde demarcatielijn ontleent haar bestuurlijke status aan in 1964 en 1969 genomen regeringsbesluiten. De betekenis van deze lijn is dat ten zuiden van deze lijn geen terreinen met bestemming haven- en industriegebied aangelegd mogen worden.

- 1) Eén oplossingsrichting situeert het haven- en industriegebied en het natuur- en recreatiegebied tussen de huidige kustlijn Maasvlakte en de demarcatielijn (zie evenwijdige kustlijn, kaart 2 bijlage I).
- 2) Eén oplossingsrichting situeert het haven- en industriegebied en het natuur- en recreatiegebied tussen de huidige kustlijn en de denkbeeldig verlengde Voornse kust (zie noordelijke ontwikkeling, kaart 3 bijlage I).
- 3) Eén oplossingsrichting situeert de eerste fase van het haven- en industriegebied aan de kust, de verdere fasen als een eiland voor de kust. Het natuur- en recreatiegebied kan aan de kust gesitueerd worden, of als een rij eilanden naar het haven- en industrie-eiland (zie eiland, kaart 4 bijlage I).
- 4) Eén oplossingsrichting volgt de oriëntatie van de koppen van de Zeeuwse eilanden (zie zuidelijke ontwikkeling, kaart 5 bijlage I).

Binnen de aangegeven zoekrichtingen kan het materiaal van de zeeweringen (hard of zacht) en/of de constructiewijze variëren. De grote diepgang van de Maasmond en de Eurogeul en de stromingen aldaar vereisen een harde noordelijke begrenzing.

Voor een gefaseerde aanleg zijn twee mogelijkheden:

- vanuit de kust geleidelijk opvullen;
- eerst de buitenzeewering maken en deze geleidelijk opvullen.

Met de resultaten die in het onderzoeksproces beschikbaar komen zal een steeds gedetailleerder beeld ontstaan van de ruwe bouwstenen, hetgeen tot steeds realistischere schetsontwerpen zal leiden.

Tijdens het ontwerpproces wordt ook een zogenaamd meest milieuvriendelijk alternatief (MMA) ontwikkeld. Dit MMA vormt een belangrijk referentiepunt in het vergelijkingskader van de alternatieven.

3.4 Aanzet tot een afweging

Om de verschillende ontwerpvarianten integraal te kunnen beoordelen is een aantal criteria geformuleerd waarmee een eerste afweging kan worden gemaakt. Deze beoordelingscriteria zijn:

Investering

- Aanleg
- Onderhoud

Haven en industrie

- Uitbreidbaarheid
- Flexibiliteit
- Faseerbaarheid
- Onderscheidend vermogen

Landschap

- Gevolgen contouren

Natuur en recreatie

- Natuurlijkheid
- Diversiteit
- Internationale vogeltrekroutes
- Recreatiemogelijkheden

Effecten op de omgeving

- Morfologie
- Waterstroming
- Milieucompartimenten
- Verkeer en vervoer
- Effecten op de bestaande natuur

Naarmate het technisch studieprogramma vordert zal deze eerste aanzet tot een technisch afwegingskader verder uitgewerkt kunnen worden.

Voor een referentieontwerp voor Maasvlakte 2 zijn de nominale bouwkosten geschat. Hiertoe is een kostensystematiek ontwikkeld waarmee ook de andere ontwerpen begroot kunnen worden.

Voor dit referentieontwerp zijn de volgende kenmerken aangehouden:

- netto oppervlak 2000 ha
- harde zeewering
- aanleghoogte NAP +5.0 m
- natuur- en recreatiegebied 750 ha
- noordelijke zeehavenontsluiting
- aanleg hoofdinfrastructuur
- verlengen van de EZH-koelwateruitlaat
- aansluiting op de infrastructuur van Maasvlakte 1

De nominale bouwkosten voor het referentieontwerp bedragen 6,6 miljard gulden. De bandbreedte in deze kosten ligt zowel naar boven als naar beneden op 21%. De bouwkosten van het referentie-ontwerp liggen dus tussen de 5,2 en 8,0 miljard gulden.

3.5 Waterloopkundige en morfologische effecten

Voor een globaal onderzoek naar de waterloopkundige en morfologische effecten van de aanleg van Maasvlakte 2 zijn twee uitersten beschouwd: een situatie waarbij Maasvlakte 2 ver in zee uitsteekt en een situatie waarin Maasvlakte 2 zoveel mogelijk evenwijdig aan de kust wordt aangelegd.

Voor de aanleg zal ongeveer 800 miljoen m³ zand nodig zijn. Voor een eerste berekening is er vanuit gegaan dat hiervan 500 miljoen m³ komt uit een verbreding en verdieping van de Euro-Maasgeul en 300 miljoen m³ uit een verdieping van 2 meter van een gebied ten noorden van de Eurogeul. Ook wordt bekeken of een geconcentreerde zandwinning een betere optie is.

Onderzocht zijn de effecten van deze veranderingen en van de aanleg van Maasvlakte 2 op de waterstanden, het extreme stormpeil, de getijstrooming, seiches en golven, de morfologie van het kustgebied, slib en de kuststabiliteit.

De belangrijkste resultaten hiervan zijn:

- De vloodsnelheden rond de hoekpunten van de uitbreiding kunnen tot 35% sterker worden. De betekenis hiervan voor de scheepvaart zal nader onderzocht worden.
- Er is een sterke reductie van golfaanval op de aangrenzende kust van Delfland, Voorne en Goeree.
- De grootste morfologische veranderingen treden op in de Haringvlietmonding. Ten noorden van de Noorderdam ontstaat lichte sedimentatie die verder noordelijk overgaat in erosie. Deze erosie kan van langdurige aard zijn en bedraagt tussen de 100.000 m³ en 500.000 m³ per jaar. Dit zal een verhoging van het onderhoud ter plaatse veroorzaken.

De overige resultaten waren van dien aard dat ze slechts kleine, goed beheersbare veranderingen in het systeem veroorzaken.

De onderlinge relatie met andere kustwaterbouwkundige activiteiten in de omgeving verdient nadere aandacht.

3.6 Kosten en baten

Om een goed financieel beeld te krijgen van de exploitatie van Maasvlakte 2 dient eerst te worden onderzocht welke bedrijvigheid er wordt verwacht. Ook de vraag naar bedrijfsterreinen vanuit de markt dient te worden bepaald. Pas dan kan bekeken worden welke financiële inspanningen en daarbij behorende risico's investeerders zich kunnen veroorloven. Gegevens over de te verwachten macro-economische baten van Maasvlakte 2 zijn nog niet bekend.

Voor het bepalen van de haalbaarheid van Maasvlakte 2 zullen het bedrijfsleven, de gemeente Rotterdam en het Rijk alle drie een ander afwegingskader hanteren. Voor het bedrijfsleven zal dit zuiver bedrijfseconomisch zijn. De gemeente Rotterdam zal naast de financiële haalbaarheid ook kijken naar de uitstralingseffecten op de nationale en regionale economie. Het Rijk zal haar investeringen macro-economisch moeten verantwoorden en zal mede bekijken in welke mate de investeringen een bijdrage leveren aan overige, niet strikt economische doelstellingen.

3.7 Ontwikkelingsscenario's

Om enig gevoel te krijgen voor de financiële aspecten die met Maasvlakte 2 samenhangen zijn op basis van voorlopige resultaten van het economisch onderzoek drie mogelijke inrichtingsvarianten opgesteld, te weten:

- Een distributie-variant (distributie-activiteiten in combinatie met industriële bewerkingen) van ca. 500 ha netto bedrijfsterrein.
- Een chemie-variant (realisatie van een grootschalig complex voor basis-chemicaliën) van ca. 1000 ha netto bedrijfsterrein.
- Een overslag-variant (die inspeelt op de verwachte groei van containeroverslag) van ca. 1000 ha netto bedrijfsterrein.

Daarnaast wordt ook gewerkt met de variant van 2000 ha uit de strategische visie. Deze voorziet in de ruimtebehoefte voor enkele decennia. In onderstaande tabellen worden deze inrichtingsvarianten in cijfers weergegeven.

Tabel 3: Inrichtingsvarianten Maasvlakte 2 (oppervlaktes in hectare)

Economische activiteit	Industrie variant (droog)	Chemie variant (droog)	Overslag variant (nat)	Strategie variant (nat)
Distributie	300	300	300	300
Overige industrie (*)	200	300	200	200
Chemie		400	300	300
Containeroverslag		(**)	200	200
'Strategische zaken'				1.000
Totaal	500	1.000	1.000	2.000

(*) t.w. milieu-industrie, kleinere chemiebedrijven en toeleverende industrie.

(**) t.w. grootschalige chemie-activiteiten, via pijp aangesloten op Maasvlakte 1.

Tabel 4: Investeringsramingen inrichtingsvarianten

Omschrijving kosten	Industrie variant	Chemie variant	Overslag variant	Strategie variant
Directe bouwkosten				
-Grondwerk	0,6	1,4	0,9	1,9
-Kust- en oeverwerken	0,0	0,0	1,7	1,8
-Inrichtingskosten	0,4	0,6	0,7	0,8
Totaal directe bouwkosten	1,0	2,0	3,3	4,5
Indirecte bouwkosten	0,1	0,4	0,5	0,7
Totaal bouwkosten	1,1	2,4	3,8	5,2
Nominaal onvoorzien (15%)	0,2	0,4	0,6	0,8
Bouwkosten (prijzen 1995)	1,3	2,8	4,4	6,0
Bouwkosten lopende prijzen	1,6	3,3	5,3	7,2
Onzekerheidsmarge ± 20 %	1,3/1,9	2,6/4,0	4,2/6,4	6,1/9,1

(bedragen x miljard exclusief BTW, prijsbasis 1995)

In de investeringsramingen zijn niet inbegrepen de investeringen die nodig zijn voor de ontsluiting van Maasvlakte 2.

Wanneer gekeken wordt naar de huidige prognoses van de havenontwikkelingen lijkt de realisering van Maasvlakte 2 geen haalbare zaak voor de havenbeheerder vanwege de negatieve rentabiliteit en cumulatie van aanloopverliezen. Uit analyse van risico's en gevoeligheden blijkt echter dat nadere validatie van de gehanteerde variabelen perspectief biedt op substantiële verbetering van de verwachte rentabiliteit.

Op grond van de hogere betrouwbaarheid van de prognoses op de korte termijn verdient een scenario waarin Maasvlakte 2 gefaseerd wordt aangelegd de voorkeur.

3.8 Conclusie

In deze voorstudie van het project Maasvlakte 2 is gebleken dat het mogelijk is om de te ontwerpen Maasvlakte 2 technisch, morfologisch, milieuhygiënisch en ecologisch op een verantwoorde manier in te passen in de huidige situatie.

Aan de hand van een referentieontwerp is een kostensystematiek opgezet. Volgens deze systematiek kost het referentieontwerp Maasvlakte 2 van 2000 ha netto 6,6 miljard gulden, uitgedrukt in nominale bouwkosten met een marge van 21 % naar boven en beneden.

Wat betreft de financiële bijdrage van de havenbeheerder, het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, is geconcludeerd dat het te verwachten is dat deze haar traditionele rol van financier van de lokale infrastructuur kan blijven spelen. Uitgangspunt daarbij is wel dat het Rijk haar traditionele rol van financier van de bovenlokale infrastructuur op zich neemt.

Uit de verrichte onderzoeken is geconcludeerd dat de noodzaak om Maasvlakte 2 verder te bestuderen zeker aanwezig is.

4. Inventarisatie van constructieve elementen

4.1 Inleiding

Om een zo breed mogelijk overzicht van bestudeerde en/of gerealiseerde kustverdedigingen en terreinophogingen te verkrijgen heeft ingenieurbureau Grabowsky&Poort in opdracht van Project Organisatie Maasvlakte 2 een inventarisatie gemaakt van de constructieve elementen die passen bij het schaalniveau van de te ontwikkelen ontwerpvarianten voor Maasvlakte 2, gerangschikt naar functie (terreinophogingen, golfbrekers en zeeweringen). Deze inventarisatie heeft betrekking op zowel uitgevoerde projecten, als ideeën en studies op het gebied van landaanwinning en kustverdediging.

Parallel aan deze inventarisatie en in aanvulling hierop is door Project Organisatie Maasvlakte 2 een overzicht gemaakt van alternatieven voor de genoemde drie categorieën van constructieve elementen.

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van ideeën uit beide rapporten ([lit.3 & 6]).

4.2 Terreinophogingen

4.2.1 Algemeen

Een belangrijke functie-eis voor veel sectoren is: droog terrein met voldoende dragend vermogen. Drie principeoplossingen om zo'n terrein te creëren en te beschermen tegen de zee zijn:

- Leg het terrein aan boven de hoogste golven, een zeewering of golfbreker is dan niet nodig;
- Leg het terrein aan boven de maatgevende waterstand, maatregelen zijn dan nodig om overlast door golven te voorkomen;
- Leg het terrein aan onder de maatgevende waterstand, een zeewering wordt dan gebruikt om scheiding te brengen tussen het land en de zee.

Bij het beschrijven van de alternatieven is de volgende indeling aangehouden:

- Constructies die massief vanaf de bodem worden opgebouwd;
- Constructies die zich in of op het water bevinden;
- Constructies die gebouwd worden boven het wateroppervlak.

Een constructie die massief vanaf de bodem wordt opgebouwd zal het golf- en stromingspatroon meer verstoren dan een constructie die op of boven het water gebouwd wordt.

4.2.2 Massief vanaf de bodem

Loskorrelige materialen

Met bijvoorbeeld zand wordt een terrein opgespoten tot een hoogte boven de maatgevende waterstand. Een zeewering is nodig om de golfoverlast op het terrein te beperken. Deze zeewering kan het keren van de opgespoten grond als nevenfunctie hebben.

v.b.:

- Maasvlakte 1, Rotterdam; 2500 ha land opgespoten tot NAP +5.00 m.
- Lantau Island, Hongkong; opspuiten van vliegveld na verwijderen van kleilaag en rots (grondverbetering)
- Osaka Bay, Japan; verschillende landaanwinningen met verschillende bestemmingen (waaronder woningbouw en vliegveld).
- Nagoya Harbour, Japan; eiland van 114 ha ter uitbreiding van de haven.
- Yokohama, Japan; twee eilanden van 515 ha en 443 ha voor de firma Nippon Kokan.
- Osaka Bay, Japan; vliegveld van 510 ha voor Kansai International Airport, opgespoten binnen een kustverdediging.
- Saemanheum, Korea; opspuiten van 40.000 ha in een estuarium.
- Yun-Lin, Taiwan; 10.580 ha land aangewonnen ten behoeve van industrie.

Poldervariant

Bij de poldervariant ligt het op te spuiten land beneden de maatgevende waterstand. Een goede zeewering en een waterbeheersingssysteem zijn nodig om het terrein droog te houden. De 'onveilige uitstraling' van deze variant wordt als hindernis gezien, hoewel half Nederland toch beneden de zeespiegel ligt.

Opbouwen uit grote elementen

Met bijvoorbeeld caissons kan een droog terrein worden aangelegd. Deze caissons kunnen elders worden gebouwd en ter plaatse worden afgezonken en geballast. Een aantal van de compartimenten waarin een caisson is verdeeld kan worden gebruikt voor opslag van bijvoorbeeld vloeibare stoffen. Caissons zijn over het algemeen duur en vereisen goede weersomstandigheden voor plaatsing.

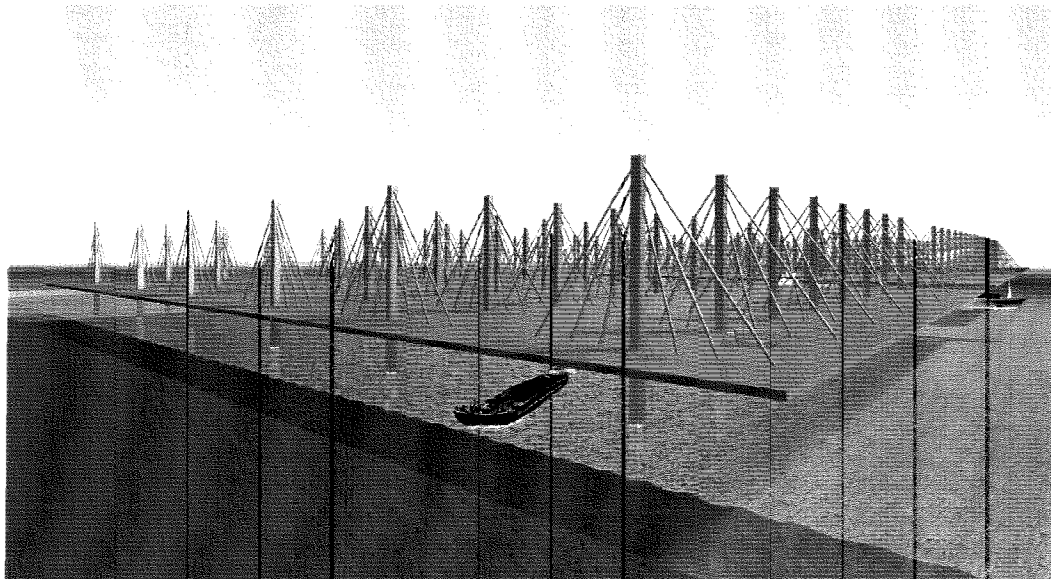
v.b.:

- Haypoint, Australië; betonnen caissons afgezonken om onder andere een aanlegplaats voor schepen te creëren.

4.2.3 Boven het water

Ophangen aan pylonen

Het ophangen van een dek aan pylonen, uitgevoerd met groot offshore materieel, is een zeer aansprekende oplossing. Om de schadegevoeligheid te beperken zal het dek boven de hoogste golven (NAP +15 m) moeten worden aangelegd. Het laden en lossen van schepen wordt hierdoor bemoeilijkt.



Figuur 1: Dek opgehangen aan pylonen

Op palen

Net als bij een steiger wordt hier een dek opgelegd op palen. Ook deze constructie dient binnen een golfbreker te worden gebouwd (of boven de hoogste golf). Ook is het mogelijk caissons op palen te plaatsen. De ruimte in de caissons kan dan nuttig worden gebruikt.

4.2.4 In of op het water*Pontons*

Pontons zijn drijvende bakken die verankerd worden aan de zeebodem. Een groot voordeel is de flexibiliteit van deze pontons. Zij zullen wel beschermd moeten worden door een golfbreker. Het beperkte draagvermogen van pontons is een nadeel.

4.3 Zeeweringen

De functie van een zeewering is om het achterliggende land te beschermen tegen:

- inundatie door hoge waterstanden en
- wateroverlast veroorzaakt door golven.

Bij een terrein dat aangelegd is boven de maatgevende waterstand vervalt de eerste functie. Het keren van grond is bij loskorrelige terreinen vaak een nevenfunctie van de zeewering.

Bij zeeweringen kan onderscheid worden gemaakt tussen harde en zachte weringen. Zachte weringen worden geheel opgebouwd uit zand en zijn in het algemeen erg flexibel. Vrijwel alle andere weringen zijn harde weringen en zijn minder of niet flexibel.

In deze paragraaf wordt een aantal principeoplossingen gegeven voor de zeewering.

Duin/zanddam

Een duin of zanddam is geheel opgebouwd uit zand. Wanneer natuurlijke dynamiek wordt toegelaten in een dergelijke zeewering wordt gesproken over duinen. Indien een vastgesteld profiel door begroeiing volledig wordt vastgelegd wordt gesproken van een zanddam. Het ruimtebeslag is groot, vanwege de flauwe vooroever.

Dijk

Een dijk bestaat uit een kern van loskorrelige materialen afgedekt met een toplaag van materiaal dat in staat is om golfaanval en stroming te weerstaan.

Verticale muren

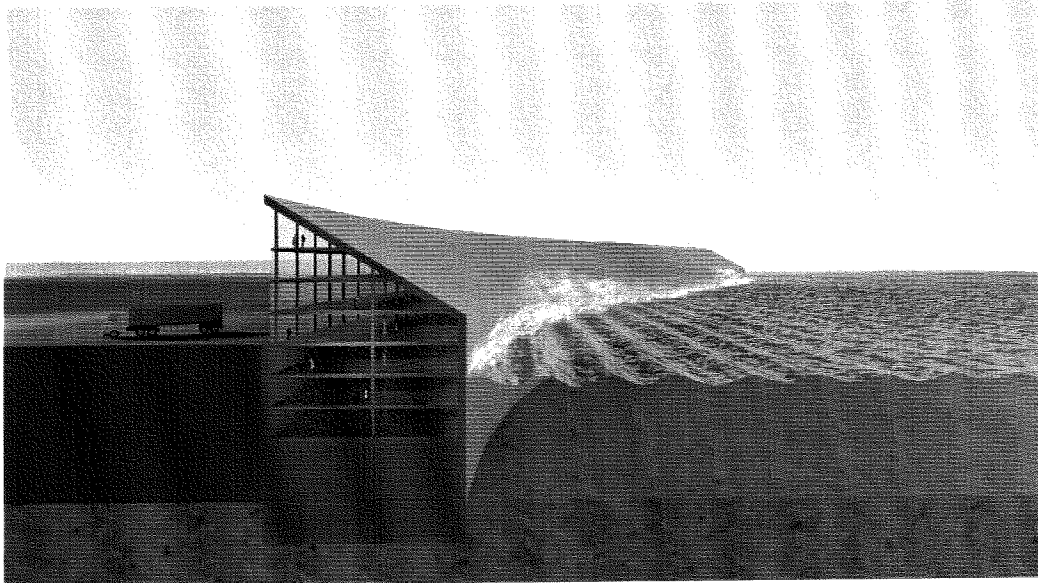
Er zijn veel constructies die een verticale wand bevatten. Voorbeelden hiervan zijn een keermuur, een kofferdam, een L-muur, een wand van gewapende grond en een muur opgebouwd uit losse elementen. Voordelen van deze typen zijn het geringe ruimtebeslag en de mogelijkheid om deze constructies bij voldoende waterdiepte als kademuur te gebruiken. Nadeel is echter de veel grotere kerende hoogte die nodig is door de staande golven die door reflectie voor een verticale wand ontstaan.

Vliezen

Water en eventueel golven kunnen gekeerd worden door het spannen van een vlies tussen palen. Hoge sterkte vezels maken dit in de toekomst technisch haalbaar. De aansluiting van het vlies op de palen en de bodem en de schadegevoeligheid van het ontwerp maken dit alternatief erg kwetsbaar.

Gebouwenkering

De water- en/of golfkerende functie kan ook worden vervuld door gebouwen. Door deze combinatie van functies wordt ruimte optimaal benut. Beoordelen van de veiligheid zal door die combinatie extra aandacht vergen. Een dergelijke zeewering zal zeker uitstraling hebben.



Figuur 2: Voorstelling van een gebouwenkering

Caissons

Een caisson is een betonnen bakconstructie met verticale wanden, verdeeld in een aantal compartimenten, die op een funderingslaag op de zeebodem staat. De stabiliteit van een caisson wordt ontleend aan het gewicht van de constructie. Caissons worden meestal elders gebouwd en vervolgens naar plaats van bestemming gevaren waar ze worden afgezonken en geballast. Door caissons in een rij te plaatsen wordt een zeewering verkregen.

Naast de traditionele betonnen rechthoekige vorm wordt onderzoek gedaan naar vele andere vormen en materialen voor caissons. Vooral bij diep water zijn caissons wegens het geringe materiaalverbruik en ruimtebeslag interessant.

Een nadeel van caissons is dat in geval van schade deze vaak vrij ernstig is. Schade door kantelen of afschuiven is vaak onherstelbaar. Bij een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2 zou aandacht besteed kunnen worden aan verplaatsbaarheid van de caissons.

Beweegbare kering

De stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg of de Oosterscheldekering zijn voorbeelden van beweegbare keringen. Vele creatieve ontwerpen zoals opblaasbare keringen en opdrijvende kleppen vallen hier eveneens onder. In het algemeen is een beweegbare kering duur ten opzichte van een vaste, met name vanwege de schadegevoeligheid en het onderhoud van de bewegendelen.

v.b.:

- Venetië, Italië; stalen elementen die verzonken in de bodem liggen kunnen, indien er storm dreigt, worden opgedreven waardoor het achterliggende water wordt beschermd (zie bijlage II, voorbeeld 4).

Natuurlijke oplossingen

Kliffen en rotsen zijn andere voorbeelden van een scheiding tussen water en land. Dergelijke oplossingen kunnen misschien dienen als inspiratiebron voor een zeewering.

Reservoirs of drainage achter de waterkering

Wanneer toegelaten wordt dat golven over de waterkering heenslaan resulteert dit in een aanzienlijke verlaging van de ontwerphoogte van deze kering. Het water dat over de kering heen slaat moet dan worden opgevangen en afgevoerd door middel van reservoirs en/of drainage.

Allerlei combinaties en variaties van genoemde oplossingen zijn uiteraard denkbaar.

4.4 Golfbrekers

4.4.1 Algemeen

Uit de voorbeelden in de vorige paragraaf blijkt dat de zeewering naast de functie van waterkering vaak ook de functie van golfbreker vervult. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van constructies die specifiek zijn ontworpen om golven te breken of tegen te houden.

Het creëren van een luwte om nautische of morfologische redenen is de eigenlijke functie van een golfbreker. Daarnaast kan een golfbreker dienen als geleider van stroom en scheepvaart.

De verschillende golfbrekers zijn onder te verdelen naar de vier manieren waarop golven worden verhinderd zich als oorspronkelijk voort te planten. Deze manieren zijn:

- Fysieke blokkade van de golven;
- Breken van golven;
- Energiedissipatie;
- Golfrichting beïnvloeden.

4.4.2 Fysieke blokkade

De golfenergie wordt door deze constructies gereflecteerd of geabsorbeerd.

Stenen dam (rubble mound breakwater)

Een stenen dam is een constructie die is opgebouwd uit losgestorte stenen, waarbij de stenen in de toplaag zodanig zwaar zijn dat ze bij het optreden van de maatgevende golf stabiel zijn. Deze constructie is flexibel en kan daardoor gemakkelijk zettingen in de ondergrond volgen, waardoor de schadegevoeligheid gering is.

v.b.:

- Ponta Delgada, Azoren; golfbreker op diep water (tot 25m), gebouwd met 25 tons tetrapods onder een helling 3:4 en stortsteen. Deze golfbreker werd na zware schade hersteld met 40 tons tetrapods onder een helling 1:2 over de oude golfbreker heen.
- Sines, Portugal; hier is in 1975 een prestigieuze golfbreker gebouwd in 30 tot 50 meter diep water. De golfbreker was 1700 m lang en had dolossen als armourlaag. Toen in februari 1979 de ontwerpstorm ($H_s = 11\text{m}$) optrad, was de schade aan de constructie enorm. Herstel is uitgevoerd met 90 tons anti-fer kubussen. Op de kop van de golfbreker zijn blokken van 105 ton geplaatst.

Caisson

De vorm en wijze van plaatsing van een caisson zijn al beschreven in de vorige paragraaf waar een caisson dienst deed als zeewering. Bij het gebruik van caissons als golfbreker verdienen de golfbelasting, die door golfklappen bijzonder hoog kan zijn, en de belasting door drukfluctuaties onder het caisson extra aandacht.

Een belangrijk nadeel van een caisson zijn de staande golven die voor de verticale wand ontstaan door reflectie van inkomende golven. Hierdoor moet rekening gehouden worden met een ontwerp golf die bijna twee maal zo hoog is als de inkomende maatgevende golf.

Om deze golf te reduceren kan men de reflectiecoëfficiënt van het caisson reduceren, bijvoorbeeld door het caisson een poreus front te geven. Achter dit front kan een woelkamer gemaakt worden, waar de energie van de golfklap wordt geabsorbeerd. Ook kan een aangepaste vorm van het caisson de golfklap en reflectie verminderen. Gedacht wordt dan aan cilindrische of trapeziumvormige caissons (zie hiervoor bijlage II voorbeeld 8).

v.b.:

- Tawanna marina, Kashima port, Japan; verschillende doorlatende typen zeemuren zijn hier gebouwd, waarbij die van het zogenaamde 'Warrock'-type het meest succesvol bleek te zijn.
- Italië; in Italië zijn ca. 35 verticale golfbrekers gebouwd, voornamelijk caissongolfbrekers. De reden hiervoor is dat de Italiaanse zeebodem vaak vrij hard is, waardoor er geen funderingsproblemen zijn te verwachten en een dergelijke constructie dus goed uitvoerbaar is (zie bijlage II voorbeeld 9).
- Sakai Port, Japan; in 1989 werd hier een prototype proef gedaan met drie circelvormige caisson. De caissons hadden een dubbele wand, waarvan de buitenste geperforeerd was, zodat de golfenergie kon dissiperen in een ruimte in het caisson. Tijdens de test ontstonden problemen met de stabiliteit van de laag waarop de caissons waren geplaatst (zie bijlage II voorbeeld 7).
- Japan; geperforeerde caissongolfbrekers: in een dergelijke constructie wordt energie gedissipeerd door de gaten in het caisson, waardoor de primaire golfaanval afneemt. Hierdoor kan de constructie lichter worden uitgevoerd.
- Kaohsiung, Taiwan (1967-1975); m.b.v. 136 cylindervormige caissons zijn hier twee golfbrekers gebouwd met een totale lengte van 3511 meter. De caissons hebben een diameter van 24 meter en hadden als ontwerpcriterium de windsnelheid van een typhoon, 227 km/u.
- Suao, Taiwan (1975-1981); verschillende golfbrekers met caissons op een stortstenen drempel ter bescherming van de haven.
- Kobe, Japan; fundatie van caissons door zuiging aan de bodem (een toepassing uit de offshore industrie).

Blokkendammen

Een blokkendam is een met nokken in elkaar grijpende en in verband gestapelde constructie, die wat betreft vorm gelijk is aan een caissonconstructie. Door een uitgekiende vormgeving van deze blokken kunnen de krachten op de constructie ten gevolge van golfklappen worden gereduceerd (zie bijlage II voorbeeld 10). De stabiliteit van de constructie wordt ontleend aan het eigen gewicht.

v.b.:

- Havens Karatsu, Kochi, Siogama en Numazu, Japan; Zeemuur opgebouwd uit stapelbare elementen van het type 'Igloo', die door specifieke vormgeving de golfklappen aanzienlijk verminderen.
- Novorossiysk, Rusland (1964); verticale wand golfbreker, opgebouwd uit grote gestapelde betonblokken op een ondergrond van zand en rots, waarop de blokken in een grindbed zijn geplaatst (zie bijlage II, v.b. 5).

Damwandscherm

Een verticale wand als golfbreker kan gerealiseerd worden in de vorm van bijvoorbeeld een damwandscherm. De cyclische golfbelasting stelt hoge eisen aan de inheidiepte en de sterkte van damwand en damwandsloten en veroorzaakt grote krachten bij de inklemming. Wanneer een enkele damwand niet voldoende sterk gemaakt kan worden kan een kistdam oplossing bieden. Hierbij worden parallel twee damwanden geslagen waartussen loskorrelig materiaal wordt gestort. Dit soort constructies is relatief goedkoop en neemt weinig ruimte in.

v.b.:

- Calumet Lake Michigan, Verenigde Staten (1935); in 9.6 m diep water is hier met stalen damwandplanken en stortsteen een 1500 m lange cellen golfbreker gebouwd.

Golfbreker op palen

Dit 'gordijntype'-golfbreker is een constructie op palen met een verticaal frame, waaraan een stalen plaat bevestigd is die gedeeltelijk in het water hangt. Dit type golfbreker wordt vaak toegepast als golfdemping bij een inlaatconstructie van elektriciteitscentrales.

v.b.:

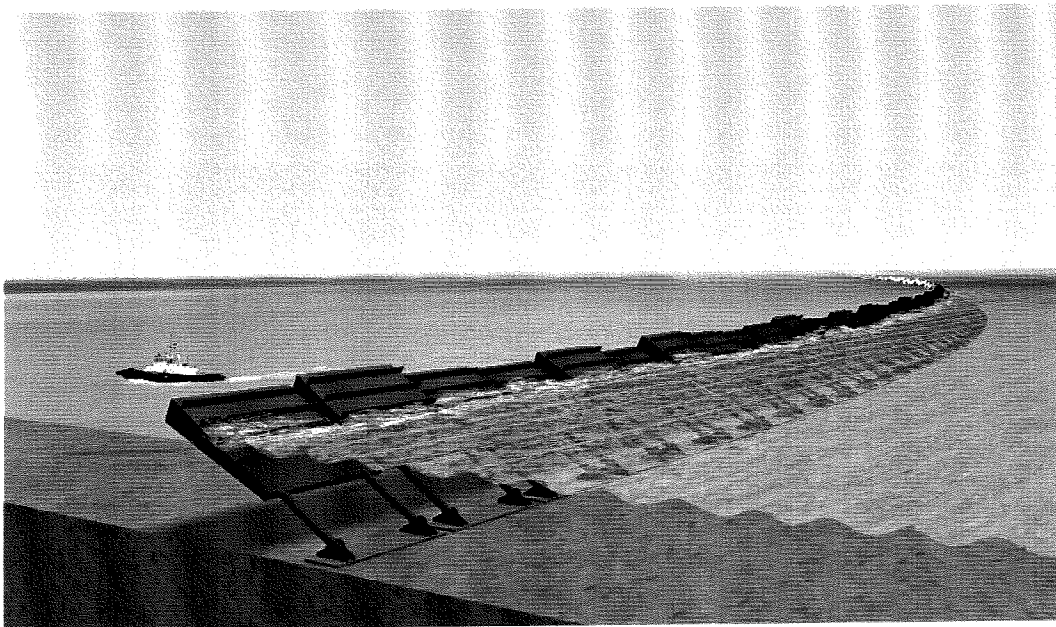
- Haven van Kashiwazaki, Japan (zie bijlage II, voorbeeld 10).

Drijvende starre golfbreker

Een drijvende starre golfbreker vormt een fysieke blokkade in de golfzone, die verankerd is aan de bodem. De breedte van zo'n golfbreker dient groter te zijn dan de lengte van de maatgevende golf. Dit vormt een groot nadeel, omdat deze golflengte vaak tientallen meters bedraagt. Ook kunnen sterke stromingen problemen geven bij verankering aan de bodem (zie bijlage II voorbeeld 6).

Roterende plaat

Een roterende plaat is een stalen of kunststof plaat die scharnierend is bevestigd aan een frame dat op de bodem is vastgezet. Hieronder bevindt zich een drijflichaam waardoor de plaat meebeweegt met het waterniveau. De bovenzijde van de plaat is bekleed met ruw materiaal, waardoor oplopende golven een deel van hun energie verliezen. Een groot aantal van deze platen naast elkaar vormt de golfbreker. Dit ontwerp is zeer innovatief en nog onderwerp van studie.



Figuur 3: Roterende platen als golfbreker

4.4.3 Breken van golven

Het breken van golven is een proces waarbij de golfhogte afneemt en een deel van de golfenergie wordt omgezet in turbulentie, bodemwrijving, geluid en stroming.

Er zijn twee criteria waarbij golven breken:

- Bij het benaderen van de maximale golfsteilheid (golflengte/golfhoogte $\approx \pm 7$)
- Bij het benaderen van de maximale waarde van de golfhoogte o.v. de waterdiepte.

Bij beide criteria zijn golfbrekerconcepten mogelijk.

Strand

Wanneer golven een gebied binnenlopen met afnemende waterdiepte neemt de golfhoogte toe. Dit verschijnsel heet shoaling. Door de afnemende waterdiepte wordt de maximale golfhoogte van een golf die zich in dat water kan voortplanten steeds kleiner. Door deze verschijnselen zullen golven breken wanneer ze een flauw talud oplopen, bij een strand.

Een strand kan kunstmatig worden gecreëerd. Hiervoor is wel veel materiaal (zand of soms grind) nodig. Tevens vergt een strand veel ruimte. Bij een strandhelling van 1:100 bedraagt het ruimtebeslag ruim 100 maal de waterdiepte.

Luchtbellenscherm

Een luchtbellenscherm bestaat uit een leiding op de zeebodem waar lucht doorheen stroomt. In deze leiding zitten gaten waardoor lucht ontsnapt. Deze luchtbellen veroorzaken een roterende stroming. Door deze tegenstroom zal de golfsteilheid van inkomende golven toenemen en zullen de golven breken. Nadelen zijn dat dit alleen werkt voor korte golven en dat de constructie erg kwetsbaar en onderhoudsgevoelig is.

Onderwaterdam

Een onderwaterdam kenmerkt zich door een kruinhoogte die zich onder het niveau van gemiddeld laag water bevindt. Golven die de dam passeren, passeren een ondiepte en breken daardoor. Een onderwaterdam bestaat uit losgestort materiaal en heeft een granulaire filteropbouw.

v.b.:

- Japan; Voor een jachthaven in Japan zijn twee opblaasbare membranen geplaatst. Deze reduceren de inkomende golf met 50% voor een grote variatie aan golflengten (zie bijlage II, voorbeeld 2).

Kunstrif

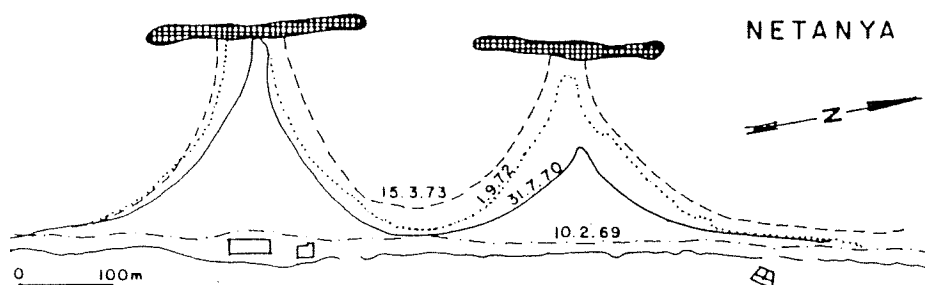
Een kunstrif heeft dezelfde werking als een onderwaterdam, maar is opgebouwd uit ongesorteerde stenen en puin.

Hangend strand

Een hangend strand is een combinatie van een strand met harde elementen, welke parallel aan en/of evenwijdig op de kust georiënteerd zijn.

v.b.:

- Netanya, Carmel en Tel Aviv, Israël; ter bescherming van de kust is hier een groot aantal stenen offshore-golfbrekers gebouwd waarachter zich tombolo's ontwikkelen.



Figuur 4: Een hangend strand bij Netanya, Israël

4.4.4 Energiedissipatie

Golven die zich voortplanten bezitten een hoeveelheid golfenergie; de golfhoogte is daarbij een maat voor de energie. Door een gedeelte van deze energie om te zetten in wrijving, warmte, turbulentie en geluid neemt de golfhoogte dus af.

Drijvende flexibele golfbreker

Een drijvende golfbreker is een kunststof 'matras' dat door middel van verankering met de zeebodem verbonden is. Door wrijving zorgt het matras ervoor dat de orbitaalbeweging van de golf afneemt. Met het reduceren van de orbitaalbeweging wordt ook de golfhoogte gereduceerd. Hiervoor moet dit matras wel breder zijn dan de halve golflengte. Dit idee is nog nooit op grote schaal gerealiseerd.

Horizontale platen onder water

Onder bepaalde omstandigheden vertoont een plaat die onder water vrij kan bewegen het zogenaamde 'oscillating wall effect'. Dit houdt in dat de plaat en de watermassa daaronder oscilleren en zich daardoor gedragen als een sterke reductiefactor. Ook dit systeem is nog niet toegepast.

v.b.:

- Universiteit van Quebec, Canada; drijvende platen onder water bestudeerd.

Viscositeit verhogen

Door het verhogen van de viscositeit van het zeewater kunnen golven gedempt worden. Hierbij kan worden gedacht aan een algendecken of een olievlek op het water. De beheersbaarheid en de milieu-technische bezwaren van deze toepassing zullen veel aandacht vergen indien blijkt dat deze oplossing een reële optie is.

Palenrij

Een palenrij bestaat uit een reeks palen met enige tussenafstand waar door wrijving, wervels en turbulentie een deel van de golfenergie gedissipeerd wordt. Door de palen onderling te verbinden met een frame of een dek wordt een stijvere constructie verkregen. Hierdoor zijn de palen minder gevoelig voor het in eigenfrequentie raken en lostrillen uit de bodem door de cyclische golfbelasting. Bij grote dieptes zijn al snel palen nodig met een zeer grote diameter waarvoor zwaar materieel moet worden ingezet.

Onderwatermolens/propellers

Een onderwatermolen is een constructie die bestaat uit een stalen draagframe met daarop een propellor. De propellor gaat ten gevolge van de golfbeweging draaien waardoor golfenergie gedissipeerd wordt. Een drijflichaam houdt de constructie op de juiste hoogte.

Bodemfluidatie

Bij bodemfluidatie wordt door waterinjectie in de bodem deze als het ware vloeibaar gemaakt. Een dergelijke vloeibare bodem geeft meer weerstand waardoor de golfhoogte wordt gereduceerd. Een voorwaarde is wel dat de bodem bestaat uit zand. In diep water, waar de bodem nauwelijks invloed heeft op de golfbeweging, is een dergelijk systeem niet toepasbaar.

Mangrovebossen

In veel tropische streken vindt men mangrovebossen voor de kust. Deze bossen zorgen ervoor dat de golven de kust niet kunnen bereiken. Onderzocht zou kunnen worden of een soortgelijke of aangepaste vegetatie in het Nederlandse klimaat en water zou kunnen gedijen.

Drijvende energie opwekkende golfbreker

Deze holle constructie wordt aan zeezijde afgesloten door een filterdoek. Dit doek beweegt onder invloed van de golven. Hierdoor ontstaat binnen in de constructie een luchtstroom die gebruikt wordt om turbines aan te drijven. De haalbaarheid van een dergelijke constructie is onbekend.

v.b.:

- Japan 1988; tijdens laboratoriumtest werd deze combinatie van energie winning en golfdemping getest.

4.4.5 Golfrichting beïnvloeden

Om de golfoverlast in een bepaald gebied te reduceren is het ook mogelijk om de richting van de binnenkomende golven zodanig te beïnvloeden dat de golven het gebied niet of in mindere mate kunnen bereiken.

DiffRACTIE

DiffRACTIE is het verspreiden van golven in de schaduwzone van een obstakel, bijvoorbeeld een havendam.

Refractie

Refractie is het buigen van de golfrichting van golven die onder een hoek een gebied met een hellende bodem naderen. De richtingsverandering is zodanig dat de hoek tussen golfrichting en bodem afneemt.

Golfreflectie

Een reflectiegolfbreker bestaat uit een aantal parallelle drempels die golven reeds buiten de brandingszone reflecteren. Slechts een deel van de golven zal gereflecteerd worden aangezien er geen fysieke blokkade van de gehele waterdiepte is. De kosten en effectiviteit van deze golfbreker zijn allebei laag. De drempels en de reflectie kunnen bovendien lastig zijn voor de scheepvaart.

In bijlage II wordt deze lange opsomming van golfbrekers aangevuld met enkele illustraties van verschillende typen golfbrekers. Ook worden daar de vele verschillende vormen van caissons en enkele funderingswijzen beschreven.

4.5 Conclusie

Het is niet mogelijk in dit stadium een optimale keuze te maken voor de wijze van terreinaanleg voor Maasvlakte 2 en voor het type zeewering of golfbreker dat daarbij het best zou passen. Daarvoor is uitgebreid onderzoek nodig naar de in dit hoofdstuk genoemde alternatieven.

Om een deel van dit onderzoek te kunnen doen, en wel het bekijken van de haalbaarheid van hergebruik van caissons bij een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2, worden een aantal aannames gedaan.

Verondersteld wordt dat het aan te leggen terrein evenals Maasvlakte 1 wordt opgespoten met voor de kust op te baggeren zand, en dat de benodigde harde zeewering zal bestaan uit caissons. Er dient te worden opgemerkt dat het hier gaat om een te bestuderen situatie die niet de pretentie heeft de beste oplossing te zijn.

In het volgende hoofdstuk is een globale kostenvergelijking gegeven van de verschillende typen zeewering. Het doel van dit overzicht is om een eerste financiële indruk te krijgen van de zeeweringsconstructies.

5. Globale kosten van de zeewering

In het vooronderzoek voor Maasvlakte 2, fase 1a, is een scala aan alternatieve schetsen gepresenteerd voor de lay-out van Maasvlakte 2. In deze schetsen wordt de nieuwe kustlijn aangelegd parallel aan de huidige dieptelijnen, tussen NAP -10.0 m en NAP -20.0 m. Met deze aanlegdieptes als uitgangspunt zijn drie duidelijk te onderscheiden enkelvoudige kustverdedigingsconstructies nader uitgewerkt in het rapport Zeeweringsconstructies [lit.2], te weten:

- Duinen
- Caissons
- Dijken

Deze drie principeoplossingen zijn ontworpen op basis van aannames voor randvoorwaarden en uitgangspunten, vooruitlopend op de nog lopende studies naar deze parameters, eisen en wensen. Deze ontwerpen dienen dan ook te worden gezien als oriënterend. Het doel van deze voorontwerpen is het geven van een indicatie over de kosten en bouwmethoden voor de zeeweringsconstructie.

Naast deze principeoplossingen in de vorm van conventionele constructies is het voor de vervolgfase van het onderzoek zeker aan te raden enkele alternatieve (innovatieve) constructies uit te werken, om zo tot optimalisatie van het ontwerp te komen.

Bij de globale kostenraming is voornamelijk uitgegaan van de kosten voor het materiaal. Verder is aangenomen dat voor het project voldoende materiaal en materieel beschikbaar is.

Tabel 5: Kosten per strekkende meter zeeweringsconstructie (afgerond, nauwkeurigheid $\pm 30\%$) overgenomen uit het rapport Zeeweringsconstructies [lit.2] van Projectorganisatie Maasvlakte 2

Principeoplossingen		Kosten per strekkende meter lente zeewering	
		Dieptelijn NAP -10.0m	Dieptelijn NAP -20.0m
Duinen incl. strandhoofden	exclusief harde begrenzing noordzijde	47.000,-	152.000,-
	harde begrenzing noordzijde	4.000,-	6.700,-
Caissons + bouwdok (onvoorzien 25 %)		100.000,-	150.000,-
Dijken		85.000,-	135.000,-

De beschikbaarheid van de materialen, de invloed van de Maasvlakte 2 op de omgeving (morfologie, ecologie etc.) en de juiste randvoorwaarden en uitgangspunten worden op dit moment onderzocht en zijn nog van een te grote invloed om nu al een voorkeur uit te kunnen spreken voor een bepaalde zeeweringsconstructie.

In het volgende hoofdstuk worden de mogelijkheden van een gefaseerde aanleg en de eventuele rol van caisson daarin beschreven.

6. Gefaseerde uitvoering van Maasvlakte 2

6.1 Inleiding

Omdat een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2 om eerder genoemde redenen gewenst is dienen de verschillende aanlegvarianten en de fasering daarvan nader te worden gespecificeerd om tot de verschillende lengte- en diepteprofielen van de caissonzeewering of -kademuur te komen. Na beschrijving van de varianten en de verschillende fasen van aanleg zal worden gekeken naar hergebruik van de caissons, ter plaatse als kademuur of na verplaatsing elders als zeewering.

6.2 Kansrijke varianten

Om in dialoog met de maatschappij tot een afweging te komen tussen kosten, baten en effecten van Maasvlakte 2 is het nodig een aantal onderscheidende varianten voor de aanleg van Maasvlakte 2 te ontwikkelen.

Bij het bepalen van de mogelijke situering van de Maasvlakte 2 doen twee sterk van elkaar afwijkende richtingen van zich spreken:

1. Bepaalde maatschappelijke krachten¹ vragen om de Maasvlakte 2 zover als mogelijk van de kust van Voorne en Goeree af te leggen; hetzij als een eiland, hetzij "verscholen" achter Maasvlakte 1. Beoogd wordt hiermee de zeeïnvloed op het kustgebied van Voorne en Goeree maximaal te houden.
2. Een zuidelijke ligging, waarbij het aan te leggen gebied zoveel mogelijk naar de kust toe wordt getrokken, is wat betreft gemak van aanleg en kosten veel aantrekkelijker. Het terrein schikt zich als het ware naar krachten van de zee, door buiten de belangrijkste zeestromen en golfaanvallen te liggen.

Tussen een noordelijke en een zuidelijke ligging zijn uiteraard ook middenposities mogelijk zijn.

In hoofdstuk 2 (zie ook bijlage I) is als start van het ontwerpproces een viertal zoekrichtingen gedefinieerd, ook wel contour- of principevarianten genaamd, die voor de duidelijkheid nog een keer genoemd worden:

1. Noord: een ligging "achter" Maasvlakte I waarbij de zeeïnvloed op Goeree en Voorne maximaal blijft.
2. Zuid: een ligging op de ondiepte tegenover Voorne en Goeree, buiten de voor de kust belangrijkste zeestromingen.
3. Midden: een ligging tussen noord en zuid in waarbij maximaal "achter" Maasvlakte I en maximaal buiten de voor de kust belangrijkste zeestromingen gebouwd wordt.
4. Eiland: op een afstand buiten de kust waardoor de invloed van de zee op Goeree en Voorne maximaal blijft en de belangrijkste zeestromingen niet worden gehinderd.

¹ Belangrijke maatschappelijke krachten die ageren tegen een afscherming door Maasvlakte 2 van de zee op Voorne en Goeree zijn: de lokale bevolking/bestuurders kuststreek (behoud zeeïnvloed) en de nationale natuur- en milieubescherming (strijd economie-ecologie).

Na een eerste screening bleek de principevariant van een eiland voor de kust niet te voldoen vanwege de onbereikbaarheid voor de binnenscheepvaart. Naar aanleiding van de overige zoekrichtingen is een viertal zogenaamde kansrijke varianten gedefinieerd:

1. Kosten-variant; een contour met zo gering mogelijke bouwkosten binnen de begrenzing van de principevariant zuid, waarbij de invloed van de lengte van de zeewering en de ondiepte wordt geoptimaliseerd;
2. Zuid-variant; een zo groot mogelijke zeeïnvloed op Goeree en Voorne binnen de begrenzing van principevariant zuid, met daarbij 2 mogelijke uitgangspunten:
 - de zuidoostelijke begrenzing van de totale Maasvlakte 2 in ieder geval boven de demarcatielijn (zeeïnvloed op Voorne);
 - de zuidwestelijke begrenzing zo dicht mogelijk bij Maasvlakte 1 (zeeïnvloed op Goeree);
3. Midden-variant: een ligging tussen noord en zuid in, maximaal "achter" Maasvlakte I en tevens maximaal buiten de belangrijkste zeestromingen;
4. Noord-variant: een ligging achter Maasvlakte 1 waarbij de zeeïnvloed op Goeree en Voorne maximaal blijft.

In bijlage III wordt een nader inzicht verschaft in deze varianten en hun kenmerken. De varianten zijn zoals hierboven genummerd in volgorde van zuid naar noord. De beschrijving van deze varianten betreft een korte toelichting op:

- De principiële uitgangspunten van de variant.
- De ontwerpruimte: de ruimte die er binnen de uitgangspunten is voor een verdere optimalisatie.
- Een omschrijving van de aard en ligging van nieuwe natuur en recreatie.
- De mogelijkheden voor een fasering van de aanleg en voor uitbreiding.
- Een indicatie van de kosten.

Verder zijn in de schetsen de volgende gegevens en uitwerkingen opgenomen:

- Een aanduiding voor de benodigde harde zeewering.
- Een uitwerking van de opzet voor de havenmond en het havenkanaal.
- De huidige vaargeul, deze is voorlopig als een vast gegeven aangehouden.
- Aanzetten van de insteekhavens ter indicatie van de uitwerking van het haven- en industriegebied.
- De infrastructuurbundel.
- De dieptelijnen.

6.3 Fasering van de aanleg

Voor de fasering van de aanleg zijn twee hoofdprincipes onderscheiden:

- Stapsgewijs uitbouwen.
- Eerst realiseren van de totale contour en daarbinnen stapsgewijs opvullen.

De voor- en nadelen van beide principes zijn divers, zoals te zien in tabel 6.

Tabel 6: Voor- en nadelen van faseringsprincipes

aspect	'stapsgewijs uitbouwen'	'contour eerst'
kosten	• meer gespreide investering • gering risico omvang MV II	• risico te grote contour • hogere investering bij aanvang
strategisch	• voor iedere fase kans op inspraak/oppositie	• geen inspraak/oppositie bij verschillende fasen
haveningang	• keuzevrijheid locatie haveningang beperkt	• vrijere keus locatie haveningang
leereffect	• per fase 'leren' voor volgende fase	• leerfase moet achter de rug zijn voor start aanleg; meer onderzoek vooraf
effect	• omvang effecten komt geleidelijk	• direct maximale effecten
constructies	• mogelijk tijdelijke constructies • telkens weer ontgrondingskuilen	• geen tijdelijke constructies • eenmalige ontgrondingskuilen

Beide principes kunnen in een bepaalde situatie de meest gunstige zijn. De varianten kunnen hierop worden getoetst.

De maatvoering van de zeehaveningang bepaalt voor een belangrijk deel de grootte van de eerste fase.

De nieuw te maken contour van Maasvlakte 2 heeft een lengte van ongeveer 15 tot 25 km waarvan indicatief de helft "hard" en de helft zacht is. Voor de zachte verdediging is maximaal 200.000 m³ zand nodig wat overeenkomt met circa een derde deel van de totale zandbehoefte.

Bij het uitbouwen van Maasvlakte 2 gelden de volgende uitgangspunten:

- De havenmond dient gedurende de fasering niet te worden verplaatst: het uitbouwen kan door een verlenging van het havenkanaal.
- Het eerste terrein dient zo mogelijk direct aan te sluiten op Maasvlakte 1, d.w.z. zeewaarts uitbouwen.

Voor elk van de vier kansrijke varianten is in bijlage III een mogelijkheid voor fasering van de aanleg en een aanduiding voor de benodigde harde zeewering gegeven.

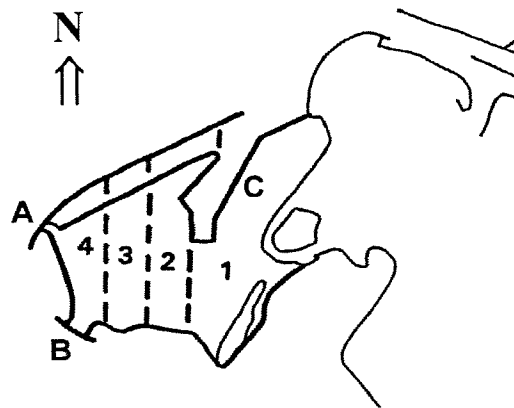
Daar het gewenst is te kijken naar het hergebruik van caissons als zeewering moet eerst worden bepaald voor welke variant een dergelijk hergebruik in aanmerking komt bij een gefaseerde aanleg. Bij die variant dient immers sprake te zijn van behoefte aan een harde zeewering. Tevens dient er een faseringsplan te zijn, waarbij de aanleg van het terrein in fasen in de richting van die harde zeewering de voorkeur verdient.

Voor elk van de vier kansrijke varianten zal worden bekeken of hergebruik van een harde zeewering aan de orde is.

Variant 1

Aanleg in fasen vindt plaats aan de (zuid)westelijke zijde, in de richting van de zachte zeewering, parallel aan de harde zeewering ten noorden van het gebied (zie figuur 5). In elke nieuwe fase is slechts een verlenging van deze harde zeewering gewenst.

De westelijke kop van deze harde zeewering (A) zal over een lengte van ongeveer 1500 m eventueel wel in aanmerking komen voor verplaatsing. De in een bocht geplaatste caissons kunnen dan in één lijn worden geplaatst met het rechte stuk van de harde zeewering om zo een verlenging van de zeewering in dezelfde richting mogelijk te maken.



Figuur 5: Fasering variant 1

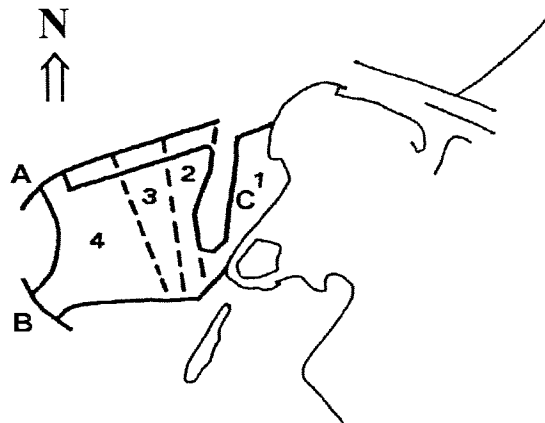
Ten zuidwesten van het totaal aan te leggen terrein is een harde zeewering van ongeveer 1300 m gepland (B). Het is de vraag of deze zeewering in dezelfde hoedanigheid nodig is in de eerdere fasen van aanleg. Wanneer de noordelijke zeewering in de eerste fasen ver genoeg in zee zal steken is dit misschien niet het geval. Hierover zal duidelijkheid moeten worden verkregen voordat kan worden besloten of het nuttig is de verplaatsbaarheid van deze zeewering uit te werken.

Variant 2

Aanleg in fasen vindt plaats in westelijke richting. Voor de noordelijke harde zeewering (A) geldt hetzelfde als bij variant 1.

Ook hier zal de zeewering tijdens de verschillende fasen worden verlengd en komen alleen de caissons die in de bocht aan de westelijke kop van deze zeewering staan eventueel in aanmerking voor verplaatsing.

Het gedeelte harde zeewering dat aan de zuidwestelijke rand van het gebied is getekend ligt wel loodrecht op de richting waarin gefaseerde aanleg is gedacht (B). Dit gedeelte is ongeveer 2500 meter lang.



Figuur 6: Fasering variant 2

Evenals bij variant 1 zal hier ook moeten worden bekeken of deze harde zeewering in eerdere fasen wel nodig is, en of een harde zeewering bestaande uit caissons een reële optie is, gelet op de diepte waarin fase 2 en 3 worden aangelegd.

Een interessant gedeelte van deze fasering is de zeewering (C) die nodig is voor de aanleg van fase 1. In de eerste plaats zal een zeewering van ongeveer 1800 m aan noordelijke zijde gebouwd worden, die aansluit op de bestaande Zuiderdam van Maasvlakte 1. Het overige deel van de

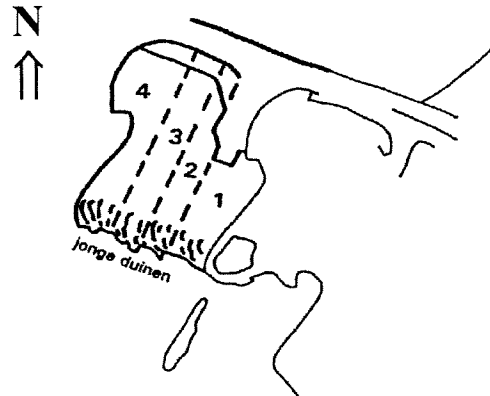
zeewering voor deze fase 1 is ongeveer 5000 m lang en ligt voornamelijk ten westen van het aan te leggen terrein.

Op deze zelfde lijn zal na aanleg van fase 2 een kademuur gesitueerd zijn. Bekeken kan worden of dit stuk zeewering (C) na aanleg van fase 2 de functie van kademuur kan vervullen, door bijvoorbeeld caissons te gebruiken. De benodigde diepte voor nuttig gebruik van de kade kan een probleem vormen. De huidige diepte ter plaatse van de aan te leggen zeewering annex kademuur varieert van NAP -15 m in het noordelijke deel tot NAP -5 m in het zuidelijke deel.

Variant 3

Wegens de vereiste lengte van 3500 m tussen het havenhoofd en de ingang van het havenkanaal dient de harde zeewering die nodig is voor de eindfase al in zijn geheel in de eerste fase aangelegd te worden. Hierachter wordt het terrein in verschillende fasen aangelegd.

Mogelijkheden voor hergebruik of verplaatsing van een harde zeewering biedt deze variant dus niet.



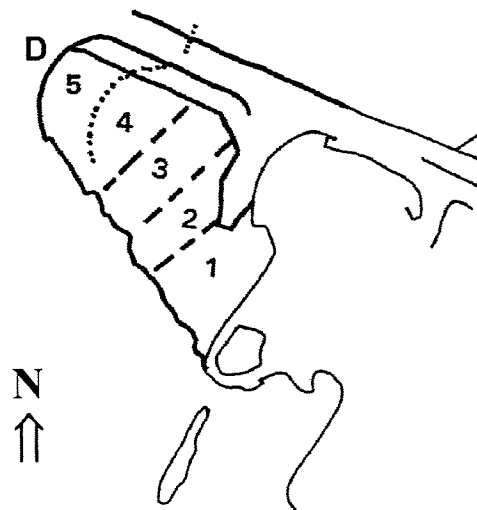
Figuur 7: Fasering variant 3

Variant 4

Evenals bij variant 3 is bij deze variant ook een afstand van 3500 m tussen het havenhoofd en de ingang van het havenkanaal vereist. Bij de uiteindelijke situatie is dit havenhoofd echter nog 2 km verder in zee gepland.

Aangezien bij de voorgestelde fasering de landaanwinning in de richting van het 5000 m lange gekromde gedeelte van de harde zeewering (D) plaatsvindt, is het hier nuttig om te kijken naar een mogelijke verplaatsing van dit gedeelte van de harde zeewering in de verschillende fasen.

Het rechte gedeelte van de zeewering dat evenwijdig ligt aan de Maasgeul zal dan telkens worden verlengd.



Figuur 8: Fasering variant 4

6.4 Conclusie

Uit de bovenstaande analyse komt een aantal situaties naar voren dat interessant is voor verdere studie naar hergebruik en/of verplaatsing van caissons. Samengevat zijn dit:

1. *Bij variant 1 en 2 (zie A in figuur 5 en 6):*
Het verplaatsen van de in een boog geplaatste caissons op de kop van de golfbreker zodat deze in één lijn komen te staan met de rest van de golfbreker waardoor een rechtlijnige verlenging van de golfbreker mogelijk is bij aanleg van een volgende fase.
2. *Bij variant 1 en 2 (zie B in figuur 5 en 6):*
Het verplaatsen van de respectievelijk 1300m (variant 1) of 2500m (variant 2) lange zeewering ten zuidwesten van het terrein in de richting van de gefaseerde aanleg.
3. *Bij variant 2 (zie C in figuur 5 en 6):*
Het ontwerpen van een 5000m lange zeewering die in volgende fasen dienst doet als kademuur.
4. *Bij variant 4 (zie D in figuur 8):*
Verplaatsen van het gekromde westelijke deel van de zeewering in de richting van de gefaseerde aanleg.

Ad 1: Situatie 1 is waarschijnlijk niet erg reëel omdat er in die situatie vanuit gegaan wordt dat de golfbreker in elke fase gelijkvormig is aan de golfbreker in de eindsituatie en steeds wordt verlengd. Het ligt meer voor de hand om de golfbreker in de eerste fase al in een rechte lijn te bouwen, zodat verlengen eenvoudig is. Wel moet dan bekeken worden of deze layout in het gewenste stroombeeld past.

Ad 2: Situatie 2 is het minst interessant voor verdere studie omdat niet duidelijk is of hier daadwerkelijk een harde zeewering noodzakelijk is en of in dat geval het gebruik van caissons een reële optie is, gezien de geringe diepte ter plaatse van die zeewering.

Ad 3: Situatie 3 schetst een plan dat zeer de moeite waard is om nader uit te werken. Het hergebruik van de zeewering als kademuur kan overigens ook bij een gefaseerde aanleg van de overige varianten nuttig zijn. In alle gevallen geldt dit voor de overgang van fase 1 naar fase 2.

Ad 4: Situatie 4 vraagt ook om nader onderzoek. Het gedeelte van de golfbreker tot 3500 m vanaf de ingang van het havenkanaal dient al in de eerste fase te worden aangelegd. Voor het aanleggen van de laatste fase moet dan de gekromde westelijke kop van de golfbreker 2000 m worden verplaatst en dient het rechte stuk met 2000 m te worden verlengd. Het in twee fasen aanleggen van de golfbreker levert dus een uitstel van de aanleg van 2000 m golfbreker op voor de periode tussen de aanleg van de twee fasen.

Het stuk golfbreker in situatie 4 kost bij aanname van 150.000 gulden per m¹ ongeveer 300 miljoen gulden. Wanneer de aanleg van de laatste fase, die het verplaatsen van de golfbreker impliceert, 20 jaar plaats vindt na aanleg van de eerste, levert dit bij een rentevoet van 8% en een inflatie van 1% per jaar een besparing op van 221 miljoen gulden op¹. Indien de kosten van de verplaatsing beduidend minder zijn dan dit bedrag is gefaseerd aanleggen van de totale golfbreker en verplaatsing van een gedeelte ervan een goede oplossing.

¹ besparing: $300 - \frac{300 \cdot (1,01)^{20}}{(1,08)^{20}} = 221,5$ miljoen gulden

Bovendien kan tegen de tijd dat de verplaatsing aan de orde is opnieuw worden bekeken of er op dat moment of in de nabije toekomst behoefte is aan die volgende fase. Het risico dat het ineens aanleggen van het gehele terrein met zich meebrengt mag niet worden verwaarloosd. Dit risico vertegenwoordigd ook een bepaalde waarde.

Opgemerkt dient te worden dat de hier gebruikte getallen slechts een ruwe schatting van de werkelijkheid zijn. De juistheid en gevoeligheid van deze getallen op de verschillende berekeningen zal nader moeten worden bekeken.

Twee apart te bestuderen onderwerpen die de moeite waard zijn resteren nu, te weten:

1. Bepaling van de uitvoering en de kosten van het bouwen en verplaatsen van een 5000 meter lange golfbreker bestaande uit caissons.
2. Ontwerpen van een golfbreker opgebouwd uit caissons die in een later stadium dienst kan doen als kademuur.

Onderwerp 1 wordt als onderwerp van studie gekozen in het vervolg van dit onderzoek.

In het volgende hoofdstuk worden enkele aspecten van het verplaatsen van een caissongolfbreker in de gekozen situatie nader bekeken.

7. Verplaatsen van een caissongolfbreker

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden enkele aspecten die een rol spelen bij het verplaatsen van een caissongolfbreker nader toegelicht. Voor de lay-out van de golfbreker voor en na de verplaatsing wordt uitgegaan van de schetsen zoals die zijn gehanteerd in het vorige hoofdstuk. Verdere variaties in de lay-out van Maasvlakte 2 of van de hiervoor benodigde zeeweringen worden niet bekeken. Het op deze ene lay-out toegespitste onderzoek kan later wel van nut zijn bij het beoordelen van andere ontwerpen voor Maasvlakte 2 of voor andere projecten.

7.2 Situatieschets

De profielen voor de lay-out van de golfbreker voor en na de verplaatsing worden bepaald aan de hand van de figuren uit bijlage III. Hieruit volgen de gegevens in tabel 7.

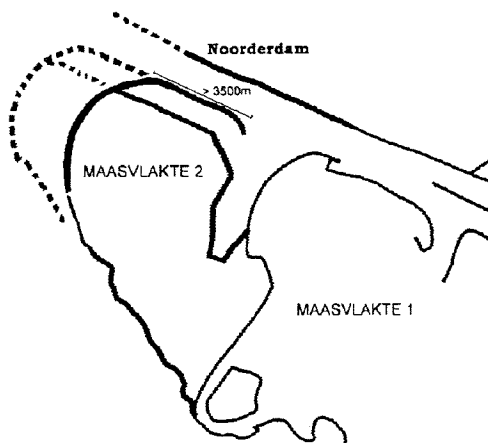
Tabel 7: Gegevens over de plaats van de caissongolfbreker

	situatie voor verplaatsing	situatie na verplaatsing
1. lengte	ongeveer 5 km	ongeveer 5 km
2. aanlegdiepte	18 tot 20 m	20 tot 22 m
3. boogstraal	ongeveer 2 km	ongeveer 2 km

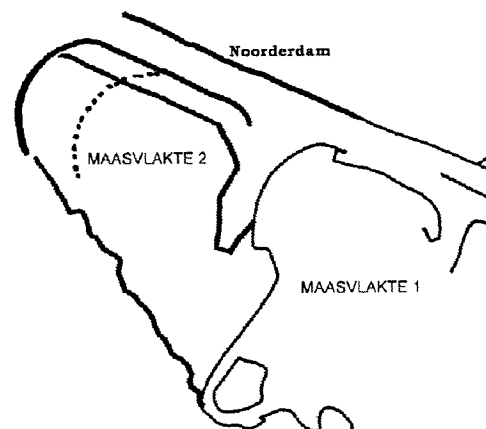
Ad 1.

De optimale lengte van de golfbreker hangt af van de invloed van de golfbreker op de stroming en morfologie, van de aard van de aansluitende zeewering en natuurlijk van de exacte vorm van het te beschermen terrein.

Omdat het aan te leggen terrein spits toeloopt in de richting van de golfbreker is het boogvormige deel van de golfbreker in de tweede fase korter. De caissons die over blijven van het kopdeel worden gebruikt voor een gedeelte van verlenging van het rechte stuk.



Figuur 9: Uitvoeringsfase 1



Figuur 10: Uitvoeringsfase 2

Vooralsnog wordt er vanuit gegaan dat in beide situaties een golfbreker van 5000 m nodig is. Bij een lengte van ongeveer 5 km en een caissonlengte van 60 m zijn ongeveer 85 caissons nodig.

De optimale lengte van de caissons zal mede afhangen van het tijdsbestek waarin de golfbreker verplaatst moet worden. De totale tijd die benodigd is om de golfbreker te verplaatsen hangt af van de cyclustijd voor het verplaatsen van één caisson en van het aantal cycli. Deze worden onder andere bepaald door respectievelijk de afmetingen van een caisson en het aantal caissons.

Ad 2.

Wanneer wordt uitgegaan van het gebruik van caissons van gelijke afmeting op één lengteprofiel en wanneer deze caissons na enkele jaren worden verplaatst naar dieper water heeft men te maken met een verschil in aanlegdiepte zowel op een enkel tracé als tussen de twee tracé's. Dit verschil kan als volgt worden opgevangen:

Op elk punt van één tracé wordt een gelijke aanleghoogte van de drempel gekozen; het verschil op één tracé bedraagt dan ongeveer 2 meter. Het verschil tussen de twee tracé's, dat eveneens gemiddeld 2 meter bedraagt, kan op twee manieren worden opgevangen:

- Voor de tweede fase een drempel aanleggen die gemiddeld 2 meter hoger is.
- Het verschil van 2 meter tussen de tracé's opvangen door na verplaatsing van de golfbreker de caissons te verhogen; dit kan door bijvoorbeeld het dek van het caisson, dat toch moet worden verwijderd wanneer het caisson moet worden ontdaan van ballast, te vervangen door een dek met een opzetstuk. De stortstenen drempel heeft dan in beide gevallen dezelfde hoogte.

Een kostenafweging moet uitwijzen welk alternatief het beste is, waarbij moet worden bedacht dat het verhogen van het caisson de totale verplaatsingstijd ook zal verhogen.

Verskil in drempelhoogte op één tracé wordt vermeden omdat het uitvoeringstechnisch lastig is om een sprong in de drempel te hebben en omdat dan caissons met verschillende afmetingen nodig zijn. Dit laatste dient te worden voorkomen om de caissons zoveel mogelijk uitwisselbaar te maken. Ook met het oog op eventuele beschadigingen van caissons voor of tijdens de verplaatsing van de golfbreker is dit wenselijk.

Ad 3.

Bij een boogstraal van 2000 m, een caissonlengte van 75 m en een golfbrekerlengte van 5000 m bedraagt de plaatsingshoek tussen twee golfbrekers ongeveer 0,5 graad. Wanneer wordt uitgegaan van een caissonbreedte van 23 m en rechthoekige caissons bedraagt de opening¹ aan het front van de golfbreker tussen twee caissons 0,2 m. Indien dit een probleem oplevert kan dit worden opgevangen door de caissons trapeziumvormig te bouwen (vanuit bovenaanzicht), waarbij de ene lange zijde van het caisson 0,2 m langer is dan de andere.

¹ opening = $2 \times (23 \times \sin(0,5^\circ)) \approx 0,4 \text{ m}$

7.3 Verplaatsen van een afgezonken caisson

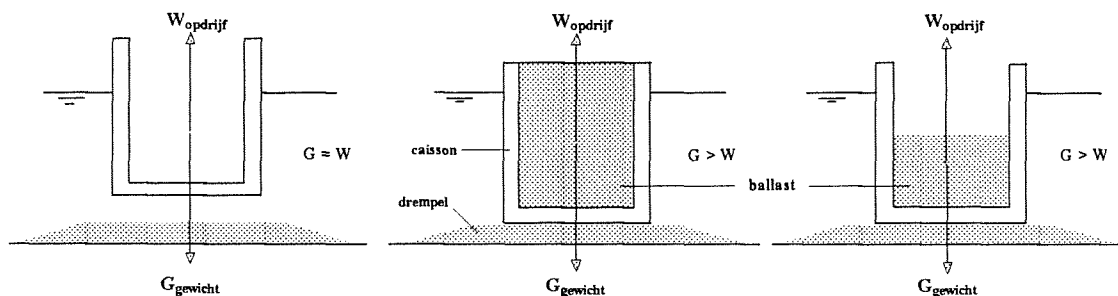
Wanneer een caisson van een bestaande golfbreker verplaatst moet worden kunnen drie situaties worden onderscheiden:

- Hoe wordt het caisson verplaatsbaar gemaakt?
- Hoe wordt het caisson getransporteerd?
- Hoe wordt het caisson vervolgens opnieuw geplaatst?

Bij het vinden van oplossingen voor deze situaties worden de volgende vragen gesteld:

- a) Wat te doen met de ballast van het caisson?
1. wel verwijderen $\Rightarrow$ caisson drijft op
 2. niet verwijderen $\Rightarrow$ caisson blijft totale gewicht houden
 3. gedeeltelijk verwijderen $\Rightarrow$ caisson wordt lichter maar drijft niet op

SCHEMATISATIE VAN CAISSON MET EN ZONDER BALLAST



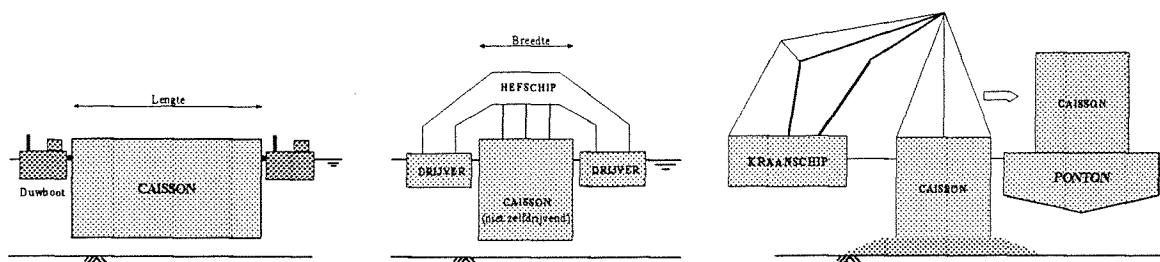
a1) ballast wel verwijderen

a2) ballast niet verwijderen

a3) ballast gedeeltelijk verwijderen

Figuur 9: Schematisatie van een caisson met en zonder ballast

- b) Hoe het caisson te transporteren?
1. met duw- en sleepboten caisson drijvend verplaatsen (in combinatie met a1)
 2. caisson hangend in hefschip verplaatsen (in combinatie met a1, a2 of a3)
 3. caisson met kranen op ponton tillen en transporteren (in combinatie met a1, a2 of a3)



b1) drijvend caisson met duw- en sleepboten verplaatsen

b2) caisson hangend in een hefschip verplaatsen

b3) caisson met kranen uit het water tillen en op ponton vervoeren

Figuur 10: Schematisatie van verplaatsingsmethoden voor een caisson

Deze mogelijkheden brengen de volgende voor- en nadelen met zich mee:

Tabel 8: Voor- en nadelen verplaatsingsmethoden.

	voordelen	nadelen
a1	- caisson wordt lichter en dus beter te hanteren - afzinkprocedure is bekend	- ballast verwijderen kost geld - omdat leegmaken tijd vergt zal het caisson enige tijd vlak boven de drempel 'dansen' wat beschadigingen kan veroorzaken - caisson zal bij afzinken opnieuw geballast moeten worden - opslag of vervanging van oude ballast nodig
a2	- ballast kan blijven zitten, dus hier geen tijdverlies - geen materieel nodig voor verwijderen van ballast - geen ballastmateriaal opslaan - geen herballasting	- zeer zwaar hef- en afzinkmaterieel nodig - zwaar transportmaterieel nodig - hantering minder gecontroleerd door grote massa van caisson
a3	gedeeltelijk ballast verwijderen geeft minder tijdverlies en kan tot een optimaal gewicht van het caisson leiden, dat te hanteren is bij het voor handen zijnde materieel	zelfde baggermaterieel nodig als bij volledig verwijderen van de ballast methode nodig om het gewicht van het caisson te bepalen tijdens het verwijderen van de ballast (nauwkeurig bijhouden wat wordt verwijderd)
b1	- vervoeren en plaatsen is hetzelfde als bij de eerste plaatsing - relatief goedkoop materieel is voorhanden	- ballast geheel verwijderen noodzakelijk - plaatsingsnauwkeurigheid minder dan bij een hefschip, invloed van onrustig water groter
b2	- nauwkeurige behandeling van de caissons mogelijk - ballast hoeft niet (geheel) te worden verwijderd - minder gevoelig voor onrustige zee - methode is snel en effectief	duur materieel nodig, zeker indien dit speciaal zal moeten worden gebouwd
b3	- materieel voorhanden - geen (volledige) verwijdering van ballast nodig - het caisson zelf hoeft niet te varen, wat de bestuurbaarheid ten goede komt en de hinder voor scheepvaart beperkt	- verschillend materieel voor het heffen en plaatsen en voor het transporteren - van het drijvend vermogen van een caisson wordt geen gebruik gemaakt waardoor het te tillen gewicht erg groot wordt

Om een verantwoorde keuze te kunnen maken tussen de verschillende manieren van verplaatsen is meer informatie nodig over het varen met caissons, de methoden van ballasten en afzinken van caisson en over de capaciteit van bestaande en eventueel te ontwikkelen kraanschepen.

7.4 Hergebruik van drempelmateriaal

Wanneer wordt uitgegaan van het gebruik van indentieke caissons voor beide situaties en de drempelhoogte dus als variabele met de diepte wordt gehanteerd geldt de minimale drempelhoogte op het ondiepste punt in de twee tracé's. Deze minimale drempelhoogte zal in de vervolgstudie worden bepaald.

Om te bepalen of het nuttig en/of mogelijk is om de drempel opnieuw te gebruiken bij verplaatsing van de golfbreker, moeten de volgende vragen beantwoord worden:

1. Is het opbaggeren en hergebruiken van een stortstenen drempel van de bepaalde omvang goedkoper dan het aanleggen van een nieuwe drempel?
2. Is het mogelijk om in het beschikbare tijdvenster het gedeelte van de drempel waar de caissons reeds weggehaald zijn op te baggeren en te gebruiken voor verdere aanleg van de nieuwe drempel?
3. Is het beter om een drempel in één keer helemaal te storten?
4. Er zal een gedeelte van de nieuwe drempel moeten worden gestort voor het verplaatsingsproces kan beginnen: is dit gedeelte niet onevenredig groot?
5. Mag het oude drempelmateriaal blijven liggen als het nieuwe land wordt opgespoten?

Het opbaggeren en opnieuw storten van de drempel is duurder dan het storten van een drempel met nieuw materiaal. Het vermengen van de filterlagen met verschillende steendiameters brengt ook nog een sorteerprobleem met zich mee. Indien de oude drempel mag blijven liggen onder het nieuw op te spuiten land kan dus worden gezegd dat hergebruik van de drempel niet haalbaar is.

7.5 Tijdvenster voor verplaatsing

Het verplaatsen van de golfbreker kost tijd. Bouwen op zee is bijna onmogelijk bij slechte weersomstandigheden. Er zal dus bij voorkeur gedurende de zomermaanden worden gewerkt. De lengte van de periode waarin gewerkt kan worden hangt af van de verwachte weersomstandigheden, de aard van de werkzaamheden en het risico dat men wil nemen bij het uitvoeren van die werkzaamheden.

Ook het risico dat het door de golfbreker beschermde land loopt door de verplaatsingswerkzaamheden is hierbij van belang. Een gedeelte van dit land zal immers enige tijd onbeschermd zijn.

Bij het opstellen van een uitvoeringsplan voor het verplaatsen van de golfbreker komen onder andere de volgende punten aan de orde:

1. Bij welke uitvoeringsvolgorde wordt het te beschermen land het minst blootgesteld aan inkomende golven?
2. Welke schade door golven aan het te beschermen land wordt geaccepteerd gedurende de verplaatsing van de golfbreker?
3. Welk tijds kader van uitvoering hoort hierbij met inachtneming van het voorkomen van bepaalde golfhoogtes in de verschillende maanden?

Deze drie punten zullen in samenhang moeten worden bekeken.

Het aantal werkbare dagen hangt uiteraard ook af van de wijze van uitvoering, daar sommige werkzaamheden afhankelijker van het weer zijn dan andere.

7.6 Verloren gaan van een caisson

Het is mogelijk dat een caisson gedurende de verplaatsingsoperatie onherstelbaar beschadigd raakt of vóór herplaatsing moet worden gerepareerd hetgeen een onacceptabel grote vertraging oplevert. Daarom moet worden gekeken naar de kans dat een caisson verloren gaat en de gevolgen daarvan. Ook zal een oplossing moeten worden gevonden voor het geval dit zich voordoet. Het is bijvoorbeeld mogelijk één of meerdere reservecaisson(s) te bouwen.

Om te kunnen beoordelen wat de beste oplossing is voor dit probleem dient onder andere het volgende te worden uitgezocht:

- Hoeveel caissons zijn nodig voor de verschillende lengteprofielen?
- Op welke manieren kan een caisson verloren gaan (faalmechanismen)?
- Wat is de kans dat een caisson verloren gaat?
- Wat is de te verwachten schade bij het verloren gaan van een caisson?
- Wat kost(en) één of meerdere reservecaisson(s) en waar worden deze opgeslagen?

7.7 Financiële consequenties

Er zijn drie alternatieven die bij een haalbaarheidsstudie van een verplaatsbare caisson-golfbreker voor de aanleg van Maasvlakte 2 volgens variant 4 (zie bijlage III en paragraaf 7.2) met elkaar moeten worden vergeleken. Dit zijn:

1. In twee fasen het gebied aanleggen met een caissongolfbreker die voor aanleg van de tweede fase wordt verplaatst.
2. In twee fasen het gebied aanleggen met een caissongolfbreker die in beide fasen in het geheel wordt opgebouwd met nieuw materiaal.
3. In één keer het hele uiteindelijk aan te leggen gebied omsluiten met een caissongolfbreker.

Een economische vergelijking van deze alternatieven moet uitwijzen of de hier beschouwde situatie 1 een haalbaar alternatief is. Voor deze vergelijking zijn kostenbepalingen nodig van:

- De direct complete aanleg exclusief golfbreker.
- De gefaseerde aanleg exclusief golfbreker.
- Een golfbreker voor de complete aanleg.
- De te bouwen golfbrekers tezamen bij de gefaseerde aanleg.
- Een te verplaatsen golfbreker en het verplaatsen hiervan bij de gefaseerde aanleg.

Bij een gefaseerde aanleg is er het grote voordeel dat kan worden ingespeeld op de verwachte ruimtebehoefte op het moment dat er overwogen wordt de volgende fase aan te leggen. Onzekerheden in de voorspelling over ruimtebehoefte over enkele decennia die nu moet worden gemaakt zijn dan niet aan de orde, waardoor een bepaald investeringsrisico wordt uitgesloten.

Bij de beoordeling van het alternatief met een verplaatsbare golfbreker mag dit aspect zeker niet worden verwaarloosd. De grootte van dit risico kan worden geschat wanneer de betrouwbaarheid van die voorspelling en de investeringskosten van de verschillende fasen kunnen worden bepaald. Vooral voor de economische voorspellingen is dit niet eenvoudig.

7.8 Conclusie

In dit hoofdstuk is een groot aantal onderwerpen belicht dat nadere bestudering behoeft.

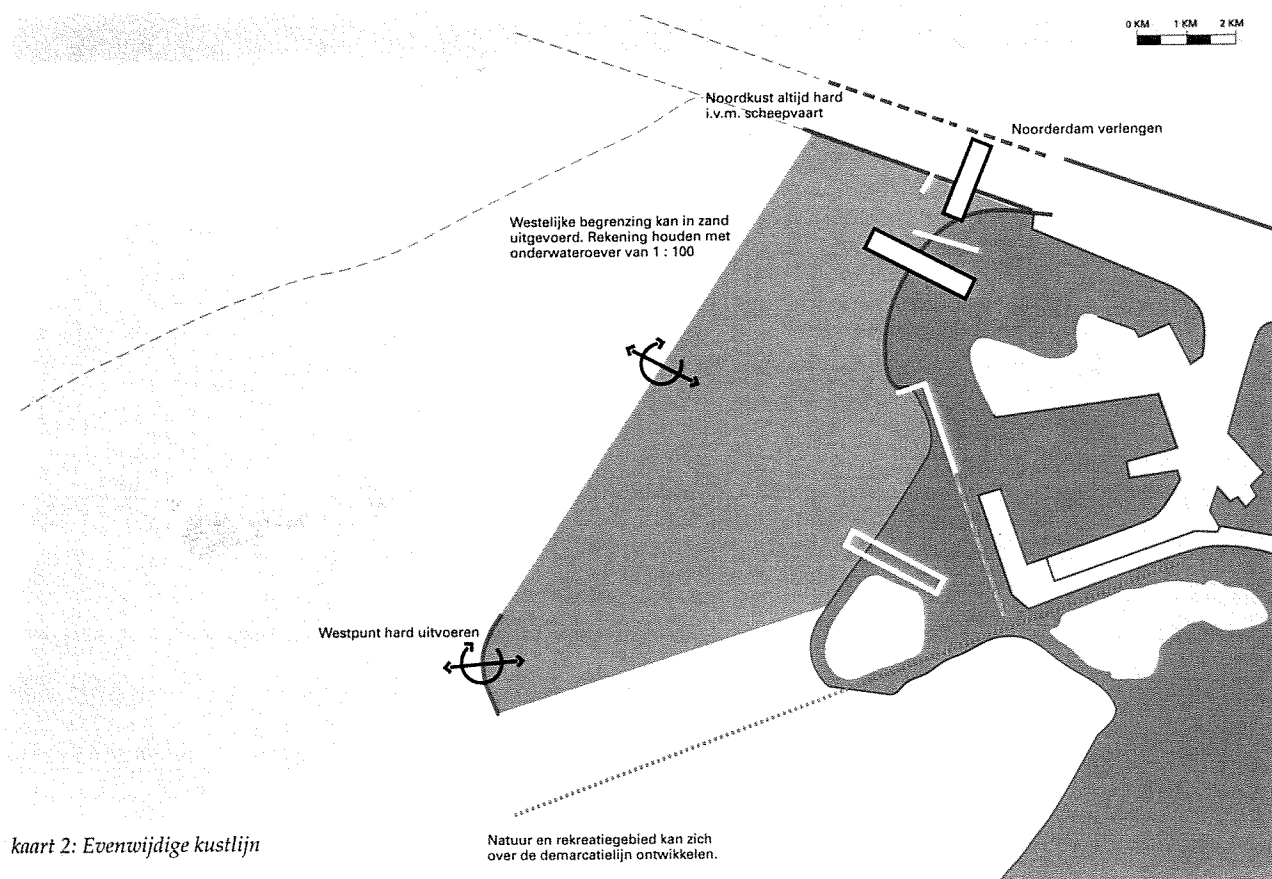
In het vervolg van dit afstudeeronderzoek zal op een aantal van die onderwerpen nader worden ingegaan. Aandacht zal onder andere worden besteed aan de volgende onderwerpen:

- Het bepalen van de benodigde hoogte en breedte van de caissons:
 - de omgevingscondities van de golfbreker: golf- en hoogwaterverdelingen;
 - de gewenste mate van bescherming van de golfbreker;
 - de hoogte van de stortstenen drempel onder het caisson;
 - de mogelijke faalmechanismen van de golfbreker.
- Verschillende methoden voor plaatsing en verplaatsing van de caissons.
- Ontwerp van de betonconstructie:
 - belastingen op de betonnen constructie;
 - dimensionering van de betonnen constructie;
 - optimalisering van de caissonlengte.
- Totale kosten van de caissongolfbreker.
- Financieel voordeel bij een gefaseerde aanleg van de golfbreker.

Lijst van geraadpleegde literatuur

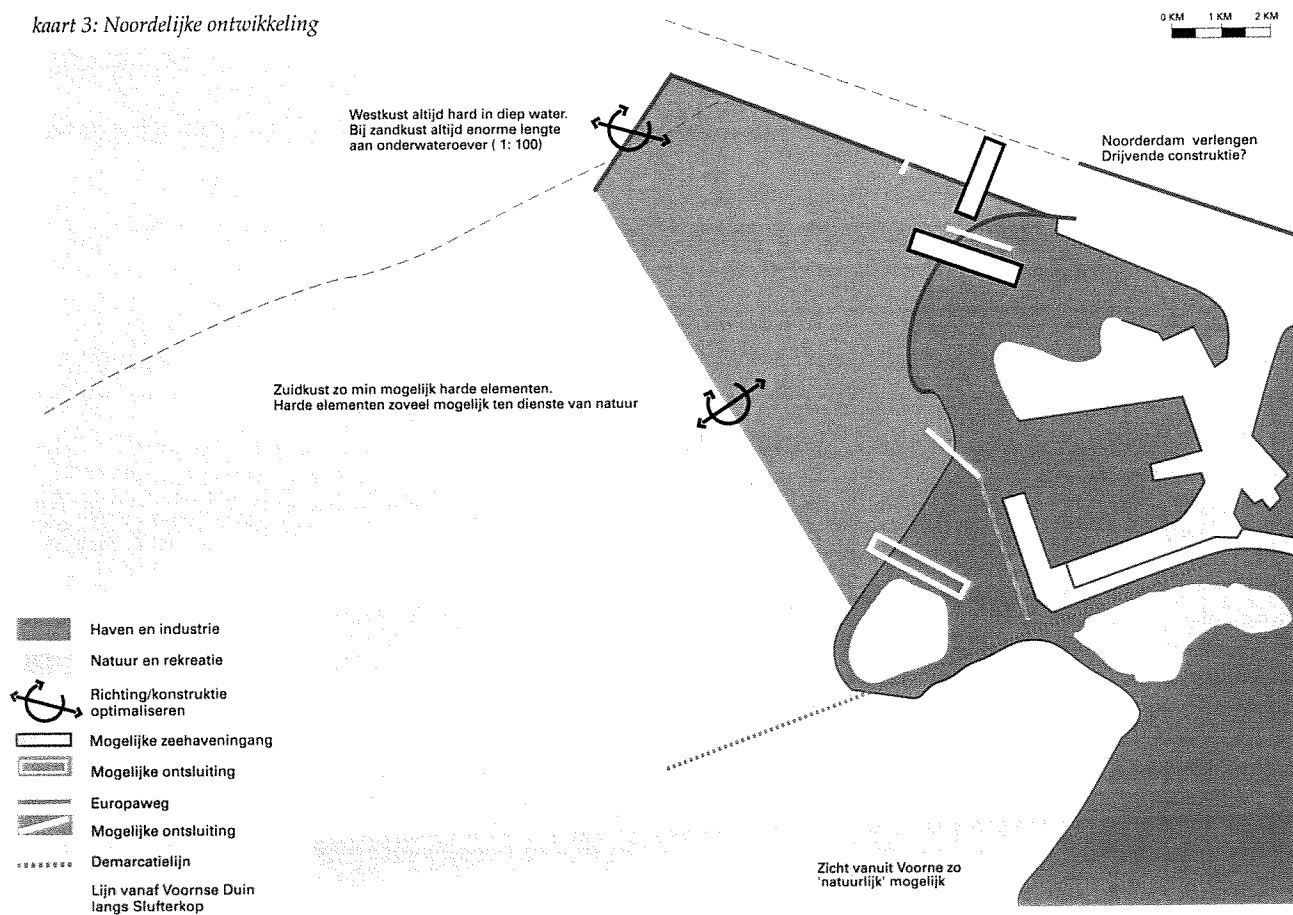
1. **Agema, Dr. ir. J.F.:** Overzicht golfbrekers/zeeweringen ten behoeve van het project Maasvlakte 2, juni 1996
2. **Bouwdienst Rijkswaterstaat, Gemeentewerken Rotterdam, Projectorganisatie Maasvlakte 2:** Zeeweringsconstructies, Principeoplossingen (oriëntatie), rapport MV2-P-95017, 20/09/95
3. **Grabowsky&Poort BV** (in opdracht van Project Organisatie Maasvlakte 2): Inventarisatie Constructies Maasvlakte 2, Eindrapport 4503-011.rap, concept extern, 30-08-1996
4. **Project Organisatie Maasvlakte 2:** Rapportage Voorstudie Maasvlakte 2, fase 1A, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Port of Rotterdam, november 1995
5. **Project Organisatie Maasvlakte 2:** Verkenning ontwerpvarianten, Maasvlakte 2, fase 1A Voorstudie, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Port of Rotterdam, 22 december 1995
6. **Project Organisatie Maasvlakte 2:** Bouwstenen voor het ontwerp (concept), november 1996
7. **Goda, Y.:** Random seas and design of maritime structures, University of Tokyo Press, 1985
8. **Verruijt, A.:** Grondmechanica, 3e druk, Delfse Uitgevers Mij., 1990
9. **Project Organisatie Maasvlakte 2:** Fysieke bouwstenen voor ontwerp MV2 (ontwerpschetsen), PIO, november 1996

Bijlage I: Contourvarianten Maasvlakte 2

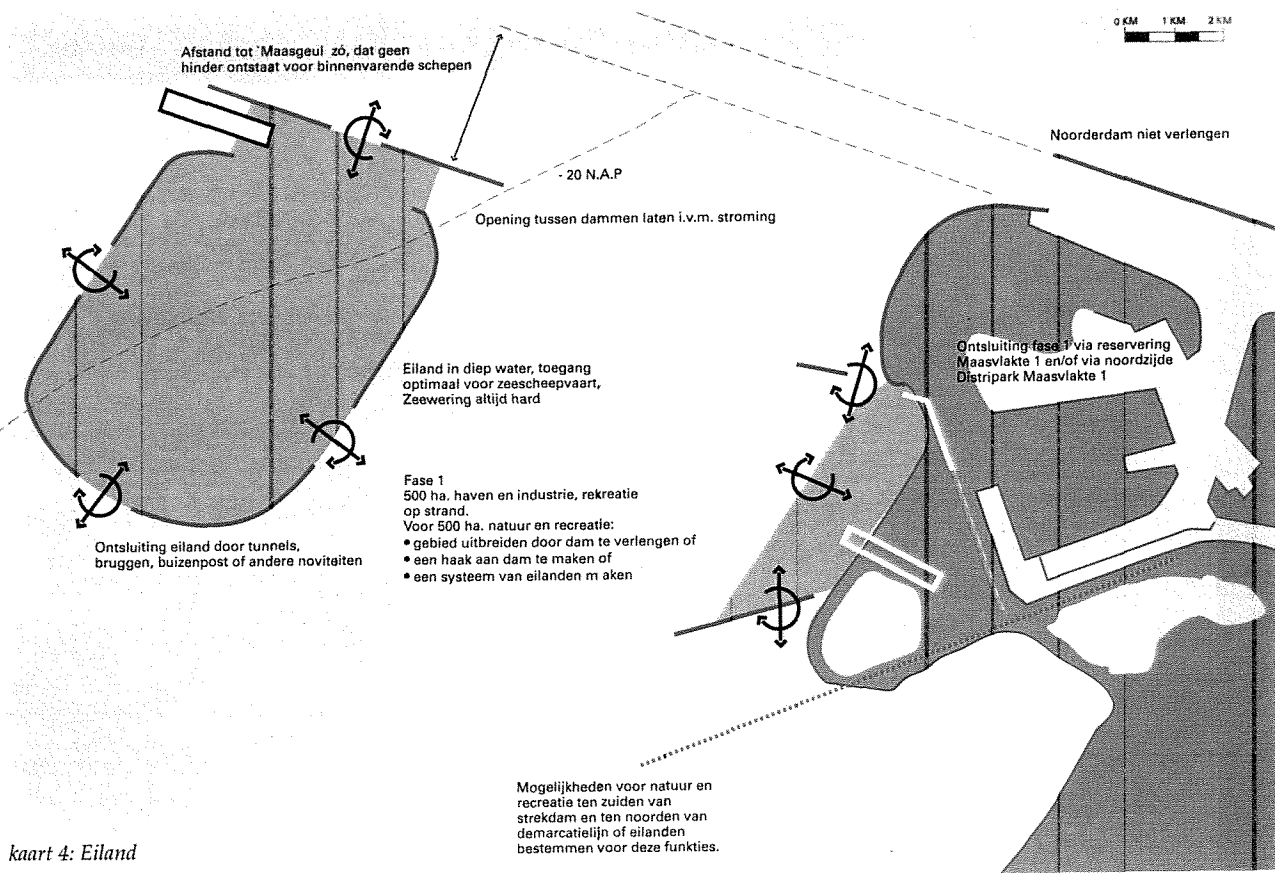


kaart 2: Evenwijdige kustlijn

kaart 3: Noordelijke ontwikkeling

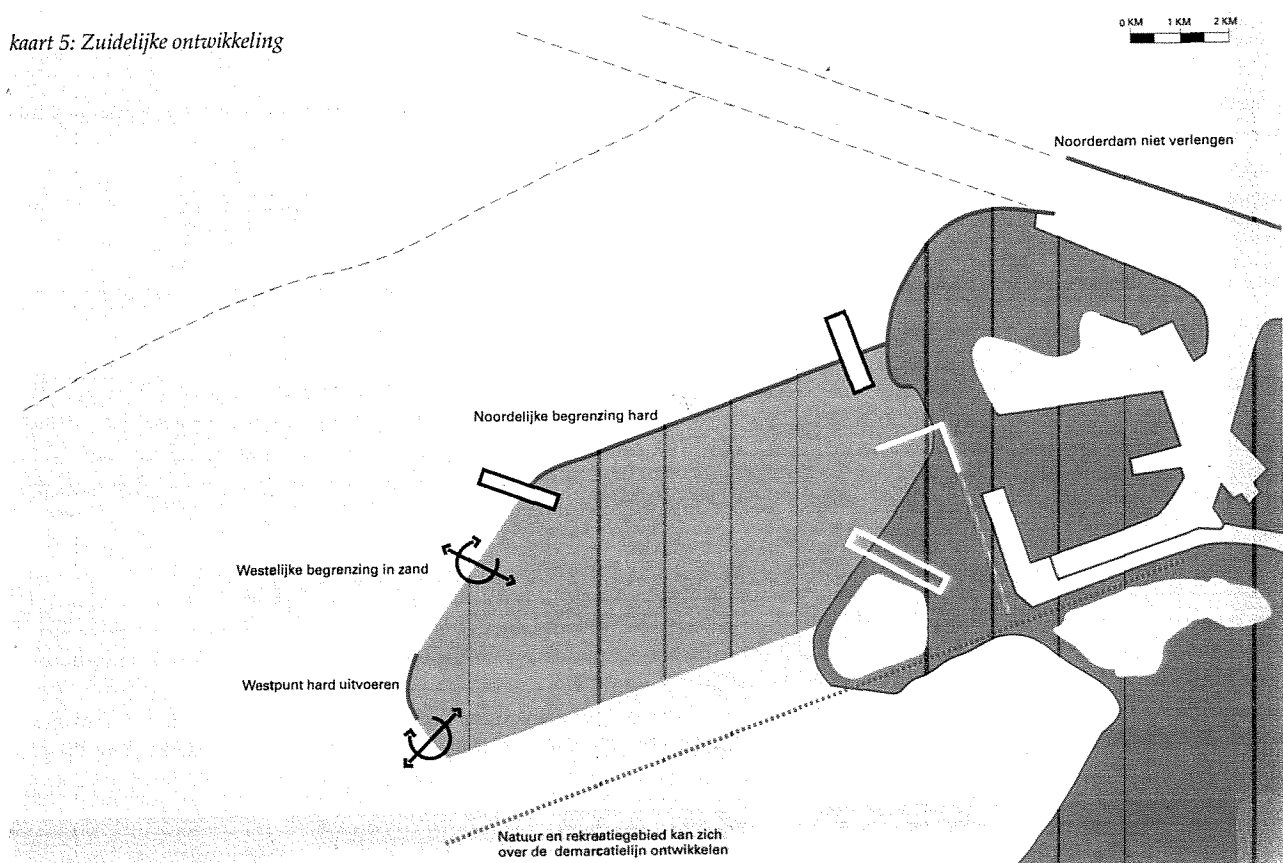


- Haven en industrie
- Natuur en recreatie
- Richting/konstruktie optimaliseren
- Mogelijke zeehaveningang
- Mogelijke ontsluiting
- Europaweg
- Mogelijke ontsluiting
- Demarcatielijn
- Lijn vanaf Voornse Duin langs Slufterkop



kaart 4: Eiland

kaart 5: Zuidelijke ontwikkeling

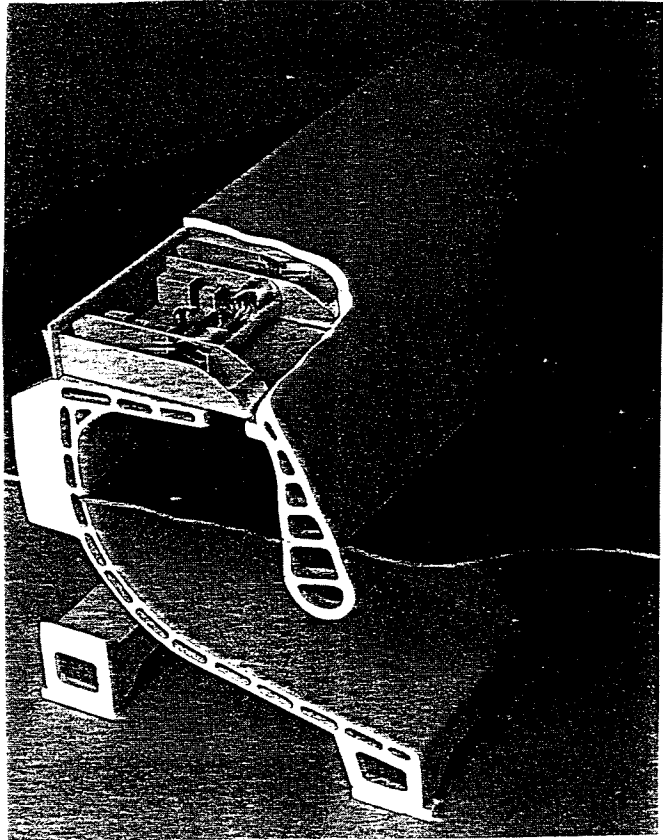


Bijlage II: Voorbeelden van golfbrekers

In deze bijlage is een aantal golfbrekers geïllustreerd om een indruk te geven van de diversiteit aan ideeën en mogelijkheden voor het bouwen van een golfbreker. De voorbeelden zijn ontleend aan [lit.1] en [lit.2].

1. Caissongolfbreker met energieopwekking

Status: Studie.

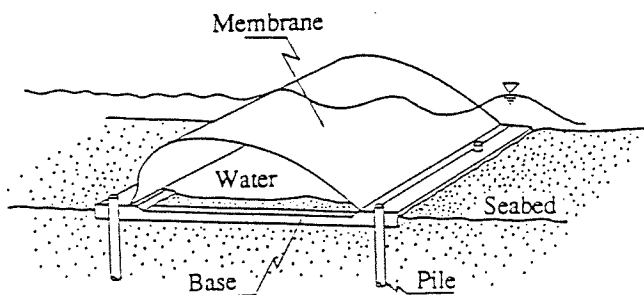


Scale model of the 1982 NEL breakwater oscillating water column device

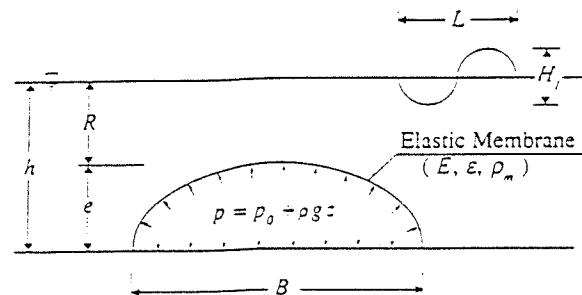
2. Opblaasbare golfbreker

Status: Uitgevoerd, Japan.

Toelichting: Als proef zijn twee membranen met een afmeting van 40x30x9m (LxHxB) voor een jachthaven geplaatst, waarbij voor een grote variatie aan golflengtes de inkomende golf met 50% werd gereduceerd.



Concept of Flexible Mound (FLM) using lumped-mass method



Definition sketch & modelling

6. Drijvende golfbreker

Status: Test, ca. 1985, Universiteit van Cheng-kung, China

Toelichting: Na diverse laboratoriumtests werd geconcludeerd dat een drijvende golfbreker beter functioneert als hij verticaal drijft, i.p.v. horizontaal.

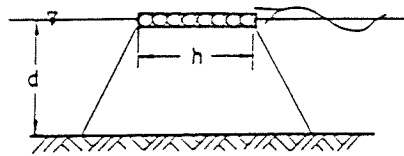


Fig 1. Horizontally moored style of wave-fence

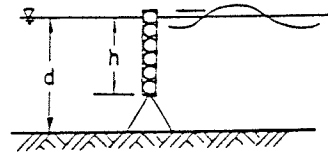
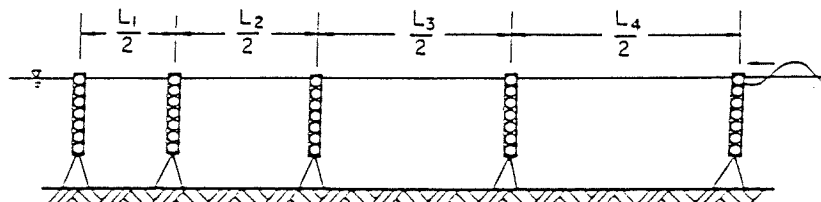


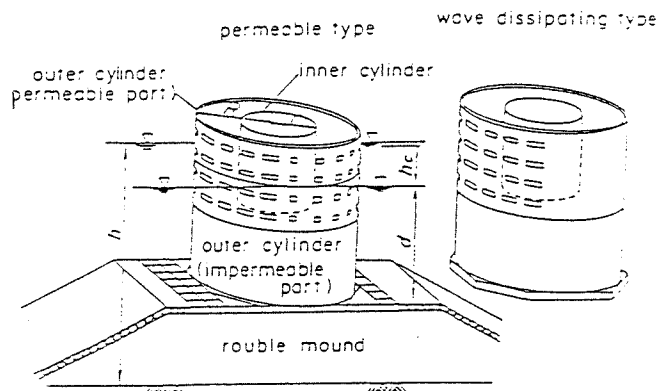
Fig 2. Vertically moored style of wave-fence



7. Golfbreker met circelvormige caissons

Status: Test in 1989, Sakai Port, Japan

Toelichting: Na uitgebreide laboratoriumtests is een prototype proef gedaan in de haven van Sakai met 3 caissons. De caissons hadden een dubbele wand, waarvan de buitenste geperforeerd was, zodat de golfenergie kon dissiperen in een ruimte in het caisson. Tijdens de test ontstonden problemen met de stabiliteit van de laag waarop de caissons waren geplaatst. Ontwerpcriteria waren: $H_s = 2.6$ m, $H_{max} = 4.7$ m, waterdiepte = ca. 11 m.



Conceptual figure of dual cylindrical caisson

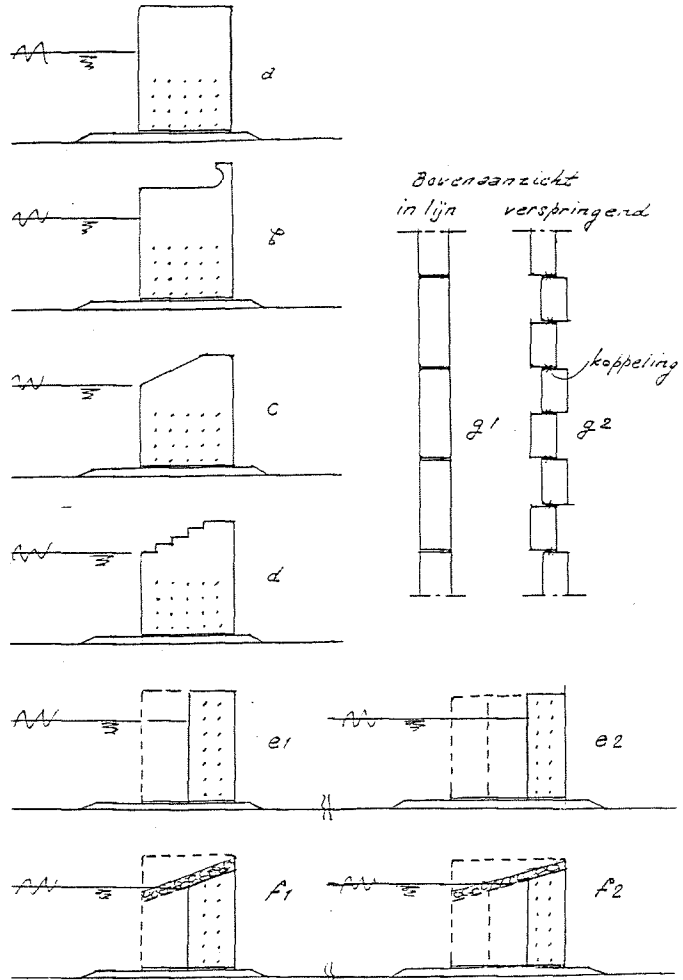


Slid caisson in Sakai Port

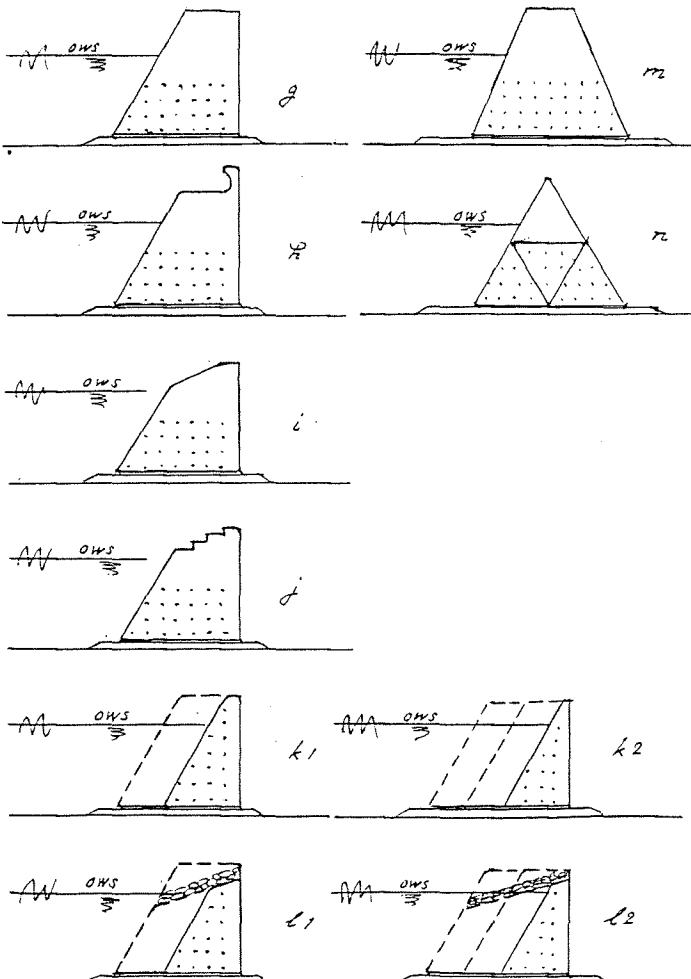
8. Diverse caissonvormen

Caisson worden niet altijd uitgevoerd in een strikt rechthoekige vorm. Om reflectie van golven, golfkrachten die ontstaan door golven en golfklappen, golfoverslag en materiaalgebruik te reduceren wordt steeds gezocht naar betere vormen van het caisson. Hier is een overzicht gegeven van de grote diversiteit aan vormen van caissons (ontleend aan [lit.1]).

De stippellijnen in de figuren stellen een poreus front voor, met daarachter een woelkamer voor het absorberen van de golfenergie.



Rechthoekige caissons

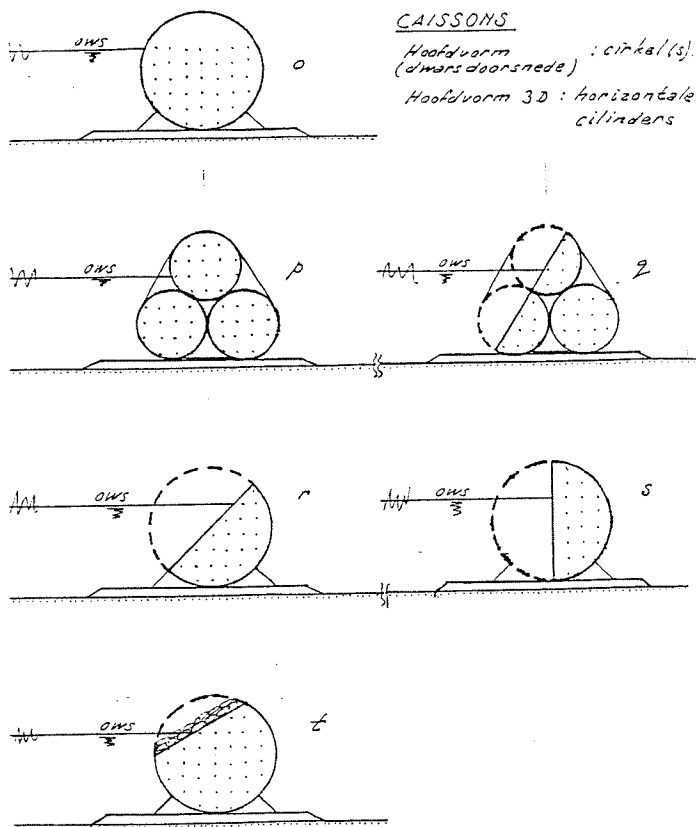


Rechthoekig of gelijkbenig trapezium als caissonvorm

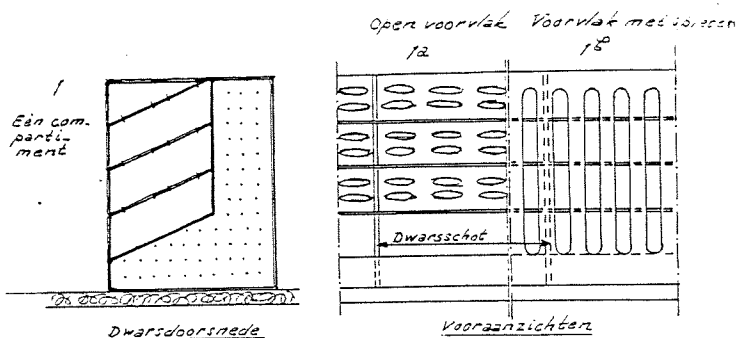
Circelvormige caissons

Het caisson kan bestaan uit een enkelvoudige cilinder of kan zijn opgebouwd uit meerdere cilinder-vormige elementen.

De stippellijn stelt een geperforeerde wand voor, met daar achter een 'wave-stilling chamber'.



Dwarsdoorsneden

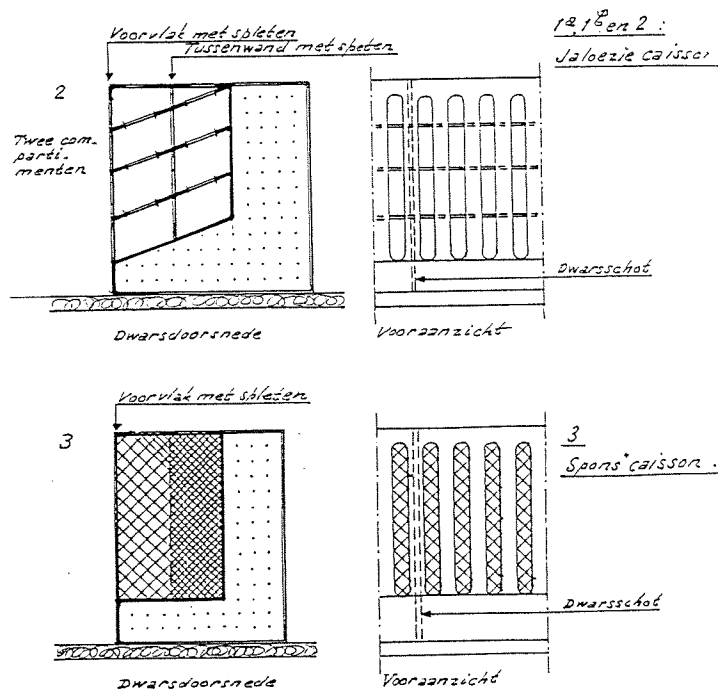


'Jaloezie- en spons'-caissons

De jaloezieplaten zijn in beide gevallen geperforeerd, de onderste uitgezonderd. In het laatste geval vindt energiereductie plaats door:

- de geperforeerde wand aan de zeezijde
- de geperforeerde jaloezieplaten
- het 'wave-stilling' compartiment

In een 'spons'-caisson zitten twee compartimenten, waarvan het gedeelte aan de zeezijde poreuzer is dan het aangrenzende deel. De 'spons' kan bijvoorbeeld bestaan uit stortsteen of een stapeling van boomstammen.

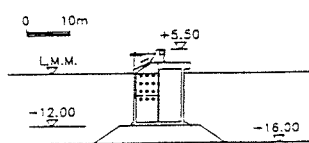


9. Diverse caissongolfbrekers

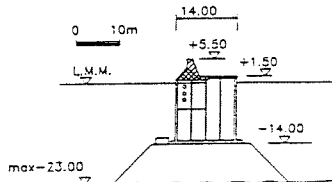
Status: Uitgevoerd in Italië.

Toelichting: Door de vaak harde Italiaanse zeebodem zijn deze constructies hier goed uitvoerbaar.

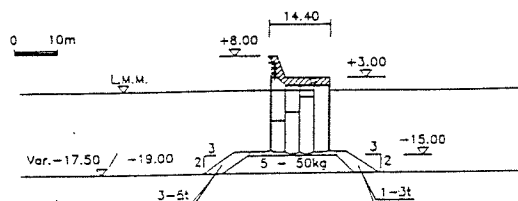
NAPOLI: MOLO MARTELLO



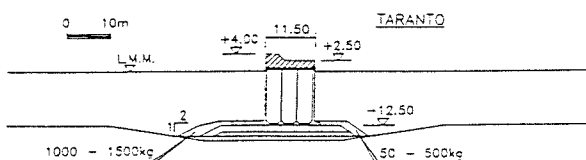
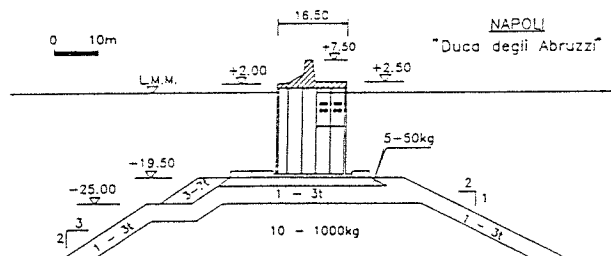
SURKUNIU



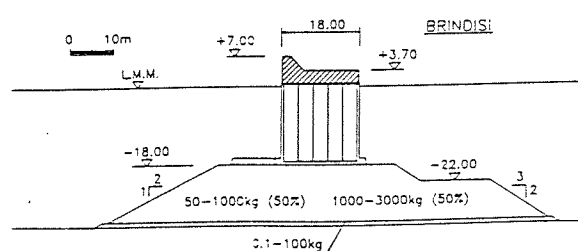
PORTO TORRES



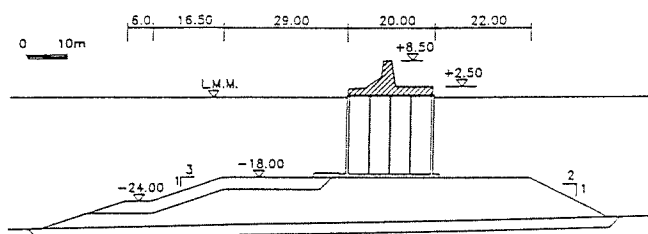
TARANTO

NAPOLI
"Duca degli Abruzzi"

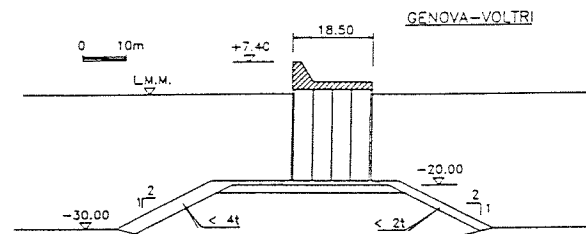
BRINDISI



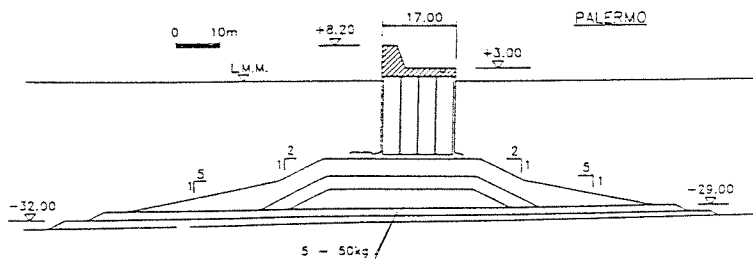
CIVITAVECCHIA



GENOVA-VOLTRI



PALERMO

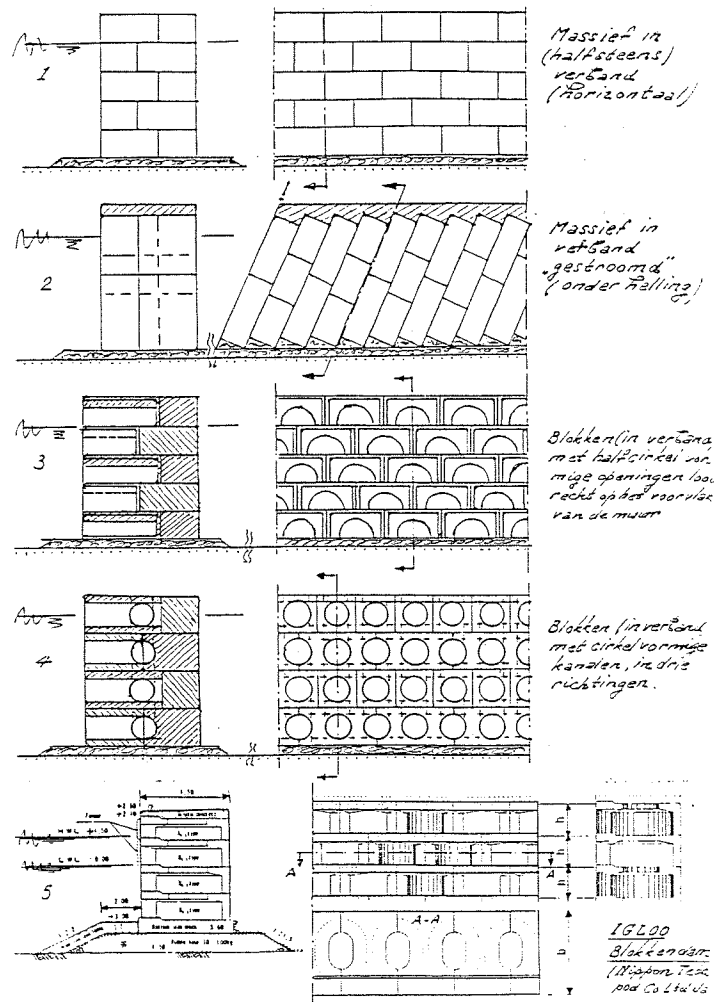


10. Diverse blokkendammen

Status: Studievoorbeelden.

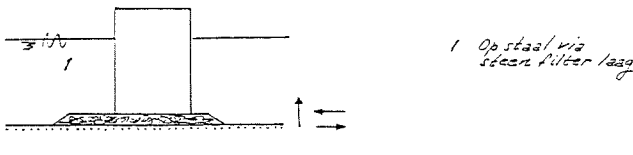
Toelichting: Met nokken in elkaar grijpende en in verband gestapelde betonblokken vormen een traditionele blokkendam.

Door de vorm en de manier van stapelen van de blokken te variëren kunnen de golfkrachten op de constructie worden gereduceerd.

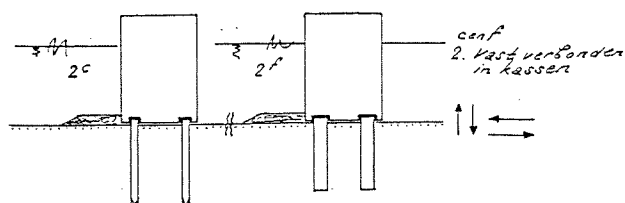
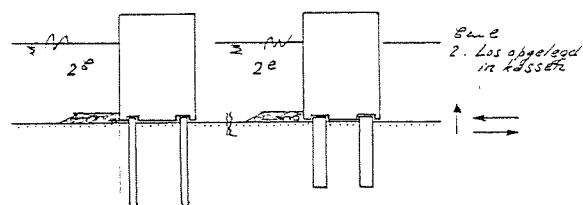
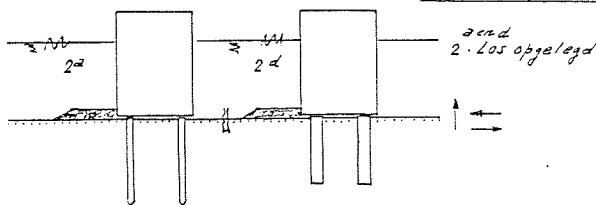


Blokkendammen

1. OP STAAL



2. OP PALEN / PUTTEN



Toelichting:
Reactie krachten op aansluiting
paal/put met caisson.

11. Funderingswijze van caissons

Caissons worden meestal op een vlakke drempel van stortsteen geplaatst. Indien de ondergrond uit zand bestaat is een filterconstructie nodig als overgangsconstructie tussen het zand en de stortsteen.

Aansluitend op de fundatie zal de zeebodem moeten worden beschermd tegen de orbitaalstroming, vooral onder stormcondities, en tegen dagelijkse stromingen door getij- en/of windinvloed.

Een andere mogelijkheid is om caissons te funderen op vooraf geplaatste palen (massief of cilinders) of op putten.

Fundatie op staal, palen of putten

Bijlage III: Kansrijke varianten

In deze bijlage is een beschrijving gegeven van de vier kansrijke varianten voor het ontwerp van Maasvlakte 2, waarbij naast een kaart van de betreffende variant toelichting wordt gegeven op de uitgangspunten, de ontwerpruimte, natuur en recreatie en fasering en uitbreidingsmogelijkheden van de variant. Tevens wordt per variant een globale indicatie van de kosten gegeven.

Variant 1 (zie bijgevoegde kaart)

Uitgangspunt

Het beperken van de kosten is de ingang van deze variant. Daartoe wordt zoveel als mogelijk de ondiepte opgezocht. De 750 ha natuur- en recreatiegebied worden aangelegd ten zuiden van de demarcatielijn. De 3250 ha haven- en industriegebied worden aangelegd binnen de 15 meter dieptelijn. Daarmee komt Maasvlakte 2 in een zuidelijke positie te liggen.

Ontwerpruimte

Deze variant kent de nodige ontwerpruimte doordat de ondiepte, en daarmee het op te brengen zandpakket, niet alleen de kosten bepalen. De benodigde lengte aan harde zeewering telt evenzeer. Bij een ondiepere, zuidelijkere positie neemt de benodigde lengte aan harde zeewering toe. Uit eerste berekeningen is gebleken dat de variant vrijwel kosten neutraal kan variëren tussen een langgerekte en een meer compacte vorm.

Natuur en recreatie

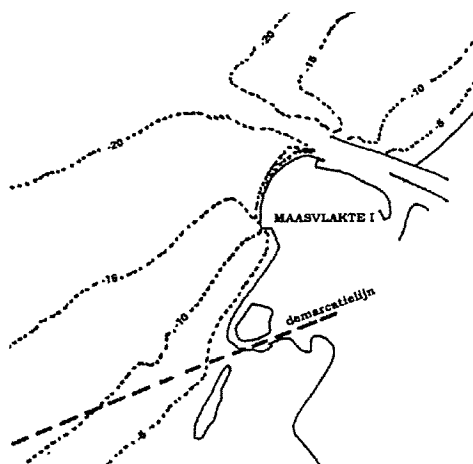
De natuur ligt ten zuiden van de demarcatielijn in het Haringvlietbekken. In aansluiting op de huidige situatie is het hier aanwezige intergetijdegebied uitgebreid. De strandboulevard ligt op de meest westelijke punt.

Fasering en uitbreidingsmogelijkheden

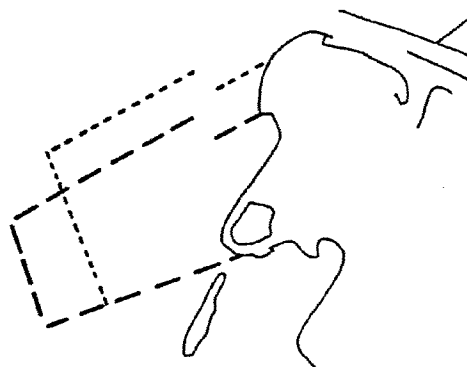
Bij een gefaseerde aanleg groeit het haven- en industriegebied stap voor stap uit in zuidelijke richting. De havenmond en het havenkanaal moeten wel in de eerste fase reeds worden gemaakt. Een logische uitbreidingsmogelijkheid ligt in een verlenging in zuidwestelijke richting. Ook het spiegelen van het industriegebied rond het havenkanaal behoort tot de mogelijkheden. De uitbreiding komt dan echter in diep water te liggen en verstoort het patroon van de huidige zeestromingen.

Indicatie kosten

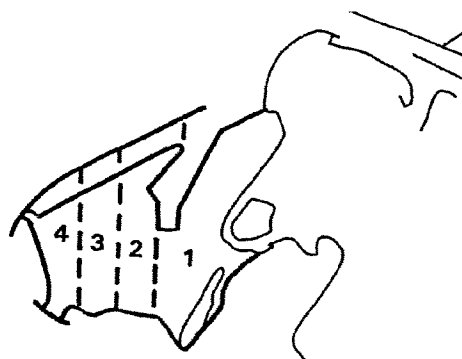
Haven- en industrieterrein	6.1 miljard
Natuur- en recreatiegebied	0.3 miljard
Totale bouwkosten	6.4 miljard



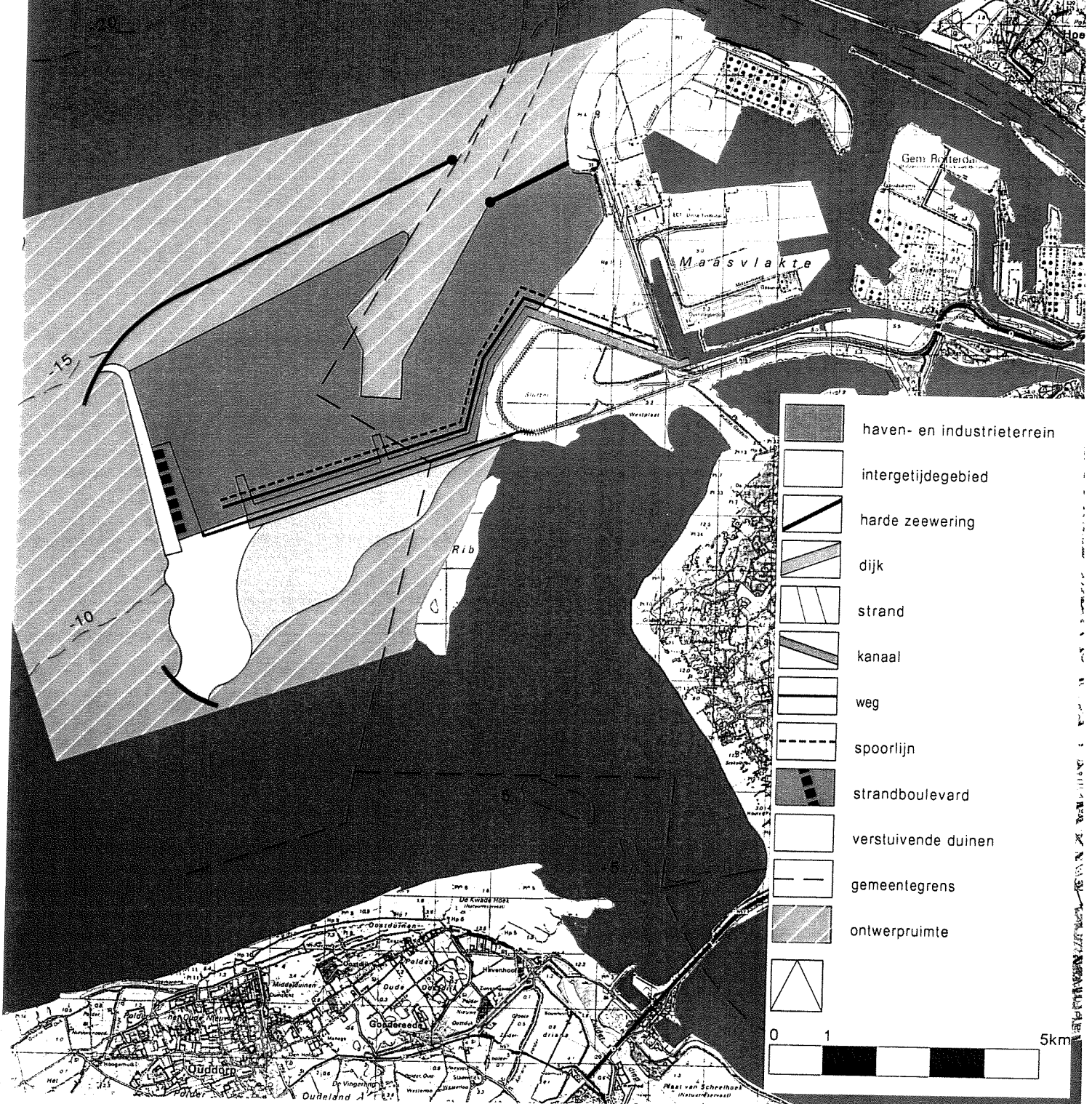
plangebied



ontwerpruimte contour



fasering



Variant 2 (zie bijgevoegde kaart)

Uitgangspunten

Deze variant steunt op twee uitgangspunten. De ruimte voor de huidige zeestroming wordt in verband met kustbeheer, veiligheid en nautische eisen zo veel mogelijk in tact gelaten. Tevens is het de inzet om tegemoet te komen aan het maximaal handhaven van de zeeïnvloed op de kust van Voorne, Goeree alsmede in de Voordelta. Het zuidelijke aansluitpunt voor de contour wordt gevormd door de Slufter.

Ontwerpruimte

Er liggen mogelijkheden voor optimalisatie van de contour in het opschuiven van de zuidgrens in noordelijke richting. Het industriegebied wordt dan geknepen in een punt.

Natuur en recreatie

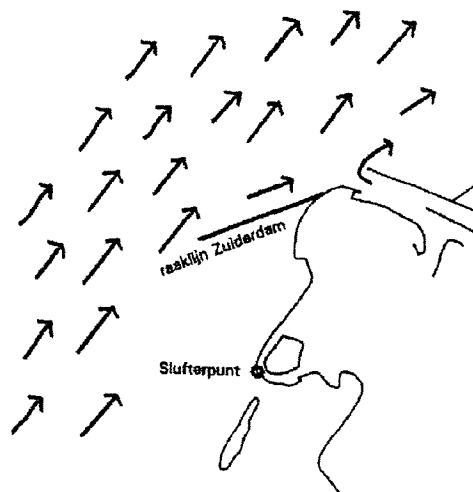
Aan de westzijde is een duingebied voorzien. Het duingebied is compact en breed. De duinen kunnen verstuiven. Noordelijk van het duingebied ligt de strandboulevard.

Fasering en uitbreidingsmogelijkheden

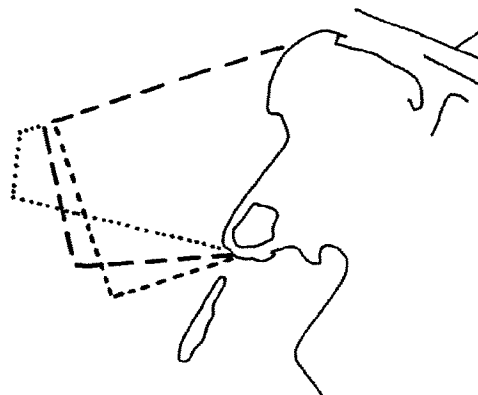
Bij een fasering van de aanleg groeit de Maasvlakte in westelijke richting uit. De strandboulevard schuift mee bij een gefaseerde aanleg. Het duingebied wordt pas in de laatste fase aangelegd. Eerdere fasen worden afgerond met een strand. De mogelijkheden voor uitbreiding liggen in een uitgroei in noordelijke richting. Het haven- en industriegebied klappt om het havenkanaal heen. De inzet om het patroon van de zeestromingen te handhaven komt daarbij wel meer in het geding.

Indicatie kosten

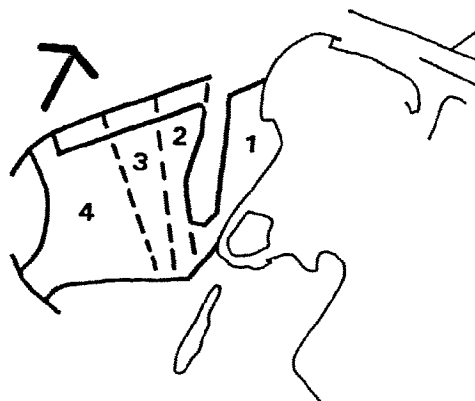
Haven- en industrieterrein	7.0 miljard
Natuur- en recreatiegebied	0.7 miljard
Totale bouwkosten	7.7 miljard



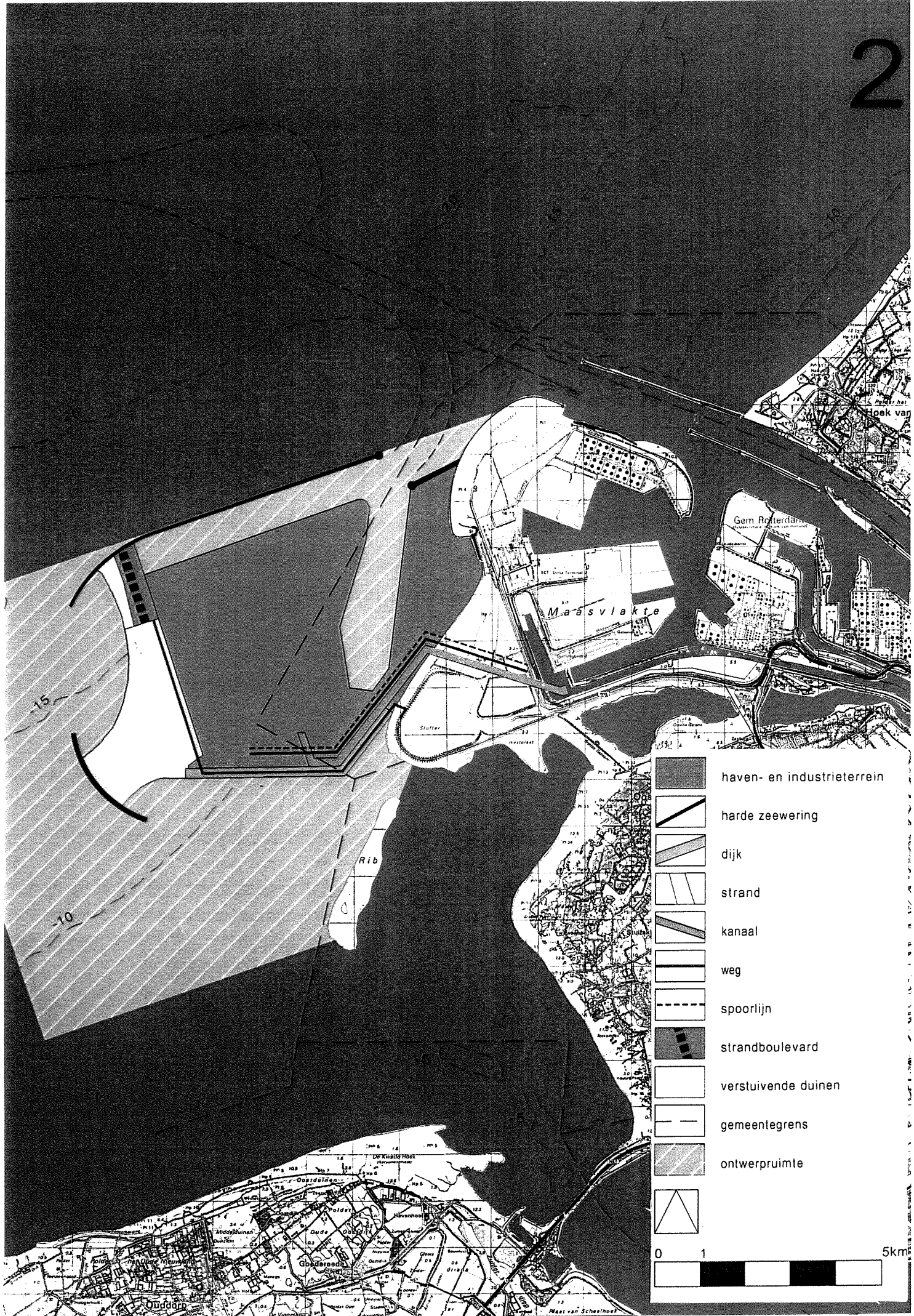
principe: passend in stroombeeld



ontwerpruimte contour



fasering



Variant 3 (zie bijgevoegde kaart)

Uitgangspunten

In deze variant is vastgehouden aan een nieuwe havenmond door het verlengen van de Noorderdam. Het streven is hierbij om Maasvlakte 2 zo weinig mogelijk in zee te doen uitsteken. De zuidelijk aansluiting van de contour ligt bij de Slufter. Tussen het havenhoofd en de ingang van het havenkanaal is een lengte van 3500 m vereist. Deze lengte is bepalend voor de westgrens van de contour. Het blijkt dat bij een oppervlakte van 4000 ha de zuidgrens ruwweg parallel komt te liggen aan de Maasgeul als voor de westgrens de oriëntatie van de evenwichtskust wordt aangehouden.

Ontwerpruimte

Bij deze variant is er ontwerpruimte aan de zuidzijde. De zuidgrens kan zakken in de richting van de demarcatielijn. De westgrens schuift dan van een ligging parallel aan de Hollandse kust naar een pure noord-zuid oriëntatie.

Natuur en recreatie

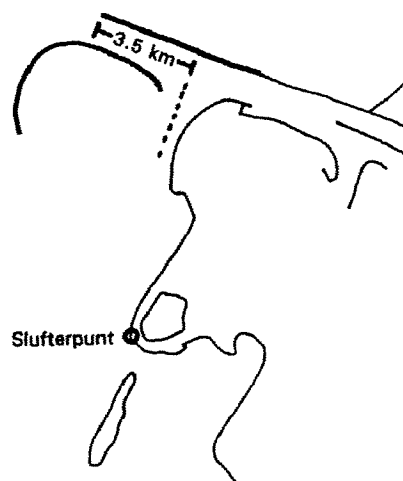
De natuur ligt aan de zuidzijde van Maasvlakte 2. Op deze plaats is spontane aangroei van jonge duinen mogelijk. Bij een fasering van de aanleg van het industriegebied kan hier stap voor stap een duingebied groeien. De strandboulevard is aan de westzijde geplaatst als een eindpunt van de infrastructuurbundel. Bij een gefaseerde aanleg moet de strandboulevard een aantal malen verschoven worden.

Fasering en uitbreidingsmogelijkheden

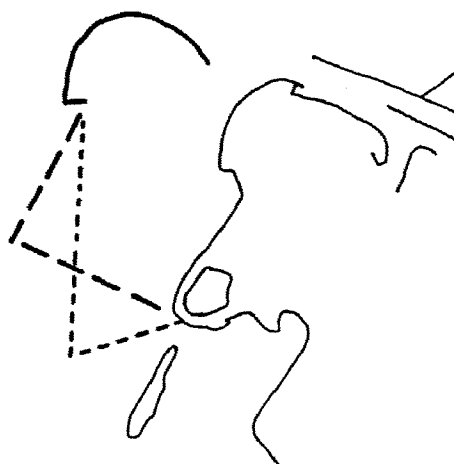
De aanleg kan gefaseerd worden uitgevoerd. De havenmond, de stroomgeleidingsdam en het havenkanaal moeten echter al in de eerste fase worden gerealiseerd. Het haven- en industriegebied groeit in westelijke richting uit. Een uitbreiding verder naar het westen is in deze variant mogelijk. Daartoe moet het havenkanaal worden verlengd en moet de stroomgeleidingsdam voor de havenmond worden opgeschoven.

Indicatie kosten

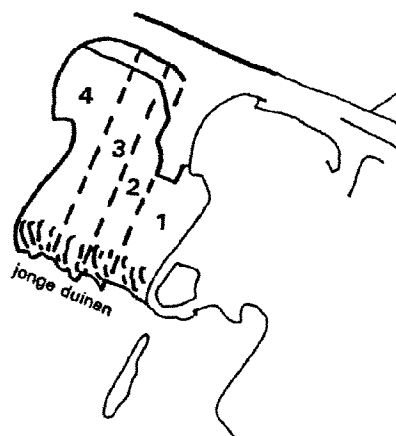
Haven- en industrieterrein	8.0 miljard
Natuur- en recreatiegebied	0.8 miljard
Totale bouwkosten	8.8 miljard



principe: haveningang 3.5 km
zo min mogelijk in zee



ontwerpruimte contour



fasering



Variant 4 (zie bijgevoegde kaart)

Uitgangspunten

Uitgangspunt voor de variant is het behoud van een maximale zeeïnvloed op de kust van Voorne en Goeree. Daartoe is bij het ontwerp de zee ten zuiden van het verlengde van de zuidwestkust van Voorne vrij gehouden. De Maasgeul bepaalt de noordgrens. De benodigde 4000 ha legt daarna de westgrens vast. Bij deze positie van het havengebied is een nieuwe haveningang alleen mogelijk middels het verlengen van de Noorderdam.

Ontwerpruimte

De grenzen in deze variant zijn zodanig gedefinieerd dat er geen ruimte is voor optimalisatie van de contour. Aan de westzijde van MV 2 is immers altijd een copie van de Zuiderdam nodig om de stroming de havenmond in te leiden. Er is wel ruimte om de ingang van het havenkanaal te optimaliseren. Bij de ingang is minimaal een afstand van 3500 m tot het havenhoofd vereist.

Natuur en recreatie

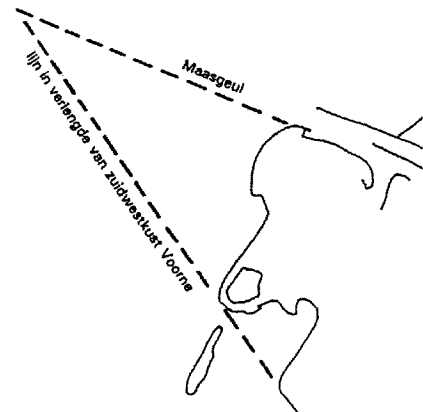
Het natuurgebied is gerealiseerd in vorm van een aan de zuidzijde gelegen duingebied in het verlengde van de Slufter en het duingebied van Voorne. Kansen voor spontane aangroei van jonge duinen is er niet. Om het verstuiwen van duinen mogelijk te maken is voor het duingebied een minimale breedte van één kilometer aangehouden. Het duingebied loopt niet door tot de meest westelijke punt. Dit zou het duingebied minder dan een kilometer breed maken bij de beschikbare 750 ha. Een logische plek voor de strandboulevard ligt in de westpunt, in het verlengde van het duingebied. Ten behoeve van het strand moeten strandhoofden worden aangelegd.

Fasering en uitbreidingsmogelijkheden

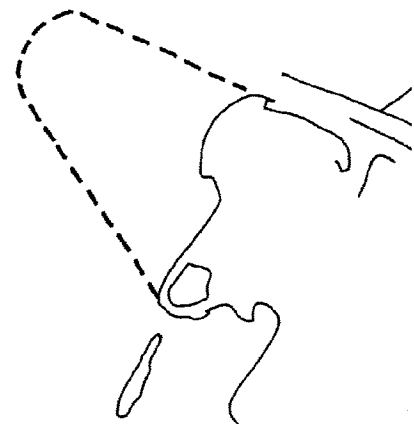
Bij een gefaseerde aanleg moet worden gezien of de stroomgeleidingsdam en de havenmond, gezien de kosten, direct in hun definitieve vorm worden aangelegd of dat ook hier een tussenstap in wordt gemaakt. Deze variant biedt geen logische mogelijkheden voor uitbreiding. Bij een westwaartse uitbouw kan niet vastgehouden worden aan de eerder gedefinieerde grenzen. Bij een uitbreiding naar het zuiden komt de duurzaamheid van het duingebied in het geding.

Indicatie kosten

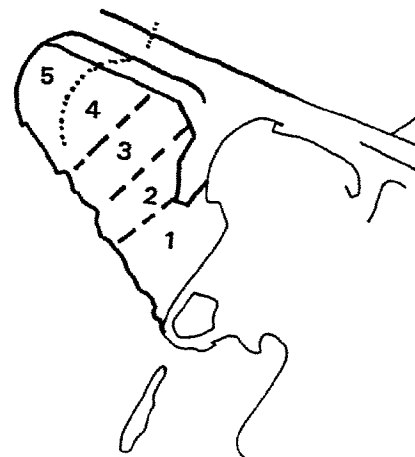
Haven- en industrieterrein	9.0 miljard
Natuur- en recreatie	1.1 miljard
Totale bouwkosten	10.1 miljard



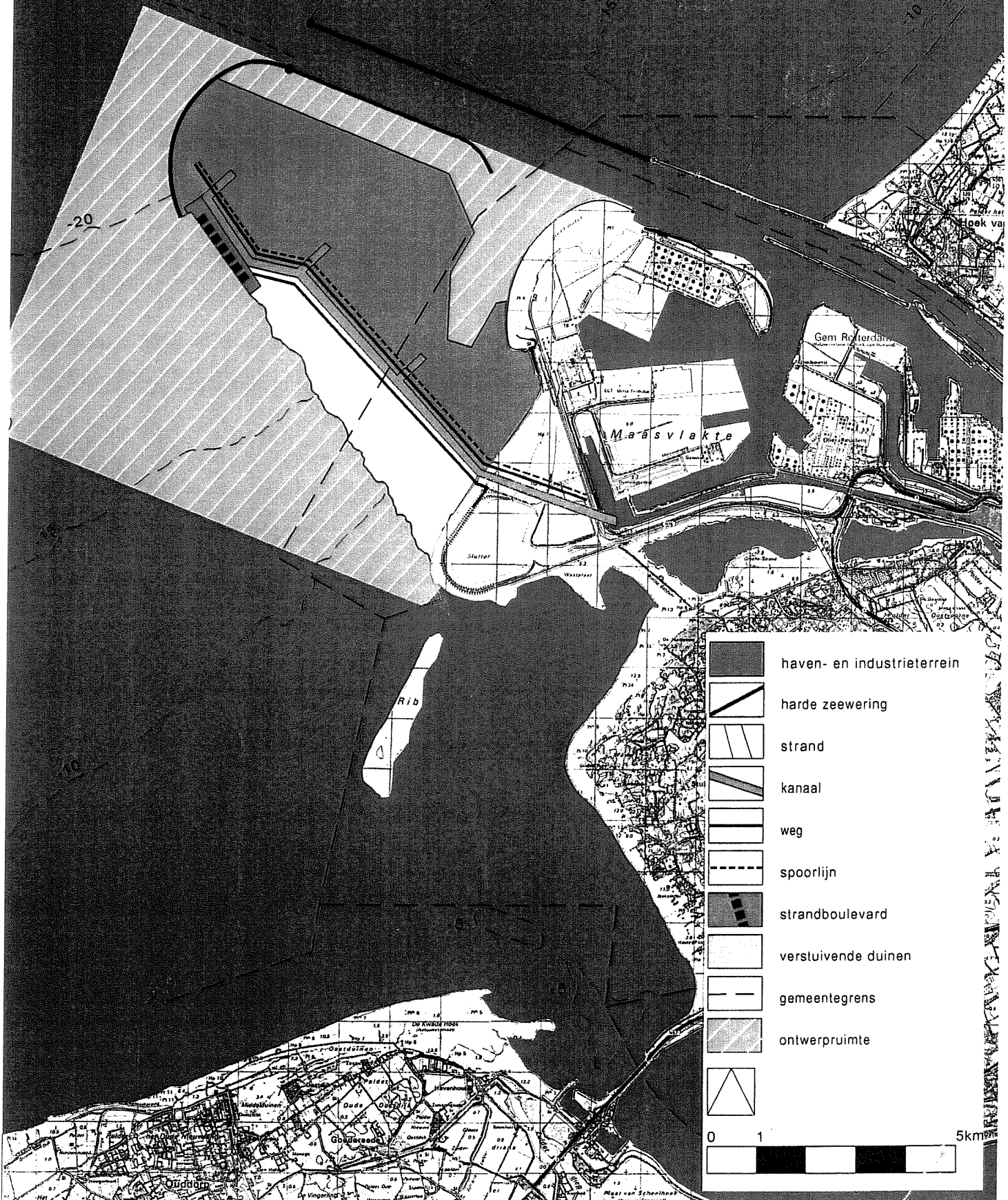
principe: ontzien van Voorne kust



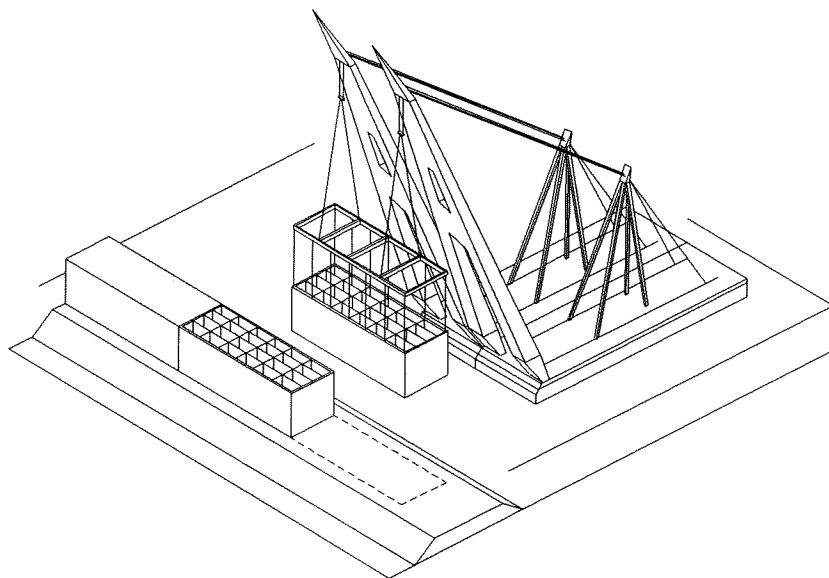
ontwerpruimte contour



fasering



Eindrapport



Inhoudsopgave

1. Inleiding en probleemomschrijving.....	5
1.1 Inleiding.....	5
1.1.1 Maasvlakte 2	5
1.1.2 Gefaseerde aanleg	5
1.2 Probleemanalyse.....	5
1.2.1 Probleemstelling.....	5
1.2.2 Doelstelling.....	5
1.2.3 Randvoorwaarden	6
1.2.4 Uitgangspunten	6
1.3 Omschrijving van de hoofdstukken.....	6
2. Het lengteprofiel van de golfbreker.....	7
2.1 Inleiding.....	7
2.2 Grenzen aan de fasering.....	7
2.3 Beschrijving van de lengtesituatie	8
2.4 De waterdiepte op het tracé.....	9
3. Omgevingscondities van de golfbreker	10
3.1 Inleiding.....	10
3.2 Correlatie tussen waterstand en golfhoogte.....	10
3.3 Beschrijving van het astronomisch getij	10
3.4 Hoogwater- en golfgegevens	11
3.5 Bepaling van de golflengte en golfperiode.....	14
3.6 Kortkammigheid van golven	15
3.7 Golfrichting en refractie.....	16
3.8 Brekerhoogte.....	16
3.9 Brekende golven	17
3.10 Conclusie	17
4. Ontwerp van de caissons	18
4.1 Inleiding.....	18
4.2 Aanleghoogte van de stortstenen drempel	18
4.3 Serviceability Limit State	19
4.4 Ultimate Limit State	19
4.5 Aanpassen van de hoofdvorm	20
4.6 Conclusie	20
5. De hoogte van de caissons.....	21
5.1 Inleiding.....	21
5.2 Totale waterhoogte voor de golfbreker	21
5.3 Bepaling van de kruinhoogte van de golfbreker.....	21
6. De breedte van de caissons	22
6.1 Inleiding.....	22
6.2 Bezwijkmechanismen	22

6.3 Golfbelasting op de constructie	23
6.3.1 Lineaire golftheorie	23
6.3.2 Ontwerpformules van Goda	23
6.4 Krachten op de constructie	24
6.5 Afschuiven	24
6.6 Kantelen	25
6.7 Draagvermogen van drempel en de ondergrond	25
6.7.1 Rekenmodel volgens Brinch-Hansen	25
6.7.2 Hoek van inwendige wrijving	25
6.8 Bezwijken van de stortstenen drempel	26
6.9 Bezwijken van de ondergrond	26
6.10 Het gewicht van de caissons	27
6.11 Conclusie	28
7. Berekening van de hoofdafmetingen met het programma CAISSON	29
7.1 Inleiding	29
7.2 Rekenmethoden en aannamen	29
7.3 Invoer voor het programma	29
7.4 Uitvoer van het programma	30
7.5 Programmastructuur	30
7.6 Rekenresultaten	32
7.7 Invloed van enkele variabelen op de hoofdafmetingen	33
7.8 Vergelijking van Goda en de lineaire golftheorie	35
7.9 Conclusie	35
8. De invloed van de lengte van het caisson	35
8.1 Inleiding	36
8.2 Invloed van de caissonlengte	36
8.3 Conclusie	36
9. Bouwlocatie, transport en plaatsing van de caissons	37
9.1 Inleiding	37
9.2 Invloedsfactoren op de uitvoering	37
9.3 Drijvende en niet-drijvende caissons	37
9.3.1 Inleiding	37
9.3.2 Drijvende caissons	38
9.3.3 Niet-drijvende caissons	38
9.3.4 Voor- en nadelen van de verschillende uitvoeringsmethoden	40
9.4 Bouwlocatie voor de caissons	41
9.5 Aanbrengen en verwijderen van de ballast	41
9.5.1 Aanbrengen van de ballast	41
9.5.2 Verwijderen van de ballast	42
9.6 Verplaatsing van de caissons	42
9.7 Afsluiten van de gaten in het caisson	43
9.8 Bijzondere aspecten bij de bouw van de golfbreker	43
9.8.1 Toegang tot de golfbreker	43
9.8.2 Overslag over de constructie	43
9.9 Conclusie	44

10. Het hef- en transportmaterieel	45
10.1 Inleiding	45
10.2 Beschikbaar hefmaterieel	45
10.3 Het Near Shore Construction Vessel	45
10.4 Beschikbaar transportmaterieel	46
10.5 Transport en plaatsing van de caissons	47
10.6 Conclusie	47
11. Belastingen op de betonconstructie.....	47
11.1 Inleiding	48
11.2 Belasting tijdens het tillen van het caisson	48
11.3 Maatgevende belastingsituaties	49
11.4 Caissonwand in de eindfase bij extreem laag water	49
11.5 Caissonwand in de eindfase bij de maximale golfdruk	50
11.6 Caissonwand in de eindfase bij een extreem golfdal	50
11.7 Caissonvloer- en wand bij een drijvend caisson	51
11.8 Niet-ondersteund vloerdeel bij ongelijke drempel	51
11.9 Ongelijkmatig ondersteunde vloer	52
11.10 Funderingsdruk op de vloer bij extreme horizontale belastingen	52
11.11 Sterkte in de lengterichting van het caisson	53
11.12 Mechanica-schematisatie	54
11.13 Conclusie	54
12. Uitvoeringsaspecten van de betonconstructie.....	55
12.1 Inleiding	55
12.2 De betonproductie	55
12.3 Bekisting	55
13.Dimensionering van de betonconstructie met het programma BETON....	58
13.1 Inleiding	58
13.2 Voorspannen van de constructie	58
13.3 Aannamen voor de betonberekening	59
13.4 Het computerprogramma BETON	60
13.4.1 De programmastructuur van BETON	60
13.4.2 De invoer voor BETON	61
13.4.3 De uitvoer van BETON	61
13.5 Schematiseringen, modellen en formules in BETON	62
13.5.1 Inleiding	62
13.5.2 Dwarskrachten en momenten	62
13.5.3 Uitgangspunten bij de voorspanningsberekening	62
13.5.4 Berekening van vloer	63
13.5.5 Berekening van de wanden	64
13.5.6 De dwarsdoorsnede van het caisson	65
13.6 Hoeveelheid beton en bekisting	66
13.7 Kosten van het materieel	66
13.8 Totale kosten	67
13.9 Resultaten	67
13.10 Alternatieve berekeningen	68
13.11 Kosten van de stortstenen drempel	68
13.12 Conclusie	69

14. Conclusies en aanbevelingen	70
14.1 Conclusies.....	70
14.2 Aanbevelingen.....	72
 Lijst van geraadpleegde literatuur.....	73
Lijst van figuren.....	74
Lijst van tabellen.....	75

Bijlagen

- A. Lay-out en diepteligging van het golfbrekertracé
- B. Analyse van golf- en hoogwatergegevens
- C. Transmissie en overslag volgens Goda
- D. De lineaire golftheorie
- E. Ontwerpformules voor caissons volgens Goda
- F. Sondering en de bepaling van ϕ van de ondergrond
- G. Grond draagvermogen volgens Brinch-Hansen
- H. Schets en gewichtsberekening van het caisson
- I. Schets en verklaring van de variabelen in CAISSON
- J. In- en uitvoer van het programma CAISSON
- K. Het hefmaterieel van HeereMac
- L. Gronddruk volgens Verruijt
- M. Belastingen op de wanden en vloer van het caisson
- N. Mechanica-schematisatie van de wanden en vloer van het caisson
- O. Verklaring van de variabelen in BETON
- P. In- en uitvoer van het programma BETON
- Q. Listing van het programma CAISSON
- R. Listing van het programma BETON

1. Inleiding en probleemomschrijving

1.1 Inleiding

1.1.1 Maasvlakte 2

Om de leidende rol die de haven van Rotterdam in de wereldhandel heeft te kunnen handhaven is het noodzakelijk voor de komende decennia ruimte te creëren in de nabijheid van de haven. Dit kan door het aanleggen van een tweede Maasvlakte, een landaanwinning in zee.

De verschillende technische mogelijkheden om Maasvlakte 2 aan te leggen en de diverse varianten voor de ligging van Maasvlakte 2 zijn uitgebreid beschreven in de voorstudie van dit onderzoek (zie eerder in dit rapport).

In deze voorstudie is als uitgangspunt voor de realisering van Maasvlakte 2 gekozen voor een met zand opgespoten terrein, dat wordt beschermd door een zeewering of golfbreker bestaande uit caissons.

1.1.2 Gefaseerde aanleg

Met de realisatie van een dergelijk landaanwinningsproject gaan grote investeringen gepaard. Door een gefaseerde uitvoering van dit project kunnen deze investeringen worden verspreid over een lange periode hetgeen de haalbaarheid van het totale project groter maakt.

In de voorstudie zijn bij verschillende situeringsvarianten de mogelijkheden van hergebruik van caissons bij een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2 bestudeerd. Caissons kunnen bijvoorbeeld in een eerste fase dienst doen als zeewering en in een latere fase als kademuur fungeren. Ook kunnen caissons die dienst doen als golfbreker worden verplaatst indien er behoefte is aan extra landuitbreiding, om verderop opnieuw als golfbreker te functioneren.

Uit de voorstudie blijkt dat een gefaseerde aanleg van de noordelijke variant de enige situatie is waarin het verplaatsen van een caissongolfbreker tussen de verschillende landaanwinningsfasen een reële optie is. Deze situatie is in dit onderzoek onderwerp van verdere studie.

1.2 Probleemanalyse

1.2.1 Probleemstelling

Om een kostenbesparing te creëren door het gefaseerd aanleggen van Maasvlakte 2 moet worden bekeken in hoeverre het verplaatsen van een caissongolfbreker tussen de verschillende landaanwinningsfasen technisch mogelijk is en welke besparing deze gefaseerde aanleg oplevert ten opzichte van de aanleg van het totale geplande gebied ineens.

1.2.2 Doelstelling

De doelstelling van dit rapport is het ontwerpen van caissons voor een golfbreker voor Maasvlakte 2, die kunnen worden verplaatst wanneer behoefte is aan zeewaartse uitbreiding van het terrein, en het bepalen van het financiële voordeel bij een gefaseerde aanleg van de golfbreker.

1.2.3 Randvoorwaarden

De volgende randvoorwaarden zijn bij het ontwerp gehanteerd:

- Het ontwerp moet voldoen aan de gebruikerseisen van het havenbedrijf.
- Het ontwerp moet voldoende bezwijkveiligheid hebben bij de gegeven ontwerpomstandigheden:
 - golfgegevens van Lichteiland Goeree
 - hoogwatergegevens van Lichteiland Goeree
 - gegevens van de ondergrond volgens een sondering in de Europahaven
- De caissons moeten kunnen worden verplaatst en opnieuw kunnen worden gebruikt als golfbreker.

Het ontwerp is verder niet gebonden aan randvoorwaarden.

1.2.4 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn bij het ontwerp gehanteerd:

- De golfbreker wordt gebouwd met betonnen caissons, geplaatst op een stortstenen drempel.
- De golfbreker wordt ontworpen voor de fasering van de noordelijke variant (zie hoofdstuk 2).
- De ligging en de lengte van de golfbreker in de eerste en de tweede fase wordt gekozen aan de hand van de beschreven noordelijke variant.

Specifieke uitgangspunten komen later in het ontwerpproces aan de orde.

1.3 Omschrijving van de hoofdstukken

Na de definiëring van het tracé van de golfbreker (hoofdstuk 2) worden de omgevingscondities van de golfbreker beschreven en geanalyseerd (hoofdstuk 3).

In hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe het ontwerp van het caisson wordt aangepakt. Vervolgens wordt deze aanpak uitgewerkt voor de berekening van de caissonhoogte (hoofdstuk 5) en de caissonbreedte (6).

In hoofdstuk 7 is het computerprogramma CAISSON beschreven, waarmee de hoofd-afmetingen van het caisson worden berekend.

De wijze van bouwen, plaatsen en verplaatsen van de caissons komt uitgebreid aan de orde in de hoofdstukken 8, 9 en 10.

Voor het ontwerp van de betonconstructie worden in hoofdstuk 11 de maatgevende belastingsituaties op de constructie beschreven en worden in hoofdstuk 12 enkele uitvoeringsaspecten bij het bouwen van de betonconstructie nader toegelicht.

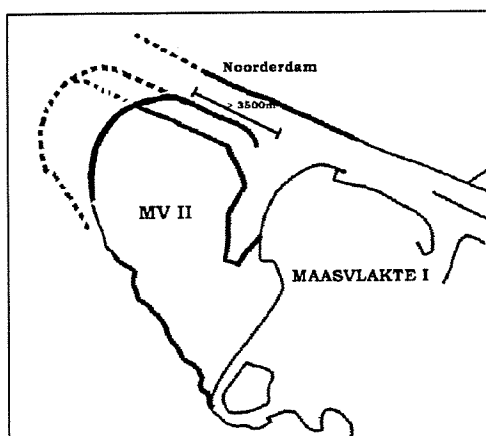
De betonconstructie wordt vervolgens berekend met het programma BETON. De gehanteerde ontwerpmethoden en gebruikte formules in dit programma worden in hoofdstuk 13 beschreven.

De conclusies van dit onderzoek en de aanbevelingen die hieruit volgen worden in hoofdstuk 14 uiteengezet.

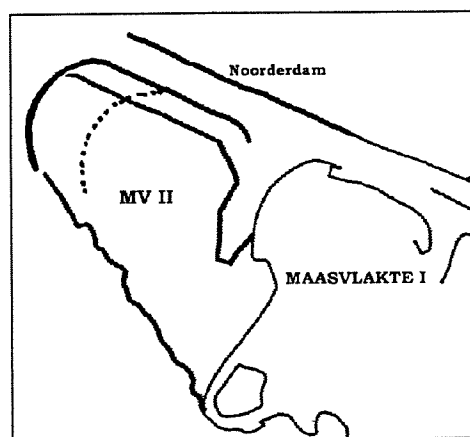
2. Het lengteprofiel van de golfbreker

2.1 Inleiding

In dit rapport is ook de voorstudie opgenomen die aan dit onderzoek vooraf ging. In deze voorstudie is gekeken naar de motieven voor het aanleggen van Maasvlakte 2 en is een aantal aanlegvarianten voor Maasvlakte 2 bestudeerd. Daarnaast zijn enkele mogelijkheden voor de aanleg van het terrein en de zeewering beschreven.



Figuur 1: Noordelijke variant fase 1



Figuur 2: Noordelijke variant fase 2

In deze voorstudie is de noordelijke aanlegvariant gekozen als onderwerp van verdere studie, omdat bij deze variant het verplaatsen van een caissongolfbreker financieel voordeel kan opleveren bij een gefaseerde aanleg van Maasvlakte 2 (zie figuur 1 en 2). In dit hoofdstuk worden enkele opmerkingen geplaatst bij deze variant en wordt het lengteprofiel van de golfbreker beschreven.

2.2 Grenzen aan de fasering

Rondom het zuidelijke hoofd van de golfbreker treden een groot deel van de tijd hoge stroomsnelheden op. De stromingen rond dit hoofd bemoeilijken het binnenvaren van schepen. Deze schepen hebben daarom een bepaalde minimum snelheid nodig om binnen te kunnen varen. Als deze snelheid te laag is moet met een te grote hoek ten opzichte van de vaarrichting (drifthoek) worden gevaren. Hierdoor krijgt het schip, na het wegvallen van de stromingen in het beschermde gedeelte van de haveningang, problemen met manoeuvreren in de havengeul.

Voor het aankoppelen van sleepboten aan de binnenvarende zeeschepen is een bepaalde tijd nodig. Het aankoppelen kan pas worden gedaan als het schip in rustiger water achter de havendam vaart. De binnenvaarsnelheid van het schip vermenigvuldigd met de aankoppeltijd van de sleepboten levert een waarde van ongeveer 3500 meter vaarlengte in rustig water op. (zie: De nautische beoordeling van de ontwerpvarianten voor MV2 [lit. 2])

Deze noodzakelijke binnenvaarlengte van 3500 meter beperkt de mogelijkheden van het gefaseerd aanleggen van de golfbreker. Vanaf de haveningang zal de golfbreker in de eerste fase direct minimaal 3500 meter zeewaarts moeten worden gebouwd (zie figuur 3). Omdat de

noordelijke variant ver de zee insteekt zijn de mogelijkheden voor een gefaseerde aanleg van de golfbreker bij deze variant het grootst.

Wanneer wordt gekeken naar bijvoorbeeld variant 1 en 2 in de voorstudie moet worden opgemerkt dat de daar geschetste haveningang een onmogelijke is, omdat de haveningang precies in de overheersende stormrichting ligt. Er moet een scherpe bocht worden gemaakt voor het invaren van de haven die, gecombineerd met de heersende stromingen, voor problemen zal zorgen.

2.3 Beschrijving van de lengtesituatie

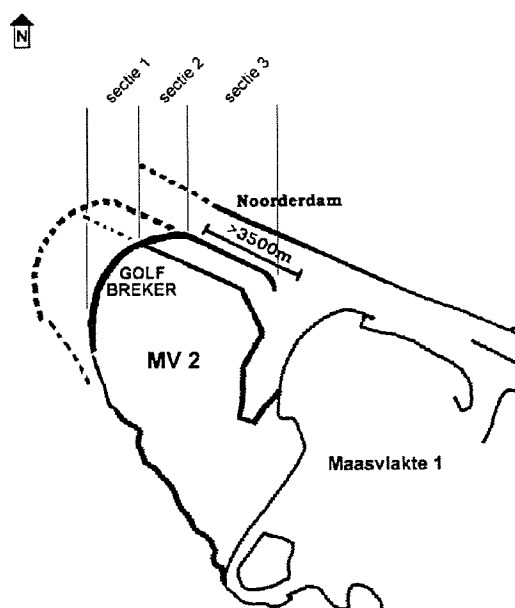
In dit rapport wordt de verplaatsing van een caissongolfbreker beschouwd bij een terreinaanleg in twee fasen. De golfbreker zal in de eerste fase worden gebouwd zoals geschetst in figuur 1, aan de noord-westzijde van het aan te leggen havengebied. Wanneer er behoefte is aan uitbreiding van het havengebied zal de golfbreker worden verplaatst zodat een situatie als in figuur 2 wordt verkregen. De te beschouwen caissongolfbreker kan worden verdeeld in drie secties (zie figuur 3):

Sectie 1 beschermt in de eindfase land dat tegen de caissons aanligt. Bij het ontwerp van dit deel wordt echter rekening gehouden met de situatie waarbij de golfbreker wel wordt gebouwd maar het land om één of andere reden niet vlak achter de caissons wordt opgespoten. Door het ontbreken van de grondruk achter de caissons zullen de caissons voor die situatie daarom zwaarder moeten worden uitgevoerd dan nodig is voor de eindfase. Dit blijkt uit het rapport Zeeweringsconstructies van Projectorganisatie Maasvlakte 2 [lit. 1]. Daarin is berekend dat een caisson waartegen het land is opgehoogd, onder belasting van golven stabiel is dan een vrijstaand caisson.

Sectie 2 beschermt een deel van het vaar- en manoeuvreergebied in de haven en ligt bijna loodrecht op de richting vanwaar de grootste golven te verwachten zijn.

Sectie 3 ligt parallel aan de Noorderdam en zal het minst belast worden door golven.

In de voorstudie is reeds beschreven dat het voordelen biedt wanneer de voor de golfbreker te bouwen caissons allen dezelfde afmetingen hebben. Het productieproces is dan eenvoudiger en de caissons zijn onderling uitwisselbaar. Wanneer dit uitgangspunt wordt gehanteerd moet worden gekeken op welke plaats in het lengteprofiel de maatgevende belastingen optreden. Dit zal zijn in sectie 2, omdat daar de maatgevende golfbelasting optreedt vanwege de oriëntatie ten opzichte van de overheersende noordwestelijke stormrichting.



Figuur 3: Layout van de beschouwde situatie

2.4 De waterdiepte op het tracé

In bijlage A is een dieptekaart van het hele kustgebied en van het ontwerpgebied te vinden. Hierop is de ligging van het tracé aangegeven. In deze bijlage is ook de waterdiepte op de verschillende secties van het tracé geschetst ten opzichte van verschillende referentieniveau's.

De diepte varieert op het tracé van NAP -17.4 m tot NAP -22.0 m. De golfbreker bestaat uit een definitief gedeelte van 3500 meter (sectie 3) en een te verplaatsen gedeelte (sectie 1 en 2) met een lengte van 4000 meter in fase I en 6000 meter in fase II. Bij de uitvoering van fase II wordt dus 4000 meter golfbreker verplaatst en 2000 meter bijgebouwd.

3. Omgevingscondities van de golfbreker

3.1 Inleiding

De hoogte van de golven achter de golfbreker en de maximale belasting op de constructie worden hoofdzakelijk bepaald door een combinatie van de volgende twee factoren:

1. De waterstand ter plaatse van de constructie;
2. De hoogte van de inkomende golven.

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke combinatie van waterstand en golfhoogte maatgevend is in de verschillende ontwerpsituaties.

3.2 Correlatie tussen waterstand en golfhoogte¹

Bij een vooraf bepaalde toegestane overschrijdingskans kan voor zowel de waterstand als de golfhoogte uit statistische gegevens een waarde worden bepaald. Een bepaalde extreme waterstand en golfhoogte komen echter niet per definitie tegelijkertijd voor. De waterstand en de golfhoogte zijn niet volledig afhankelijk van elkaar². De combinatie van deze twee extreme waarden geeft daarom voor de totale belasting is een waarde, die minder vaak wordt overschreden dan vooraf als eis gesteld werd. De constructie wordt daardoor overgedimensioneerd.

Wanneer over voldoende metingen wordt beschikt kan de correlatie tussen waterstanden en golfhoogten worden bepaald. Met de hieruit volgende gemeenschappelijke kansdichtheidsfunctie van waterstanden en golfhoogtes kan een overschrijdingslijn voor de totale belasting op de constructie worden opgesteld. Het meest betrouwbare resultaat wordt verkregen wanneer dit gedaan wordt per richtingssector. Door een gebrek aan gegevens is dit in deze situatie niet mogelijk.

Bij een stormvloed levert de setup de grootste bijdrage aan de hoge waterstand. Hierdoor is bij hoge waterstanden de correlatie tussen de waterstand en de golfhoogte erg groot omdat zowel de setup als de golven (jonge zeegang) veroorzaakt worden door hetzelfde windveld.

3.3 Beschrijving van het astronomisch getij

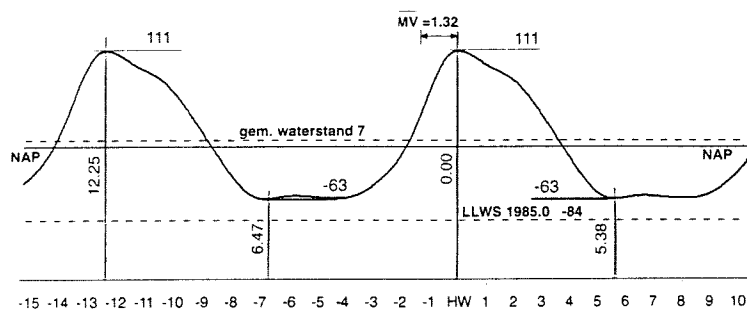
In Getijtafels voor Nederland [lit.3] zijn waarden voor de waterstanden bij Hoek van Holland ten gevolge van het astronomisch getij en ten gevolge van de rivierafvoeren gegeven. Uit deze gegevens blijkt dat de invloed van de rivierafvoeren op de waterstand kan worden verwaarloosd (orde enkele centimeters).

Het gemiddeld astronomisch getij zoals zich dat voordoet bij Hoek van Holland is geschetst in figuur 4. De gemiddelde vloedstand bedraagt NAP +1.11 m.

¹ De correlatie tussen twee variabelen is de mate waarin de waarde van de ene variabele afhangt van de andere variabele.

² De waterstand is opgebouwd uit drie delen:

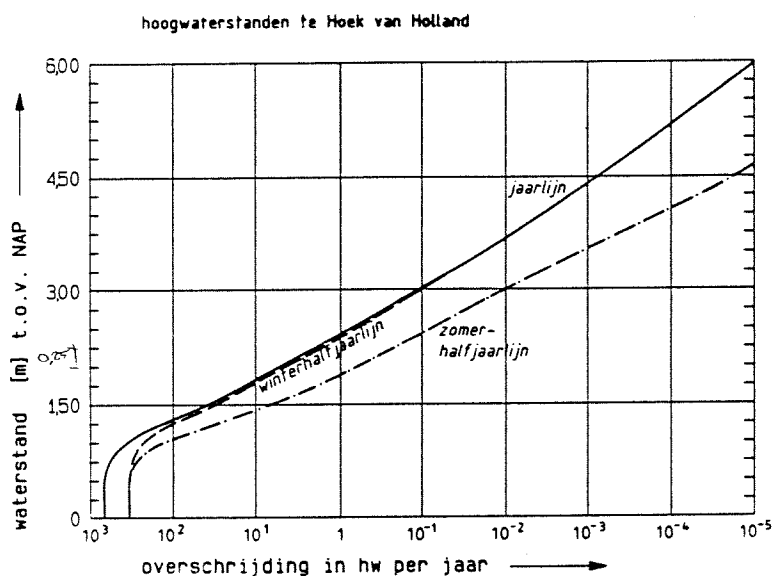
- de setup door de wind, die *volledig gecorreleerd* is met de golven; beide worden door hetzelfde windveld gegenereerd;
- de waterstand veroorzaakt door het getij, dat volledig *ongecorreleerd* is met de windgolven;
- de waterstand veroorzaakt door rivierafvoeren, die voor een klein deel afhankelijk zijn van de heersende wind en dus *in kleine mate gecorreleerd* zijn met de golfhoogte.



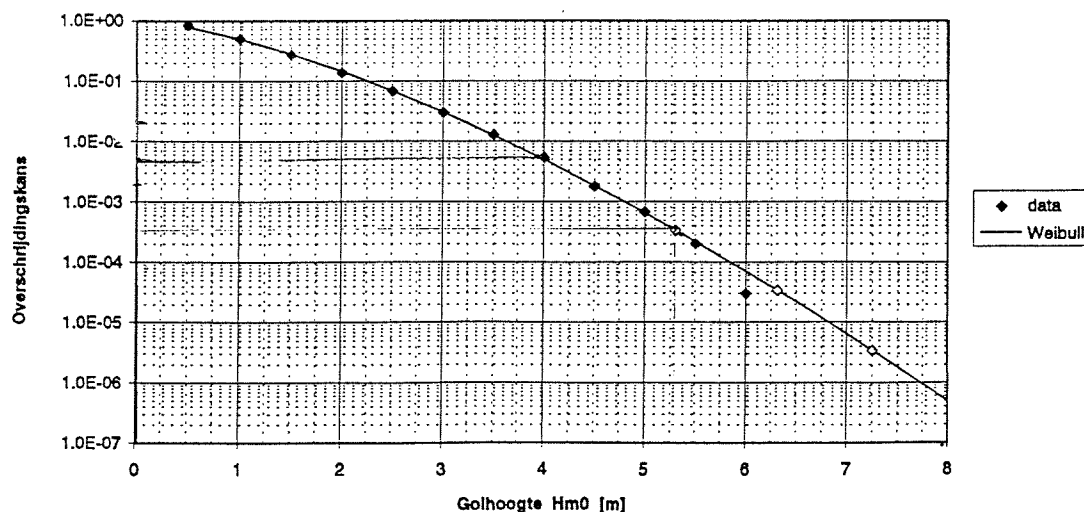
Figuur 4: Gemiddelde getijkromme te Hoek van Holland

3.4 Hoogwater- en golfgegevens

De overschrijdingsverdeling van hoogwaterstanden bij Hoek van Holland is gegeven in figuur 5. In figuur 6 is de overschrijdingsverdeling van de significante golfhoogte H_s gegeven. Beide figuren betreffen metingen gedaan op Lichteiland Goeree (1979-1991) en zijn overgenomen uit Informatiebulletin 6 van Projectorganisatie Maasvlakte 2 [lit. 14].



Figuur 5: Overschrijdingsverdeling van de waterstand HW te Hoek van Holland

Figuur 6: Overschrijdingsverdeling van de significante golfhoogte H_s (Lichteiland Goeree 1979-1991)

Om uit de overschrijdingsverdeling voor H_s een waarde af te leiden voor H_s met een bepaalde herhalingsstijd T_r in jaren wordt een gemiddelde stormduur Δt van 6 uur gekozen.

Bij een stormduur van 6 uur is een jaar verdeeld in 1460 perioden. Een jaar telt dus 1460 onafhankelijke waarnemingen voor H_s . Een storm met een significante golfhoogte H_s die gemiddeld één keer per jaar wordt overschreden heeft dan een gemiddelde overschrijdingskans $1/1460$ ofwel 0.0685 %. De overschrijdingskans per jaar van een storm met een gemiddelde herhalingsstijd T_r kan worden gedefinieerd als:

$$P(H_s > H_{s,T_r}) = \frac{1}{v \cdot T_r}$$

waarin:

v = $24 \times 365 / \Delta t$ = aantal stormperiodes per jaar

H_{s,T_r} = significante golfhoogte die gemiddeld één keer per T_r jaar wordt overschreden

Voor bepaalde waarden van T_r kan de bijbehorende H_s uit figuur 6 worden afgelezen. (zie ook bijlage B)

In één jaar doen zich 705 hoogwaters voor. Uit de gegeven grafiek kunnen rechtstreekse waarden voor waterstanden met een bepaalde overschrijdingsfrequentie worden afgelezen. De overschrijdingsfrequentie is gedefinieerd als $1/T_r$.

In Getijtafels voor Nederland [lit. 3] zijn voor o.a. sector West-Holland overschrijdingsfrequenties van hoogwater getabelleerd. Hierin zijn het getij en de stormvloed verdisconteerd. In figuur 7 is de betreffende tabel gegeven.

Overschrijdingswaarden in cm t.o.v. NAP

	overschrijdings- frequentie HW/jaar	Hoek van Holland	Scheve- ningen	IJmuiden	Petten
hoge vloed	5	210	210	190	180
	2	230	230	210	200
	1	245	245	235	215
lage stormvloed	0,5	260	270	250	235
	0,2	280	290	270	260
middelbare stormvloed	0,1	300	305	290	280
	$5 \cdot 10^{-2}$	315	325	310	300
	$2 \cdot 10^{-2}$	340	350	340	325
hoge stormvloed	10^{-2}	360	370	360	345
	$5 \cdot 10^{-3}$	380	390	380	365
	$2 \cdot 10^{-3}$	410	420	410	390
buitengewoon hoge stormvloed	10^{-3}	430	440	435	410
	$5 \cdot 10^{-4}$	450	460	460	430
	$2 \cdot 10^{-4}$	480	490	490	450
extreme stormvloed	10^{-4}	505	515	515	470
gemiddeld HW (slotgemiddelde 1991.0)		111	107	97	81
aantal minuten later dan Hoek van Holland		0	15	60	90
grenspeil	0,5	260	270	250	235
1 februari 1953		385	397	385	320
ontwerp- basispeil	10^{-4}	505	515	515	470
	10^{-4}	505	515	515	470

- De stormvloedkering te Krimpen aan de IJssel wordt bij een verwachte HW-stand te Hoek van Holland boven ca. 220 cm + NAP gesloten; de kering in de Nieuwe Waterweg bij een verwachte HW-stand boven ca. 300 cm + NAP.

Figuur 7: Verdeling van hoogwater in sector West-Holland

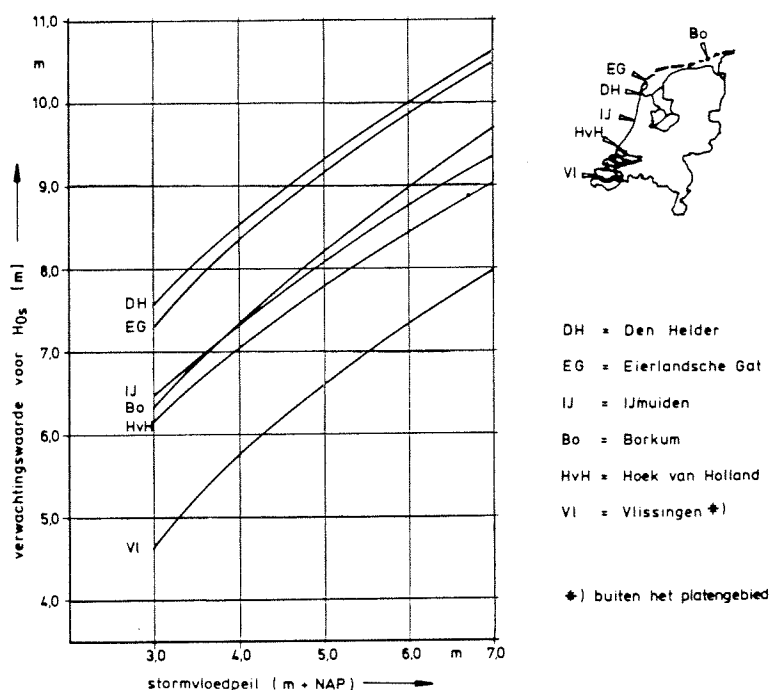
In onderstaande grafiek (figuur 8) uit een rapport van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen [lit. 4] is de verwachtingswaarde van de significante golfhoogte als functie van het stormvloedpeil HW gegeven.

Door Vrijling (1997) is de verwachtingslijn voor Hoek van Holland gedefinieerd door de volgende parabool:

$$E_{H_s} = -0.0833 \cdot HW^2 + 1.58 \cdot HW + 2.02$$

De significante golfhoogte bij een gegeven stormvloedpeil is normaal verdeeld rond de in deze grafiek gegeven verwachtingswaarde met een standaardafwijking $\sigma_{H_s} = 0.75$ m:

$$f(x, HW) = \frac{1}{\sigma_{H_s} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\left[0.5 \cdot \left(\frac{x - E_{H_s}(HW)}{\sigma_{H_s}}\right)^2\right]}$$



Figuur 8: Verwachtingswaarde van H_s als functie van het stormvloedpeil

De kansdichtheidsfunctie voor de waterstanden is door Vrijling (1997) gedefinieerd door een Gumbel-verdeling:

$$f_G(HW) = \frac{1}{B} \cdot e^{-\left(\frac{HW-A}{B}\right)} \cdot e^{-e^{-\left(\frac{HW-A}{B}\right)}} \quad \text{met } A = 1.96 \text{ en } B = 0.33$$

Door integratie is vervolgens de verdelingsfunctie van de significante golfhoogte berekend. In bijlage B zijn de verdelings- en kansdichtheidsfuncties gegeven. De resultaten die met de berekende functies worden verkregen verschillen enkele procenten met de in figuur 5, 6 en 7 gegeven data.

Voor verschillende overschrijdingsfrequenties zijn uit de hiervoor gegeven data de volgende waarden voor waterstanden en golfhoogtes verzameld en in tabel 1 en tabel 2 bij elkaar gezet. (zie ook bijlage B).

Tabel 1: Waterstanden uit verschillende statistische bronnen vergeleken

<i>stormduur: 6 uur</i>	HW	HW	HW	Maatgevende hoogwaterstand
Overschrijdings- frequentie	<i>figuur 5 (zie ook bijlage B)</i>	<i>figuur 7</i>	<i>Gumbel (bijlage B)</i>	
[per jaar]	[m +NAP]	[m +NAP]	[m +NAP]	[m +NAP]
2	2.20	2.30	-	2.30
1	2.40	2.45	-	2.45
0.1	3.00	3.00	-	3.00
0.01	3.70	3.60	3.49	3.70
0.001	4.40	4.30	4.25	4.40

Uit tabel 1 blijkt dat de hoogwatergegevens die door Projectorganisatie MV 2 worden gebruikt iets hoger zijn dan de waarden afgeleid uit de Getijtafels en uit de Gumbel-verdeling. Berekeningen voor de golfbreker worden uitgevoerd met de hoogste waarden voor de waterstanden uit de tabel.

Tabel 2: Golfhoogtes uit verschillende bronnen vergeleken

<i>stormduur: 6 uur</i>		golfhoogte H_s onafhankelijk van HW		$E(H_s)$ bepaald bij HW	Maatgevende significante golfhoogte
Overschrijdings- frequentie	HW	<i>figuur 6</i>	<i>integratie g.k.d.f (bijlage B)</i>	<i>figuur 8</i>	H_s
[per jaar]	[m +NAP]	[m]	[m]	[m]	[m]
2	2.30	4.67	-	-	4.67
1	2.45	5.00	-	-	5.00
0.1	3.00	6.04	-	6.15	6.04
0.01	3.70	7.00	7.23	6.80	6.80
0.001	4.40	7.89	8.06	7.33	7.33

Omdat de significante golfhoogte en de hoogwaterstand niet volledig gecorreleerd zijn is bij een hoogwaterstand met een bepaalde frequentie van voorkomen een lagere H_s te verwachten dan de H_s met een zelfde frequentie van voorkomen. Dit wordt bevestigd door de waarden in tabel 2. In de tabel is ook te zien dat de door integratie bepaalde kansdichtheidsverdeling voor H_s hogere waarden geeft dan de waarden uit figuur 6.

In de verdere berekeningen wordt voor lage frequenties van voorkomen de verwachtingswaarde van H_s bij een de bij die frequentie bepaalde waterstand gehanteerd. Voor de berekeningen in de gebruikstoestand wordt met de waarden voor H_s uit figuur 6 gerekend.

3.5 Bepaling van de golflengte en golfperiode

In de figuur in bijlage B is te zien dat golfhoogtes en golfperiodes gecorreleerd zijn. In deze figuur wordt een relatie gegeven tussen golfhoogtes (H_{m0} ofwel H_s) en golfperiodes (T_{m02} ofwel T_z), gemeten op Lichteiland Goeree.

De nuldoorgangsperiode T_z is sterk afhankelijk van de vorm van het golfspectrum en van eventuele pieken in dat spectrum. T_z geeft alleen informatie over het aantal golven in een bepaalde tijdsduur. Voor de golfbelasting op de constructie is de piekperiode T_p veel belangrijker. De verhouding tussen T_z , T_p en T_s is ook afhankelijk van het golfspectrum.

Bij gebrek aan gegevens worden voor deze verhoudingen waarden aangenomen die door Goda worden geadviseerd [lit.5]. De piekperiode T_p is volgens Goda empirisch gerelateerd

aan de nuldoorgangperiode T_z volgens $T_z = 0.7 T_p$. De significante periode T_s is weer af te leiden uit T_p volgens $T_s = 0.95 T_p$. Bij verder onderzoek dienen deze verhouding aan de hand van het golfspectrum nader te worden onderzocht.

De relatie tussen de golfsteilheid en de golfperiode is als volgt (zie [lit. 6]):

$$s_p = \frac{H_s}{L_p} = \frac{H_s}{\frac{g T_p^2}{2\pi}} \quad \text{ofwel} \quad T_p = \sqrt{\frac{2\pi H_s}{s_p g}}$$

Bij storm op de Noordzee ligt de golfsteilheid in het ontwerpgebied in de orde van 3.5 %. In de berekeningen zal met deze golfsteilheid worden gewerkt. [lit. 6].

In tabel 3 zijn waarden voor de golfperiode gegeven, bepaald met de grafiek in bijlage B en met de hier gegeven formules. In de tabel is te zien dat de uit de grafiek bepaalde golfperiodes niet veel verschillen met de golfperiodes die met de formules zijn berekend. De met de formules bepaalde waarden zullen om praktische redenen worden gehanteerd in verdere berekeningen.

Tabel 3: Bepalen van maatgevende golfperiodes

<i>stormduur</i> = 6 uur	grafisch uit bijlage B				met formules		
Overschrijdings frequentie	maatgevende golfhoogte	Golfperiode A ($s_p = 3.5\%$)			Golfperiode B ($s_p = 3.5\%$)		
	H_s	T_z	T_p	T_s	T_z	T_p	T_s
[per jaar]	[m]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	5.00	6.6	9.4	9.0	6.7	9.6	9.1
0.1	6.04	7.3	10.4	9.9	7.4	10.5	10.0
0.01	6.80	7.8	11.1	10.6	7.8	11.1	10.6
0.001	7.33	8.1	11.6	11.0	8.1	11.6	11.0
toelichting tabel: Golfperiodes A zijn als volgt bepaald: T_z aflezen uit grafiek; T_p en T_s bepalen uit empirische relaties. Golfperiodes B zijn als volgt bepaald: T_p afleiden uit formule met H_s ; T_z en T_s volgen uit empirische relaties.							

Voor de in de berekeningen te hanteren golflengte worden de volgende relaties gebruikt:

$$L = L_0 \tanh(kh) \quad \text{en} \quad L_0 = 1.56 T_s^2$$

waarin:

L_0 = golflengte op diep water

T_s = significante golfperiode

k = $2\pi/L_0$

h = waterdiepte

3.6 Kortkammigheid van golven

Bij de berekening van de beschouwde constructie wordt aangenomen dat de golfbelasting over de hele lengte van de constructie werkt. Golfkammen zijn in werkelijkheid echter niet langer dan ongeveer 30 meter. Bij de beschouwde caissonlengte van 45 tot 90 meter is de aanname van oneindige lange golfkammen dus erg veilig. Een reductiefactor op de golfbelasting voor kortkammigheid die afhankelijk is van de caissonlengte wordt hier niet toegepast.

Theoretisch kan een golfbreker bestaande uit een oneindig lang caisson niet bezwijken onder invloed van golfbelasting door de kortkammigheid van golven. Dit oneindig lange caisson moet dan wel sterk genoeg zijn om de golfbelasting in de constructie zelf op de vangen (torsiemomenten in de constructie wanneer een gedeelte van de constructie wordt belast).

3.7 Golfrichting en refractie

De richting vanwaar de golven komen is van belang voor het bepalen van de invalshoek van de golven op de constructie. Deze invalshoek heeft een grote invloed op de golfbelasting. Wanneer voor verschillende richtingssectoren bekend is welke golven daar voorkomen kan voor deze golven per sector refractie¹ in rekening worden gebracht. Omdat op Lichteiland Goeree geen metingen zijn gedaan naar golfrichting is het hier niet mogelijk refractieberekeningen te maken. Bovendien wordt in het ontwerp met de meest ongunstige situatie van golfinval gerekend, namelijk golfinval loodrecht op de constructie ($\beta = 0$), en wel om de volgende redenen:

- Door het boogvormige tracé van de golfbreker ligt altijd een deel van de constructie haaks op de stormrichting (overheersende stormrichting is noordwest);
- Goda adviseert een correctie van de invalshoek van de golven met 15° in de richting van de normaal op de constructie.

Door deze twee aspecten is altijd één van de caissons loodrecht belast door de golven.

3.8 Brekerhoogte

De maximale significante golfhoogte H_s van een golfveld dat voor de constructie kan optreden wordt de brekerhoogte genoemd. De brekerhoogte is gedefinieerd als:

$$H_{sbr} = \beta \tanh(kh) L, \quad \text{waarin } \beta = 0.092$$

Als de significante golfhoogte op diep water kleiner is dan de brekerhoogte ter plaatse van de golfbreker, dan kan met deze significante golfhoogte gerekend worden. Indien H_s groter is dan H_{sbr} dan moet met de brekerhoogte worden gerekend.

Voor het bepalen van de hoogste individuele golf die voor de constructie kan optreden zijn verschillende modellen te hanteren. Op ondiep water geven deze modellen maximale waarden voor de individuele golfhoogte bij een waterdiepte h . In de beschikbare formules wordt soms gebruik gemaakt van de brekingsparameter ξ . Deze is gedefinieerd als [lit. 7]:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_0 / L_0}}$$

waarin:

- α = de hellingshoek van de bodem
- H_0 = de golfhoogte op diep water
- L_0 = de golflengte op diep water

Door Swart (1974) is de brekingindex γ als volgt gedefinieerd:

$$\gamma = \frac{H_{\max}}{h} = 0.33 \cdot p + 0.46 \quad \text{waarin } p \rightarrow 0 \text{ voor kleine waarden van } \xi.$$

Battjes (1974) adviseert bij flauwe bodemhellingen waarden voor γ aan te houden van 0.5 tot 0.8.

¹ Onder refractie wordt verstaan het veranderen van de richting van golven onder invloed van een helling van de bodem, waarbij de dieptelijnen niet loodrecht liggen op de voortplantingsrichting van de golven.

De door Stokes bepaalde theoretisch maximaal mogelijke golf is door Miche (1944) benaderd door:

$$H_{\max} = 0.142 \cdot L \cdot \tanh \frac{2\pi h}{L}$$

In diep water reduceert deze vergelijking tot $H_{\max} \approx 0.14 L$ en in ondiep water tot $H_{\max} \approx 0.88 h$.

Als rekenwaarde wordt hier gekozen voor $\gamma = 0.8$. De maatgevende diepte wordt bepaald op een afstand die ongeveer 5 maal H_s bedraagt vanaf de constructie. De drempel voor de constructie wordt hierbij verondersteld geen invloed te hebben op de golfhoogte voor de constructie, omdat de lengte van de drempel veel korter is dan de golflengte.

3.9 Brekende golven

Goda geeft aan dat er geen gevaar voor het breken van golven vlak voor de constructie is wanneer de bodemhelling kleiner is dan $1/50$, omdat dan de golven die de maximale mogelijke golfhoogte overschreiden al ver voor de constructie breken. Uit de dieptekaart in bijlage A is af te leiden dat de bodemhelling in de beschouwde situatie maximaal $1/300$ is. Theoretisch kan altijd een te hoge golf ontstaan die vlak voor of tegen de constructie breekt. Goda verwaarloost deze golven omdat het slechts een klein aantal betreft en omdat een enkele hoge golf de constructie niet zal doen bezwijken. Een caisson zal door een dergelijke golf slechts een klein stukje verplaatsen. Door het geringe aantal van deze golven zal de totale verplaatsing te verwaarlozen zijn [zie Goda, lit.5].

3.10 Conclusie

Het hanteren van een waterstand en een golfhoogte met een zelfde overschrijdingsfrequentie geeft een bovengrens voor de belasting op de constructie met die kans van voorkomen.

Een gemeenschappelijke kansdichtheidsfunctie van waterstanden en golfhoogtes uit verschillende richtingen is nodig om een overschrijdingsverdeling van de totale belasting op de constructie te bepalen. Voor het opstellen van deze kansdichtheidsfunctie ontbreken de gegevens.

Voor het bepalen van de maatgevende waterstanden worden waarden uit Getijtafels Nederland [lit.3] en uit de metingen van Lichteiland Goeree gebruikt. De bijbehorende golfhoogtes worden verkregen uit de grafiek van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen [lit.4] en uit de meetwaarden van Lichteiland Goeree. De golfperiodes worden met formules bepaald uit H_s .

In de onderstaande tabel zijn de gegevens verzameld waarmee bij het ontwerp van de golfbreker zal worden gerekend.

Tabel 4: Resulterende gegevens met betrekking tot de omgevingscondities

Overschrijdings-frequentie / jaar	HW	H_s	T_z	T_p	T_s
1	2.45	5.00	6.7	9.6	9.1
0.1	3.00	6.04	7.4	10.5	10.0
0.01	3.70	6.80	7.8	11.1	10.6
0.001	4.40	7.33	8.1	11.6	11.0

4. Ontwerp van de caissons

4.1 Inleiding

In deze fase van het caissonontwerp wordt in eerste instantie gerekend met een eenvoudig rechthoekig betonnen caisson waarvan de afmetingen van wanden, dek en vloer worden geschat (zie bijlage H). De aanleghoogte van de drempel waarop het caisson wordt geplaatst wordt gekozen na afwegen van enkele aspecten.

De hoogte van de caissons wordt bepaald aan de hand van de gebruiksgrenstoestand¹ (serviceability limit state, SLS). Hiertoe wordt gekeken in welke mate de golfbreker het er achter gelegen havenwater moet beschermen.

De benodigde breedte van het caisson wordt bepaald aan de hand van de extreme belastingcondities die door golven en stormvloed en worden veroorzaakt (ultimate limit state, ULS). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de empirische ontwerpformules van Goda [lit. 5]. De golfdrukken die uit deze ontwerpformules volgen worden vergeleken met de resultaten die met de lineaire golftheorie worden verkregen.

4.2 Aanleghoogte van de stortstenen drempel

De aanleghoogte van de stortstenen drempel waarop het caisson moet worden geplaatst volgt uit een afweging van de volgende aspecten:

- Hoe lager de drempel, hoe hoger het caisson;
- Hoe groter het caisson, hoe groter de bijdrage van het eigen gewicht aan de stabiliteit;
- Hoe hoger het caisson, hoe groter de totale horizontale golfdruk tegen het caisson;
- Hoe hoger de drempel, hoe lager de verticale golfdruk onder het caisson;
- Hoe kleiner het caisson, hoe makkelijker en sneller te plaatsen en te verplaatsen;
- Hoe hoger de drempel, hoe beter de spreiding van de belasting naar de ondergrond;
- Hoe hoger de drempel, hoe meer materiaalverlies bij verplaatsing van de golfbreker, omdat het drempelmateriaal niet zal worden hergebruikt (zie voorstudie): een zo laag mogelijke drempel is dus gewenst;

De kosten voor het aanleggen van de stortstenen drempel zijn ongeveer fl. 125,- per m³. Wanneer wordt uitgegaan van een betonaandeel in het caisson van 15 % à fl. 500,- per m³ en een ballastaandeel van 85 % à fl. 6,- per m³ dan resulteert dit in een prijs van fl. 80,- per m³ caisson. Inclusief transport en plaatsing kost een caisson ongeveer fl. 100,- per m³. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het voordelig is de drempel onder het caisson zo laag mogelijk te houden.

Om een goede filterlaag onder het caisson te kunnen construeren en om een gelijkmatige overdracht van de belasting op de ondergrond te verkrijgen wordt uitgegaan van een minimale hoogte van de stortstenen drempel van 2 meter. In de voorstudie is gekozen om alle caissons op gelijke diepte te plaatsen. Bij een minimale waterdiepte van NAP -18.0 m wordt de aanleghoogte van de drempel NAP -16.0 m.

¹ Grenstoestand: de grens tussen het juist niet en het juist wel optreden van een mechanisme

4.3 Serviceability Limit State

Voor het bepalen van de benodigde hoogte van de golfbreker wordt gekeken naar de functie die de golfbreker gedurende het grootste deel van de tijd moet vervullen. Het creëren van rustig vaarwater achter sectie 2 van de golfbreker is hier maatgevend. In dit gedeelte van de haven zullen voornamelijk grote zeeschepen worden geladen en gelost. Het betreft hier zowel grote tankers en bulkschepen als containerschepen en stukgoedschepen. Door de verschillende manieren van laden en lossen van deze schepen zijn er ook verschillen in gevoeligheid voor golven tijdens het laad- en losproces. Een containerschip kan last hebben van golven met een hoogte van 0.25 m bij de precieze laadprocessen van containers. Het leegpompen van een grote olietanker met een flexibele slang kan daarentegen doorgaan tot een golfooogte van een hoogte van 0.80 m.

Naast de golftransmissie via de golfbreker hangt het golfklimaat in het havenbekken ook af van diffractie en reflectie in de haven. De layout van de haven, die zowel de hoofdvorm van het havenbekken als de situering van de aanlegplaatsen voor de diverse schepen betreft, is van invloed op deze processen. Om een goede schatting te kunnen maken van de golfooogte die door transmissie acceptabel is moet de layout van de haven mede in beschouwing worden genomen.

Omdat over de havenlayout nog vrijwel niets bekend is, is de acceptabele transmissie op 0.50 m geschat. Om de continuïteit van de havenactiviteiten zoveel mogelijk te waarborgen mag een storm waarbij deze transmissie optreedt gemiddeld niet vaker dan één keer per jaar voorkomen.

4.4 Ultimate Limit State

Bij de bepaling van de ontwerpcondities voor de ULS wordt uitgegaan van een levensduur van de golfbreker van 50 jaar. In principe zou voor de levensduur ook de tijdsduur kunnen worden genomen tot aan de verplaatsing van de golfbreker. Er wordt echter rekening gehouden met de mogelijkheid dat de golfbreker door bijvoorbeeld veranderde economische omstandigheden helemaal niet verplaatst zal worden en met de levensduur van de verplaatste golfbreker in de eindfase. Een levensduur van 50 jaar lijkt dan reëel.

Bij het ontwerp van caissongolfbrekers wordt aangenomen dat een caisson bij overschrijding van de ontwerpcondities zal bezwijken. Dit betekent dat dit deel van de golfbreker onherstelbaar beschadigd is, hetgeen tot grote overlast zal leiden in de haven. De kosten die gepaard gaan met deze overlast en de kosten van het verwijderen van het beschadigde caisson en het repareren van de golfbreker zijn erg hoog.

Voor het bepalen van de ontwerpcondities wordt daarom een overschrijdingsfrequentie van deze condities van één keer per 1000 jaar gehanteerd. De kans dat deze ontwerpcondities in de levensduur van de constructie worden overschreden is dan 4.9 %¹.

Met behulp van een probabilistische analyse van de faalkans van de golfbreker en een schatting van de schade die zowel direct als indirect ontstaat bij bezwijken van de constructie kan worden bekeken of de hier gekozen ontwerpcondities economisch optimaal zijn. Deze analyse wordt hier achterwege gelaten.

¹ $[1-(0.999)^{50}] \cdot 100 = 4.9 \%$

4.5 Aanpassen van de hoofdvorm

De rechthoekige, massieve hoofdvorm van het caisson kan op verschillende manieren worden aangepast om te komen tot een belastingreductie op het caisson.

Eén van de mogelijkheden is om de reflectiecoëfficiënt van het caisson te verminderen, waardoor de maximale golf voor het caisson lager zal zijn. Vaak wordt daarom een poreus front met daarachter een woelkamer ontworpen. Zo'n open front en lege woelkamer verminderen echter sterk het eigen gewicht van het caisson en wel op de plaats waar het gewicht het meest bijdraagt aan de stabiliteit van het caisson, namelijk op de grootste afstand van het kantelpunt. De besparing die wordt verkregen door een reductie van de caissonbreedte bij gereduceerde horizontale krachten wordt veelal teniet gedaan door de hoge constructiekosten van het poreuze front en van de woelkamer.

Het verbreden van de voetplaat van het caisson wordt wel toegepast om het funderingsdraagvlak te vergroten. Door de grote belastingen op deze uitkragingen van de voetplaat en door de lastige bekistingsvorm van de constructie resulteert ook deze aanpassing niet altijd in een kostenbesparing.

Op de hier genoemde aanpassingen wordt verder niet ingegaan. In het ontwerp wordt uitgegaan van een eenvoudig rechthoekig caisson.

4.6 Conclusie

Aan de hand van de hier beschreven ontwerpeisen voor transmissie wordt in het volgende hoofdstuk de methode beschreven waarmee de benodigde hoogte van de caissons kan worden bepaald. In hoofdstuk 6 worden de maatgevende bezwijkmechanismen van de golfbreker en de hierbij behorende rekenmodellen beschreven, waarmee de benodigde breedte kan worden bepaald.

De totale berekening van hoogte en breedte is uitgevoerd met het hiervoor geschreven computerprogramma CAISSON. De structuur van dit programma en de eindresultaten van de berekening worden beschreven in hoofdstuk 7. De totale in- en uitvoer van de rekenresultaten en een listing van het programma CAISSON zijn te vinden in respectievelijk bijlage J en bijlage Q.

5. De hoogte van de caissons

5.1 Inleiding

Zoals in paragraaf 4.3 is bepaald wordt gerekend met ontwerpcondities voor de SLS die één maal per jaar worden overschreden, waarbij de golven achter de golfbreker door transmissie maximaal 0.50 meter mogen zijn. De maatgevende waarden voor golfhoogte en waterstand volgen uit tabel 4:

$$H_s = 5.00 \text{ [m]} \quad \text{en} \quad HW = \text{NAP} + 2.45 \text{ [m]}$$

Met het transmissiemodel van Goda wordt in dit hoofdstuk de bepaling van de minimaal benodigde caissonhoogte beschreven.

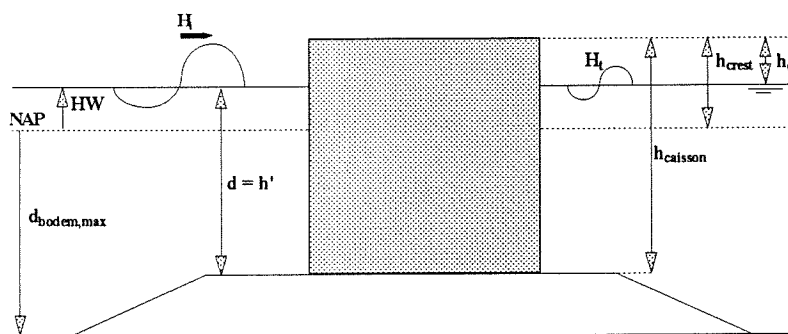
5.2 Totale waterhoogte voor de golfbreker

Bij het berekenen van de totale waterdiepte d voor de constructie wordt rekening gehouden met een verwachte zeespiegelstijging¹ van 0.5 meter.

$$d = \text{waterdiepte t.o.v. NAP} + \text{zeespiegelstijging} + \text{waterstand t.o.v. NAP [m]}$$

5.3 Bepaling van de kruinhoogte van de golfbreker

De dwarsdoorsnede van de golfbreker is geschematiseerd in figuur 9. Met behulp van ontwerpgrafieken van Goda [lit.5] kan de benodigde golfbrekerhoogte worden bepaald. In bijlage C worden deze ontwerpgrafieken en de formules die de grafieken beschrijven toegelicht. De formules worden gebruikt in het rekenprogramma CAISSON, waarmee na invoering van de ontwerpwaarden de juiste caissonhoogte wordt berekend.



Figuur 9: Schematisatie transmissie volgens Goda

De aanleghoogte van de kruin van de constructie ten opzichte van NAP is gedefinieerd als:

$$h_{\text{crest}} = \text{zeespiegelstijging [m]} + HW \text{ [m tov NAP]} + \text{transmissiehoogte Goda [m]}$$

De totale caissonhoogte wordt dan:

$$h_{\text{caisson}} = \text{aanlegdiepte van caisson [m tov NAP]} + h_{\text{crest}} \text{ [m tov NAP]}$$

¹ De stijging van de zeespiegel is een duidelijk meetbaar feit. De oorzaak hiervan wordt gezocht in het broeikaseffect, dat een verhoging van de globale aardtemperatuur tot gevolg heeft. Hierdoor smelt het gletsjer- en poolijs en zal de gemiddelde watertemperatuur stijgen, waardoor het totale watervolume toeneemt. Het IPCC (International Panel on Climate Change) adviseert een waarde van 0.50 meter voor deze zeespiegelstijging aan te houden voor een tijdspanne tot 2050.

6. De breedte van de caissons

6.1 Inleiding

De volgende ontwerpcondities voor het berekenen van de caissonbreedte zijn in hoofdstuk 4 en 5 bepaald:

Hoogwater:	HW	=	NAP + 4.40	[m]
Golfcondities:	H _s	=	7.33	[m]
	T _s	=	11.0	[s]
	T _z	=	8.1	[s]
	T _p	=	11.6	[s]

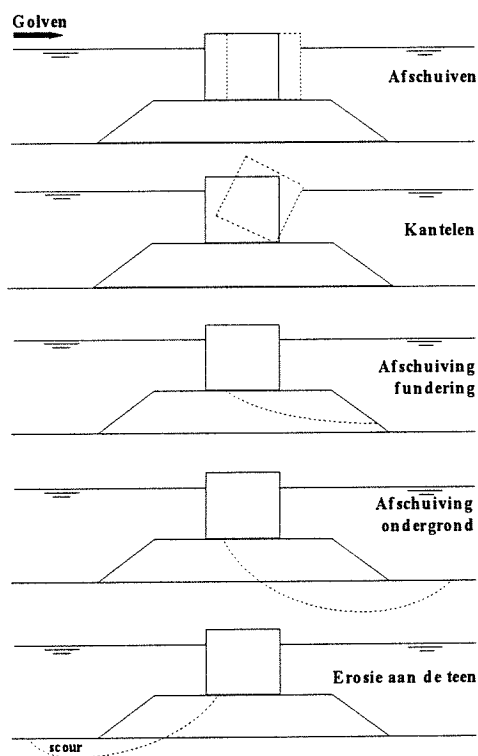
In de berekeningen worden de bezwijkmechanismen kantelen en afschuiven van het caisson, afschuiven van de fundering en bezwijken van de ondergrond bekeken. Voor deze vier mechanismen worden evenwichtsberekeningen gemaakt, waarbij de caissonbreedte B wordt gevarieerd. De uiteindelijke waarde voor B is die waarde, waarbij voor elk bezwijkmechanisme een vooraf opgelegde minimale veiligheid wordt bereikt. In eerste instantie wordt uitgegaan van een minimale veiligheidsfactor van 1.2 voor alle mechanismen afzonderlijk. Deze veiligheid wordt geadviseerd door Goda [lit. 5].

De berekeningen worden uitgevoerd met het hiervoor geschreven computerprogramma CAISSON. Een uitgebreide beschrijving van dit programma volgt in hoofdstuk 7. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet met welke aannames en formules de evenwichtsberekeningen worden gemaakt.

6.2 Bezwijkmechanismen

De belangrijkste bezwijkmechanismen van een caisson die in de literatuur worden genoemd zijn (zie figuur 10):

- 1) Afschuiven van het caisson over de fundering;
- 2) Kantelen van het caisson ;
- 3) Afschuiven van de storstenen fundering onder de constructie;
- 4) Bezwijken van de ondergrond door afschuiving;
- 5) Erosie aan de teen van de stortstenen drempel en van de zeebodem; het uiteindelijke gevolg hiervan is zeewaarts kantelen van het caisson;
- 6) Liquefaction van de ondergrond t.g.v. golfklappen en vervolgens kantelen (niet in figuur).



Figuur 10: Bezwijkmechanismen van caissons

Bij het bepalen van de benodigde breedte van de caissons worden alleen de eerste vier mechanismen beschouwd. In het ontwerp wordt uitgegaan van een goed gedimensioneerde bodembescherming voor de constructie en een goede filterconstructie onder het caisson.

6.3 Golfbelasting op de constructie

6.3.1 Lineaire golftheorie

Volgens de lineaire golftheorie kan de drukverdeling onder een golf tegen een verticale constructie met hyperbolische functies worden beschreven. Deze theorie wordt toegelicht in bijlage D.

Bij het berekenen van de stabiliteit van de constructie bij golfbelasting wordt alleen de belasting van een golftop tegen de constructie beschouwd. De belastingsituatie bij een golfdal wordt hier niet maatgevend geacht, hetgeen overigens niet per definitie het geval is.

De theoretische ontwerpgolf H_d waarmee de golfdrukken met de lineaire golftheorie worden berekend kan worden afgeleid van de significante ontwerpgolfhoogte H_s . Gesteld wordt dat de golven Rayleigh-verdeeld zijn. Voor de verhouding van H_s en H_d geldt dan:

$$\frac{H_d}{H_s} = \sqrt{\frac{1}{2} \ln N}, \quad \text{waarin } N = \text{aantal golven in een storm}$$

$$\left(\text{Rayleigh: } e^{-2\left(\frac{H_d}{H_s}\right)^2} = \frac{1}{N} \Rightarrow -2\left(\frac{H_d}{H_s}\right)^2 = \ln N \Rightarrow 2\left(\frac{H_d}{H_s}\right)^2 = \ln N \right)$$

Bij een aangenomen stormduur van 6 uur en een nuldoorgangperiode $T_z = 8.1$ [s] is het aantal golven N per storm gelijk aan 2667. Dit betekent:

$$H_d = \sqrt{\frac{1}{2} \ln(2667)} \cdot H_s = 1.99 \cdot H_s = 14.56 \text{ [m]}$$

In het computerprogramma CAISSON worden de golfdrukken die met de lineaire golftheorie zijn berekend vergeleken met de resultaten die met de ontwerpformules van Goda worden verkregen. Voor het bepalen van de stabiliteit van de constructie worden uiteindelijk de uitkomsten van Goda gebruikt.

6.3.2 Ontwerpformules van Goda

Veel caissons worden ontworpen met behulp van de empirische ontwerpformules van Goda [lit.5]. Deze formules maken gebruik van tal van coëfficiënten om onder andere de golfdrukken te corrigeren voor eventuele invloed van golfklappen.

Voor de werkelijke invloed van golfklappen die door brekende golven op de constructie worden uitgeoefend is nog geen toepasbaar theoretisch model beschikbaar. Goda geeft bij zijn formules aan dat gevaar voor golfklappen niet aanwezig is indien de bodemhelling voor de constructie niet groter is dan 1/50 en de drempel niet dermate breed is, dat golven op de drempel kunnen breken. In de beschouwde situatie is de bodemhelling maximaal 1/300 en behoeft met golfklappen dus geen rekening te worden gehouden.

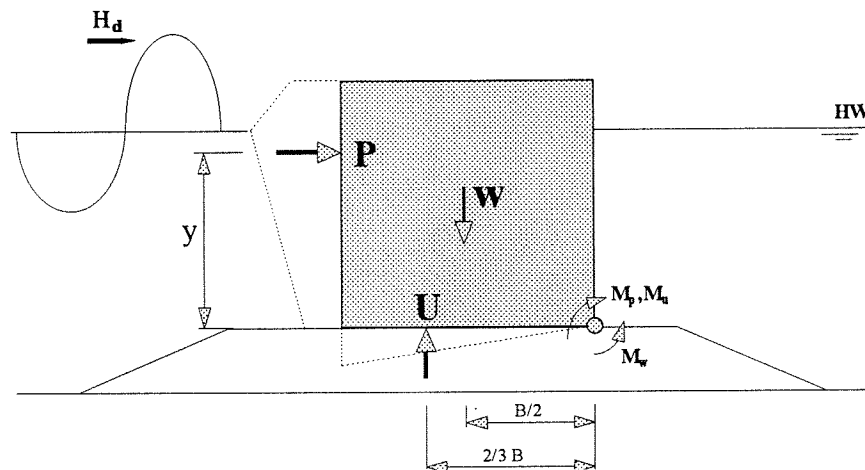
Met de formules van Goda wordt in het algemeen een ontwerp verkregen dat aan de veilige kant is. Wel dient te worden opgemerkt dat deze empirische formules zijn opgesteld voor het ontwerp van caissons in Japanse wateren en dus zijn gebaseerd op Japanse golfspectra.

Een compleet overzicht van de schematisatie van de constructie volgens Goda en van de gebruikte formules is te vinden in bijlage E.

In Goda's ontwerpformules wordt een maximale golf van $1.8 \cdot H_s$ gehanteerd, overeenkomend met $H_{1/250}$. Theoretisch betekent dit dat in de ontwerpstorm deze golfhoogte gemiddeld 5 keer wordt overschreden. Goda verwaarloost de schade (kleine verplaatsingen van de caissons) die door deze golven in de ontwerpstorm wordt aangericht. Goda gaat er vanuit dat de constructie een incasseringsvermogen heeft waardoor het caisson pas bezwijkt wanneer de ontwerpgolf meerdere malen is overschreden.

6.4 Krachten op de constructie

Aangenomen wordt dat het water achter het caisson in rust is. De resulterende horizontale kracht op de constructie bestaat dan slechts uit de golfdruk voor het caisson. De totale krachten die op de constructie werken worden in onderstaande figuur geschematiseerd.



Figuur 11: Golfkrachten bij een golftop volgens Goda

De resulterende krachten op de constructie per strekkende meter caisson zijn:

horizontaal: P (resulterende golfdruk)

verticaal: $V = W - U$ (eigen gewicht - opwaartse golfdruk)

6.5 Afschuiven

Afschuiving van het caisson treedt op wanneer de horizontale belasting op het caisson groter is dan de maximale wrijvingskracht tussen de onderkant van het caisson en de fundering.

Voor de stabiliteit wordt dus vereist dat:

$$P \leq V \cdot \tan \mu$$

waarin:

μ = de wrijvingshoek tussen caisson en fundering.

6.6 Kantelen

Onder kantelen wordt verstaan het draaien van het caisson om een willekeurige as. Dit kan optreden wanneer er geen momentenevenwicht is. Deze situatie is echter niet maatgevend omdat de constructie dan al lang is afgeschoven. Belangrijker is de verdraaiing die kan optreden ten gevolge van instabiliteit van de ondergrond. Door excentrische belasting van het funderingsvlak kan de ondergrond afschuiven en kan de constructie kantelen. Dit bezwijkmechanisme wordt in de volgende paragraaf beschreven.

Wanneer in dit rapport over kantelen gesproken wordt, moet het kantelen om de hiel van het caisson worden verstaan. Bij beschouwing van de stabiliteit van het caisson wordt het moment om de hiel van het caisson genomen. Het aandrijvend moment bedraagt:

$$M_{\text{aandrijvend}} = P \cdot y + U \cdot \frac{2}{3} B = M_p + M_u$$

en het teruggedrijvend moment bedraagt:

$$M_{\text{teruggedrijvend}} = W \cdot \frac{1}{2} B = M_w$$

De stabiliteitseis wordt dan:

$$M_p + M_u < M_w$$

6.7 Draagvermogen van drempel en de ondergrond

6.7.1 Rekenmodel volgens Brinch-Hansen

Voor het berekenen van het draagvermogen van de fundering van de constructie wordt de formule van Brinch-Hansen gebruikt, gebaseerd op het model van Prandtl [lit.8]. De algemene formule luidt:

$$p_{\text{toel}} = s_c i_c N_c c + s_q i_q N_q q + s_\gamma i_\gamma N_\gamma \frac{1}{2} \gamma B_e$$

waarin:

c	=	de cohesie van grond
q	=	de bovenbelasting
γ	=	het volumegewicht van grond
i_c, i_q, i_γ	=	factoren voor de belastingrichting
s_c, s_q, s_γ	=	vormfactoren
B_e	=	de effectieve breedte van de belaste strook
N_c, N_q, N_γ	=	dimensieloze constanten

Dit model en de formule met alle coëfficiënten worden toegelicht in bijlage G.

6.7.2 Hoek van inwendige wrijving

De dimensieloze constanten in de formule van Brinch-Hansen worden bepaald door de hoek van inwendige wrijving van het beschouwde materiaal. Voor stortsteen is de hoek van inwendige wrijving $\varphi_{\text{stortsteen}}$ geschat op 38° .

De bepaling van de hoek van inwendige wrijving van de ondergrond is gecompliceerder. De bodem is opgebouwd uit verschillende lagen. Bij gebrek aan grondgegevens op het tracé wordt uitgegaan van de dichtstbijzijnde beschikbare sondering. Deze sondering, gemaakt in de Europahaven, is gegeven in bijlage F. Aangenomen wordt dat deze sondering representatief is voor het hele tracé van de golfbreker.

Uit een globale beschouwing van deze sondering blijkt dat tot een diepte van NAP -23.5 m kleilagen aanwezig zijn. Daaronder bevindt zich een dikke redelijk stevig gepakte zandlaag.

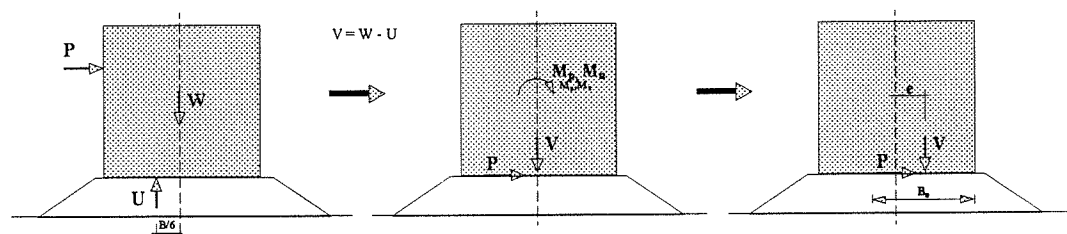
In de berekeningen van het draagvermogen van deze ondergrond wordt één hoek van inwendige wrijving ϕ gebruikt, die voortkomt uit het gewogen gemiddelde van de ϕ 's van de verschillende lagen.

In bijlage F is de bepaling van de verschillende ϕ 's uit de sondering uitgewerkt en wordt volgens NEN 6744 het gewogen gemiddelde van de ϕ 's berekend. Deze berekening resulteert in $\phi_{\text{ondergrond}} = 34,2^\circ$. In verdere berekeningen wordt $\phi = 34^\circ$ gehanteerd.

Nauwkeuriger geotechnisch onderzoek op het tracé is aan te bevelen omdat uit de stabiliteitsberekeningen (zie volgende hoofdstuk) blijkt dat het bezwijken van de ondergrond het maatgevende faalmechanisme is en dat ϕ_{bodem} een erg grote invloed heeft op de bezwijkbelasting.

6.8 Bezwijken van de stortstenen drempel

De toelaatbare gronddruk in de stortstenen drempel wordt bepaald met de formule van Brinch-Hansen (zie paragraaf 6.7 en bijlage G). In onderstaande figuur is de belasting op de stortstenen drempel geschetst.



Figuur 12: Belastingen op de stortsteen fundering

De toelaatbare gronddruk is:

$$p_{\text{toel}} = s_c i_c N_c c + s_q i_q N_q q + s_\gamma i_\gamma N_\gamma \frac{1}{2} \gamma B_e$$

De aanwezige gemiddelde gronddruk is:

$$p = V/B_e$$

waarin:

V = de resultante van de verticale belastingen = $W - U$

B_e = de effectieve breedte = $B - 2e$

e = $(M_p + M_u) / V$

M_u = $U \cdot \frac{2}{3}B$

6.9 Bezwijken van de ondergrond

De belasting uit de stortsteen fundering wordt overgedragen naar de ondergrond. Voor de verticale belasting op de ondergrond wordt het gewicht van de stortstenen drempel onder het caisson over de effectieve breedte opgeteld bij de eerder bepaalde verticale kracht. Verondersteld wordt dat de totale verticale belasting door de stortstenen drempel wordt gespreid onder 45° . Met Brinch-Hansen wordt gecontroleerd of de maximaal toelaatbare druk in de ondergrond niet wordt overschreden.

De belastingoverdracht, die in onderstaande figuur is geschematiseerd, wordt beschreven met de volgende uitdrukkingen:

$$V_{\text{sub}} = V + \gamma_{\text{bed}} \cdot h_{\text{drempel}} \cdot B_e$$

$$P_{\text{sub}} = P$$

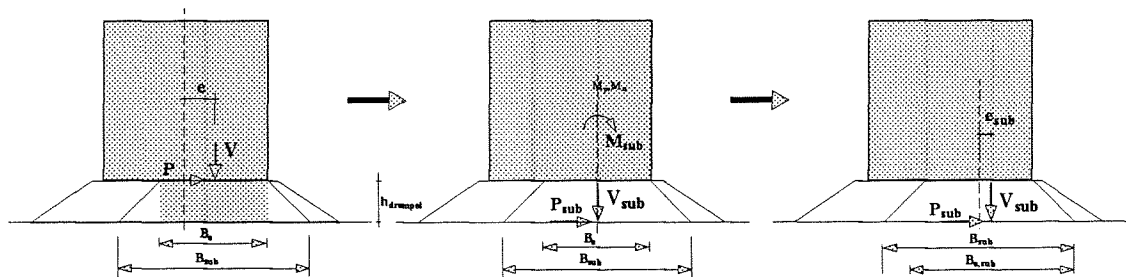
$$M_{\text{sub}} = P \cdot h_{\text{drempel}}$$

$$e_{\text{sub}} = M_{\text{sub}} / V_{\text{sub}}$$

waarin:

h_{drempel} = de hoogte van de sortstenen drempel

γ_{bed} = het onderwatervolumegewicht van stortsteen



Figuur 13: Belastingoverdracht op de ondergrond

De effectieve breedte $B_{e,\text{sub}}$ van het draagvlak op de ondergrond volgt uit het totale draagvlak B_{sub} en e_{sub} :

$$B_{\text{sub}} = B_e + 2 \cdot h_{\text{drempel}} \cdot \tan 45^\circ$$

$$B_{e,\text{sub}} = B_{\text{sub}} - 2 \cdot e_{\text{sub}}$$

De aanwezige gronddruk volgt hieruit:

$$p = V_{\text{sub}} / B_{e,\text{sub}}$$

6.10 Het gewicht van de caissons

Voor de bepaling van het effectieve eigen gewicht W (gewicht - opdriving) wordt in eerste instantie een schatting gemaakt van de afmetingen van de caissons en de soortelijke massa's (zie tabel 4).

In het rekenprogramma CAISSON kunnen deze waarden worden gevarieerd. Precieze afmetingen worden in een later stadium berekend.

Voor een nauwkeurige bepaling van het eigen gewicht zoals in het programma wordt gebruikt wordt verwezen naar bijlage H.

Globaal geldt voor het eigen gewicht:

$$W = [B \cdot (d + h_{\text{crest}}) \cdot m - B \cdot d \cdot \rho_w] \cdot g$$

waarin:

m = de gemiddelde volumieke massa van het caisson

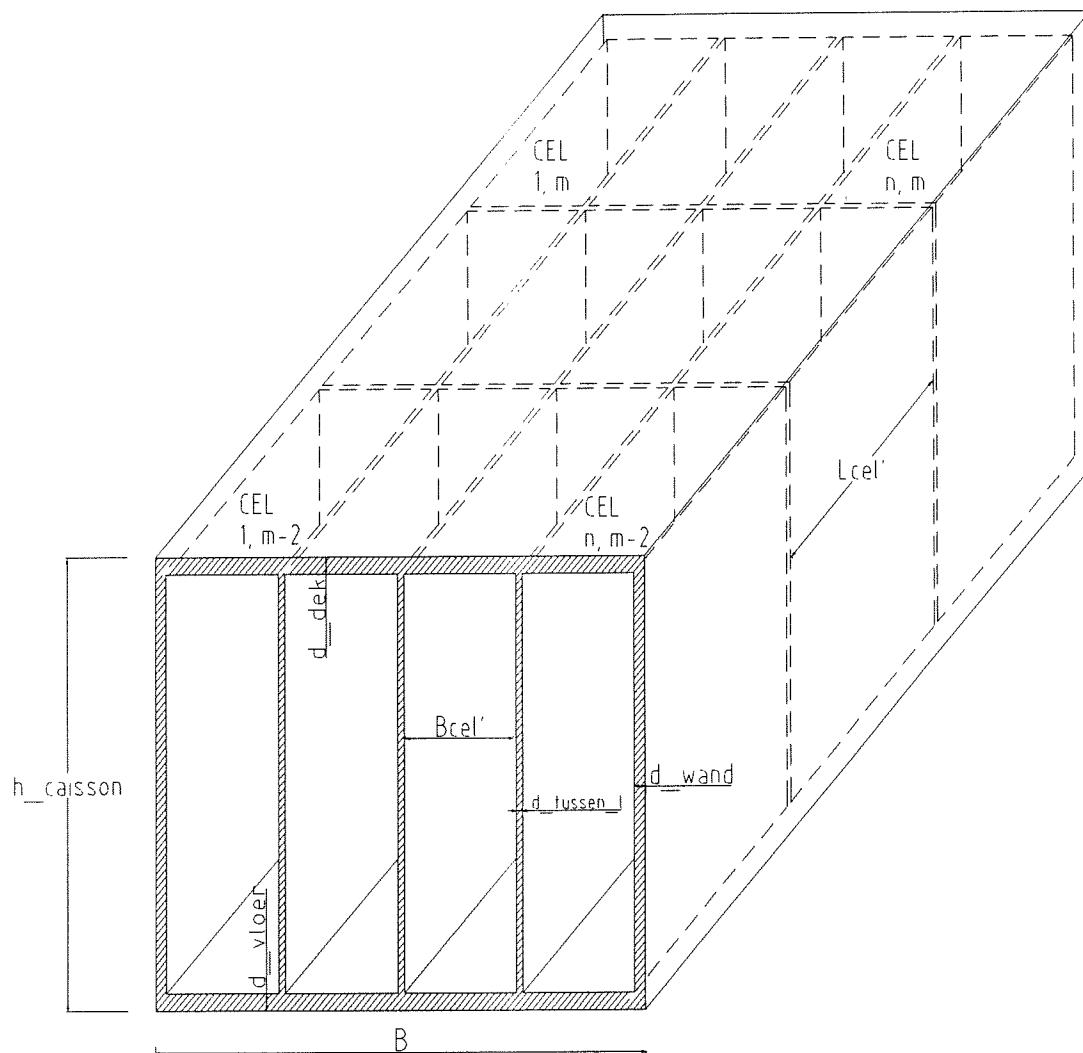
Tabel 5: Aangenomen afmetingen van de caissons

Afmetingen van caissons

Dikte van het dek	0,40 [m]
Dikte van de vloer	0,80 [m]
Dikte tussenwanden	0,35 [m]
Dikte kopschotten	0,60 [m]
Dikte buitenwanden	0,60 [m]
Aantal cellen in de breedte	4
Aantal cellen in de lengte	5 - 12
Caissonlengte	45-90 [m]

Soortelijke massa's

$\rho_{\text{gewapend beton}}$	2400 kg/m ³
ρ_{zeewater}	1030 kg/m ³
$\rho_{\text{zand, droog}}$	1650 kg/m ³
$\rho_{\text{zand, nat}}$	2000 kg/m ³



Figuur 14: Schets van het beschouwde caisson

6.11 Conclusie

Met de in dit hoofdstuk beschreven methoden en modellen kan de stabiliteit en de veiligheid van de caissons worden berekend voor de beschreven faalmechanismen kantelen, afschuiven, bezwijken van de drempel en bezwijken van de ondergrond.

Deze berekeningen, alsmede de berekening van de caissonhoogte, worden uitgevoerd met het hiervoor geschreven computerprogramma CAISSON, waarin al deze methoden en modellen zijn verwerkt.

De waarde voor de breedte B van het caisson die uit dit programma volgt is die waarde, waarbij voor elk bezwijkmechanisme een vooraf opgelegde minimale veiligheid wordt bereikt. In eerste instantie wordt uitgegaan van een minimale veiligheidsfactor van 1.2 voor alle mechanismen afzonderlijk.

In het volgende hoofdstuk wordt het pascalprogramma CAISSON beschreven.

7. Berekening van de hoofdafmetingen met het programma CAISSON

7.1 Inleiding

Om de benodigde hoogte en breedte van de caissons behorende bij de ontwerpeisen te berekenen is het computerprogramma CAISSON geschreven. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet welke invoer voor de berekening nodig is en waaruit de uitvoer van de berekening bestaat. Ook wordt de globale programmastructuur geschetst met daarin de gehanteerde rekenmethoden.

7.2 Rekenmethoden en aannamen

De benodigde caissonhoogte wordt met een transmissieberekening volgens Goda bepaald. Deze berekeningsmethode wordt toegelicht in bijlage C.

Voor het bepalen van de golfbelastingen op de constructie wordt gebruik gemaakt van de ontwerpformules van Goda. Ook zijn voor de golfdrukken waarden berekend met de lineaire golftheorie. Deze zijn ter vergelijking in de uitvoer opgenomen.

Het draagvermogen van de fundering onder het caisson, de stortstenen drempel en de ondergrond, is berekend met de ontwerpformules van Brinch-Hansen. De belangrijkste variabele in deze berekening is de hoek van inwendige wrijving ϕ . In het vorige hoofdstuk is bepaald dat $\phi_{\text{ondergrond}} = 34^\circ$. Voor de drempel wordt $\phi_{\text{stortsteen}}$ geschat op 38° .

7.3 Invoer voor het programma

De invoer voor het programma bestaat grotendeels uit de variabelen die in de vorige hoofdstukken zijn bepaald. Dit zijn o.a.:

- de maatgevende significante golfhoogte voor de SLS en ULS
- de maatgevende waterstand voor de SLS en ULS
- de maximale golfhoogte achter de golfbreker in de SLS
- de minimale bezwijkveiligheid per faalmechanisme in de ULS
- de diepteligging van de zeebodem op het tracé (bijlage A)
- de golfsteilheid en de invalshoek van de golven
- de aanleghoogte van de drempel
- grondparameters van stortsteen en van de ondergrond
- globale afmetingen van de betonconstructie
- soortelijke gewichten van zeewater, beton, ballast en van het funderingsmateriaal

In bijlage I is een totaal overzicht van de invoer van het programma en een beschrijving van deze variabelen gegeven. In het programma zijn de reeds bepaalde waarden van de invoervariabelen als default waarden opgenomen. Indien gewenst kunnen alle invoerwaarden in het programma worden gevarieerd.

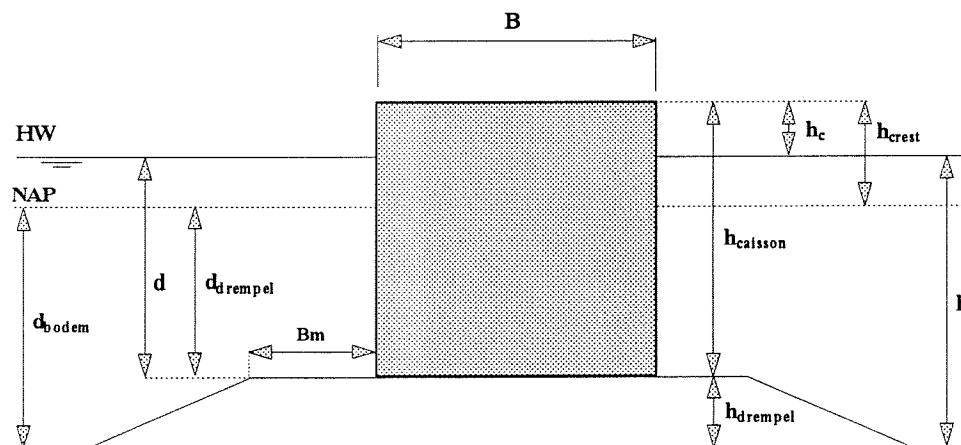
In bijlage J is een compleet overzicht gegeven van de invoerschermen van het programma. Hierin zijn de default invoerwaarden te zien.

7.4 Uitvoer van het programma

Met het programma worden onder andere de volgende uitvoerwaarden berekend:

- de benodigde caissonhoogte
 - de transmissiecoëfficiënt in de SLS
 - de kruinhoogte in de SLS
- golfgegevens in de ULS
 - golflengte
 - golfperiode
 - brekerhoogte
 - ontwerp golf volgens Goda
 - ontwerp golf voor de lineaire golftheorie
- krachten en momenten op de constructie
 - golfdrukken volgens Goda
 - coëfficiënten van de Goda-berekening
 - golfdrukken volgens de lineaire golftheorie
 - golfkrachten volgens Goda
 - funderingsdruk volgens Brinch-Hansen
- benodigde caissonbreedte
- veiligheidsfactoren voor de verschillende bezwijkmechanismen
- materiaalverbruik en massa van het caisson

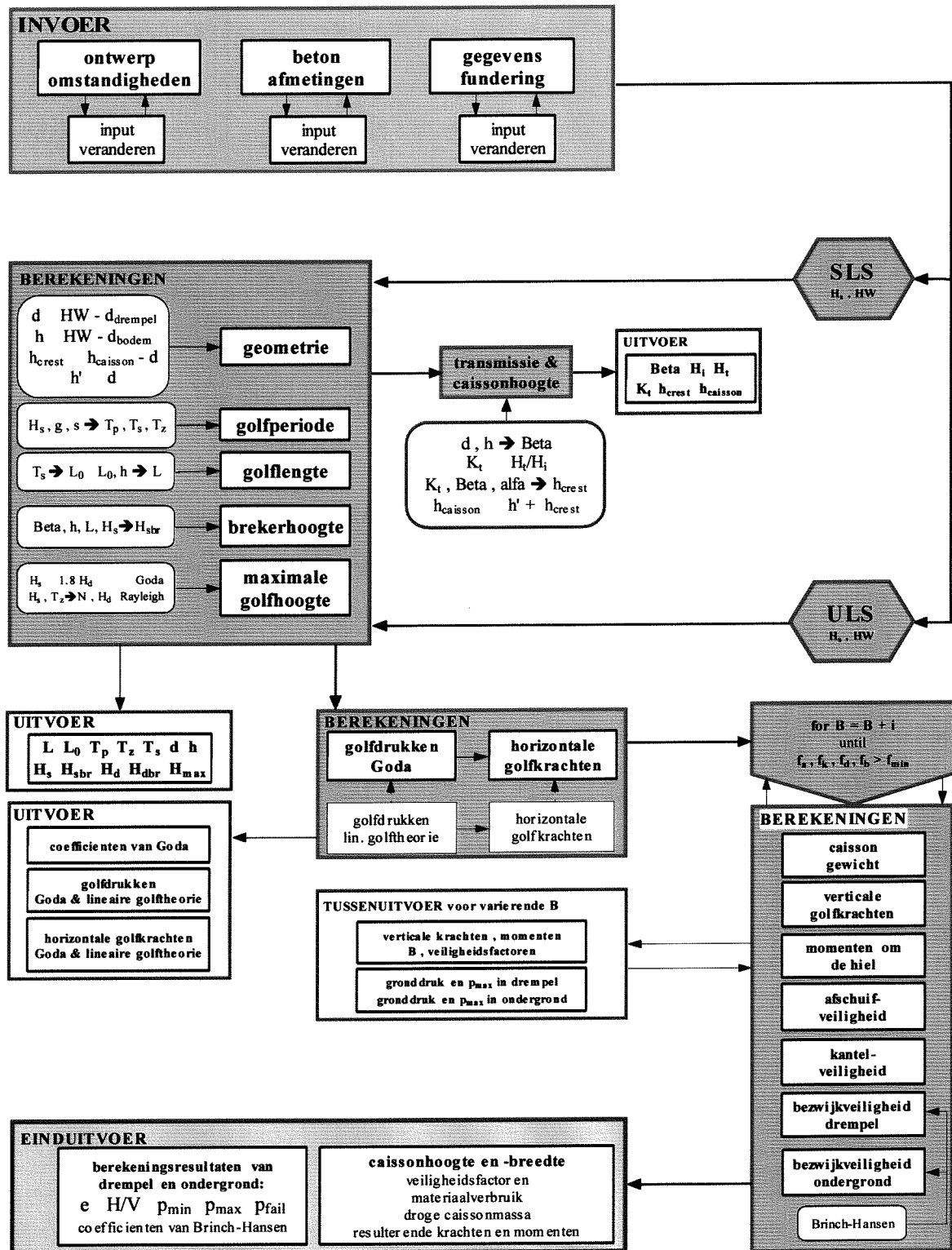
In bijlage I is een totaal overzicht van de uitvoer van het programma en een beschrijving van deze variabelen gegeven. In deze bijlage staat ook een aantal schetsen waarin de gebruikte variabelen worden gedefinieerd. In figuur 15 zijn de belangrijkste geometrische variabelen geschetst. In bijlage J is een compleet overzicht gegeven van alle uitvoerschermen van het programma.



Figuur 15: Definitieschets van de geometrie

7.5 Programmastructuur

De structuur van het programma is in figuur 16 globaal weergegeven. De volledige listing van het programma is te vinden in bijlage Q.



Figuur 16: Programmastructuur van het pascalprogramma CAISSON

7.6 Rekenresultaten

De belangrijkste resultaten van het programma CAISSON zijn samengevat in de uitvoerschermen in figuur 17, 18 en 19.

EINDRESULTATEN		uitvoer scherm 5	
Hoofdafmetingen:		Veiligheidsfactoren:	
Caissonbreedte B	25.95 [m]	Veiligheidsfactor kantelen	= 2.24
Caissonhoogte h	23.68 [m]	Veiligheidsfactor afschuiven	= 1.74
(bij een lengte van 60 m)		Veiligheidsfactor fundering	= 2.06
		Veiligheidsfactor ondergrond	= 1.20
Materiaal en massa per meter caisson (schatting):			
Hoeveelheid beton	=	108 [m3]	
Hoeveelheid ballast	=	507 [m3]	
Massa van caisson zonder ballast	=	15540 [ton]	
Krachten op het caisson en momenten om de caissonhiel per meter:			
Totale horizontale kracht	=	2054 [kN]	
Opwaartse kracht onder constructie	=	884 [kN]	
Totale gewicht van het caisson	=	7065 [kN]	
Totale verticale kracht	=	6182 [kN]	
Weerstandmoment door eigen gewicht	=	91672 [kNm]	
Moment door opwaartse golfkracht	=	15288 [kNm]	
Moment door horizontale golfkracht	=	25714 [kNm]	

Figuur 17: Overzicht van de belangrijkste resultaten

REKENRESULTATEN GOLFDRIJVEN		uitvoer scherm 2	
		Goda:	Lineaire golftheorie:
Horizontale druk s.w.l.	p1 = 101.80	p_sw1 = 132.38	[kN/m ²]
Horizontale druk drempel	p3 = 69.54	p_bottom = 85.53	[kN/m ²]
Horizontale druk kruin	p4 = 86.21	p_crest = 101.76	[kN/m ²]
Horizontale druk	p2 = 65.32		[kN/m ²]
Onder het caisson	pu = 68.11		[kN/m ²]
Zonder golfklap	p1 = 101.80		[kN/m ²]

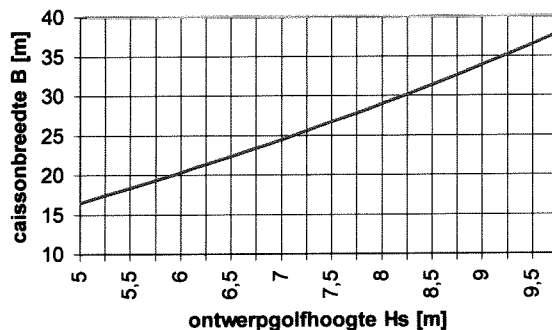
Figuur 18: Overzicht van de resultaten van de golfdrukberekeningen

REKENRESULTATEN FUNDERING		uitvoer scherm 6	
		---drempel---	---ondergrond---
wrijvingshoek	p_s = 38.0	p_b = 34.0	[graden]
totale breedte	B = 25.95	B_sub = 21.79	[m]
excentriciteit	e = 4.78	e_sub = 0.84	[m]
	B/6 = 4.33	B_sub/6 = 3.63	[m]
effectieve breedte	B_e = 16.39	B_e_sub = 20.12	[m]
verhouding P/V	P/V = 0.33	P/V = 0.31	[m]
[Nq Nc Ng]	[48.93 61.35 56.17]	[29.44 42.16 28.77]	
[sq sc sg]	[1.17 1.05 0.89]	[1.19 1.07 0.87]	
[iq ic ig]	[0.33 0.57 0.19]	[0.29 0.54 0.16]	
maatgevende funderingsdruk	p_Be = 377	329	[kN/m ²]
bezwijkdruk Brinch-Hansen	p_fail = 779	395	[kN/m ²]
minimale funderingsdruk	p_min = 0	234	[kN/m ²]
maximale funderingsdruk	p_max = 503	374	[kN/m ²]
gemidd. funderingsdruk	p_av = 238	304	[kN/m ²]

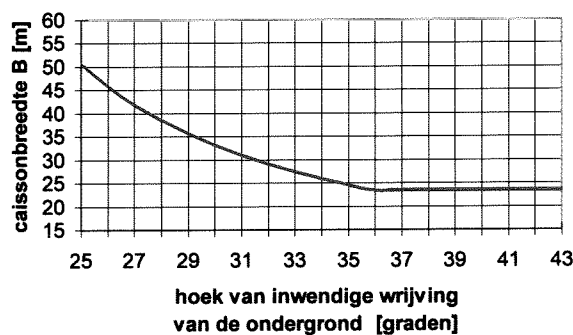
Figuur 19: Overzicht van de resultaten van de funderingsberekeningen

7.7 Invloed van enkele variabelen op de hoofdafmetingen

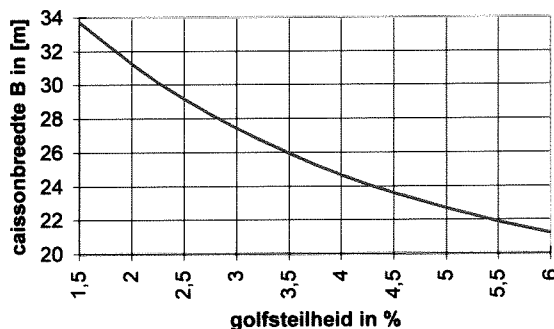
Met het programma is ook de invloed van een aantal variabelen op de hoofdafmetingen van de constructie te berekenen. Hierbij wordt telkens één variabele gevarieerd, terwijl alle andere variabelen constant worden gehouden op de default waarden. De onderstaande grafieken geven de resultaten van deze berekeningen weer.



Figuur 20: Invloed van de ontwerp golfhoogte



Figuur 21: Invloed van de hoek van inwendige wrijving ϕ van de ondergrond op de benodigde breedte



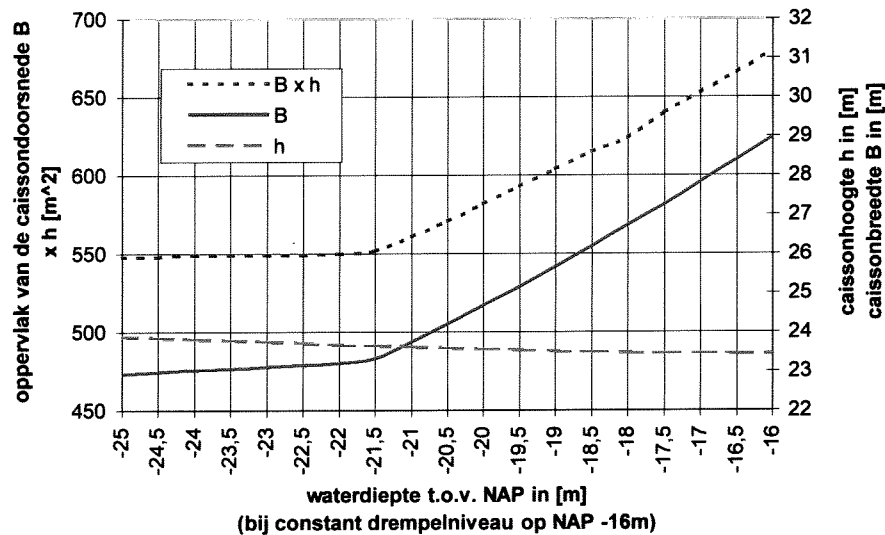
Figuur 22: Invloed van de golfsteilheid s_p op breedte B

De ontwerp golfhoogte H_s is de belangrijkste variabele bij het bepalen van de benodigde breedte van het caisson (zie figuur 20). Een berekening met een ontwerp-golf die een meter hoger is resulteert in een caisson dat 5 meter breder is. Een goede analyse van de beschikbare golfgegevens is dan ook van groot belang.

Uit figuur 21 blijkt dat de hoek van inwendige wrijving van de ondergrond tot een waarde van ruim 35° maatgevend is voor de benodigde caissonbreedte.

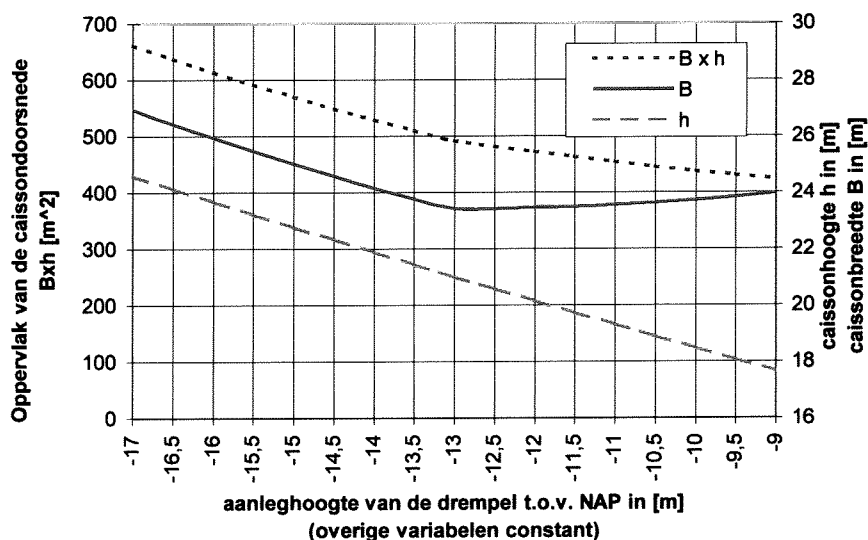
Een goede kennis en interpretatie van de ondergrond ter plaatse van het tracé waarop gebouwd wordt is daarom noodzaak.

In figuur 22 is de invloed van de golfsteilheid s_p op de benodigde caissonbreedte geschetst. In de berekeningen is voor de golfsteilheid $s_p = 3,5\%$ gehanteerd. Bij een storm op de Noordzee hebben de maatgevende golven ongeveer deze steilheid (zie hoofdstuk 3).



Figuur 23: Invloed van de waterdiepte op de benodigde caissonhoogte en -breedte

Uit figuur 23 blijkt dat voor bepaling van de benodigde caissonbreedte het ondiepste gedeelte van het tracé moet worden genomen. Voor bepaling van de caissonhoogte is het diepste deel van het tracé maatgevend. Bij een waterdiepte groter dan 21,5 meter is de drempel zo hoog dat de spreiding van de belasting naar de ondergrond ervoor zorgt dat bezwijken van de ondergrond niet meer maatgevend is. De stortstenen drempel is dan de zwakste schakel in de stabiliteit van de constructie.



Figuur 24: Invloed van de aanleghoogte van de drempel op de benodigde caissonhoogte en -breedte

In figuur 24 is te zien dat de benodigde caissonhoogte niet rechtevenredig toeneemt met een diepere aanleghoogte van de drempel. Dit komt door de invloed van de verhouding d/h (waterdiepte boven bodem / waterdiepte boven drempel) op de transmissiecoëfficiënt K_t . Ook is te zien dat bij een aanleghoogte van de drempel boven NAP -13 m de drempel weer maatgevend is. Bij een nog hogere drempel verandert de benodigde breedte nauwelijks, terwijl de hoogte wel afneemt. De slankheid wordt bij een hogere drempel minder. De redenen om de drempel op NAP -16 m aan te leggen zijn gegeven in hoofdstuk 3. Het caisson is bij die aanlegdiepte vrij slank: $B/h = 1.10$

7.8 Vergelijking van Goda en de lineaire golftheorie

Bij vergelijking van de verschillende uitkomsten voor de horizontale golfdruk tegen het caisson valt op dat de golfdrukken volgens Goda beduidend lager zijn dan de golfdrukken volgens de lineaire golftheorie. De waarden zijn hier nogmaals gegeven:

	Goda:	Lineaire golftheorie:	
Horizontale druk s.w.l.	p1 = 101.80	p_swl = 132.38	[kN/m ²]
Horizontale druk drempel	p3 = 69.54	p_bottom = 85.53	[kN/m ²]
Horizontale druk kruin	p4 = 86.21	p_crest = 101.76	[kN/m ²]

De berekeningen zijn met dezelfde ontwerpgolf uitgevoerd. Bij Goda is de waarde van deze golf tot stand gekomen met een reflectiecoëfficiënt van 1.0 (standaard in de Goda-formule) en een maximale golf van $1.8 \cdot H_s$. Bij de lineaire golftheorie is gerekend met een reflectiecoëfficiënt van 0.8 en een maximale golf die volgt uit de Rayleigh-verdeling, die ongeveer een waarde heeft van $2.0 \cdot H_s$. Hiermee komt de hoogte van de ontwerpgolf in beide theoriën op hetzelfde neer.

In het algemeen resulteren de formules van Goda bij een kleine drempelhoogte ten opzichte van de caissonhoogte in lagere golfdrukken dan die volgens de lineaire golftheorie worden berekend. Bij een hogere drempel gaat de invloed van golfklappen in de formules van Goda een rol spelen. Hierdoor worden bij een hoge drempel ten opzichte van de caissonhoogte met de formules van Goda hogere waarden voor de golfdrukken verkregen dan met de lineaire golftheorie.

In de berekeningen is gekozen voor hantering van de golfdrukken volgens Goda omdat in de ontwerpformules van Goda rekening wordt gehouden met meer golfbrekervariabelen dan in de lineaire golftheorie.

7.9 Conclusie

Bij de gegeven ontwerpcondities krijgen de caissons de volgende afmetingen:

hoogte $h = 23.68$ [m]
 breedte $B = 25.95$ [m]

Voor de vervolgberekeningen worden deze waarden afgerond:

hoogte $h = 23.7$ [m]
 breedte $B = 26.0$ [m]

Het maatgevende faalmechanisme is het bezwijken van de ondergrond. Een verdere studie naar de draagkracht van de ondergrond door middel van bodemonderzoek op het golfbrekertracé en door een nauwkeurige bestudering van de belastingafdracht op en in de ondergrond verdient dan ook aanbeveling. Deze studie wordt hier achterwege gelaten.

In de volgende hoofdstukken wordt ingegaan op de wijze van bouw, transport en plaatsing van de caissons. Ook worden de maatgevende belastinggevallen voor dimensionering van de betonconstructie beschreven.

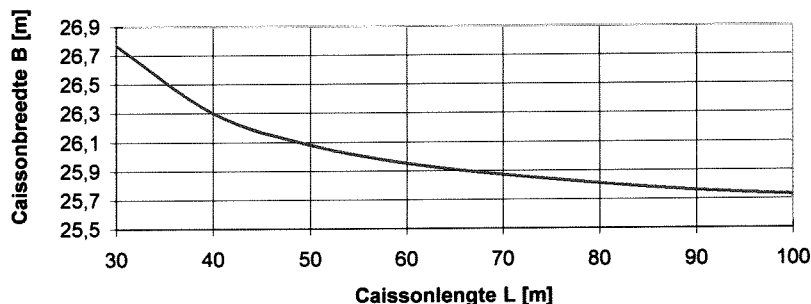
8. De invloed van de lengte van het caisson

8.1 Inleiding

Bij het ontwerp van caissons wordt bij een bepaalde drempelhoogte gestreefd naar een zo klein mogelijke dwarsdoorsnede en een economisch en uitvoeringstechnisch optimale lengte. De hoogte en breedte van het caisson zijn eerder in dit onderzoek bepaald. De factoren die een rol spelen bij bepaling van de optimale lengte komen in dit hoofdstuk aan de orde.

8.2 Invloed van de caissonlengte

Uit figuur 25 blijkt dat de caissonlengte een geringe invloed heeft op de benodigde caissonbreedte (waarden berekend met het programma CAISSON, zie hoofdstuk 7). Deze invloed wordt veroorzaakt door de correctie voor de verhouding B/L die in de funderingsberekeningen wordt toegepast. De invloed van de caissonlengte zal veel groter zijn als rekening wordt gehouden met de eerder besproken kortkammigheid van golven.



Figuur 25: Invloed van de caissonlengte op de benodigde caissonbreedte

Een toenemende caissonlengte heeft de volgende consequenties:

1. Afname van het totale aantal caissons voor de golfbreker. Dit aantal bepaalt voor een belangrijk deel de benodigde bouw- en verplaatsingstijd van de golfbreker en de afmetingen van de bouwplaats.
2. Grotere buigende momenten, torsiemomenten en dwarskrachten in de lengterichting van het caisson door ongelijke belasting over de lengte van het caisson. Deze momenten nemen meer dan evenredig toe met toenemende caissonlengte. De wanden en de vloer van het caisson zullen daardoor zwaarder moeten worden geconstrueerd.
3. Toename van het totale caissongewicht. Deze toename is meer dan rechtevenredig met de caissonlengte omdat naast een langer caisson ook de wanden van dit caisson dikker zijn door de hiervoor genoemde toename van de momenten en dwarskrachten.

8.3 Conclusie

De optimale caissonlengte is naast de hier genoemde factoren ook afhankelijk van de wijze van bouw, transport en plaatsing van de caissons. De verschillende uitvoeringsmethoden worden in de volgende hoofdstukken belicht. Na een keuze voor de wijze van uitvoering en berekening van de maatgevende belastingen op het caisson kan de betonconstructie worden gedimensioneerd en de caissonlengte worden geoptimaliseerd.

9. Bouwlocatie, transport en plaatsing van de caissons

9.1 Inleiding

De keuze voor de manier waarop caissons worden gebouwd, getransporteerd en geplaatst is afhankelijk van een groot aantal factoren. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van deze factoren. Ook wordt een tweetal uitvoeringsmethoden beschreven en vergeleken. Tenslotte wordt een keuze gemaakt voor één van deze methoden.

9.2 Invloedsfactoren op de uitvoering

Bij de keuze voor de wijze van bouwen, transporteren en plaatsen van caissons is een groot aantal factoren van invloed. De belangrijkste factoren zijn:

1. De afmetingen en de totale massa van een caisson; een klein en licht caisson leent zich voor een grotere diversiteit aan plaatsings- en transportmethoden dan een groot en log caisson.
2. De beschikbaarheid van materieel en de mogelijkheden en kosten van het bouwen van speciaal materieel.
3. De ruimte voor het bouwen van de caissons; is er voldoende ruimte beschikbaar voor het bouwen van de caissons van een bepaalde afmeting en is er sprake van een serieproductie of worden alle caissons tegelijk gebouwd.
4. De route die moet worden afgelegd van de bouwplaats naar de locatie waar de caissons moeten worden geplaatst en de beperkingen op dit traject wat betreft de vaardiepte, doorvaarhoogte, en hinderlijke stromen en golven.
5. De omgevingscondities op de plaats van de te bouwen golfbreker; hinderlijke stroming en golven bemoeilijken het plaatsen van de caissons.
6. De beschikbare tijd voor het bouwen én voor het verplaatsen van de golfbreker. De caissonlengte speelt hierbij een belangrijke rol.
7. Ervaring met een bepaalde uitvoeringsmethode en bekwaamheid van het personeel.

Al deze factoren worden bij de afweging van de verschillende uitvoeringsmethoden in beschouwing genomen.

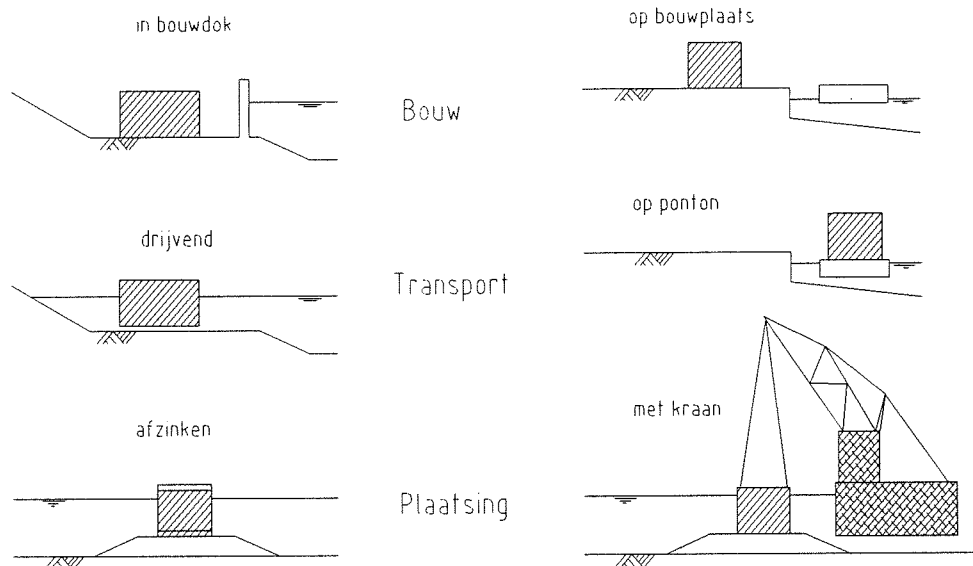
9.3 Drijvende en niet-drijvende caissons

9.3.1 Inleiding

Voor de wijze van transport en plaatsing van caissons wordt onderscheid gemaakt tussen twee fundamenteel verschillende methodes. Bij de ene methode wordt gebruik gemaakt van het drijfvermogen van een caisson, bij de andere niet. In deze paragraaf worden beide methoden en hun voor- en nadelen beschreven.

9.3.2 Drijvende caissons

In West-Europa is veel ervaring opgedaan met het bouwen met drijvende caissons. Deze caissons worden meestal gebouwd in een dok. Wanneer de caissons gereed zijn voor transport wordt het dok vol met water gezet en gaan de caissons drijven. Met sleepboten wordt een caisson vervolgens naar de plaats van bestemming gevaren. Daar wordt met behulp van die sleepboten het caisson op de juiste plaats gemanoeuvreed. Na het openen van enkele schuiven in de wanden loopt het caisson vol water en zakt het op de fundering (zie de schetsen in het linker gedeelte van figuur 26).



Figuur 26: Schematisatie van de uitvoering van drijvende (links) en niet-drijvende caissons (rechts)

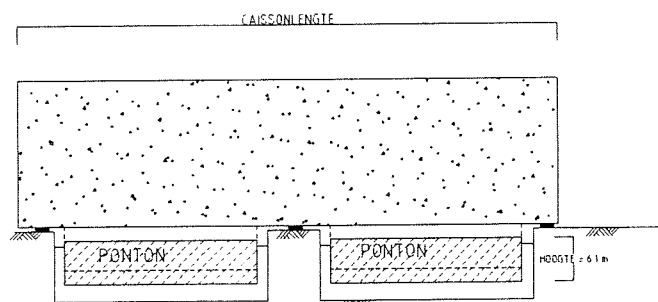
9.3.3 Niet-drijvende caissons

Caissons kunnen ook op grote bakken, pontons genaamd, worden vervoerd. Het caisson drijft dan zelf niet. Met behulp van een groot kraanschip wordt het caisson van het ponton getild en op de drempel geplaatst. Tijdens het plaatsen wordt het caisson geleidelijk gevuld met water door gaten die in de wanden van het caisson zijn uitgespaard. In Japan is dit een veel beproefde methode (zie de schetsen in het rechter gedeelte van figuur 26).

Het plaatsen van het caisson op een ponton kan op de volgende manieren:

1. Bouwen van het caisson direct op het ponton. Hierdoor is geen verplaatsing van bouwplaats naar ponton nodig. Een groot nadeel van deze methode is dat voor één caisson een ponton enkele maanden bezet is.
2. Met een kraan het caisson op een ponton plaatsen. Hiervoor zijn zeer grote kranen op het land nodig. Bij caissons zwaarder dan 2000 ton is deze methode niet aantrekkelijk.
3. Horizontaal schuiven of rollen van het caisson van de bouwplaats op het ponton. De stabiliteit van het ponton bij de overgang van de bouwplaats naar het ponton is een belangrijk punt van aandacht bij deze methode.

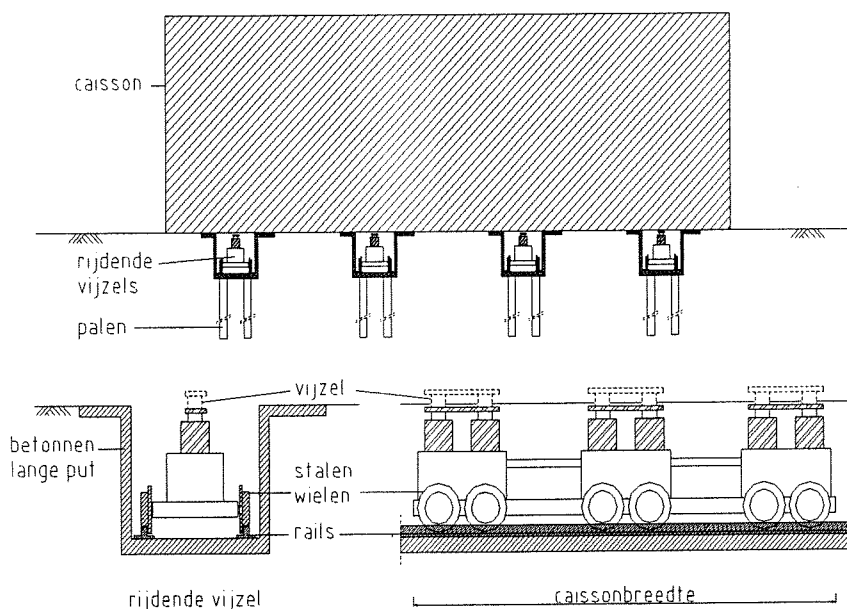
4. Horizontaal verplaatsen van het caisson op de bouwplaats tot boven een sluis, waarin twee pontons liggen. Wanneer het caisson boven de pontons is gepositioneerd kan de sluis worden gevuld waardoor de pontons het caisson optillen (zie figuur 27). Na opening van de sluisdeuren kunnen de pontons naar plaats van bestemming worden gesleept.



Figuur 27: Schematisatie van de plaatsing van een caisson op twee pontons met behulp van sluisen

Voor de horizontale verplaatsing van de caissons zonder kranen moeten de caissons met lieren worden versleept of met vijzels worden geduwd. Hiertoe dienen de caissons te worden gebouwd op iets dat slepen mogelijk maakt, bijvoorbeeld:

- Een wrijvingsarm oppervlak (b.v. met teflon beklede staalprofielen).
- Elementen met wielen die op rails of op een verhard oppervlak kunnen rijden.
- Kelders waarin verrijdbare vijzels onder het caisson worden geplaatst (zie figuur 28). Deze vijzels kunnen ook zelfrijdend worden uitgevoerd.



Figuur 28: Verrijdbare vijzels in lange putten onder de caissons

Het bouwen van lange kelders en van speciale rijdende vijzels is duur bij een beperkt aantal caissons. Ook is er weinig ervaring met deze methode. De wrijvingsarme oppervlakken zijn eerder toegepast bij het plaatsen van grote offshore-constructies op pontons. Onder deze constructies werden houten elementen vastgemaakt die op de teflon glijders een lage wrijvingscoëfficiënt hebben.

9.3.4 Voor- en nadelen van de verschillende uitvoeringsmethoden

Voor- en nadelen van drijvende caissons:

bouwdok en materieel:

1. Het bouwdok moet zo diep zijn dat de caissons naar buiten kunnen worden gevaren. Dit betekent een minimale diepte van ongeveer de helft van de caissonhoogte.
2. Het benodigde materieel voor transport is beperkt tot enkele sleepboten.
3. Het benodigde materieel voor plaatsing is beperkt tot de sleepboten en enkele lieren.

werkbaarheid:

1. Het transport van de caissons is erg afhankelijk van de weersomstandigheden. Golven en stromingen op de vaarroute zijn hinderlijk bij het varen met de caissons.
2. Stroming en golven bemoeilijken de positionering van het caisson. De plaatsing is daardoor ook erg afhankelijk van de weersomstandigheden.
3. Door deze twee aspecten zijn het getijdenster waarbinnen en het aantal dagen waarop gewerkt kan worden beperkt.

Voor niet-drijvende caissons geldt:

bouwplaats en materieel:

1. Een bouwdok is voor deze methode niet nodig. De bouwplaats moet door een dijk of door een hoge ligging beschermd worden tegen hoge waterstanden en golven. De manier waarop de caissons voor transport op de pontons worden geplaatst is belangrijk voor de aanleghoogte van de bouwplaats.
2. Het benodigde materieel voor transport bestaat uit één of meer pontons, enkele sleepboten en een systeem om de caissons op de pontons te plaatsen.
3. Een zwaar kraanschip is nodig voor de plaatsing van de caissons vanaf de pontons op de stortstenen drempel. Een dergelijk schip is erg duur.

werkbaarheid:

1. Het transport van de caissons is minder gevoelig voor de weersomstandigheden dan bij drijvende caissons omdat de zeewaardigheid van pontons veel groter is dan die van caissons. Erg hoge golven en stromingen in het water kunnen het transport hinderen. Het transport is gevoelig voor wind omdat het caisson zich geheel boven water bevindt.
2. De plaatsing is ook minder gevoelig voor de weersomstandigheden. Bij gebruik van een kraan met twee masten wordt de rotatie van het caisson in lengterichting verhinderd waardoor een snelle en nauwkeurige plaatsing mogelijk is.
3. Het getijdenster waarbinnen en het aantal dagen waarop kan worden gewerkt zijn door deze twee aspecten en stuk groter dan bij de uitvoering drijvende caissons.

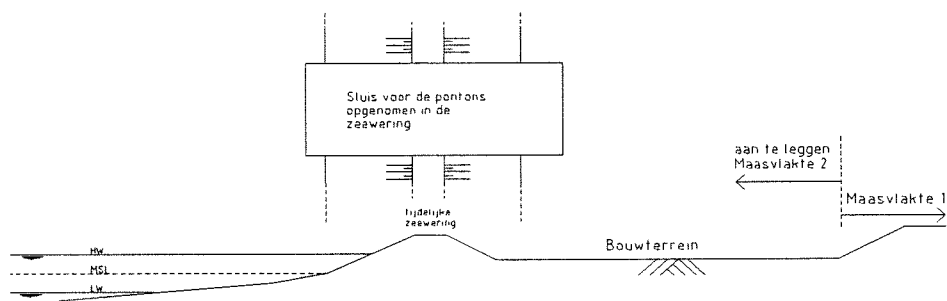
9.4 Bouwlocatie voor de caissons

De benodigde ruimte voor het bouwen van de caissons hangt af van het aantal caissons, de afmetingen van een caisson en het aantal caissons dat tegelijkertijd moet worden gebouwd.

Het verdient aanbeveling om de bouwlocatie zo dicht mogelijk bij de uiteindelijke locatie van de golfbreker te situeren. In de buurt van de Rotterdamse haven of op de huidige Maasvlakte is geen plaats om een dok voor de ruim 100 caissons te bouwen. Ook wanneer besloten wordt tot een serieproductie waarbij aan de lopende band caissons worden gebouwd is de minimaal benodigde ruimte voor bijvoorbeeld 20 caissons niet voorhanden.

De nog te bouwen Maasvlakte 2 biedt wel mogelijkheden. Nieuw terrein zal hiervoor worden opgespoten vanaf de rand van de huidige Maasvlakte. Indien het mogelijk is een deel van dit land te realiseren zonder dat daarvoor een harde zeewering nodig is kan hier een ideale bouwlocatie worden gesitueerd. De caissons worden dicht bij de uiteindelijke bestemming gebouwd en er is een ruime vaarweg zonder obstakels. De scheepvaart zal weinig hinder ondervinden van het transport van de caissons.

Het zand dat wordt gebruikt voor aanleg van de tijdelijke zeewering rond het bouwterrein kan na gereedkoming van de golfbreker worden gebruikt voor de verdere aanleg van het terrein voor Maasvlakte 2. In de zeewering die het bouwterrein beschermt wordt een doorgang gebouwd voor de pontons (zie figuur 29).



Figuur 29: Opspuiten van een tijdelijke bouwplaats aan de rand van de huidige Maasvlakte

9.5 Aanbrengen en verwijderen van de ballast

9.5.1 Aanbrengen van de ballast

Om het caisson voldoende stabiliteit te geven wordt het na plaatsing gevuld met ballast. Hiervoor kunnen allerlei materialen worden gebruikt. Omdat de ballast voor verplaatsing van de golfbreker moet worden verwijderd (zie voorstudie), wordt zand als ballastmateriaal gebruikt.

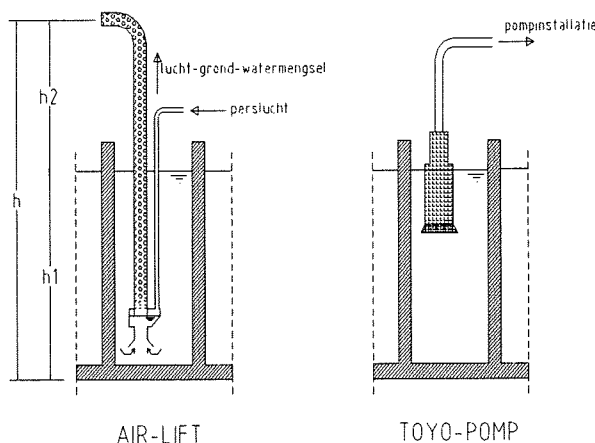
Het benodigde zand kan tegelijkertijd met de zandwinning voor de terreinaanleg worden verkregen waardoor de kosten minimaal zijn. Bij deze grootschalige zandwinning moet wat extra materieel worden ingezet om het zand in de caissons te spuiten.

De hoeveelheid ballast per caisson is ook bepaald met het programma CAISSON. Voor de 7500 meter lange golfbreker in fase I is ruim 500 m³ ballast per strekkende meter nodig. In totaal is dit ongeveer 380.000 m³.

9.5.2 Verwijderen van de ballast

Omdat zand als ballast wordt gebruikt en omdat voor het opspuiten van het terrein voor de volgende fase ook zand nodig is kan het ballastzand aan de landzijde van het caisson worden gedumpt bij het legen van de caisson. Dit zal wel op enige afstand van het caisson moeten gebeuren, omdat anders het caisson wordt ingegraven en het verplaatsen daardoor wordt bemoeilijkt. Het zand kan op twee manieren uit het caisson gehaald worden:

1. Van boven uit het caisson. Om het caisson voor de uitvoering zo licht mogelijk te maken worden de dekplaten geplaatst als het caisson reeds op de drempel staat en gevuld is met ballast. Voor het verwijderen van de ballast worden de dekplaten verwijderd, waarna het caisson wordt leeggezogen. Dit leegzuigen kan met loshangende pompen, bijvoorbeeld TOYO-pompen, of met behulp van een air-lift gebeuren. Bij een air-lift wordt door het inblazen van perslucht onderin de stijgbuis een lucht-water-grondmengsel verkregen met een lager soortelijk gewicht dan water [lit. 9]. Het benodigde water kan worden aangevoerd via gaten onder in de wand van het caisson. Een voordeel is dat de air-lift geen bewegende delen heeft (zie figuur 30 voor schematisatie van beide pompsystemen).



Figuur 30: Schematisatie van de pompsystemen

2. Via gaten onder in de caissonwanden. Onder in de wanden van het caisson worden gaten uitgespaard om tijdens het plaatsen het water gelijktijdig in het caisson te laten stromen. Na de plaatsing van het caisson op de drempel worden deze gaten afgesloten om uitspoelen van de ballast te voorkomen. Voor het verwijderen van de ballast worden de gaten weer geopend, waarna met waterjets de ballast uit het caisson wordt gespoeld. De slechte bereikbaarheid van de middelste cellen is een groot nadeel van deze methode.

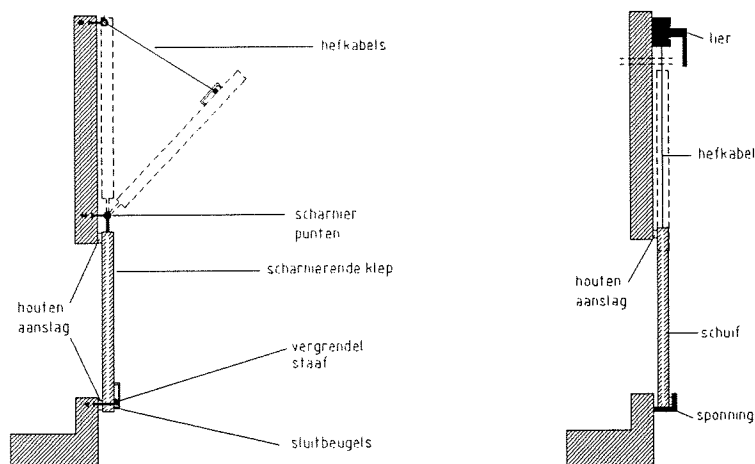
9.6 Verplaatsing van de caissons

Om de caissons na een periode van bijvoorbeeld 10 jaar te kunnen verplaatsen, wordt de ballast verwijderd zoals hiervoor beschreven en worden de caissons opnieuw ter transport gesteld. Drijvende caisson worden dan leeggepompt zodat ze weer gaan drijven. Niet-drijvende caisson worden uit het water getild en op een ponton gezet.

Het leegpompen van de caissons en het vastmaken van de sleepboten zal aanzienlijk meer tijd kosten dan het uit het water tillen van caissons die daarbij vanzelf leeglopen.

9.7 Afsluiten van de gaten in het caisson

De gaten in het caisson kunnen worden gesloten met kleppen of schuiven van staal of beton, die met een lier worden gesloten (zie figuur 31). Het afsluiten van de gaten is nodig omdat anders de ballast uit het caisson spoelt.



Figuur 31: Principeschets van sluitmiddelen voor de gaten onderin de wand van het caisson

Een scharnierende klep is minder bedrijfszeker dan een schuif. De klep moet worden vergrendeld om weerstand te kunnen bieden aan de ballastdruk. Deze vergrendeling is een gevoelig punt in het ontwerp. Een betere oplossing is een schuif die in een sponning zakt. Om vervuiling van de sponning te voorkomen, zal deze bestaan uit slechts een paar stalen beugels.

9.8 Bijzondere aspecten bij de bouw van de golfbreker

9.8.1 Toegang tot de golfbreker

Voor inspectie en onderhoud van de golfbreker en voor toegang van materieel bij het verplaatsen van de caissons moet een mogelijkheid worden gecreëerd om op de golfbreker te komen. Ook is dit misschien wenselijk vanuit recreatief oogpunt (vissers). De volgende mogelijkheden maken deze toegang mogelijk:

- Brug vanaf het land.
- Dam vanaf het land.
- Speciaal ontworpen caisson met een oprijmogelijkheid op een steiger ernaast; vanaf een boot kan onderhoudsmaterieel dan de golfbreker oprijden.

9.8.2 Overslag over de constructie

Op de golfbreker zullen enkele constructies worden geplaatst, waaronder navigatietorens voor de scheepvaart. Deze constructies moeten bestand zijn tegen de overslag over de golfbreker bij een extreme storm. De overslag kan worden berekend met de formule van Franco (zie bijlage C). Het effect van de overslag op die constructies wordt hier buiten beschouwing gelaten.

9.9 Conclusie

Een locatie aan de rand van de huidige Maasvlakte is de enige reële optie voor de bouwplaats voor de caissons. De waterdiepte in het gebied voor de kust is onvoldoende om met drijvende caissons te varen. Het baggeren van een 15 meter diepe vaargeul en het bouwen van een even zo diep bouwdok is risicovol en duur.

Voor de Japanse methode, het bouwen met niet-drijvende caissons, moet kostbaar materieel worden ingezet. De voordelen van de toepassing van deze methode zijn echter:

- Het baggeren van een diep bouwdok is niet nodig;
- Het baggeren van een vaargeul vanaf het bouwdok naar de bestemming is niet nodig;
- Het op te spuiten land dat als bouwterrein wordt gebruikt is al gepland;
- De plaatsingsnauwkeurigheid is groot, waardoor slechts een kleine berm voor het caisson nodig is; dit levert een aanzienlijke besparing van stortsteen op;
- Voor de plaatsing en verplaatsing van de caissons is veel minder tijd nodig;
- Het aantal werkbare dagen waarop en het getijvenster waarbinnen kan worden gewerkt is groter, omdat de uitvoering minder afhankelijk is van de weersomstandigheden.

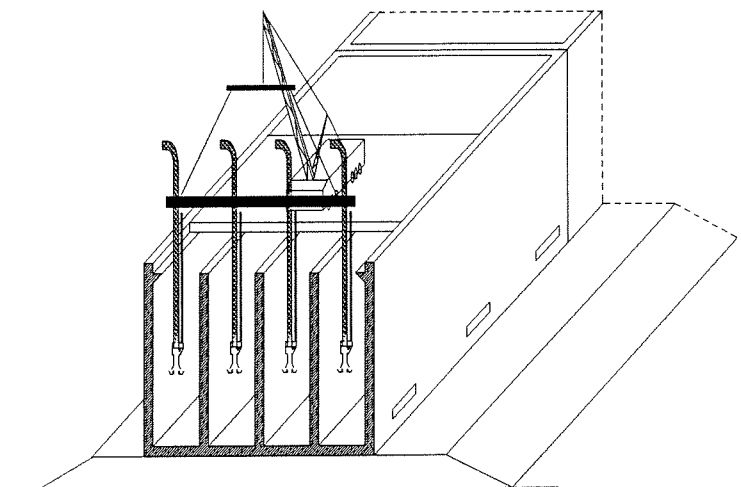
Op basis van de bovenstaande argumenten is de Japanse methode het meest geschikt bevonden in deze situatie.

Het bouwterrein zal worden aangelegd op enkele meters boven NAP. De caissons worden door middel van horizontale vijzels en lieren over de bouwplaats verplaatst en voor transport op een ponton geschoven.

Voor het verwijderen van de ballast kan een systeem met air-lifts gebruikt worden. De air-lift is een relatief eenvoudige en goedkope constructie. Een stellage van een aantal van deze air-lifts, zoveel als er cellen in de breedte van het caisson zijn, kan hangend aan een kraan worden verreden. Na verwijdering van de dekplaat wordt steeds een rij cellen leeggezogen. In de figuur 32 is een prinscheschets van deze oplossing gegeven.

Als sluitmiddel voor de gaten onderin het caisson worden schuiven gehanteerd, die met een lier boven aan de wand van het caisson kunnen worden geopend en gesloten.

Deze schuiven zijn eenvoudiger en bedrijfszekerder dan kleppen.



Figuur 32: Prinscheschets van het leegzuigen van de cellen met een serie air-lifts

In het volgende hoofdstuk wordt het benodigde hefmaterieel voor de hier gekozen bouwmethode besproken. Hierbij komen zowel bestaande hefschepen als nieuw te bouwen schepen aan de orde.

10. Het hef- en transportmaterieel

10.1 Inleiding

Voor het transporteren en plaatsen van de hier beschouwde caissons is erg zwaar materieel nodig. Eén van de weinige bedrijven die beschikt over dergelijk materieel is HeereMac BV. HeereMac is vooral gespecialiseerd in het bouwen van grote offshore constructies zoals olieplatforms. In dit hoofdstuk wordt beschreven in hoeverre het materieel van HeereMac geschikt is voor het transporteren en plaatsen van de caissons en wat de alternatieven zijn. In bijlage K is informatie te vinden over enkele schepen die in dit hoofdstuk aan de orde komen.

10.2 Beschikbaar hefmaterieel

HeereMac beschikt over een aantal zeer grote kraanschepen. Deze schepen zijn in eerste instantie ontworpen om te werken op diep water. De waterdiepte op het gekozen tracé voor de golfbreker is echter beperkt, met een minimale diepte van NAP -17.4 meter.

De maximale hefcapaciteit van de schepen hangt af van de beschikbare diepte. De schepen zijn zo geconstrueerd, dat bij een minimale, vrijwel constante diepgang tot ongeveer de helft van de totale kraancapaciteit kan worden getild. Bij een grotere last gaat het schip over op een ander systeem, waarbij de diepgang in één keer ongeveer wordt verdubbeld.

Uit eerste berekeningen volgt dat vrij korte, licht geconstrueerde caisson bijna 6000 ton wegen. Caisson die 50% langer zijn en iets dikkere wanden hebben wegen al snel het dubbele.

Voor een dergelijke grote heflast is alleen het grootste kraanschip van HeereMac, de “DB102”, geschikt bij de beschikbare diepte. Tot 6000 ton is een waterdiepte van ongeveer 12 meter voldoende voor dit schip. De DB102 heeft een totale hefcapaciteit van 12000 ton. Bij die heflast heeft het schip een diepgang van ruim 30 meter. Twee andere schepen, de “Balder” en de “Hermod”, hebben ook een capaciteit van meer dan 6000 ton. Voor deze schepen is echter bij die last al een diepgang van meer dan 25 meter nodig.

Het inzetten van de DB102 voor het plaatsen van de caisson heeft de volgende nadelen:

- Slechts 50% van de totale hefcapaciteit van het schip kan worden benut;
- De maximale heflast kan door de beperkte waterdiepte niet groter dan 6000 ton zijn; dit betekent dat de caissons maximaal ongeveer 40 meter lang mogen zijn;
- De DB102 kost ongeveer 400.000 gulden per dag.

10.3 Het Near Shore Construction Vessel

Door HeereMac is de afgelopen tijd onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van een nog te bouwen Near Shore Construction Vessel, afgekort de NSCV (zie figuur 33). De redenen voor dit onderzoek zijn:

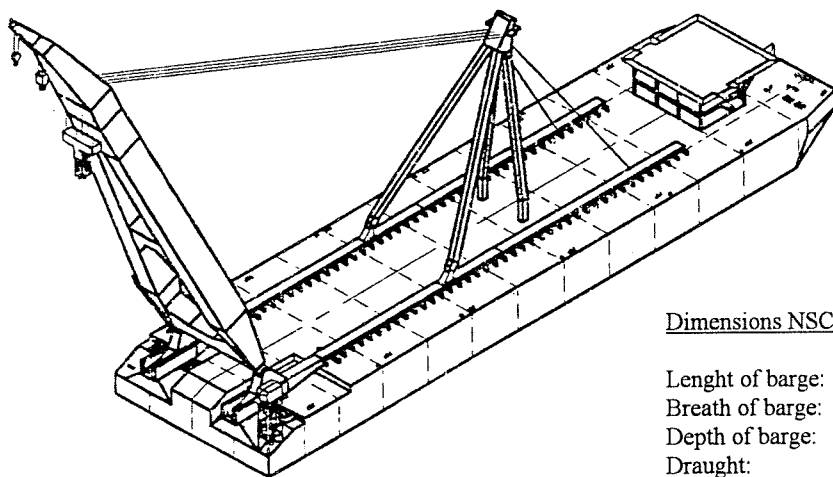
- Er worden regelmatig zware constructiewerken in ondiep water uitgevoerd, zoals het plaatsen van bruggdelen en kleine olieplatforms; hiervoor zijn de bestaande schepen niet geschikt;
- Voor de DB102 is een reserve kraanboom gebouwd, die verder geen enkele functie heeft; deze kraanboom wil HeereMac ergens anders voor inzetten;

- Er zijn relatief goedkope launch barges¹ beschikbaar, waarop deze reservearm kan worden gemonteerd.

De beschikbare kraanboom kan tot 6000 ton tillen. Wanneer deze kraanboom wordt geplaatst op een launch barge van 160 meter lang en 42 meter breed heeft deze combinatie bij die maximale last een diepgang van slechts 4.5 meter. De NSCV kan hierdoor op het hele tracé goed worden gebruikt. Het verder ontwikkelen en bouwen van de NSCV lijkt dus aantrekkelijk. De kosten hiervoor zijn door de beschikbaarheid van de kraanboom en de launch barges betrekkelijk laag.

Het bouwen van twee van dergelijke schepen is nog idealer. Bij dezelfde diepgang is dan een capaciteit van 12.000 ton beschikbaar. Hierdoor kunnen langere caissons worden gebouwd. Ook zijn er dan twee hijspunten beschikbaar, waardoor het nauwkeurig plaatsen van de caissons veel eenvoudiger is. De schepen worden stevig aan elkaar vast gemaakt, eventueel met behulp van een derde barge.

Voor het tweede schip is ook een launch barge voorhanden. Een tweede kraanboom moet echter nieuw worden gebouwd. Hierdoor is de drempel voor de bouw van een tweede NSCV veel hoger. De winst die wordt behaald door de toepasbaarheid van langere caissons en de grotere stabiliteit en snelheid tijdens het plaatsen moeten opwegen tegen de kosten van een tweede NSCV. Door de grote omvang van het project wordt de bouw van een twee NSCV's haalbaar geacht. Deze haalbaarheid wordt later in dit onderzoek getoetst.



Dimensions NSCV:

Lenght of barge:	122 - 160 m
Breath of barge:	36.6 - 42 m
Depth of barge:	8.0 - 10.8 m
Draught:	2.5 - 9.0 m
Main host:	6000 T
Lifting heigh:	72 m

Figuur 33: Near Shore Construction Vessel

10.4 Beschikbaar transportmaterieel

HeereMac beschikt over een groot aantal cargo barges. Dit zijn pontons die gebouwd zijn om grote elementen te transporteren. De ladingcapaciteit van de beschikbare barges varieert van 9.688 tot 22.160 ton.

¹ Een launch barge is een ponton dat voor transport en lancering van grote staalconstructies wordt gebruikt, zoals bijvoorbeeld de onderbouw van een boorplatform. Het ponton wordt hiertoe aan één zijde afgezonken waardoor de constructie van het ponton schuift. Aan de af te zinken zijde is het ponton hierom versterkt. Aan deze zijde kan de kraanboom worden geplaatst.

De caissons kunnen met vijzels op de barges worden geschoven. Hiervoor worden op de werkplaats en op de barge stalen profielen gemonteerd, voorzien van een laag teflon. Aan de onderzijde van het betonnen caisson worden houten stroken ingewerkt. Hierdoor ontstaat een wrijvingsarm schuifvlak met een wrijvingscoëfficiënt van ongeveer 4% (bron: HeereMac). De horizontale vijzels kunnen steeds worden verplaatst. Deze methode vergt behoorlijk wat tijd maar is goedkoop en bedrijfszeker.

10.5 Transport en plaatsing van de caissons

Met sleepboten worden de beladen barges naar plaats van bestemming gesleept. Daar wordt het caisson door het kraanschip opgetild waarna de barge er onder vandaan vaart en het caisson kan worden geplaatst. Deze werkwijze is snel en efficiënt. Meerdere caissons kunnen per dag worden geplaatst of verplaatst.

De plaatsingsnauwkeurigheid van de kraan bedraagt enkele decimeters. Hierdoor is de benodigde bermbreedte van de drempel kleiner dan bij afgezonken caisson, waar de plaatsing veel onnauwkeuriger is.

De snelheid waarmee de hele operatie verloopt is vooral afhankelijk van de ballastcapaciteit van het kraanschip. Om het schip recht in het water te houden (maximaal toegestane hoek met het wateroppervlak is 2 graden (bron: HeereMac)) moet tijdens het tillen van het caisson water in de achterste compartimenten van de barge worden gepompt. De hoeveelheid water die hiervoor nodig is hangt onder andere af van de horizontale afstand van het hijspunt tot de barge.

Voor deze afstand wordt 60% van de caissonbreedte aangehouden¹. Het corrigerend moment dat door het ballastwater moet worden geleverd hangt af van de afmetingen van de barge en de horizontale afstand van het ponton tot de hijslast. Bij een barge van 160 meter lang, een hijsarm van 16 meter en een totale breedte van de achterste compartiment van 20 meter moet 1.37 maal het hijsgewicht aan water worden ingepompt². Bij een hijslast van 6000 ton komt dit neer op ongeveer 8000 m³ zeewater. De capaciteit van één pomp bedraagt ongeveer 1000 m³/uur (278 liter/sec). Het aantal beschikbare pompen is bepalend voor de totale plaatsingsduur van één caisson.

10.6 Conclusie

Als meest geschikt hefmaterieel voor het plaatsen van de caissons worden de twee aan elkaar gemonteerde NSCV's worden gekozen. Bij het dimensioneren van de constructie kan dan een maximaal caissongewicht van 12.000 ton worden gehanteerd. In het volgende hoofdstuk worden de maatgevende belastingsituaties op de betonconstructie beschreven. Daarmee worden de benodigde wand- en vloerdiktes van het caisson berekend.

¹ De helft van de breedte en 10 % speling.

² $1.37 = (\frac{1}{2} \cdot \text{barge-lengte} + \text{hijsarm}) / (\frac{1}{2} \cdot \text{barge-lengte} - \frac{1}{2} \cdot \text{breedte ballasttank}) = (\frac{1}{2} \cdot 160 + 16) / (\frac{1}{2} \cdot 160 - \frac{1}{2} \cdot 20)$

11. Belastingen op de betonconstructie

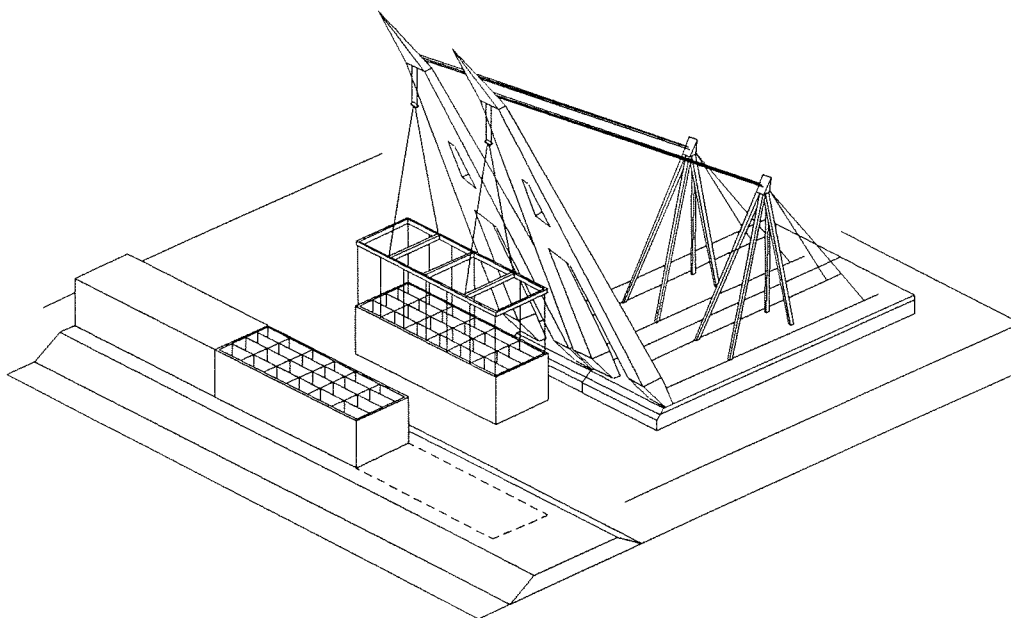
11.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de maatgevende belastingsituaties op het betonnen caisson beschreven. Met deze maatgevende belastingen worden in het volgende hoofdstuk de benodigde diktes van de wanden en de vloer berekend, evenals de meest geschikte lengte van het caisson. Hierbij wordt rekening gehouden met de hefcapaciteit van het gekozen materieel. Om het te heffen gewicht te minimaliseren wordt het caissondek in de vorm van losse platen later op de geplaatste caissons gelegd.

De berekeningen van de in dit hoofdstuk beschouwde belastingsituaties zijn uitgewerkt in bijlage M. Hier zijn alleen de resultaten vermeld.

11.2 Belasting tijdens het tillen van het caisson

Om het caisson met het kraanschip te tillen wordt gebruik gemaakt van een rechthoekig stalen frame dat aan de twee kraanmasten hangt. Aan dit frame worden kabels bevestigd die vastzitten aan hijspunten die in de betonconstructie zijn meegestort. Hierdoor wordt de hijsbelasting gelijkmatig over de constructie verdeeld en worden spanningsconcentraties door het hijsen beperkt. In de schets in figuur 34 is dit toegelicht.



Figuur 34: Principeschets van de plaatsing van caissons met twee NSCV's

De hijspunten worden ingestort in de constructie op plaatsen waar wanden samenkomen. De krachtsafdracht van deze stalen hijspunten wordt verkregen door de hijspunten diep in de wanden te verankeren. De hijspunten vallen later weg in uitsparingen in de dekplaten. De krachtsoverdracht ter plaatse van de hijspunten wordt hier niet verder uitgewerkt.

11.3 Maatgevende belastingssituaties

Voor de bepaling van de minimaal benodigde wand- en vloerdiktes worden de optredende krachten en momenten in verschillende belastingssituaties berekend. De situaties die in de volgende paragrafen worden beschouwd zijn:

1. Caissonwand in de eindfase bij extreem laag water.
2. Caissonwand in de eindfase bij de maximale golfdruk.
3. Caissonwand in de eindfase bij een extreem golfdal.
4. Caissonvloer- en wand in de uitvoeringsfase bij een drijvend caisson.
5. Niet-ondersteund vloerdeel bij ongelijke drempel.
6. Ongelijkmatig ondersteunde vloer (caisson op een bult).
7. Funderingsdruk op een vloerdeel bij extreme horizontale belastingen.
8. Alleen aan de uiteinden ondersteund caisson in de uitvoeringsfase.

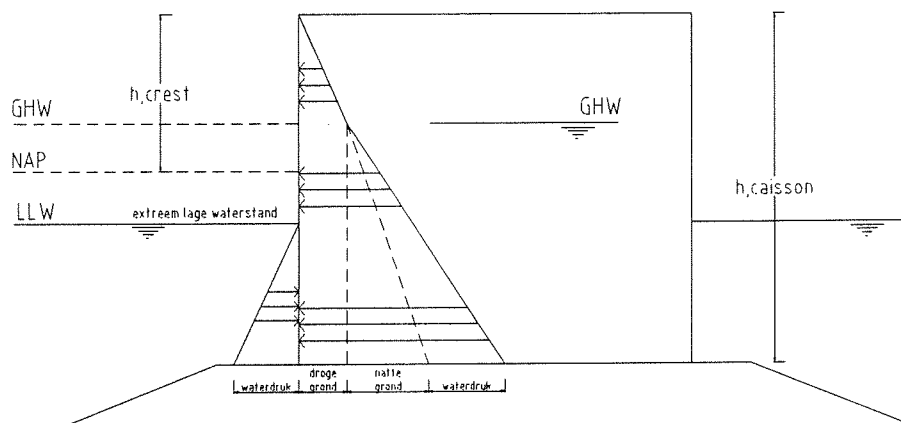
Situatie 4 is opgenomen om te bekijken of de uitvoering met drijvende caissons extra eisen aan de wand- en vloerdiktes zou stellen.

Uit belastingssituatie 1 tot en met 4 volgt de maatgevende belasting op de wanden van het caisson. Uit belastingssituatie 4 tot en met 7 blijkt op welke maximale belasting de caissonvloer dient te worden berekend. Belastingssituatie 8 bepaald welke krachten en momenten het caisson in lengterichting moet kunnen opnemen.

In bijlage M worden de verschillende belastinggevallen rekenkundig uitgewerkt en wordt uiteengezet hoe de maatgevende belastingen worden vertaald naar belastingen die passen in de mechanica-schematisatie van de wand- en vloerdelen. Deze mechanica-schematisaties worden beschreven in bijlage N.

11.4 Caissonwand in de eindfase bij extreem laag water

In deze paragraaf wordt de belasting van de caissonwand bij laag water geschematiseerd. Deze wand wordt bij extreem laag water met een frequentie van voorkomen van 1x per 1000 jaar belast door de hydrostatische waterdruk tegen de buitenzijde van de wand en de grondruk en waterdruk tegen de binnenzijde van de wand, zoals in figuur 35 is geschetst.

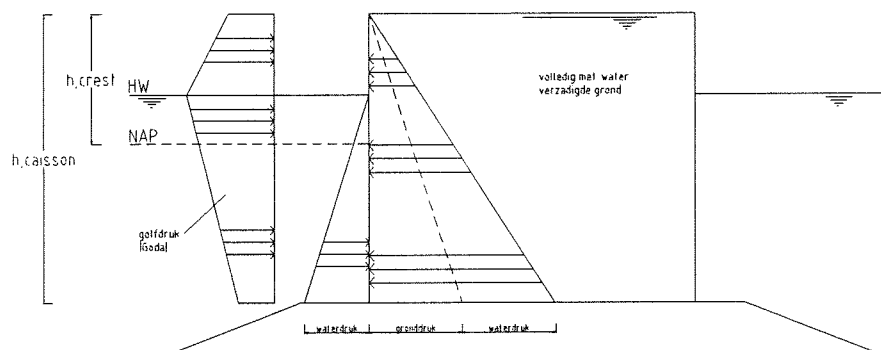


Figuur 35: Schematisatie van de belasting op de wand bij extreem laag water

De waterstand in het caisson wordt in deze situatie aangenomen op gemiddeld hoogwaterniveau. Boven deze waterstand wordt het ballastzand onverzadigd verondersteld. In bijlage M is de resulterende belasting op de wand geschetst en berekend.

11.5 Caissonwand in de eindfase bij de maximale golfdruk

De quasi-statische golfdrukken die als gevolg van de ontwerpgolf volgens Goda op de verticale wand werken zijn reeds bepaald. Aangenomen wordt dat onder stormcondities het caisson geheel gevuld is met volledig met water verzadigde grond. De grond geeft tegendruk aan de golfdruk op de wand. Door de cyclische golfbelasting wordt verondersteld dat de weerstand van de grond niet optimaal is. Voor bepaling van de horizontale korrelspanning is daarom $K_{\text{passief}} = 1.0$ gesteld. Verder werkt op de wand de hydrostatische waterdruk aan de buitenzijde. Deze belasting situatie is geschematiseerd in figuur 36.

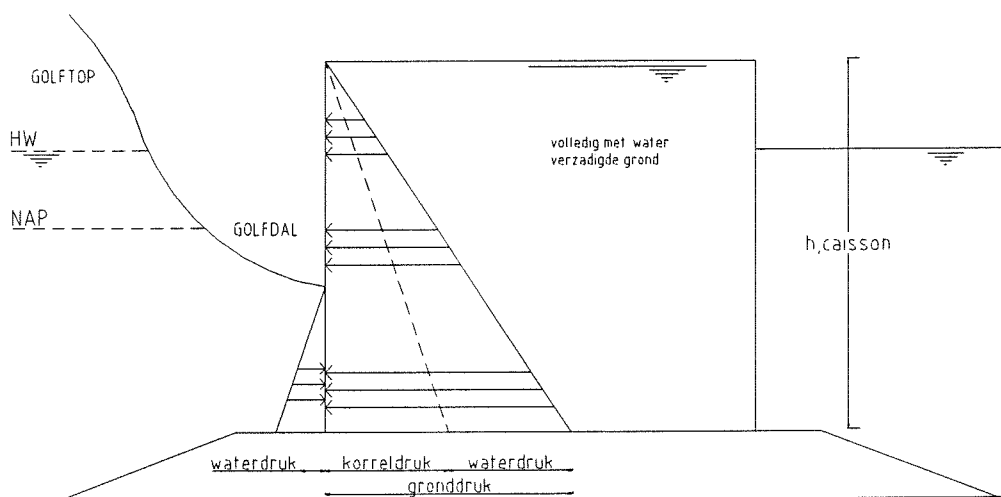


Figuur 36: Schematisatie van de horizontale belasting op de caissonwand door de ontwerpgolf

In bijlage M is de resulterende belasting op de wand geschets en berekend.

11.6 Caissonwand in de eindfase bij een extreem golfdal

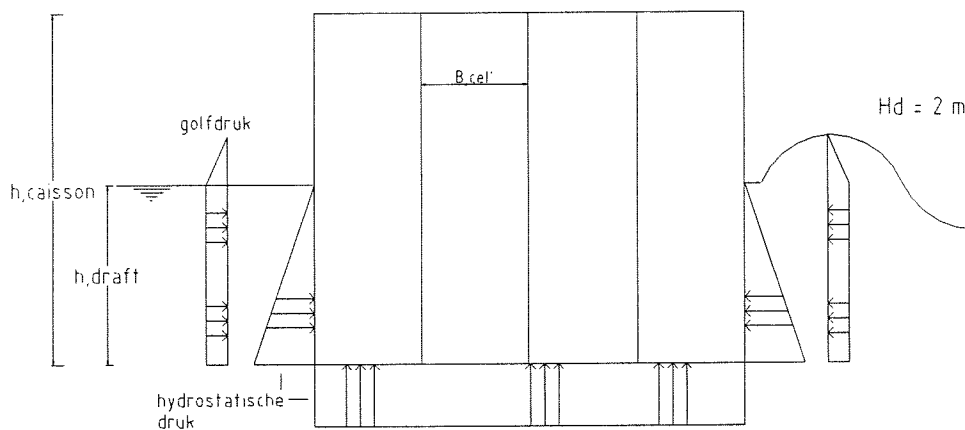
Een soortgelijke situatie als in het eerste geval doet zich voor wanneer zich in een extreme storm een golfdal voor de constructie bevindt en het caisson geheel met verzadigd zand is gevuld. De hoek van inwendige wrijving van het ballastzand wordt op 30° geschat. Deze veilige waarde resulteert in een horizontale grondspanningsfactor $K_{\text{actief}} = \frac{1}{3}$ (zie bijlage L). Verder wordt met dezelfde ontwerpgolf en bijbehorende hoogwaterstand gerekend als bij de berekening van de hoofdafmetingen van het caisson.



Figuur 37: Schematisatie van de belasting op de wand bij een extreem golfdal

11.7 Caissonvloer- en wand bij een drijvend caisson

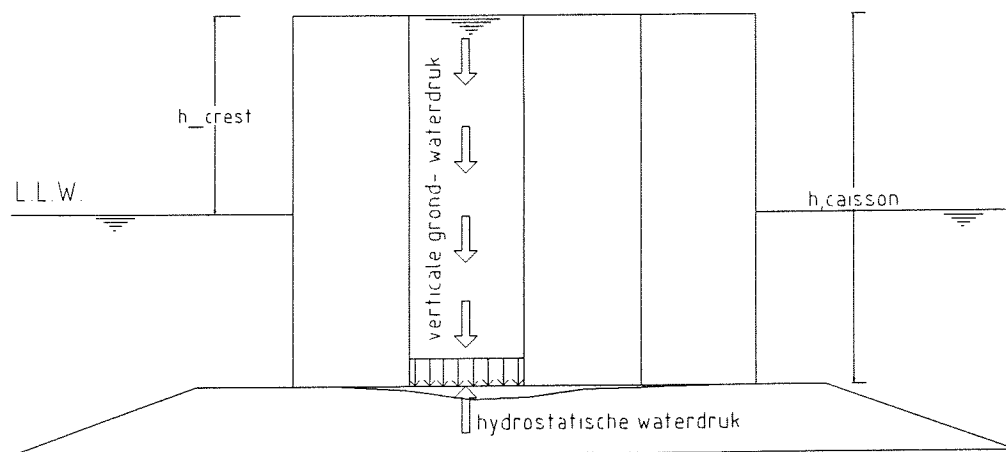
Om een vergelijking te kunnen maken met caissons die drijvend worden getransporteerd wordt bekeken wat de belasting door de hydrostatische waterdruk is op de wanden en de vloer van het caisson tijdens dit drijvend transport. Hierbij wordt op een vloerelement de hydrostatische belasting bij een stabiele diepgang berekend. Voor een wanddeel wordt hierbij een golfdruk opgeteld. Ter vereenvoudiging is deze golfdruk hydrostatisch verondersteld. Als maximale golf tijdens het transport is een golf met $H = 2$ meter gekozen. De schematisatie van deze belasting is geschetst in figuur 38.



Figuur 38: Schematisatie van de hydrostatische belasting op het caisson tijdens drijvend transport

11.8 Niet-ondersteund vloerdeel bij ongelijke drempel

In deze paragraaf wordt de situatie beschouwd waarin een vloerdeel door een grove afwijking in de vlakheid van de drempel geheel niet wordt ondersteund. Deze afwijking kan ontstaan door onnauwkeurigheden tijdens het storten van de stortstenen fundering of door ongelijkmatige zettingen van de ondergrond na het storten en afwerken van de drempel. Het vloerdeel wordt geschematiseerd als een vierzijdig ingeklemde plaat met lengte B_{cel}' en breedte L_{cel}' . De plaat wordt belast door het eigen gewicht en door de de volledig met water verzadigde ballast in het caisson. Onder tegen het vloerdeel werkt de hydrostatische druk van het zeewater bij extreem laag water. Deze schematisatie levert een bovengrens voor de belasting op een niet ondersteund vloerdeel (zie figuur 39).

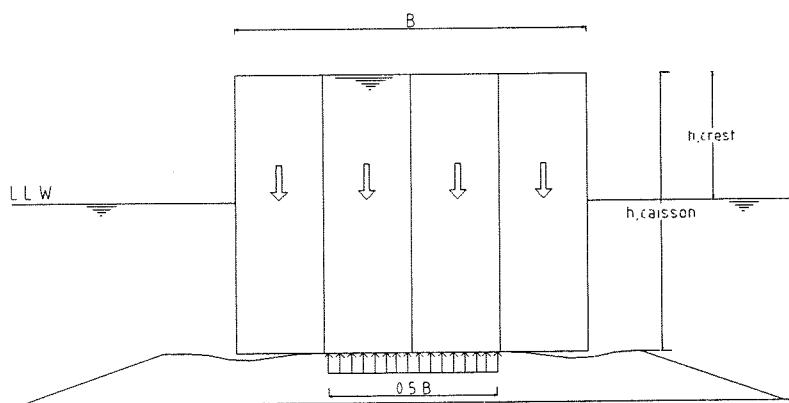


Figuur 39: Belastingen op een niet ondersteund vloerdeel

Het is mogelijk dat de werkelijke belasting van de ballast op het vloerdeel lager is vanwege het 'silo-effect' van de grondkolom boven het vloerdeel. Hierdoor is niet het hele grondgewicht actief, omdat een deel van de belasting via wandwrijving wordt afgedragen. Dit effect wordt hier niet in rekening gebracht.

11.9 Ongelijkmatig ondersteunde vloer

Bij een zware storm wordt een caisson steeds belast door achtereenvolgens een golftop en een golfdal. Hierdoor ontstaan hoge spanningen onder de tenen aan zowel de voorkant als de achterkant van het caisson. Het is mogelijk dat het caisson dan gaat roteren om de lengte-as. Dit verschijnsel wordt 'rocking' genoemd. De drempel zal hierdoor enigszins bol worden, waardoor het caisson niet meer gelijkmatig wordt ondersteund (zie figuur 40). Hier wordt aangenomen dat de helft van de caissonbreedte in die situatie volledig wordt ondersteund en de andere helft geheel niet.

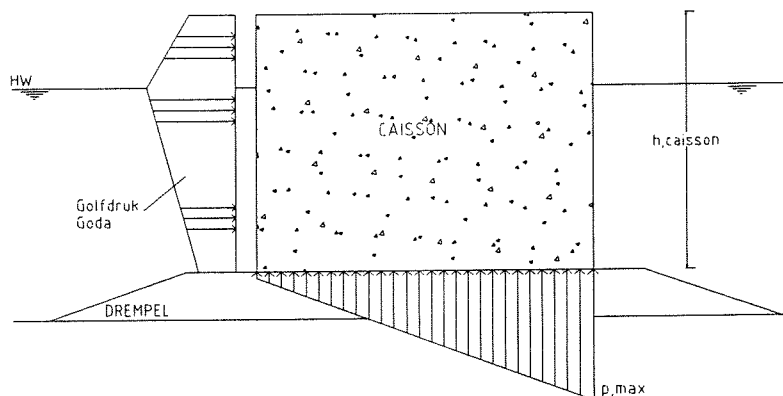


Figuur 40: Schematisatie van onvolledige ondersteuning van het caisson

De maximale funderingsdruk is in deze situatie gelijk aan twee maal de funderingsdruk bij een gelijkmatig verdeelde ondersteuning (zie bijlage M voor een rekenkundige uitwerking).

11.10 Funderingsdruk op de vloer bij extreme horizontale belastingen

Uit de berekeningen met het programma CAISSON blijkt dat de theoretisch maximale druk onder de teen van het caisson oploopt tot $503 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ (figuur 41). Voor de maximale druk op het aangrenzende vloerdeel wordt gerekend de maximale funderingsdruk van $377 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ belasting die werkt over de meewerkende breedte B_e , zoals bepaald in hoofdstuk 6.



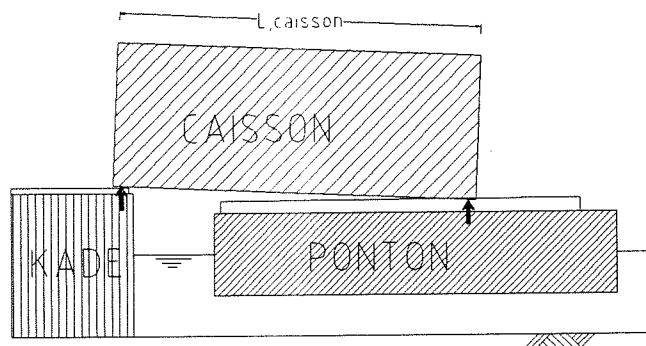
Figuur 41: Funderingsdruk bij extreme golfbelasting

11.11 Sterkte in de lengterichting van het caisson

Indien het caisson in de eindsituatie of tijdens de uitvoering in lengterichting niet gelijkmatig wordt ondersteund moet de dwarsdoorsnede van het caisson in staat zijn de buigende momenten en dwarskrachten in lengterichting op te nemen.

Wanneer de drempel in lengterichting niet geheel vlak is kunnen piekspanningen in het funderingsvlak ontstaan. Verondersteld wordt dat de drempel en de ondergrond dermate flexibel zijn dat de drempel ter plaatse van de piekspanningen vanzelf wordt gecorrigeerd en er een vrijwel gelijkmatige funderingsbelasting in lengterichting ontstaat.

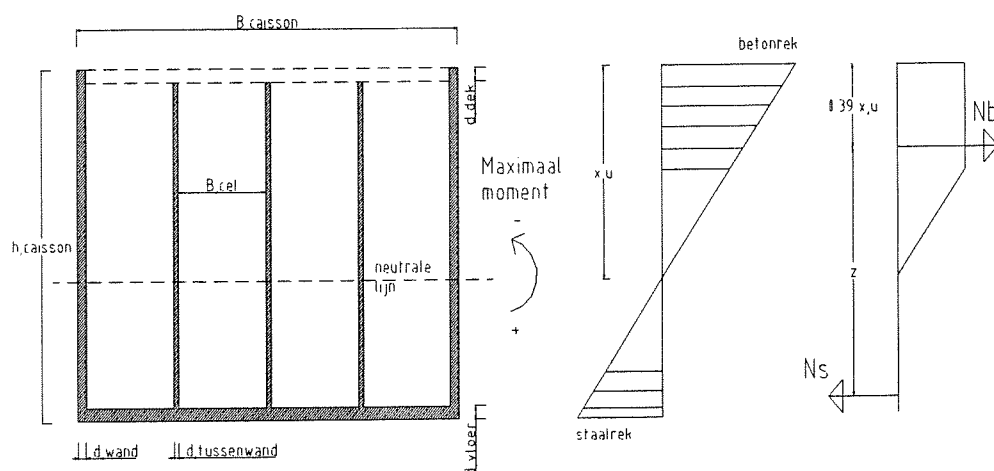
Indien caissons op een erg harde bodem (bijvoorbeeld rots) worden geplaatst dient wel rekening te worden gehouden met grote krachten en momenten in de lengterichting van het caisson bij onregelmatigheden in het funderingsvlak.



Figuur 42: Principeschets van de maximale belasting in lengterichting

De maatgevende krachten en momenten in de doorsnede van de hier beschouwde caissons treden op wanneer het lege caisson alleen aan de uiteinden wordt ondersteund. Deze situatie kan bijvoorbeeld ontstaan wanneer het caisson vanaf de bouwplaats op het ponton wordt geschoven (zie figuur 42);

De beschouwde doorsnede en de hierin optredende spanningen en rekken zijn in figuur 43 geschetst.



Figuur 43: Schematisatie van de te berekenen dwarsdoorsnede en van het rek- en spanningsverloop

11.12 Mechanica-schematisatie

Alle wand- en vloerdelen worden geschematiseerd als drie- of vierzijdig ingeklemde platen. Voor dergelijke platen zijn bij een gelijkmatig verdeelde belasting standaard formules bekend voor het berekenen van de momenten en dwarskrachten in de plaat (zie bijlage N).

De maatgevende belasting op de wand heeft echter ongeveer de vorm van een driehoek, met onder aan de wand een grote belasting en boven aan de wand een belasting vrijwel gelijk aan nul. De standaard formules voor plaatberekeningen kunnen worden gebruikt als duidelijk is welke belasting als verdeelde belasting in de formules moet worden ingevoerd, opdat hieruit dezelfde maximale momenten en dwarskrachten volgen als in werkelijkheid bij de driehoeksbelasting.

De belasting die in de standaard formules voor plaatberekeningen moet worden ingevoerd hangt af van de verhouding tussen de lengte en de breedte van de plaat. Bij een oneindig lange plaat zal met de maximale belasting als verdeelde belasting op de plaat moeten worden gerekend. Bij een vierkante plaat levert een berekening met een verdeelde belasting gelijk aan 55% van de maximale belasting de juiste maximale momenten en dwarskrachten in de plaat op. Deze schematisatie wordt toegelicht in bijlage N.

11.13 Conclusie

Voor de zijwanden van het caisson geldt:

Het maatgevende belastinggeval voor de zijwanden is de situatie bij een extreem golfdal aan de buitenkant van de wand en een maximale druk van binnenuit het caisson. De belasting onderaan de wand is berekend op 210.7 [kN/m²]. Deze waarde mag nog worden gecorrigeerd voor de dikte van de dekplaat en de vloer omdat de belasting over de volle caissonhoogte is berekend. Na deze correctie (uitgevoerd in bijlage M) volgt:

$$q_{\max, \text{zijwand}} = 202.7 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

In bijlage N wordt beschreven hoe deze belastingen tot een gelijkmatig verdeelde belasting worden geschematiseerd. Een reductie van 5% blijkt te mogen worden toegepast op de maximale waarde om tot equivalente uniforme belasting te komen. De uniforme rekenbelasting wordt vervolgens gevonden door een belastingsfactor van 1.5 toe te passen:

$$q_{d, \text{zijwand}} = 0.95 \cdot 1.5 \cdot q_{\max, \text{zijwand}} = 288.8 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Voor de kopwanden van het caisson geldt:

Omdat de caissons met de kopwanden dicht tegen elkaar aan staan zal de golfbeweging niet geheel doordringen langs de kopwand. Daarom wordt aangenomen dat de maximale waterstandsaling tegen de kopwand de helft van de amplitude van het maximale golfdal bedraagt. De in deze situatie berekende belasting wordt op dezelfde wijze gecorrigeerd als de belasting voor de zijwand. Dit resulteert in de volgende ontwerpbelasting:

$$q_{d, \text{kopwand}} = 218.4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Voor de caissonvloer geldt:

Het maatgevende belastinggeval voor de vloer doet zich voor wanneer het caisson op een bolle drempel staat waardoor het funderingsdraagvlak is gehalveerd. De situatie waarbij een vloerdeel geheel niet is ondersteund resulteert in een bijna even grote belasting op het beschouwde vloerdeel, maar dan in neerwaartse richting. Voor de belasting op de vloer wordt eveneens een belastingsfactor van 1.5 gerekend. Hieruit volgt:

$$q_{d, \text{vloer}} = 1.5 \cdot q_{\max, \text{vloer}} = 1.5 \cdot 347 = 521 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

12. Uitvoeringsaspecten van de betonconstructie

12.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden enkele uitvoeringsaspecten belicht die van belang zijn bij de uitvoering van een grootschalig betonbouwproject. Met name de soort bekisting en capaciteit van betonproductie zijn hierbij belangrijke factoren. Voor achtergrondinformatie bij dit hoofdstuk wordt verwezen naar Uitvoeringstechnologie van Betonconstructies [lit.11].

12.2 De betonproductie

Voor de bouw van caissons voor een golfbreker met een lengte van 7500 meter is ongeveer 400 tot 550 duizend m³ beton nodig. Bij dergelijke grote hoeveelheden loont het de moeite om één of meerdere betoncentrales te bouwen op of dicht bij het bouwterrein. Een standaard betoncentrale heeft een produktie van ongeveer 40 m³ per uur. Wanneer wordt gewerkt met twee ploegdiensten per dag gedurende 5 dagen per week kan ruim 3000 m³ beton per centrale per week worden geproduceerd. Met één centrale duren de betonwerkzaamheden ruim 2½ jaar. Aangenomen wordt dat het rendabel is om een tweede betoncentrale te bouwen en daarmee de bouwtijd van de betonconstructies terug te brengen tot ruim één jaar, afhankelijk van de exacte benodigde hoeveelheid beton, de werkvloerbezetting en de bedrijfszekerheid van de centrales.

Bij de berekeningen wordt uitgegaan van betonklasse B35. Voor de wapening wordt gebruik gemaakt van wapeningsstaven met een grote diameter en staalkwaliteit FeB500. De wapeningskorven voor de caissons kunnen voor het grootste deel worden geprefabriceerd vanwege het grote repetitie-effect waardoor de kosten hiervoor relatief laag zijn.

Voor de kostenoptimalisatie wordt gerekend met een eenheidsprijs van fl. 350,- voor een m³ gewapend beton. Dit bedrag is globaal als volgt opgebouwd:

1 m ³ beton	100,-
afschrijving en onderhoud betoncentrale	50,-
transport, pompen en verdichten	50,-
betonstaal (100 kg/m ³)	75,-
verwerken betonstaal	75,-
totaal	350,-

Voor alternatieve berekeningen met betonklasse B45 wordt een toeslag van fl 20,- per m³ beton berekend. Bij de schatting van het wapeningsaandeel in de betonpijs is uitgegaan van betonnen platen waarbij aan beide zijden de minimale hoeveelheid wapening in twee richtingen ligt en waarbij aan één zijde in één richting een hoofdwapening van 0.75 % ligt. Indien de constructie volledig wordt voorgespannen wordt aangenomen dat alleen de minimale hoeveelheid wapening in de doorsnede ligt. De hoeveelheid wapeningsstaal is dan twee maal zo klein. Voor een m³ gewapend beton wordt in die situatie fl 300,- gerekend.

12.3 Bekisting

Door de vele typen bekisting is de prijs per m² bekisting sterk aan variatie onderhevig. Naast de eenvoudige houten bekistingen bestaan er hoogwaardige bekistingselementen van staal en multiplex die eenvoudig kunnen worden gemonteerd en gesteld.

Wanneer een groot aantal malen dezelfde constructie moet worden gebouwd is het interessanter om een zogenaamde fabriekskist te bouwen. De prijs per m² bekisting ligt voor een dergelijke kist erg hoog. Dit wordt echter gecompenseerd door het grote aantal malen dat de bekisting kan worden gebruikt en door het lage aantal arbeidsuren per m² voor bekisten en ontkisten van de constructie. Bij een hoge repetitiefactor (n) worden de hoge materiaalkosten ofwel investering (I) gecompenseerd door de lage loonkosten (mu).

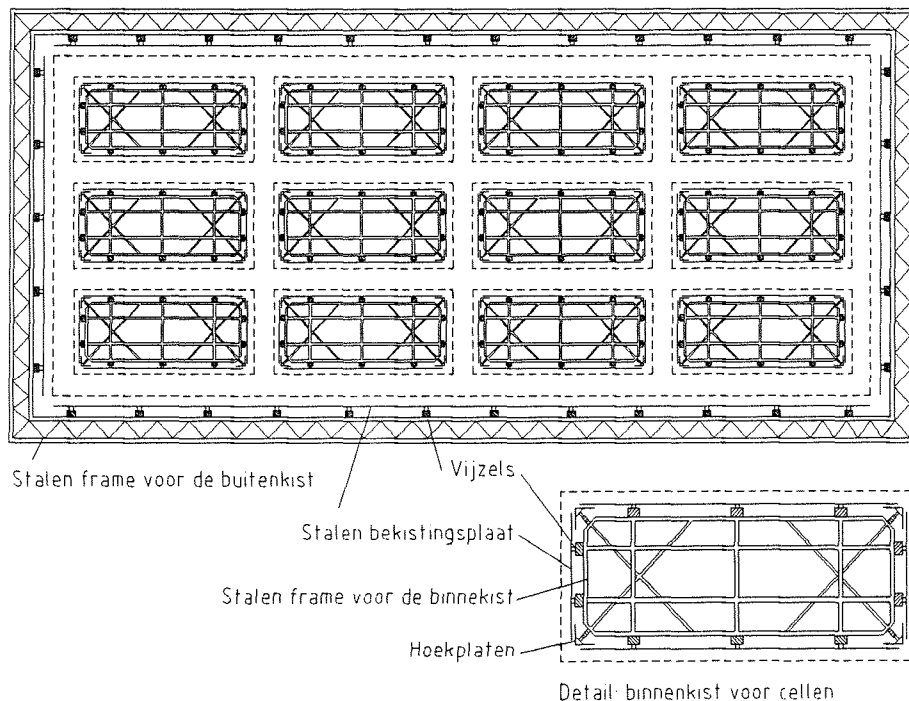
In formulevorm:

$$K = \frac{I}{n} + \mu u$$

K = kosten per m² bekisting

Omdat het hier gaat om meer dan 100 caissons loont het om een slijtvaste stalen bekistingssysteem te bouwen dat eenvoudig kan worden gesteld, schoongemaakt en verplaatst.

Voor het bouwen van de caissons is een trekbekisting de meest geschikte oplossing voor het verplaatsen van de bekistingsconstructie. De bekisting bestaat hierbij uit een groot rechthoekig stalen frame dat om het caisson heen past en een aantal kleinere rechthoekige stalen frames met de afmetingen van één cel in het caisson (zie figuur 44). Aan deze frames zijn stalen bekistingsplaten gemonteerd die met behulp van kleine vijzels kunnen worden gesteld. Bij het grote frame bevinden deze platen zich aan de binnenzijde en bij de kleine frames aan de buitenzijde.



Figuur 44: Schematisatie van de bekistingsconstructie (horizontale doorsnede)

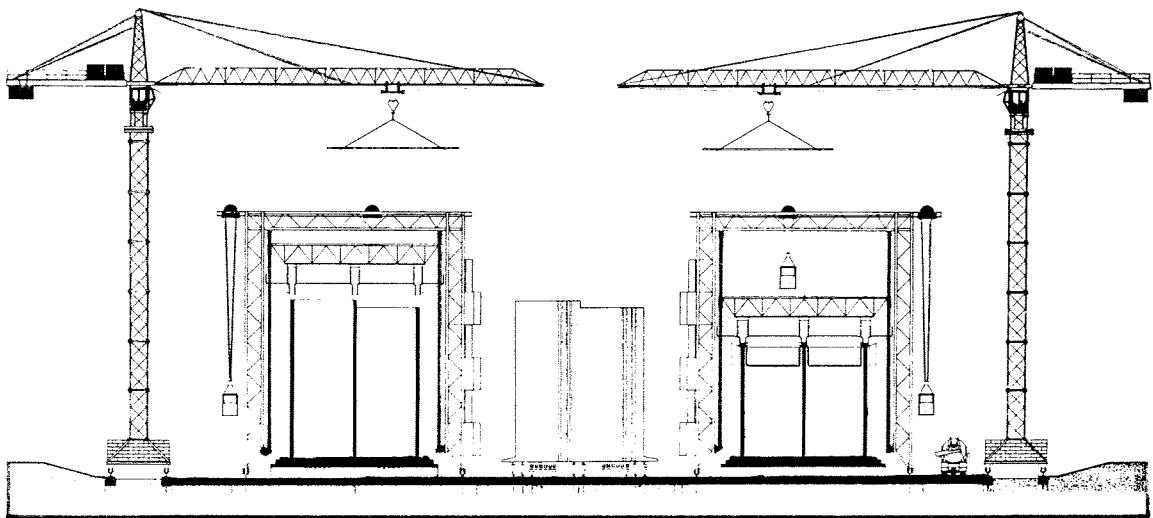
Dit systeem heeft een hoogte bijvoorbeeld 5 meter en hangt aan een grote installatie die over het te storten caisson heen kan rijden (zie figuur 45). Bij aanvang van het storten wordt de bekisting op de reeds gestorte vloer geplaatst en worden de bekistingsplaten gesteld. Per dag wordt een wandhoogte gelijk aan de bekistingshoogte gestort. Aan het begin van de volgende dag worden de bekistingsplaten ontgrendeld en wordt de bekistingsconstructie aan

de stellage over een afstand die iets kleiner is dan de bekistingshoogte omhoog getrokken. Op deze wijze is het mogelijk om in één week tijd een caisson te storten.

Om economische redenen kan indien gewenst de bouwtijd worden verkort door het inzetten van meer dan één bekistingsconstructie. Het aantal malen dat de bekisting wordt ingezet neemt daardoor af, waardoor de kosten per m^2 toenemen. De voordelen van een kortere bouwtijd moeten deze toename compenseren. Een economische optimalisatie van dit probleem wordt hier achterwege gelaten. Gekozen wordt voor het gebruik van twee bekistingsconstructies. Uitgaande van ruim 100 caissons en een bezetting van één week per caisson bedraagt de totale tijdsduur van het storten van alle caissons ruim één jaar. Dit komt overeen met de gekozen capaciteit van de betonproductie op de bouwplaats.

De investeringskosten van een dergelijke bekistingsconstructie worden geschat op fl. 1000,- per m^2 bekistingsoppervlak. Voor de hoogte van de trekbekisting wordt $\frac{1}{5}$ van de caissonhoogte aangehouden. Dit resulteert in een aanschafprijs voor de bekistingsconstructie van fl 200,- per m^2 betonoppervlak.

Het aantal arbeidsuren, nodig voor het plaatsen, verplaatsen, stellen en schoonmaken van de bekisting wordt geraamd op 0.3 uur per m^2 bekistingsoppervlak. De kosten voor arbeid worden geschat op fl 60,- per uur. Indien de bekisting wordt gebruikt voor bijvoorbeeld 75 caissons komen de investeringskosten van de bekisting op nog geen 3 gulden per m^2 te bekisten oppervlak. De arbeidskosten vormen het grootste deel van bekistingskosten, namelijk 18 gulden per m^2 (voor achtergronden zie [lit.11]).



Figuur 45: Principeschets van een trekbekisting (bron: HBG, de geschiedenis van de caissonbouw)

De trekbekisting wordt uiteraard alleen gebruikt voor het storten van de verticale wanden. De vloer wordt gestort met een eenvoudige bekisting rondom. Het instorten van de hardhouten planken voor de horizontale verplaatsing van de caissons over de bouwplaats mag hierbij niet worden vergeten.

Na het harden van de vloer wordt de wapening voor de verticale wanden aangebracht. Deze wapening bestaat uit grote elders gefabriceerde korven die ter plaatse aan elkaar en aan de vloer worden gekoppeld.

13. Dimensionering van de betonconstructie met het programma BETON

13.1 Inleiding

In het hoofdstuk 11 is beschreven hoe groot de maximale belasting op de wanden en de vloer van het caisson is en welke krachten en momenten het caisson in lengterichting moet kunnen opnemen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de dikte van de zijwanden, de kopwanden en de vloer wordt berekend bij een variërende cellengte en een variërend aantal cellen in lengte- en breedterichting van het caisson.

Met behulp van een hiervoor geschreven computerprogramma, getiteld "BETON", worden deze betonafmetingen geoptimaliseerd door berekening van de minimale kosten per strekkende meter caisson voor een groot aantal combinaties van de cellengte en het aantal cellen in lengte- en breedterichting. Bij bepaling van deze kosten wordt rekening gehouden met de volgende posten:

- de kosten van de totale hoeveelheid gewapend beton;
- de kosten van de voorspankabels;
- de kosten van het totale bekistingsoppervlak;
- de kosten van het ballasten van het caisson;
- de kosten van het plaatsen van één caisson.

13.2 Voorspannen van de constructie

Met de in hoofdstuk 11 bepaalde belastingen kunnen bij een gegeven cellengte en -breedte de maximale momenten en dwarskrachten in de wanden en de vloer worden berekend. De dwarskrachten in de constructie blijken in grote mate bepalend te zijn voor de benodigde dikte van de wanden en de vloer. Om deze plaatdelen voldoende dwarskrachtcapaciteit te geven zijn verschillende oplossingen mogelijk.

Bij een vlakke plaat is een grote plaatdikte nodig. Aanpassing van de vorm van de plaat, door toepassing van consoles of een gebogen plaat, geven een aanzienlijke toename van de dwarskrachtcapaciteit. Ook wordt deze capaciteit sterk verhoogd indien dwarskrachtwapening in de plaat wordt toegepast of indien de constructie wordt voorgespannen.

Toepassing van dwarskrachtwapening in platen is prijzig omdat het aanbrengen ervan zeer arbeidsintensief is. Aanpassing van de betonvorm brengt een gecompliceerde bekisting met zich mee. Voorspannen is ook duur, maar zeer effectief. Deze voorspanning is ook nuttig voor beperking van de scheurvorming, hetgeen in zout water essentieel is.

Uit eerste ontwerpberekeningen blijkt dat dimensionering op dwarskracht ook bij toepassing van consoles tot grote betondiktes leidt. Het beperken van de scheurwijdte bij extreme plaatmomenten maakt toepassing van een grote dekking op de wapening noodzakelijk.

Ondanks de hoge kosten die gepaard gaan met aanbrengen van voorspanning in een constructie wordt aangenomen dat construeren met voorgespannen beton in deze situatie de goedkoopste en beste oplossing is.

13.3 Aannamen voor de betonberekening

Voor berekening van de zijwand, de kopwand en de vloer zijn de volgende aannamen gedaan:

- De minimale plaatdikte is als volgt bepaald:
 - aan beide zijde een dekking van 60 mm = 120 mm
 - aan beide zijde wapening $\varnothing 25$ in twee richtingen = 100 mm
 - ruimte voor de voorspankabels $\varnothing 78$ = 80 mm
 - ruimte voor storkoker en trilnaald = 100 mm
 - totale minimale plaatdikte = 400 mm
- De zijwand en kopwand worden geschematiseerd als driezijdig ingeklemde platen met een lengte gelijk aan de gereduceerde caissonhoogte;
- De vloerdelen worden geschematiseerd als vierzijdig ingeklemde platen met een lengte en breedte gelijk aan de inwendige lengte en breedte van de cellen;
- De voorspanning in de platen wordt zodanig gedimensioneerd dat de volledige doorsnede in elke belastingsituatie onder druk staat. Scheurvorming van de plaat wordt hiermee voorkomen.
- Een minimale plaatdikte met maximale voorspanning binnen de toelaatbare grenzen wordt verondersteld economisch optimaal te zijn.
- De vloer wordt in lengte- en breedterichting voorgespannen. Deze voorspanning is centrisc omdat de belasting op de vloer in verschillende situaties in beide richtingen kan werken en in beide richtingen ook ongeveer even groot is (zie bijlage M).
- De caissonwanden worden in horizontale richting voorgespannen. Deze voorspanning ligt excentrisch in de plaat omdat de belasting op de plaat in één richting sterk overheerst. De excentriciteit wordt berekend in de maatgevende doorsnede.
- De voorspanning in de vloer is constant over de doorsnede.
- De voorspanning in de wanden varieert over de hoogte van het caisson. De maatgevende voorspanning wordt in de meest kritieke doorsnede berekend. Aangenomen wordt dat de gemiddelde voorspanning in de plaat 40 % bedraagt van de maximale voorspanning. In het bovenste gedeelte van de plaat zal bij een uniforme plaatdikte weinig voorspanning nodig zijn, omdat de maatgevende belasting daar laag is.

Voor de overige delen van de betonconstructie worden de volgende aannamen gedaan:

- De dekplaat bestaat uit geprefabriceerde elementen met een dikte van 0.20 meter.
- De tussenwanden in de lengte- en breedterichting worden verondersteld alleen centrisc te worden belast. Door de ballastdruk op deze wanden is het gevaar voor uitknikken van de wanden te verwaarlozen. De tussenwanden hebben een dikte van 0.25 meter.

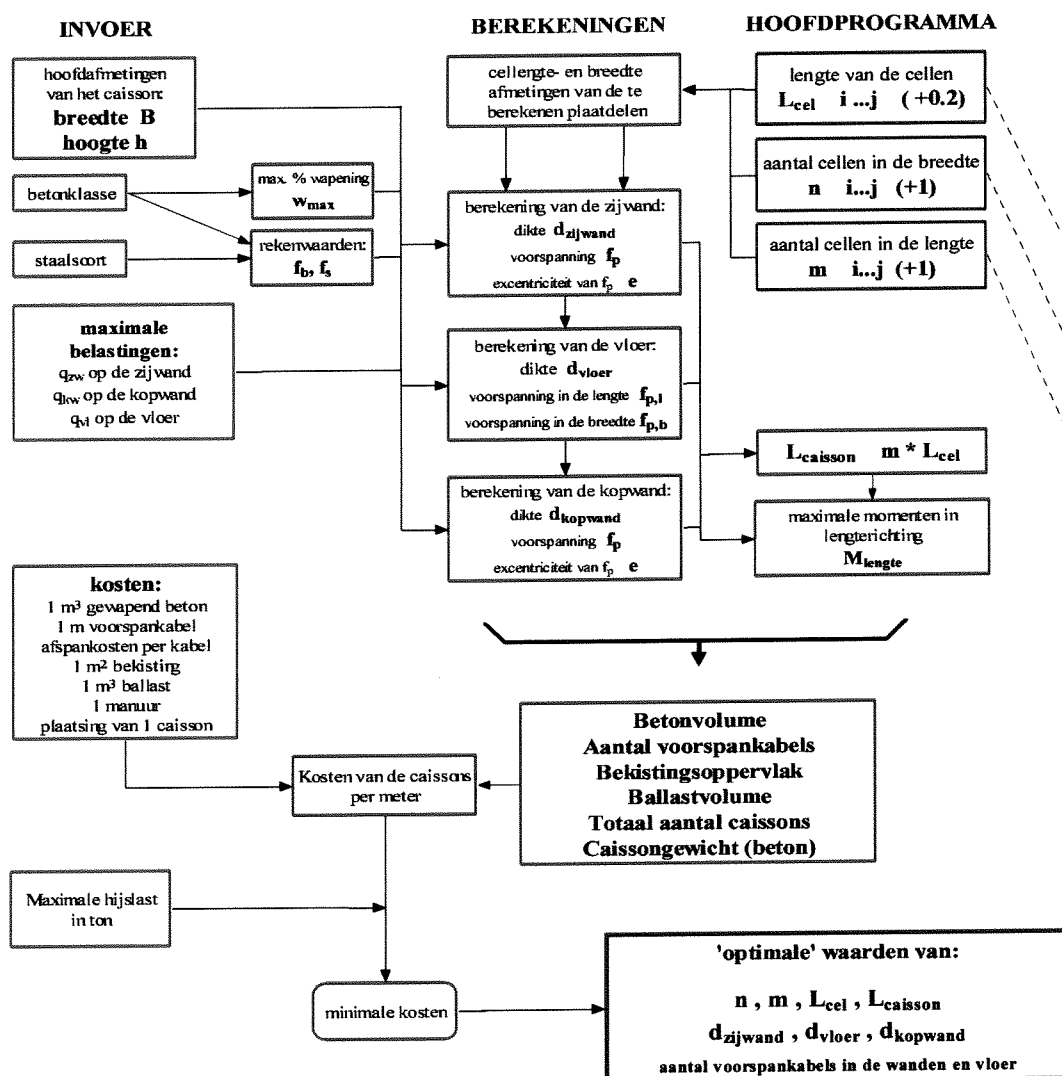
Voor een groot aantal combinaties van de cellengte, het aantal cellen in breedterichting en het aantal cellen in lengterichting worden de benodigde afmetingen van de zijwanden, de kopwanden en de vloer met bijbehorende voorspanning en eventuele excentriciteit van de voorspanning berekend. De combinatie van variabelen die leidt tot een caisson met de laagste totale kosten per meter wordt als meest gunstige combinatie gekozen.

Bij de berekeningen wordt aangenomen dat de beschouwde belastingsituaties maatgevend zijn voor de dimensionering van de constructie. Invloed van de wapening in de platen op de benodigde voorspanning, eisen aan de stijfheid van de constructie en interactie tussen de verschillende plaatdelen van de monolietconstructie worden hier niet beschouwd. Met de hier uitgevoerde berekeningen wordt slechts een eerste indruk verkregen van de benodigde betonafmetingen en de daarbij behorende kosten.

13.4 Het computerprogramma BETON

13.4.1 De programmastructuur van BETON

In figuur 46 is de structuur van het computerprogramma BETON geschetst. Links in het schema staat de benodigde invoer voor het programma. Rechts in het schema is weergegeven voor welke combinatie van verschillende variabelen de afmetingen en kosten van een caisson worden berekend. Deze berekeningen staan in het midden van het schema. Onderin het schema wordt vervolgens de selectie gemaakt van het meest geschikte caisson en de daarbij behorende afmetingen, materiaalhoeveelheden en kosten.



Figuur 46: Structuurschema van het computerprogramma BETON

De invoer en uitvoer van het programma, de gehanteerde criteria en de inhoud van de berekeningen worden in de volgende paragrafen toegelicht.

13.4.2 De invoer voor BETON

De invoer van het programma bestaat globaal uit waarden voor de volgende variabelen:

- Maatgevende belasting op zijwand, kopwand en vloer (uit bijlage M).
- Lengte en breedte van het caisson (uit hoofdstuk 7).
- Materiaalgegevens van beton, wapening en voorspankabels [lit.11].
- Kosten van beton, ballast en bekisting [lit.11].
- Kosten van voorspankabels per meter en per kabel [lit.11].
- Kosten van arbeid en van plaatsing van een caisson.
- Maximale heflast van het te gebruiken kraanschip (uit hoofdstuk 10).
- Berekeningsintervallen voor L_{cel} , n en m .

Alle invoervariabelen worden gedefinieerd en beschreven in bijlage O. Een compleet overzicht van de invoerschermen met daarin de in het programma gehanteerde default waarden is te vinden in bijlage P. Alle invoerwaarden kunnen desgewenst in het programma worden gevarieerd.

13.4.3 De uitvoer van BETON

Voor een gedefinieerd aantal combinaties van cellengte L_{cel} en het aantal cellen in breedte- en lengterichting, n en m , berekend het programma onder andere de volgende variabelen:

- De maximale dwarskracht en het maximale buigend moment in de zijwanden, de kopwanden en de vloer.
- Benodigde dikte van de zijwanden, de kopwanden en de vloer.
- Totale lengte van één caisson.
- Benodigde horizontale voorspanning en excentriciteit voor de zijwanden en kopwanden.
- Benodigde centrische voorspanning in twee richtingen in de vloer.
- Kosten en hoeveelheid beton, bekisting, ballast en voorspanning per caisson en per meter.
- Kosten en hoeveelheid voorspankabels in zijwand, kopwand en vloer per meter.
- Totale kosten voor de bouw en plaatsing van een caisson per meter en per kub.
- Krachten, momenten en spanningen in de dwarsdoorsnede van het caisson ten gevolge van de voorspanning en ten gevolge van de maximale belasting door het eigen gewicht.

Alle uitvoervariabelen worden gedefinieerd en beschreven in bijlage O. Een compleet overzicht van de uitvoerschermen met daarin de resultaten voor de hier beschouwde situatie is te vinden in bijlage P.

Het programma berekent welke combinatie van L_{cel} , n en m resulteert in een caisson met de laagste totale kosten per strekkende meter. Een extra eis hierbij is dat het caisson moet voldoen aan de maximale gestelde heflast. Dit caisson met bijbehorende afmetingen, kosten en materiaalhoeveelheden wordt gekozen als het meest geschikte caisson. Alle in de vorige paragraaf genoemde uitvoergegevens behorende bij deze combinatie worden weergegeven.

Tevens wordt in de uitvoer desgewenst een top-5 opgemaakt van de goedkoopste oplossingen met de daarbij behorende caissonafmetingen, caissonmassa en kostprijs per strekkende meter.

13.5 Schematiseringen, modellen en formules in BETON

13.5.1 Inleiding

Voor de achtergronden bij de in deze paragraaf gehanteerde formules wordt verwezen naar Gewapend Beton deel 1 en 2 [lit. 12]. De hier gehanteerde modellen en formules zijn veelal eenvoudig. Meer gedetailleerde berekeningen vallen buiten het kader van dit onderzoek. De berekeningen hebben als doel het schatten van de benodigde hoeveelheden beton en bekisting en van de kosten en het gewicht van het caisson.

13.5.2 Dwarskrachten en momenten

De zijwand en de kopwand worden verondersteld te zijn opgebouwd uit 3-zijdig ingeklemde platen. De vloerdelen worden als 4-zijdig ingeklemde platen berekend. Om de benodigde dikte en voorspanning van de zijwand, de kopwand en de vloer te bepalen worden eerst de maximale dwarskrachten en momenten in de platen berekend. Dit gebeurt met de formules gegeven in bijlage N. Samengevat komen deze formules op het volgende neer:

$$m_{\max} = \alpha \cdot 0.001 \cdot q_d \cdot l_x^2 \quad [\text{Nm/m}]$$

$$V_{\max} = \frac{3}{8} \cdot q_d \cdot l_x \quad [\text{N/m}]$$

waarin:

α = factor afhankelijk van l_y / l_x

q_d = ontwerpbelasting op de plaat

l_x, l_y = lengte en breedte van de plaat

Voor l_x en l_y worden in de berekening de volgende waarden gehanteerd:

	l_x	l_y
zijwand	L_{cel}	$h_{\text{caisson}} - d_{\text{vloer}}$
vloerdeel	B_{cel}	L_{cel}
kopwand	B_{cel}	$h_{\text{caisson}} - d_{\text{vloer}}$

waarin:

$$B_{\text{cel}} = (B - 2 \cdot d_{\text{zijwand}} - ((n-1) \cdot 0.20)) / n$$

Als geldt dat $l_x > l_y$ dan worden de waarden voor l_x en l_y omgewisseld.

De waarden voor α zijn voor enkele verhoudingen van l_y/l_x gegeven in bijlage N in een overzicht van maatgevende momenten in platen. Voor tussenliggende waarden van l_y/l_x wordt in het programma lineair geïnterpoleerd.

13.5.3 Uitgangspunten bij de voorspanningsberekening

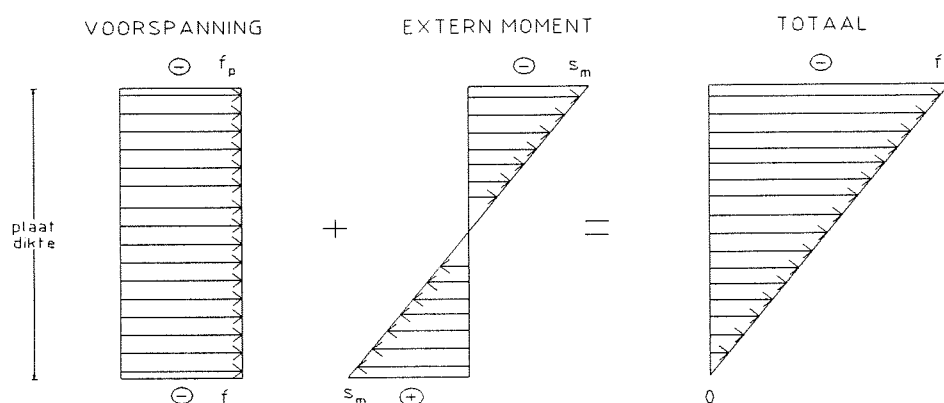
Voor de berekening van de benodigde voorspanning in de plaat en het bijbehorende aantal kabels zijn de volgende aannamen gedaan:

- De maximale drukspanning in de plaat mag bij maximale belasting niet groter zijn dan de rekendruksterkte $f_{b,}$ ($f_b = 0.6 \cdot f_{ck}$)
- De aanvangsvoorspanning mag niet groter zijn dan $0.75 \cdot f_b$. (eis TGB 1990)
- Naast de voorspanning wordt de minimaal voorgeschreven wapening in de plaat aangebracht. Deze wapening wordt in de berekeningen buiten beschouwing gelaten.
- Eén voorspankabel heeft een werkvoorspanning van 2000 [kN]

- De kosten van een voorspankabel bedragen fl 45 per meter en fl 2500 voor de ankers en het spannen van de kabel. (bron: [lit.11])
- In de vloer heerst over de hele dwarsdoorsnede dezelfde voorspanning. Het aantal kabels volgt uit het oppervlak van de vloerdoorsnede en de berekende voorspanning.
- In de wanden wordt de voorspanning berekend voor het maximaal belaste gedeelte van de wand. In het bovenste gedeelte van de wand zal nauwelijks of geen voorspanning nodig zijn. Daar zal de berekende plaatdikte voldoende zijn om dwarskrachten en momenten zonder voorspanning op te nemen. Het totale aantal kabels wordt daarom geschat op 40 % van het aantal dat nodig is om de doorsnede over de hele hoogte van de wand de berekende voorspanning voor het maatgevende wanddeel te geven.

13.5.4 Berekening van vloer

De schematisatie van de spanningen in een centrisch voorgespannen plaatdoorsnede in uiterste grenstoestand is weergegeven in figuur 47.



Figuur 47: Spanningen in een centrisch voorgespannen plaatdoorsnede in uiterste grenstoestand

In het programma BETON wordt de vloer op de volgende wijze berekend:

1. Lengte en breedte van de plaat volgen uit de caissonafmetingen.
2. Bereken maximale dwarskracht $V_{\max}$ in de plaat.
3. Bereken maximaal moment $m_{\max,x}$ en $m_{\max,y}$ in de plaat.
4. Kies plaatdikte = 350 mm.
5. Bepaal als volgt de benodigde voorspanning $f_{p,x}$ om $V_{\max}$ op te kunnen nemen:

$$\begin{aligned}
 V_{\max} &= \tau \cdot d \cdot b \\
 \tau &= 0.4 \cdot f_{b,t} + 0.15 \cdot f_{p,x} \\
 f_{b,t} &= 0.5 \cdot (1.05 + 0.05 \cdot f_b) \\
 f_{p,x} &= (V_{\max} / (d \cdot b) - 0.4 \cdot f_{b,t}) / 0.15
 \end{aligned}$$

6. Controleer: $f_{p,x} \leq 0.75 \cdot f_b$ (Zoniet: kies dikkere plaat)

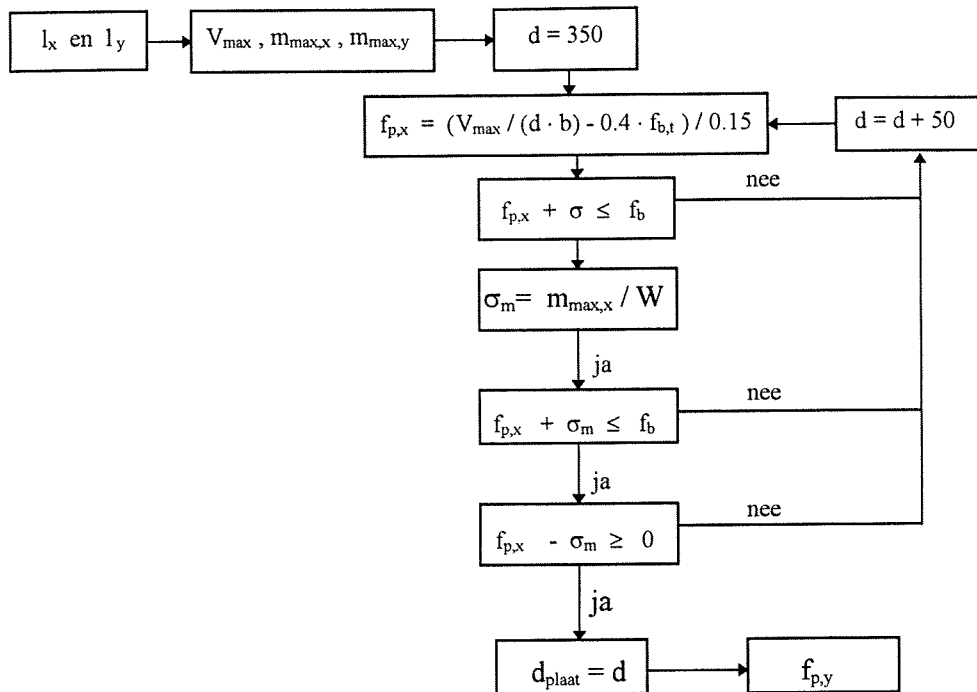
7. Bepaal als volgt de maximale spanning in de plaat door buiging:

$$s_m = M / W = 6 \cdot m_{\max,x} / (b \cdot d^2)$$

8. Controleer: $f_{p,x} + \sigma_m \leq f_b$ (Zoniet: kies dikkere plaat)
9. Controleer: $f_{p,x} - \sigma_m \geq 0$ (Zoniet: kies dikkere plaat)

10. Bepaal de benodigde voorspanning $f_{p,y}$ in de y-richting.

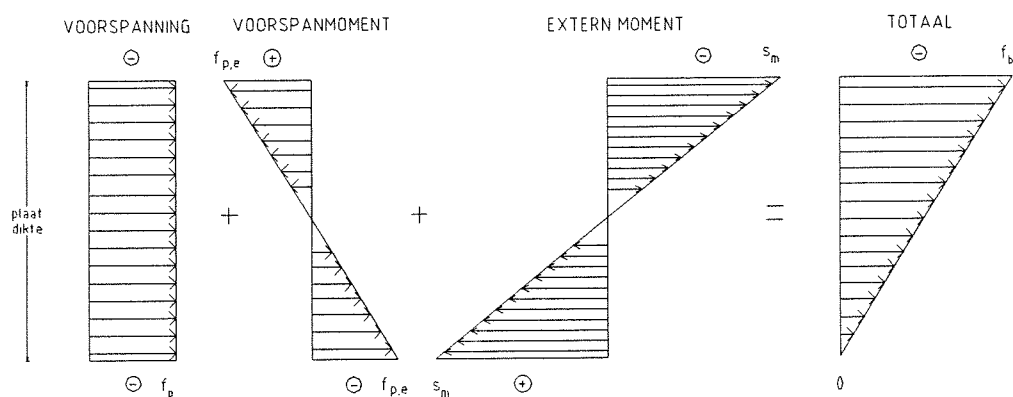
In figuur 48 is deze procedure schematisch weergegeven.



Figuur 48: Rekenschema van de berekening van de caissonvloer

13.5.5 Berekening van de wanden

De schematisatie van de spanningen in een excentrisch voorgespannen plaatdoorsnede in uiterste grenstoestand is weergegeven in figuur 49.



Figuur 49: Spanning in een excentrisch voorgespannen plaatdoorsnede in uiterste grenstoestand

In deze belastingschematisatie staan van links naar rechts:

1. De gemiddelde voorspanning in de doorsnede.
2. De voorspanning die wordt veroorzaakt door een excentrische ligging van de voorspankabels in de doorsnede.
3. De spanning in de doorsnede door de externe belasting op de plaat.
4. De totale spanning in de plaat bij extreme belasting.

Indien de maximale belasting niet op de plaat werkt moet aan de volgende twee eisen worden voldaan, waaruit de maximale excentriciteit van de voorspanning volgt:

$$\text{onder: } f_p + f_{p,e} < 0.75 \cdot f_b \quad e < d \cdot (0.75 \cdot f_b - f_p) / (6 \cdot f_p)$$

$$\text{boven: } f_p - f_{p,e} > 0 \quad e < 1/6 \cdot d$$

Indien de maximale belasting wel op de plaat werkt moet aan de volgende twee eisen worden voldaan, waaruit de minimale excentriciteit van de voorspanning volgt:

$$\text{onder: } f_p + f_{p,e} - s_m > 0 \quad e > d \cdot (s_m - f_p) / (6 \cdot f_p)$$

$$\text{boven: } f_p - f_{p,e} + s_m < f_b \quad e > d \cdot (f_p + s_m - f_b) / (6 \cdot f_p)$$

De grensspanning in de plaat door het externe moment en het voorspanmoment zijn hierbij als volgt bepaald:

$$s_m = \frac{M}{W} = \frac{m_{\max}}{\frac{1}{6} \cdot d^2}$$

$$f_{p,e} = \frac{M_p}{W} = \frac{b \cdot d \cdot f_p \cdot e}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot d^2} = \frac{6 \cdot f_p \cdot e}{d}$$

Als extra eis aan de maximale excentriciteit is gesteld dat deze niet groter mag zijn dan de halve plaatdikte min 75 mm dekking. Deze dekking wordt ruim gekozen omdat de voorspankabels kwetsbaar zijn in zout water.

De benodigde wanddikte wordt nu als volgt bepaald:

- Bepaal $m_{\max}$ en $V_{\max}$.
- Kies $d = 350$ mm.
- Bepaal de minimaal benodigde f_p voor voldoende dwarskrachtcapaciteit.
- Bepaal minimale en maximale mogelijke excentriciteit.
- Controleer of $e_{\min} < e_{\max}$, zoniet kies grotere f_p .
- Indien f_p groter is dan toegestaan, kies grotere wanddikte.
- Herhaal dit proces tot een wanddikte is gevonden waarbij de wanddoorsnede door de voorspanning in alle belastingsituaties volledig onder toelaatbare druk gehouden wordt.

13.5.6 De dwarsdoorsnede van het caisson

Van het uiteindelijk geselecteerde caisson worden de spanningen in de dwarsdoorsnede van het caisson berekend. Hiertoe worden eerst de doorsnedegrootheden zoals oppervlak, zwaartepunt, traagheidsmoment en weerstandsmoment voor de boven- en onderkant van de doorsnede berekend. De spanningen in de doorsnede volgen uit de totale voorspankracht in de lengte van het caisson en de gemiddelde excentriciteit van de voorspankabels in deze richting. Hierbij wordt aangenomen dat het zwaartepunt van de voorspanning in de zijwanden op $1/3$ deel van de caissonhoogte vanaf de onderkant ligt.

De dwarskracht en het buigend moment in de doorsnede door het eigen gewicht volgen uit:

$$V_{\max} = \frac{3}{8} \cdot q_{\text{eg}} \cdot L_{\text{caisson}} \quad M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q_{\text{eg}} \cdot L_{\text{caisson}}^2 \quad (\text{zie hoofdstuk 11})$$

Het aandeel dat de voorgespannen doorsnede kan leveren in het opnemen van de maximale dwarskracht is:

$$V_{\text{beton}} = (0.4 \cdot f_{b,t} + 0.15 \cdot f_{p,dsn}) \cdot A_{dsn}$$

Het eventueel resterende deel, $V_{\text{max}} - V_{\text{beton}}$, moet worden opgenomen door dwarskrachtwapening. De benodigde hoeveelheid dwarskrachtwapening wordt gevonden door dit resterende deel te delen door de maximale staalspanning f_s .

De extra wapening die in de doorsnede nodig is om de optredende spanningen op te nemen blijkt bij niet te lange caissons (< 75 m) minimaal te zijn. De doorsnede wordt derhalve niet verder uitgewerkt en wordt verondersteld niet maatgevend te zijn in het optimalisatieproces.

13.6 Hoeveelheid beton en bekisting

Met de berekende diktes voor wanden en vloer is het mogelijk de benodigde hoeveelheid beton voor één caisson te bepalen. Bij deze berekening wordt het dek buiten beschouwing gelaten. Uit de caissonafmetingen en het betonvolume volgt het volume van de ballast per meter caisson. In bijlage H zijn de formules voor deze berekeningen gegeven.

Voor de bepaling van het bekistingsoppervlak wordt het totale oppervlak van de verticale wanden berekend. De bekisting voor het storten van de vloer wordt buiten beschouwing gelaten.

13.7 Kosten van het materieel

(De gegevens in deze paragraaf volgen uit een voorlopige schatting van de kosten van de bouw en de operationele kosten van een dubbele NSCV door HeereMac.)

De nieuwbouwkosten voor een dubbel Near Shore Construction Vessel, bestaande uit twee met elkaar verbonden pontons en twee kraanmasten met een hefcapaciteit van 6000 ton elk (zie hoofdstuk 10) bedragen ongeveer 75 miljoen gulden. Indien gebruik wordt gemaakt van bestaande pontons en van één bestaande kraanmast reduceren de bouwkosten tot 40 miljoen gulden.

De operationele kosten van dit schip bedragen ongeveer f1 750.000 per week, inclusief al het extra bij de operatie gebruikte materieel zoals sleepboten en pontons.

Aangenomen wordt dat 60 % van de bouwkosten van het schip wordt afgeschreven op de te bouwen golfbreker van 7500 meter in de eerste fase. Het schip kan later worden gebruikt voor het verplaatsen en verlengen van de golfbreker en is eventueel ook voor andere werken inzetbaar.

Gedurende de plaatsing van de caissons wordt 7 dagen per week en 24 uur per dag gewerkt. Volgens HeereMac is het mogelijk om binnen 6 uur een volledige plaatsingsoperatie af te ronden. Hier is aangenomen dat per dag twee caissons worden geplaatst.

Indien de caissons een lengte hebben van 50 meter moeten 150 caissons worden geplaatst. De netto plaatsingstijd voor de caissons bedraagt dan 11 weken. Voor onderhoud en calamiteiten wordt een reserve in acht genomen van 3 weken. De totale plaatsingstijd bedraagt daarmee 14 weken.

De plaatsingskosten van een caisson bedragen dan fl 4600,- per strekkende meter¹. Het plaatsen van één caisson met een lengte van 50 meter kost dan fl 230.000 per caisson. Deze waarde wordt in de verdere berekeningen constant gehouden.

13.8 Totale kosten

De totale kosten voor de bouw en plaatsing van een caisson worden bepaald door somming van de volgende kostenposten:

- beton : betonvolume · kosten van gewapend beton per m³
- voorspanning : aantal meter kabel · kosten per meter + aantal kabels · spankosten per kabel
- bekisting : bekistingsoppervlak · $I / (\frac{1}{2} n) + 0.2 \cdot \mu$
- ballasten : ballastvolume · kosten van ballasten per m³
- plaatsing : vaste prijs per caisson

waarin:

I	= investeringskosten per m ² bekisting	[fl/m ²]
n	= aantal caissons voor de golfbreker	[-]
mu	= kosten voor een arbeidsuur	[fl/uur]

Vervolgens worden de kosten per strekkende meter caisson bepaald door deling door de caissonlengte. Op basis van deze kosten wordt het goedkoopste alternatief gekozen.

13.9 Resultaten

De eindresultaten van het meest geschikt bevonden caisson worden gegeven in de uitvoerschermen van het programma. De belangrijkste eindresultaten staan in het overzicht in figuur 50.

uitvoer scherm 1

REKENRESULTATEN

Het caisson met de laagste kosten per meter ziet er als volgt uit:

Kosten per strekkende meter	:	69093 [fl/m]	(fl.112 per m ³)
Lengte van het caisson	:	50.9 [m]	totaal 147 caissons
Aantal cellen in lengterichting	:	14	cellengte = 3.3 [m]
Aantal cellen in breedterichting	:	3	celbreedte = 8.3 [m]

Betondiktes:

Zijwanden =	0.40 [m]	Tussenwanden in lengte =	0.25 [m]
Kopwanden =	0.70 [m]	Tussenwanden in breedte =	0.25 [m]
Vloer =	0.55 [m]		

Totale hoeveelheden en kostenverdeling:

	per caisson		per meter	
Betonmassa	11749 [ton]		231 [ton]	
Volume beton	5145 [m ³]	fl. 1543382	101.2 [m ³]	fl. 30352
Bekisting	26051 [m ²]	fl. 475373	512 [m ²]	fl. 9349
Ballast	26189 [m ³]	fl. 130946	515 [m ³]	fl. 2575
Plaatsing		fl. 230000		fl. 4523
Voorspannen		fl. 1133661		fl. 22294

<press any key>

Figuur 50: Belangrijkste resultaten van het programma BETON

¹ $(60\% \cdot 40 \cdot 10^6 + 14 \cdot 750 \cdot 10^3) / 7500 = 4600$

Een overzicht van de vijf goedkoopste oplossingen voor het caisson en de daarbij behorende betonafmetingen en kosten wordt gegeven in het vierde uitvoerscherm van het programma, zoals is weergegeven in figuur 51.

uitvoer scherm 4

REKENRESULTATEN

De vijf goedkoopste oplossingen zijn:

-variabelen- ----eindresultaten----- -----betondiktes-----

Nr.	L_cel [m]	n	m	Lengte [m]	Massa [ton]	Kosten [fl/m]	wand [m]	kop [m]	vloer [m]	tussen [m]
1.	3.3	3	14	50.9	11749	69093	0.40	0.70	0.55	0.25
2.	3.2	3	14	49.4	11600	69291	0.40	0.70	0.55	0.25
3.	3.2	3	13	46.0	10893	70482	0.40	0.70	0.55	0.25
4.	2.9	4	15	48.1	11856	70747	0.40	0.55	0.50	0.25
5.	2.7	3	16	48.4	11907	70955	0.40	0.70	0.45	0.25

(n

= aantal cellen in breedterichting)

(m

= aantal cellen in lengterichting)

(tussen

= tussenwanden in lengterichting)

Nog een berekening? (j/n):

Figuur 51: Uitvoerscherm met alternatieve oplossingen van het programma BETON

Alle in- en uitvoerschermen zijn te vinden in bijlage P. Een complete listing van het programma is te vinden in bijlage R. De totale rekenuitvoer met resultaten van alle doorgerekende combinaties zoals die met het programma kan worden opgemaakt is niet opgenomen in dit rapport.

13.10 Alternatieve berekeningen

Met het programma is een variant doorgerekend met betonklasse B45. De betonprijs is hierbij met fl 20,- verhoogd. Deze berekening resulteert in een caisson dat 6 meter langer en ruim 6 % duurder is.

Ook is met het programma een variant doorgerekend waarbij de maximale heflast op 6000 ton gesteld is. Dit komt overeen met de situatie waarbij geen tweede NSCV wordt gebouwd, hetgeen de plaatsingskosten per caisson met meer dan de helft reduceert (zie hoofdstuk 10). De plaatsingskosten zijn in deze berekening gesteld op fl 80.000,- per caisson.

Het resultaat van de berekening is een caisson met een lengte van 22.8 meter en een kostprijs van fl 82.575,- per meter. Deze oplossing is bijna 20 % duurder dan de oplossing met de dubbele NSCV met een heflast van 12.000 ton.

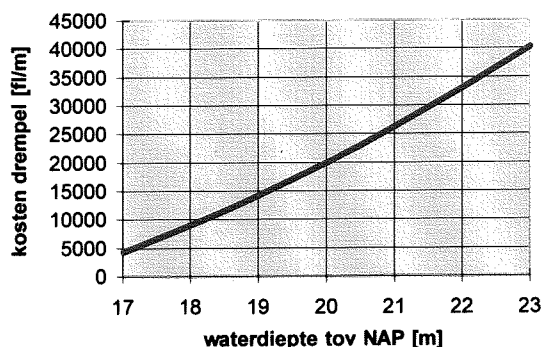
Het totale verschil voor de 7500 meter lange golfbreker is ruim 100 miljoen gulden. Eenvoudig gesteld is dit het bedrag dat de tweede NSCV maximaal mag kosten om rendabel te zijn. De kostenbesparing die een dubbele NSCV oplevert bij verplaatsing en uitbreiding van de golfbreker worden dan buiten beschouwing gelaten.

13.11 Kosten van de stortstenen drempel

De kosten van de stortstenen drempel worden geschat op fl 125,- per m³. Deze kosten zijn niet meegenomen in de optimalisatie van het caisson. De aanleghoogte van de drempel is immers eerder in dit rapport vastgesteld op NAP -16 m (zie hoofdstuk 4).

Bij een bermbreedte voor en achter het caisson van 3 meter en een talud van de drempel van 1:2 volgen de aanlegkosten van de stortstenen drempel per meter uit de drempelhoogte.

water- diepte NAP -d[m]	drempel- hoogte h [m]	hoeveelheid stortsteen [m ³ /m]	kosten [fl/m]
17	1	34	4250
18	2	72	9000
19	3	114	14250
20	4	160	20000
21	5	210	26250
22	6	264	33000
23	7	322	40250



Figuur 52: Kosten van de stortstenen drempel, afhankelijk van de waterdiepte

De gemiddelde drempelhoogte op de verschillende secties in het tracé volgen uit bijlage A. De secties zijn gedefinieerd in figuur 54. Met de hier gegeven kostenberekening worden de volgende waarden bepaald:

	gemiddelde drempelhoogte	kosten van de drempel
sectie 1 en 2 in fase I	6.2 [m]	fl 21.210,- per m ¹
sectie 1 en 2 in fase II	5.1 [m]	fl 26.900,- per m ¹
sectie 3	2.8 [m]	fl 13.160,- per m ¹

13.12 Conclusie

In de rekenresultaten is aangetoond dat caissons met een lengte van 51 meter en een kostprijs van ruim fl. 69.000,- per meter de goedkoopste oplossing zijn. De cellengte is slechts 3.3 meter. De celbreedte bedraagt 8.3 meter. Het caisson is opgedeeld in 3 cellen in de breedterichting en 14 cellen in de lengterichting.

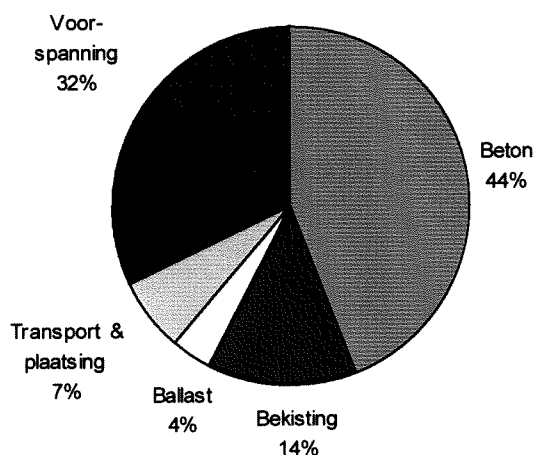
De betondiktes hierbij zijn:

$$d_{\text{zijwand}} = 0.40 \text{ [m]}$$

$$d_{\text{kopwand}} = 0.70 \text{ [m]}$$

$$d_{\text{vloer}} = 0.55 \text{ [m]}$$

De kosten van de voorspankabels bedragen 32 % van de totaalprijs. De kosten van het transporteren en plaatsen van het caisson bedragen bijna 7 % van de totale kosten. De verdeling van de kosten is schematisch weergegeven in het diagram in figuur 53.



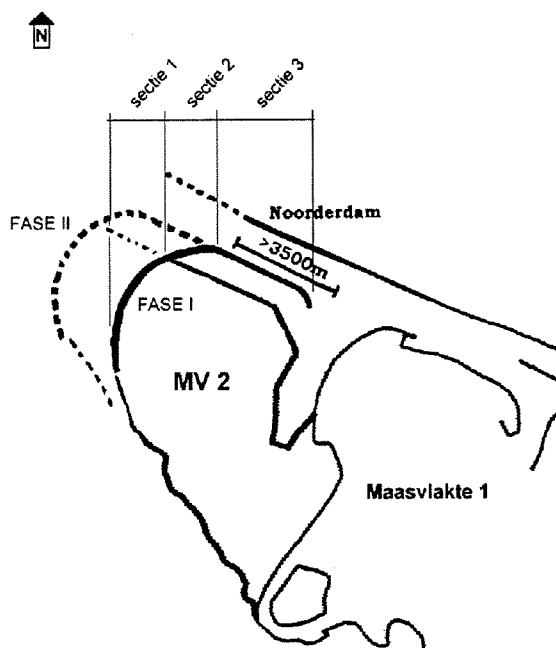
Figuur 53: Kostenverdeling van het geoptimaliseerde caisson

14. Conclusies en aanbevelingen

14.1 Conclusies

In het vorige hoofdstuk is bepaald hoeveel de caissons en de drempel per strekkende meter golfbreker kosten, afhankelijk van de plaats op het tracé.

Het tracé waar de golfbreker wordt gebouwd is opgedeeld in drie verschillende secties. Verder is het tracé gedefinieerd voor twee verschillende aanlegfasen, zoals in figuur 54 weergegeven (zie hoofdstuk 2 en onderstaande figuur).



Figuur 54: Definitieschets van het tracé

Voor de bepaling van de kosten van de totale golfbreker en de berekening van de financiële haalbaarheid van een gefaseerde aanleg van de golfbreker worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de berekening van de totale kosten wordt een toeslag van 30 % op de berekende kosten voor caisson en drempel gehanteerd. Deze toeslag is opgebouwd uit 17.5 % BTW, 5 % winst en risico, 5 % kosten van bouwplaats en onvoorziene kosten en 2.5 % overheadkosten.
- De tijd tussen aanleg van fase I en fase II bedraagt 15 jaar.
- De rente is inclusief inflatie geschat op 5 % per jaar.
- De verplaatsingskosten van de caissons voor fase II worden geschat op 2x de berekende transport- en plaatsingskosten in fase I: $2 \times \text{fl } 4523,- = 9046,-$ per meter caisson.
- De kosten voor het verwijderen van de ballast en het opnieuw ballasten van het verplaatste caisson worden gelijk gesteld aan 2x de eerder bepaalde kosten voor ballasting: $2 \times \text{fl } 2575 = 5150,-$ per meter caisson.

In tabel 6 zijn de kosten voor de verschillende secties in fase I en fase II berekend en verzameld.

Tabel 6: Kosten van de drempel, de caissons en de totale golfbreker

geometrie	sectie 1 en 2 fase I		sectie 1 en 2 fase II		sectie 3	
lengte van de sectie	4000		6000		3500	
drempelhoogte	6.2		5.1		2.8	
kosten per meter in gulden	sectie 1 en 2 fase I		sectie 1 en 2 fase II		sectie 3	
	<i>netto</i>	<i>+ 30%</i>	<i>netto</i>	<i>+ 30%</i>	<i>netto</i>	<i>+ 30%</i>
drempel	21.210	27.573	26.900	34.970	13.160	17.108
caisson	69.093	89.821	69.093	89.821	69.093	89.821
golfbreker	90.303	117.394	95.993	124.791	82.253	106.929
kosten per sectie in gulden x 1000	sectie 1 en 2 fase I		sectie 1 en 2 fase II		sectie 3	
	<i>netto</i>	<i>+ 30%</i>	<i>netto</i>	<i>+ 30%</i>	<i>netto</i>	<i>+ 30%</i>
drempel	84.840	110.292	161.400	209.820	46.060	59.878
caissons	276.372	359.284	414.558	538.926	241.826	314.374
golfbreker	361.212	469.576	575.958	748.746	287.886	374.252

Uit de tabel kunnen de volgende kosten worden afgeleid:

De kosten voor het in één keer bouwen van de 9500 meter lange golfbreker volgen uit de kosten van golfbreker sectie 1 en 2 fase II + golfbreker sectie 3:

- $748.746 + 374.252 = 1.122.998 \Rightarrow \text{fl } 1.123 \text{ miljoen}$

De kosten voor het bouwen van alleen fase I van de golfbreker (7500 meter) volgen uit de kosten van golfbreker sectie 1 en 2 fase I + golfbreker sectie 3:

- $469.576 + 374.252 = 843.828 \Rightarrow \text{fl } 844 \text{ miljoen}$

De kosten van de uitbreiding van fase I naar fase II zijn opgebouwd uit de kosten van golfbreker sectie 1 en 2 fase II - kosten van de caissons in fase I + kosten van verplaatsen en ballasten van 4000m golfbreker:

- $748.746 - 359.284 + 4000 \cdot (9,046 + 5,150) = 446.246 \Rightarrow \text{fl } 446 \text{ miljoen}$

De totale kosten van de gefaseerde aanleg bestaan uit de kosten van aanleg van fase I + II:

- $843.828 + 446.246 = 1.290.074 \Rightarrow \text{fl } 1.290 \text{ miljoen}$

De meerkosten van de gefaseerde aanleg bedragen:

- $1.290.074 - 1.122.998 = 167.067 \Rightarrow \text{fl } 167 \text{ miljoen}$

Door de uitstel van de bouw van een deel van de golfbreker met 15 jaar wordt bij de aangenomen rente een besparing gerealiseerd op de rentelast van het in dit deel van de golfbreker te investeren bedrag.

Deze besparing betreft de meerkosten van de directe aanleg van fase II ten opzichte van de aanleg van fase I:

$$\bullet (1.122.998 - 843.828) \cdot (1.05^{15} - 1) = 301.204 \quad \Rightarrow \quad \text{fl } 301 \text{ miljoen}$$

De totale besparing door een gefaseerde aanleg van de golfbreker bedraagt hiermee:

$$\bullet 301.204 - 167.067 = 134.137 \quad \Rightarrow \quad \text{fl } 134 \text{ miljoen}$$

Met deze berekeningen is aangetoond dat het gefaseerd aanleggen van de golfbreker een besparing oplevert van 134 miljoen gulden ten opzichte van de aanleg van de totale golfbreker in één keer.

Deze besparing is feitelijk nog veel groter, omdat met het gefaseerd aanleggen van Maasvlakte 2 het risico wordt afgedekt dat een te grote en deels onbenutte havenuitbreiding wordt aangelegd. Dit risico vertegenwoordigt een bepaalde waarde die afhankelijk is van de betrouwbaarheid van de economische voorspellingen betreffende de havenactiviteiten.

Een schatting van dit risico wordt hier niet gemaakt. Het afdekken van dit risico onderstreept het nut van de gefaseerde aanleg van de havenuitbreiding Maasvlakte 2.

14.2 Aanbevelingen

De aanbevelingen die aan het eind van dit onderzoek worden gedaan betreffen voornamelijk het aanscherpen van gebruikte schematiseringen, modellen en gehanteerde kosten van die delen van het onderzoek die veel invloed hebben op het eindresultaat.

De belangrijkste aanbevelingen zijn:

- Nadere analyse van de beschikbare golf- en hoogwatergegevens en het hieruit opstellen van een overschrijdingslijn van de totale kracht op de golfbreker.
- Nadere analyse van het maatgevende faalmechanisme van het caisson: bezwijken van de ondergrond.
- Nadere analyse van de maatgevende belastinggevallen op de betonconstructie; met name de silowerking van de ballast in het caisson en de invloed van 'rocking' van het caisson op de drempel vragen om nadere bestudering.
- Drie-dimensionaal schematiseren van de krachten en momenten in de betonconstructie.
- Berekenen van de constructie met de niet-uniforme belastingsverdeling op de wanden.
- Analyse van economisch optimale hoeveelheid voorspanning in de betondoorsnede.
- Bestudering van het indringingsproces van zout water in de scheuren in het beton en het corrosie-effect hiervan.
- Berekening van de invloed van het wapeningsstaal in de voorgespannen betonelementen.

De resultaten die uit deze aanvullende onderzoeken voortvloeien kunnen worden geïmplementeerd in de voor dit onderzoek geschreven computerprogramma's CAISSON en BETON.

Lijst van geraadpleegde literatuur

1. **Bouwdienst Rijkswaterstaat, Gemeentewerken Rotterdam Maasvlakte 2:** Zeeweringsconstructies, Principeoplossingen (oriëntatie), rapport MV2-P-95017, 20/09/95.
2. **Projectorganisatie Maasvlakte 2:** Nautische beoordeling van ontwerpvarianten voor MV 2.
3. **RIKZ, Rijkswaterstaat:** Getijtafels voor Nederland 1997, Sdu Uitgevers Den Haag, 1996.
4. **Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen:** Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering.
5. **Goda:** Random seas and design of maritime structures, University of Tokyo Press, 1985.
6. **Vrijling:** Probabilistisch ontwerpen in de waterbouwkunde, TUDelft, 1995.
7. **Massie e.a.:** Coastal Engineering Volume I, TUDelft.
8. **Verruijt:** Grondmechanica, 3e druk, Delftse Uitgevers Mij., 1990.
9. **van der Schrieck:** Baggertechniek; dictaat F14, TUDelft, 1996.
10. **Roark:** Formulas for Stress and Strain, student edition 1965.
11. **Vos, de Jager:** Uitvoeringstechnologie van betonconstructies, TUDelft, 1995.
12. **Walraven:** Gewapend & voorgespannen beton, TUDelft, 1995.
14. **Projectorganisatie Maasvlakte 2:** Infobulletin deel 6.
15. **van Tol:** Funderingstechnieken, TUDelft, 1995.
16. **CUR:** Publikatie Damwandconstructies.

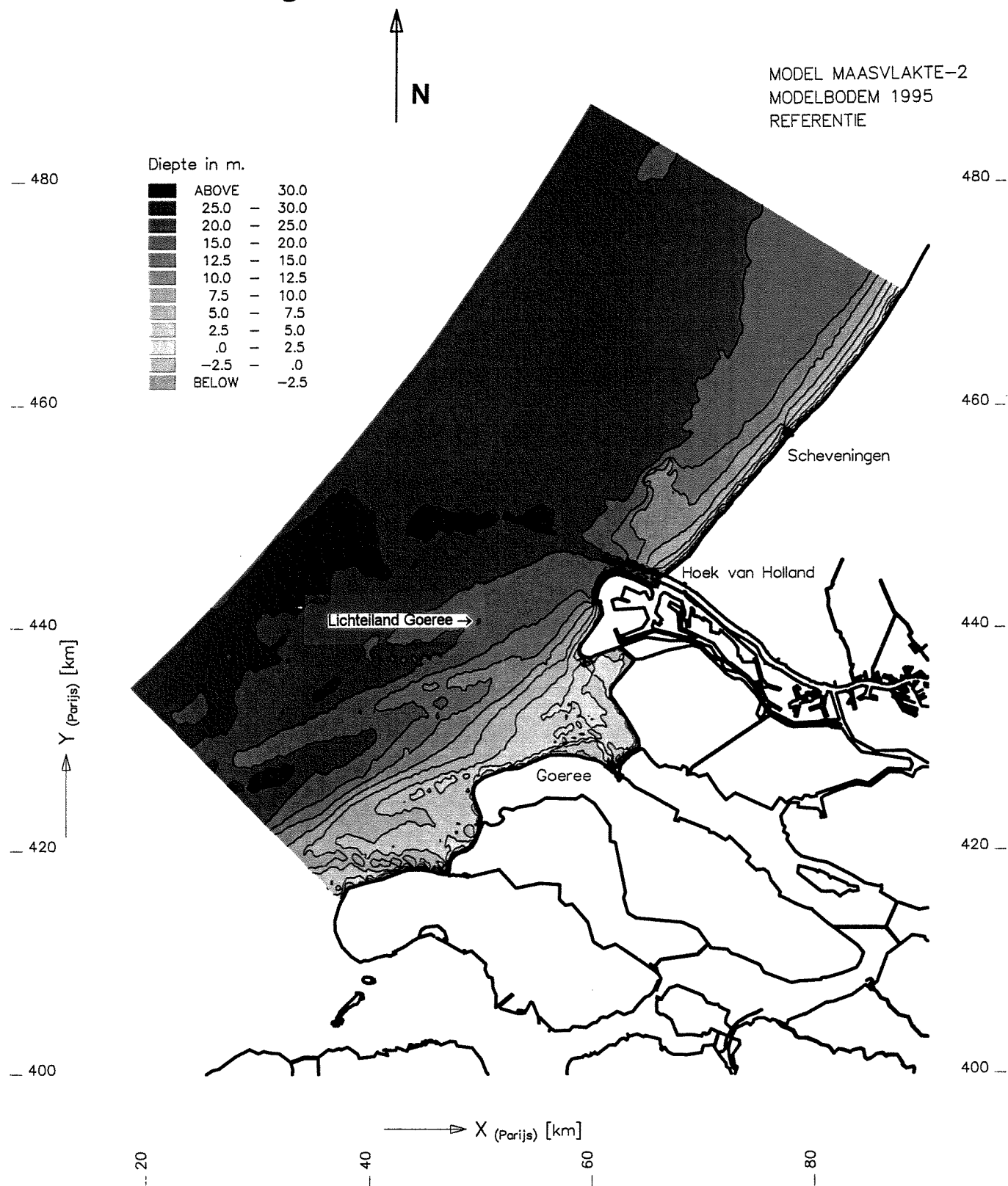
Lijst van figuren

Figuur 1: Noordelijke variant fase 1.....	7
Figuur 2: Noordelijke variant fase 2.....	7
Figuur 3: Layout van de beschouwde situatie.....	8
Figuur 4: Gemiddelde getijkromme te Hoek van Holland.....	11
Figuur 5: Overschrijdingsverdeling van de waterstand HW te Hoek van Holland.....	11
Figuur 6: Overschrijdingsverdeling van de significante golfhoogte H_s (Lichteiland Goeree 1979-1991).....	11
Figuur 7: Verdeling van hoogwater in sector West-Holland.....	12
Figuur 8: Verwachtingswaarde van H_s als functie van het stormvloedpeil.....	13
Figuur 9: Schematisatie transmissie volgens Goda.....	21
Figuur 10: Bezwijkmechanismen.....	22
Figuur 11: Golfkrachten bij een golftop volgens Goda.....	24
Figuur 12: Belastingen op de stortsteen fundering.....	26
Figuur 13: Belastingoverdracht op de ondergrond.....	27
Figuur 14: Schets van het beschouwde caisson.....	28
Figuur 15: Definitieschets van de geometrie.....	30
Figuur 16: Programmastructuur van het pascalprogramma CAISSON.....	31
Figuur 17: Overzicht van de belangrijkste resultaten.....	32
Figuur 18: Overzicht van de resultaten van de golfdrukberekeningen.....	32
Figuur 19: Overzicht van de resultaten van de funderingsberekeningen.....	32
Figuur 20: Invloed van de ontwerp golfhoogte.....	33
Figuur 21: Invloed van de hoek van inwendige wrijving ϕ	33
Figuur 22: Invloed van de golfsteilheid s_p op breedte B	33
Figuur 23: Invloed van de waterdiepte op de benodigde caissonhoogte en -breedte.....	34
Figuur 24: Invloed van de aanleghoogte van de drempel op de benodigde caissonhoogte en -breedte.....	34
Figuur 25: Invloed van de caissonlengte op de benodigde caissonbreedte.....	36
Figuur 26: Schematisatie van de uitvoering van drijvende (links) en niet-drijvende caissons (rechts).....	38
Figuur 27: Schematisatie van de plaatsing van een caisson op twee pontons met behulp van sluizen.....	39
Figuur 28: Verrijdbare vijzels in lange putten onder de caissons.....	39
Figuur 29: Opspuiten van een tijdelijke bouwplaats aan de rand van de huidige Maasvlakte.....	41
Figuur 30: Schematisatie van de pompsystemen.....	42
Figuur 31: Principeschets van sluitmiddelen voor de gaten onderin de wand van het caisson.....	43
Figuur 32: Principeschets van het leegzuigen van.....	44
Figuur 33: Near Shore Construction Vessel.....	46
Figuur 34: Principeschets van de plaatsing van caissons met twee NSCV's.....	48
Figuur 35: Schematisatie van de belasting op de wand bij extreem laag water.....	49
Figuur 36: Schematisatie van de horizontale belasting op de caissonwand door de ontwerp golf.....	50
Figuur 37: Schematisatie van de belasting op de wand bij een extreem golfdal.....	50
Figuur 38: Schematisatie van de hydrostatische belasting op het caisson tijdens drijvend transport.....	51
Figuur 39: Belastingen op een niet ondersteund vloerdeel.....	51
Figuur 40: Schematisatie van onvolledige ondersteuning van het caisson.....	52
Figuur 41: Funderingsdruk bij extreme golfbelasting.....	52
Figuur 42: Principeschets van de maximale belasting in lengterichting.....	53
Figuur 43: Schematisatie van de te berekenen dwarsdoorsnede en van het rek- en spanningsverloop.....	53
Figuur 44: Schematisatie van de bekistingsconstructie (horizontale doorsnede).....	56
Figuur 45: Principeschets van een trekbekisting (bron: HBG, de geschiedenis van de caissonbouw).....	57
Figuur 46: Structuurschema van het computerprogramma BETON.....	60
Figuur 47: Spanningen in een centrisc voorgespannen plaatdoorsnede in uiterste grenstoestand.....	63
Figuur 48: Rekenschema van de berekening van de caissonvloer.....	64
Figuur 49: Spanning in een excentrisch voorgespannen plaatdoorsnede in uiterste grenstoestand.....	64
Figuur 50: Belangrijkste resultaten van het programma BETON.....	67
Figuur 51: Uitvoerscherm met alternatieve oplossingen van het programma BETON.....	68
Figuur 52: Kosten van de stortstenen drempel, afhankelijk van de waterdiepte.....	69
Figuur 53: Kostenverdeling van het geoptimaliseerde caisson.....	69
Figuur 54: Definitieschets van het tracé.....	70

Lijst van tabellen

Tabel 1: Waterstanden uit verschillende statistische bronnen vergeleken.....	14
Tabel 2: Golfhoogtes uit verschillende bronnen vergeleken.....	14
Tabel 3: Bepalen van maatgevende golfperiodes	15
Tabel 4: Resulterende gegevens met betrekking tot de omgevingscondities.....	17
Tabel 5: Aangenomen afmetingen van de caissons.....	27
Tabel 6: Kosten van de drempel, de caissons en de totale golfbreker.....	71

Bijlage A: Lay-out en diepteligging van het golfbrekertracé



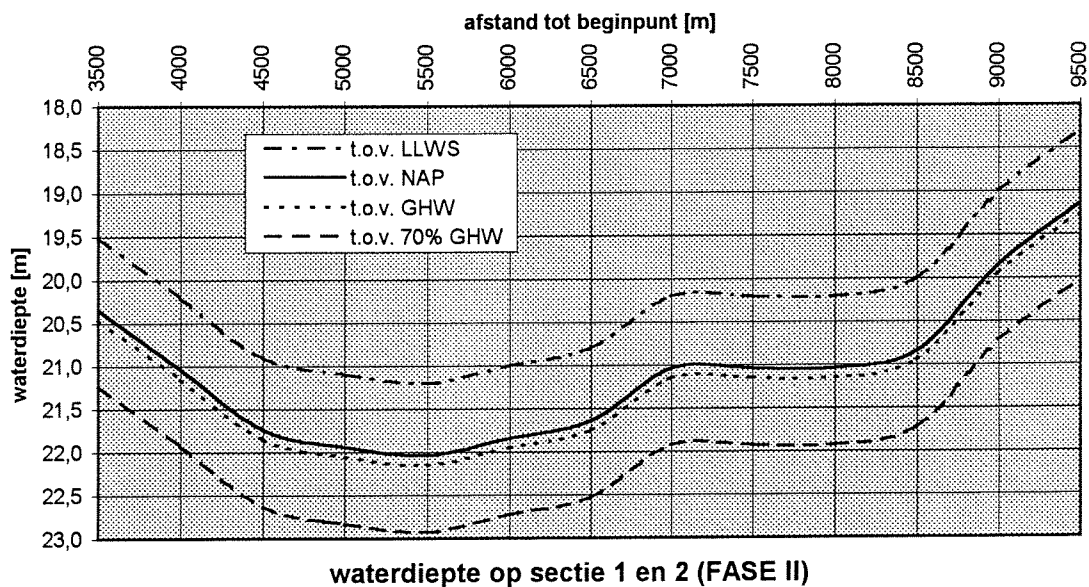
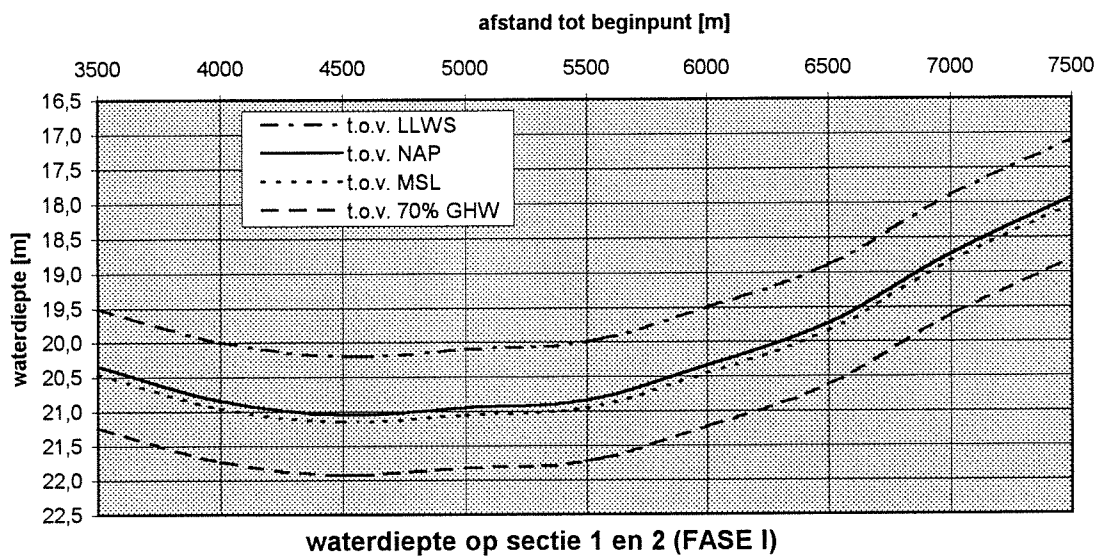
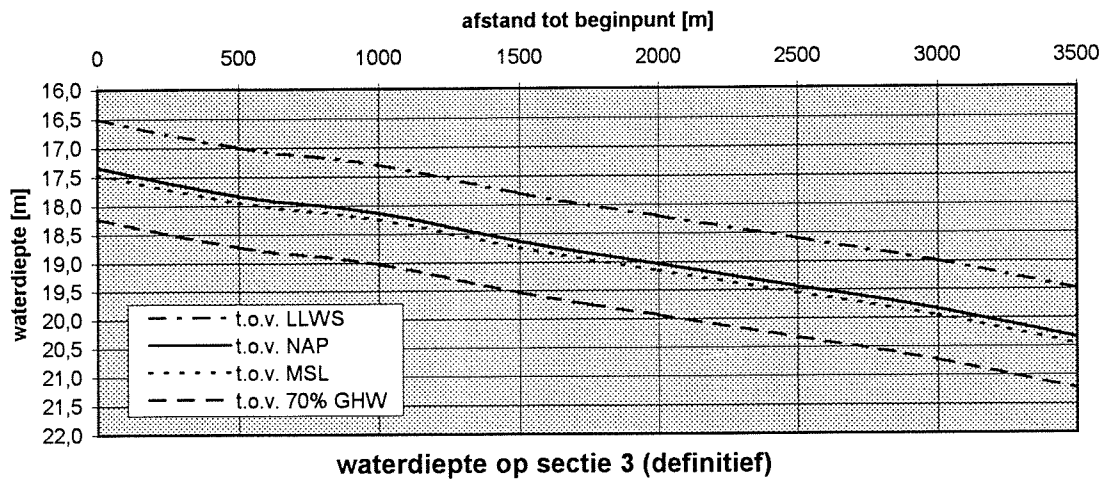
Figuur A.1: Dieptekaart van het kustgebied

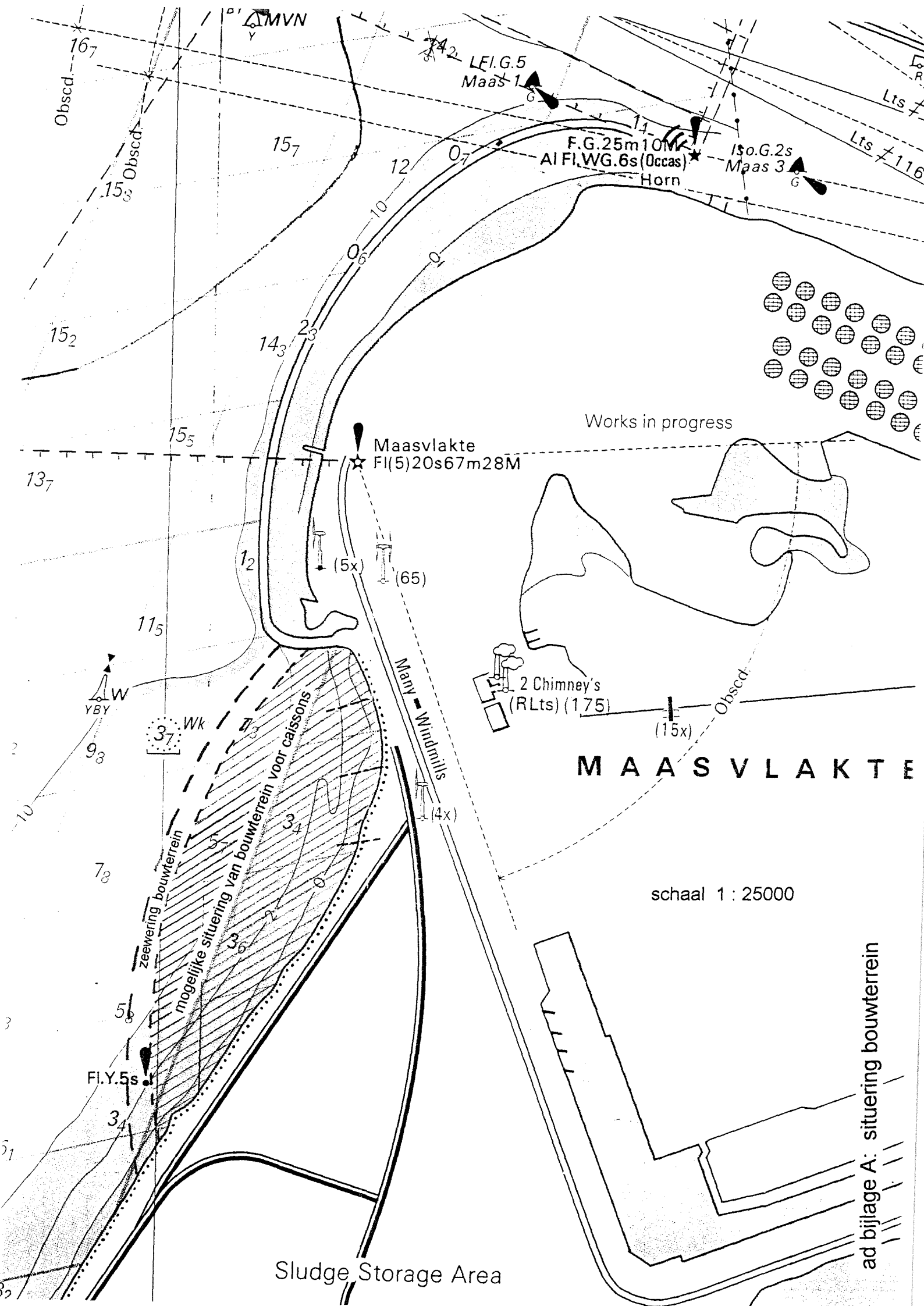
Op de bijgevoegde uitvouwkaart is de lay-out van de golfbreker in de eerste en tweede fase geschetst op een zeekaart. De op deze kaart aangegeven waterdieptes zijn gegeven ten opzichte van Chart Datum, dat gelijk is aan gemiddeld laag-laagwater (LLWS). Langs het profiel zijn schattingen gemaakt van de diepte door lineaire interpolatie tussen de waarden die het dichtst bij het beschouwde punt liggen.

Vervolgens zijn ook waarden berekend ten opzichte van NAP (LLWS + 0.84 m) en ten opzichte van mean sea level MSL (NAP + 0.11 m). Ook is een waarde voor de waterdiepte bepaald die gedurende een gemiddelde getijcyclus minimaal 3 uur wordt overschreden (dit is bij een waterstand van 70% van het gemiddeld hoogwater GHW (NAP +1.11 m)). Deze waarden zijn opgenomen in tabel A.1 en grafisch weergegeven op de volgende bladzijde.

Tabel A.1: Waterdiepte op het tracé

(werkvenster 3 uur)					
	afstand tot beginpunt [m]	t.o.v. LLWS [m]	t.o.v. NAP [m]	t.o.v. MSL [m]	t.o.v. 70% GHW [m]
DEFINITIEF sectie 3	0	16,5	17,3	17,5	18,2
	500	17,0	17,8	18,0	18,7
	1000	17,3	18,1	18,3	19,0
	1500	17,8	18,6	18,8	19,5
	2000	18,2	19,0	19,2	19,9
	2500	18,6	19,4	19,6	20,3
	3000	19,0	19,8	20,0	20,7
	3500	19,5	20,3	20,5	21,2
FASE I sectie 1 en 2	3500	19,5	20,3	20,5	21,2
	4000	20,0	20,8	21,0	21,7
	4500	20,2	21,0	21,2	21,9
	5000	20,1	20,9	21,1	21,8
	5500	20,0	20,8	21,0	21,7
	6000	19,5	20,3	20,5	21,2
	6500	18,9	19,7	19,9	20,6
	7000	17,9	18,7	18,9	19,6
FASE II sectie 1 en 2	7500	17,1	17,9	18,1	18,8
	3500	19,5	20,3	20,5	21,2
	4000	20,2	21,0	21,2	21,9
	4500	20,9	21,7	21,9	22,6
	5000	21,1	21,9	22,1	22,8
	5500	21,2	22,0	22,2	22,9
	6000	21,0	21,8	22,0	22,7
	6500	20,8	21,6	21,8	22,5
	7000	20,2	21,0	21,2	21,9
	7500	20,2	21,0	21,2	21,9
	8000	20,2	21,0	21,2	21,9
	8500	20,0	20,8	21,0	21,7
	9000	19,0	19,8	20,0	20,7
	9500	18,3	19,1	19,3	20,0





Bijlage B: Analyse van golf- en hoogwatergegevens

B.1 Verdelingsfunctie van H_s uit de voorwaardelijke k.d.f. van H_s

De voorwaardelijke verwachtingswaarde van H_s bij Hoek van Holland als functie van stormvloedpeil H is door Vrijling (1997) gedefinieerd door een parabool:

$$E_{Hs}(H) := a \cdot H^2 + b \cdot H + c$$

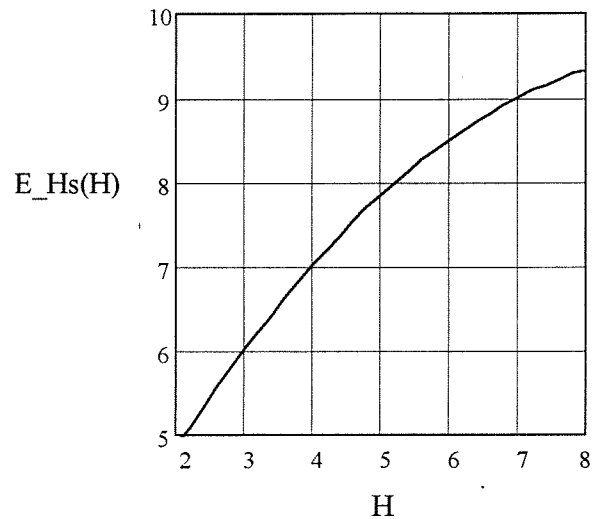
met:

$$a := -0.0833$$

$$b := 1.58 \quad H := 2, 2.2 \dots 8$$

$$c := 2.02$$

$$\sigma_{Hs} := 0.75$$



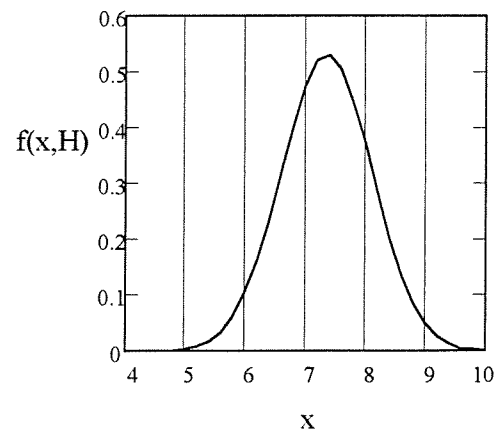
Figuur B.1: Voorwaardelijke verwachtingswaarden H_s

De voorwaardelijke kansdichtheidsfunctie van de significante golfhoogte H_s is normaal verdeeld:

$$f(x, H) := \frac{1}{\sigma_{Hs} \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\left[0.5 \cdot \left(\frac{x - E_{Hs}(H)}{\sigma_{Hs}}\right)^2\right]}$$

$$x := 1, 1.2 \dots 11$$

$$H := 4.40$$



De stormvloed H is gegeven door een Gumbel-kansdichtheidsverdeling (Vrijling, 1997):

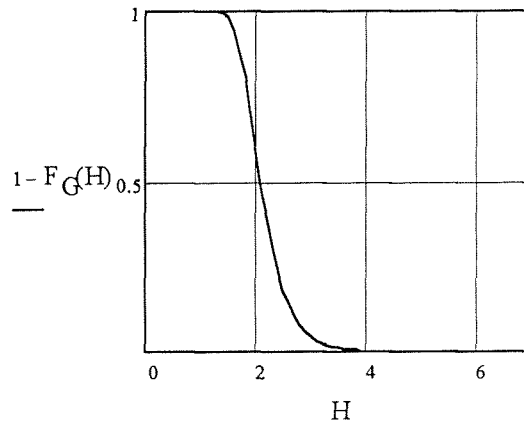
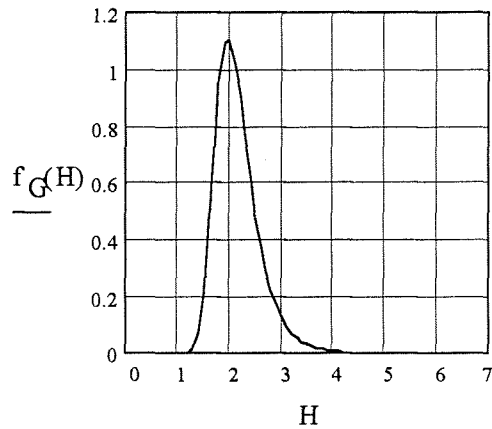
$$f_G(H) := \frac{1}{B} \cdot e^{-\frac{H-A}{B}} \cdot e^{-e^{-\frac{H-A}{B}}}$$

$$F_G(H) := e^{-e^{-\frac{H-A}{B}}}$$

$$A := 1.96$$

$$B := 0.331$$

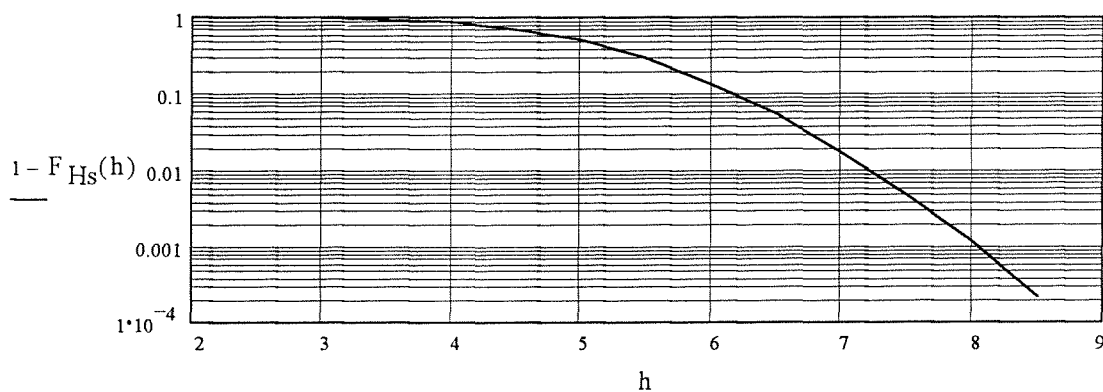
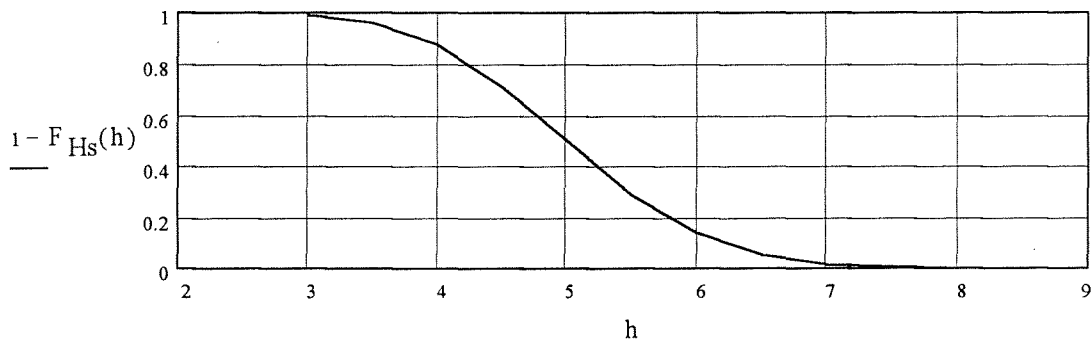
$$H := 0, 0.1 \dots 7$$



De verdelingsfunctie van de significante golfhoogte H_s wordt gevonden door integratie van de kansdichtheidsfuncties van H_s bij een bepaalde H vermenigvuldigd met de kansdichtheid bij die H :

$$F_{H_s}(h) := \int_0^h \int_0^7 f(x, H) \cdot f_G(H) \, dH \, dx$$

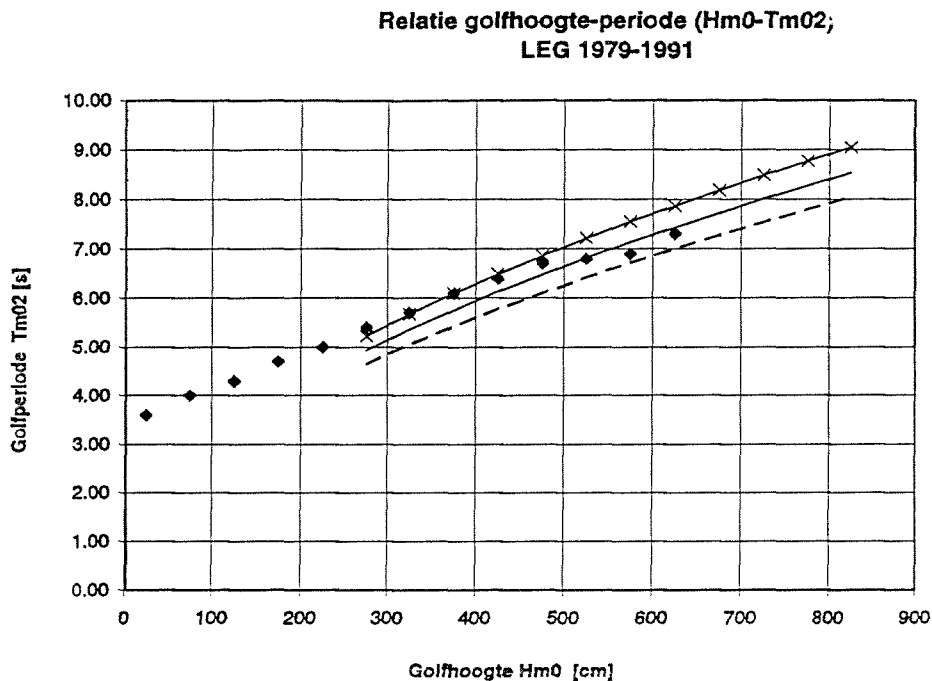
$$h := 3, 3.5 \dots 8.5$$



Uit de hier berekende verdelingsfuncties volgt:

$$\begin{aligned}
 1 - F_G(3.49) &= 0.01 & E_{H_s}(3.49) &= 6.52 \text{ [m]} \\
 1 - F_G(4.25) &= 0.001 & E_{H_s}(4.25) &= 7.23 \text{ [m]} \\
 & & E_{H_s}(4.40) &= 7.36 \text{ [m]} \\
 1 - F_{H_s}(7.23) &= 0.01 \\
 1 - F_{H_s}(8.06) &= 0.001
 \end{aligned}$$

B.2 Golfperiode T_z uit metingen van Lichteiland Goeree



Figuur B.2: Correlatie tussen de significante golfhoogte H_s en de nuldoorgangsp periode T_z

Met $s = H / (1.56 \cdot T^2)$ en $T_z = 0.7 \cdot T_p$ worden de golfsteilheden behorende bij de grafiek berekend:

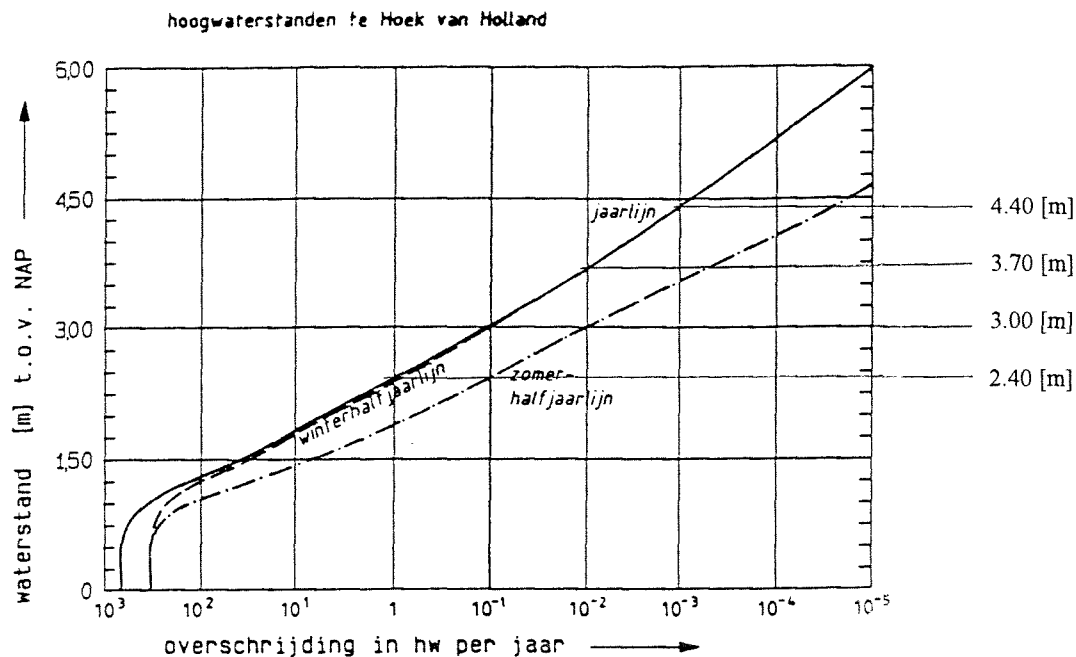
◆	data
—x—x—	steilheid $s_z = 6.5 \%$; $s_p = 3.2 \%$
————	steilheid $s_z = 7.2 \%$; $s_p = 3.5 \%$
- - - - -	steilheid $s_z = 8.2 \%$; $s_p = 4.0 \%$

Opmerking:

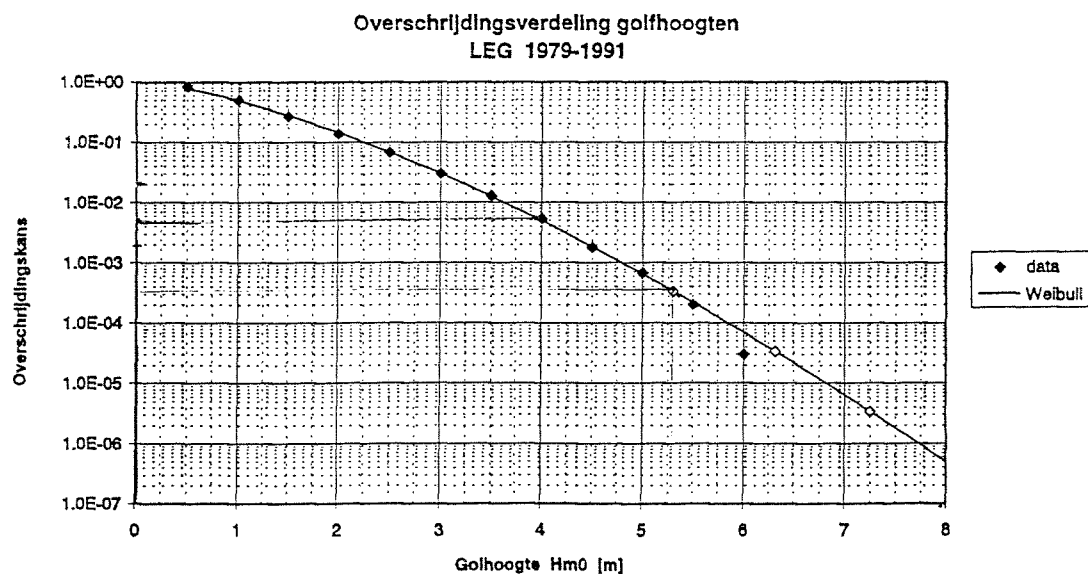
De hier gegeven metingen voor T_z zijn niet specifiek genoeg om T_p voor de belasting te bepalen. Ook is het beter om aparte grafieken te schetsen voor lage golven in verband met de werkbaarheid (deining) en voor de extreme golfhoogtes. Hiervoor zijn echter meer gegevens nodig. Omdat de golfperiode in de toegepaste berekening rechtstreeks uit H_s wordt bepaald wordt hier verder niet op ingegaan.

B.3 Grafische bepaling van HW en H_s uit grafieken

Onderstaande grafieken volgen uit metingen van Lichteiland Goeree (1979-1991).



Figuur B.3: Overschrijdingslijn van hoogwaterstanden HW



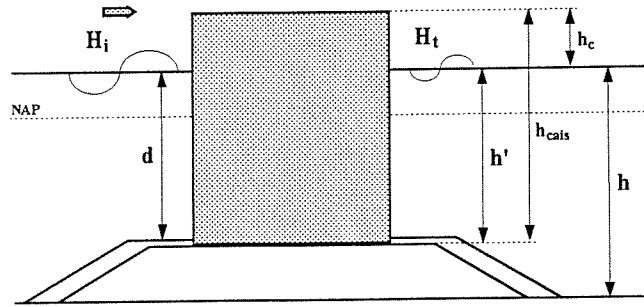
Figuur B.4: Overschrijdingslijn van de golfhoogte H_s

Bijlage C: Transmissie en overslag volgens Goda

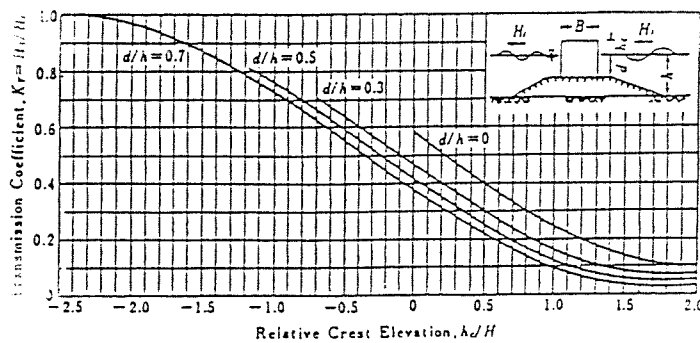
De kruinhoogte van de golfbreker wordt bepaald aan de hand van de ontwerpcriteria voor golftransmissie.

Goda [lit.5] hanteert hiervoor de in figuur C.2 en C.3 getoonde ontwerp grafieken.

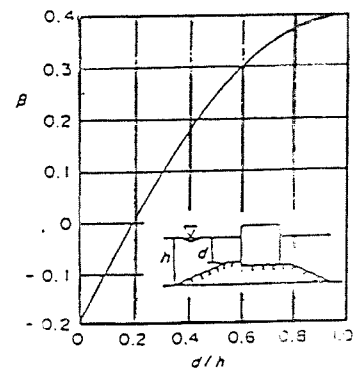
In figuur C.1 staat een schematisatie van de constructie met de variabelen die door Goda worden gehanteerd.



Figuur C.1: Schematisatie transmissie volgens Goda.



Figuur C.2: Transmissie volgens Goda (1969)



Figuur C.3: Nomogram voor het bepalen van β

In formulevorm:

$$K_T = \frac{H_T}{H_i}$$

$$\alpha = 2.2, \quad \beta = \text{zie nomogram}$$

$$K_T = \left[0.25 \cdot \left\{ 1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} \cdot \left(\frac{h_c}{H_i} + \beta \right) \right\}^2 + 0.01 \cdot \left(1 - \frac{h'}{h} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\text{voor } \beta - \alpha < \frac{h_c}{H_i} < \alpha - \beta$$

$$K_T = 0.1 \cdot \left(1 - \frac{h'}{h} \right)$$

$$\text{voor } \frac{h_c}{H_i} \geq \alpha - \beta$$

$$\text{Coëfficiënt } \beta \text{ kan worden benaderd door: } \beta = \left(\frac{d}{h} - 0.19 \right) - 0.41 \left(\frac{d}{h} \right)^{2.6}$$

Coëfficiënt α wordt door Goda niet gevarieerd bij transmissieberekeningen voor caissons.

Voor het berekenen van de overslag over de golfbreker kan de formule van Franco e.a. (1994) worden gebruikt:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_s^3}} = a \cdot \exp \left(-b \frac{h_c}{\gamma \cdot H_s} \right)$$

waarin:

- q = debiet ($\text{m}^3/\text{m/s}$)
- a, b = experimentele coëfficiënten
- γ = invloed van de geometrie

Voor een rechthoekige vorm geldt:

- a = 0.192
- b = 4.3
- γ = 1

Bijlage D: De lineaire golftheorie

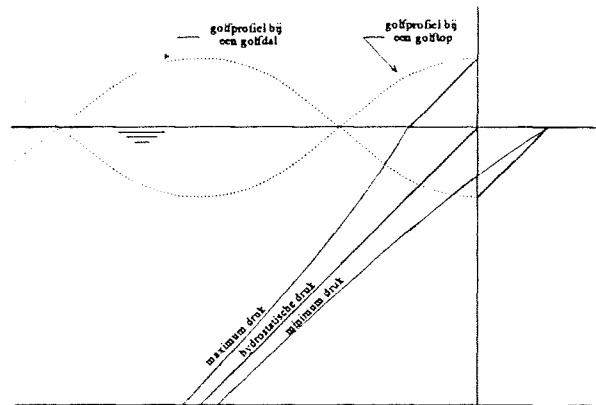
D.1 Drukverdeling

Volgens de lineaire golftheorie kan de drukverdeling op een verticale muur als volgt beschreven worden:

$$p = -\rho_w g z + \rho_w g A \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cos \omega t$$

waarin:

- $A = (1+\alpha) \cdot \frac{1}{2} H_d$ = de maximum golfamplitude
- α = de reflectiecoëfficiënt van de verticale wand
- H_d = de hoogte van de ontwerpgolf
- g = de versnelling van de zwaartekracht
- ρ_w = de massadichtheid van (zee)water
- h = de waterdiepte
- z = de verticale afstand vanaf het gem. wateropp.
- k = het golfgetal = $2\pi/L$
- L = de golflengte
- ω = de hoekfrequentie van de golf
- t = de tijd



Figuur D.1: Golfdruk bij een staande golf

Bij het berekenen van de stabiliteit van de constructie bij golfbelasting wordt alleen de belasting van een golftop tegen de constructie beschouwd. De belastingsituatie bij een golfdal wordt hier niet maatgevend geacht, hetgeen overigens niet per definitie het geval is.

Bij een gelijke waterstand aan beide zijden van de verticale constructie resteert voor evenwichtsberekeningen alleen de component van de golfdruk op de constructie. Het maximale resulterende drukverloop kan dan als volgt worden geschetst:

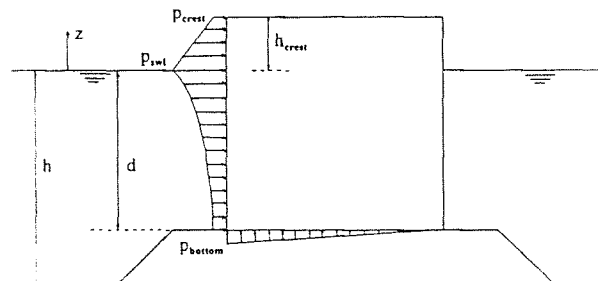
$$p(z) = \rho_w g A \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad , \text{ voor } -d < z < 0$$

waaruit volgt:

$$p_{\text{crest}} = \rho_w g (A - h_{\text{crest}})$$

$$p_{\text{swl}} = \rho_w g A$$

$$p_{\text{bottom}} = \rho_w g A \cdot \frac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh}$$



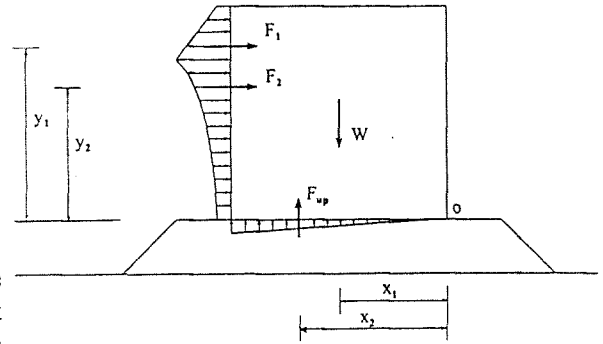
Figuur D.2: Golfdruk bij een golftop

Door integratie van de druk over de diepte wordt de resulterende horizontale kracht die door het water op de constructie wordt uitgeoefend verkregen.

Hieruit volgt:

$$F_1 = 0.5(p_{\text{crest}} + p_{\text{swl}})h_{\text{crest}}$$

$$F_2 = p_{\text{swl}} \frac{\sinh kh - \sinh k(h-d)}{k \cosh kh}$$



De opwaartse golfkracht die door het water op de bodem van de constructie wordt uitgeoefend wordt gevonden door integratie van de druk over de breedte van de constructie.

Figuur D.3: Golfkrachten bij een golftop

Hieruit volgt:

$$F_{\text{up}} = 0.5 \cdot p_{\text{bottom}} \cdot B$$

De resulterende horizontale en verticale belastingen worden dan respectievelijk:

$$F_{\text{horiz}} = F_1 + F_2$$

$$F_{\text{vert}} = W - F_{\text{up}}$$

D.2 Afschuiven

Afschuiving van het caisson treedt op wanneer de horizontale belasting op het caisson groter is dan de maximale wrijvingskracht tussen de onderkant van het caisson en de fundering. Voor de stabiliteit wordt vereist dat:

$$F_{\text{horiz}} \leq F_{\text{vert}} \cdot \tan \mu$$

waarin μ = de wrijvingshoek tussen caisson en fundering.

D.3 Kantelen

Onder kantelen wordt verstaan het draaien van het caisson om een willekeurige as. Wanneer in dit rapport over kantelen gesproken wordt, moet het kantelen om de hiel van het caisson worden verstaan. Bij beschouwing van de stabiliteit van het caisson wordt dan het moment om de hiel van het caisson beschouwd. Het aandrijvend moment bedraagt:

$$M_{\text{aan}} = F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + F_{\text{up}} \cdot x_2$$

en het terugdrijvend moment bedraagt:

$$M_{\text{terug}} = W \cdot x_1$$

De stabiliteitseis wordt dan:

$$M_{\text{aan}} < M_{\text{terug}}$$

Bijlage E: Ontwerpformules voor caissons volgens Goda

E 1. Inleiding

Voor de berekening van golfkrachten op een verticale constructie wordt in de formule van Goda uitgegaan van een caisson op een fundering van storsteen, zoals geschematiseerd figuur E.1.

E 2. Gebruikte parameters

B_m	=	Bermbreedte
B	=	Breedte caisson
d	=	Waterdiepte
g	=	Versnelling van de zwaartekracht
h	=	Waterdiepte
h_c	=	Hoogte van caisson boven stilwaterniveau
h'	=	Hoogte van caisson onder stilwaterniveau
h_b	=	Waterdiepte op een afstand $5 \cdot H_{1/3}$ van het caisson $\approx h$
H_{max}	=	Ontwerp golfhoogte (Goda adviseert $1.8 \cdot H_{1/3}$)
L	=	Golflengte
M_p	=	Moment rond de hiel van het caisson veroorzaakt door de horizontale golfdruk
M_u	=	Moment rond de hiel van het caisson veroorzaakt door de opwaartse druk t.g.v. golven
P	=	Totale golfkracht tegen caisson
p_1	=	Golfdrukken (zie tekening)
U	=	Totale opwaartse kracht t.g.v. golven
W	=	Gewicht van constructie t.o.v. water in rust
α_i, δ_i	=	Coëfficiënten
β	=	Hoek van inval van de golven (Goda adviseert een correctie van 15° richting een lijn loodrecht op de golfbreker, aangezien de golfrichting altijd enigszins varieert.)
n^*	=	Hoogte tot waar de golfdruk zich uitstrekt
ρ	=	Soortelijke massa van zeewater

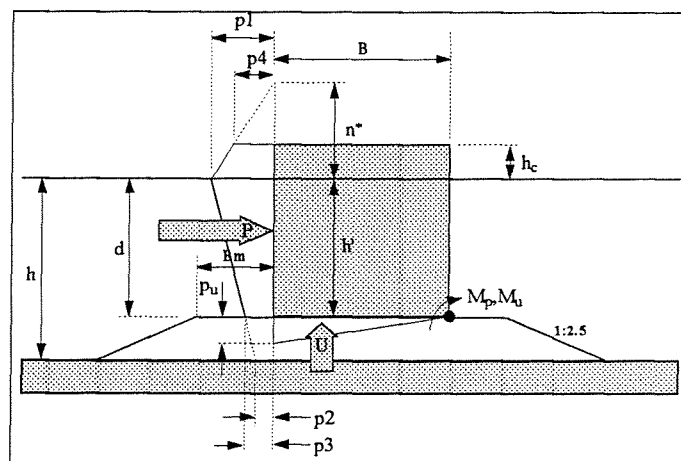
E.3 Horizontale drukken

De drukken onder en tegen het caisson worden geschematiseerd m.b.v. driehoekige drukverdelingen (zie figuur E.1).

$$p_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta) \rho g H_{max}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h / L)}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$



Figuur E.1: Schematisatie drukverdeling volgens Goda

De alpha's in deze formule worden uitgerekend met de volgende formules:

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h / L}{\sinh(4\pi h / L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d \left(\frac{H_{\max}}{d} \right)^2}{3h_b}, \frac{2d}{H_{\max}} \right\}$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h / L)} \right]$$

E.4 Verticale druk

De verticale druk onder het caisson wordt gedefinieerd als:

$$p_u = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \alpha_1 \alpha_3 \rho g H_{\max}$$

E.5 Golfklappen tegen de constructie

De invloed van golfklappen tegen de constructie kan worden verdisconteerd door een hogere horizontale druk te berekenen. Daarom wordt druk p_1 , zoals in de hierbovenstaande formule is uitgerekend, vervangen door de volgende druk:

$$p_1 = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) (\alpha_1 + \alpha^* \cos^2 \beta) \rho g H_{\max}$$

De coëfficiënt α^* in deze formule staat voor de invloed van de dynamische golfdruk. Deze α^* wordt bepaald m.b.v. de volgende formules:

$$\alpha^* = \max \{ \alpha_2, \alpha_1 \}$$

$$\alpha_{10} = \begin{cases} H / d & : H \leq 2d \\ 2 & : H > 2d \end{cases}$$

$$\alpha_{11} = \begin{cases} \cos \delta_2 / \cosh \delta_1 & : \delta_2 \leq 0 \\ 1 / [\cosh \delta_1 \sqrt{\cosh \delta_2}] & : \delta_2 > 0 \end{cases}$$

waarin:

$$\alpha_1 = \alpha_{10} \alpha_{11}$$

α_2 = zie boven

De delta's worden vervolgens bepaald met:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= 20 \cdot \delta_{11} & \delta_{11} &\leq 0 \\ &= 15 \cdot \delta_{11} & \delta_{11} &> 0 \\ \delta_2 &= 4.9 \cdot \delta_{22} & \delta_{22} &\leq 0 \\ &= 3 \cdot \delta_{22} & \delta_{22} &> 0 \\ \delta_{11} &= 0.93 \cdot (B_m/L - 0.12) + 0.36 \cdot [(h-d)/h - 0.6] \\ \delta_{22} &= -0.36 \cdot (B_m/L - 0.12) + 0.93 \cdot [(h-d)/h - 0.6] \end{aligned}$$

E.6 Berekening van de krachten en momenten

De totale horizontale kracht tegen de constructie is gelijk aan:

$$P = \frac{1}{2}(p_1 + p_3)h' + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)h_c^*$$

Het moment veroorzaakt door deze kracht is gelijk aan:

$$M_p = \frac{1}{6}(2p_1 + p_3)h'^2 + \frac{1}{2}(p_1 + p_4)h'h_c^* + \frac{1}{6}(p_1 + 2p_4)h_c^{*2}$$

Hierin is:

$$p_4 = \begin{cases} p_1(1 - h_c / n^*) & : n^* > h_c \\ 0 & : n^* \leq h_c \end{cases}$$

$$h_c^* = \min\{n^*, h_c\}$$

$$n^* = 0.75 \cdot (1 + \cos \beta) \cdot H_d$$

De totale opwaartse kracht is dan:

$$U = \frac{1}{2} p_u B$$

en het moment veroorzaakt door deze kracht:

$$M_u = \frac{2}{3} UB = \frac{1}{6} p_u B^2$$

De veiligheidsfactoren tegen afschuiven en kantelen kunnen worden uitgerekend met de volgende formules:

$$f_{\text{afschuiven}} = \frac{\mu(W - U)}{P - G}$$

$$f_{\text{kantelen}} = \frac{W_t - M_u}{M_p - M_G}$$

De maximale hieldruk onder het caisson kan worden geschat met:

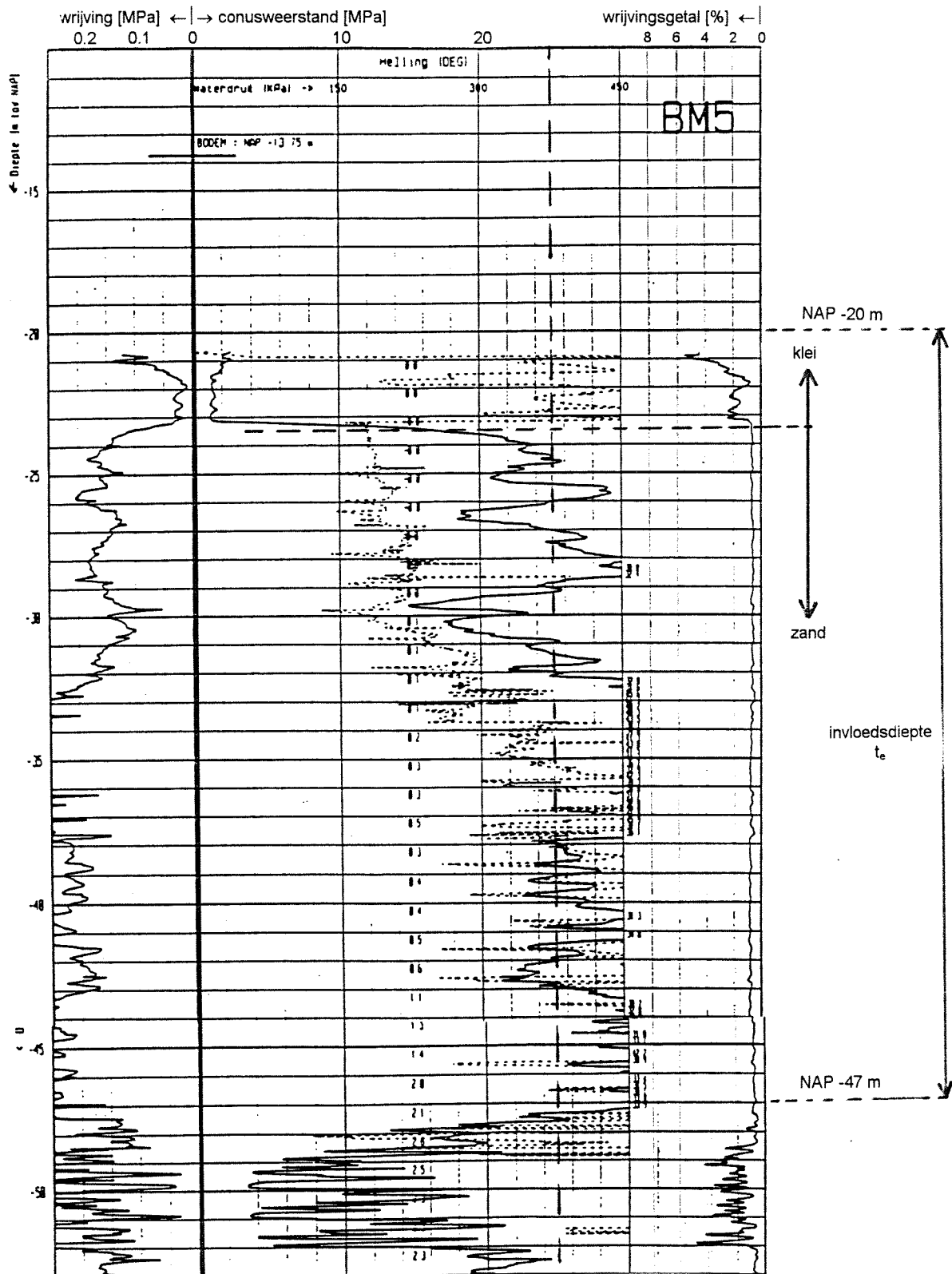
$$p_e = \begin{cases} \frac{2W_e}{3t_e} & : t_e \leq \frac{1}{3} B \\ \frac{2W_e}{B} \left(2 - 3 \frac{t_e}{B}\right) & : t_e > \frac{1}{3} B \end{cases}$$

waarin:

$$t_e = \frac{M_e}{W_e}, \quad M_e = W_t - M_u - M_p + M_G, \quad W_e = W - U$$

Bijlage F: Sondering en de bepaling van ϕ van de ondergrond

F.1 Sondering ter plaatse van de Europahaven, Rotterdam



Figuur F1: Sondering BM5, Europahaven

F.2 Bepalen van ϕ van de ondergrond

F.2.1 Invloedsdiepte t_e

Om de wrijvingshoek van de ondergrond te kunnen bepalen wordt allereerst de invloedsdiepte t_e vastgesteld. Tot deze diepte wordt de draagkracht van de ondergrond op de proef gesteld. Volgens NEN 6744 is de invloedsdiepte gelijk aan $1.5 \cdot B_e$, waarin B_e de effectieve breedte van de constructie is. B_e wordt geschat op $0.6 \cdot B$. Breedte B wordt geschat op 30 meter. Hieruit volgt dat invloedsdiepte $t_e = 27$ meter.

F.2.2 Verdeling in twee lagen

De bovenste laag van het grondpakket bestaat uit klei. Omdat deze laag een sterk reducerend effect heeft op de totale draagkracht van de ondergrond wordt de ondergrond niet beschouwd op het diepste punt van het tracé, omdat daar het reducerende effect van de kleilaag gering is. Het deel van het tracé waar de golfbreker belast wordt door zware golfaanval ligt beneden NAP -20 m. Het grondpakket wordt daarom vanaf deze diepte beschouwd.

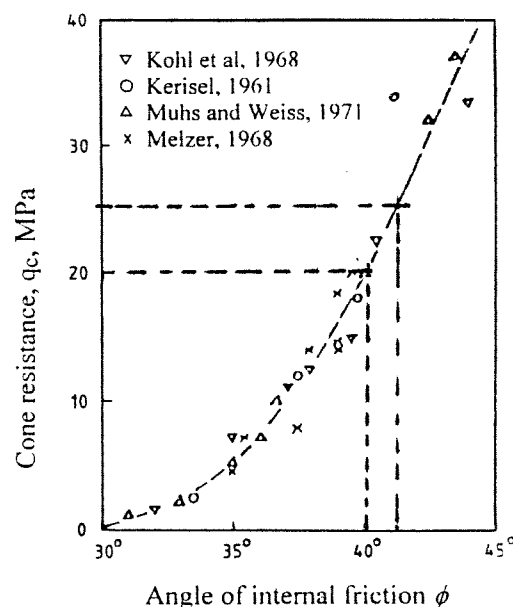
Ter vereenvoudiging wordt het grondpakket verdeeld in twee lagen met de volgende eigenschappen:

	van NAP [m]	tot NAP [m]	laagdikte [m]	gemiddelde conusweerstand [MPa]	gemiddeld wrijvingsgetal [%]
laag 1	-20.0	-23.5	$H_1 = 3.5$	1.5	3
laag 2	-23.5	-47.0	$H_2 = 23.5$	25	0.8

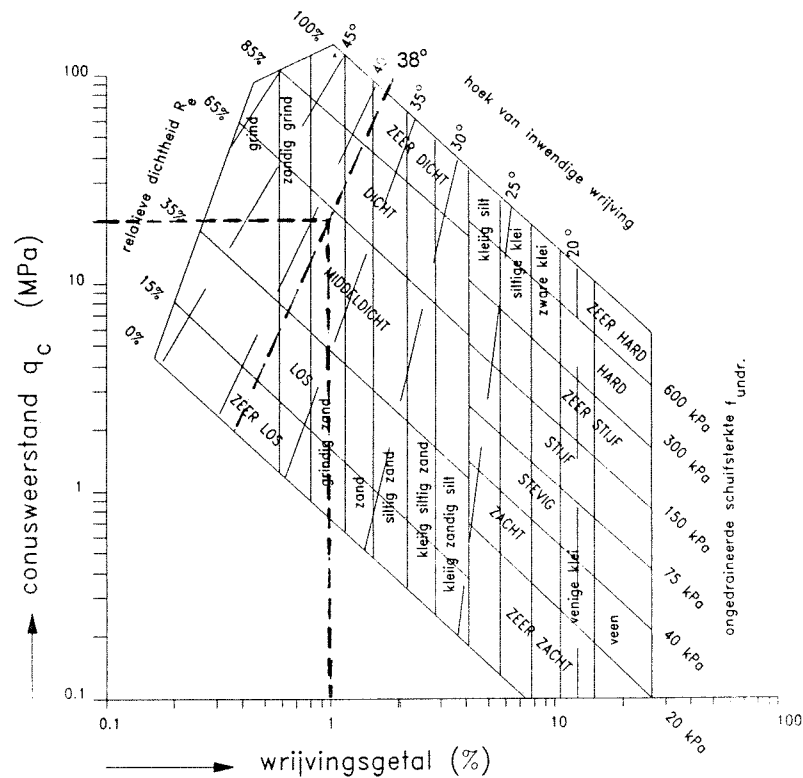
F.2.3 Bepaling van ϕ voor de verschillende lagen

Voor het vaststellen van de ϕ voor beide lagen wordt gebruik gemaakt van het diagram in figuur F3, ontleend aan een CUR-publicatie over damwandconstructies [lit.16], en van de tabel uit NEN 6744 (zie figuur F.4).

Voor laag 2 wordt ook een vergelijking gemaakt met de grafiek die hiernaast getoond wordt.



Figuur F.2: Verband tussen conusweerstand en ϕ , onafhankelijk van de effectieve spanning, volgens diverse auteurs [lit. 15].



Figuur F.3: Relatie conusweerstand, wrijvingsgetal en grondsoort met een indicatie van de grondeigenschappen

Voor laag 1 wordt in het diagram in figuur F.3 een ϕ_1 gevonden van ongeveer 27° . Om een veilige benadering te hanteren wordt de ϕ -waarde van 22.5° voor zwak zandige klei uit de NEN-tabel gehanteerd.

Voor laag 2 volgt uit het diagram een ϕ_2 van 38° . Uit de grafiek in figuur F2 volgt zelfs een nog hogere waarde. De NEN-tabel schrijft voor een waarde van 35° tot 40° aan te houden voor schoon, vast zand met een conusweerstand van 25 MPa. In de berekening voor de gemiddelde ϕ wordt een waarde van $\phi_2 = 38^\circ$ verwerkt.

F.2.4 Bepaling van de ϕ voor de ondergrond

Voor een grondpakket bestaande uit twee lagen wordt ϕ_{gem} volgens NEN 6744 als volgt berekend:

$$\phi_{\text{gem}} = \frac{H_1 \cdot \phi_1 \cdot (t_e + 0.5 \cdot H_1 - H_1) + H_2 \cdot \phi_2 \cdot (t_e + 0.5 \cdot H_2 - H_1 - H_2)}{H_1 \cdot (t_e + 0.5 \cdot H_1 - H_1) + H_2 \cdot (t_e + 0.5 \cdot H_2 - H_1 - H_2)}$$

$$\phi_{\text{gem}} = \frac{3.5 \cdot 22.5 \cdot (27 - 0.5 \cdot 3.5) + 23.5 \cdot 38 \cdot (27 - 0.5 \cdot 23.5 - 3.5)}{3.5 \cdot (27 - 0.5 \cdot 3.5) + 23.5 \cdot (27 - 0.5 \cdot 23.5 - 3.5)} = 34.24^\circ$$

Voor de berekeningen wordt $\phi_{\text{ondergrond}} = 34^\circ$ gehanteerd.

Tabel 1 – Representatieve waarden voor grondeigenschappen

grondsoort		representatieve gemiddelde waarde van de grondeigenschappen												
hoofd-naam	bijmengsel	consisten- tie ¹⁾	γ ²⁾ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	q_c ^{3) 6)} MPa	C'_p	C'_s	C_c	C_a ⁵⁾	C_{sw}	E ⁶⁾ MPa	ϕ' °	c' kPa	f_{undr} kPa
grind	zwak siltig	los	17	19	15	500	–	0,008	0	0,003	75	32,5	n.v.t.	n.v.t.
		matig	18	20	25	1000	–	0,004	0	0,002	125	35		
		vast	19 of 20	21 of 22	30	1200 of 1400	–	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	150 of 200	37,5 of 40		
	sterk siltig	los	18	20	10	400	–	0,009	0	0,003	50	30	n.v.t.	n.v.t.
matig	19	21	15	600	–	0,006	0	0,002	75	32,5				
vast	20 of 21	22 of 22,5	25	1000 of 1500	–	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	125 of 150	35 of 40				
zand	schoon	los	17	19	5	200	–	0,021	0	0,007	25	30	n.v.t.	n.v.t.
		matig	18	20	15	600	–	0,006	0	0,003	75	32,5		
	vast	19 of 20	21 of 22	25	1000 of 1500	–	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	125 of 150	35 of 40			
	zwak siltig kleiig sterk siltig kleiig		18 of 19	20 of 21	12	450 of 650	–	0,008 of 0,005	0	0,003 of 0,001	25 of 35	27 of 32,5	n.v.t.	n.v.t.
		18 of 19	20 of 21	8	200 of 400	–	0,019 of 0,009	0	0,006 of 0,001	20 of 30	25 of 30			
leem ⁴⁾	zwak zandig	slap	19	19	1	25	650	0,168	0,004	0,056	2	27,5 of 30	0	50
		matig	20	20	2	45	1300	0,084	0,002	0,028	5	27,5 of 32,5	2	100
	vast	21 of 22	21 of 22	3	70 of 100	1900 of 2500	0,049 of 0,030	0,001	0,017 of 0,005	10 of 20	27,5 of 35	5 of 7,5	200 of 300	
	sterk zandig		19 of 20	19 of 20	2	45 of 70	1300 of 2000	0,092 of 0,055	0,002	0,031 of 0,005	5 of 10	27,5 of 35	0 of 2	50 of 100
klei	schoon	slap	14	14	0,5	7	80	1,357	0,013	0,452	1	17,5	0	25
		matig	17	17	1,0	15	160	0,362	0,006	0,121	2	17,5	10	50
		vast	19 of 20	19 of 20	2,0	25 of 30	320 of 500	0,168 of 0,126	0,004	0,056 of 0,042	4 of 10	17,5 of 25	25 of 30	100 of 200
	zwak zandig	slap	15	15	0,7	10	110	0,759	0,009	0,253	1,5	22,5	0	40
		matig	18	18	1,5	20	240	0,237	0,005	0,079	3	22,5	10	80
	vast	20 of 21	20 of 21	2,5	30 of 50	400 of 600	0,126 of 0,069	0,003	0,042 of 0,014	5 of 10	22,5 of 27,5	25 of 30	120 of 170	
sterk zandig	–	18 of 20	18 of 20	1,0	25 of 140	320 of 1680	0,190 of 0,027	0,004	0,063 of 0,025	2 of 5	27,5 of 32,5	0 of 2	0 of 10	
organisch	slap	13	13	0,2	7,5	30	1,690	0,015	0,550	0,5	15	0 of 2	10	
	matig	15 of 16	15 of 16	0,5	10 of 15	40 of 60	0,760 of 0,420	0,012	0,250 of 0,140	1,0 of 2,0	15	0 of 2	25 of 30	
veen	niet voorbelast	slap	10 of 12	10 of 12	0,1	5 of 7,5	20 of 30	7,590 of 1,810	0,023	2,530 of 0,600	0,2 of 0,5	15	2 of 5	10 of 20
	matig voorbelast	matig	12 of 13	12 of 13	0,2	7,5 of 10	30 of 40	1,810 of 0,900	0,016	0,600 of 0,300	0,5 of 1,0	15	5 of 10	20 of 30
variatiecoëfficiënt			0,05		–	0,25						0,10	0,20	

De tabel geeft de lage representatieve waarde van gemiddelden van de betreffende grondsoort. Binnen een gebied, gedefinieerd door de rij van het bijmengsel en de kolom van de parameter (een "vakje"), geldt:

- voor γ , γ_{sat} , C_p , C_s , E , ϕ' , c' en f_{undr} : als een verhoging van de waarde leidt tot een ongunstige situatie (grotere afmetingen fundering), dan moet de rechterwaarde op dezelfde regel zijn gebruikt, of, indien er geen rechterwaarde is vermeld, de waarde op de regel eronder;
- voor C_c , C_a en C_{sw} : als een verlaging van de waarde leidt tot een ongunstige situatie, dan moet de rechterwaarde op dezelfde regel zijn gebruikt, of, indien er geen rechterwaarde is vermeld, de waarde op de regel daaronder.

1) los : $0 < R_n < 0,33$
matig : $0,33 \leq R_n \leq 0,67$
vast : $0,67 < R_n < 1,00$

2) bij natuurlijk vochtgehalte

3) hier gegeven q_c -waarden (conusweerstand) dienen als ingang in de tabel, en mogen niet worden gebruikt in berekeningen

4) gerekend wordt verzadigde leem

5) C_a -waarden zijn geldig voor een spanningsverhogingsstraject van ten hoogste 100 %.

6) q_c en E zijn genormeerd op een effectieve verticale spanning van 100 kPa. Om een juiste ingang in de tabel via q_c te verkrijgen zijn de gemeten waarden van q_c te converteren naar een effectief verticaal spanningsniveau van 100 kPa. De conversiefactor C_N moet worden bepaald met de grafiek in figuur 2A.

Figuur F.4: Representatieve waarden voor grondeigenschappen (TGB 1990: NEN 6744)

september 1993

Bijlage G: Grond draagvermogen volgens Brinch-Hansen¹

G.1 Prandtl

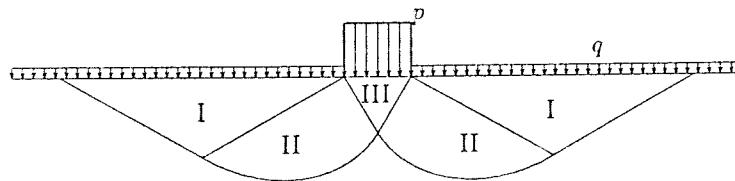
De berekeningsmethode van Prandtl voor het berekenen van het draagvermogen van grond gaat uit van een strokenfundering (een oneindig lange stripvormige belasting op een dikke laag grond). Uitgebreid met een term voor het eigen gewicht van grond luidt de formule:

$$p_{toel} = cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

waarin:

- c = de cohesie van grond
- q = de bovenbelasting
- γ = het volumegewicht van grond
- B = de breedte van de belaste strook

De schematisatie van de belasting is gegeven in figuur G1.



Figuur G.1: De wig van Prandtl.

N_c , N_q , N_γ zijn dimensieloze constanten die worden bepaald met de volgende uitdrukkingen:

$$N_q = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\pi \tan \varphi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = \frac{3}{2} (N_q - 1) \tan \varphi$$

Voor het limietgeval $\varphi \rightarrow 0$ geldt dat $N_c = 2 + \pi$.

G.2 Coëfficiënten van Brinch-Hansen

Door Brinch-Hansen en anderen is de basisformule uitgebreid met een groot aantal reductiefactoren voor onder andere de vorm van de fundering en de richting van de belasting. De formule voor het grond draagvermogen, uitgebreid met de reductie factoren luidt dan:

$$p_{toel} = s_c i_c N_c c + s_q i_q N_q q + s_\gamma i_\gamma N_\gamma \frac{1}{2} \gamma B_e$$

waarin:

- i_c, i_q, i_γ = de factoren voor de belastingrichting
- s_c, s_q, s_γ = de vormfactoren
- B_e = de effectieve breedte

¹ ontleend aan A. Verruijt, grondmechanica [lit.8]

G.3 De effectieve breedte

De excentriciteit van de belasting is:

$$e = M_B / V$$

De effectieve breedte wordt dan:

$$B_e = B - 2e$$

waarin:

M_B = het moment om het midden van de belaste strook

V = de verticale kracht

G.4 Factoren voor de richting van de belasting

Als naast een verticale belasting ook een horizontale belasting werkzaam is, wordt de bezwijkbelasting gereduceerd. Dan moeten de coëfficiënten N_c , N_q en N_γ gereduceerd worden met de volgende factoren:

$$i_c = 1 - \frac{t}{c + p \tan \varphi}$$

$$i_q = i_c^2$$

$$i_\gamma = i_c^3$$

Hierin is $p = V/B_e$ en $t = H/B_e$, met V en H respectievelijk de verticale en horizontale kracht per meter lengte van het caisson.

Uiteraard zal de horizontale belasting kleiner moeten zijn dan de kracht waarbij afschuiving zou optreden:

$$t < c + p \cdot \tan \varphi$$

G.5 Vormfactoren

Als de fundering niet de vorm van een oneindig lange strook heeft, maar rechthoekig van vorm is, met effectieve breedte B_e en effectieve lengte L_e (waarbij $L_e \geq B_e$), worden de volgende vormfactoren gebruikt:

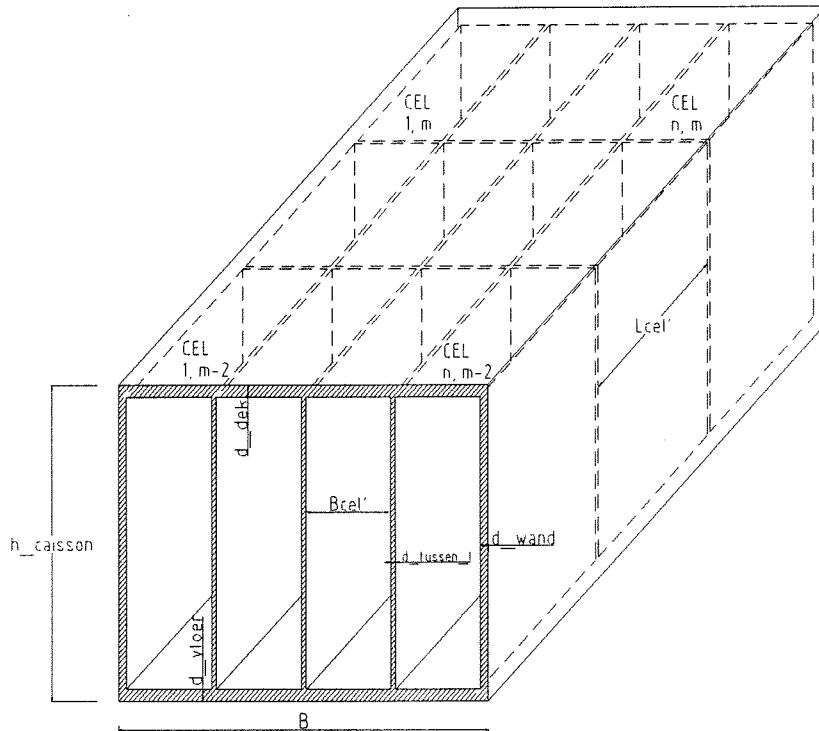
$$s_c = 1 + 0.2 \frac{B_e}{L}$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi \frac{B_e}{L}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B_e}{L}$$

Bijlage H: Schets en gewichtsberekening van het caisson

H.1 Schets van het caisson



H.2 Hoeveelheid beton per caisson in m³

$$\begin{aligned}
 V_{\text{vloer}} &= B_{\text{caisson}} \cdot L_{\text{caisson}} \cdot d_{\text{vloer}} \\
 V_{\text{wanden}} &= 2 \cdot (h_{\text{caisson}} - d_{\text{vloer}}) \cdot L_{\text{caisson}} \cdot d_{\text{wand}} \\
 V_{\text{kopschotten}} &= 2 \cdot (h_{\text{caisson}} - d_{\text{vloer}}) \cdot (B_{\text{caisson}} - 2 \cdot d_{\text{wand}}) \cdot d_{\text{kop}} \\
 V_{\text{dek}} &= (B_{\text{caisson}} - 2 \cdot d_{\text{wand}}) \cdot (L_{\text{caisson}} - 2 \cdot d_{\text{kop}}) \cdot d_{\text{dek}} \\
 V_{\text{tussenwanden, lengte}} &= (n-1) \cdot (h_{\text{caisson}} - d_{\text{dek}} - d_{\text{vloer}}) \cdot (L_{\text{caisson}} - 2 \cdot d_{\text{kop}}) \cdot d_{\text{tussen, lengte}} \\
 V_{\text{tussenwanden, breedte}} &= (m-1) \cdot (h_{\text{caisson}} - d_{\text{dek}} - d_{\text{vloer}}) \cdot (B_{\text{caisson}} - (n-1) \cdot d_{\text{tussen, lengte}} - 2 \cdot d_{\text{wand}}) \cdot d_{\text{tussen, breedte}}
 \end{aligned}$$

$$V_{\text{beton}} = V_{\text{vloer}} + V_{\text{wanden}} + V_{\text{kopschotten}} + V_{\text{dek}} + V_{\text{tussenwanden, lengte}} + V_{\text{tussenwanden, breedte}} \quad [\text{m}^3]$$

H.3 Hoeveelheid ballast in m³ per meter caisson:

$$\begin{aligned}
 L_{\text{cel}}' &= \text{h.o.h.-afstand van de cellen in lengterichting} \\
 L_{\text{cel}} &= \text{inwendige cellengte} \\
 B_{\text{cel}}' &= \text{h.o.h.-afstand van de cellen in breedterichting} \\
 B_{\text{cel}} &= \text{inwendige celbreedte} \\
 L_{\text{cel}}' &= (L_{\text{caisson}} - 2 \cdot d_{\text{kop}} + 2 \cdot d_{\text{tussen, lengte}}) / m \\
 L_{\text{cel}} &= (L_{\text{caisson}} - 2 \cdot d_{\text{kop}} - (m-1) \cdot d_{\text{tussen, lengte}}) / m \\
 B_{\text{cel}}' &= (B_{\text{caisson}} - 2 \cdot d_{\text{wand}} + 2 \cdot d_{\text{tussen, breedte}}) / n \\
 B_{\text{cel}} &= (B_{\text{caisson}} - 2 \cdot d_{\text{wand}} - (n-1) \cdot d_{\text{tussen, breedte}}) / n
 \end{aligned}$$

$$\text{Volume van één cel: } V_{\text{cel}} = B_{\text{cel}} \cdot L_{\text{cel}} \cdot (h_{\text{caisson}} - d_{\text{vloer}} - d_{\text{dek}}) \quad [\text{m}^3]$$

$$\text{Totale volume van de ballast: } V_{\text{ballast}} = n \cdot m \cdot V_{\text{cel}} \quad [\text{m}^3]$$

$$\text{Totale caissongewicht: } W = [\rho_{\text{beton}} \cdot V_{\text{beton}} + \rho_{\text{ballast}} \cdot V_{\text{ballast}}] \cdot g \quad [\text{N}]$$

Bijlage I: Schets en verklaring van variabelen in CAISSON

I.1 Invoervariabelen

Serviceability limit state:

ASCII - code

• H_t	[m]	(maximale golfhoogte in de haven)	Ht_max
• HW	[m]	(hoogwaterstand in SLS)	HW_sls
• H_s	[m]	(significante golfhoogte in SLS)	Hs_sls

Ultimate limit state:

• f_{min}	[-]	(min. bezwijkveiligheid)	f_min
• HW	[m]	(hoogwaterstand in ULS)	HW_uls
• H_s	[m]	(significante golfhoogte in ULS)	Hs_uls
• s	[%]	(golfstijtheid)	s
• β	[deg]	(hoek van inval van de golven op de constructie)	Beta
• α	[-]	(reflectiecoëfficiënt van caisson)	alfa

Bodem en drempel:

• $d_{bodem,max}$	[m]	(maximale bodemligging ten opzichte van NAP)	d_bodem_max
• $d_{bodem,min}$	[m]	(minimale bodemligging ten opzichte van NAP)	d_bodem_min
• $d_{drempel}$	[m]	(bovenkant drempel ten opzichte van NAP)	d_drempel

Soortelijke massa en overige:

• ρ_w	[kg/m ³]	(soortelijke massa van water)	rho_w
• ρ_b	[kg/m ³]	(soortelijke massa gewapend beton)	rho_b
• ρ_g	[kg/m ³]	(soortelijke massa van natte grond)	rho_g
• z_{stijg}	[m]	(zeespiegelstijging in 50 jaar)	z_stijg
• B_m	[m]	(bermbreedte voor het caisson)	Bm

Rekenwaarden drempel:

• $\phi_{drempel}$	[deg]	(hoek van inwendige wrijving van stortsteen)	fi_d
• $c_{drempel}$	[-]	(cohesie van stortsteen)	c_d
• $\gamma_{drempel}$	[kN/m ³]	(onderwatergewicht van stortsteen)	gamma_d

Rekenwaarden ondergrond:

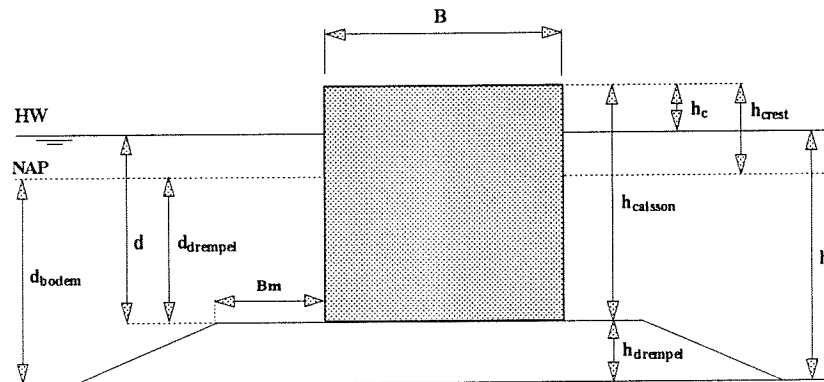
• ϕ_{bodem}	[deg]	(hoek van inwendige wrijving van de ondergrond)	fi_b
• c_{bodem}	[-]	(cohesie van de ondergrond)	c_b
• γ_{bodem}	[kN/m ³]	(onderwatergewicht van de ondergrond)	gamma_b

Caissonafmetingen:

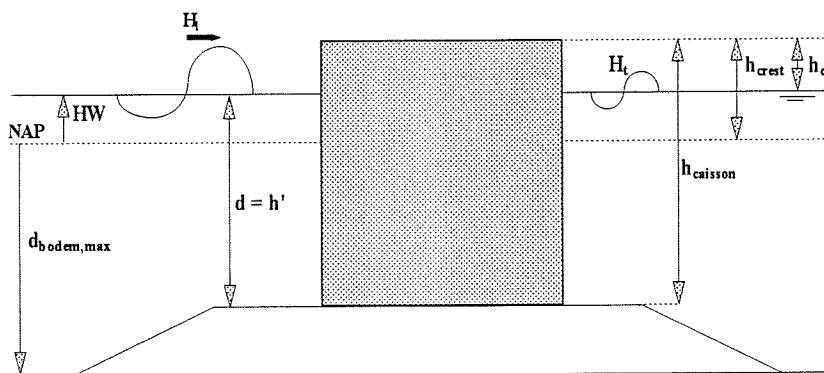
• $L_{caisson}$	[m]	(lengte van het caisson)	L_caisson
• d_{vloer}	[m]	(dikte van de caissonvloer)	d_vloer
• d_{dek}	[m]	(dikte van het caissondek)	d_dek
• d_{wand}	[m]	(dikte van de zijwanden)	d_wand
• d_{kop}	[m]	(dikte van de kopwanden)	d_kop
• $d_{tussen,l}$	[m]	(dikte van de tussenwanden in de lengte)	d_tussen_l
• $d_{tussen,b}$	[m]	(dikte van de tussenwanden in de breedte)	d_tussen_b
• n	[-]	(aantal cellen in de breedte)	n
• m	[-]	(aantal cellen in de lengte)	m

I.2 Definitieschetsen van de gebruikte variabelen

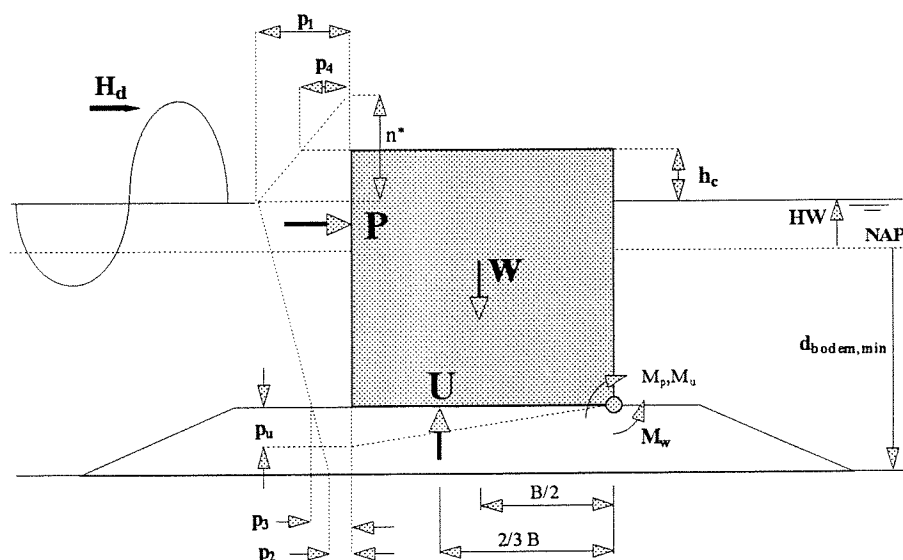
In het programma worden de gehanteerde variabelen gedefinieerd zoals in de onderstaande figuren is geschets. Ter verduidelijking zijn de variabelen over vier figuren verdeeld. Elke figuur bevat de variabelen die betrekking hebben op een bepaald onderwerp. Achtereenvolgens zijn deze onderwerpen: geometrie, transmissie, golfdruk volgens Goda en golfdruk volgens de lineaire golftheorie.



Figuur I.1: Definitieschets van de geometrie



Figuur I.2: Definitieschets van de transmissie

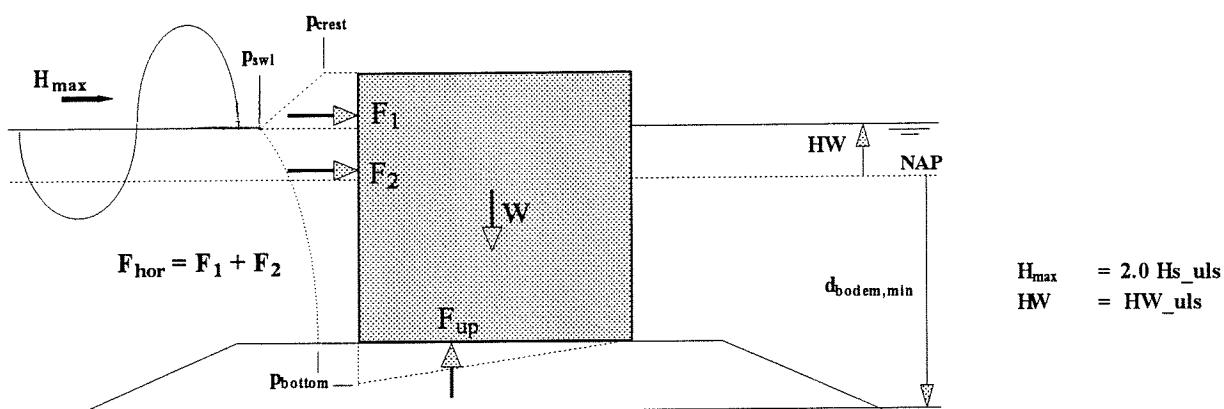


Figuur I.3: Golfbelasting volgens Goda

$$\mathbf{V} = \mathbf{W} - \mathbf{U}$$

$$H_d = 1.8 H_{s_uls}$$

HW= HW_uls



Figuur I.4: Golfbelasting volgens de lineaire golftheorie

I.3 Uitvoer van het programma

Caissonhoogteberekening:

• β	[-]	(coëfficiënt van Goda)	beta_t
• H_i	[m]	(inkomende golf)	Hs_sls
• K_t	[%]	(transmissie)	Kt
• h_{crest}	[m]	(kruinhoogte)	h_crest
• H_t	[m]	(transmissiegolf)	Ht_max
• $h_{caisson}$	[m]	(totale caissonhoogte)	h_caisson

Coëfficiënten van Goda-formules:

• $\delta_{11}, \delta_{22}, \delta_1, \delta_2$	delta11, delta22
• $\alpha_{10}, \alpha_{11}, \alpha_1, \alpha^*$	alfaI0, alfa_ster
• $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	alfa1, alfa2

Golf- en watergegevens in SLS en ULS:

• L	[m]	(golflengte)	L
• L_0	[m]	(diepwatergolf)	L0
• T_p	[sec]	(piekperiode)	Tp
• T_z	[sec]	(nuldoorgangs periode)	Tz
• T_s	[sec]	(significante periode)	Ts
• H_s	[m]	(significante golfhoogte)	Hs
• H_{sbr}	[m]	(brekerhoogte H_s)	Hsbr
• H_{dbr}	[m]	(brekerhoogte H_d)	Hdbr
• H_d	[m]	(ontwerpgolf Goda)	Hd
• H_{max}	[m]	(maximum Rayleigh)	Hmax
• d	[m]	(waterdiepte boven drempel)	d
• h	[m]	(totale waterdiepte)	h

Golfdrukken volgens Goda:

• p_1	[kN/m ²]	(hor. druk in het midden met golflap)	p1
• $p_{nonbreak}$	[kN/m ²]	(hor. druk in het midden zonder golflap)	p_nonbreak
• p_2	[kN/m ²]	(horizontale druk aan op bodem)	p2
• p_3	[kN/m ²]	(horizontale druk op drempel)	p3
• p_4	[kN/m ²]	(horizontale druk bij de kruin)	p4
• p_u	[kN/m ²]	(verticale druk onder het caisson)	pu

Golfdrukken volgens de lineaire golftheorie:

• p_{swl}	[kN/m ²]	(horizontale druk in het midden)	p_{swl}
• p_{bottom}	[kN/m ²]	(horizontale druk aan op bodem)	p_{bottom}
• p_{crest}	[kN/m ²]	(horizontale druk bij de kruin)	p_{crest}

Horizontale krachten en momenten per m¹:

• P	[kN]	(horizontale kracht volgens Goda)	P
• F_{hor}	[kN]	(hor. kracht volgens lineaire golftheorie)	F_{hor}
• M_p	[kNm]	(moment om hiel door horizontale kracht)	M_p

Rekenuitvoer bij gevarieerde caissonbreedte met Goda (per m¹):

• B	[m]	(breedte van het caisson)	B
• U	[kN]	(opwaartse golfkracht)	U
• W	[kN]	(eigen gewicht caisson)	W
• V	[kN]	(totale verticale kracht)	V
• M_u	[kNm]	(moment om hiel door opwaartse golfkracht)	M_u
• M_w	[kNm]	(moment om hiel door eigen gewicht caisson)	M_w
• $p_{max,d}$	[kN/m ²]	(maximale druk in de drempel)	p_{max_d}
• $p_{fail,d}$	[kN/m ²]	(bezwijkdruk van de drempel volgens Brinch-Hansen)	p_{fail_d}
• $p_{max,b}$	[kN/m ²]	(maximale druk in de bodem)	p_{max_b}
• $p_{fail,b}$	[kN/m ²]	(bezwijkdruk van de bodem volgens Brinch-Hansen)	p_{fail_b}
• $f_{afschuiven}$	[-]	(veiligheidsfactor afschuiven)	f_{schuif}
• $f_{kantelen}$	[-]	(veiligheidsfactor kantelen)	f_{kant}
• $f_{fundering}$	[-]	(veiligheidsfactor bezwijken stortstenen drempel)	f_{fund}
• $f_{ondergrond}$	[-]	(veiligheidsfactor bezwijken van de ondergrond)	f_{grond}
• e	[m]	(excentriciteit van de belastingsresultante)	e
• H/V	[-]	(verhouding van horizontale en verticale krachten)	h_v
• B_e	[m]	(effectieve breedte onder caisson)	B_e
• B_{sub}	[m]	(bruto breedte van draagvlak onder de drempel)	B_{sub}
• $B_{e,sub}$	[m]	(netto breedte van draagvlak onder de drempel)	B_{e_sub}
• V_{sub}	[m]	(totale verticale kracht op de ondergrond)	V_{sub}
• e_{sub}	[m]	(excentriciteit van belasting op de ondergrond)	e_{sub}

Rekenfactoren Brinch-Hansen:

• N_q, N_c, N_g	(dimensieloze constanten)	N_q, N_c, N_g
• s_q, s_c, s_g	(vormfactoren)	s_q, s_c, s_g
• i_q, i_c, i_g	(factoren belastingsrichting)	i_q, i_c, i_g

Overige:

• V_{beton}	[m ³]	(materiaalverbruik beton)	V_{beton}
• $V_{ballast}$	[m ³]	(materiaalverbruik ballast)	$V_{ballast}$
• $M_{caisson}$	[ton]	(totale betonmassa van caisson)	$M_{caisson}$

(ASCII -code: exacte naamgeving van de variabelen in het computerprogramma)

Bijlage J: In- en uitvoer van het programma CAISSON

```

                                copyright 1997

#####  ##  ##  $$$$  $$$$  #####  ##  ##
##      #####  ##  $$  $$  ##  ##  #####  ##
##      ##  ##  ##  $$$  $$$  ##  ##  ##  ##  ##
##      #####  ##  $$  $$  ##  ##  ##  #####
#####  ##  ##  ##  $$$$  $$$$  #####  ##  ##

Dit is een programma om de benodigde minimale hoogte
en breedte van een rechthoekig caisson te bepalen
bij gegeven ontwerpomstandigheden en ontwerpisen.

                written by Coen Spanjers
                -- press any key --

```

Figuur J.1: Titelscherm van het programma

```

                                invoer scherm 1

INVOERGEGEVENS

Ontwerpwaarden SLS:
  1. Ht_max   =  0.5 [m]      (maximale golfhoogte in de haven)
  2. HW_sls   =  2.45 [m]      (maatgevende hoogwaterstand in SLS)
  3. Hs_sls   =  5.00 [m]      (maatgevende golfhoogte in SLS)

Ontwerpwaarden ULS:
  4. f_min    =  1.2 [-]      (minimale bezwijkveiligheid)
  5. HW_uls   =  4.40 [m]      (hoogwaterstand tov NAP)
  6. Hs_uls   =  7.33 [m]      (significante golfhoogte)
  7. s        =  3.5 [%]      (golfstijlheid)
  8. β        =  0 [deg]      (hoek van inval van de golven)
  9. α        =  0.8 [-]      (reflectiecoëfficiënt van het caisson)

Bodem en drempel:
 10. d_bodem_max = -22.0 [m]      (diepste bodemligging t.o.v. NAP)
 11. d_bodem_min = -18.7 [m]      (ondiepste bodemligging t.o.v. NAP)
 12. d_drempel   = -16.0 [m]      (bovenkant drempel tov NAP)

Wilt u gegevens veranderen? (j/n):

```

Figuur J.2: Invoerscherm 1 met default waarden

```

                                invoer scherm 2

INVOERGEGEVENS

Soortelijke massa en overige:
  1. rho_w     = 1030 [kg/m^3] (soortelijke massa van water)
  2. rho_b     = 2400 [kg/m^3] (soortelijke massa van gewapend beton)
  3. rho_g     = 2000 [kg/m^3] (soortelijke massa van natte grond)
  4. z_stijg   =  0.5 [m]      (zeespiegelstijging in 50 jaar)
  5. Bm        =  5 [m]        (bermbreedte)

Rekenwaarden drempel:
  6. φ         =  38 [graden] (wrijvingshoek)
  7. c         =  0 [kN/m^2]  (cohesie)
  8. p         = 10 [kN/m^3]  (onderwatergewicht)

Rekenwaarde ondergrond:
  9. φ         =  34 [graden] (wrijvingshoek)
 10. c         =  0 [kN/m^2]  (cohesie)
 11. p         = 10 [kN/m^3]  (onderwatergewicht)

Wilt u gegevens veranderen? (j/n):

```

Figuur J.3: Invoerscherm 2 met default waarden

invoer scherm 3

INVOERGEGEVENS

Caissonafmetingen:

1. L_caisson	=	60.0 [m]	(totale lengte van het caisson)
2. d_vloer	=	0.80 [m]	(dikte van de caissonvloer)
3. d_dek	=	0.40 [m]	(dikte van het caissondek)
4. d_wand	=	0.60 [m]	(dikte van de zijwanden)
5. d_kop	=	0.60 [m]	(dikte van de kopwanden)
6. d_tussen,l	=	0.35 [m]	(dikte van de tussenwanden in de lengte)
7. d_tussen,b	=	0.35 [m]	(dikte van de tussenwanden in de breedte)
8. n	=	4 [-]	(aantal cellen in de breedte)
9. m	=	6 [-]	(aantal cellen in de lengte)

Wilt u gegevens veranderen? (j/n):

Figuur J.4: Invoerscherm 3 met default waarden

uitvoer scherm 1

REKENRESULTATEN

Rekenresultaten caissonhoogteberekening:

β	=	0.37 [-]	(invloed van d/h)
H _i	=	5.00 [m]	(inkomende golf)
H _t	=	0.50 [m]	(transmissiegolf)
K _t	=	10.0 [%]	(transmissie)
h _c	=	4.73 [m]	(kruinhoogte tov HW_SLS)
h _{crest}	=	7.68 [m]	(kruinhoogte tov NAP)
h _{cais}	=	23.68 [m]	(totale caissonhoogte)

Golfenlengte en golfperiode in uls: Golfhoogtes in de uls:

L = 144.8 [m]	(golflengte)	H _s = 7.3 [m]	(significant)
L ₀ = 188.9 [m]	(diepwatergolf)	H _{sbr} = 10.2 [m]	(brekerhoogte H _s)
T _p = 11.6 [s]	(piekperiode)	H _{dbr} = 18.7 [m]	(brekerhoogte H _d)
T _z = 8.1 [s]	(nuldoorgangs per.)	H _d = 13.2 [m]	(ontwerpgolf Goda)
T _s = 11.0 [s]	(significante per.)	H _{max} = 14.6 [m]	(maximum Rayleigh)

d = 20.65 [m]	(waterdiepte boven drempel)
h = 23.35 [m]	(totale waterdiepte)
h _c = 3.03 [m]	(kruinhoogte tov HW_ULS)

<press any key>

Figuur J.5: Uitvoerscherm 1: Transmissieberekening en golfgegevens

uitvoer scherm 2

REKENRESULTATEN

Coëfficiënten Goda-formules:

[δ_{11} δ_{22} δ_1 δ_2]	=	[-0.25 -0.42 -5.08 -2.06]
[α_{I0} α_{I1} α_I α^*]	=	[0.64 -0.01 -0.00 0.02]
[α_1 α_2 α_3]	=	[0.75 0.02 0.68]

Berekening van de golfdrukken

	Goda:	Lineaire golftheorie:	
Horizontale druk s.w.l.	p ₁ = 101.80	p _{swl} = 132.38	[kN/m ²]
Horizontale druk drempel	p ₃ = 69.54	p _{bottom} = 85.53	[kN/m ²]
Horizontale druk kruin	p ₄ = 86.21	p _{crest} = 101.76	[kN/m ²]
Horizontale druk	p ₂ = 65.32		[kN/m ²]
Onder het caisson	p _u = 68.11		[kN/m ²]
Zonder golfklap	p _l = 101.80		[kN/m ²]

<press any key>

Figuur J.6: Uitvoerscherm 2: Goda-coëfficiënten en golfdrukken volgens twee methodes

uitvoer scherm 3

KRACHTEN, MOMENTEN EN VEILIGHEID PER M BIJ OPLOPENDE CAISSONBREEDTE

horizontaal: P = 2054 [kN] (Goda)
 F_hor = 2465 [kN] (lineaire golftheorie)
 Mp = 25714 [kNm] (moment om hiel door P)

B [m]	(Goda)	(e.g)	(tot)	Mu [kNm]	Mw [kNm]	(veiligheidscoëfficiënten)			
	U [kN]	W [kN]	V [kN]			kant elen	afsch uiven	funde ring	onder grond
22.00	749	6019	5269	10988	66204	1.80	1.48	0.78	0.46
22.50	766	6151	5385	11493	69200	1.86	1.51	0.91	0.54
23.00	783	6284	5500	12010	72261	1.92	1.55	1.05	0.62
23.50	800	6416	5616	12538	75389	1.97	1.58	1.20	0.71
24.00	817	6549	5731	13077	78583	2.03	1.61	1.36	0.80
24.50	834	6681	5847	13627	81843	2.08	1.64	1.53	0.90
25.00	851	6814	5962	14189	85169	2.13	1.68	1.71	1.00
25.50	868	6946	6078	14763	88562	2.19	1.71	1.89	1.10
25.95	884	7065	6182	15288	91672	2.24	1.74	2.06	1.20

Figuur J.7: Uitvoerscherm 3: Krachten, momenten en veiligheid bij oplopende caissonbreedte

uitvoer scherm 4

SPANNINGEN IN DE DREMPEL EN DE ONDERGROND BIJ OPLOPENDE CAISSONBREEDTE

Maximaal toelaatbare hieldruk volgens Goda: 703 [kN/m²]

B [m]	--veiligheid--		-----fundering-----			-----ondergrond-----		
	funde ring	onder grond	p_max	p_fail	e [m]	p_max	p_fail	e [m]
22.00	0.78	0.46	627	366	5.4	456	177	1.0
22.50	0.91	0.54	604	412	5.3	442	201	1.0
23.00	1.05	0.62	584	460	5.2	428	226	0.9
23.50	1.20	0.71	566	510	5.1	417	252	0.9
24.00	1.36	0.80	550	561	5.1	406	280	0.9
24.50	1.53	0.90	536	615	5.0	397	308	0.9
25.00	1.71	1.00	524	670	4.9	388	337	0.9
25.50	1.89	1.10	512	726	4.8	380	368	0.9
25.95	2.06	1.20	503	779	4.8	374	395	0.8

Figuur J.8: Uitvoerscherm 4: Spanning en veiligheid in drempel en ondergrond

uitvoer scherm 5

EINDRESULTATEN

Hoofdafmetingen:	Veiligheidsfactoren:
Caissonbreedte B = 25.95 [m]	Veiligheidsfactor kantelen = 2.24
Caissonhoogte h = 23.68 [m]	Veiligheidsfactor afschuiven = 1.74
	Veiligheidsfactor fundering = 2.06
(bij een lengte van 60 m)	Veiligheidsfactor ondergrond = 1.20

Materiaal en massa per meter caisson (schatting):

Hoeveelheid beton	= 108 [m3]
Hoeveelheid ballast	= 507 [m3]
Massa van caisson zonder ballast	= 15540 [ton]

Krachten op het caisson en momenten om de caissonhiel per meter:

Totale horizontale kracht	= 2054 [kN]
Opwaartse kracht onder constructie	= 884 [kN]
Totale gewicht van het caisson	= 7065 [kN]
Totale verticale kracht	= 6182 [kN]
Weerstandmoment door eigen gewicht	= 91672 [kNm]
Moment door opwaartse golfkracht	= 15288 [kNm]
Moment door horizontale golfkracht	= 25714 [kNm]

Figuur J.9: Uitvoerscherm 5: Belangrijkste resultaten

```

keuze menu

Opties hoofdprogramma:

h) Complete uitvoer van Brinch-Hansen tonen
n) Nieuwe berekening maken

Invloed op de benodigde caissonbreedte berekenen van:

a) Ligging van de zeebodem (d_bodem) t.o.v. NAP
b) Hoek van inwendige wrijving van de ondergrond
c) Bermbreedte voor het caisson (Bm)
d) Drempelhoogte t.o.v. NAP (d_drempel)
e) Ontwerpstorm in ultimate limit state (Hs_uls)
f) Golfstijlheid (s)

s) Stoppen met berekeningen

Maak uw keuze:

```

Figuur J.10: Keuze-menu voor overige programma-opties

```

uitvoer scherm 6

REKENRESULTATEN FUNDERING

wrijvingshoek      ---drempel---      ---ondergrond---
cohesie            p_s = 38.0      p_b = 34.0 [graden]
materiaalgewicht   c_b = 0.0      c_b = 0.0 [kN/m^2]
bovenbelasting     p_s = 10.0     p_b = 10.0 [kN/m^3]
totale breedte      q_s = 0.0      q_b = 0.0 [kN/m^2]
excentriciteit     B = 25.95     B_sub = 21.79 [m]
                   e = 4.78      e_sub = 0.84 [m]
                   B/6 = 4.33    B_sub/6 = 3.63 [m]
effectieve breedte B_e = 16.39    B_e_sub = 20.12 [m]
verhouding P/V      P/V = 0.33    P/V = 0.31 [m]

[Nq Nc Ng]         [ 48.93 61.35 56.17] [ 29.44 42.16 28.77]
[sq sc sg]         [ 1.17 1.05 0.89] [ 1.19 1.07 0.87]
[iq ic ig]         [ 0.33 0.57 0.19] [ 0.29 0.54 0.16]

maatgevende funderingsdruk p_Be = 377      329 [kN/m^2]
bezwijkdruk Brinch-Hansen p_fail = 779     395 [kN/m^2]
minimale funderingsdruk   p_min = 0        234 [kN/m^2]
maximale funderingsdruk   p_max = 503      374 [kN/m^2]
gemidd. funderingsdruk    p_av = 238       304 [kN/m^2]

```

Figuur J.11: Uitvoer van optie h: uitgebreide rekenresultaten van de fundering

```

d_bodem   B      h   Bxh   B/h   (h = h_caisson)
=====
-25.0     22.94  23.89  548  0.96   d_bodem:
-24.5     22.98  23.86  548  0.96   bodemligging
-24.0     23.03  23.82  549  0.97   tov NAP [m]
-23.5     23.07  23.78  549  0.97
-23.0     23.12  23.75  549  0.97   caissonafmetingen:
-22.5     23.16  23.72  549  0.98   B = breedte in [m]
-22.0     23.21  23.68  550  0.98   h = hoogte in [m]
-21.5     23.32  23.65  552  0.99
-21.0     23.76  23.62  561  1.01   Bxh = volume per
-20.5     24.22  23.59  571  1.03   m caisson
-20.0     24.69  23.56  582  1.05
-19.5     25.17  23.54  593  1.07   B/h = slankheid van
-19.0     25.68  23.51  604  1.09   het caisson
-18.5     26.20  23.49  615  1.12
-18.0     26.73  23.48  628  1.14   Overige invoerwaarden
-17.5     27.27  23.46  640  1.16   zijn constant.
-17.0     27.83  23.46  653  1.19
-16.5     28.41  23.45  666  1.21
-16.0     28.99  23.46  680  1.24

<press any key>

```

Figuur J.12: Uitvoer van optie a: variëren van de bodemligging

fi_b	B	
=====		
25	50.72	fi_b = hoek van inwendige wrijving van de ondergrond
26	45.91	
27	41.93	B = benodigde caissonbreedte
28	38.57	
29	35.70	Overige invoerwaarden zijn constant.
30	33.21	
31	31.04	
32	29.14	
33	27.45	
34	25.95	
35	24.62	
36	23.50	
37	23.50	
38	23.50	
39	23.50	
40	23.50	
41	23.50	
42	23.50	
43	23.50	
44	23.50	
<press any key>		

Figuur J.13: Uitvoer van optie b: variëren van de hoek van inwendige wrijving van de ondergrond

d_drempel	B	h	Bxh	B/h	(h = h_caisson)
=====					
-17.0	26.95	24.60	663	1.10	d_drempel:
-16.5	26.44	24.14	638	1.10	drempelligging
-16.0	25.95	23.68	614	1.10	beneden NAP [m]
-15.5	25.48	23.23	592	1.10	
-15.0	25.02	22.78	570	1.10	caissonafmetingen:
-14.5	24.59	22.33	549	1.10	B = breedte in [m]
-14.0	24.17	21.89	529	1.10	h = hoogte in [m]
-13.5	23.77	21.45	510	1.11	
-13.0	23.43	21.01	492	1.12	Bxh = volume per
-12.5	23.44	20.58	482	1.14	m caisson
-12.0	23.47	20.15	473	1.16	B/h = slankheid van
-11.5	23.51	19.73	464	1.19	het caisson
-11.0	23.56	19.31	455	1.22	
-10.5	23.63	18.89	446	1.25	Overige invoerwaarden
-10.0	23.72	18.48	438	1.28	zijn constant.
-9.5	23.84	18.07	431	1.32	
-9.0	23.97	17.67	424	1.36	
-8.5	24.14	17.27	417	1.40	
-8.0	24.34	16.87	411	1.44	
<press any key>					

Figuur J.14: Uitvoer van optie d: variëren van de drempelhoogte t.o.v. NAP

s [%]	B	
=====		
1.5	33.73	s = golfsteilheid in [%]
2.0	31.27	B = benodigde caissonbreedte in [m]
2.5	29.20	
3.0	27.44	
3.5	25.95	
4.0	24.68	
4.5	23.60	
5.0	22.68	
5.5	21.89	
6.0	21.22	Overige invoerwaarden zijn constant.
<press any key>		

Figuur J.15: Uitvoer van optie f: variëren van de golfsteilheid s_p

Hs_uls	B	
=====		
5.00	16.51	Hs_uls = significante golfhoogte
5.25	17.44	van de ontwerpstorm
5.50	18.40	B = benodigde caissonbreedte
5.75	19.37	
6.00	20.36	
6.25	21.36	
6.50	22.39	
6.75	23.44	
7.00	24.51	
7.25	25.60	Overige invoerwaarden
7.50	26.71	zijn constant.
7.75	27.84	
8.00	29.00	
8.25	30.19	
8.50	31.40	
8.75	32.63	
9.00	33.90	
9.25	35.19	
9.50	36.51	
9.75	37.87	
		<press any key>

Figuur J.16: Uitvoer van optie e: variëren van de ontwerpgolfhoogte Hs_uls

```

                                     copyright 1997

#####
##                                     ##
##   einde van het programma   ##
##         -CAISSON-         ##
##                                     ##
#####

written by Coen Spanjers
-- press any key --

```

Figuur J.17: Aftitelscherm van het programma

Bijlage K: Het hefmateriaal van HeereMac

In deze bijlage is informatie opgenomen over:

- het kraanschip de “DB102”

en het nog te bouwen

- “Near Shore Construction Vessel”

van HeereMac, een offshore-constructiebedrijf.

HEEREMAC

DB 102

DIMENSIONS

Length overall	201.6 m	661 ft
Length of vessel	165.3 m	542 ft
Breadth	88.4 m	290 ft
Depth to workdeck	49.5 m	162 ft
Draft	11.8-31.6 m	43-104 ft
GRT	136,709 T	
NRT	41,012 T	

ACCOMMODATION/HELIDECK

The living quarters are equipped to accommodate 736 men. All quarters have heating and air conditioning facilities.

The helicopter deck is suitable for a Boeing Chinook 234.

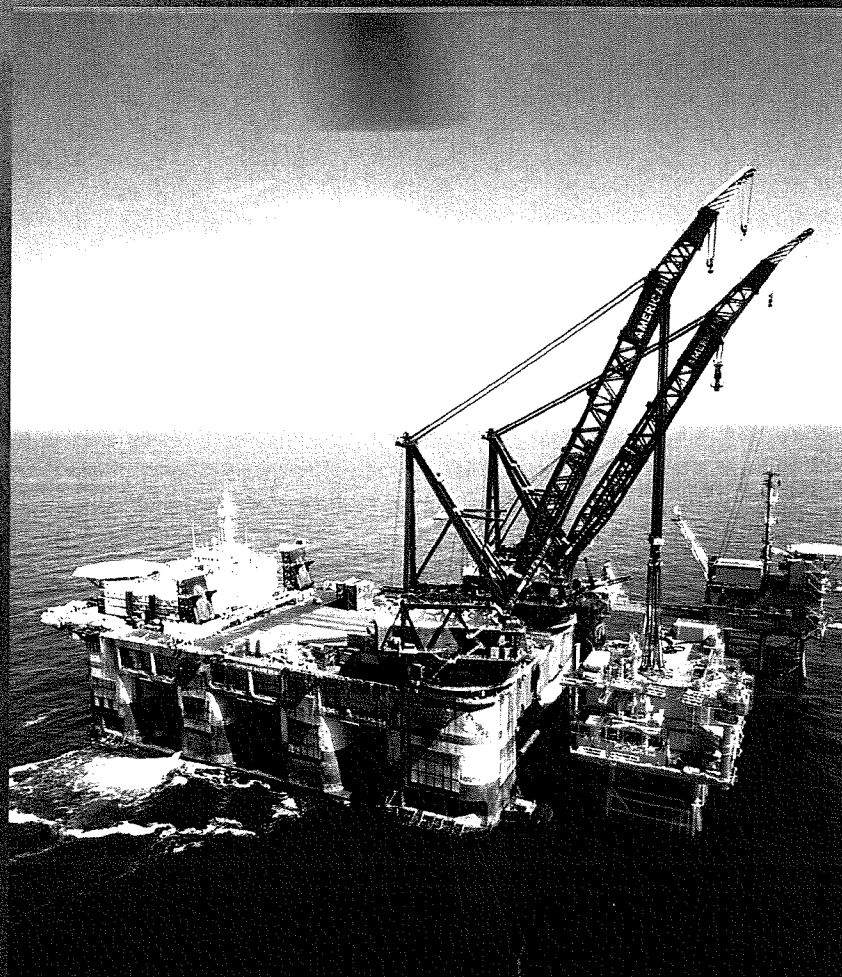
LIFE-SAVING/FIRE-FIGHTING

Life-saving and fire-fighting equipment according to latest governmental requirements.

PROPULSION/POWER

Propulsion by 6 electric driven, retractable controllable pitch thrusters of 2240 kW each.

Power supply by 6 diesel driven main generators 4600 kW each.



MOORING SYSTEM

12 Delta Flipper anchors of 22.5 T each, on 3 1/8" wire ropes 2400 m (8000 ft) long. Minimum breaking strength 480 T.

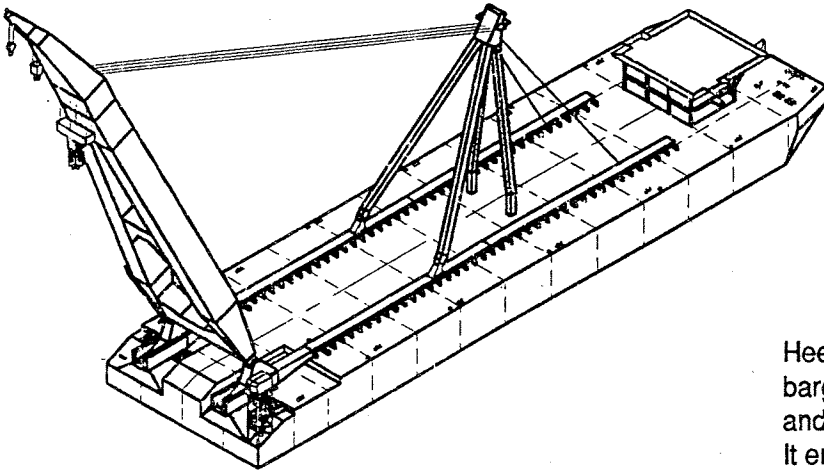
Kongsberg Albatross ADP 503 and ADP 311 automatic and dynamic positioning and mooring assistance.

DIVING SYSTEM

Containerized saturation diving system with diving bell can be made available.

NEAR SHORE CONSTRUCTION VESSEL

OVERVIEW



HeereMac's NSCV concept is a construction barge especially suited for near shore, shallow and sheltered-water construction activities.

It enables HeereMac to utilize its core capabilities i.e. heavy-lifting, marine operations and contracting, for the near shore/onshore construction market.

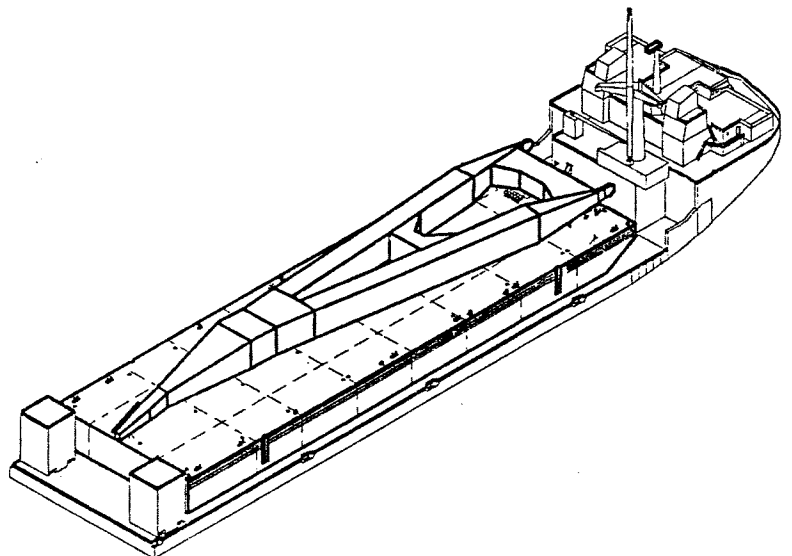
An existing crane boom, with a lifting capacity of 6000 mT can be installed on several types of launch barges.

The operating draught will be approximately 4.5 m.

Fast mobilisation of the crane boom and equipment is guaranteed since it can easily be transported on a heavy lift vessel.

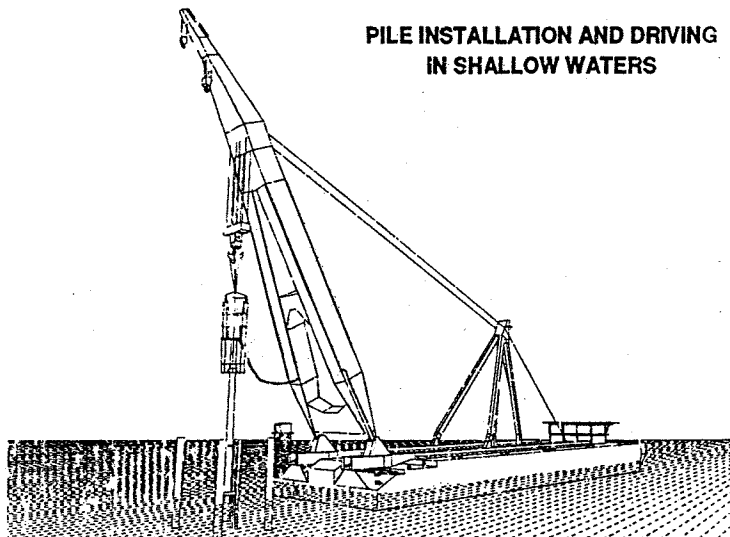
The NSCV can be assembled virtually anywhere in the world.

One of the biggest advantages of the barge is, that it can be assembled to meet the specific requirements for the work to be executed, using existing resources.



DIMENSIONS

PILE INSTALLATION AND DRIVING IN SHALLOW WATERS



Length of barge 122 - 160 m.

Breadth of barge 36.6 - 42 m.

Depth of barge 8.0 - 10.76 m.

Draught 2.5 - 9 m.

(depending on type of barge)

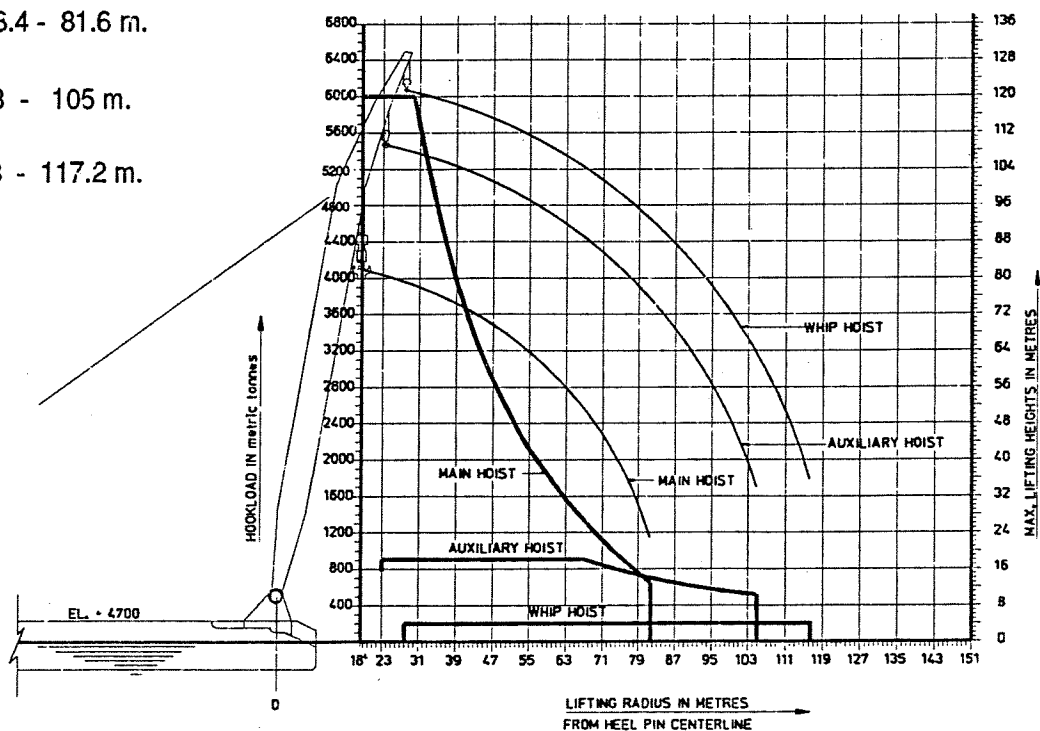
STERN MOUNTED CRANE

Capacity Radius

Main hoist : 6000 m.T. 18.4 - 81.6 m.

Auxiliary hoist : 907 m.T. 23 - 105 m.

Whip hoist : 200 m.T. 28 - 117.2 m.



Main hoist lifting height 72 m. above heel point
(position of heel point depends on type of barge).

Bijlage L: Gronddruk volgens Verruijt

L.1 Inleiding

Voor de berekening van de grond- en waterdrukken zijn de formules gebruikt zoals die door Verruijt worden gegeven [lit.5]. In deze bijlage worden die formules toegelicht.

L.2 Gebruikte parameters

K	=	gronddrukcoëfficiënt
K_a	=	passieve gronddrukcoëfficiënt
K_p	=	actieve gronddrukcoëfficiënt
p	=	waterdruk
γ_{grond}	=	soortelijk gewicht grond
γ_w	=	soortelijk gewicht water
σ_h	=	horizontale gronddruk
σ'_h	=	horizontale korreldruk
σ'_v	=	verticale korreldruk
σ_v	=	verticale gronddruk
φ	=	hoek van inwendige wrijving van de grond

L.3 Verticale druk

Waterdruk:	$p = \gamma_w \cdot d$
Verticale gronddruk:	$\sigma_v = \gamma_{\text{grond}} \cdot d$
Verticale korrelspanning:	$\sigma'_v = \sigma_v - p$

L.4 Horizontale druk

De verticale korrelspanning wordt omgerekend in een horizontale korrelspanning met de volgende formule (voor niet cohesieve grond):

$$\sigma'_h = K \cdot \sigma'_v$$

$$\text{Voor } K \text{ geldt: } K_a < K < K_p \quad \Leftrightarrow \quad \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} < K < \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

De horizontale gronddruk wordt verkregen door bij de horizontale korrelspanning de waterdruk op te tellen:

$$\sigma_h = \sigma'_h + p$$

Bijlage M: Belastingen op de wanden en vloer van het caisson

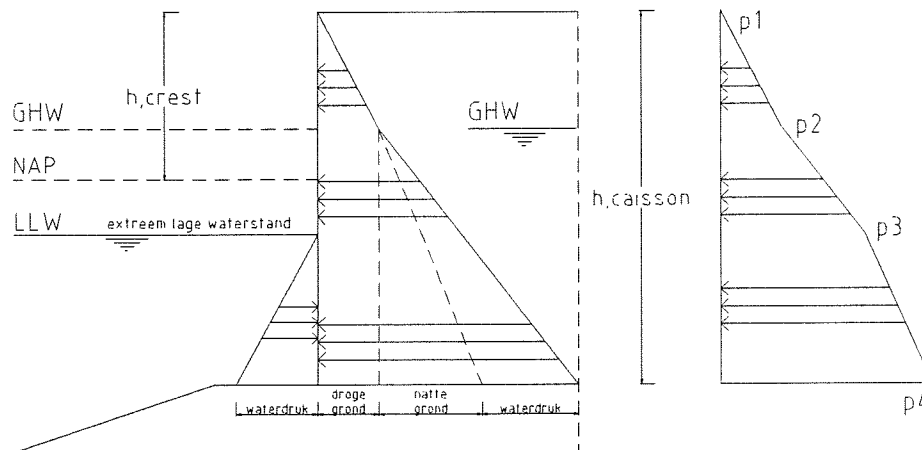
M.1 Algemeen

Voor de soortelijke gewichten en overige variabelen gelden de volgende waarden:

$\gamma_{\text{grond,droog}}$	=	16	[kN/m ³]	
$\gamma_{\text{grond,nat}}$	=	20	[kN/m ³]	
γ_{water}	=	10	[kN/m ³]	
h_{caisson}	=	23.68	[m]	(totale caissonhoogte)
h_{crest}	=	7.68	[m]	(kruinhoogte t.o.v. NAP)
GHW	=	1.11	[m]	(hoogwaterstand t.o.v. NAP)
HW	=	4.40	[m]	(extreme hoogwaterstand t.o.v. NAP)
LW	=	-2.00	[m]	(extreme laagwaterstand t.o.v. NAP)
K_{actief}	=	$\frac{1}{3}$		(actieve gronddrukcoëfficiënt bij $\phi = 30^\circ$)

De horizontale gronddrukken worden berekend zoals beschreven in bijlage L.

M.2 Caissonwand in de eindfase bij extreem laag water

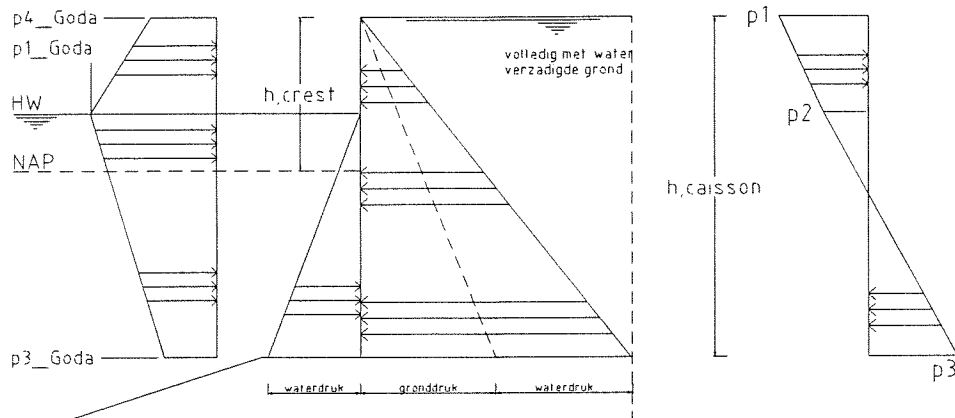


Figuur M.1: Resulterende belasting op de caissonwand bij extreem laag water

De totale drukverdeling over de wand per meter breedte is als volgt:

$$\begin{aligned}
 p1 &= 0 \quad [\text{kN/m}^2] \\
 p2 &= (h_{\text{crest}} - \text{GHW}) \cdot K_a \cdot \gamma_{\text{grond,droog}} \\
 &= (7.68 - 1.11) \cdot \frac{1}{3} \cdot 16 \\
 &= 35.0 \quad [\text{kN/m}^2] \\
 p3 &= p2 + (\text{GHW} - \text{LW}) \cdot (K_a \cdot (\gamma_{\text{grond,nat}} - \gamma_{\text{water}}) + \gamma_{\text{water}}) \\
 &= 35.0 + (1.11 + 2.00) \cdot (\frac{1}{3} \cdot 10 + 10) \\
 &= 76.5 \quad [\text{kN/m}^2] \\
 p4 &= p3 + (h_{\text{caisson}} - h_{\text{crest}} + \text{LLW}) \cdot K_a \cdot (\gamma_{\text{grond,nat}} - \gamma_{\text{water}}) \\
 &= 76.5 + (23.68 - 7.68 - 2.00) \cdot \frac{1}{3} \cdot (20 - 10) \\
 &= 123.2 \quad [\text{kN/m}^2]
 \end{aligned}$$

M.3 Caissonwand in de eindfase bij de maximale golfdruk



Figuur M.2: Resulterende belasting op de caissonwand bij de maximale golfdruk

$$K_{\text{passief}} = 1.0 \quad (\text{grond met weinig weerstand})$$

$$K_{\text{actief}} = \frac{1}{3} \quad (\text{grond met wrijvingshoek van } 30^\circ)$$

De golfdrukken volgens Goda zijn berekend met het programma CAISSON. De totale drukverdeling over de wand per meter breedte is als volgt:

$$p1 = p_{4_Goda}$$

$$= 86.2 \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$p2 = p_{1_Goda} - (h_{\text{crest}} - \text{HW}) \cdot (K_{\text{passief}} \cdot (\gamma_{\text{grond,nat}} - \gamma_{\text{water}}) + \gamma_{\text{water}})$$

$$= 101.8 - (7.68 - 4.40) \cdot (1.0 \cdot (20 - 10) + 10)$$

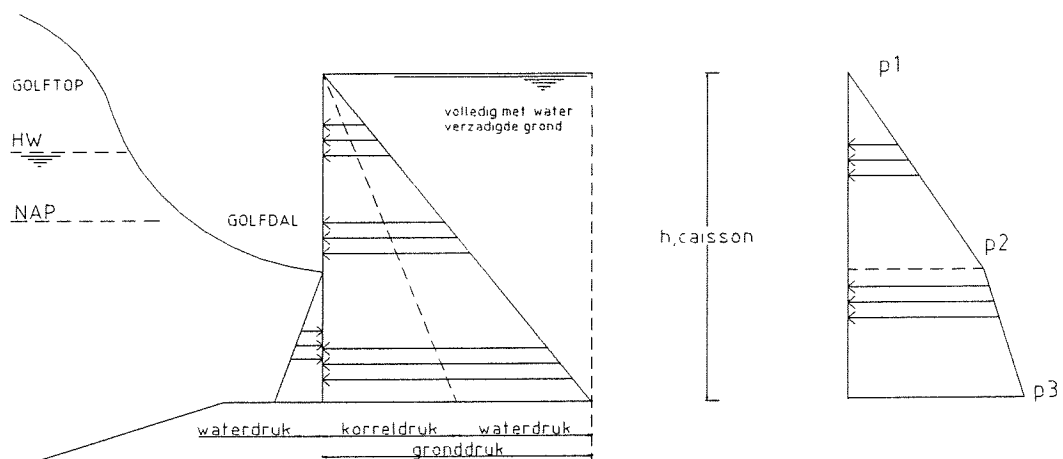
$$= 36.2 \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$p3 = h_{\text{caisson}} \cdot (K_a \cdot (\gamma_{\text{grond,nat}} - \gamma_{\text{water}}) + \gamma_{\text{water}}) - p_{3_Goda} - (h_{\text{caisson}} - h_{\text{crest}} + \text{HW}) \cdot \gamma_{\text{grond,nat}}$$

$$= 23.68 \cdot (\frac{1}{3} \cdot (20 - 10) + 10) - 69.5 - (23.68 - 7.68 + 4.40) \cdot 10$$

$$= 42.2 \quad [\text{kN/m}^2]$$

M.4 Caissonwand in de eindfase bij extreem golfdal



Figuur M.3: Resulterende belasting op de caissonwand bij een extreem golfdal

Rekengegevens:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{actief}} &= \frac{1}{3} \quad (\text{grond met wrijvingshoek van } 30^\circ) \\
 H_d &= 1.8 \cdot \text{ontwerpgolf } H_s \\
 \alpha &= 0.5 \quad (\text{lage reflectiecoëfficiënt voor bepaling van het golfdal; een groot deel van} \\
 &\quad \text{de golf gaat direct over het caisson heen en zal dus niet reflecteren}) \\
 A &= \frac{1}{2} H_d \cdot (1 + \alpha) = \frac{1}{2} \cdot 1.8 \cdot 7.33 \cdot 1.5 = 9.90 \text{ [m]} \quad (\text{golfamplitude in golfdal})
 \end{aligned}$$

De totale drukverdeling over de wand per meter breedte wordt als volgt berekend (zie figuur M.3 op de vorige bladzijde):

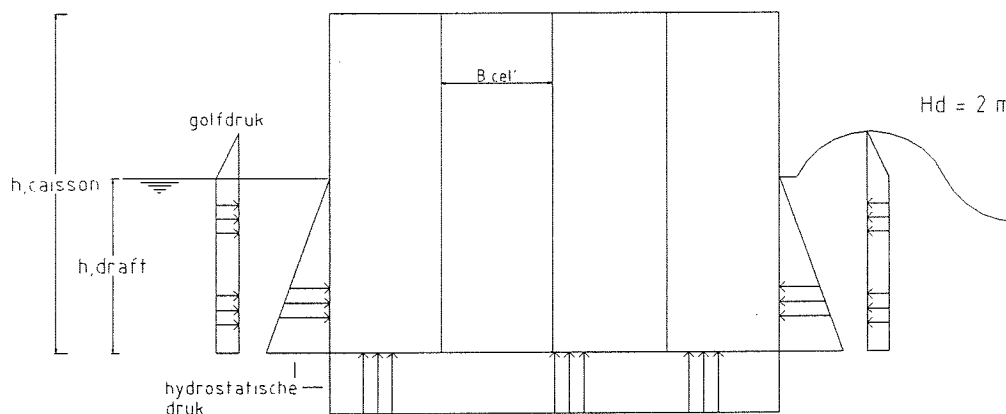
$$p_1 = 0 \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$\begin{aligned}
 p_2 &= (h_{\text{crest}} - HW + A) \cdot (K_a \cdot (\gamma_{\text{grond,nat}} - \gamma_{\text{water}}) + \gamma_{\text{water}}) \\
 &= (7.68 - 4.40 + 9.90) \cdot (\frac{1}{3} \cdot (20 - 10) + 10) \\
 &= 175.7 \quad [\text{kN/m}^2]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_3 &= p_2 + (h_{\text{caisson}} - (h_{\text{crest}} - HW) - A) \cdot K_a \cdot (\gamma_{\text{grond,nat}} - \gamma_{\text{water}}) \\
 &= 175.7 + (23.68 - (7.68 - 4.40) - 9.90) \cdot \frac{1}{3} \cdot (20 - 10) \\
 &= 210.7 \quad [\text{kN/m}^2]
 \end{aligned}$$

M.5 Caissonvloer- en wand bij een drijvend caisson

$$\begin{aligned}
 H_{\text{transport}} &= 2.0 \text{ [m]} \quad (\text{maximale golfhoogte tijdens transport}) \\
 h_{\text{draft}} &= 8.5 \text{ [m]} \quad (\text{diepgang caisson geschat bij betonaandeel van 15% per m}^3 \text{ caisson})
 \end{aligned}$$



Figuur M.4: Hydrostatische waterdruk op een drijvend caisson

De maximale waterdruk op de caissonvloer per meter breedte is:

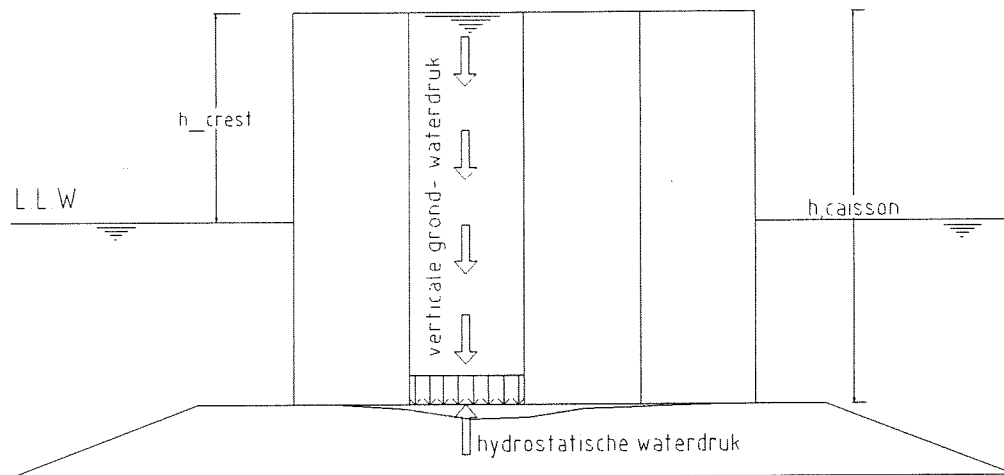
$$p_{\text{max}} = h_{\text{draft}} \cdot \gamma_{\text{water}} = 8.5 \cdot 10 = 85 \quad [\text{kN/m}^2]$$

De maximale waterdruk op de wanden per meter breedte is:

$$p_{\text{max}} = (h_{\text{draft}} + \frac{1}{2} H) \cdot \gamma_{\text{water}} = (8.5 + 2) \cdot 10 = 125 \quad [\text{kN/m}^2]$$

Het is mogelijk dat bij het definitieve ontwerp blijkt dat het caisson een grotere diepgang heeft. Ook dan blijven de belastingen tijdens het drijven laag ten opzichte van de andere belastinggevallen en zullen derhalve niet maatgevend zijn.

M.6 Niet-ondersteund vloerdeel bij ongelijke drempel



Figuur M.5: Belasting op een niet-ondersteund vloerdeel

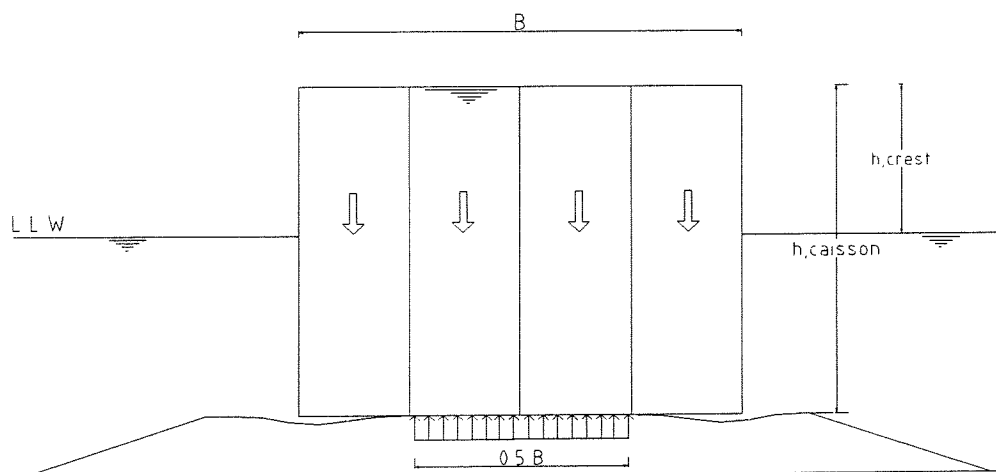
De belasting per m² vloerdeel is:

$$q_{\text{vloer}} = (h_{\text{caisson}} - d_{\text{vloer}}) \cdot \gamma_{\text{grond,nat}} + d_{\text{vloer}} \cdot \gamma_{\text{beton}} - (h_{\text{caisson}} - h_{\text{crest}} + LLW) \cdot \gamma_{\text{water}} \quad [\text{kN/m}^2]$$

Deze formule wordt vereenvoudigd tot:

$$\begin{aligned} q_{\text{vloer}} &= h_{\text{caisson}} \cdot \gamma_{\text{grond,nat}} - (h_{\text{caisson}} - h_{\text{crest}} + LLW) \cdot \gamma_{\text{water}} \\ &= 23.68 \cdot 20 - (23.68 - 7.68 - 2.00) \cdot 10 \\ &= 333.6 \quad [\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$

M.7 Ongelijkmatig ondersteunde vloer



Figuur M.6: Vloerbelasting bij een 'bolle' drempel

Bij het bepalen van het caissongewicht wordt aangenomen dat 15% van het caissonvolume uit beton bestaat. Het gemiddelde caissongewicht bij onverzadigde ballast is dan 17.2 [kN/m³]. Bij verzadigde ballast is dit 20.6 [kN/m³].

Het netto caissongewicht G bij laag-laag-water per m² wordt als volgt bepaald:

$$\begin{aligned} G_1 &= (h_{\text{caisson}} - h_{\text{crest}} + \text{LLW}) \cdot (\gamma_{\text{caisson,nat}} - \gamma_{\text{water}}) \quad (\text{gedeelte onder water met verzadigde ballast}) \\ &= (23.68 - 7.68 - 2.00) \cdot (20.6 - 10) \\ &= 148.4 \quad [\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_2 &= |\text{LLW}| \cdot \gamma_{\text{caisson,nat}} \quad (\text{gedeelte boven water met verzadigde ballast}) \\ &= 2.00 \cdot 20.6 \\ &= 41.2 \quad [\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_3 &= h_{\text{crest}} \cdot \gamma_{\text{caisson,droog}} \quad (\text{gedeelte boven water met onverz. ballast}) \\ &= 7.68 \cdot 17.2 \\ &= 132.1 \quad [\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G &= G_1 + G_2 + G_3 \quad (\text{totaal per m}^2) \\ &= 321.7 \quad [\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$

De maximale funderingsdruk is in deze situatie gelijk aan twee maal de funderingsdruk bij een gelijkmatig verdeelde ondersteuning. De maximale funderingsdruk treedt op bij een lage waterstand buiten het caisson (dan is het netto caissongewicht het grootst) en een lage waterstand in het caisson (op NAP). De verdeelde belasting op een vloerdeel is:

$$\begin{aligned} p_{\text{vloer}} &= 2 \cdot G + (h_{\text{caisson}} - h_{\text{crest}} + \text{LLW}) \cdot \gamma_{\text{water}} - (h_{\text{caisson}} - h_{\text{crest}}) \cdot \gamma_{\text{grond,nat}} - (h_{\text{crest}} - d_{\text{dek}}) \cdot \gamma_{\text{grond,droog}} \\ &= 2 \cdot 321.7 + (23.68 - 7.68 - 2.00) \cdot 10 - (23.68 - 7.68) \cdot 20 - (7.68 - 0.40) \cdot 16 \\ &= 643.4 + 140.0 - 320.0 - 116.4 \\ &= 347.0 \quad [\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$

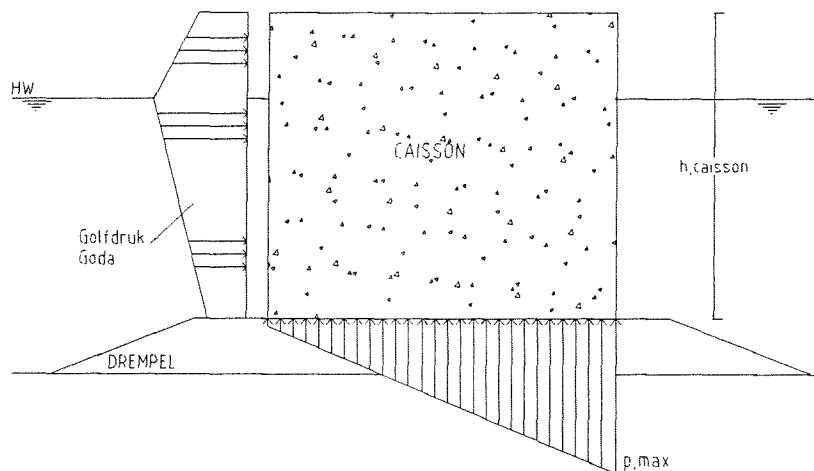
M.8 Funderingsdruk op de vloer bij extreme horizontale belastingen

Bij extreme horizontale belasting van het caisson werkt onder de vloer de maximale funderingsdruk van 377 [kN/m²] zoals bepaald in hoofdstuk 6. Onder de vloer werkt eveneens de waterdruk bij een extreem hoge waterstand. Boven op het vloerelement werkt de belasting van de ballast en het water in het caisson. Het eigen gewicht van de vloer wordt ter vereenvoudiging gelijk gesteld aan het gewicht van de natte ballast.

Verondersteld wordt dat het zand in het caisson volledig is verzadigd met water omdat deze situatie voorkomt onder extreme stormcondities (zie figuur M.7).

De resulterende belasting wordt als volgt bepaald:

$$\begin{aligned} q_{\text{vloer}} &= p_{\text{max}} + (h_{\text{caisson}} - h_{\text{crest}} + \text{HW}) \cdot \gamma_{\text{water}} - h_{\text{caisson}} \cdot \gamma_{\text{grond,nat}} \\ &= 377 + (23.68 - 7.68 + 4.40) \cdot 10 - 23.68 \cdot 20 \\ &= 377 + 204 - 474 \\ &= 107 \quad [\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$



Figuur M.7: Funderingsdruk bij extreme horizontale belasting

M.9 Conclusie

Zijwanden

Het maatgevende belastinggeval voor de zijwanden is de situatie bij een extreem golfdal aan de buitenkant van de wand en een maximale druk van binnen tegen de wand. Deze situatie is beschreven in paragraaf M.4.

De belasting onderaan de wand is berekend op $210.7 \text{ [kN/m}^2\text{]}$. Deze waarde mag nog worden gecorrigeerd omdat de belasting over de volle caissonhoogte is berekend. De vloer en het dek van het caisson maken echter geen deel uit van de afmetingen van het wanddeel. De schatting voor de dikte van de wand en vloer volgen uit hoofdstuk 6:

$$d_{\text{vloer}} = 0.80 \text{ [m]} \quad d_{\text{dek}} = 0.40 \text{ [m]}$$

De gecorrigeerde belasting wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned} p_2 &= (h_{\text{crest}} - d_{\text{dek}} - HW + A) \cdot (K_a \cdot (\gamma_{\text{grond,nat}} - \gamma_{\text{water}}) + \gamma_{\text{water}}) \\ &= (7.68 - 0.40 - 4.40 + 9.90) \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot (20 - 10) + 10\right) \\ &= 170.4 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_3 &= p_2 + (h_{\text{caisson}} - d_{\text{vloer}} - (h_{\text{crest}} - HW) - A) \cdot K_a \cdot (\gamma_{\text{grond,nat}} - \gamma_{\text{water}}) \\ &= 170.4 + (23.68 - 0.80 - (7.68 - 4.40) - 9.90) \cdot \frac{1}{3} \cdot (20 - 10) \\ &= 202.7 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

In bijlage N wordt beschreven hoe deze belastingen tot een gelijkmatig verdeelde belasting worden geschematiseerd.

Kopwanden

Voor de belasting op de kopwanden wordt dezelfde situatie beschouwd als voor de zijwanden, maar dan met een golfdal gelijk aan de halve amplitude (zie hoofdstuk 11). De resulterende belasting is $153.2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$.

Vloer

Het maatgevende belastinggeval voor de vloer volgt uit paragraaf M.7. Het caisson staat dan op een bolle drempel waardoor het funderingsdraagvlak is gehalveerd. De situatie waarbij een vloerdeel geheel niet is ondersteund (paragraaf M.6) resulteert in een bijna even grote belasting op het beschouwde vloerdeel, maar dan in neerwaartse richting.

De maatgevende verdeelde belasting op de vloer is: $347.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$.

Bijlage N: Mechanica-schematisatie van de wanden en vloer van het caisson

N.1 Schematisatie van de vloerdelen

De vloerdelen worden belast door een vrijwel gelijkmatig verdeelde belasting $q_{gem} = 347.0$ [kN/m²], berekend in bijlage M. Deze belasting wordt vermenigvuldigd met een belastingfactor van 1.5 omdat wordt geconstrueerd in gewapend beton. De vloerdelen worden beschouwd als vierzijdig ingeklemde platen.

De krachten en momenten in deze platen worden bepaald met de volgende formules:

$$q_{d,vloer} = q_{gem} \cdot 1.5 = 520.5 \quad [\text{kN/m}^2]$$

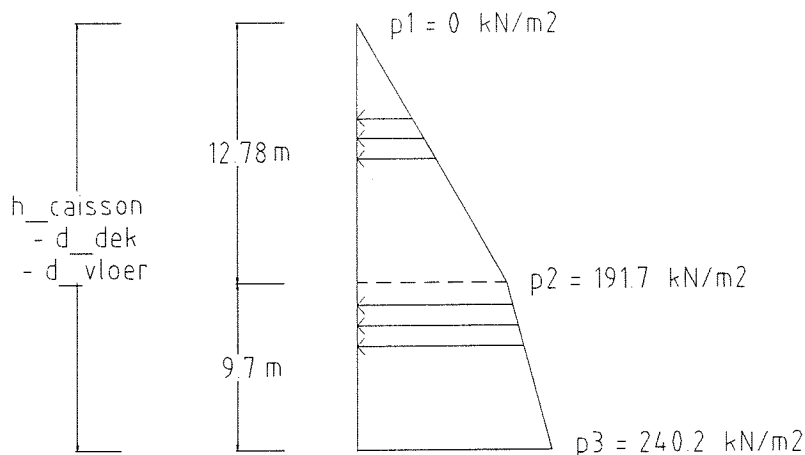
$$m_{max} = 0.001 \cdot p_d \cdot q_{d,vloer} \cdot l_x^2 \quad [\text{kNm/m}] \quad (p_d \text{ volgt uit tabel achter in deze bijlage})$$

$$V_{max} = 3/8 \cdot q_{d,vloer} \cdot l_x \quad [\text{kN/m}] \quad (l_x \text{ is de kortste plaatzijde})$$

N.2 Schematisatie van de wanden

De wanden worden beschouwd als driezijdig ingeklemde platen met een breedte gelijk aan de inwendige cellengte (voor de zijwanden) of inwendige celbreedte (bij de kopwanden). De lengte van de platen is gelijk aan de caissonhoogte verminderd met de dikte van de vloer en het dek.

Deze wanddelen worden belast door een over de hoogte lineair verlopende belasting zoals in onderstaande figuur is geschetst.



Om de formules voor gelijkmatig verdeelde belastingen te kunnen toepassen dient een fictieve gelijkmatig verdeelde belasting te worden bepaald, die met die formules dezelfde maximale momenten en dwarskrachten oplevert als in werkelijkheid met de driehoeksbelasting.

De grootte van die fictieve belasting hangt af van de verhouding tussen de lengte en de breedte van de plaat. Bij een oneindig lange plaat zal met de maximale belasting onder aan de wand als verdeelde belasting op de plaat moeten worden gerekend.

Bij een vierkante plaat levert een berekening met een verdeelde belasting gelijk aan 55% van de maximale belasting de juiste maximale momenten en dwarskrachten in de plaat op.

Bij een plaat waarvan één zijde meer dan twee maal zo lang is dan de andere zijde is deze reductie voor een driehoeksbelasting nagenoeg nihil. Dit blijkt uit vergelijking van formules van Roark (Stress & Strain, 1965 [lit.10]) voor platen met een driehoeksbelasting en dezelfde platen met een uniforme belasting.

Om van de maximale belasting onder aan de wand te komen tot een uniform verdeelde belasting wordt voor de zijwanden de volgende methode gehanteerd:

1. Van de plaat wordt het zwaarst belaste vierkant beschouwd. Dit betekent dat het onderste gedeelte van het wanddeel wordt beschouwd, over een hoogte gelijk aan de breedte van de plaat. De breedte van de plaat is gelijk aan de gekozen lengte van de cellen.
2. Dit plaatdeel wordt belast door een belasting die wordt opgedeeld in twee delen: een uniform deel en een driehoekig deel.
3. De maatgevende verdeelde belasting wordt nu verkregen door 55% van de maximale belasting van het driehoekige deel op te tellen bij het uniforme gedeelte.
4. De zo verkregen belasting wordt gebruikt als uniforme belasting voor de gehele plaat.

Voorbeeld:

Stel: $L_{\text{cel}} = 5$ meter

De belasting op 5 meter van de onderkant van de wand is dan:
 $240.2 - (240.2 - 191.7) \cdot (5 / 9.7) = 215.2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Het uniforme deel van de belasting is dan: $215.2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$.

Het driehoekige deel heeft een maximum van: $240.2 - 215.2 = 25.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$.

De vervangende uniforme belasting voor de hele plaat is dan: $0.55 \cdot 25.0 + 215.2 = 229.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$.

De verkregen reductie op de maximale belasting is hier slechts 4.7%.

Voor een cellengte van 9 meter is de belasting $220.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ en de reductie 8.4 %.

Uit het voorbeeld blijkt dat de reductie niet groot is. In de berekeningen voor de maximale momenten en dwarskrachten in de plaat wordt voor alle gevallen een reductie van 5% gehanteerd op de maximale belasting op de wand. Op de verkregen waarde wordt een belastingfactor van 1.5 toegepast.

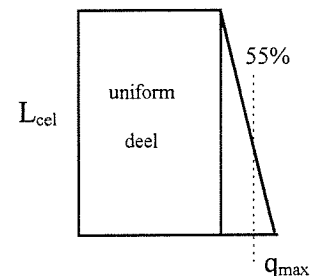
Bij de gevonden belasting wordt de ontwerpbelasting:

$$q_{d,\text{wand}} = 240.2 \cdot 0.95 \cdot 1.5 = 342 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Voor het berekenen van de maximale dwarskrachten en momenten in de wand worden de standaard formules voor driezijdig ingeklemde platen gebruikt (zie tabel achter in bijlage):

$$m_{\text{max,wand}} = 0.001 \cdot p_d \cdot q_{d,\text{wand}} \cdot l_x^2 \quad [\text{kNm/m}] \quad (p_d \text{ volgt uit bijgevoegde tabel})$$

$$V_{\text{max,wand}} = 3/8 \cdot q_{d,\text{wand}} \cdot l_x \quad [\text{kN/m}] \quad (l_x \text{ is de kortste plaatzijde})$$



l_y / l_x		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	
I		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	41	54	67	79	87	97	110	117
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	41	35	31	28	26	25	24	23
II		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	18	26	32	36	39	41	42	43
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	18	16	12	10	10	10	10	10
III		$m_{xx} = -0,001 p_d l_x^2 \times$	51	63	72	78	81	82	83	83
		$m_{yy} = -0,001 p_d l_y^2 \times$	51	54	55	54	54	53	51	49
IV A		$a_x / l_x =$	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
		$a_y / l_y =$	0,18	0,16	0,15	0,13	0,11	0,10	0,07	0,06
IV B		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	25	36	45	53	58	62	67	69
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	25	23	20	19	18	17	17	17
V A		$m_{xx} = -0,001 p_d l_x^2 \times$	68	84	97	106	113	117	122	124
		$m_{yy} = -0,001 p_d l_y^2 \times$	68	74	77	77	77	76	73	71
V B		$a_x / l_x =$	0,20	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24
		$a_y / l_y =$	0,21	0,19	0,17	0,16	0,13	0,12	0,09	0,09
VI A		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	16	28	42	56	69	80	100	112
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	29	32	32	30	27	24	20	18
VI B		$m_{xx} = -0,001 p_d l_x^2 \times$	69	85	97	105	110	112	112	112
		$a_y / l_y =$	0,19	0,19	0,17	0,17	0,16	0,15	0,12	0,11
VII A		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	29	34	38	40	42	42	42	42
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	16	14	13	13	13	13	13	13
VII B		$m_{xx} = -0,001 p_d l_x^2 \times$	69	76	80	82	83	83	83	83
		$a_x / l_x =$	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
VIII A		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	27	41	54	67	78	89	105	115
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	38	37	34	30	27	25	24	23
VIII B		$m_{xx} = -0,001 p_d l_x^2 \times$	91	102	108	111	113	114	114	114
		$a_y / l_y =$	0,21	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15	0,13	0,10
IX A		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	38	44	52	58	62	65	68	70
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	27	21	19	18	17	17	17	17
IX B		$m_{xx} = -0,001 p_d l_x^2 \times$	91	98	107	113	118	120	124	124
		$a_x / l_x =$	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25
X A		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	18	29	39	47	54	59	66	69
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	23	23	20	17	15	14	13	13
X B		$m_{xx} = -0,001 p_d l_x^2 \times$	54	72	88	100	108	114	121	124
		$m_{yy} = -0,001 p_d l_y^2 \times$	60	69	74	76	76	76	73	71
XI A		$a_x / l_x =$	0,19	0,21	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24
		$a_y / l_y =$	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,14	0,10	0,08
XI B		$m_{xx} = 0,001 p_d l_x^2 \times$	23	30	35	38	40	41	42	43
		$m_{yy} = 0,001 p_d l_y^2 \times$	18	15	14	13	13	13	13	13
XII A		$m_{xx} = -0,001 p_d l_x^2 \times$	60	70	76	80	82	83	83	83
		$m_{yy} = -0,001 p_d l_y^2 \times$	54	55	55	54	53	53	51	49
XII B		$a_x / l_x =$	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,21
		$a_y / l_y =$	0,19	0,18	0,14	0,13	0,13	0,10	0,08	0,07
		= vrij opgelegd = volledig ingeklemd								m_{xx} is het positieve moment per lengte in de middendoorsnede evenwijdig aan de lange zijde (l_x) m_{yy} is het positieve moment per lengte in de middendoorsnede evenwijdig aan de korte zijde (l_y) m_{xx} is het negatieve moment per lengte langs een lange zijde (l_x) m_{yy} is het negatieve moment per lengte langs een korte zijde (l_y)

Figuur: Maatgevende momenten per lengte in de middenstroken van lijnvormig star ondersteunde platen onder gelijkmatig verdeelde belasting.

Bijlage O: Verklaring van variabelen in BETON

O.1 Invoervariabelen

In het programma worden de volgende invoerwaarden gevraagd:

ASCII -code

Belasting op het caisson:

$Q_{d,zw}$	:	maatgevende verdeelde belasting zijwand	[kN/m ²]	q_{d_zw}
$Q_{d,vl}$	:	maatgevende verdeelde belasting vloer	[kN/m ²]	q_{d_vl}
$Q_{d,kw}$	:	maatgevende verdeelde belasting kopwand	[kN/m ²]	q_{d_kw}

Hoofdafmetingen:

B	:	breedte van het caisson	[m]	B
$h_{caisson}$	:	constructiehoogte van het caisson	[m]	$h_caisson$
$L_{golfbreker}$	:	lengte van de golfbreker	[m]	$L_golfbreker$
$d_{tussen,b}$	:	dikte van tussenwanden in de breedte	[m]	d_tussen_b
$d_{tussen,l}$	:	dikte van tussenwanden in de lengte	[m]	d_tussen_l
d_{dek}	:	dikte van de dekplaten	[m]	d_dek

Materiaalgegevens:

B_{xx}	:	betonklasse: B..	[N/mm ²]	B_{xx}
FeB	:	staalklasse FeB...	[N/mm ²]	FeB
ρ_{beton}	:	soortelijke massa van beton	[m]	ρ_b

Eenheidsprijzen:

K_{gewap_beton}	:	kosten van gewapend beton	[fl/m ³]	K_{gewap_beton}
$K_{bekisting}$	:	aanschafkosten van de bekisting	[fl/m ³]	$K_{bekisting}$
$K_{plaatsen}$	:	plaatsingskosten per caisson	[fl]	$K_{plaatsen}$
K_{manuur}	:	arbeidskosten	[fl/uur]	K_{manuur}
$K_{ballast}$	:	kosten van het ballasten	[fl/m ³]	$K_{ballast}$
$K_{kabel\ per\ m}$	:	kosten voor een m voorspankabel	[fl/m]	K_{kabel_m}
$K_{spankosten}$	:	kosten voor het spannen van één kabel	[fl]	K_{kabel_vast}

Instellen van het berkeningsinterval:

$L_{cel,min}$	:	minimale cellengte	[m]	$L_{cel,min}$
$L_{cel,max}$	:	maximale cellengte	[m]	$L_{cel,max}$
n_{min}	:	minimaal aantal cellen in breedterichting	[-]	n_{min}
n_{max}	:	maximaal aantal cellen in breedterichting	[-]	n_{max}
m_{min}	:	minimaal aantal cellen in lengterichting	[-]	m_{min}
m_{max}	:	maximaal aantal cellen in lengterichting	[-]	m_{max}

Overige:

hef_{max}	:	maximale heflast van het kraanschip	[ton]	hef_{max}
$hergebruik$	:	aantal malen dat de bekisting kan worden gebruikt		$hergebruik$

De berekening wordt uitgevoerd voor alle combinaties van de onderstaande variabelen:

L_{cel}	:	inwendige cellengte	:	$L_{cel,min}$	tot	$L_{cel,max}$	[m]
n	:	aantal cellen in de breedte van het caisson	:	n_{min}	tot	n_{max}	[-]
m	:	aantal cellen in de lengte van het caisson	:	m_{min}	tot	m_{max}	[-]

O.2 Uitvoervariabelen van het programma

Uit deze invoer worden de volgende rekenwaarden bepaald:

f_b	:	druksterkte van beton	[N/mm ²]
$f_{b,tek}$	:	treksterkte van beton	[N/mm ²]
f_s	:	treksterkte van staal	[N/mm ²]
w_{max}	:	maximaal wapeningspercentage	[%]

Achtereenvolgens wordt met het programma onder andere berekend:

Krachten en momenten in de constructie:

$m_{max,wand}$	:	maximaal moment in de zijwand	[kNm/m]
$m_{max,kopwand}$	:	maximaal moment in de kopwand	[kNm/m]
$m_{max,vloer}$	:	maximaal moment in de vloer	[kNm/m]
$V_{max,wand}$	:	maximale dwarskracht in de zijwand	[kN/m]
$V_{max,kopwand}$	:	maximale dwarskracht in de kopwand	[kN/m]
$V_{max,vloer}$	:	maximale dwarskracht in de vloer	[kN/m]
M_{lengte}	:	maximaal moment in het caisson in lengterichting	[kNm]
$V_{max,dsn}$	:	maximale dwarskracht in de doorsnede	[kN/m]

Afmetingen:

d_{wand}	:	dikte van de zijwanden	[m]
d_{vloer}	:	dikte van de vloer	[m]
$d_{kopwand}$	:	dikte van de kopwanden	[m]
$L_{caisson}$	:	lengte van het caisson	[m]
$d_{tussen,l}$	:	dikte van de tussenwanden in lengterichting	[m]

Hoeveelheden:

V_{beton}	:	betonvolume per caisson en per meter	[m ³]
$A_{bekisting}$	:	bekistingsoppervlak per caisson en per meter	[m ²]
$V_{ballast}$	:	ballastvolume per caisson en per meter	[m ³]
K_{totaal}	:	bouw- en plaatsingskosten per caisson en per meter	[fl]
$M_{caisson}$	:	betonmassa (excl. dek) per caisson en per meter	[m ³]

Dwarskrachtcontrole:

$V_{b,wand}$	:	door beton op te nemen dwarskracht in de zijwand	[kN/m]
$V_{b,kopwand}$	:	door beton op te nemen dwarskracht in de kopwand	[kN/m]
$V_{b,vloer}$	:	door beton op te nemen dwarskracht in de vloer	[kN/m]
$V_{b,dsn}$	:	door beton op te nemen dwarskracht in de doorsnede	[kN/m]
$A_{ss,t,w}$	:	benodigde dwarskrachtwapening in de zijwand	[mm ² /mm/m]
$A_{ss,t,k}$	:	benodigde dwarskrachtwapening in de kopwand	[mm ² /mm/m]
$A_{ss,t,v}$	:	benodigde dwarskrachtwapening in de vloer	[mm ² /mm/m]
$A_{ss,t,dsn}$	:	benodigde dwarskrachtwapening in de doorsnede	[mm ² /mm]

Kosten :

K_{beton}	:	kosten van het benodigde beton per caisson en per meter	[fl]
$K_{voorspannen}$	:	kosten van het voorspannen van de constructie	[fl]
$K_{bekisting}$	:	kosten van de benodigde bekisting per caisson en per meter	[fl]
$K_{ballast}$	:	kosten van de benodigde ballast per caisson en per meter	[fl]
$K_{plaatsen}$	:	plaatsingskosten per caisson en per meter	[fl]
K_{dek}	:	kosten van de dekplaten per caisson en per meter	[fl]
K_{totaal}	:	totale bouw- en plaatsingskosten per caisson en per meter	[fl]

(ASCII -code: exacte naamgeving van de variabelen in het computerprogramma)

Bijlage P: In- en uitvoer van het programma BETON

```

                                                    copyright 1997

#####          #####          #####          #####          ##
##  ##  ##          ##  ##  ##          ##  ##  ##          ##
#####          #####          ##          ##          ##  ##
##  ##  ##          ##  ##  ##          ##  ##  ##          ##
#####          #####          ##          #####          ##  ##

Dit is een programma ter bepaling van de wand- en
vloerdikte, celafmetingen en lengte van een caisson
door minimalisatie van de kosten van de benodigde
hoeveelheid gewapend beton, de bekisting en het
plaatsen en ballasten van het caisson.

written by C.M. Spanjers
-- press any key --

```

Figuur P.1: Titelscherm van het programma

```

                                                    invoer scherm 1

INVOERGEGEVENS

Belasting op het caisson:
1. qd_zw  = 288.8 [kN/m²] (max. verdeelde belasting op wand)
2. qd_vl  = 521.0 [kN/m²] (max. verdeelde belasting op vloer)
3. qd_kw  = 218.4 [kN/m²] (max. verdeelde belasting op kopwand)

Hoofdafmetingen:
4. B      = 26.0 [m] (breedte van het caisson)
5. h_caisson = 23.7 [m] (hoogte van het caisson)
6. L_golfbreker = 7500 [m] (lengte caissongolfbreker)
7. d_tussen_l = 0.25 [m] (dikte tussenwanden in lengte)
8. d_tussen_b = 0.25 [m] (dikte tussenwanden in breedte)
9. d_dek    = 0.20 [m] (dikte van het dek)

Materiaalgegevens:
10. Bxx    = 35 [N/mm²] (betonsterkte)
11. FeB    = 500 [N/mm²] (staalsterkte)
12. rho_b   = 2400 [kg/m3] (soortelijke massa van beton)

Wilt u gegevens veranderen? (j/n):

```

Figuur P.2: Invoerscherm 1 met default waarden

```

                                                    invoer scherm 2

INVOERGEGEVENS

Eenhedsprijzen:
1. K_gewap_beton = 300 [fl/m3] (kosten gewapend beton)
2. K_bekisting   = 200 [fl/m2] (kosten bekisting bij 1x gebruik)
3. K_plaatsen    = 230000 [fl] (plaatsingskosten voor een caisson)
4. K_manuur      = 60 [fl] (kosten van een manuur)
5. K_ballast     = 5 [fl/m3] (kosten van ballasten)
6. K_kabel_m     = 45 [fl/m] (kosten voorspankabel)
7. K_kabel_vast  = 2500 [fl] (vaste kosten per kabel)
8. P_kabel       = 2000 [kN] (werkvoorspanning per kabel)

Berekeningsinterval
9. L_cel_min     = 3 [m] (minimale cellengte)
10. L_cel_max    = 8 [m] (maximale cellengte (max 15))
11. n_min        = 1 [-] (minimaal aantal cellen in breedte)
12. n_max        = 4 [-] (maximaal aantal cellen in breedte (max 10))
13. m_min        = 6 [-] (minimaal aantal cellen in lengte)
14. m_max        = 20 [-] (maximaal aantal cellen in lengte (max 25))

Wilt u gegevens veranderen? (j/n):

```

Figuur P.3: Invoerscherm 2 met default waarden

invoer scherm 3

INVOERGEGEVENS

Overige

1. Maximale heflast van het kraanschip	:	12000	[ton]
2. Aantal keren dat de bekisting kan worden gebruikt:	:	100	[-]
3. Minimale dikte van zijwand, kopwand en vloer	:	400	[mm]
4. delta_d (berekeningsinterval plaatdikte)	:	50	[mm]
5. delta_fp (berekeningsinterval voorspanning)	:	1	[N/mm ²]
6. delta_L_cel (intervallen per meter cellengte)	:	10	[-]

Wilt u gegevens veranderen? (j/n):

Figuur P.4: Invoerscherm 3 met default waarden

uitvoer scherm 1

REKENRESULTATEN

Het caisson met de laagste kosten per meter ziet er als volgt uit:

Kosten per strekkende meter	:	69093 [fl/m]	(fl.112 per m ³)
Lengte van het caisson	:	50.9 [m]	totaal 147 caissons
Aantal cellen in lengterichting	:	14	cellengte = 3.3 [m]
Aantal cellen in breedterichting	:	3	celbreedte = 8.3 [m]

Betondiktes:

Zijwanden =	0.40 [m]	Tussenwanden in lengte =	0.25 [m]
Kopwanden =	0.70 [m]	Tussenwanden in breedte =	0.25 [m]
Vloer =	0.55 [m]		

Totale hoeveelheden en kostenverdeling:

	per caisson		per meter
Betonmassa	11749 [ton]		231 [ton]
Volume beton	5145 [m ³]	fl. 1543382	101.2 [m ³] fl. 30352
Bekisting	26051 [m ²]	fl. 475373	512 [m ²] fl. 9349
Ballast	26189 [m ³]	fl. 130946	515 [m ³] fl. 2575
Plaatsing		fl. 230000	fl. 4523
Voorspannen		fl. 1133661	fl. 22294

<press any key>

Figuur P.5: Gegevens van het berekende 'optimale' caisson

uitvoer scherm 2

REKENRESULTATEN

Maximale momenten en dwarskrachten in de betonelementen:

	dwarskracht	buigend moment
Zijwand =	282 [kN/m]	261 [kNm/m]
Kopwand =	620 [kN/m]	1239 [kNm/m]
Vloer_l =	410 [kN/m]	471 [kNm/m]
Vloer_b =	410 [kN/m]	290 [kNm/m]

Voor de voorspanning geldt:

	fp	exc.	fp_e	sm	kabels	kosten
	[N/mm ²]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[fl]
Zijwand	5.0	65	4.8	9.8	9	43094
Kopwand	8.2	100	7.0	15.2	26	95420
Vloer in lengte	9.3			9.3	67	320813
Vloer in breedte	5.7			5.7	146	535820

<press any key>

Figuur P.6: Krachten, momenten en voorspanning in platen

```

                                uitvoer scherm 3
CONTROLE DWARSDOORSNEDE VAN HET CAISSON

Doorsnedegrootheden:
Betonoppervlak      A   = 50.03 [m²]      Weerstandsmoment:
Hoogte zwaartepunt zw = 8.70 [m]      *onderzijde: Wz_o = 345.3 [m³]
Traagheidsmoment    Izz = 3005.5 [m⁴]    *bovenzijde: Wz_b = 200.4 [m³]

Totale voorspankracht      = 286000 [kN]
Zwaartepunt kabels tov. onderzijde = 2.9 [m]
Excentriciteit van de kabels = 5.8 [m]

Momenten en spanningen in de doorsnede:
                        Door eigen gewicht      Door voorspanning:
Buigend moment          = 1061649 [kNm]          1648108 [kNm]
spanning bovenzijde = 5.30 [N/mm²]      5.72 - 8.22 [N/mm²]
spanning onderzijde = 3.07 [N/mm²]      5.72 + 4.77 [N/mm²]

Dwarskracht door eigen gewicht      = 81213 [kN]
Dwarskracht-capaciteit zonder voorspanning = 28018 [kN]
Dwarskracht-capaciteit met voorspanning = 70918 [kN]
Dwarskrachtwapening = 1.0 [mm²/mm]    >>>> 4 Y10 per 300 mm
                                <press any key>

```

Figuur P.7: Doorsnedegrootheden en krachten, momenten en spanningen in de doorsnede

```

                                uitvoer scherm 4
REKENRESULTATEN

De vijf goedkoopste oplossingen zijn:

    -variabelen-  ----eindresultaten-----  -----betondiktes-----

Nr.  L_cel  n   m  Lengte  Massa  Kosten  wand  kop  vloer  tussen
     [m]                [m]    [ton]  [fl/m]  [m]   [m]   [m]   [m]
1.   3.3   3   14   50.9   11749   69093  0.40  0.70  0.55  0.25
2.   3.2   3   14   49.4   11600   69291  0.40  0.70  0.55  0.25
3.   3.2   3   13   46.0   10893   70482  0.40  0.70  0.55  0.25
4.   2.9   4   15   48.1   11856   70747  0.40  0.55  0.50  0.25
5.   2.7   3   16   48.4   11907   70955  0.40  0.70  0.45  0.25

( n      = aantal cellen in breedterichting )
( m      = aantal cellen in lengterichting )
( tussen = tussenwanden in lengterichting )

                                Nog een berekening? (j/n):

```

Figuur P.8: Afmetingen en kosten van alternatieve oplossingen voor het caisson

```

                                copyright 1997

#####
##                               ##
##   EINDE VAN HET PROGRAMMA   ##
##           -BETON-           ##
##                               ##
#####

                                written by Coen Spanjers
                                -- press any key --

```

Figuur P.9: Aftitelscherm van het programma

Bijlage Q: Listing van het programma CAISSON

Het programma CAISSON is geschreven in Turbo Pascal

```
{ #####
##### DIT PROGRAMMA IS GESCHREVEN DOOR C.M.SPANJERS, JULI 1997 #####
#####

DIT IS EEN PROGRAMMA VOOR HET BEREKENEN VAN DE HOOGTE EN BREEDTE VAN
EEN CAISSON BIJ GEGEVEN ONTWERPOMSTANDIGHEDEN EN ONTWERPEISEN.
DE HOOGTE VAN DE CAISSONS WORDT BEPAALD MET EEN TRANSMISSIEBEREKENING
MET ONTWERPBELASTINGEN IN DE S.L.S.
DE BREEDTE VAN DE CAISSONS WORDT VASTGESTELD NA DE BEREKENING VAN DE VEI-
LIGHEID VOOR VIER FAALMECHANISMEN MET ONTWERP BELASTINGEN IN DE U.L.S.

(een klein gedeelte (20 regels) van de procedure 'Brinch_Hansen' in dit
programma is geschreven door Madras, 26-10-1995)}

PROGRAM CAISSON;

USES Crt, Dos;

CONST
    g = 9.81;                { versnelling van de zwaartekracht in [kgm/s²] }

VAR
{*** Omgevingscondities ***}
    d_bodem,                { bodemligging t.o.v. NAP in [m] }
    d_bodem_max,            { diepste bodemligging t.o.v. NAP in [m] }
    d_bodem_min,            { ondiepste bodemligging t.o.v. NAP in [m] }
    d_drempel,              { ligging van bovenkant drempel t.o.v. NAP in [m] }
    d,                      { waterdiepte boven de drempel in [m] }
    h,                      { waterdiepte t.o.v. de bodem in [m] }
    h_drempel,              { absolute drempelhoogte in [m] }
    Bm,                     { breedte van de berm voor het caisson [m] }
    Hs,                     { significante golfhoogte in [m] }
    Hs_sls,                 { Hs in de serviceability limit state in [m] }
    Hs_uls,                 { Hs in de ultimate limit state in [m] }
    Ts,                     { significante golfperiode in [s] }
    Tz,                     { nuldoorgangperiode in [s] }
    Tp,                     { piekperiode in [s] }
    L,                      { golflengte in [m] }
    LO,                     { golflengte op diep water in [m] }
    s,                      { golfsteilheid in [%] }
    alfa,                   { reflectiecoefficient van het caisson [-] }
    Beta,                   { hoek van inval van de golven in [graden] }
    Hd,                     { ontwerp golfhoogte Goda in [m] }
    Hmax,                   { ontwerp golfhoogte lineaire golftheorie in [m] }
    Hsbr,                   { maximaal mogelijke Hs bij bepaalde diepte in [m] }
    Hdbr,                   { maximaal mogelijke individuele golf bij bepaalde
                                diepte in [m] }
    HW,                     { hoogwaterstand t.o.v. NAP in [m] }
    HW_sls,                 { HW bij de serviceability state in [m] }
    HW_uls,                 { HW bij de ultimate limit state in [m] }
    z_stijg,                { verwachte zeespiegelstijging in 50 jaar in [m] }
    hc,                     { kruinhoogte van het caisson tov HW in [m] }
    h_crest,                { kruinhoogte van het caisson tov NAP in [m] }
    n_ster,                 { hoogte waarover de golfdruk zich uitstrekt
                                boven de stilwaterlijn in [m] }
    hc_ster,                { minimale waarde van hc en n_ster in [m] }
    h_acc,                  { waterdiepte tot de onderkant van het caisson
                                in [m] (=d) }

{*** Afmetingen van het caisson ***}
    d_vloer,                { dikte van de caissonvloer in [m] }
    d_dek,                  { dikte van het caissondek in [m] }
    d_wand,                 { dikte van de zijwanden van het caisson in [m] }
    d_kop,                  { dikte van de kopwanden van het caisson in [m] }
    d_tussen_l,             { dikte van de tussenwanden in lengterichting in [m] }
    d_tussen_b,             { dikte van de tussenwanden in breedterichting in [m] }
    L_caisson,              { totale lengte van het caisson in [m] }
    B,                      { totale breedte van het caisson in [m] }
    h_caisson,              { totale constructiehoogte van het caisson in [m] }
    n,m,                    { aantal cellen in de breedte en lengte }
```

```

(***) Uitvoerwaarden gewichtsberekening caisson (***)
W, { totaal caissongewicht in [kN] }
M_caisson, { totaal droge caissonmassa in [ton] }
V_vloer, { betonvolume van de vloer in [m^3] }
V_wanden, { betonvolume van de zijwanden in [m^3] }
V_kopwanden, { betonvolume van de kopwanden in [m^3] }
V_dek, { betonvolume van het caissondek in [m^3] }
V_tussen_l, { betonvolume van de tussenwanden in
    lengterichting in [m^3] }
V_tussen_b, { betonvolume van de tussenwanden in
    breedterichting in [m^3] }
V_beton, { totale betonvolume van het caisson in [m^3] }
V_ballast, { totale volume van de ballast in het caisson in [m^3] }
L_cel, B_cel, { inwendige cellengte en celbreedte }
L_cel_acc, B_cel_acc, { h.o.h. cellengte en celbreedte }

(***) Transmissieberekening (***)
Kt, { transmissiefactor [-] }
Hi, Ht, { inkomende en overslaande golf in [m] }
Ht_max, { maximale transmissiegolfhoogte in [m] }
Beta_t, { coefficient voor transmissie [-] }

(***) Golfdrukken en -krachten per m caisson volgens lineaire golftheorie (***)
p_crest, p_swl, p_bottom, { golfdrukken lineaire golftheorie [N/m^2/m] }
F1, F2, F_horiz, F_up, { golfkrachten lineaire golftheorie [N/m] }

(***) Goda-coëfficiënten (***)
delta1, delta2, delta11, delta22,
alfa1, alfa2, alfa3,
alfa_ster, alfa10, alfa11, alfaI,

(***) Golfdrukken en golfkrachten per m caisson volgens Goda (***)
p1, p2, p3, p4, { horizontale golfdrukken Goda [N/m^2/m] }
p_nonbreak, { p1 zonder correctie voor golfklappen [N/m^2/m] }
pu, { verticale golfdruk Goda [N/m^2/m] }
P, { horizontale kracht tegen caisson in [N/m] }
U, { opwaartse golfkracht onder het caisson in [N/m] }
V, { resulterende verticale kracht op caisson in [N/m] }

(***) Momenten om de hiel van het caisson (Goda) (***)
Mp, { moment door horizontale krachten [Nm/m] }
Mu, { moment door opwaartse kracht [Nm/m] }
Mw, { moment door eigen gewicht [Nm/m] }

(***) Overige variabelen (***)
f_kant, f_schuif, { veiligheidsfactoren voor kantelen en afschuiven [-] }
f_fund, f_grond, { veiligheidsfactoren voor drempel en ondergrond [-] }
f_min, { minimaal gewenste veiligheid [-] }
rho_w, { soortelijke massa van water in [kg/m^3] }
rho_b, { soortelijke massa van gewapend beton in [kg/m^3] }
rho_g : REAL; { soortelijke massa van natte grond in [kg/m^3] }

(***) Hulpvariabelen (***)
Keuze : CHAR;
nummer : INTEGER;
help, x, BrH : REAL;
again, choice : CHAR; { hulpvariabelen bij herhalen van berekening }
B_int, i, j, k : INTEGER;

(***) Brinch_Hansen (***)
V_BrH, H_BrH, { vert. en horiz. krachten op heel caisson in [kN] }
M_BrH, { totaal hielmoment op heel caisson in [kNm] }
hv, { H/V ratio [-] }
B_bruto, { bruto draagvlakbreedte in [m] }
B_sub, { draagvlakbreedte van de ondergrond in [m] }
B_e, { gereduceerde draagvlakbreedte in [m] }
B_e_d, { gereduceerd draagvlak drempel }
B_e_sub, { gereduceerde B_sub }
Area, { netto funderingsoppervlak in [m^2] }
r_BL, { ratio B/L [-] }
p_Be, { funderingsdruk over de effectieve breedte [kN/m^2] }
p_Be_b, p_Be_d, { p_Be voor ondergrond en drempel }
p_av, { gemiddelde funderingsdruk door verticale
    belasting [kN/m^2] }
p_av_b, p_av_d, { p_av voor ondergrond en drempel }
p_mom, { funderingsdruk door moment op de constructie in [kN/m^2] }
p_min, p_max, { minimale en maximale funderingsdruk in [kN/m^2] }
p_max_b, p_max_d, { p_max voor ondergrond en drempel }
p_min_b, p_min_d, { p_min voor ondergrond en drempel }
p_max_Goda, { maximaal toelaatbare hieldruk volgens Goda [kN/m^2] }

```

```

p_fail_Brh,          { bezwijkgronddruk volgens Brinch-Hansen in [kN/m²] }
p_fail,              { maximaal toelaatbare funderingsdruk in [kN/m²] }
p_fail_b, p_fail_d,  { p_fail voor ondergrond en drempel }
t,                   { schuifspanning in funderingsvlak in [kN/m²] }
q,                   { verdeelde bovenbelasting in [kN/m²] }
fi, fi_s, fi_b,      { hoek van inwendige wrijving in [graden] }
c, c_s, c_b,         { cohesie van grond in [kN/m²] }
gamma,               { soortelijk gewicht in [kN/m³] }
gamma_s, gamma_b,    { gamma voor stortsteen en ondergrond }
e, e_b, e_d,         { excentriciteit van de verticale belasting in [m] }
s_c, s_q, s_g,       { vormfactoren }
i_c, i_q, i_g,       { schuifkrachtfactoren }
N_c, N_q, N_g        : REAL; { constanten afhankelijk van  $\bar{p}$  }

FUNCTION Tan(x:real):real;          { berekent tangens van x }
BEGIN
  Tan:=sin(x)/cos(x);
END;

FUNCTION Sinh(x:real):real;          { berekent sinus hyperbolicus van x }
BEGIN
  Sinh:=0.5*(exp(x)-exp(-x));
END;

FUNCTION Cosh(x:real):real;          { berekent cosinus hyperbolicus van x }
BEGIN
  Cosh:=0.5*(exp(x)+exp(-x));
END;

FUNCTION Tanh(x:real):real;          { berekent tangens hyperbolicus van x }
BEGIN
  Tanh:=Sinh(x)/Cosh(x);
END;

FUNCTION Macht(x,y:real):real;       { berekent x tot de macht y }
BEGIN
  Macht:=exp(ln(x)*y);
END;

PROCEDURE Titelpagina;
BEGIN
  clrscr;
  window( 1, 1, 80, 25); Textbackground(15); ClrScr;
  window( 8, 4, 73, 21); Textbackground(0); ClrScr;
  window(10, 5, 71, 20); Textbackground(3); ClrScr; Textcolor(4);
  FOR k := 1 TO 5 DO
    BEGIN
      ClrScr;
      gotoxy(48,1); write('copyright 1997');
      gotoxy(k,4); writeln('####    ##    ##    $$$$    $$$ $    ####    ##    ##');
      gotoxy(k,5); writeln('###    #####    ##    $$    $$    ##    ##    #####    ##');
      gotoxy(k,6); writeln('###    ##    ##    ##    $$$    $$$    ##    ##    ##    ##');
      gotoxy(k,7); writeln('#####    ##    $$    $$    ##    ##    ##    ##');
      gotoxy(k,8); writeln('####    ##    ##    ##    $$$ $    $$$ $    ####    ##    ##');
      Delay(100);
    END;
  Textcolor(8); gotoxy(1,10);
  writeln('    Dit is een programma om de benodigde minimale hoogte');
  writeln('    en breedte van een rechthoekig caisson te bepalen');
  writeln('    bij gegeven ontwerpomstandigheden en ontwerpeisen. ');
  gotoxy(18,15); Textcolor(15); writeln('written by Coen Spanjers');
  REPEAT
    gotoxy(22,16); write('-- press any key --');
    gotoxy(1,16); Delay(400); ClrEol; Delay(400);
  UNTIL keypressed;
END;

PROCEDURE Eindscherm;
BEGIN
  Clrscr;
  window( 1, 1, 80, 25); Textbackground(15); ClrScr;
  window( 8, 4, 73, 21); Textbackground(0); ClrScr;
  window(10, 5, 71, 20); Textbackground(3); ClrScr; Textcolor(4);
  FOR k := 1 TO 15 DO
    BEGIN
      ClrScr;
      gotoxy(48,1); write('copyright 1997');

```

```

        gotoxy(k,5); writeln('#####');
        gotoxy(k,6); writeln('##          ##');
        gotoxy(k,7); writeln('##   einde van het programma   ##');
        gotoxy(k,8); writeln('##           -CAISSON-           ##');
        gotoxy(k,9); writeln('##          ##');
        gotoxy(k,10); writeln('#####');
        Delay(80);
    END;
    Textcolor(15); gotoxy(1,11);
    gotoxy(18,14); writeln('written by Coen Spanjers');
    REPEAT
        gotoxy(22,15); write('-- press any key --');
        gotoxy(1,15); Delay(400); ClrEol; Delay(400);
    UNTIL keypressed;
END;

PROCEDURE Scherminstelling_1;
BEGIN
    ClrScr;
    window(1,1,80,25); Textbackground(1); ClrScr;
    window(3,2,78,24); Textbackground(7); ClrScr;
    window(4,2,77,24); Textbackground(7); ClrScr;
    Textcolor(0)
END;

PROCEDURE Scherminstelling_2;
BEGIN
    ClrScr;
    window(1,1,80,25); Textbackground(1); ClrScr;
    window(10,2,71,24); Textbackground(11); ClrScr;
    window(11,2,70,24); Textbackground(11); ClrScr;
    Textcolor(0)
END;

PROCEDURE Default_invoer_1;
BEGIN
    Clrscr; gotoxy(60,1); Textcolor(4); writeln('invoer scherm 1');
    Textcolor(1); gotoxy(1,2); writeln('INVOERGEGEVENS'); writeln;
    writeln('Ontwerpwaarden SLS:'); Textcolor(0);
    writeln('  1. Ht_max      =   0.5 [m]      (maximale golfhoogte in de haven)');
    Ht_max := 0.5;
    writeln('  2. HW_sls       =   2.45 [m]      (maatgevende hoogwaterstand in SLS)');
    HW_sls := 2.45;
    writeln('  3. Hs_sls       =   5.00 [m]      (maatgevende golfhoogte in SLS)');
    Hs_sls := 5.00;
    writeln;
    Textcolor(1); writeln('Ontwerpwaarden ULS:'); Textcolor(0);
    writeln('  4. f_min        =   1.2 [-]      (minimale bezwijkveiligheid)');
    f_min := 1.2;
    writeln('  5. HW_uls       =   4.40 [m]      (hoogwaterstand tov NAP)');
    HW_uls := 4.40;
    writeln('  6. Hs_uls       =   7.33 [m]      (significante golfhoogte)');
    Hs_uls := 7.33;
    writeln('  7. s            =   3.5 [%]      (golfstijlheid)'); s := 0.035;
    writeln('  8.  $\beta$         =   0 [deg]      (hoek van inval van de golven)');
    Beta := 0;
    writeln('  9.  $\alpha$          =   0.8 [-]      (reflectiecoefficient van het caisson)');
    alfa := 0.8;
    writeln;
    Textcolor(1); writeln('Bodem en drempel:'); Textcolor(0);
    writeln(' 10. d_bodem_max = -22.0 [m]      (diepste bodemligging t.o.v. NAP)');
    d_bodem_max := -22.0;
    writeln(' 11. d_bodem_min = -18.7 [m]      (ondiepste bodemligging t.o.v. NAP)');
    d_bodem_min := -18.7;
    writeln(' 12. d_drempel   = -16.0 [m]      (bovenkant drempel tov NAP)');
    d_drempel := -16.0;
END;

PROCEDURE Veranderen_invoer_1;
BEGIN
    REPEAT
        gotoxy(11,22); ClrEol; Textcolor(4);
        write('Wilt u gegevens veranderen? (j/n): ');
        gotoxy(46,22); Textcolor(0); read(keuze);
    UNTIL Upcase(Keuze) IN ['J','N'];
    IF (Keuze IN ['j','J']) THEN
        BEGIN
            REPEAT

```

```

REPEAT
gotoxy( 1,22); ClrEol; Textcolor(4);
write('Type nummer van gegeven dat u wilt veranderen (0=doorgaan:');
gotoxy(61,22); Textcolor(0); read(nummer);
UNTIL (nummer IN [0..12]);
IF nummer IN [1] THEN
    BEGIN gotoxy(22,5); write(' ');
        gotoxy(22,5); read(Ht_max); END;
IF nummer IN [2] THEN
    BEGIN gotoxy(21,6); write(' ');
        gotoxy(21,6); read(HW_sls); END;
IF nummer IN [3] THEN
    BEGIN gotoxy(21,7); write(' ');
        gotoxy(21,7); read(Hs_sls); END;
IF nummer IN [4] THEN
    BEGIN gotoxy(22,10); write(' ');
        gotoxy(22,10); read(f_min); END;
IF nummer IN [5] THEN
    BEGIN gotoxy(21,11); write(' ');
        gotoxy(21,11); read(HW_uls); END;
IF nummer IN [6] THEN
    BEGIN gotoxy(21,12); write(' ');
        gotoxy(21,12); read(Hs_uls); END;
IF nummer IN [7] THEN
    REPEAT
        BEGIN gotoxy(22,13); write(' ');
            gotoxy(22,13); read(s); s := s/100; END;
    UNTIL s < 0.07;
IF nummer IN [8] THEN
    BEGIN gotoxy(23,14); write(' ');
        gotoxy(23,14); read(Beta); END;
IF nummer IN [9] THEN
    BEGIN gotoxy(22,15); write(' ');
        gotoxy(22,15); read(alfa); END;
IF nummer IN [10] THEN
    REPEAT
        BEGIN gotoxy(20,18); write(' ');
            gotoxy(20,18); read(d_bodem_max); END;
    UNTIL d_bodem_max < 0;
IF nummer IN [11] THEN
    REPEAT
        BEGIN gotoxy(20,19); write(' ');
            gotoxy(20,19); read(d_bodem_min); END;
    UNTIL d_bodem_min < 0;
IF nummer IN [12] THEN
    REPEAT
        BEGIN gotoxy(20,20); write(' ');
            gotoxy(20,20); read(d_drempel); END;
    UNTIL d_drempel < 0;
UNTIL nummer IN [0];
END;
END;

PROCEDURE Default_invoer_2;
BEGIN
    Clrscr; gotoxy(60,1); Textcolor(4); writeln('invoer scherm 2');
    Textcolor(1); gotoxy(1,2); writeln('INVOERGEGEVENS'); writeln;
    writeln('Soortelijke massa en overige:'); Textcolor(0);
    writeln(' 1. rho_w      = 1030 [kg/m^3] (soortelijke massa van water)');
    rho_w := 1030;
    writeln(' 2. rho_b      = 2400 [kg/m^3] (soortelijke massa van gewapend beton)');
    rho_b := 2400;
    writeln(' 3. rho_g      = 2000 [kg/m^3] (soortelijke massa van natte grond)');
    rho_g := 2000;
    writeln(' 4. z_stijg     = 0.5 [m] (zeespiegelstijging in 50 jaar)');
    z_stijg := 0.5;
    writeln(' 5. Bm          = 5 [m] (bermbreedte)'); Bm:= 5;
    writeln;
    Textcolor(1); writeln('Rekenwaarden drempel:'); Textcolor(0);
    writeln(' 6. p          = 38 [graden] (wrijvingshoek)'); fi_s:= 38;
    writeln(' 7. c          = 0 [kN/m^2] (cohesie)'); c_s := 0;
    writeln(' 8. p          = 10 [kN/m^3] (onderwatergewicht)'); gamma_s := 10;
    writeln;
    Textcolor(1); writeln('Rekenwaarde ondergrond:'); Textcolor(0);
    writeln(' 9. p          = 34 [graden] (wrijvingshoek)'); fi_b := 34;
    writeln('10. c          = 0 [kN/m^2] (cohesie)'); c_b := 0;
    writeln('11. p          = 10 [kN/m^3] (onderwatergewicht)'); gamma_b := 10;
    p_max_Goda := 703;
END;

```

PROCEDURE Veranderen_invoer_2;

```

BEGIN
    REPEAT
        gotoxy(11,22); ClrEol; Textcolor(4);
        write('Wilt u gegevens veranderen? (j/n): ');
        gotoxy(46,22); Textcolor(0); read(keuze);
    UNTIL Ucase(Keuze) IN ['J','N'];
    IF (Keuze IN ['j','J']) THEN
        BEGIN
            REPEAT
                REPEAT
                    gotoxy( 1,22); ClrEol; Textcolor(4);
                    write('Type nummer van gegeven dat u wilt veranderen (0=doorgaan):');
                    gotoxy(61,22); Textcolor(0); read(nummer);
                UNTIL (nummer IN {0..11});
                IF nummer IN [1] THEN
                    BEGIN gotoxy(19,5); write(' ');
                        gotoxy(19,5); read(rho_w); END;
                IF nummer IN [2] THEN
                    BEGIN gotoxy(19,6); write(' ');
                        gotoxy(19,6); read(rho_b); END;
                IF nummer IN [3] THEN
                    BEGIN gotoxy(19,7); write(' ');
                        gotoxy(19,7); read(rho_g); END;
                IF nummer IN [4] THEN
                    BEGIN gotoxy(20,8); write(' ');
                        gotoxy(20,8); read(z_stijg); END;
                IF nummer IN [5] THEN
                    BEGIN gotoxy(20,9); write(' ');
                        gotoxy(20,9); read(Bm); END;
                IF nummer IN [6] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,12); write(' ');
                        gotoxy(21,12); readln(fi_s); END;
                IF nummer IN [7] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,13); write(' ');
                        gotoxy(21,13); readln(c_s); END;
                IF nummer IN [8] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,14); write(' ');
                        gotoxy(21,14); readln(gamma_s); END;
                IF nummer IN [9] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,17); write(' ');
                        gotoxy(21,17); readln(fi_b); END;
                IF nummer IN [10] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,18); write(' ');
                        gotoxy(21,18); readln(c_b); END;
                IF nummer IN [11] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,19); write(' ');
                        gotoxy(21,19); readln(gamma_b); END;
                UNTIL nummer IN [0];
            END;
        END;
    END;

```

PROCEDURE Default_invoer_3;

```

BEGIN
    Clrscr; gotoxy(60,1); Textcolor(4); writeln('invoer scherm 3');
    Textcolor(1); gotoxy(1,2); writeln('INVOERGEGEVENS'); writeln;
    writeln('Caissonafmetigen:'); Textcolor(0);
    writeln(' 1. L_caisson      = 60.0 [m]      (totale lengte van het caisson)');
    L_caisson := 60;
    writeln(' 2. d_vloer      = 0.80 [m]      (dikte van de caissonvloer)');
    d_vloer := 0.80;
    writeln(' 3. d_dek            = 0.40 [m]      (dikte van het caissondek)'); d_dek := 0.40;
    writeln(' 4. d_wand           = 0.60 [m]      (dikte van de zijwanden)'); d_wand := 0.60;
    writeln(' 5. d_kop           = 0.60 [m]      (dikte van de kopwanden)'); d_kop := 0.60;
    writeln(' 6. d_tussen,l      = 0.35 [m]      (dikte van de tussenwanden in de lengte)');
    d_tussen_l := 0.35;
    writeln(' 7. d_tussen,b      = 0.35 [m]      (dikte van de tussenwanden in de breedte)');
    d_tussen_b := 0.35;
    writeln(' 8. n               = 4 [-]      (aantal cellen in de breedte)'); n := 4;
    writeln(' 9. m               = 6 [-]      (aantal cellen in de lengte)'); m := 6;
END;

```

PROCEDURE Veranderen_invoer_3;

```

BEGIN
    REPEAT
        gotoxy(11,22); ClrEol; Textcolor(4);
        write('Wilt u gegevens veranderen? (j/n): ');
        gotoxy(46,22); Textcolor(0); read(keuze);
    UNTIL Ucase(Keuze) IN ['J','N'];
    IF (Keuze IN ['j','J']) THEN
        BEGIN
            REPEAT
                REPEAT
                    gotoxy( 1,22); ClrEol; Textcolor(4);
                    write('Type nummer van gegeven dat u wilt veranderen (0=doorgaan):');
                    gotoxy(61,22); Textcolor(0); read(nummer);
                UNTIL (nummer IN {0..11});
                IF nummer IN [1] THEN
                    BEGIN gotoxy(19,5); write(' ');
                        gotoxy(19,5); read(rho_w); END;
                IF nummer IN [2] THEN
                    BEGIN gotoxy(19,6); write(' ');
                        gotoxy(19,6); read(rho_b); END;
                IF nummer IN [3] THEN
                    BEGIN gotoxy(19,7); write(' ');
                        gotoxy(19,7); read(rho_g); END;
                IF nummer IN [4] THEN
                    BEGIN gotoxy(20,8); write(' ');
                        gotoxy(20,8); read(z_stijg); END;
                IF nummer IN [5] THEN
                    BEGIN gotoxy(20,9); write(' ');
                        gotoxy(20,9); read(Bm); END;
                IF nummer IN [6] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,12); write(' ');
                        gotoxy(21,12); readln(fi_s); END;
                IF nummer IN [7] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,13); write(' ');
                        gotoxy(21,13); readln(c_s); END;
                IF nummer IN [8] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,14); write(' ');
                        gotoxy(21,14); readln(gamma_s); END;
                IF nummer IN [9] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,17); write(' ');
                        gotoxy(21,17); readln(fi_b); END;
                IF nummer IN [10] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,18); write(' ');
                        gotoxy(21,18); readln(c_b); END;
                IF nummer IN [11] THEN
                    BEGIN gotoxy(21,19); write(' ');
                        gotoxy(21,19); readln(gamma_b); END;
                UNTIL nummer IN [0];
            END;
        END;
    END;

```

```

UNTIL Upcase(Keuze) IN ['J','N'];
IF (Keuze IN ['j','J']) THEN
  BEGIN
    REPEAT
      REPEAT
        gotoxy( 1,22); ClrEol; Textcolor(4);
        write('Type nummer van gegeven dat u wilt veranderen (0=doorgaan):');
        gotoxy(61,22); Textcolor(0); read(nummer);
      UNTIL (nummer IN [0..11]);
      IF nummer IN [1] THEN
        BEGIN gotoxy(21,5); write(' ');
          gotoxy(21,5); read(L_caisson); END;
      IF nummer IN [2] THEN
        BEGIN gotoxy(21,6); write(' ');
          gotoxy(21,6); read(d_vloer); END;
      IF nummer IN [3] THEN
        BEGIN gotoxy(21,7); write(' ');
          gotoxy(21,7); read(d_dek); END;
      IF nummer IN [4] THEN
        BEGIN gotoxy(21,8); write(' ');
          gotoxy(21,8); read(d_wand); END;
      IF nummer IN [5] THEN
        BEGIN gotoxy(21,9); write(' ');
          gotoxy(21,9); read(d_kop); END;
      IF nummer IN [6] THEN
        BEGIN gotoxy(21,10); write(' ');
          gotoxy(21,10); read(d_tussen_l); END;
      IF nummer IN [7] THEN
        BEGIN gotoxy(21,11); write(' ');
          gotoxy(21,11); read(d_tussen_b); END;
      IF nummer IN [8] THEN
        BEGIN gotoxy(24,12); write(' ');
          gotoxy(24,12); read(n); END;
      IF nummer IN [9] THEN
        BEGIN gotoxy(23,13); write(' ');
          gotoxy(23,13); read(m); END;
      UNTIL nummer IN [0];
    END;
  END;
END;

PROCEDURE Geometrie_sls;
BEGIN
  d := HW + abs(d_drempel);
  h := HW + abs(d_bodem_max);
  hc := h_caisson - d;
  h_acc := d;
END;

PROCEDURE Geometrie_uls;
BEGIN
  d := HW + abs(d_drempel);
  h := HW + abs(d_bodem_min);
  hc := h_caisson - d;
  h_acc := d;
END;

PROCEDURE Golfperiode;
BEGIN
  Tp := SQRT( 2 * PI * Hs / (g * s) ); { piekperiode in [s] }
  Tz := 0.7 * Tp; { nuldoorgangsperiode in [s] }
  Ts := 0.95 * Tp; { significante periode in [s] }
END;

PROCEDURE Golf lengte;
CONST
  co = 1.56; { g/20 }
VAR
  L1, L2, x, A : REAL;
BEGIN
  L0 := co * sqr(Ts); { golflengte op diep water }
  L1 := L0;
  A := 2 * PI * h;
  L2 := 0;
  WHILE ABS( L1 - L2 ) > 0.01 DO { iteratie voor het bepalen van L }
    BEGIN
      L2 := L0 * tanh(A/L1);
    END;
  END;

```

```

        L1 := (2*L2 + L1) / 3;
    END;
    L := L1;
END;

PROCEDURE Brekerhoogte;
CONST
    Beta_br = 0.092;                { brekerconstante }
VAR
    k, x : REAL;
BEGIN
    k := 2*PI / L;                  { golfgetal }
    Hsbr := Beta_br * tanh(k*h) * L; { brekerhoogte }
    IF Hsbr < Hs THEN Hs := Hsbr;
END;

PROCEDURE Maximale_golfhoogte;
CONST
    stormduur = 6;                  { uur }
VAR
    N : REAL;                       { aantal golven per storm }
BEGIN
    Hd := 1.8 * Hs;                  { te hanteren in Goda-formules }
    N := stormduur * 60 * 60 / Tz;
    Hmax := Hs * sqrt(0.5*ln(N));    { te hanteren in lineaire golftheorie }
    Hdbr := 0.8 * h;                 { maximaal mogelijke golfhoogte }
    IF Hdbr < Hd THEN Hd := Hdbr;
    IF Hdbr < Hmax THEN Hmax := Hdbr;
END;

PROCEDURE Caissonhoogte_en_transmissie;
CONST
    alfa_t = 2.2;                   { coëfficiënt voor transmissie }
BEGIN
    Hi := Hs_sls;                   { inkomende golfhoogte }
    Ht := Hi;                       { doorgelaten golfhoogte }
    Kt := Ht/Hi;                    { transmissiefactor }
    hc := -1;                       { kruinhoogte van het caisson }
    Beta_t := (d/h - 0.19) - macht((d/h),2.6)*0.41;
    WHILE Ht > Ht_max DO
        BEGIN
            IF (hc/Hi) > (alfa_t - Beta_t)
            THEN Kt := 0.1 * (1 - h_acc/h)
            ELSE Kt := 0.25 * sqrt(1 - (sin((PI/(2*alfa_t)) * ((hc/Hi) + Beta_t)))));
            Kt := sqrt(Kt + 0.01 * sqrt(1-(h_acc/h)));
            Ht := Kt * Hi;
            IF Ht > (Ht_max + 0.2)
            THEN hc := hc + 0.05
            ELSE hc := hc + 0.01
        END;
    h_caisson := h_acc + hc;         { totale constructiehoogte van het caisson }
    h_crest := hc + HW;              { kruinhoogte tov NAP in [m] }
END;

PROCEDURE Horizontale_druk;
VAR
    hulp : REAL;
BEGIN
    delta11 := 0.93 * (Bm/L - 0.12) + 0.36 * ((h-d)/h - 0.6);
    IF delta11 > 0 THEN delta1 := 15 * delta11
    ELSE delta1 := 20 * delta11;
    delta22 := -0.36 * (Bm/L - 0.12) + 0.93 * ((h-d)/h - 0.6);
    IF delta22 > 0 THEN delta2 := 3 * delta22
    ELSE delta2 := 4.9 * delta22;
    IF Hd > 2*d THEN alfaIO := 2
    ELSE alfaIO := Hd/d;
    IF delta2 > 0 THEN alfaI1 := 1 / (cosh(delta1) * SQRT(cosh(delta2)))
    ELSE alfaI1 := cos(delta2) / cosh(delta1);
    alfaI := alfaIO * alfaI1;
    x := 4*PI*h / L;
    alfa1 := 0.6 + 0.5 * SQRT(x / sinh(x));
    alfa2 := ((h-d) / (3*h)) * sqrt(Hd/d);
    hulp := (2*d) / Hd;
    IF hulp < alfa2 THEN alfa2 := hulp;
    IF alfaI > alfa2 THEN alfa_ster := alfaI
    ELSE alfa_ster := alfa2;

```



```

    alfa3      := 1 - (h_acc/h) * ( 1 - 1/cosh(2*PI*h/L) );
    p_nonbreak := 0.5 * ( 1 + cos(Beta*(PI/180)) ) * (alfal +
        alfa2*sqr(cos(Beta*(PI/180))))*rho_w*g*Hd;
    p1         := 0.5 * ( 1 + cos(Beta*(PI/180)) ) * (alfal +
        alfa_ster*sqr(cos(Beta*(PI/180))))*rho_w*g*Hd;
    p2         := p1 / (cosh( 2*PI*h / L ));
    p3         := alfa3 * p1;
END;

PROCEDURE Verticale_druk;
BEGIN
    pu := 0.5 * ( 1 + cos(Beta * (PI/180))) * alfa1 * alfa3 * rho_w*g*Hd;
END;

PROCEDURE Lineaire_golftheorie;
VAR
    A, k : REAL;
BEGIN
    A      := (1 + alfa) * 0.5 * Hmax;
    k      := 2*PI / L;
    p_crest := rho_w * g * (A-hc);
    p_swl   := rho_w * g * A;
    p_bottom := rho_w * g * A * (cosh(k*(h-d)) / cosh(k*h));
    F1      := 0.5 * (p_crest + p_swl) * hc;
    F2      := p_swl * ( (sinh(k*h)-sinh(k*(h-d))) / (k*cosh(k*h)) );
    F_horiz  := F1 + F2;
    F_up     := 0.5 * p_bottom * B;
END;

PROCEDURE Gewicht_caisson;
VAR
    W_droog, W_opdrijf, buoyance : REAL;
BEGIN
    V_vloer      := B * L_caisson * d_vloer;
    V_wanden     := 2 * (h_caisson - d_vloer) * L_caisson * d_wand;
    V_kopwanden  := 2 * (h_caisson - d_vloer) * (B - 2*d_wand) * d_kop;
    V_dek        := (B - 2*d_wand) * (L_caisson - 2*d_kop) * d_dek;
    V_tussen_l   := (n-1) * (h_caisson - d_dek - d_vloer) * (L_caisson - 2*d_kop) *
        d_tussen_l;
    V_tussen_b   := (m-1) * (h_caisson - d_dek - d_vloer) * (B - ((n-1)*(d_tussen_l)) -
        2*d_wand) * d_tussen_b;
    V_beton      := V_vloer + V_wanden + V_kopwanden + V_dek + V_tussen_l + V_tussen_b;
    L_cel_acc    := (L_caisson - 2*d_kop + 2*d_tussen_l) / m;
    L_cel        := (L_caisson - 2*d_kop - (m-1)*d_tussen_l) / m;
    B_cel_acc    := (B - 2*d_wand + 2*d_tussen_b) / n;
    B_cel        := (B - 2*d_wand - (n-1)*d_tussen_b) / n;
    V_ballast    := n * m * B_cel * L_cel * (h_caisson - d_dek - d_vloer);
    W_droog      := (V_beton * rho_b + V_ballast * rho_g) * g / L_caisson;
    {gewicht in [N/m] }
    buoyance     := d;
    IF h_caisson < d THEN buoyance := h_caisson;
    W_opdrijf    := B * buoyance * rho_w * g;
    W            := W_droog - W_opdrijf;          { effect. gewicht caisson [N/m] }
    M_caisson    := V_beton * rho_b / 1000;       { betonmassa in [ton] }
END;

PROCEDURE Krachten_en_momenten_horizontaal;          { per strekkende meter caisson }
VAR
    Mp1, Mp2, Mp3 : REAL;
BEGIN
    n_ster := 0.75 * (1 + cos(Beta*(PI/180))) * Hd;
    IF n_ster > hc THEN p4 := p1 * (1-hc/n_ster)
    ELSE p4 := 0;
    IF n_ster < hc THEN hc_ster := n_ster
    ELSE hc_ster := hc;
    P      := 0.5 * (p1+p3) * h_acc + 0.5 * (p1+p4) * hc_ster; { tot. hor. kracht [N/m] }
    Mp1    := (1/6) * (2*p1+p3) * h_acc;
    Mp2    := (1/2) * (p1+p4) * h_acc * hc_ster;
    Mp3    := (1/6) * (p1+2*p4) * h_acc * hc_ster;
    Mp      := Mp1 + Mp2 + Mp3;          { moment door horizontale krachten in [Nm/m] }
END;

PROCEDURE Krachten_en_momenten_verticaal;
BEGIN
    U := 0.5 * pu * B;          { opwaartse kracht door golfdruk onder constructie [N/m] }

```

```

      Mu := (2/3) * U * B;      { moment door opwaartse kracht onder constructie [Nm/m] }
END;

PROCEDURE Afschuifveiligheid;
CONST
  mu = 30*pi/180;
BEGIN
  V := W - U;                  { totale verticale kracht op constructie in [N/m] }
  IF V >= 0 THEN f_schuif := V * tan(mu)/P { veiligheidscoëfficiënt tegen afschuiven }
  ELSE
    BEGIN
      writeln('DE CONSTRUCTIE DRIJFT OP; DIT KAN NIET !!!');
      writeln('          -- press key --'); readkey;
      f_schuif := 1.2;
    END;
  END;
END;

PROCEDURE Kantelveiligheid;
BEGIN
  Mw := W * 0.5 * B; { hielmoment door effectieve constructiegewicht in [Nm/m] }
  f_kant := Mw / (Mu+Mp); { veiligheidscoëfficiënt tegen kantelen }
END;

{### Berekening fundering en ondergrond in Kn over hele caissonlengte ### }

PROCEDURE Set_BrH_drempel;
BEGIN
  Brh := 1;
  fi := fi_s;
  c := c_s;
  gamma := gamma_s;
  M_BrH := L_caisson * ( Mp/1000 + (U/1000) * (B/6) ); { [Nm] }
  V_BrH := L_caisson * ( V/1000 ); { van [N] naar [kN] }
  H_BrH := L_caisson * ( P/1000 ); { van [N] naar [kN] }
  e := M_BrH / V_BrH;
  hv := H_BrH / V_BrH;
  B_e_d := B - 2 * e;
  B_e := B_e_d;
  B_bruto := B;
END;

PROCEDURE Set_BrH_bodem;
BEGIN
  Brh := 2;
  fi := fi_b;
  c := c_b;
  gamma := gamma_b;
  h_drempel := (abs(d_bodem_min) - abs(d_drempel));
  V_BrH := L_caisson * ( V/1000 + gamma_s * h_drempel * B_e );
  H_BrH := L_caisson * ( P/1000 );
  M_BrH := L_caisson * ( P/1000 * h_drempel );
  e := M_BrH / V_BrH;
  hv := H_BrH / V_BrH;
  B_sub := B_e_d + 2 * h_drempel;
  B_e_sub := B_sub - 2 * e;
  B_e := B_e_sub;
  B_bruto := B_sub;
END;

PROCEDURE Brinch_Hansen; { part of this procedure has been written by: Madras, 26-10-1995 }
BEGIN
  fi := fi * pi/180; { deg > rad }
  q := 0; { bovenbelasting }
  Area := B_e * L_caisson; { effectieve draagvlak m² }
  p_Be := V_BrH / Area;
  t := H_BrH / Area;
  IF (t > c + p_Be * tan(fi)) OR (e > 0.5 * B_bruto)
  THEN
    BEGIN
      p_fail_BrH := 0;
      p_Be := 1;
      e_d := 0;
      e_b := 0;
    END
  ELSE

```

```

BEGIN
  IF e <= (B_bruto / 6)
  THEN
    BEGIN
      p_av := V_BrH / ( B_bruto * L_caisson );
      p_mom := 6 * M_BrH / ( SQR(B_bruto) * L_caisson );
      p_max := p_av + p_mom;
      p_min := p_av - p_mom;
    END
  ELSE
    BEGIN
      p_max := ((4/3 * V_BrH) / (B_bruto - 2 * e)) / L_caisson;
      p_min := 0;
      p_av := V_BrH / ( B_bruto * L_caisson );
    END;
    r_BL := B_e / L_caisson;
    s_c := 1 + 0.2 * r_BL;
    s_q := 1 + SIN(fi) * r_BL;
    s_g := 1 - 0.4 * r_BL;
    i_c := 1 - t / (c + p_Be * TAN(fi));
    i_q := SQR(i_c);
    i_g := i_q * i_c;
    N_q := ( (1 + sin(fi)) / (1 - sin(fi)) ) * EXP( pi * TAN(fi));
    N_c := (N_q - 1) / TAN(fi);
    N_g := 1.5 * (N_q - 1) * TAN(fi);
    p_fail_Brh := s_g * i_g * N_g * gamma * B_e/2;
    p_fail_Brh := p_fail_Brh + s_c * i_c * N_c * c;
    p_fail_Brh := p_fail_Brh + s_q * i_q * N_q * q;
  END;
  IF Brh = 1
  THEN
    BEGIN
      p_fail_d := p_fail_Brh;
      p_Be_d := p_Be;
      p_max_d := p_max;
      p_min_d := p_min;
      p_av_d := p_av;
      e_d := e;
    END;
  IF Brh = 2
  THEN
    BEGIN
      p_fail_b := p_fail_Brh;
      p_Be_b := p_Be;
      p_max_b := p_max;
      p_min_b := p_min;
      p_av_b := p_av;
      e_b := e;
    END;
  END;
END;

PROCEDURE Bezwijkveiligheid_fundering;
BEGIN
  f_fund := p_fail_d / p_Be_d;      { veiligheidsfactor tegen bezwijken van drempel }
END;

PROCEDURE Bezwijkveiligheid_ondergrond;
BEGIN
  f_grond := p_fail_b / p_Be_b;      { veiligheidsfactor tegen bezwijken van de
ondergrond }
END;

PROCEDURE Uitvoer_caissonhoogte;
BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 1');
  gotoxy(1,2); Textcolor(1);
  writeln('REKENRESULTATEN'); writeln;
  writeln('Rekenresultaten caissonhoogteberekening:'); Textcolor(0);
  writeln(' B      = ',beta_t:6:2,' [-] (invloed van d/h)');
  writeln(' Hi      = ',Hi:6:2,' [m] (inkomende golf)');
  writeln(' Ht      = ',Ht:6:2,' [m] (transmissiegolf)');
  writeln(' Kt      = ',(Kt*100):6:1,' [%] (transmissie)');
  writeln(' hc      = ',hc:6:2,' [m] (kruinhoogte tov HW SLS)');
  writeln(' h_crest = ',h_crest:6:2,' [m] (kruinhoogte tov NAP)');
  writeln(' h_cais  = ',h_caisson:6:2,' [m] (totale caissonhoogte)');
END;

```

PROCEDURE Uitvoer_golven_uls;

```

BEGIN
  gotoxy(1,13); Textcolor(1);
  writeln('Golflengte en golfperiode in uls:'); Textcolor(0);
  writeln(' L = ',L:3:1,' [m] (golflengte)');
  writeln(' L0 = ',L0:3:1,' [m] (diepwatergolf)');
  writeln(' Tp = ',Tp:2:1,' [s] (piekperiode)');
  writeln(' Tz = ',Tz:2:1,' [s] (nuldoorgangs per.)');
  writeln(' Ts = ',Ts:2:1,' [s] (significante per.)'); Textcolor(1);
  gotoxy(37,13); writeln('Golfhoogtes in de uls:'); Textcolor(0);
  gotoxy(37,14); writeln(' Hs = ',Hs:2:1,' [m] (significant)');
  gotoxy(37,15); writeln(' Hsbr = ',Hsbr:2:1,' [m] (brekerhoogte Hs)');
  gotoxy(37,16); writeln(' Hdbr = ',Hdbr:2:1,' [m] (brekerhoogte Hd)');
  gotoxy(37,17); writeln(' Hd = ',Hd:2:1,' [m] (ontwerpgolf Goda)');
  gotoxy(37,18); writeln(' Hmax = ',Hmax:2:1,' [m] (maximum Rayleigh)');
  gotoxy(1,20); writeln(' d = ',d:5:2,' [m] (waterdiepte boven drempel)');
  writeln(' h = ',h:5:2,' [m] (totale waterdiepte)');
  writeln(' hc = ',hc:5:2,' [m] (kruinhoogte tov HW_ULS)');
END;

```

PROCEDURE Uitvoer_golfdrukken;

```

BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 2');
  gotoxy(1,2); Textcolor(1);
  writeln('REKENRESULTATEN'); writeln;
  writeln('Coëfficiënten Goda-formules:'); Textcolor(0); writeln;
  writeln(' [ Ü11 Ü22 Ü1 Ü2 ] = [ ');
  writeln(' ,deltall:6:2,delta22:6:2,delta1:6:2,delta2:6:2,' ]');
  writeln(' [ Ö10 Ö11 Ö1 Ö* ] = [ ');
  writeln(' ,alfaI0:6:2,alfaI1:6:2,alfaI:6:2,alfa_ster:6:2,' ]');
  writeln(' [ Ö1 Ö2 Ö3 ] = [ ',alfa1:6:2,alfa2:6:2,alfa3:6:2,' ]');
  gotoxy(1,10); Textcolor(1);
  writeln('Berekening van de golfdrukken'); Textcolor(0);
  gotoxy(29,12); writeln('Goda: Lineaire golftheorie:'); writeln;
  writeln(' Horizontale druk s.w.l. p1 = ',(p1/1000):6:2);
  writeln(' Horizontale druk drempel p3 = ',(p3/1000):6:2);
  writeln(' Horizontale druk kruin p4 = ',(p4/1000):6:2); writeln;
  writeln(' Horizontale druk p2 = ',(p2/1000):6:2,' [kN/m²]');
  writeln(' Onder het caisson pu = ',(pu/1000):6:2,' [kN/m²]');
  writeln(' Zonder golfklap p1 = ',(p_nonbreak/1000):6:2,' [kN/m²]');
  gotoxy(45,14); write('p_swl = ',(p_swl/1000):6:2,' [kN/m²]');
  gotoxy(45,15); write('p_bottom = ',(p_bottom/1000):6:2,' [kN/m²]');
  gotoxy(45,16); write('p_crest = ',(p_crest/1000):6:2,' [kN/m²]');
END;

```

PROCEDURE Opmaak_rekenuitvoer_1;

```

BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 3');
  gotoxy(1,3); Textcolor(1);
  writeln('KRACHTEN, MOMENTEN EN VEILIGHEID PER M BIJ OPLOPENDE CAISSONBREEDTE');
  Textcolor(0); writeln;
  writeln('horizontaal: P = ',(P/1000):6:0,' [kN] (Goda)');
  writeln(' F_hor = ',(F_horiz/1000):6:0,' [kN] (lineaire golftheorie)');
  writeln(' Mp = ',(Mp/1000):6:0,' [kNm] (moment om hiel door P)');
  writeln; Textcolor(8);
  writeln(' (Goda) (e.g) (tot) (veiligheidscoëfficiënten)');
  Textcolor(1);
  writeln(' B U W V Mu Mw kant afsch funde onder');
  writeln(' [m] [kN] [kN] [kN] [kNm] [kNm] elen uiven ring grond');
  writeln('-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|');
  j := 0; Textcolor(0);
END;

```

PROCEDURE Rekenuitvoer_1;

```

BEGIN
  j := j + 1;
  gotoxy(1,12+j); write(B:2:2);
  gotoxy(7,12+j); write(' ',(U/1000):4:0);
  gotoxy(13,12+j); write(' ',(W/1000):4:0);
  gotoxy(20,12+j); write(' ',(V/1000):4:0);
  gotoxy(27,12+j); write(' ',(Mu/1000):5:0);
  gotoxy(35,12+j); write(' ',(Mw/1000):5:0);
  gotoxy(43,12+j); write(' | ',f_kant:2:2);
  gotoxy(53,12+j); write(' | ',f_schuif:2:2);
  gotoxy(60,12+j); write(' | ',f_fund:2:2);
  gotoxy(67,12+j); write(' | ',f_grond:2:2);
END;

```

PROCEDURE Opmaak_rekenuitvoer_2;

```

BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 4');
  gotoxy(1,3); Textcolor(1);
  writeln('SPANNINGEN IN DE DREMPEL EN DE ONDERGROND BIJ OPLOPENDE CAISSONBREEDTE');
  Textcolor(0); writeln;
  writeln('Maximaal toelaatbare hieldruk volgens Goda: ',p_max_Goda:3:0,' [kN/m²]');
  writeln; Textcolor(8);
  writeln('      --veiligheid--      -----fundering-----      -----ondergrond----- ');
  Textcolor(1);
  writeln(' B      funde      onder || p_max  p_fail      e || p_max  p_fail      e ||');
  writeln(' [m]      ring      grond ||      [m] ||      [m] ||');
  writeln('=====|=====|=====|=====|=====|=====|=====|=====|');
  j := 0; Textcolor(0);
END;
```

PROCEDURE Rekenuitvoer_2;

```

BEGIN
  j := j + 1;
  gotoxy(1,10+j); write(B:2:2);
  gotoxy(7,10+j); write('||',f_fund:6:2);
  gotoxy(15,10+j); write('||',f_grond:6:2);
  gotoxy(23,10+j); write('||',p_max_d:5:0);
  gotoxy(31,10+j); write('||',p_fail_d:6:0);
  gotoxy(39,10+j); write('||',e_d:5:1);
  gotoxy(46,10+j); write('||',p_max_b:5:0);
  gotoxy(54,10+j); write('||',p_fail_b:6:0);
  gotoxy(62,10+j); write('||',e_b:5:1,' ||');
END;
```

PROCEDURE Einduitvoer;

```

BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 5');
  gotoxy(1,2); Textcolor(1);
  writeln('EINDRESULTATEN'); writeln;
  writeln('Hoofdafmetingen:');
  gotoxy(35,4); writeln('Veiligheidsfactoren:'); Textcolor(0);
  writeln(' Caissonbreedte B = ',B:2:2,' [m]');
  writeln(' Caissonhoogte h = ',h_caisson:2:2,' [m]'); writeln;
  writeln(' (bij een lengte van',L_caisson:3:0,' m)');
  gotoxy(35,5); writeln(' Veiligheidsfactor kantelen = ',f_kant:2:2);
  gotoxy(35,6); writeln(' Veiligheidsfactor afschuiven = ',f_schuif:2:2);
  gotoxy(35,7); writeln(' Veiligheidsfactor fundering = ',f_fund:2:2);
  gotoxy(35,8); writeln(' Veiligheidsfactor ondergrond = ',f_grond:2:2);
  writeln; Textcolor(1);
  writeln('Materiaal en massa per meter caisson (schatting):'); Textcolor(0);
  writeln(' Hoeveelheid beton = ',V_beton/L_caisson:6:0,' [m3]');
  writeln(' Hoeveelheid ballast = ',V_ballast/L_caisson:6:0,' [m3]');
  writeln(' Massa van caisson zonder ballast = ',M_caisson:6:0,' [ton]');
  writeln; Textcolor(1);
  writeln('Krachten op het caisson en momenten om de caissonhiel per meter:');
  Textcolor(0);
  writeln(' Totale horizontale kracht = ',(P/1000):6:0,' [kN]');
  writeln(' Opwaartse kracht onder constructie = ',(U/1000):6:0,' [kN]');
  writeln(' Totale gewicht van het caisson = ',(W/1000):6:0,' [kN]');
  writeln(' Totale verticale kracht = ',(V/1000):6:0,' [kN]');
  writeln(' Weerstandmoment door eigen gewicht = ',(Mw/1000):6:0,' [kNm]');
  writeln(' Moment door opwaartse golfkracht = ',(Mu/1000):6:0,' [kNm]');
  writeln(' Moment door horizontale golfkracht = ',(Mp/1000):6:0,' [kNm]');
END;
```

PROCEDURE Uitvoer_Brinch_Hansen_stortsteen;

```

BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 6');
  gotoxy(1,2); Textcolor(1);
  writeln('REKENRESULTATEN FUNDERING'); Textcolor(0);
  writeln('      ---drempeel---      ---ondergrond---');
  writeln('wrijvingshoek      b_s = ',fi_s:5:1,'      b_b = ');
  writeln('cohesie      c_b = ',c:5:1,'      c_b = ');
  writeln('materiaalgewicht      p_s = ',gamma_s:5:1,'      p_b = ');
  writeln('bovenbelasting      q_s = ',q:5:1,'      q_b = ');
  writeln('totale breedte      B = ',B:5:2,'      B_sub = ');
  writeln('excentriciteit      e = ',e_d:5:2,'      e_sub = ');
  writeln('      B/6 = ',B/6:5:2,'      B_sub/6 = ');
  writeln('effectieve breedte      B_e = ',B_e_d:5:2,'      B_e_sub = ');
  writeln('verhouding P/V      P/V = ',hv:5:2,'      P/V = ');
  writeln;
```

```

writeln('      [Nq Nc Ng]          [ ',N_q:5:2,' ',N_c:5:2,' ',N_g:5:2,' ']);
writeln('      [sq sc sg]          [ ',s_q:5:2,' ',s_c:5:2,' ',s_g:5:2,' ']);
writeln('      [iq ic ig]          [ ',i_q:5:2,' ',i_c:5:2,' ',i_g:5:2,' ']);
writeln;
writeln('maatgevende funderingsdruk p_Be = ',p_Be_d:5:0);
writeln('bezwijkdruk Brinch-Hansen p_fail = ',p_fail_d:5:0);
writeln('minimale funderingsdruk p_min = ',p_min_d:5:0);
writeln('maximale funderingsdruk p_max = ',p_max_d:5:0);
writeln('gemidd. funderingsdruk p_av = ',p_av_d:5:0);
END;

```

PROCEDURE Uitvoer_Brinch_Hansen_ondergrond;

```

BEGIN
  gotoxy(59,4); write(fi_b:5:1,' [graden]');
  gotoxy(59,5); write(c:5:1,' [kN/m²]');
  gotoxy(59,6); write(gamma_b:5:1,' [kN/m³]');
  gotoxy(59,7); write(q:5:1,' [kN/m²]');
  gotoxy(59,8); write(B_sub:5:2,' [m]');
  gotoxy(59,9); write(e_b:5:2,' [m]');
  gotoxy(59,10); write((B_sub/6):5:2,' [m]');
  gotoxy(59,11); write(B_e_sub:5:2,' [m]');
  gotoxy(59,12); write(hv:5:2,' [m]');
  gotoxy(52,14); write(' [ ',N_q:5:2,' ',N_c:5:2,' ',N_g:5:2,' ']);
  gotoxy(52,15); write(' [ ',s_q:5:2,' ',s_c:5:2,' ',s_g:5:2,' ']);
  gotoxy(52,16); write(' [ ',i_q:5:2,' ',i_c:5:2,' ',i_g:5:2,' ']);
  gotoxy(54,18); write(p_Be_b:5:0,' [kN/m²]');
  gotoxy(54,19); write(p_fail_b:5:0,' [kN/m²]');
  gotoxy(54,20); write(p_min_b:5:0,' [kN/m²]');
  gotoxy(54,21); write(p_max_b:5:0,' [kN/m²]');
  gotoxy(54,22); write(p_av_b:5:0,' [kN/m²]');
END;

```

PROCEDURE Verdere_mogelijkheden_scherm;

```

BEGIN
  window( 1, 1, 80, 25); Textbackground(15); ClrScr;
  window( 8, 3, 73, 23); Textbackground(0); ClrScr;
  window(10, 4, 71, 22); Textbackground(3); ClrScr;
  Clrscr; gotoxy(52,1); Textcolor(4); writeln('keuze menu');
  Textcolor(1);
  gotoxy(5,2); write('Opties hoofdprogramma:'); Textcolor(4);
  gotoxy(5,4); write('h) Complete uitvoer van Brinch-Hansen tonen');
  gotoxy(5,5); write('n) Nieuwe berekening maken'); Textcolor(1);
  gotoxy(5,7); write('Invloed op de benodigde caissonbreedte berekenen van:');
  Textcolor(4);
  gotoxy(5,9); write('a) Ligging van de zeebodem (d_bodem) t.o.v. NAP');
  gotoxy(5,10); write('b) Hoek van inwendige wrijving van de ondergrond');
  gotoxy(5,11); write('c) Bermbreedte voor het caisson (Bm)');
  gotoxy(5,12); write('d) Drempelhoogte t.o.v. NAP (d_drempel)');
  gotoxy(5,13); write('e) Ontwerpstorm in ultimate limit state (Hs_uls)');
  gotoxy(5,14); write('f) Golfstijlheid (s)');
  gotoxy(5,16); write('s) Stoppen met berekeningen');
  Textcolor(15);
  REPEAT
    gotoxy( 5,18); write('Maak uw keuze:');
    gotoxy(20,18); ClrEol; read(choice);
  UNTIL (Uppcase(choice) IN ['A','B','C','D','E','F','H','N','S']);
END;

```

PROCEDURE Nextpage;

```

BEGIN
  gotoxy(32,23); DelLine; Textcolor(4); write('<press any key>');
  readkey; Textcolor(0); ClrScr;
END;

```

```

{ ##### }
{ ##### MAIN PROGRAM ##### }
{ ##### }

```

```

BEGIN { Begin hoofdprogramma }
  Titelpagina;
  REPEAT
    ClrScr;
    Scherminstelling_1;
  (### Invoer ###)

```

```

Default_invoer_1;
Veranderen_invoer_1;
Default_invoer_2;
Veranderen_invoer_2;
Default_invoer_3;
Veranderen_invoer_3;

{### Berekenen van de sls: bepalen van de caissonhoogte met een transmissieberekening ###}
Hs:=Hs_sls;
HW:=HW_sls + z_stijg;
Geometrie_sls;
Golfperiode;
Golflengte;
Brekerhoogte;
Caissonhoogte_en_transmissie;
Uitvoer_caissonhoogte;

{### Berekenen van de uls ###}
Hs := Hs_uls;
HW := HW_uls + 0.5 * z_stijg;
Geometrie_uls;
Golfperiode;
Golflengte;
Brekerhoogte;
Maximale_golfhoogte;
Uitvoer_golven_uls;
Nextpage;

{### Berekenen van de minimale breedte en de veiligheidscoëfficiënten ###}
Horizontale_druk;
Verticale_druk;
Lineaire_golftheorie;
Krachten_en_momenten_horizontaal;
Uitvoer_golfdrukken;
Nextpage;
FOR i := 1 TO 2 DO
    BEGIN
        IF i = 1 THEN Opmaak_rekenuitvoer_1 {uitvoer alle mechanismen}
        ELSE Opmaak_rekenuitvoer_2; {uitvoer mechanismen drempel en ondergrond}
        B_int := round(0.5*h_caisson) * 100;
        f_kant := 0;
        f_schuif := 0;
        f_fund := 0;
        f_grond := 0;
        WHILE (f_kant<f_min) OR (f_schuif<f_min) OR (f_fund<f_min) OR (f_grond<f_min) DO
            BEGIN
                B := B_int/100;
                Gewicht_caisson;
                Krachten_en_momenten_verticaal;
                Afschuifveiligheid;
                Kantelveiligheid;
                Set_BrH_drempel;
                Brinch_Hansen;
                Bezwijkveiligheid_fundering;
                Set_BrH_bodem;
                Brinch_Hansen;
                Bezwijkveiligheid_ondergrond;
                IF (f_kant>0.4) AND (f_schuif>0.4) AND (f_fund>0.4) AND (f_grond>0.4)
                    THEN IF ( (trunc(B)-(B_int/100)=0) OR (trunc(B)-(B_int/100)=-0.5))
                        THEN IF i = 1 THEN Rekenuitvoer_1
                        ELSE Rekenuitvoer_2;
                IF (f_kant<0.4) OR (f_schuif<0.4) OR (f_fund<0.4) OR (f_grond<0.4)
                    THEN B_int := B_int + 100
                    ELSE B_int := B_int + 1;
            END;
        IF i = 1 THEN Rekenuitvoer_1
        ELSE Rekenuitvoer_2;
    Nextpage;
END;
Einduitvoer;
nextpage;

```

```

#####
{*** Verdere programmogelijkheden ***}
#####

REPEAT
  Verdere_mogelijkheden_scherm;

{*** Uitvoer voor Brinch_Hansen voor berekende B ***}
  IF (Uppcase(choice) IN ['H']) THEN
    BEGIN
      Scherminstelling_1;
      Set_BrH_drempel;
      Brinch_Hansen;
      Bezwijkveiligheid_fundering;
      Uitvoer_Brinch_Hansen_stortsteen;
      Set_BrH_bodem;
      Brinch_Hansen;
      Bezwijkveiligheid_ondergrond;
      Uitvoer_Brinch_Hansen_ondergrond;
      nextpage;
    END;

{*** Gevoeligheid voor variatie van de bodemligging ***}
  IF (Uppcase(choice) IN ['A']) THEN
    BEGIN
      Scherminstelling_2;
      Clrscr;
      writeln(' d_bodem      B      h      Bxh      B/h      (h = h_caisson)');
      writeln(' =====');
      gotoxy(37,3); write('d_bodem:');
      gotoxy(38,4); write('bodemligging');
      gotoxy(38,5); write('tov NAP [m]');
      gotoxy(37,7); write('caissonafmetingen:');
      gotoxy(38,8); write('B = breedte in [m]');
      gotoxy(38,9); write('h = hoogte in [m]');
      gotoxy(37,11); write('Bxh = volume per');
      gotoxy(37,12); write('      m caisson ');
      gotoxy(37,14); write('B/h = slankheid van');
      gotoxy(37,15); write('      het caisson ');
      gotoxy(37,17); write('Overige invoerwaarden');
      gotoxy(37,18); write('zijn constant. ');
      Textcolor(4); gotoxy(37,23); write('Bezig met rekenen...');
      Textcolor(0); gotoxy(1,3);
      FOR i:= 0 to 19 do
        BEGIN
          IF i = 19 THEN {default uitkomsten terugkrijgen}
            BEGIN
              d_bodem_max := -22;
              d_bodem_min := -19.7;
            END
          ELSE
            BEGIN
              d_bodem := -25 + 0.5*i;
              d_bodem_max := d_bodem;
              d_bodem_min := d_bodem;
            END;
        END;

      (* sls *)      Hs:=Hs_sls;
                    HW:=HW_sls + z_stijg;
                    Geometrie_sls;
                    Golfperiode;
                    Golflengte;
                    Brekerhoogte;
                    Caissonhoogte_en_transmissie;

      (* uls *)      Hs := Hs_uls;
                    HW := HW_uls + 0.5 * z_stijg;
                    Geometrie_uls;
                    Golfperiode;
                    Golflengte;
                    Brekerhoogte;
                    Maximale_golfhoogte;

      (* B *)        Horizontale_druk;
                    Verticale_druk;
                    Krachten_en_momenten_horizontaal;
                    B_int := round(0.5*h_caisson) * 100;
                    f_kant := 0; f_schuif := 0; f_fund := 0; f_grond := 0;
                    WHILE (f_kant<f_min) OR (f_schuif<f_min) OR (f_fund<f_min) OR
                      (f_grond<f_min) DO
                      BEGIN
                        B := B_int/100;
                        Gewicht_caisson;

```



```

        Krachten_en_momenten_verticaal;
        Afschuifveiligheid;
        Kantelveiligheid;
        Set_BrH_drempel;
        Brinch_Hansen;
        Bezwijkveiligheid_fundering;
        Set_BrH_bodem;
        Brinch_Hansen;
        Bezwijkveiligheid_ondergrond;
        IF (f_kant<0.4) OR (f_schuif<0.4) OR (f_fund<0.4) OR
           (f_grond<0.4)
           THEN B_int := B_int + 100 ELSE B_int := B_int + 1;
        END;
    IF i < 19 THEN BEGIN
        write(' ',d_bodem:2:1,' ',B:2:2,' ',h_caisson:2:2,' ');
        writeln(B*h_caisson:3:0,' ',B/h_caisson:1:2); END;
    END;
nextpage;
END;

{*** Gevoeligheid voor variatie van de wrijvingshoek van de ondergrond ***}
IF (Ucase(choice) IN ['B']) THEN
    BEGIN
        Scherminstelling_2;
        ClrScr;
        gotoxy(10,1); write('fi_b  B');
        gotoxy(10,2); write('=====');
        gotoxy(27,3); write('fi_b = hoek van inwendige wrijving');
        gotoxy(27,4); write('      van de ondergrond');
        gotoxy(27,5); write('B      = benodigde caissonbreedte');
        gotoxy(27,8); write('Overige invoerwaarden');
        gotoxy(27,9); write('zijn constant. ');
        Textcolor(4); gotoxy(38,23); write('Bezig met rekenen...'); Textcolor(0);
        FOR i := 0 to 20 do
            BEGIN
                IF i = 20 THEN fi_b := 35 (* default uitkomsten terug *)
                    ELSE fi_b := 25 + i;
                B_int := round(0.5*h_caisson) * 100;
                f_kant := 0; f_schuif := 0; f_fund := 0; f_grond := 0;
                WHILE (f_kant<f_min) OR (f_schuif<f_min) OR (f_fund<f_min) OR
                    (f_grond<f_min) DO
                    BEGIN
                        B := B_int/100;
                        Gewicht_caisson;
                        Krachten_en_momenten_verticaal;
                        Afschuifveiligheid;
                        Kantelveiligheid;
                        Set_BrH_drempel;
                        Brinch_Hansen;
                        Bezwijkveiligheid_fundering;
                        Set_BrH_bodem;
                        Brinch_Hansen;
                        Bezwijkveiligheid_ondergrond;
                        IF (f_kant<0.4) OR (f_schuif<0.4) OR (f_fund<0.4) OR
                           (f_grond<0.4)
                           THEN B_int := B_int + 100 ELSE B_int := B_int + 1;
                        END;
                    END;
                IF i < 20 THEN
                    BEGIN
                        gotoxy(9,i+3); write(fi_b:3:0,' ',B:2:2);
                    END;
                END;
            END;
        nextpage;
    END;
END;

{*** Gevoeligheid voor variatie van de bodemligging ***}
IF (Ucase(choice) IN ['C']) THEN
    BEGIN
        Scherminstelling_2;
        ClrScr;
        writeln(' Bm      B ');
        writeln(' =====');
        gotoxy(27,3); write('Bm = bermbreedte voor het caisson');
        gotoxy(27,4); write('B = benodigde caissonbreedte');
        gotoxy(37,8); write('Overige invoerwaarden');
        gotoxy(37,9); write('zijn constant. ');
        Textcolor(4); gotoxy(38,23); write('Bezig met rekenen...');
        Textcolor(0); gotoxy(1,3);
        FOR i := 0 to 20 do
            BEGIN

```

```

IF i = 20 THEN Bm := 5      (* default uitkomsten terugkrijgen *)
ELSE Bm := 4 + 2*i;
Horizontale_druk;
Verticale_druk;
Krachten_en_momenten_horizontaal;
B_int := round(0.5*h_caisson) * 100;
f_kant := 0; f_schuif := 0; f_fund := 0; f_grond := 0;
WHILE (f_kant<f_min) OR (f_schuif<f_min) OR (f_fund<f_min) OR
      f_grond<f_min) DO
BEGIN
  B := B_int/100;
  Gewicht_caisson;
  Krachten_en_momenten_verticaal;
  Afschuifveiligheid;
  Kantelveiligheid;
  Set_BrH_drempel;
  Brinch_Hansen;
  Bezwijkveiligheid_fundering;
  Set_BrH_bodem;
  Brinch_Hansen;
  Bezwijkveiligheid_ondergrond;
  IF (f_kant<0.4) OR (f_schuif<0.4) OR (f_fund<0.4) OR
      (f_grond<0.4)
  THEN B_int := B_int + 100 ELSE B_int := B_int + 1;
END;
IF i < 20 THEN
BEGIN
  gotoxy(3,3+i); write(Bm:2:1);
  gotoxy(9,3+i); write(B:2:2);
END;
END;
nextpage;
END;

{*** Gevoeligheid voor variatie van de drempelhoogte ***}
IF (Ucase(choice) IN ['D']) THEN
BEGIN
  Scherminstelling_2;
  d_drempel := -18;
  ClrScr;
  writeln(' d_drempel B      h  Bxh  B/h      (h = h_caisson)');
  writeln(' =====');
  gotoxy(37,3); write('d_drempel:');
  gotoxy(38,4); write('drempelliging');
  gotoxy(38,5); write('beneden NAP [m]');
  gotoxy(37,7); write('caissonafmetingen:');
  gotoxy(38,8); write('B = breedte in [m]');
  gotoxy(38,9); write('h = hoogte in [m]');
  gotoxy(37,11); write('Bxh = volume per');
  gotoxy(37,12); write('      m caisson ');
  gotoxy(37,13); write('B/h = slankheid van');
  gotoxy(37,14); write('      het caisson ');
  gotoxy(37,16); write('Overige invoerwaarden');
  gotoxy(37,17); write('zijn constant. ');
  Textcolor(4); gotoxy(38,23); write('Bezig met rekenen...');
  Textcolor(0); gotoxy(1,3);
  FOR i := 0 to 19 do
  BEGIN
    IF i = 19 THEN d_drempel := -13
                  (* default uitkomsten terugkrijgen *)
    ELSE d_drempel := -17 + 0.5*i;

    (* sls *)
    Hs:=Hs_sls;
    HW:=HW_sls + z_stijg;
    Geometrie_sls;
    Golfperiode;
    Golflengte;
    Brekerhoogte;
    Caissonhoogte_en_transmissie;

    (* uls *)
    Hs := Hs_uls;
    HW := HW_uls + 0.5 * z_stijg;
    Geometrie_uls;
    Golfperiode;
    Golflengte;
    Brekerhoogte;
    Maximale_golfhoogte;

    (* breedte *)
    Horizontale_druk;
    Verticale_druk;
    Lineaire_golftheorie;
    Krachten_en_momenten_horizontaal;
    B_int := round(0.5*h_caisson) * 100;

```

```

f_kant := 0; f_schuif := 0; f_fund := 0; f_grond := 0;
WHILE (f_kant<f_min) OR (f_schuif<f_min) OR (f_fund<f_min) OR (
  f_grond<f_min) DO
BEGIN
  B := B_int/100;
  Gewicht_caisson;
  Krachten_en_momenten_verticaal;
  Afschuifveiligheid;
  Kantelveiligheid;
  Set_BrH_drempel;
  Brinch_Hansen;
  Bezwijkveiligheid_fundering;
  Set_BrH_bodem;
  Brinch_Hansen;
  Bezwijkveiligheid_ondergrond;
  IF (f_kant<0.4) OR (f_schuif<0.4) OR (f_fund<0.4) OR
    (f_grond<0.4)
  THEN B_int := B_int + 100 ELSE B_int := B_int + 1;
END;
IF i < 19 THEN
BEGIN
  gotoxy(2,i+3); write(d_drempel:2:1);
  gotoxy(10,i+3); write(B:2:2);
  gotoxy(17,i+3); write(h_caisson:2:2);
  gotoxy(24,i+3); write((B*h_caisson):3:0);
  gotoxy(29,i+3); write((B/h_caisson):1:2);
END;
END;
nextpage;
END;

{*** Gevoeligheid voor variatie van de ontwerp golfhoogte Hs_uls ***}
IF (Uppcase(choice) IN ['E']) THEN
BEGIN
  Scherminstelling_2;
  Clrscr;
  writeln(' Hs_uls B');
  writeln(' =====');
  gotoxy(27,3); write('Hs_uls = significante golfhoogte');
  gotoxy(27,4); write(' van de ontwerpstorm');
  gotoxy(27,5); write('B = benodigde caissonbreedte');
  gotoxy(27,12); write('Overige invoerwaarden');
  gotoxy(27,13); write('zijn constant. ');
  Textcolor(4); gotoxy(38,23); write('Bezig met rekenen...');
  Textcolor(0); gotoxy(1,3);
  FOR i := 0 to 20 do
  BEGIN
    IF i = 20 THEN Hs_uls := 7.33
      (* default uitkomsten terugkrijgen *)
    ELSE Hs_uls := 5 + 0.25*i;
    Hs := Hs_uls;
    HW := HW_uls + 0.5 * z_stijg;
    Geometrie_uls;
    Golfperiode;
    Golflengte;
    Brekerhoogte;
    Maximale_golfhoogte;
    Horizontale_druk;
    Verticale_druk;
    Krachten_en_momenten_horizontaal;
    B_int := round(0.5*h_caisson) * 100;
    f_kant := 0; f_schuif := 0; f_fund := 0; f_grond := 0;
    WHILE (f_kant<f_min) OR (f_schuif<f_min) OR (f_fund<f_min) OR
      (f_grond<f_min) DO
    BEGIN
      B := B_int/100;
      Gewicht_caisson;
      Krachten_en_momenten_verticaal;
      Afschuifveiligheid;
      Kantelveiligheid;
      Set_BrH_drempel;
      Brinch_Hansen;
      Bezwijkveiligheid_fundering;
      Set_BrH_bodem;
      Brinch_Hansen;
      Bezwijkveiligheid_ondergrond;
      IF (f_kant<0.4) OR (f_schuif<0.4) OR (f_fund<0.4) OR
        (f_grond<0.4)
      THEN B_int := B_int + 100 ELSE B_int := B_int + 1;
    END;
  END;
END;

```

```

        IF i < 20 THEN
            writeln(' ',Hs_uls:2:2,' ',B:2:2);
        END;
        nextpage;
    END;

    *** Gevoeligheid voor variatie van de golfsteilheid ***
    IF (Ucase(choice) IN ['F']) THEN
        BEGIN
            Scherminstelling_2;
            ClrScr;
            writeln(' s [%] B ');
            writeln(' =====');
            gotoxy(24,3); write('s = golfsteilheid in [%]');
            gotoxy(24,4); write('B = benodigde caissonbreedte in [m]');
            gotoxy(24,12); write('Overige invoerwaarden');
            gotoxy(24,13); write('zijn constant. ');
            Textcolor(4); gotoxy(38,23); write('Bezig met rekenen...');
            Textcolor(0); gotoxy(1,3);
            FOR i := 0 to 10 do
                BEGIN
                    IF i = 10 THEN s := 0.035 (* default uitkomsten terugkrijgen *)
                    ELSE s := 0.015 + 0.005*i;

                    (* sls *)
                    Hs:=Hs_sls;
                    HW:=HW_sls + z_stijg;
                    Geometrie_sls;
                    Golfperiode;
                    Golflengte;
                    Brekerhoogte;
                    Caissonhoogte_en_transmissie;

                    (* uls *)
                    Hs := Hs_uls;
                    HW := HW_uls + 0.5 * z_stijg;
                    Geometrie_uls;
                    Golfperiode;
                    Golflengte;
                    Brekerhoogte;
                    Maximale_golfhoogte;
                    Horizontale_druk;
                    Verticale_druk;
                    Lineaire_golftheorie;
                    Krachten_en_momenten_horizontaal;
                    B_int := round(0.5*h_caisson) * 100;
                    f_kant := 0; f_schuif := 0; f_fund := 0; f_grond := 0;
                    WHILE (f_kant<f_min) OR (f_schuif<f_min) OR (f_fund<f_min) OR
                        (f_grond<f_min) DO
                        BEGIN
                            B := B_int/100;
                            Gewicht_caisson;
                            Krachten_en_momenten_verticaal;
                            Afschuifveiligheid;
                            Kantelveiligheid;
                            Set_BrH_drempel;
                            Brinch_Hansen;
                            Bezwijkveiligheid_fundering;
                            Set_BrH_bodem;
                            Brinch_Hansen;
                            Bezwijkveiligheid_ondergrond;
                            IF (f_kant<0.4) OR (f_schuif<0.4) OR (f_fund<0.4) OR
                                (f_grond<0.4)
                                THEN B_int := B_int + 100 ELSE B_int := B_int + 1;
                        END;
                    IF i < 10 THEN
                        BEGIN
                            gotoxy(3,i+3); write((s*100):2:1);
                            gotoxy(9,i+3); write(B:2:2);
                        END;
                    END;
                    nextpage;
                END;

            UNTIL (Ucase(choice) in ['N','S']);
            UNTIL (Ucase(choice) in ['S']);
            Eindscherm;
        END.

        { ##### }
        { ### einde van het programma CAISSON ### }
        { ##### }

```

Bijlage R: Listing van het programma BETON

Het programma BETON is geschreven in Turbo Pascal

```

( ##### )
( ##### DIT PROGRAMMA IS GESCHREVEN DOOR C.M.SPANJERS, juli 1997 ##### )
( ##### )

{**** DIT IS EEN PROGRAMMA VOOR HET BEPALEN VAN DE MEEST GUNSTIGE WAND- ****}
{**** EN VLOERDIKTES, CELAFMETINGEN EN TOTALE LENGTE VAN EEN CAISSON ****}
{**** DOOR BEPALING VAN DE MINIMALE KOSTEN VAN DE BENODIGDE HOEVEELHEID ****}
{**** GEWAPEND BETON, DE BEKISTING EN HET PLAATSEN EN BALLASTEN VAN HET ****}
{**** CAISSON PER STREKKENDE METER. ****}

PROGRAM Beton;

USES Crt,Dos;

CONST
    g = 9.81; { zwaartekrachtversnelling [kgm/s²] }

VAR
{*** belastingen ***}
    qd_zw, { maatgevende verdeelde belasting wanddeel in [kN/m²] }
    qd_kw, { maatgevende verdeelde belasting kopwand in [kN/m²] }
    qd_vl, { maatgevende verdeelde belasting vloerdeel in [kN/m²] }
    qd_eg_per_m, { eigen gewicht caisson per strekkende meter in [kN/m] }
    qd_eg_per_m_opt,
    hef_max : REAL; { maximale heflast van het kraanschip in [ton] }

{*** materiaalgegevens ***}
    Bxx : INTEGER; { betonklasse B25, B35 of B45 }
    FeB, { staalsterkte in [N/mm²] }
    rho_b, { soortelijke massa van gewapend beton in [kg/m³] }
    fb, { rekenwaarde betondruksterkte in [N/mm²] }
    fb_t, { rekenwaarde betontreksterkte in [N/mm²] }
    fs, { rekenwaarde sterkte wapeningsstaal in [N/mm²] }
    w_max, { maximaal wapeningspercentagein [%], afhankelijk van Bxx}
    psi, { hulpvariabele betonberekeningen }
    K_gewap_beton, { kosten van gewapend beton in [gulden/m³] }
    K_bekisting, { kosten van de bekisting in [gulden/m²] }
    K_ballast, { kosten van de ballast in [gulden/m³] }
    K_manuur : REAL; { kosten van een manuur [gulden] }
    hergebruik : INTEGER; { aantal keren dat een bekisting wordt gebruikt }

{*** caissonafmetingen ***}
    d_tussen_b, { dikte van de tussenwanden in breedterichting in [m] }
    d_dek, { dikte van het caissondek in [m] }
    B, { totale breedte van het caisson in [m] }
    h_caisson, { totale constructiehoogte van het caisson in [m] }
    L_golfbreker: REAL; { totale lengte van de golfbreker in [m] }

{*** variabelen in het programma ***}
    L_cel, L_cel_opt : REAL; { cellengte in [m] }
    delta_L_cel, { berekeningsinterval voor L_cel [cm] }
    n, n_opt, { aantal cellen in de breedte }
    m, m_opt, { aantal cellen in de lengte }
    L_cel_min, L_cel_max, { berekeningsinterval }
    n_min, n_max, { berekeningsinterval }
    m_min, m_max, { berekeningsinterval }
    aantal_loops_L_cel, { aantal berekeningsvarianties voor L_cel }
    aantal_berekeningen, { totaal aantal berekeningsvarianten }
    teller_L_cel : INTEGER; { hulpvariabele }

{*** te berekenen caissonafmetingen ***}
    L_caisson, L_caisson_opt, { totale lengte van een caisson in [m] }
    d_zijwand, d_zijwand_opt, { dikte van de zijwanden in het midden in [mm] }
    d_kopwand, d_kopwand_opt, { dikte van de kopwanden aan de zijkant in [mm] }
    d_tussen_l, d_tussen_l_opt, { dikte van de tussenwanden in lengterichting in [mm] }
    d_vloer, d_vloer_opt, { maatgevende dikte van de caissonvloer in [mm] }
    d, { berekende plaatdikte excl. dekking in [mm] }
    delta_d, { berekeningsinterval plaatdikte in [mm] }
    d_min, { minimale plaatdikte [mm] }
    B_cel, B_cel_opt, { celbreedte in [m] }

```

```

aantal_caissons,      { totale aantal caisson voor de golfbreker }
aantal_kisten,        { aantal te bouwen bekistingsconstructies }

{*** plaatafmetingen ***}
x,y,                  { hulpvariabele bij berekenen m_max }
p,q,                  { hulpvariabele bij berekenen m_max }
l_x, l_y,             { rekenafmetingen plaat in [mm] }
l_x_zw, l_x_zw_opt,
l_x_kw, l_x_kw_opt,
l_x_vl, l_x_vl_opt,
l_y_zw, l_y_zw_opt,
l_y_kw, l_y_kw_opt,
l_y_vl, l_y_vl_opt : REAL;
plaat                : INTEGER;

{*** plaatdwarskrachten ***}
V_zijwand, V_zijwand_opt, { maximale dwarskracht in zijwand in [N/mm] }
V_kopwand, V_kopwand_opt, { maximale dwarskracht in kopwand in [N/mm] }
V_vloer, V_vloer_opt,    { maximale dwarskracht in vloer in [N/mm] }
V_max,

{*** plaatmomenten ***}
m_zijwand, m_zijwand_opt, { max. veldmoment in de zijwand in [Nmm/mm] }
m_kopwand, m_kopwand_opt, { max. veldmoment in de kopwand in [Nmm/mm] }
m_vloer_l, m_vloer_l_opt, { maximaal moment in de vloer in lengte [kNm/m] }
m_vloer_b, m_vloer_b_opt, { maximaal moment in de vloer in lengte [kNm/m] }
m_vloer_x, m_vloer_y,    { vloermomenten in berekening; richting van x,y onbepaald }
moment                : REAL; { moment in algeme plaatberekening wanden }

{*** voorspanning in de platen ***}
fp_zijwand, fp_zijwand_opt, { maximale voorspanning in de zijwand in [N/mm²] }
fp_kopwand, fp_kopwand_opt, { maximale voorspanning in de kopwand in [N/mm²] }
fp_vloer_l, fp_vloer_l_opt, { maximale voorspanning in vloer in lengterichting [N/mm²] }
fp_vloer_b, fp_vloer_b_opt, { maximale voorspanning in vloer in breedterichting zijwand in [N/mm²] }

fp, { voorspanning in [N/mm²] }
delta_fp, { berekeningsinterval voorspanning in [N/mm²] }
fp_e_zw, fp_e_zw_opt, { max. spanning in zijwand door excentriciteit vd voorspanning in [N/mm²] }
fp_e_kw, fp_e_kw_opt, { max. spanning in kopwand door excentriciteit vd voorspanning in [N/mm²] }
fp_e, { max. spanning in door excentriciteit van de voorspanning in [N/mm²] }

sm_zijwand, sm_zijwand_opt, { max. spannnig door moment in de zijwand in [N/mm²] }
sm_kopwand, sm_kopwand_opt, { max. spannnig door moment in de kopwand in [N/mm²] }
sm_vloer_l, sm_vloer_l_opt, { max. spannnig door moment in de vloer in lengte in [N/mm²] }
sm_vloer_b, sm_vloer_b_opt, { max. spannnig door moment in de vloer in breedte in [N/mm²] }
sm, { max. spannnig door moment in [N/mm²] }
exc_zw, exc_zw_opt, { excentriciteit voorspanning in de zijwand in [mm] }
exc_kw, exc_kw_opt, { excentriciteit voorspanning in de kopwand in [mm] }
exc : REAL; { excentriciteit van de voorspanning in [mm] }

{*** betonoppervlak en hoeveelheid ***}
Opp_bekisting, { totale bekistingsoppervlak per caisson in [m²] }
Opp_bekisting_opt, { bekistingsoppervlak per m caisson in [m²/m] }
Opp_bekisting_per_m, { bekistingsoppervlak behorend bij het optimale caisson }
Opp_bekisting_per_m_opt, { oppervlakte van de vloer in dwarsdoorsnede in [m²] }
A_beton_vloer, { oppervlakte van een zijwand in dwarsdoorsnede in [m²] }
A_beton_wand, { oppervlakte van een lengtetussenwand in dwarsdoorsnede in [m²] }
A_beton_tussen, { betonoppervlak dwarsdoorsnede in [m²] }
A_beton, A_beton_opt, { gereduceerd betonoppervlak dsn. in [m²] (zonder vloer) }
A_beton_red, { betonvolume per caisson excl. dek in [m³/m] }
Vol_beton, { optimaal betonvolume in [m³] }
Vol_beton_opt, { betonvolume per m caisson excl. dek in [m³/m] }
Vol_beton_per_m, { betonmassa van een caisson in [ton] }
M_caisson, M_caisson_opt, { hoeveelheid ballast in [m³] }
Ballast, Ballast_opt, { hoeveelheid ballast per meter caisson in [m³/m] }
Ballast_per_m,

{*** hulpvariabelen bij het berekenen van het betonvolume ***}
Vol_tussen_b, { betonvolume van 1 tussenwand in breedte }
Vol_tussen_l, { betonvolume van 1 tussenwand in lengte }
Vol_wand, { betonvolume van 1 zijwand }
Vol_kopwand, { betonvolume van 1 kopwand }
Vol_vloer,
Vol_dek, Vol_dek_opt,

```

```

(***) kosten voorspanning (***)
P_kabel,                { werkvoorspanning per voorspankabel in [kN] }
P_zijwand,              { totale voorspankracht in de zijwand in [kN] }
P_kopwand,              { totale voorspankracht in de kopwand in [kN] }
P_vloer_l,              { totale voorspankracht in vloer in
                        lengterichting in [kN] }
P_vloer_b,              { totale voorspankracht in vloer in
                        breedterichting in [kN] }
kabels_zijwand, kabels_zijwand_opt, { aantal voorspankabels in de zijwand }
kabels_kopwand, kabels_kopwand_opt, { aantal voorspankabels in de kopwand }
kabels_vloer_l, kabels_vloer_l_opt, { aantal voorspankabels in de vloer
in lengterichting }
kabels_vloer_b, kabels_vloer_b_opt, { aantal voorspankabels in de
vloer in breedterichting }
K_kabel_m,              { kosten voorspankabel per meter [fl/m] }
K_kabel_vast,           { kosten ankers en afspannen per kabel [fl] }
K_vs_zijwand, K_vs_zijwand_opt, { kosten van de voorspanning van de zijwand }
K_vs_kopwand, K_vs_kopwand_opt, { kosten van de voorspanning van de kopwand }
K_vs_vloer_l, K_vs_vloer_l_opt, { kosten van de voorspanning van de
vloer in lengterichting }
K_vs_vloer_b, K_vs_vloer_b_opt, { kosten van de voorspanning van de
vloer in breedterichting }
K_vs_totaal, K_vs_totaal_opt, { totale kosten van de voorspanning van het caisson }

(***) kosten algemeen (***)
K_beton_tot, K_beton_opt, { betonkosten per caisson in [gulden] }
K_bekisting_tot, K_kist_opt, { bekistingskosten per caisson in [gulden] }
K_ballast_tot, K_ballast_opt, { ballastkosten per caisson in [gulden] }
K_tot_per_m, { totale kosten per m caisson in [gulden] }
K_tot_per_m_min, { minimale totale kosten per m in [gulden] }
K_plaatsen : REAL; { plaatsingskosten per caisson in [gulden] }

(***) berekenen van het zwaartepunt van de betonconstructie (***)
zw, { afstand vanaf onderkant caisson tot zwaartepunt }
zw_vloer,
zw_zijwand,
zw_tussen_l,
zw_kabels, { zwaartepunt van de voorspankabels
in de dsn. vanaf de onderkant [m] }

(***) berekenen van hte traagheidsmoment (***)
Izz_vloer, { traagheidsmoment van de vloer om de nl in [m^4] }
Izz_zijwand, { traagheidsmoment van een zijwand om de nl in [m^4] }
Izz_tussenwand, { traagheidsmoment van een tussenwand om de nl in [m^4] }
Izz_totaal, { traagheidsmoment van de hele doorsnede in [m^4]
(exclusief dek) }
Wz_b, { weerstandsmoment aan bovenzijde van de
constructie in [m^3] }
Wz_o : REAL; { weerstandsmoment aan onderzijde van de
constructie in [m^3] }

(***) berekening van de dwarsdoorsnede (***)
A_dsn, { betonoppervlak van de doorsnede in [m^2] }
kabels_dsn, { aantal voorspankabels in de doorsnede }
P_kabels_dsn, { voorspankracht in de doorsnede [kN] }
fp_dsn, { gemiddelde voorspanning in de doorsnede [N/mm^2] }
fp_e_dsn_o, { voorspanning door excentriciteit onder
in de dsn. [N/mm^2] }
fp_e_dsn_b, { voorspanning door excentriciteit
boven in de dsn. [N/mm^2] }
sm_dsn_b, { spanning door moment door e.g. onder in de dsn. [N/mm^2] }
sm_dsn_o, { spanning door moment door e.g. boven in de dsn. [N/mm^2] }
exc_dsn, { excentriciteit in de doorsnede van de
voorspankracht in [m] }
M_fp_dsn, { moment door voorspankracht in de dsn. [kNm] }

(***) dwarskrachten en momenten in de caissondoorsnede (***)
M_lengte, { maximaal positief moment in lengterichting in [kNm] }
M_lengte_opt, { maximaal pos. momenten in lengte bij optimaal caisson }
V_dsn, { maximale dwarskracht in de dwarsdoorsnede in [kN] }
V_beton_dsn, { dwarskracht-opnamecapaciteit betondorsnede [kN] }
V_cap_dsn, { dwarskracht-opnamecapaciteit voorgespannen
doorsnede [kN] }
Ass_t_dsn,
As_t_dsn : REAL;

(***) overige (***)
answer : CHAR; { hulpvariabelen bij wijzigen van de invoer }
uitvoer, { bepaald de soort uitvoer }
show, show_all_L_cel, { hulpvariabelen bij beperking van de uitvoer }

```

```

regels,                { uitvoerdosering }
teller, i, k           : INTEGER; { tellers }

{*** uitvoer alternatieven ***}
n2, n3, n4, n5,
m2, m3, m4, m5       : INTEGER; { alternatieve uitkomsten voor m }
c2, c3, c4, c5,
L2, L3, L4, L5,
Ma2, Ma3, Ma4, Ma5,
K2, K3, K4, K5,
dzw2, dzw3, dzw4, dzw5,
dkw2, dkw3, dkw4, dkw5,
dvl2, dvl3, dvl4, dvl5,
dl2, dl3, dl4, dl5 : REAL;      { alternatieve uitkomsten voor wanddikte d_wand }

FUNCTION Macht(x,y:real):real;    { berekent x tot de macht y}
BEGIN
  Macht:=exp(ln(x)*y);
END;

PROCEDURE Titelpagina;
BEGIN
  ClrScr;
  window( 1, 1, 80, 25); Textbackground(15); ClrScr;
  window( 8, 4, 73, 21); Textbackground(0); ClrScr;
  window(10, 5, 71, 20); Textbackground(3); ClrScr;
  FOR k := 1 TO 12 DO
    BEGIN
      ClrScr;
      gotoxy(48,1); Textcolor(4);
      write('copyright 1997'); Textcolor(1);
      gotoxy(k,3); writeln('#####      #####      #####      #####      ##');
      gotoxy(k,4); writeln('###    ##    ##    ##    ##    ##    ##    ##');
      gotoxy(k,5); writeln('#####      #####      ##    ##    ##    ##    ##');
      gotoxy(k,6); writeln('###    ##    ##    ##    ##    ##    ##    ##');
      gotoxy(k,7); writeln('#####      #####      ##    #####      ##    ##');
      Delay(100);
    END;
    Textcolor(8); gotoxy(1,9); Delay(200);
    writeln('      Dit is een programma ter bepaling van de wand- en ');
    writeln('      vloerdikte, celafmetingen en lengte van een caisson ');
    writeln('      door minimalisatie van de kosten van de benodigde ');
    writeln('      hoeveelheid gewapend beton, de bekisting en het ');
    writeln('      plaatsen en ballasten van het caisson. ');
    gotoxy(19,14); Textcolor(15); write('written by C.M. Spanjers');
    REPEAT
      gotoxy(22,15); write('-- press any key --');
      gotoxy(1,15); Delay(400); ClrEol; Delay(400);
    UNTIL keypressed;
  END;

PROCEDURE Eindscherm;
BEGIN
  clrscr;
  window( 1, 1, 80, 25); Textbackground(15); ClrScr;
  window( 8, 4, 73, 21); Textbackground(0); ClrScr;
  window(10, 5, 71, 20); Textbackground(3); ClrScr;
  FOR k := 1 TO 16 DO
    BEGIN
      ClrScr;
      gotoxy(48,1); Textcolor(4);
      write('copyright 1997'); Textcolor(1);
      gotoxy(k,5); write('#####');
      gotoxy(k,6); write('###');
      gotoxy(k,7); write('### EINDE VAN HET PROGRAMMA ###');
      gotoxy(k,8); write('### -BETON- ###');
      gotoxy(k,9); write('###');
      gotoxy(k,10); write('#####');
      Delay(80);
    END;
    Textcolor(15);
    FOR k := 1 TO 7 DO
      BEGIN
        gotoxy(28-k,14); DelLine; writeln('written by Coen Spanjers');
        Delay(40);
      END;
    REPEAT

```



```

        gotoxy(22,15); DelLine; write('-- press any key --');
        gotoxy( 1,15); delay(500); ClrEol; delay(500);
    UNTIL keypressed;
END;

PROCEDURE Scherminstelling_1;
BEGIN
    ClrScr;
    window(1,1,80,25); Textbackground(1); Clrscr;
    window(3,2,78,24); Textbackground(7); Clrscr;
    window(4,2,77,24); Textbackground(7); Clrscr;
    Textcolor(0);
END;

PROCEDURE Scherminstelling_2;
BEGIN
    ClrScr;
    window(1,1,80,25); Textbackground(1); Clrscr;
    window(3,2,78,25); Textbackground(11); Clrscr;
    window(4,2,77,25); Textbackground(11); Clrscr;
    Textcolor(0);
END;

PROCEDURE Default_invoer_1;
BEGIN
    Clrscr; gotoxy(60,1); Textcolor(4); writeln('invoer scherm 1');
    Textcolor(1); gotoxy(1,2); writeln('INVOERGEGEVENS'); writeln;
    Textcolor(1); writeln('Belasting op het caisson:'); Textcolor(0);
    writeln(' 1. qd_zw   = 288.8 [kN/m²] (max. verdeelde belasting op wand)');
    writeln(' 2. qd_vl   = 521.0 [kN/m²] (max. verdeelde belasting op vloer)');
    writeln(' 3. qd_kw   = 218.4 [kN/m²] (max. verdeelde belasting op kopwand)');
    qd_zw := 288.8; qd_vl := 521; qd_kw := 218.4;
    writeln;
    Textcolor(1); writeln('Hoofdafmetingen:'); Textcolor(0);
    writeln(' 4. B       = 26.0 [m] (breedte van het caisson)');
    writeln(' 5. h_caisson = 23.7 [m] (hoogte van het caisson)');
    writeln(' 6. L_golfbreker = 7500 [m] (lengte caissongolfbreker)');
    B := 26.0; h_caisson := 23.7; L_golfbreker := 7500;
    writeln(' 7. d_tussen_l = 0.25 [m] (dikte tussenwanden in lengte)');
    writeln(' 8. d_tussen_b = 0.25 [m] (dikte tussenwanden in breedte)');
    writeln(' 9. d_dek     = 0.20 [m] (dikte van het dek)');
    d_tussen_l := 0.25; d_tussen_b := 0.25; d_dek := 0.20;
    writeln;
    Textcolor(1); writeln('Materiaalgegevens:'); Textcolor(0);
    writeln('10. Bxx      = 35 [N/mm²] (betonsterkte)'); Bxx := 35;
    writeln('11. FeB      = 500 [N/mm²] (staalsterkte)'); FeB := 500;
    writeln('12. rho_b    = 2400 [kg/m³] (soortelijke massa van beton)');
    rho_b := 2400;
END;

PROCEDURE Veranderen_invoer_1;
VAR
    Keuze : CHAR;
    nummer : INTEGER;
BEGIN
    REPEAT
        gotoxy(11,22); ClrEol; Textcolor(4);
        write('Wilt u gegevens veranderen? (j/n): ');
        gotoxy(46,22); Textcolor(0); read(keuze);
    UNTIL Uppcase(Keuze) IN ['J','N'];
    IF (Keuze IN ['j','J']) THEN
        BEGIN
            REPEAT
                REPEAT
                    gotoxy( 1,22); ClrEol; Textcolor(4);
                    write('Type nummer van gegeven dat u
                        wilt veranderen (0=doorgaan): ');
                    gotoxy(61,22); Textcolor(0); read(nummer);
                UNTIL (nummer IN [0..12]);
                IF nummer IN [1] THEN
                    BEGIN gotoxy(18,5); write(' ');
                        gotoxy(18,5); read(qd_zw); END;
                IF nummer IN [2] THEN
                    BEGIN gotoxy(18,6); write(' ');
                        gotoxy(18,6); read(qd_vl); END;
                IF nummer IN [3] THEN

```

```

        BEGIN gotoxy(18,7); write(' ');
        gotoxy(18,7); read(qd_kw); END;
    IF nummer IN [4] THEN
        BEGIN gotoxy(23,10); write(' ');
        gotoxy(23,10); read(B); END;
    IF nummer IN [5] THEN
        BEGIN gotoxy(23,11); write(' ');
        gotoxy(23,11); read(h_caisson); END;
    IF nummer IN [6] THEN
        BEGIN gotoxy(23,12); write(' ');
        gotoxy(23,12); read(L_golfbreker); END;
    IF nummer IN [7] THEN
        BEGIN gotoxy(23,13); write(' ');
        gotoxy(23,13); read(d_tussen_l); END;
    IF nummer IN [8] THEN
        BEGIN gotoxy(23,14); write(' ');
        gotoxy(23,14); read(d_tussen_b); END;
    IF nummer IN [9] THEN
        BEGIN gotoxy(23,15); write(' ');
        gotoxy(23,15); read(d_dek); END;
    IF nummer IN [10] THEN
        REPEAT
            BEGIN gotoxy(25,18); write(' ');
            gotoxy(25,18); read(Bxx); END;
        UNTIL (Bxx IN [25,35,45]);
    IF nummer IN [11] THEN
        BEGIN gotoxy(24,19); write(' ');
        gotoxy(24,19); read(FeB); END;
    IF nummer IN [12] THEN
        BEGIN gotoxy(23,20); write(' ');
        gotoxy(23,20); read(rho_b); END;
    UNTIL nummer IN [0];
END;

```

PROCEDURE Default_invoer_2;

```

BEGIN
    Clrscr; gotoxy(60,1); Textcolor(4); writeln('invoer scherm 2');
    Textcolor(1); gotoxy(1,2); writeln('INVOERGEGEVENS'); writeln;
    Textcolor(1); writeln('Eenheidsprijzen:'); Textcolor(0);
    writeln(' 1. K_gewap_beton = 300 [fl/m3] (kosten gewapend beton)');
    writeln(' 2. K_bekisting = 200 [fl/m2] (kosten bekisting bij 1x gebruik)');
    writeln(' 3. K_plaatsen = 230000 [fl] (plaatsingskosten voor een caisson)');
    K_gewap_beton := 300; K_bekisting := 200; K_plaatsen := 230000;
    writeln(' 4. K_manuur = 60 [fl] (kosten van een manuur)');
    K_manuur := 60;
    writeln(' 5. K_ballast = 5 [fl/m3] (kosten van ballasten)');
    K_ballast := 5;
    writeln(' 6. K_kabel_m = 45 [fl/m] (kosten voorspankabel)');
    K_kabel_m := 45;
    writeln(' 7. K_kabel_vast = 2500 [fl] (vaste kosten per kabel)');
    writeln(' 8. P_kabel = 2000 [kN] (werkvoorspanning per kabel)');
    writeln; K_kabel_vast := 2500; P_kabel := 2000;
    Textcolor(1); writeln('Berekeningsinterval'); Textcolor(0);
    writeln(' 9. L_cel_min = 3 [m] (minimale cellengte)'); L_cel_min := 2;
    writeln('10. L_cel_max = 8 [m] (maximale cellengte (max 15))'); L_cel_max := 7;
    writeln('11. n_min = 1 [-] (minimaal aantal cellen in breedte)');
    writeln('12. n_max = 4 [-] (maximaal aantal cellen in breedte (max 10))');
    writeln('13. m_min = 6 [-] (minimaal aantal cellen in lengte)');
    writeln('14. m_max = 20 [-] (maximaal aantal cellen in lengte (max 25))');
    n_min := 1; n_max := 4; m_min := 6; m_max := 20;
END;

```

PROCEDURE Veranderen_invoer_2;

```

VAR
    Keuze : CHAR;
    nummer : INTEGER;
BEGIN
    REPEAT
        gotoxy(11,22); ClrEol; Textcolor(4);
        write('Wilt u gegevens veranderen? (j/n): ');
        gotoxy(46,22); Textcolor(0); read(keuze);
    UNTIL Upcase(Keuze) IN ['J','N'];
    IF (Keuze IN ['j','J']) THEN
        BEGIN
            REPEAT
                REPEAT
                    gotoxy(1,22); ClrEol; Textcolor(4);

```

```

        write('Type nummer van gegeven dat u
              wilt veranderen (0=doorgaan):');
        gotoxy(1,21); write('(kies 99 voor het
                           maximale berekeningsinterval)');
        gotoxy(61,22); Textcolor(0); read(nummer);
    UNTIL (nummer IN [0..14]) OR (nummer IN [99]);
    IF nummer IN [1] THEN
        BEGIN gotoxy(24,5); write(' ');
               gotoxy(24,5); read(K_gewap_beton); END;
    IF nummer IN [2] THEN
        BEGIN gotoxy(24,6); write(' ');
               gotoxy(24,6); read(K_bekisting); END;
    IF nummer IN [3] THEN
        BEGIN gotoxy(21,7); write(' ');
               gotoxy(21,7); read(K_plaatsen); END;
    IF nummer IN [4] THEN
        BEGIN gotoxy(25,8); write(' ');
               gotoxy(25,8); read(K_manuur); END;
    IF nummer IN [5] THEN
        BEGIN gotoxy(26,9); write(' ');
               gotoxy(26,9); read(K_ballast); END;
    IF nummer IN [6] THEN
        BEGIN gotoxy(25,10); write(' ');
               gotoxy(25,10); read(K_kabel_m); END;
    IF nummer IN [7] THEN
        BEGIN gotoxy(23,11); write(' ');
               gotoxy(23,11); read(K_kabel_vast); END;
    IF nummer IN [8] THEN
        BEGIN gotoxy(23,12); write(' ');
               gotoxy(23,12); read(P_kabel); END;
    IF nummer IN [9] THEN REPEAT
        BEGIN gotoxy(22,15); write(' ');
               gotoxy(22,15); read(L_cel_min); END;
        UNTIL (L_cel_min IN [1..8]);
    IF nummer IN [10] THEN REPEAT
        BEGIN gotoxy(22,16); write(' ');
               gotoxy(22,16); read(L_cel_max); END;
        UNTIL (L_cel_max IN [1..15]) AND (L_cel_max > L_cel_min);
    IF nummer IN [11] THEN REPEAT
        BEGIN gotoxy(22,17); write(' ');
               gotoxy(22,17); read(n_min); END;
        UNTIL (n_min IN [1..4]);
    IF nummer IN [12] THEN REPEAT
        BEGIN gotoxy(22,18); write(' ');
               gotoxy(22,18); read(n_max); END;
        UNTIL (n_max IN [1..10]) AND (n_max > n_min);
    IF nummer IN [13] THEN REPEAT
        BEGIN gotoxy(22,19); write(' ');
               gotoxy(22,19); read(m_min); END;
        UNTIL (m_min IN [1..8]);
    IF nummer IN [14] THEN REPEAT
        BEGIN gotoxy(21,20); write(' ');
               gotoxy(21,20); read(m_max); END;
        UNTIL (m_max IN [3..20]) AND (m_max > m_min);
    IF nummer IN [99] THEN
        BEGIN gotoxy(21,15); write(' 2'); L_cel_min := 2;
               gotoxy(21,16); write('10'); L_cel_max := 10;
               gotoxy(21,17); write(' 1'); n_min := 1;
               gotoxy(21,18); write(' 8'); n_max := 8;
               gotoxy(21,19); write(' 3'); m_min := 3;
               gotoxy(21,20); write('20'); m_max := 20;

        END;
    UNTIL nummer IN [0];
END;

END;

PROCEDURE Default_invoer_3;
BEGIN
    Clrscr; gotoxy(60,1); Textcolor(4); writeln('invoer scherm 3');
    Textcolor(1); gotoxy(1,2); writeln('INVOERGEGEVENS'); writeln;
    Textcolor(1); writeln('Overige'); Textcolor(0); writeln;
    writeln(' 1. Maximale heflast van het kraanschip           : 12000 [ton]');
    writeln(' 2. Aantal keren dat de bekisting kan worden gebruikt : 100 [-]');
    hef_max := 12000; hergebruik := 100;
    writeln(' 3. Minimale dikte van zijwand, kopwand en vloer       : 400 [mm]');
    writeln(' 4. delta_d (berekeningsinterval plaatdikte)           : 50 [mm]');
    writeln(' 5. delta_fp (berekeningsinterval voorspanning)         : 1 [N/mm²]');
    writeln(' 6. delta_L_cel (intervallen per meter cellengte)       : 10 [-]');
    d_min := 400; delta_d := 50; delta_fp := 1; delta_L_cel := 10;
END;

```

```

PROCEDURE Veranderen_invoer_3;
  VAR
    Keuze    : CHAR;
    nummer   : INTEGER;
  BEGIN
    REPEAT
      gotoxy(11,13); ClrEol; Textcolor(4);
      write('Wilt u gegevens veranderen? (j/n): ');
      gotoxy(46,13); Textcolor(0); read(keuze);
    UNTIL Upcase(Keuze) IN ['J','N'];
    IF (Keuze IN ['j','J']) THEN
      BEGIN
        REPEAT
          REPEAT
            gotoxy( 1,13); ClrEol; Textcolor(4);
            write('Type nummer van gegeven dat u
              wilt veranderen (0=doorgaan): ');
            gotoxy(61,13); Textcolor(0); read(nummer);
          UNTIL (nummer IN {0..6});
          IF nummer IN {1} THEN
            BEGIN gotoxy(57,6); write(' ');
              gotoxy(57,6); read(hef_max); END;
          IF nummer IN {2} THEN
            BEGIN gotoxy(59,7); write(' ');
              gotoxy(59,7); read(hergebruik); END;
          IF nummer IN {3} THEN
            BEGIN gotoxy(59,8); write(' ');
              gotoxy(59,8); read(d_min); END;
          IF nummer IN {4} THEN
            BEGIN gotoxy(60,9); write(' ');
              gotoxy(60,9); read(delta_d); END;
          IF nummer IN {5} THEN
            BEGIN gotoxy(61,10); write(' ');
              gotoxy(61,10); read(delta_fp); END;
          IF nummer IN {6} THEN
            BEGIN gotoxy(60,11); write(' ');
              gotoxy(60,11); read(delta_L_cel); END;
          UNTIL nummer IN {0};
        END;
      END;
    END;

PROCEDURE Start_berekening;
  BEGIN
    REPEAT
      gotoxy(9,13); DelLine; gotoxy(9,13); Textcolor(1);
      write('Maak uw keuze voor de uitvoer:'); Textcolor(0);
      gotoxy(9,14); DelLine; write('1. Gehele uitvoer tonen');
      gotoxy(9,15); DelLine; write('2. Einduitvoer en alternatieven tonen');
      gotoxy(9,16); DelLine; write('3. Alleen einduitvoer tonen');
      gotoxy(53,17); Textcolor(4); write('Uw keuze: '); Textcolor(0);
      read(uitvoer);
    UNTIL (uitvoer IN {1,2,3});
    IF (uitvoer IN {1}) THEN
      BEGIN
        REPEAT
          gotoxy(9,18); Textcolor(1);
          write('Maak uw keuze voor lengte van de uitvoer:'); Textcolor(0);
          gotoxy(9,19); write('1. Alleen de berekeningsresultaten met');
          gotoxy(9,20); write('  een cellengte in hele meters tonen');
          gotoxy(9,21); write('2. Alle berekeningsintervallen tonen');
          gotoxy(9,22); write('  (interval cellengte = 0.20 meter)');
          gotoxy(53,22); Textcolor(4); write('Uw keuze: '); Textcolor(0);
          read(show_all_L_cel);
        UNTIL (show_all_L_cel IN {1,2});
      END;
      aantal_loops_L_cel := (L_cel_max - L_cel_min) * delta_L_cel + 1;
      aantal_berekeningen := aantal_loops_L_cel * (n_max - n_min + 1)
        * (m_max - m_min + 1);
    END;

PROCEDURE Constanten;
  BEGIN
    fb      := 0.6 * Bxx;                                {N/mm^2}
    fb_t    := 0.5 * (1.05 + 0.05 * Bxx);                {N/mm^2}
    fs      := FeB/1.15;                                  {N/mm^2}
    IF Bxx = 25 THEN w_max := 1.38 / 100;
    IF Bxx = 35 THEN w_max := 1.93 / 100;
    IF Bxx = 45 THEN w_max := 2.48 / 100;
    psi     := w_max * fs / fb;
  END;

```

```

PROCEDURE Settings_zijwand;      {driezijdig ingeklemde plaat}
BEGIN
  l_x_zw := L_cel * 1000;           {mm}
  l_y_zw := (h_caisson - 0.6) * 1000; {mm}
  IF l_x_zw > l_y_zw THEN           {0.6: schatting d_vloer}
    BEGIN
      l_x_zw := l_y_kw;
      l_y_zw := L_cel * 1000;
    END;
  x := l_y_zw / l_x_zw;           { berekening steunpuntsmoment }
  y := 60;
  IF x > 1.0 THEN y := 60 + ((x - 1.0) / 0.2) * (70 - 60);
  IF x > 1.2 THEN y := 70 + ((x - 1.2) / 0.2) * (76 - 70);
  IF x > 1.4 THEN y := 76 + ((x - 1.4) / 0.2) * (80 - 76);
  IF x > 1.6 THEN y := 76 + ((x - 1.6) / 0.3) * (83 - 80);
  IF x > 1.9 THEN y := 83;
  m_zijwand := y * 0.001 * (qd_zw / 1000) * sqr(l_x_zw);           {Nmm/mm}
  V_zijwand := 3/8 * (qd_zw / 1000) * (l_x_zw - 2 * 350);           {N/mm}
  l_x := l_x_zw;           {350 = schatting voor d_zijwand}
  l_y := l_y_zw;
  moment := m_zijwand;
  V_max := V_zijwand;
  plaat := 1;
END;

PROCEDURE Settings_vloer; {vloerdeel geschematiseerd als vierzijdig ingeklemde plaat}
BEGIN
  B_cel := (B - 2 * d_zijwand - ((n-1) * 0.20)) / n;           {m}
  IF B_cel < L_cel THEN           {0.20 , d_tussen_1}
    BEGIN
      l_x_vl := B_cel * 1000;           {mm}
      l_y_vl := L_cel * 1000;           {mm}
    END
  ELSE
    BEGIN
      l_x_vl := L_cel * 1000;           {mm}
      l_y_vl := B_cel * 1000;           {mm}
    END;
  { maximaal moment in de vloer (tpv steunpunt) }
  x := l_y_vl / l_x_vl;
  { in x-richting }
  y := 51;
  IF x > 1.0 THEN y := 51 + ((x - 1.0) / 0.2) * (63 - 51);
  IF x > 1.2 THEN y := 63 + ((x - 1.2) / 0.2) * (72 - 63);
  IF x > 1.4 THEN y := 72 + ((x - 1.4) / 0.2) * (78 - 72);
  IF x > 1.6 THEN y := 78 + ((x - 1.6) / 0.2) * (81 - 78);
  IF x > 1.8 THEN y := 81 + ((x - 1.8) / 0.3) * (83 - 81);
  IF x > 2.1 THEN y := 83;
  m_vloer_x := y * 0.001 * (qd_vl / 1000) * sqr(l_x_vl);           {Nmm/mm}
  { in y-richting }
  y := 51;
  IF x > 1.0 THEN y := 51 + ((x - 1.0) / 0.2) * (54 - 51);
  IF x > 1.2 THEN y := 54 + ((x - 1.2) / 0.2) * (55 - 54);
  IF x > 1.4 THEN y := 55 + ((x - 1.4) / 0.2) * (54 - 55);
  IF x > 1.6 THEN y := 54 + ((x - 1.6) / 0.2) * (54 - 54);
  IF x > 1.8 THEN y := 54 + ((x - 1.8) / 0.2) * (53 - 54);
  IF x > 2.0 THEN y := 53 + ((x - 2.0) / 0.5) * (51 - 53);
  IF x > 2.5 THEN y := 51 + ((x - 2.5) / 0.5) * (59 - 51);
  IF x > 3.0 THEN y := 49;
  m_vloer_y := y * 0.001 * (qd_vl / 1000) * sqr(l_x_vl);           {Nmm/mm}
  V_vloer := 3/8 * (qd_vl / 1000) * (l_x_vl - 2 * 600);           {N/mm}
  l_x := l_x_vl;           {600 = schatting voor d_vloer}
  l_y := l_y_vl;
  plaat := 2;
END;

PROCEDURE Settings_kopwand;      {driezijdig ingeklemde plaat}
BEGIN
  l_x_kw := B_cel * 1000;           {mm}
  l_y_kw := (h_caisson - d_vloer) * 1000;           {mm}
  IF l_x_kw > l_y_kw THEN
    BEGIN
      l_x_kw := l_y_kw;
      l_y_kw := B_cel * 1000;
    END;
  x := l_y_kw / l_x_kw;           { berekening steunpuntsmoment }
  y := 60;
  IF x > 1.0 THEN y := 60 + ((x - 1.0) / 0.2) * (70 - 60);

```

```

IF x > 1.2 THEN y := 70 + ((x - 1.2) / 0.2) * (76 - 70);
IF x > 1.4 THEN y := 76 + ((x - 1.4) / 0.2) * (80 - 76);
IF x > 1.6 THEN y := 76 + ((x - 1.6) / 0.3) * (83 - 80);
IF x > 1.9 THEN y := 83;
m_kopwand := y * 0.001 * (qd_kw / 1000) * sqr(l_x_kw);      {Nmm/mm}
V_kopwand := 3/8 * (qd_kw / 1000) * (l_x_kw - 2 * 350);    {N/mm}
l_x      := l_x_kw;      {350 = schatting voor d_kopwand}
l_y      := l_y_kw;
moment   := m_kopwand;
V_max    := V_kopwand;
plaat    := 3;
END;

PROCEDURE Plaatdikte_en_voorspanning;
VAR
  exc_min, exc_min_1, exc_min_2,
  exc_max, exc_max_1, exc_max_2, exc_max_3: REAL;
BEGIN
  d := d_min - delta_d;
  fp := 0;
  {bepalen excentrische voorspanning voor zijwand en kopwand}
  IF (plaat IN [1,3]) THEN {1 = zijwand, 3 = kopwand}
  BEGIN
    REPEAT
      BEGIN
        d := d + delta_d;
        {bepalen voorspanning nodig voor dwarskracht}
        fp := (V_max / d - 0.4 * fb_t) / 0.15;
        IF fp < 0 THEN fp := 0.001;
        {bepalen voorspanning nodig voor buigend moment}
        sm := (6 * moment) / (sqr(d));
        IF (fp < (0.75 * fb)) THEN
          BEGIN
            IF ((fp + sm) < fb) AND (fp >= sm)
            THEN exc := 0
            ELSE
              BEGIN
                fp := fp - delta_fp;
                REPEAT
                  fp := fp + delta_fp;
                  {bepalen minimale excentriciteit}
                  exc_min_1 := (d * (sm - fp)) / (6 * fp);
                  exc_min_2 := (d * (sm + fp - fb)) / (6 * fp);
                  IF exc_min_1 > exc_min_2 THEN exc_min := exc_min_1
                  ELSE exc_min := exc_min_2;

                  {bepalen maximale excentriciteit}
                  exc_max_1 := (d * (0.75 * fb - fp)) / (6 * fp);
                  exc_max_2 := d / 6;
                  IF exc_max_1 > exc_max_2 THEN exc_max := exc_max_2
                  ELSE exc_max := exc_max_1;

                  exc_max_3 := 0.5 * (d - 150);
                  IF exc_max > exc_max_3 THEN exc_max := exc_max_3;
                UNTIL (exc_min <= exc_max) OR (fp > 0.75 * fb);
              END;
            END;
          END;
        UNTIL (exc_min <= exc_max) AND (fp < 0.75 * fb);
        exc := exc_min;
        fp_e := 6 * fp * exc / d;
      END;
    END;
  END;
  IF (plaat IN [1]) THEN
    BEGIN
      d_zijwand := d/1000; {m}
      fp_zijwand := fp;     {N/mm²}
      sm_zijwand := sm;     {N/mm²}
      exc_zw     := exc;    {mm}
      fp_e_zw    := fp_e;   {N/mm²}
    END;
  IF (plaat IN [3]) THEN
    BEGIN
      d_kopwand := d/1000; {m}
      fp_kopwand := fp;     {N/mm²}
      sm_kopwand := sm;     {N/mm²}
      exc_kw     := exc;    {mm}
      fp_e_kw    := fp_e;   {N/mm²}
    END;
  END;

```

```

{bepalen centrische voorspanning voor vloer}
  IF (plaat IN {2}) THEN      { 2 = vloer }
    BEGIN
{berekening in x-richting}
    REPEAT
      BEGIN
        d := d + delta_d;
        fp := (V_vloer / d - 0.4 * fb_t) / 0.15;
        sm := (6 * m_vloer_x) / (sqr(d));
        IF fp < sm THEN fp := sm;
      END;
    UNTIL ((fp + sm) < fb) AND (fp >= sm) AND (fp < 0.75 * fb);
    d_vloer := d/1000; {m}
    fp_vloer_b := fp; {N/mm²}
    sm_vloer_b := sm; {N/mm²}
{berekening in y-richting}
    fp := (V_vloer / d - 0.4 * fb_t) / 0.15;
    sm := (6 * m_vloer_y) / (sqr(d));
    IF fp < sm THEN fp := sm;
    IF B_cel > L_cel THEN
{waarden voor lengte- en breedterichting omwisselen}
      BEGIN
        fp_vloer_l := fp_vloer_b;
        sm_vloer_l := sm_vloer_b;
        fp_vloer_b := fp; {N/mm²}
        sm_vloer_b := sm; {N/mm²}
        m_vloer_l := m_vloer_x;
        m_vloer_b := m_vloer_y;
      END
    ELSE
{waarden voor lengte- en breedterichting niet omwisselen}
      BEGIN
        fp_vloer_l := fp; {N/mm²}
        sm_vloer_l := sm; {N/mm²}
        m_vloer_l := m_vloer_y;
        m_vloer_b := m_vloer_x;
      END;
    END;
  END;
END;

PROCEDURE Volume_beton; { betonvolume in m³ per caisson excl. dek }
BEGIN
  Vol_tussen_b := d_tussen_b * (B - 2 * d_zijwand - (n-1) * d_tussen_l);
  Vol_tussen_b := Vol_tussen_b * (h_caisson - d_vloer - d_dek);
  Vol_tussen_l := d_tussen_l * (L_caisson - 2 * d_kopwand);
  Vol_tussen_l := Vol_tussen_l * (h_caisson - d_vloer - d_dek);
  Vol_wand := d_zijwand * L_caisson * (h_caisson - d_vloer);
  Vol_kopwand := d_kopwand * (h_caisson - d_vloer) * (B - 2 * d_zijwand);
  Vol_vloer := d_vloer * B * L_caisson;
  Vol_dek := d_dek * (B - 2 * d_zijwand) * (L_caisson - 2 * d_kopwand);
  Vol_beton := (m-1) * Vol_tussen_b + (n-1) * Vol_tussen_l + 2 * Vol_wand;
  Vol_beton := Vol_beton + 2 * Vol_kopwand + Vol_vloer;
  Vol_beton := Vol_beton + Vol_dek;
  Vol_beton_per_m := Vol_beton / L_caisson; {m³/m}
  M_caisson := (Vol_beton - Vol_dek) * rho_b / 1000; {ton}
END;

PROCEDURE Oppervlak_bekisting;
VAR
  kist_1, { bekistingsoppervlak verticaal per cel in [m²] }
  kist_2, { bekistingsoppervlak caissonbuitenwanden in [m²] }
  kist_3 : REAL; { bekistingsoppervlak zijkanten vloer [m²] }
BEGIN
  kist_1 := (h_caisson - d_vloer) * 2 * (L_cel + B_cel) * n * m;
  kist_2 := 2 * (B + L_caisson) * (h_caisson - d_vloer);
  kist_3 := 2 * (B + L_caisson) * d_vloer;
  Opp_bekisting := kist_1 + kist_2; {m² per caisson}
  Opp_bekisting_per_m := Opp_bekisting / L_caisson; {m²/m}
END;

PROCEDURE Aantal_kabels_en_kosten_voorspanning;
BEGIN
  P_zijwand := (h_caisson - d_vloer) * d_zijwand * fp_zijwand *
    1000 * 0.4; {kN}
  kabels_zijwand := round(P_zijwand/P_kabel);
  K_vs_zijwand := kabels_zijwand * (L_caisson * K_kabel_m + K_kabel_vast);
  P_kopwand := (h_caisson - d_vloer) * d_kopwand * fp_kopwand

```

```

                                * 1000 * 0.4;    {kN}
kabels_kopwand := round(P_kopwand/P_kabel);
K_vs_kopwand    := kabels_kopwand * (B * K_kabel_m + K_kabel_vast);
P_vloer_l       := B * d_vloer * fp_vloer_l
                                {kN}
                                * 1000;
kabels_vloer_l  := round(P_vloer_l/P_kabel);
K_vs_vloer_l    := kabels_vloer_l * (L_caisson * K_kabel_m + K_kabel_vast);
P_vloer_b       := L_caisson * fp_vloer_b
                                {kN}
                                * 1000;
kabels_vloer_b  := round(P_vloer_b/P_kabel);
K_vs_vloer_b    := kabels_vloer_b * (B * K_kabel_m + K_kabel_vast);
K_vs_totaal     := 2 * K_vs_zijwand + 2 * K_vs_kopwand + K_vs_vloer_l + K_vs_vloer_b;
END;

PROCEDURE Kosten_totaal;
BEGIN
    Ballast      := h_caisson * B * L_caisson - Vol_beton;           {m^3}
    Ballast_per_m := Ballast / L_caisson;                             {m^3/m}
    aantal_caissons := round(L_golfbreker/L_caisson);
    aantal_kisten  := trunc(aantal_caissons / hergebruik) + 1;
    K_bekisting     := aantal_kisten * K_bekisting / aantal_caissons + 0.3 * K_manuur; {gulden}
    K_beton_tot     := K_gewap_beton * Vol_beton;                     {gulden}
    K_bekisting_tot := K_bekisting * Opp_bekisting;                  {gulden}
    K_ballast_tot    := K_ballast * Ballast;                          {gulden}
    K_tot_per_m      := (K_beton_tot + K_bekisting_tot + K_ballast_tot);
    K_tot_per_m      := (K_tot_per_m + K_plaatsen + K_vs_totaal) / L_caisson; {fl/m}
END;

{*** CONTROLLEREN VAN DE DWARSDOORSNEDE VAN HET EINDRESULTAAT ***}

PROCEDURE Oppervlakte_dwarsdoorsnede;
BEGIN
    A_beton_wand := d_zijwand_opt * (h_caisson - d_vloer_opt);      {m^2}
    A_beton_tussen := d_tussen_l_opt * (h_caisson - d_vloer_opt - d_dek); {m^2}
    A_dsn         := B * d_vloer_opt + 2 * A_beton_wand + (n-1) * A_beton_tussen; {m^2}
END;

PROCEDURE Zwaartepunt; {berekenen van het zwaartepunt van de dwarsdoorsnede}
BEGIN
    zw_vloer      := 0.5 * d_vloer_opt;
    zw_zijwand    := 0.5 * (h_caisson - d_vloer_opt) + d_vloer_opt;
    zw_tussen_l   := 0.5 * (h_caisson - d_vloer_opt - d_dek) + d_vloer_opt;
    zw            := zw_vloer * B * d_vloer_opt;
    zw            := zw + zw_zijwand * 2 * A_beton_wand;
    zw            := zw + (n-1) * zw_tussen_l * A_beton_tussen;
    zw            := zw / A_dsn;
    { zwaartepunt vanaf de onderkant van het caisson in [m] }
END;

PROCEDURE Traagheidsmoment; {berekenen van het traagheidsmoment dwarsdoorsnede}
VAR
    L_wand,           {hulpvariabele}
    L_tussenwand: REAL; {hulpvariabele}
BEGIN
    L_wand           := h_caisson - d_vloer_opt;
    L_tussenwand     := h_caisson - d_vloer_opt - d_dek;
    Izz_vloer        := (1/12) * B * d_vloer_opt^3 + B * d_vloer_opt
                        * sqz(zw - zw_vloer);
    Izz_zijwand      := (1/12) * d_zijwand_opt^3 * L_wand + d_zijwand_opt
                        * L_wand * sqz(zw_zijwand - zw);
    Izz_tussenwand    := (1/12) * d_tussen_l_opt^3 * L_tussenwand + d_tussen_l_opt
                        * L_tussenwand * sqz(zw_tussen_l - zw);
    Izz_totaal        := Izz_vloer + 2 * Izz_zijwand
                        + (n-1) * Izz_tussenwand;           {m^4}
    Wz_b              := Izz_totaal / (h_caisson - zw);      {m^3}
    Wz_o              := Izz_totaal / zw;                    {m^3}
    {weerstandsmoment bovenzijde}
    {weerstandsmoment onderzijde}
END;

PROCEDURE Doorsnede_gegevens;
BEGIN
    kabels_dsn := kabels_vloer_l + 2 * kabels_zijwand;
    P_kabels_dsn := kabels_dsn * P_kabel;           {kN}    {voorspankracht in de dsn}
    fp_dsn      := P_kabels_dsn / A_dsn / 1000;      {N/mm^2}

```



```

zw_kabels      := kabels_vloer_l * 0.5 * d_vloer_opt + 2 * kabels_zijwand
                * h_caisson / 3;
zw_kabels      := zw_kabels / (kabels_vloer_l + 2 * kabels_zijwand);
exc_dsn        := zw - zw_kabels;           {m}
M_fp_dsn       := P_kabels_dsn * exc_dsn;    {kNm}
fp_e_dsn_b     := (M_fp_dsn / Wz_b) / 1000;  {N/mm²} {voorspanning boven in de dsn}
fp_e_dsn_o     := (M_fp_dsn / Wz_o) / 1000;  {N/mm²} {voorspanning onder in de dsn}
END;

PROCEDURE Moment_in_lengterichting;
BEGIN
  qd_eg_per_m   := ((Vol_beton_opt - Vol_dek) / L_caisson_opt) * 24 * 1.5; {kN/m}
  M_lengte      := 1/8 * qd_eg_per_m * sqr(L_caisson_opt); {kNm}
  sm_dsn_b      := (M_lengte / Wz_b) / 1000; {momentspanning boven in de dsn}
  sm_dsn_o      := (M_lengte / Wz_o) / 1000; {momentspanning onder in de dsn}
END;

PROCEDURE Controle_dwarskracht_dwarsdoorsnede;
VAR
  L_dwarskracht : REAL; { lengte waarover de dwarskracht moet worden berekend }
BEGIN
  L_dwarskracht := L_caisson_opt - 2 * d_kopwand_opt; {m}
  V_dsn         := 1/2 * qd_eg_per_m * L_dwarskracht; {kN}
  V_beton_dsn   := 0.4 * fb_t * A_dsn * 1000; {kN}
  V_cap_dsn     := (0.4 * fb_t + 0.15 * fp_dsn) * A_dsn * 1000; {kN}
  Ass_t_dsn     := (V_dsn - V_cap_dsn) / ((h_caisson - d_vloer_opt) * fs); {mm²/mm}
  IF (Ass_t_dsn < 0) THEN Ass_t_dsn := 0;
  As_t_dsn      := round(Ass_t_dsn * 300 / 78.54); {aantal staven 10 per m²}
END;

PROCEDURE Uitvoerscherm;
BEGIN
  ClrScr; Textcolor(1);
  writeln('L_c n m L wand kop vloer tus_l beton kist Kosten M_cais');
  writeln(' [m] [m] [m] [m] [m] [m] [m³] [m²] [fl/m] [ton]');
  Textcolor(0);
END;

PROCEDURE Rekenuitvoer;
BEGIN
  gotoxy(1,2+i); write(L_cel:3:1);
  gotoxy(6,2+i); write(n);
  gotoxy(9,2+i); write(m:2);
  gotoxy(14,2+i); write(L_caisson:2:0);
  gotoxy(19,2+i); write(d_zijwand:4:2);
  gotoxy(26,2+i); write(d_kopwand:4:2);
  gotoxy(33,2+i); write(d_vloer:4:2);
  gotoxy(40,2+i); write(d_tussen_l:4:2);
  gotoxy(46,2+i); write(Vol_beton:5:0);
  gotoxy(53,2+i); write(Opp_bekisting:5:0);
  gotoxy(58,2+i); write(K_tot_per_m:8:0);
  gotoxy(69,2+i); write(M_caisson:5:0);
END;

PROCEDURE Einduitvoer_1;
BEGIN
  ClrScr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 1');
  Textcolor(1); gotoxy(1,2); Textcolor(1);
  writeln('REKENRESULTATEN'); writeln;
  writeln('Het caisson met de laagste kosten per meter ziet er als volgt uit:');
  Textcolor(0);
  write (' Kosten per strekkende meter :',K_tot_per_m_min:6:0,' [fl/m]');
  writeln(' (fl.',K_tot_per_m_min / (B * h_caisson):3:0,' per m³)');
  write (' Lengte van het caisson :',L_caisson_opt:6:1,' [m]');
  writeln(' totaal ',aantal_caissons:3:0,' caissons');
  writeln(' Aantal cellen in lengterichting : ',m_opt:3,'
    cellengte = ',L_cel_opt:4:1,' [m]');
  writeln(' Aantal cellen in breedterichting : ',n_opt:3,'
    celbreedte = ',B_cel_opt:4:1,' [m]');
  writeln; Textcolor(1);
  writeln('Betondiktes: '); Textcolor(0);
  writeln(' Zijwanden = ',d_zijwand_opt:3:2,' [m]');
  writeln(' Kopwanden = ',d_kopwand_opt:3:2,' [m]');
  writeln(' Vloer = ',d_vloer_opt:3:2,' [m]');
  gotoxy(39,11); write(' Tussenwanden in lengte = ',d_tussen_l_opt:3:2,' [m]');

```

```

gotoxy(39,12); write(' Tussenwanden in breedte = ',d tussen_b:3:2,' [m]');
gotoxy(1,15); Textcolor(1); write('Totale hoeveelheden en kostenverdeling:');
Textcolor(0);
gotoxy(25,16); Textcolor(8); writeln('per caisson                                per meter');
Textcolor(0);
write(' Betonmassa                ',M_caisson_opt:5:0,' [ton]');
gotoxy(48,17); writeln(M_caisson_opt/L_caisson_opt:5:0,' [ton]');
write (' Volume beton            ',Vol_beton_opt:5:0,' [m3]    fl. '
      ',K_beton_opt:7:0,' ');
writeln(Vol_beton_opt/L_caisson_opt:5:1,' [m3]    fl. '
      ',K_beton_opt/L_caisson_opt:5:0);
write (' Bekisting                ',Opp_bekisting_opt:5:0,' [m²]    fl. '
      ',K_kist_opt:7:0,' ');
writeln(Opp_bekisting_opt/L_caisson_opt:4:0,' [m²]    fl. '
      ',K_kist_opt/L_caisson_opt:5:0);
write (' Ballast                  ',Ballast_opt:5:0,' [m3]    fl. '
      ',K_ballast_opt:7:0,' ');
writeln(Ballast_opt/L_caisson_opt:5:0,' [m3]    fl. '
      ',K_ballast_opt/L_caisson_opt:5:0);
write (' Plaatsing                  fl. ',K_plaatsen:7:0);
gotoxy(61,21); writeln('fl. ',K_plaatsen/L_caisson_opt:5:0);
write (' Voorspannen              fl. ',K_vs_totaal_opt:7:0);
gotoxy(61,22); write('fl. ',K_vs_totaal_opt/L_caisson_opt:5:0);
END;

```

PROCEDURE Einduitvoer_2;

```

BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 2');
  Textcolor(1); gotoxy(1,2); Textcolor(1);
  writeln('REKENRESULTATEN'); writeln;
  writeln('Maximale momenten en dwarskrachten in de betonelementen:');
  Textcolor(8);
  writeln('                dwarskracht                buigend moment'); Textcolor(0);
  writeln(' Zijwand = ',V_zijwand_opt:4:0,
  ' [kN/m]      ',m_zijwand_opt/1000:5:0,' [kNm/m]');
  writeln(' Kopwand = ',V_kopwand_opt:4:0,
  ' [kN/m]      ',m_kopwand_opt/1000:5:0,' [kNm/m]');
  writeln(' Vloer_l = ',V_vloer_opt:4:0,' [kN/m]
  ',m_vloer_l_opt/1000:5:0,' [kNm/m]');
  writeln(' Vloer_b = ',V_vloer_opt:4:0,' [kN/m]
  ',m_vloer_b_opt/1000:5:0,' [kNm/m]');
  writeln; Textcolor(1);
  writeln('Voor de voorspanning geldt:'); Textcolor(8);
  writeln('                fp      exc.      fp_e      sm      kabels      kosten');
  writeln('                [N/mm²] [mm]    [N/mm²] [N/mm²]    [-]        [fl]');
  Textcolor(0);
  write (' Zijwand                ',fp_zijwand_opt:5:1
  ',exc_zw_opt:7:0,fp_e_zw_opt:9:1,sm_zijwand_opt:9:1);
  writeln(kabels_zijwand_opt:8:0,K_vs_zijwand_opt:10:0);
  write (' Kopwand                ',fp_kopwand_opt:5:1
  ',exc_kw_opt:7:0,fp_e_kw_opt:9:1,sm_kopwand_opt:9:1);
  writeln(kabels_kopwand_opt:8:0,K_vs_kopwand_opt:10:0);
  write (' Vloer in lengte ',fp_vloer_l_opt:5:1,sm_vloer_l_opt:25:1);
  writeln(kabels_vloer_l_opt:8:0,K_vs_vloer_l_opt:10:0);
  write (' Vloer in breedte',fp_vloer_b_opt:5:1,sm_vloer_b_opt:25:1);
  writeln(kabels_vloer_b_opt:8:0,K_vs_vloer_b_opt:10:0);
END;

```

PROCEDURE Einduitvoer_3;

```

BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 3');
  Textcolor(1); gotoxy(1,2); Textcolor(1);
  writeln('CONTROLE DWARSDOORSNEDE VAN HET CAISSON');
  writeln; Textcolor(1);
  writeln('Doorsnedegrootheden:'); Textcolor(0);
  writeln(' Betonoppervlak      A = ',A_dsn:6:2,' [m²]');
  writeln(' Hoogte zwaartepunt zw = ',zw:6:2,' [m]');
  writeln(' Traagheidsmoment    Izz = ',Izz_totaal:6:1,' [m^4]');
  gotoxy(44,5); write('Weerstandsmoment:');
  gotoxy(44,6); write('*onderzijde: Wz_o = ',Wz_o:5:1,' [m^3]');
  gotoxy(44,7); write('*bovenzijde: Wz_b = ',Wz_b:5:1,' [m^3]');
  gotoxy(1,9); Textcolor(0);
  writeln(' Totale voorspankracht                = ',P_kabels_dsn:7:0,' [kN]');
  writeln(' Zwaartepunt kabels tov. onderzijde = ',zw_kabels:7:1,' [m]');
  writeln(' Excentriciteit van de kabels        = ',exc_dsn:7:1,' [m]');
  writeln; Textcolor(1);
  writeln('Momenten en spanningen in de doorsnede:'); Textcolor(8);
  writeln('                Door eigen gewicht                Door voorspanning:');

```

```

Textcolor(0);
writeln(' Buigend moment          = ',M_lengte:8:0,' [kNm]          '
      ,M_fp_dsn:19:0,' [kNm]');
writeln(' spanning bovenzijde = ',sm_dsn_b:8:2,' [N/mm²]          '
      ,fp_dsn:8:2,' - ',fp_e_dsn_b:5:2,' [N/mm²]');
writeln(' spanning onderzijde = ',sm_dsn_o:8:2,' [N/mm²]          '
      ,fp_dsn:8:2,' + ',fp_e_dsn_o:5:2,' [N/mm²]');
writeln;
writeln(' Dwarskracht door eigen gewicht          = ',V_dsn:8:0,' [kN]');
writeln(' Dwarskracht-capaciteit zonder voorspanning = ',V_beton_dsn:8:0,' [kN]');
writeln(' Dwarskracht-capaciteit met voorspanning = ',V_cap_dsn:8:0,' [kN]');
write (' Dwarskrachtwapening = ',Ass_t_dsn:5:1,' [mm²/mm]          »»» '
      ,As_t_dsn:3:0,' Y10 per 300 mm');

END;

PROCEDURE Nextpage_1;
BEGIN
  gotoxy(32,23);Textcolor(4); write('<press any key>');
  readkey; Textcolor(0); ClrScr;
END;

PROCEDURE Nextpage_2;
BEGIN
  gotoxy(32,24);Textcolor(4); write('<press any key>');
  readkey; Textcolor(0); ClrScr;
END;

PROCEDURE Uitvoer_alternatieven;
BEGIN
  Clrscr; gotoxy(59,1); Textcolor(4); writeln('uitvoer scherm 4');
  Textcolor(1); gotoxy(1,2); Textcolor(1);
  writeln('REKENRESULTATEN'); writeln;
  writeln('De vijf goedkoopste oplossingen zijn:'); Textcolor(8); writeln;
  writeln('      -variabelen-      ----eindresultaten-----      -----betondiktes-----');
  Textcolor(1);
  writeln;
  writeln('      L_cel  n  m  Lengte  Massa  Kosten      wand      kop  vloer tussen');
  write ('Nr. '); Textcolor(8);
  writeln('      [m]          [m]      [ton]      [fl/m]          [m]      [m]      [m]      [m]');
  Textcolor(0);
  write(' 1.',L_cel_opt:5:1,n_opt:3,m_opt:4,L_caisson_opt:8:1,M_caisson_opt:8:0);
  writeln(K_tot_per_m_min:8:0,d_zijwand_opt:8:2,d_kopwand_opt:7:2
      ,d_vloer_opt:7:2,d_tussen_l_opt:7:2);
  writeln(' 2.',c2:5:1,n2:3,m2:4,L2:8:1,Ma2:8:0,K2:8:0
      ,dzw2:8:2,dkw2:7:2,dvl2:7:2,dl2:7:2);
  writeln(' 3.',c3:5:1,n3:3,m3:4,L3:8:1,Ma3:8:0,K3:8:0
      ,dzw3:8:2,dkw3:7:2,dvl3:7:2,dl3:7:2);
  writeln(' 4.',c4:5:1,n4:3,m4:4,L4:8:1,Ma4:8:0,K4:8:0
      ,dzw4:8:2,dkw4:7:2,dvl4:7:2,dl4:7:2);
  writeln(' 5.',c5:5:1,n5:3,m5:4,L5:8:1,Ma5:8:0,K5:8:0
      ,dzw5:8:2,dkw5:7:2,dvl5:7:2,dl5:7:2);
  writeln;
  writeln('( n      = aantal cellen in breedterichting )');
  writeln('( m      = aantal cellen in lengterichting )');
  writeln('( tussen = tussenwanden in lengterichting )');
END;

(#####)
(### MAIN PROGRAM ###)
(#####)

BEGIN
  Titelpagina;
  REPEAT
    Scherminstelling_1;
    Default_invoer_1;
    Veranderen_invoer_1;
    Default_invoer_2;
    Veranderen_invoer_2;
    Default_invoer_3;
    Veranderen_invoer_3;
    Start_berekening;
    K_tot_per_m_min := 1000000; { beginwaarde }
    Scherminstelling_2;
    IF (uitvoer IN [2,3]) THEN
      BEGIN
        gotoxy(25,10); Textcolor(4); write('Bezig met rekenen');

```