

## Boek 1: Totaalontwerp en ontwerpfilosofie

- Deelnota 1: Totaalontwerp
- Deelnota 2: Ontwerpfilosofie
- Deelnota 3: Natuurrandvoorwaarden
- Deelnota 4: Beschrijving van het ontwerp
- Deelnota 5: Beheer, bewaking en onderhoud



---

## Deelnota 1: Totaalontwerp



# Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	<b>36</b>
1.1. Doel van de nota	
1.2. Indeling van de nota	
1.3. Totstandkoming van de nota	
1.4. Opslag documentatie	
<b>2. Het project in een breder verband</b>	<b>38</b>
2.1. Kort historisch overzicht	
2.2. De betekenis van het project voor Zuidwest-Nederland	
<b>3. Randvoorwaarden voor de stormvloedkering</b>	<b>48</b>
3.1. Doorstroomopening	
3.2. Veiligheid (kerende hoogte)	
3.3. Overige randvoorwaarden	
<b>4. Ontwikkeling van het ontwerp</b>	<b>54</b>
4.1. Inleiding	
4.2. Van tijdelijke doorlaatbare blokkendam tot permanente pijlerdam	
4.3. Van „pijlers op putten” naar „pijlers op staal,,	
4.4. De ontwikkeling van het ontwerp voor de drempel en het funderingsbed	
<b>5. Organisatie van het project</b>	<b>67</b>
5.1. Inleiding	
5.2. De projectorganisatie voor de stormvloedkering	
5.2.1. De totale opzet	
5.2.2. Verdere uitwerking van de projectorganisatie	
5.3. Contractuele aspecten	
5.4. Relatie aspecten	
5.5. Plannings aspecten	

# 1. Inleiding

## 1.1. Doel van de Nota

Reeds in een vroeg stadium van het ontwerp van de stormvloedkering werd de noodzaak onderkend van het verzamelen en zorgvuldig bewaren van belangrijke gegevens die tot de totstandkoming van het ontwerp hebben bijgedragen. Immers de stormvloedkering zoals deze in de monding van de Oosterschelde is gerealiseerd, is het eindproduct van een in 1974 gestart proces, waarin studie, onderzoek, overleg en verwerking van uitvoeringservaringen hebben plaatsgevonden en waaraan een groot aantal mensen van binnen en buiten de Rijkswaterstaat het hunne hebben bijgedragen. Mensen, die na verloop van korte of langere tijd niet meer beschikbaar zijn om uitleg te geven over het „hoe en waarom” van de Stormvloedkering. Naast het plan voor het object zelf heeft het ontwerpproces geleid tot de productie van een grote hoeveelheid documenten in de vorm van notities, studies, onderzoeksverslagen, berekeningen, etc. die met elkaar de gang van zaken tijdens het ontwerpproces weergeven. Bestekken en constructie tekeningen geven een meestal nauwkeurige omschrijving van het uitgevoerde werk.

De behoefte aan kennis omtrent de achtergronden van het uitgevoerde ontwerp zal altijd blijven bestaan:

- van de zijde van de beheerder van het object ten behoeve van zijn bedrijfsvoering, het onderhoud en eventueel gewenste aanpassingen of veranderingen;
- van de zijde van de toekomstige ontwerper van andere werken, waar zijn specifieke problemen wellicht aansluiting kunnen vinden in de problematiek die met dit ontwerp is opgelost;
- van uit technisch-wetenschappelijk danwel technisch-historisch oogpunt.

Kort samengevat heeft deze ontwerpnota twee doelen:

1. Het geven van een samenhangende en evenwichtige omschrijving van het ontwerp van de stormvloedkering, zoals deze is uitgevoerd, met de daarbij behorende uitgangspunten en randvoorwaarden; zelfstandig te gebruiken ter informatie van belanghebbenden binnen en buiten de Rijkswaterstaat.
2. Het verschaffen van een leidraad, die toegang geeft tot de grote hoeveelheid documentatie - in de vorm van studie - en onderzoeksrapporten, berekeningen, tekeningen en bestekken - die tijdens de totstandkoming van het ontwerp zijn geproduceerd.

Met deze doelstelling heeft deze ontwerpnota ook zijn beperkingen:

- Uitgebreide aanwijzingen omtrent de mogelijkheden voor de bedrijfsvoering en het gewenste onderhoud worden er niet in opgenomen.
- Evenmin wordt er een evaluatie in gegeven van de uitvoering van het ontwerp, al zullen tijdens de uitvoering tot stand gekomen belangrijke wijzigingen in het ontwerp wel worden behandeld evenals een aantal voor de uitvoering van het ontwerp noodzakelijke, nieuw ontwikkelde hulpmiddelen.

Aan de hierboven uitgezonderde onderwerpen zal in afzonderlijke nota's uitgebreid aandacht worden besteed.

Zoals reeds in de eerste doelstelling is aangegeven beperkt de nota zich tot het ontwerp zoals dat is uitgevoerd. Aan varianten, die voor diverse onderdelen zijn uitgewerkt, wordt slechts aandacht besteed, voorzover dat nodig is om de gemaakte keuze te verduidelijken.

## 1.2. Indeling van de Nota

De nota is verdeeld over vijf Boeken, ieder onderverdeeld in meerdere Deelnota's die ieder voor zich een afzonderlijk onderwerp, dan wel een deel van het ontwerp behandelen:

Boek 1: Totaal Ontwerp en Ontwerpfilosofie, geeft een totaal overzicht over het project dat voor de minder diepgaand geïnteresseerde lezer ook eventueel zelfstandig is te gebruiken.

Boek 2 tot en met 4, behandelt het ontwerp meer uitgebreid, verdeeld over drie vakdisciplines:

- Natte waterbouwkunde (Boek 2)
- Betonconstructies (Boek 3) en
- Sluitingsmiddelen (Boek 4), met als onderwerpen staalconstructies, bewegingswerken en elektrische installaties.

Boek 5: Hulpsystemen en -werktuigen, gaat in op de hulpmiddelen, die ten behoeve van de uitvoering van het ontwerp zijn ontwikkeld.

(zie ook Deelnota 1.4, par. 4.4.)\*)

## 1.3. Totstandkoming van de nota

De ontwerpnota is tot stand gekomen onder verantwoordelijkheid van de Projectorganisatie Stormvloedkering (zie ook hoofdstuk 5), die ook verantwoordelijk is voor het ontwerp van en de directievoering over het project. De nota werd geschreven door medewerkers van de vier in het project betrokken diensten: Deltadienst, Directie Sluizen en Stuwen, Directie Bruggen en Directie Zeeland.

Aan het ontwerp van de kering werkten mee meerdere overheidsdiensten, bedrijven, aannemers, ingenieursbureaus en onderzoeksinstituten.

\*) Wanneer in deze ontwerpnota wordt verwezen naar andere onderdelen daarvan dan geschiedt dit als volgt:

- Bij verwijzing naar een andere Deelnota geeft het eerste nummer het Boek aan waarin de deelnota is te vinden en het tweede nummer de bedoelde deelnota.
- Bij verwijzingen binnen de zelfde deelnota wordt volstaan met het aangeven van het bedoelde hoofdstuk c.q. de bedoelde paragraaf.

#### **1.4. Opslag documentatie**

De archieven van de inmiddels opgeheven Deltadienst van de Rijkswaterstaat en de daaronder ressorterende projectorganisaties worden opgeslagen in het Rijksarchief te Middelburg. In de archieven van de Directies Sluizen en Stuwen en Bruggen eveneens van de Rijkswaterstaat komen een groot aantal stukken voor die in het bijzonder betrekking hebben op bijdragen van deze diensten aan het project van de Stormvloedkering.

Bij het schrijven van deze ontwerpnota was het nog niet duidelijk of deze stukken eveneens worden overgedragen aan het Rijksarchief te Middelburg, danwel dat deze stukken ondergebracht blijven in de eigen archieven van deze diensten.

Tenslotte zij vermeld dat er naar wordt gestreefd om alle stukken, waarnaar in deze ontwerpnota wordt verwezen, eveneens onder te brengen in een documentatiecentrum in het ir. J.W. Topshuis van de Stormvloedkering.

## 2. Het project in een breder verband

### 2.1 kort historisch overzicht

De Stormvloedkering vormt het sluitstuk in het systeem van primaire waterkeringen in Zuidwest-Nederland, overeenkomstig art. 1, lid 1a van de Delta-wet van 8 mei 1958, Staatsblad 246 van 1958 (zie lit. 1).

De grote stoot tot de uitvoering van het Deltaplan is gegeven door de stormramp van 1 februari 1953 waarbij 1835 mensen het leven verloren, 136512 ha land werd overstromd, ca. 72000 mensen moesten worden geëvacueerd en een materiële schade werd geleden van ca. 1,5 miljard gulden (zie lit. 2).

Reeds vóór 1953 is er nagedacht over een betere beveiliging van Zuidwest-Nederland. In 1939 werd de zogenaamde Stormvloedkeringscommissie ingesteld, die moest adviseren over mogelijk te verwachten stormvloedhoogten, op een meer wetenschappelijke wijze dan uitsluitend op grond van historische stormvloeden. Daarna zijn voor de Zuid-Hollandse eilanden de zogenaamde vier- en vijf-eilanden plannen (fig. 1 en 2), met een groot aantal varianten ontwikkeld. Het tastbare gevolg van deze plannen was dat in 1950 de Brielse Maas en de Botlek werden afgedamd (lit. 6, 7 en 8).

In Zeeland werd nagedacht over de uitvoering van het zogenaamde Drie-eilanden plan, waarbij Walcheren en Noord- en Zuid-

Beveland zouden worden samengevoegd door de afdamming van het Veerse Gat en de Zandkreek. Ook werden er al suggesties gedaan om de grote zeegeten, het Haringvliet, de Grevelingen en de Oosterschelde, af te dammen.

Al deze plannen hadden tot doel:

- een betere beveiliging van door stormvloeden bedreigde gebieden.

met als belangrijk neven-doel:

- een verbetering van de waterhuishoudkundige toestand, in het bijzonder de bestrijding van de verzilting en daarmee samenhangend een goede zoetwatervoorziening.

Deze doelstellingen golden in hoofdzaak ook voor het Deltaplan. Mede dankzij de reeds hiervoor genoemde studies kon de, in 1953 na de stormvloed ingestelde, Deltacommissie al vrij spoedig in een aantal interimadviezen tot concrete voorstellen komen:

- de afsluiting van de Hollandse IJssel met een stormvloedkering (1953)
- de afdamming van het Veerse Gat en de Zandkreek (het Drie-eilandenplan, 1955)
- de afdamming van de Zeearmen (1954 en 1955)

Met deze laatste interimadviezen was het Deltaplan feitelijk geboren (fig. 3).

Het voorzag in de totale afsluiting van de zeearmen aan de zeezijde, met alleen in het Haringvliet een grote spuisluis voor de afvoer van het surplus aan Rijnwater dat, bij hoge afvoeren, niet via de Nieuwe Waterweg naar zee kon worden afgevoerd, en meer landinwaarts in de aanleg van een aantal secundaire dammen, nodig om het plan gefaseerd te kunnen uitvoeren.

Zoals eerder is aangegeven waren de belangrijkste doelstellingen van het plan:

- de verhoging van de veiligheid tegen stormvloeden en
- de bestrijding van de verzilting op de eilanden.

In het plan werd dan ook aangenomen dat alle afgesloten zeearmen zouden veranderen in zoetwater-bekkens. Daarnaast konden allerlei belangen in de sfeer van verkeer zowel te land als te water, regionale ontwikkeling en recreatie worden gediend.

De in dit plan besloten liggende vernietiging van visserijbelangen in de af te sluiten zeearmen werd bewust aanvaard, onder voorziening van een schadevergoedingsregeling (art. 8 van de Deltawet). De vernietiging van buitendijs aanwezig eigen natuurlijke waarden (het zoute getijden milieu) werd min of meer stilzwijgend aanvaard.

Met het, vooral in de tweede helft van de zestiger jaren, toenemende milieu bewust zijn, nam ook de oppositie tegen de opoffering van deze waarden toe. Dit concentreerde zich op het open houden van de laatst te sluiten zeearm, de Oosterschelde, uiteraard gesteund door de tot verdwijnen gedoemde visserijbelangen. Hierbij werd het aspect veiligheid vaak gebagatelliseerd, dan wel geheel uit het oog verloren.

Waar inmiddels het milieu-bewustzijn ook in de politiek en de regering was doorgedrongen werd, mede om aan de genoemde oppositie gehoor te geven, in 1973 door de Minister van Verkeer en Wa-

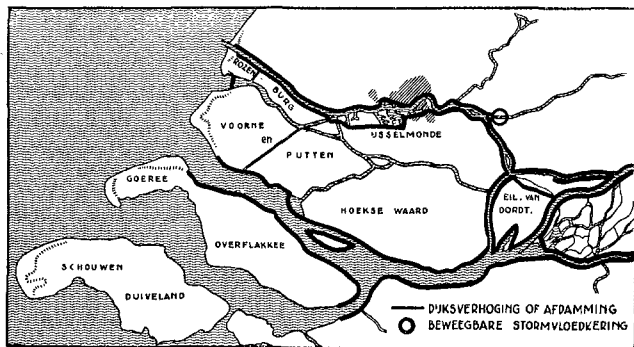


fig. 1 Vier-eilandenplan

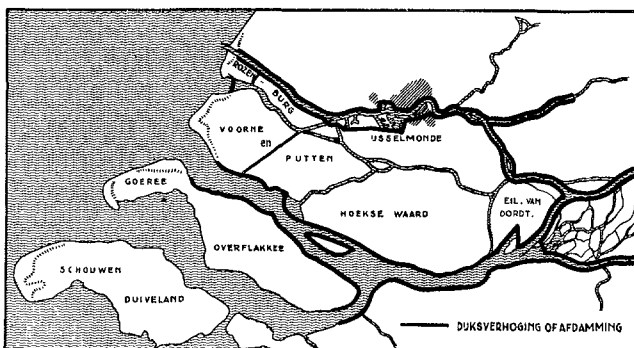


fig. 2 Vijf-eilandenplan

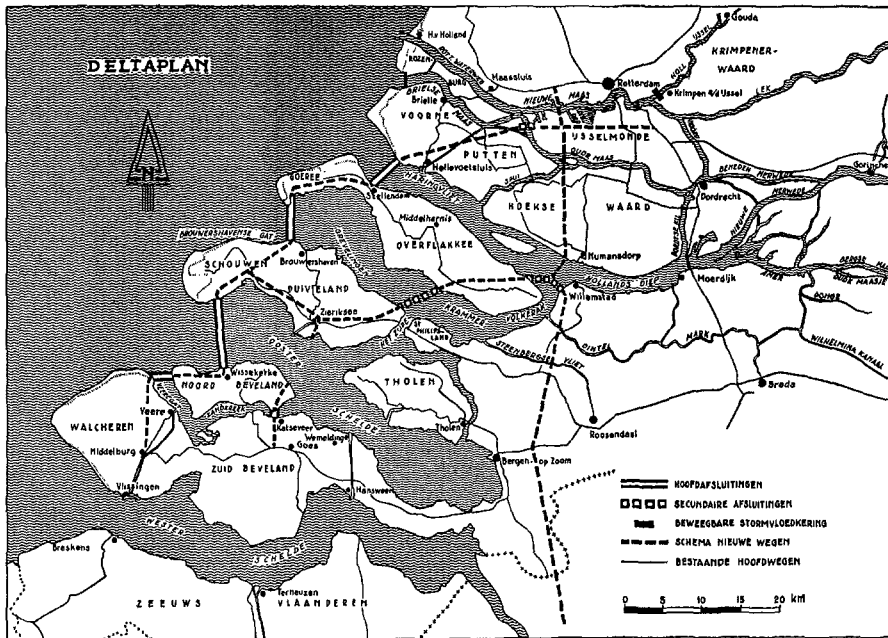


fig. 3 Het Deltaplan, volgens het oorspronkelijke concept.

terstaat een onafhankelijke Commissie Oosterschelde (Commissie Klaasesz) ingesteld. Deze kreeg de opdracht om de minister te rapporteren met betrekking tot alle veiligheids- en milieuaspecten die bij de Oosterscheldewerken in het geding zijn en om na bestudering van bestaande mogelijkheden hieruit die oplossing te kiezen, die beide belangen - veiligheid en milieu - het beste dient.

In het voorjaar van 1974 adviseerde deze commissie in haar rapport (lit. 9) tot het doen uitvoeren van een compromis oplossing waarbij op het belangrijkste deel van de Oosterschelde een, zij het enigermate beperkt, getij zou gehandhaafd kunnen blijven.

Dit plan, variant C5 (fig. 4), zou - zonder onderbreking van de getijdebeweging in de eigenlijke Oosterschelde - resulteren in een dam met een afsluitbare stormvloedkering in de Oosterscheldemond, bij voorkeur aangevuld door twee secundaire dammen met schutsluizen: één in het Keeten en één in het Oostelijk deel van de Oosterschelde tussen de oesterbanken bij Yerseke en de nieuwe Schelde-Rijn-verbinding (Oesterdam). Het plan zou zodanig moeten worden uitgevoerd dat het getij weliswaar zou blijven bestaan, maar zou worden afgedempt tot een gemiddeld tijverschil van 1,8 m ter hoogte van de mosselverwaterplaatsen bij Yerseke, terwijl de stormvloedstanden achter in het Oosterscheldebekken met ongeveer 80 cm zouden worden verlaagd.

Als voornaamste voordelen van dit plan zag de commissie:

- voldoende verzekering van de veiligheid van de aan de Oosterschelde grenzende gebieden zonder dijksverhoging.
- handhaving van het bijzonder waardevol geachte getijde milieu in het grootste deel van de Oosterschelde.
- instandhouding van de oester en mosselteelt op de Oosterschelde.
- optimaal gunstige omstandigheden voor de ontwikkeling van de sportvisserij.

Bezwaren van het plan waren:

- een langere uitvoeringsduur 10 à 15 jaar tegenover nog ca. 5 jaar van het oude plan;
- belangrijke meerkosten, geraamd op 1,6 miljard gulden en

- een extra belemmering voor de scheepvaart door een extra sluis in de Keetendam.

Dit voorstel betekende een belangrijk keerpunt in de opvattingen rond de uitvoering van het Deltaplan in het bijzonder en meer in het algemeen rond de uitvoering van grote infrastructurele werken.

Er werd een veel groter gewicht toegekend aan het behoud van natuurlijke waarden tegenover een, vooral economisch gerichte, optimalisatie van omstandigheden voor de menselijke samenleving. Concreet werd hier voorgesteld om zich belangrijk hogere uitgaven te getroosten terwille van het behoud van natuurlijke waarden en reeds gevestigde visserij belangen, met achterstelling van de optimalisatie van omstandigheden voor met name de landbouw. Aan de hoofddoelstelling van het Deltaplan, verhoging van de veiligheid, werden, zeker op langere termijn, geen concessies gedaan.

Hoewel alles zo reëel mogelijk was ingeschat, kleefden aan het plan vrij grote onzekerheden ten aanzien van de technische realisatie, meerkosten en uitvoeringstijd. Onzekerheden, die door verdere studie zouden moeten worden verminderd. In essentie was het echter een politieke keuze. In het kader van deze ontwerpnota past het niet om dieper op het pro en contra van deze keuze in te gaan.

De Minister besloot om over het rapport van de commissie Klaasesz het oordeel te vragen van de drie rond de eilanden gelegen provincies, de waterschappen rondom de Oosterschelde en de Raad van de Waterstaat. Inmiddels werden technici van de Rijkswaterstaat en de Combinatie Dijksbouw Oosterschelde\*) gevraagd om op korte termijn het plan verder op zijn technische merites te bekijken. Hiermede werd een grote ontplooiing van technische creativiteit gelanceerd die zou voortduren tot de realisatie van het huidige ontwerp.

\* De aannemerscombinatie, die de afsluitingswerken zou uitvoeren. Zie ook par. 5.3.

Mede op grond van inmiddels uitgebrachte adviezen (bestuurlijk en technisch, o.a. door de Raad van de Waterstaat (fig. 5)), besloot het kabinet op 12 juli 1974 in principe tot een afsluiting van de Oosterschelde met waterdoorlatende caissons, mits een dergelijk systeem zou voldoen aan de doelstellingen en technisch uitvoerbaar was. De Rijksplanologische Commissie (RPC) werd gevraagd over dit besluit de regering nader te adviseren, waartoe een interdepartementale ad-hoc werkgroep werd gevormd om de problematiek te bestuderen (doc. 1).

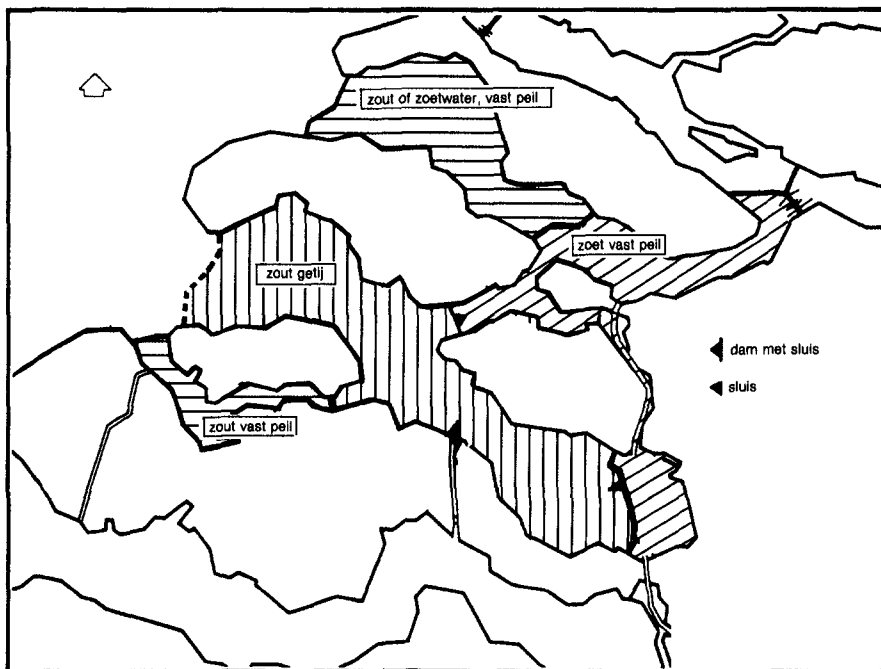


fig. 4 Voltooiing van het Deltaplan volgens model C5 uit het rapport van de commissie Klaasesz, voorkeur van de commissie

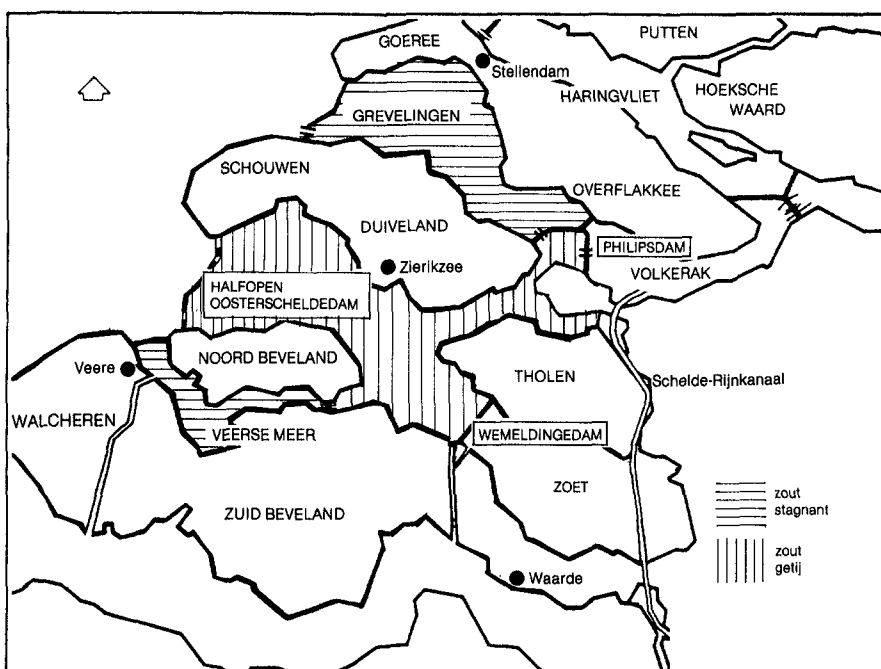


fig. 5 Voltooiing Deltaplan volgens advies Raad van de Waterstaat



Op 1 oktober 1974 adviseerde de RPC tot afsluiting van de Oosterschelde met afsluitbare doorlaat caissons, een zogenaamde stormstuwcaissondam, met een compartimentering volgens het model C3 (fig. 8) uit het rapport van de Commissie Klaasesz, nl. een Oesterdam en een Philipsdam, met als aanvulling een scheepvaart kanaal door Zuid-Beveland bij Waarde (fig. 6).

Dit advies werd als regeringsbeslissing in november 1974 aan de Tweede Kamer voorgelegd met de restrictie dat de compartimentering nog nader zou worden bekeken.

De regeringsbeslissing werd met een kleine meerderheid (75 tegen 67) door de Tweede Kamer aanvaard met de ontbindende voorwaarden:

- het werk moest technisch uitvoerbaar zijn;
- het werk moest in 1985 klaar kunnen zijn;

- de extra kosten mochten een bedrag van f 1750 miljoen plus 20% marge niet overschrijden.

Als uit verdere studies zou blijken dat aan een of meer van deze voorwaarden niet kon worden voldaan, dan zou alsnog tot een totale sluiting worden overgegaan.

De Rijkswaterstaat kreeg van de minister anderhalf jaar de tijd om het project verder uit te werken voor een definitieve beslissing. In deze periode werden met inschakeling van het bedrijfsleven (aannemers en ingenieursbureaus) en een groot aantal instituten in binnen en buitenland twee studies uitgevoerd:

- Een beleidsanalytische studie van drie Oosterschelde-alternatieven (open, stormvloedkering, gesloten fig. 7 t/m 9).
- Een studie naar de technische uitvoerbaarheid van een stormvloedkering.

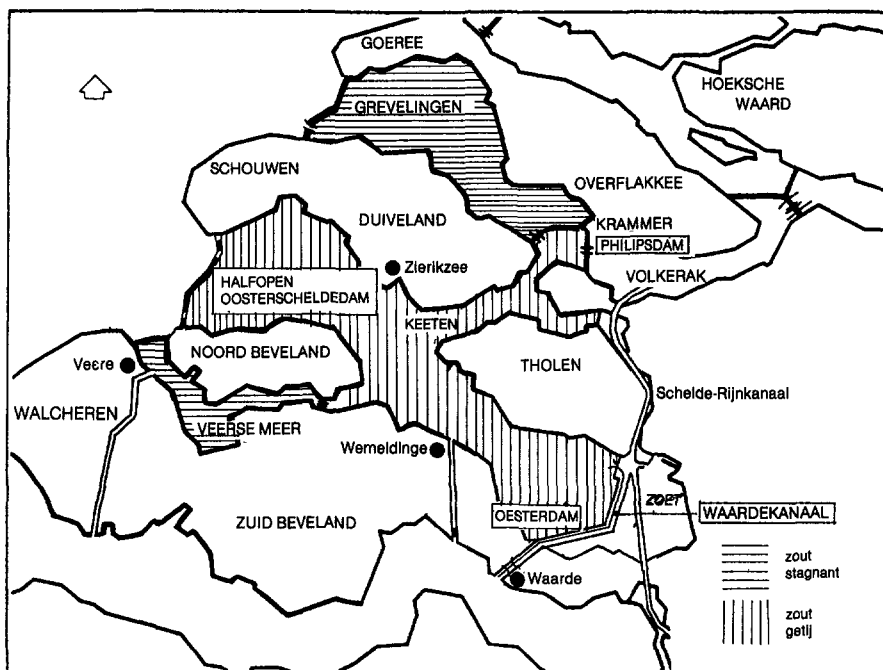


fig. 6 Voltooiing Deltaplan volgens advies Rijk Planologische Commissie.

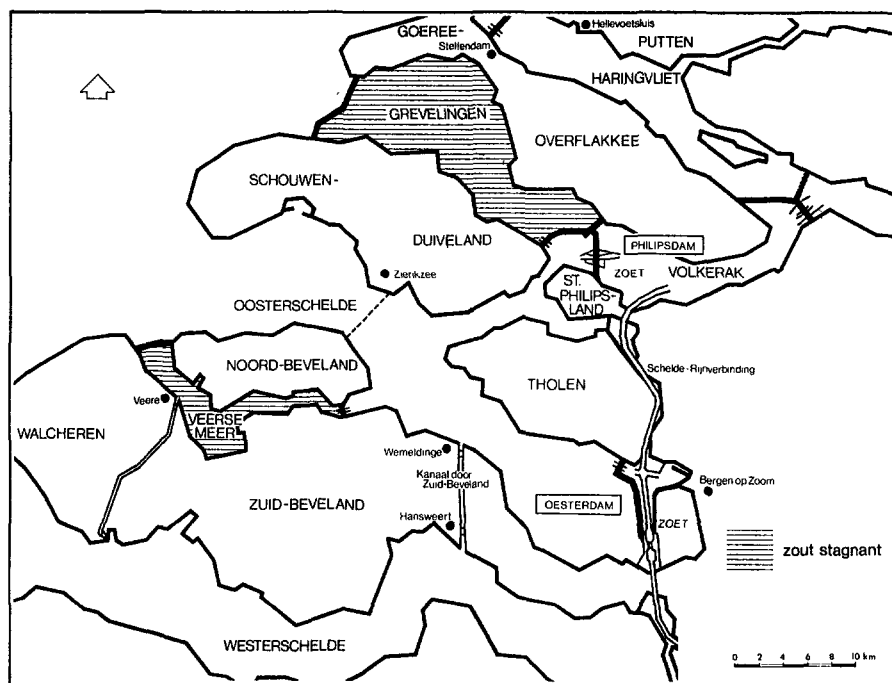


fig. 7 Beleidsanalysestudie, alternatief A3, open Oosterschelde

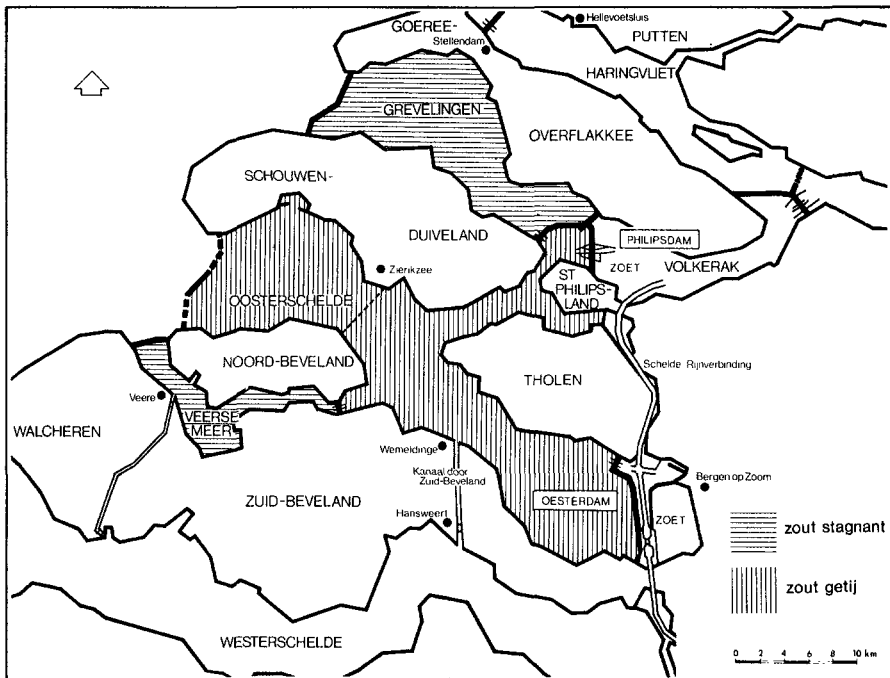


fig. 8 Beleidsanalysestudie, alternatief C3, stormvloedkering

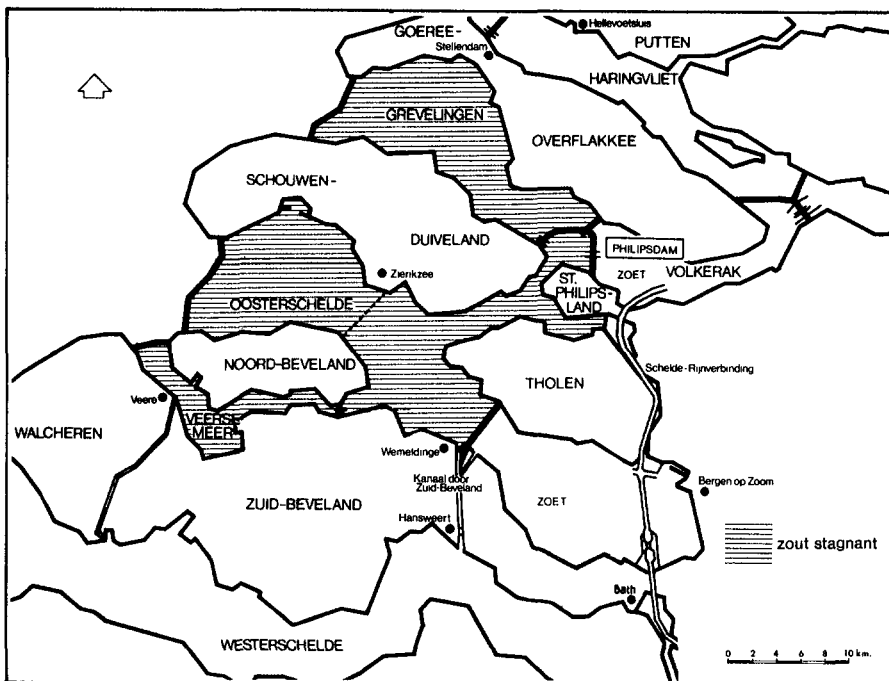


fig. 9 Beleidsanalytische studie, Alternatief D4, gesloten Oosterschelde

In december '74 werd door de minister de Commissie Compartimentering Oosterschelde ingesteld met de opdracht om het compartimenteringsprobleem nog eens verder te bekijken. In haar in april 1975 uitgebrachte rapport kwam ook deze commissie tot een voorkeur voor de compartimentering volgens het model C3 van de commissie Klaasesz. Ten aanzien van de scheepvaart was één van de bekeken mogelijkheden de verruiming van het Kanaal door Zuid-Beveland, waarvoor later definitief werd gekozen. In 1975 werd op basis van het toen nog vigerende plan voor een stormstuw-caissondam besloten tot de aanleg van twee bouwdokken bij het Damvak Geul (zie deelnota 1.4, par. 3.2. en 4.3.). Een verder uitstel van deze beslissing in afwachting van het resultaat van verdere studies, zou de einddatum van het werk (1985 gereed)

in gevaar brengen.

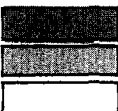
In mei 1976 werden de eerder al genoemde studies van de Rijkswaterstaat, met medewerking van vele anderen, o.a. de Studiecommissie Oosterschelde (Stucos) en de Randcorporation afgerond met twee eindrapporten (de zogenaamde witte- en blauwe nota, doc. 2 en 3), die via de Minister aan de Tweede Kamer werden aangeboden. In de beleidsanalytische studie (witte nota) werden alle pro's en contra's van de drie bestudeerde alternatieven nog eens op een rijtje gezet en van een waardering per aspect voorzien. Het stormvloedkeringsalternatief (C3) had vooral nadelen in het kosten-vlak. Het kwam er voor de andere aspecten niet ongunstig uit (tabel 1). Een keuze werd in het rapport niet gemaakt; dit was immers een politieke zaak.

Tabel 1: Resultaat Beleidsanalytische studie (par.2.1).

Samenvattende scorekaart

	C3	D4	A3
<u>Veiligheid</u>			
jaar eindveiligheid bereikt	1985	1980	
lengte primaire kering, (km)	9	9	
kwaliteit primaire kering	+	+	
„optimale” kering	ja	ja	
overstromingskans in overgangperiode (%)	3,5	2,5	
<u>Milieu *</u>			
soortenrijkdom in zout water	h		h
soortenrijkdom oevers		++	
soortenrijkdom Deltagebied	+		+
biomassa in zoute deel	+		-
effecten op inlagen, natuurgebieden en dijklandschap	-	h	
<u>Beroepsvisserij</u>			
jaarlijks verlies werkgelegenheid visserij (manjaren)	7		0
gekap.nation-econ. verlies (mln gld)	10		0
<u>Waterhuishouding</u>			
max. zoutgeh. Zoommeer (g CL/l bij extra doorspoeling van 100 m <sup>3</sup> /s)	0,5	0,35	
beroep op landelijke waterhuish. bij max. zoutgehalte Zoommeer (m <sup>3</sup> /s)	150	60	
0,5 g CL/l in droge perioden			
<u>Binnenscheepvaart</u>			
gekapitaliseerde kosten binnenscheepvaart (mln gld)	172	166	
<u>Recreatie</u>			
toenming recreanten in Oosterscheldegebied (%)	0		0
<u>Procedures en kosten</u>			
in overeenstemming met Deltawet	ja	ja	
oppervlakte te onteigenen grond (ha)	480	300	
totale bouwkosten vanaf 1/1/76 (mln. gld)		2135	5620
gekap. bouwkosten (mln gld)		1485	2025
gekap. kosten voor onderhoud (mln. gld)		70	30
<u>Werkgelegenheid</u>			
totaal werkgelegenheidseffect (manjaren)	34600		23500

\*) de afwezigheid van veranderingen t.o.v. de huidige toestand is met h aangegeven.

legenda: 
  
 ■ relatief ongunstig
   
 ■ midden positie
   
 □ relatief gunstig

De studie naar de technische uitvoerbaarheid (blauwe nota), waarin ook drie alternatieven waren bekeken, nl.:

- caissons „op staal” gefundeerd,
- caissons op putten gefundeerd en
- pijlers op putten gefundeerd,

mondde uit in een voorkeur voor het doen uitvoeren van het voorontwerp voor een stormvloedkering op basis van „pijlers op putten”. Dit plan bleek volgens de ramingen in het rapport het minste te kosten en de beste kans te geven op een realisatie in de gestelde tijd. De totale kosten van de pijlerdam en compartimentering werden geraamd op f 4135 miljoen, met een geringe reserve (5%) voor onvoorziën, op prijsbasis begin 1976.

Dit was f 2585 miljoen meer dan de gesloten dam op dezelfde prijsbasis zou hebben gekost en ook wat hoger dan de in 1974 toegestane limiet, eveneens omgerekend naar dezelfde prijsbasis. Het ontwerp ging uit van een netto doorstroomopening van 11500 m<sup>2</sup> beneden N.A.P., hetgeen een gemiddeld tijverschil bij Yerseke mogelijk maakte van 2,30 m, dat is 60% van het huidige getij in de Oosterschelde. Het bleek dat tegen hogere meerkosten een groter doorstromingsprofiel en daardoor een groter tijverschil op de Oosterschelde mogelijk was.

Onder de ontbindende voorwaarden dat de kosten niet verder mochten stijgen werd de regeringsbeslissing door de Tweede Kamer in juni 1976 aanvaard. Over de grootte van de doorstroomopening zou na een aanvullende studie later definitief worden beslist. Hiermede was feitelijk het groene licht voor de aanleg van de stormvloedkering gegeven.

In juli 1977 werd het voorontwerp voor de stormvloedkering opnieuw gewijzigd. De pijler-op-putten-constructie werd vervangen door een monoliet-pijler, die geprefabriceerd kon worden en relatief hoog en „op staal” werd gefundeerd op een te verdichten ondergrond (zie hoofdst. 4).

Voor wat betreft de doorstroomopening werd in augustus 1977 door Kabinet en Kamer gekozen voor de middelste van drie bestudeerde varianten, nl. 14.000 m<sup>2</sup> netto, met f 100 miljoen aan geraamde extra meerkosten (zie ook par. 3.1.).

Hiermede lag ook de conceptie vast van het ontwerp voor de stormvloedkering, zoals dit in deze ontwerpnota wordt beschreven.

Tenslotte moge nog worden vermeld dat in 1980 bleek dat de door de Tweede Kamer toegestane kostenlimiet zou worden overschreden en dat in 1981 bleek dat de kering eerst in 1986 operationeel kon zijn.

De werken waren toen echter zover gevorderd dat terugkomen op de eerder genomen besluiten niet meer zinvol was.

## Literatuur

1. De Deltawet  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 3, febr. '58, pag. 3 tot en met 8.
2. Verslag over de Stormvloed van 1953.  
Samengesteld door Rijkswaterstaat en K.N.M.I.  
's-Gravenhage 1961, Staatsdrukkerij en Uitgeverijbedrijf.
3. Deltacommissie,  
Rapport Deltacommissie deel I: „Eindverslag en Interimadviezen”  
deel II t/m V: Bijdragen, Staatsdrukkerij en Uitgeversbedrijf,  
's-Gravenhage, 1961.
4. Het eindverslag van de Deltacommissie (o.a. tabel met ontwerppeilen langs de Ned. kust).  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 15, febr. '61, pag. 3 en 4.

5. Het werk en de conclusies van de Deltacommissie  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 19, febr. '62, pag. 3 tot en met 11.

6. Stuvet, H.J.: Het Deltaplan, de geboorte.  
Amsterdam, 1956, Scheltema & Holkema N.V.

7. Voorgeschiedenis van het Deltaplan.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken, nr. 1, aug. '57, pag. 5 tot en met 11.

8. De oorsprongen van het Deltaplan.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 83, febr. '78, pag. 115 tot en met 123.

9. Rapport Commissie Oosterschelde (commissie Klaasesz).  
's-Gravenhage, maart 1974, Staatsuitgeverij, ISBN 9012003881.

10. De Regeringsbeslissing over de afsluiting van de Oosterschelde.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 71, febr. '75, pag. 3 tot en met 5.

11. Beleidsanalyse in dienst van de Oosterscheldesluiting.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 74, nov. '75, pag. 167 tot en met 174.

12. Open, dicht of open/dicht.  
Samenvatting van het rapport: Analyse Oosterschelde Alternatieven (witte nota).  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 78, nov. '76, pag. 412 tot en met 440 en pag. 465 tot en met 476.

13. De keuze van een stormvloedkering voor de Oosterschelde.  
Samenvatting van het rapport: Stormvloedkering Oosterschelde, eindrapport (blauwe nota).  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 78, nov. '76, pag. 441 tot en met 452.

14. De doorlaatopening in de Stormvloedkering.  
Samenvatting van het rapport van de werkgroep, keuze doorlaatopening.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 81, aug. '77, pag. 41 tot en met 45.

15. Maas, Kees v.d., Oosterschelde: van conflict tot compromis,  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 83, febr. '78, pag. 126 tot en met 141.

## Documentatie

1. Rapport van de ad-hoc Werkgroep Oosterschelde (rode nota) september 1974.
2. Rijkswaterstaat  
Analyse Oosterschelde Alternatieven. Den Haag, 21 mei 1976 (witte nota).
3. Rijkswaterstaat  
Eindrapport Stormvloedkering Oosterschelde „Onderzoek naar de mogelijkheid van de afsluiting van de Oosterschelde met een gedeeltelijk geprefabriceerde Stormvloedering” Den Haag, mei 1976 (blauw nota).
4. Rijkswaterstaat  
Rapport werkgroep doorlaatopening, maart 1977.

5. Advies Raad van de Waterstaat aan de Minister van Verkeer en Waterstaat inzake het rapport van de Commissie Oosterschelde, juni 1974.
6. Advies Rijks Planologische commissie, oktober 1974.
7. Rapport Commissie Compartimentering Oosterschelde, april 1975.
8. Advies Raad van de Waterstaat aan de Minister van Verkeer en Waterstaat inzake het rapport Commissie Compartimentering Oosterschelde, 23 oktober 1975.

## 2.2. De betekenis van het project voor Zuidwest-Nederland

De stormvloedkering vormt een onderdeel van de voltooiing van het Deltaplan (zuidelijk deel) volgens de C3 variant uit het rapport van de Commissie Klaasesz, zoals dit in de daarop volgende jaren verder is uitgewerkt in diverse rapporten en studies. Het geheel is een complex van uit te voeren en reeds uitgevoerde werken die onderling een sterke samenhang vertonen (fig. 10).

In deze paragraaf wordt de uitvoering van deze variant en voorzover mogelijk de daaruit te verwachten ontwikkelingen in het kort beschreven.

In de kern komt het plan er op neer dat de noodzakelijke beveiliging tegen stormvloeden met een afsluiting van de Oosterschelde gecombineerd wordt met het handhaven van het zoute getijde milieu op diezelfde Oosterschelde. Een compromis tussen twee ogenschijnlijk tegenstrijdige zaken, dat door het ontwerp van de beweegbare stormvloedkering mogelijk wordt.

De gesloten stormvloedkering vervult in dit plan tijdens het optreden van stormvloeden de rol van primaire kering, die echter minder absoluut is dan bij een gesloten dam het geval is. Ook bij de gesloten kering zullen, door de gekozen constructies, zekere hoeveelheden water worden doorgelaten die met een beperkte peilverhoging door het kombegend vermogen van de Oosterschelde kunnen worden opgenomen.

De aan het getijwater grenzende bestaande waterkeringen alsmede de aan te leggen compartimenteringsdammen vervullen in deze situatie de rol van secundaire kering.

Onder „normale” omstandigheden blijft de kering geopend en wordt een in zekere mate gereduceerd getij op de Oosterschelde en de daarmee in open verbinding staande wateren gehandhaafd. Voor de onder deze omstandigheden optredende hoge waterstanden blijven de bestaande waterkeringen fungeren als primaire kering.

Door op de juiste wijze met de stormvloedkering te manipuleren kan aan de gestelde veiligheidsnormen worden voldaan. Hiervoor werden in het project BARCON (= Barrier Control) de mogelijke en gewenste strategieën bestudeerd (Deelnota 1.5, hoofdst. 1). Afgezien van de reeds uitgevoerde partiële dijksverhoging ter verbetering van de veiligheid in de periode dat de stormvloedkering nog niet gereed is, kunnen hierdoor verdere verhogingen van de bestaande waterkeringen achterwege blijven. Het zal echter nodig zijn om na te gaan of de bekleding van de buitenbelopen van de bestaande dijken overal voldoende bescherming bieden onder omstandigheden die kunnen ontstaan bij een gesloten stormvloedkering. Er is namelijk een reële mogelijkheid dat er dan op de tijdelijk stagnante Oosterschelde bij een betrekkelijk hoge waterstand onder stormcondities een op een bepaalde hoogte van het beloop geconcentreerde golfaanval optreedt. Een situatie die onder getijde omstandigheden niet voorkomt.

Met deze variant op het oorspronkelijke Deltaplan wordt vooral voor de Zeeuwse eilanden de tweede hoofddoelstelling, n.l. de verbetering van de zoetwaterhuishouding voor Zuidwest-Nederland,

verlaten ten behoeve van een nieuwe doelstelling die geformuleerd zou kunnen worden als: „het zoveel mogelijk handhaven van de bestaande natuurlijke waarden (het zoute getijde-milieu) in met name de Oosterschelde”. De Zeeuwse eilanden zullen voor het overgrote deel omgeven blijven door zout water.

In dit verband moet worden opgemerkt dat ook bij een definitief afgesloten Oosterschelde (volgens het oorspronkelijke plan) de laatste jaren de gedachten er steeds meer naar uitgingen om dit water te beheren als een stagnant zoutwaterbekken omdat een succesvolle verzoeting toch als problematisch werd gezien (fig. 9). Het Veerse Meer en het Grevelingen Meer zijn in deze variant gedacht als stagnante zoute bekkens. Indien gewenst, blijft het echter mogelijk om het Grevelingen Meer te laten verzoeten.

Aleen langs het West-Brabantse vaste land wordt een langgerekt zoetwaterbekken (het Zoommeer) geformeerd door met de Philipsdam (tussen St. Philipsland en de Grevelingendam) in de Krammer, het Volkerak en achter in de Oosterschelde met de Oesterdam het tracé van de Schelde-Rijn verbinding en het Verdrongen land van het Markiezaat van Bergen op Zoom van het getijgebied af te zonderen.

Dit semi-stagnante zoetwaterbekken is noodzakelijk omdat:

- op grond van het tractaat met België de Schelde-Rijn verbinding een getij-vrij vaarwater zou zijn en het deel ten noorden van de Kreekraksluizen reeds is aangelegd op basis van een kanaalpeil van  $\pm$  N.A.P., met vaste bruggen op Rijnvaart-hoogte;
- de huidige zoutbelasting op het Haringvliet via de Volkeraksluizen ongewenst is voor de waterhuishouding van het noordelijk Deltagebied;
- bij de reductie van het getij op de Oosterschelde de afwatering van de West-Brabantse rivieren en polders wordt bemoeilijkt en in sommige gevallen onder natuurlijk verval niet meer mogelijk is;
- dit zoete Zoommeer een belangrijke bijdrage kan leveren aan de zoetwatervoorziening in het zuidelijke Deltagebied, o.a. voor een eventuele verzoeting van het Grevelingen meer.

Het Zoommeer kan via de Volkeraksluizen met Rijn/Maas-water worden gevoed. Een afwatering op het oostelijk deel van de Oosterschelde is ongewenst omdat daar dan het zoutgehalte te veel zou dalen. Gekozen is voor een afwatering op de Westerschelde via het aan te leggen Bâthse Spuikanaal dat naast het Schelde-Rijnkanaal dwars door de hals van Zuid-Beveland zal lopen en met een spuilsuis bij Bath op de Westerschelde zal uitmonden.

Het Verdrongen land van het Markiezaat van Bergen op Zoom zal binnen dit Zoommeer een subcompartiment gaan vormen door de aanleg van de Markiezaatskade, waardoor een afzonderlijk waterkwaliteitsbeheer mogelijk wordt en dat gebied beschermd kan worden tegen (vervuilende) invloeden van de scheepvaart op de Schelde-Rijn verbinding.

Ten behoeve van de scheepvaart naar het Oosterscheldebekken en de doorgaande vaart naar de Westerschelde vanuit het Noorden en omgekeerd wordt de Philipsdam voorzien van twee duwvaartsluizen en een jachtensluis, allen met een zout-zoet-scheidingsstelsel.

Het kanaal door Zuid-Beveland wordt verruimd en alleen bij Hansweert voorzien van nieuwe duwvaartsluizen. Omdat het sluiscomplex bij Wemeldinge komt te vervallen wordt dus op dit kanaal in de toekomst het beperkte getij van de Oosterschelde toegelaten. Zodoende wordt voor het doorgaande scheepvaartverkeer naar de Westerschelde het aantal sluispassages niet groter dan thans het geval is. Ten behoeve van het, naar verwachting beperkte, scheepvaartverkeer uit het Oosterscheldebekken naar Bergen op Zoom wordt in de Oesterdam ook een sluis gemaakt (Bergse Diep-sluis),

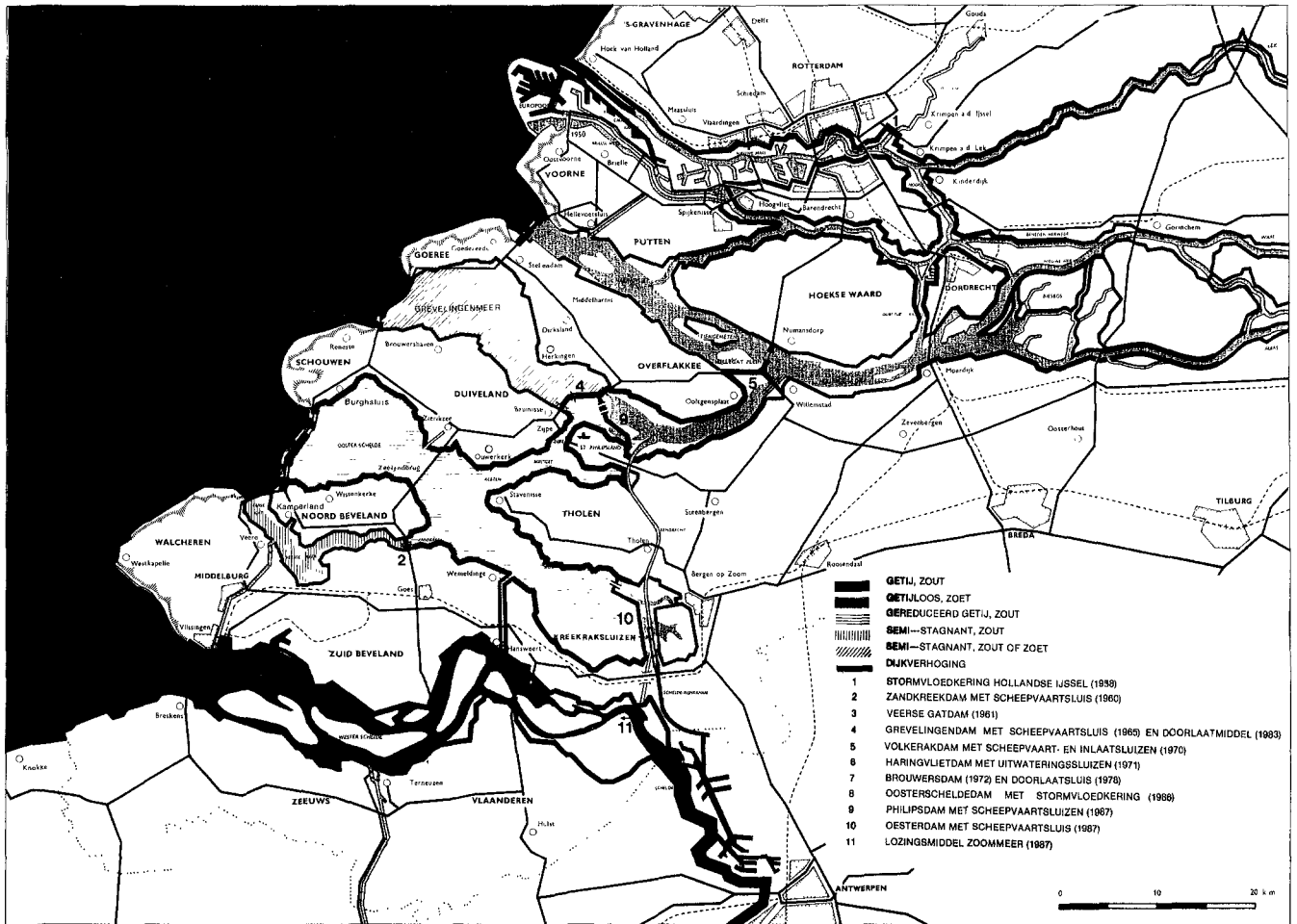


fig. 10 Het Deltaplan in zijn huidige vorm

die geen uitgebreide voorzieningen voor zout-zoetscheiding zal krijgen.

Verder krijgt het Oosterscheldebekken ook voor de scheepvaart een rechtstreekse verbinding met de Noordzee via een in de stormvloedkering te bouwen schutsluis (Rooppotsluis). Voor het wegverkeer houdt de hier beschreven voltooiing van het Deltaplan ook enige verbeteringen in.

De over de stormvloedkering aan te leggen wegverbinding tussen Schouwen en Noord-Beveland vormt het sluitstuk in de Dammenweg (RW 57), die naar de huidige opvattingen meer als doel heeft de ontsluiting van de koppen van de eilanden voor het recreatie verkeer dan het vormen van een snelle doorgaande verbinding tussen Rotterdam en Vlissingen.

De over de Philipsdam aan te leggen weg geeft de eilanden Schouwen-Duiveland en Goeree-Overflakkee een meer directe vaste aansluiting op het West-Brabantse wegennet, waardoor het autoverkeer tussen Zijpe en Anna Jacobapolder kan komen te vervallen.

De Oesterdam geeft de mogelijkheid tot de aanleg van een kortere wegverbinding tussen Tholen en Zuid-Beveland.

Landschappelijk heeft de uitvoering van het hele plan vrij grote gevolgen. In het gebied van het Zoommeer zelfs zeer ingrijpend, doordat de boven N.A.P. gelegen schorren en platen permanent zullen droogvallen en het milieu zal verzoeten.

Ondanks het uitgangspunt van het plan om in het overblijvende getijdegebied de aanwezige natuurlijke waarden zoveel mogelijk te handhaven, zullen ook hier veranderingen, zij het minder ingrij-

pend, optreden.

Visueel zal vooral het Westelijk deel van de Oosterschelde wat van zijn openheid verliezen doordat naast de Zeelandbrug in het Oosten ook naar het Westen toe de horizon zal worden afgeschermd door het toch tamelijk dominerende silhouet van de Stormvloedkering.

Het complex Neeltje Jans - Damvak Geul - Noordland en in veel mindere mate het eiland Roggenplaat met de daarbij gelegen werkhavens openen in principe mogelijkheden voor nieuwe ontwikkelingen (zie Deelnota 5, hoofdst. 2). De werkhavens Schelphoek en Sophiapolder komen beschikbaar voor nieuwe bestemmingen.

Door het verminderde tijverschil zal het zogenaamde intergetijdegebied in oppervlak afnemen. De buiten de compartimentering vallende schorren zullen waarschijnlijk iets groeien ten koste van de hoger gelegen slikken. De vegetatie op de hoogst gelegen delen van de schorren zal kunnen veranderen door de lagere overstromingsfrequentie, waardoor ze wat meer kunnen verzoeten.

De stroomsnelheden op de Oosterschelde zullen in het algemeen afnemen, waardoor de kans op slibafzetting op bepaalde plaatsen wordt vergroot, hetgeen risico's oplevert voor de bestaande mossel- en oester-percelen. Aan de andere kant wordt de toevoer van slib uit de Noordzee verminderd.

Door de compartimentering en de daarbijbehorende maatregelen ten behoeve van de waterhuishouding in de zoetwaterbekkens, wordt de toevoer van zoetwater naar het getijde gebied van de Oosterschelde verminderd, waardoor beter een relatief hoog zoutgehalte kan worden gehandhaafd; hetgeen ten goede komt aan de

ontwikkeling van mariene levensgemeenschappen in het algemeen en aan de mossel en oestercultuur in het bijzonder.

De toekomstige ontwikkeling van het Oosterschelde gebied is een integraal proces waarin natuurlijke en maatschappelijke elementen een rol spelen en dat vraagt om een bestuurlijke voorbereiding en begeleiding om de gewenste evenwichtigheid te waarborgen. Hiertoe is reeds in 1977 de „Stuurgroep Oosterschelde” geïnstalleerd waarin, onder voorzitterschap van de Provincie Zeeland, rijk, provincies, gemeenten en waterschappen samenwerken. Deze stuurgroep heeft een beleidsplan opgesteld, waarin de Oosterschelde wordt beschouwd als een totaal functionerend geheel en dat mogelijkheden biedt om de optredende ontwikkelingen te begeleiden en znodig te sturen.

In het toekomstige Zoommeer en Markizaatsmeer zijn de veranderingen in het milieu door de uitvoering van de compartimentering zeer ingrijpend.

Het zoute getijden milieu wordt vervangen door een semistagnant zoetwater milieu. Alle boven N.A.P. gelegen buitendijkse gronden (schorren en slikken) zullen permanent droogvallen. Tijdens en na het verzoetingsproces zal zich op deze gronden een volledig nieuwe vegetatie ontwikkelen. Een ontwikkeling die door beheersmaatregelen in belangrijke mate en met grote landschappelijke gevolgen kan worden gestuurd.

Voor deze gronden en het aangrenzende water doen zich volledig nieuwe mogelijkheden voor waarop planologisch en bestuurlijk moet worden ingespeeld. Op initiatief van de Commissie Compartimentering Oosterschelde zijn en worden voor dit gebied beleidsplannen voor inrichting en beheer opgesteld.

#### Literatuur

1. Partiële dijksverhoging
  - A. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 74, nov. '75, pag. 223 tot en met 234
  - B. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 77, aug. '76, pag. 406 tot en met 408
  - C. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 80, mei '77, pag. 577 tot en met 579
  - D. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 84, mei '78, pag. 190 tot en met 200
  - E. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 88, mei '79, pag. 416 tot en met 421

2. Waterhuishoudkundige relaties in het Deltagebied. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 87, febr. '79, pag. 357 tot en met 375.

3. Het zoutgehalte in de Oosterschelde na 1985. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 92, mei '80, pag. 80 tot en met 84.

4. Silbtransport in de Oosterschelde. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 101, aug. '82, pag. 39 tot en met 48.

5. Inrichting en beheer van het Oosterscheldegebied. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 95, febr. '81, pag. 248 tot en met 253.

6. De waterhuishouding van het Zoommeer. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 80, mei '77, pag. 549 tot en met 553.

7. Het waterpeil op het Zoommeer. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 87, febr. '79, pag. 376 tot en met 379.

8. Inrichting en beheer van het Markizaatsmeer. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 95, febr. '81, pag. 272 tot en met 279.

9. Inrichting en beheer van het Markizaat. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 106, nov. 83, pag. 331 tot en met 335.

10. De toekomstige ontwikkeling van het Krammer-Volkerak. Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 107, febr. '84, pag. 377 tot en met 383.

11. Mogelijkheden voor de inrichting van de Plaat van de Vliet (Volkerak). Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 107, febr. '84, pag. 384 tot en met 388.

#### Documentatie

1. Beleidsplan Oosterschelde, Rapport Stuurgroep Oosterschelde. Zie documentatie opgave bij deelnota 1.5 par. 2.2.

### 3. Randvoorwaarden voor de stormvloedkering

#### 3.1. Doorstroombening

De belangrijkste aanleiding tot het besluit om een stormvloedkering aan te leggen in plaats van een gesloten dam ter beveiliging van het Oosterscheldebekken tegen stormvloed was de politieke wens om de getijdewerking op de Oosterschelde te handhaven, ter bescherming van de daar aanwezige natuurlijke waarden en visserijbelangen.

Het ideaal, een volledige handhaving van de oorspronkelijke getijdewerking was technisch onmogelijk. Een zekere reductie van de getijdewerking moest dus worden aanvaard.

Voor de handhaving van de bestaande natuurlijke waarden is noodzakelijk een bepaald minimum zoutgehalte, afhankelijk van het getij volume en een zo groot mogelijk areaal van het intergetijd gebied, afhankelijk van de grootte van het verschil van het verticale getij. Aan de hand van het met behulp van praktijkgegevens geijkte wiskundige ééndimensionale getijmodel IMPLIC (fig. 11) kon uitgaande van een gemiddeld getij buitengaats het verband worden vastgesteld tussen de netto doorstroombening in de stormvloedkering en het getijvolume en het verticale getij op een aantal punten in de Oosterschelde (fig. 12). Als toetsingspunt werd aangehou-

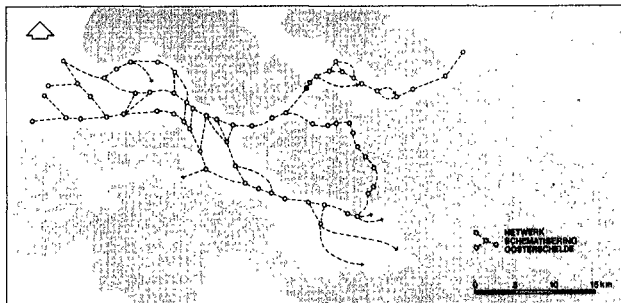


fig. 11 Schema van het ééndimensionale IMPLIC-model voor de Oosterschelde

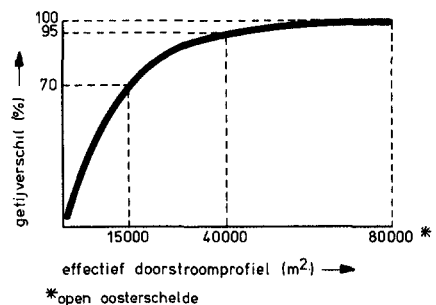


fig. 12 Reductie van het verticale getij (Yerseke) als functie van het doorstroombening

den het gemiddelde getij bij Yerseke, vanwege de daar aanwezige oesterbanken en mosselverwaterplaatsen. In het rapport van de commissie Klaasesz werd een gemiddeld getijverschil van 1,8 m bij Yerseke aanvaardbaar geacht. De Rijks Planologische Commissie beval in haar advies, voorafgaande aan de besluitvorming in 1974 een gemiddeld getijverschil van 2,3 m aan als randvoorwaarde voor het ontwerp. Tenslotte werden drie varianten voor het gemiddelde getijverschil, respectievelijk 2,3 m, 2,7 m en 3,1 m (tabel 2) nog eens aan een beleidsanalytische studie onderworpen. De aspecten milieu, waterhuishouding, visserij en financieel-economische aspecten waren daarin betrokken. Het aspect veiligheid bleek binnen deze varianten geen significante verschillen op te leveren. Uit deze analyse (zie tabel 3) bleek dat met een toenemend getijverschil de financieel-economische aspecten ongunstiger, de overige aspecten in het algemeen gunstiger uitvielen.



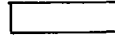


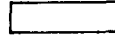


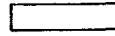

















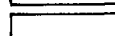


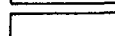


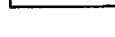





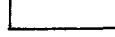








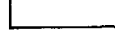





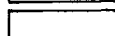


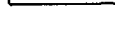

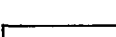
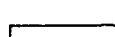
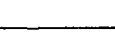

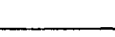



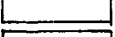







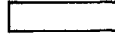
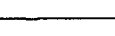
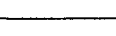
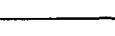


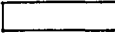
Tabel 2: Enkele gegevens van de geanalyseerde varianten.

Getijparameter	Variant 2,30	Variant 2,70	Variant 3,10	open Oosterschelde
Gemiddeld getijdverschil te Yerseke	2,30 m	2,70 m	3,10 m	3,50 m
Getijdreductie	35%	25%	10%	-
Gemiddelde getijvolume	675 mln. m <sup>3</sup>	800 mln. m <sup>3</sup>	925 mln. m <sup>3</sup>	1250 mln. m <sup>3</sup>
Getijvolume-reductie	45%	35%	25%	-
Maximum snelheid door de kering bij gemiddeld getij doorstroombening	5 m/sec 11,500 m <sup>2</sup>	4,5 m/sec 14000 m <sup>2</sup>	4 m/sec 20.000 m <sup>2</sup>	1,3 à 1.5 m/sec 80000 m <sup>2</sup>



Tabel 3: Resultaat Beleidsanalytische studie m.b.t. de doorstroom opening (par. 3.1)

Overzichtsmatrix

Aspecten	Subaspecten	varianten		
		2,30	2,70	3,10
Milieu	Oppervlak onder getij-invloed			
	Schorren			
	- kans op behoud zout karakter			
	- kans op uitbreiding			
	- kans op erosie			
	- kans op toename soortendiversiteit			
	Intergetijdegebied			
	- oppervlakte			
	Water			
	- kans op zoutgehalte Oosterschelde lager dan gestelde normen			
	- kans op goede waterkwaliteit			
	- kans op achteruitgang soortendiversiteit			
Waterhuishouding	Zoutgehaltebeheersing			
	- menging polder- en schutwater			
	- wateruitwisseling met Noordzee			
	- keuzevrijheid Grevelingen zout/zoet Grevelingenwater			
Visserij	Oesterteelt			
	- risico op mindere productie			
	Mosselteelt			
	- risico op mindere productie			
	- mogelijkheden natuurlijke verwatering			
Garnalen				
- risico op mindere productie				
Financieel economische aspecten en werkgelegenheid	Stormvloedkering			
	- extra investering			
	- extra onderhoud			
	- extra werkgelegenheid			
Legenda:		relatief ongunstig	} in onderlinge vergelijking	
		middenpositie		
		relatief gunstig		

In de politieke besluitvorming werd gekozen voor een „minimum gemiddeld„ getijverschil van 2,7 m bij Yerseke, corresponderend met een netto doorstroomopening van 14000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P., als randvoorwaarde voor het ontwerp van de stormvloedkering. Het begrip „minimum gemiddelde” was in deze besluitvorming niet verder uitgewerkt en bestaat feitelijk niet. Door de Projectgroep is dit begrip zodanig geïnterpreteerd dat een zo groot mogelijke zekerheid moest worden verschaft voor de realisatie van een gemiddeld getijverschil van 2,7 m bij Yerseke.

Uitgaande van een realiseerbaar geachte afvoercoëfficiënt van 0,90 hoorde bij de netto doorstroomopening van 14.000 m<sup>2</sup> een bruto doorstroomopening van afgerond 15.500 m<sup>2</sup>. Ter vergroting van de zekerheid werd dit bedrag vermeerderd met een reserve van bruto 2.500 m<sup>2</sup> voor:

- verlies aan doorstroomprofiel door het uit voeren van onderhoudswerk bij gesloten schuiven (1.000 m<sup>2</sup>)
- verlies aan doorstroomprofiel door het eventueel permanent sluiten van een aantal schuiven ter correctie van de weerstandsverdeling over de sluitgaten (750 m<sup>2</sup>).
- onzekerheden in de bepaling van de afvoer-coëfficiënt (750 m<sup>2</sup>).
- onzekerheden in de reproductie van het verticale getij in de gebruikte rekenmodellen (1.000 m<sup>2</sup>).

De laatste drie componenten werden gezien als standaard afwijkingen ten opzichte van een gemiddelde waarde. Hun gezamenlijke invloed werd in rekening gebracht door de wortel uit de som van de kwadraten aan te houden (afgerond 1.500 m<sup>2</sup>).

Zodoende werd een profiel oppervlak van 15.500 m<sup>2</sup> + 2.500 m<sup>2</sup> = 18.000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. als uitgangspunt aangenomen voor de constructieve vormgeving van het ontwerp.

Hierbij werd verwacht dat het gemiddelde getijverschil bij Yerseke 2,8 m zou bedragen. Indien alle genoemde onzekere factoren zouden tegenvallen werd dit getijverschil 2,7 m en vielen zij mee dan zou 2,9 m worden gerealiseerd (doc. 1).

In 1982 werd aan de hand van bijgestelde gegevens een herziene berekening uitgevoerd van het te verwachten gemiddelde getijverschil bij Yerseke.

- In eerdere berekeningen werd het begrip „getijverschil van het gemiddelde getij” gehanteerd, terwijl nu werd uitgegaan van het „gemiddelde getijverschil”, hetgeen niet exact het zelfde is.
- Er is rekening gehouden met een stijgende tendentie in de getijverschillen langs de kust van Zuidwest-Nederland over de laatste tien jaren. Ingevoerd werden de getijgegevens van een punt aan de zeezijde van de stormvloedkering.

Tabel 4

Geval a

Kans dat de stormvloedkering de aangegeven invloed heeft op het getij op de Oosterschelde indien de correctie op de weerstandsverdeling niet wordt toegepast (alle schuiven open).

netto doorstroomopening	kans dat deze niet wordt gerealiseerd	gemiddeld getijverschil bij Yerseke (σ)	verwacht aantal onderschrijdingen per jaar (%) van het aangegeven getijverschil		
			2,70m	2,30 m	1,80 m
80.000 m <sup>2</sup> (O.S. open)		3,53 m (0,51 m)	35 ( 5%)	6 (0,8%)	- (0,03%)
16.480 m <sup>2</sup>	50%	3,10 m (0,42 m)	120 (17%)	20 ( 3%)	1 (0, 1%)
14.000 m <sup>2</sup>	3,4%	2,87 m (0,35 m)	221 (31%)	36 ( 5%)	1 (0, 1%)
12.500 m <sup>2</sup>	0,16%	2,70 m (0,32 m)	353 (50%)	75 (11%)	2 (0,25%)

- De modellering van de stormvloedkering in het gehanteerde wiskundige model (IMPLIC) was aangepast aan de toen meest recente gegevens.
- Bij de berekening van het gemiddelde getijverschil bij Yerseke werd geen rekening gehouden met de invloed daarop van mogelijke wind-effecten op het verticale getij op de Oosterschelde.

Op grond van deze gegevens kon worden berekend dat een netto doorstroomopening van 14.000 m<sup>2</sup> een gemiddeld getijverschil van 2,86 m bij Yerseke zou opleveren en dat voor een gemiddeld getijverschil van 2,70 m een netto doorstroomopening van 12.500 m<sup>2</sup> nodig zou zijn.

Uit het toen bekende ontwerp voor de stormvloedkering werd verwacht dat:

- de bruto doorstroomopening 17.913 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. zou gaan bedragen en
- het gemiddelde van de voor de drie sluitgaten voor eb en vloed per sluitgat verschillende afvoercoëfficiënten 0,92 (σ = 0,05) zou worden. (σ = standaard afwijking).

Een nadere beschouwing van het aan de koring te verrichten onderhoud gaf aan dat hiervoor niet of slechts kortstondig schuiven gesloten zouden moeten worden. De invloed daarvan op het gemiddelde getijverschil bij Yerseke werd te verwaarlozen geacht, waardoor de daarvoor aangehouden reserve (1.000 m<sup>2</sup>) kon komen te vervallen.

Verder werd de reserve voor de correctie van de weerstandsverdeling over de sluitgaten (bruto 750 m<sup>2</sup>) niet langer beschouwd als een factor in de standaardafwijking bij de berekening van de netto doorstroomopening. Wanneer deze correctie zou worden toegepast, dan is er sprake van een permanente sluiting.

Bij de nieuwe berekeningen werden dan ook twee afzonderlijke gevallen onderscheiden nl.:

- a. zonder deze zogenaamde morfologische sluitingen en
- b. met de morfologische sluiting, dat wil zeggen 4 schuiven 750 m<sup>2</sup> bruto) aan de oevers permanent gesloten.

De resterende onzekerheden, nl. die van de afvoercoëfficiënt en die in het rekenmodel werden gezamenlijk als een standaard afwijking op de berekende netto doorstroomopening ingevoerd.

Geval a

Het verwachte gemiddelde getijverschil bij Yerseke, zonder toepassing van correcties op de weerstandsverdeling over de sluitgaten en een kansberekening voor het realiseren van een kleinere netto doorstroomopening. De bruto doorstroomopening van 17.913 m<sup>2</sup>, met een gemiddelde afvoercoëfficiënt van 0,92 resulteert in een netto doorstroomopening van 16.480 m<sup>2</sup> (σ = 1.350 m<sup>2</sup>). Voor deze netto doorstroomopening werd een gemiddeld getijverschil bij Yerseke van 3,10 m (σ = 0,42 m) verwacht. De kansen

Tabel 5

## Geval b

Kans dat de stormvloedkering de aangegeven invloed heeft op het getij op de Oosterschelde binnen de correctie op de weerstandsverdeling *wel* wordt toegepast (750 m<sup>2</sup> bruto ofwel 4 schuiven aan de oevers permanent gesloten).

netto doorstroom- opening	kans dat deze niet wordt gerea- liseerd	gemiddeld getijverschil bij Yerseke ( $\sigma$ )	verwacht aantal onderschrij- dingen per jaar (%) van het aangegeven getijverschil		
			2,70 m	2,30 m	1,80 m
15.790 m <sup>2</sup>	50%	3,04 m (0,39 m)	134 (19%)	20 ( 3%)	- (0,07%)
14.000 m <sup>2</sup>	8, 7%	2,87 m (0,35 m)	221 (31%)	36 ( 5%)	1 (0, 1%)
12.500 m <sup>2</sup>	0,64%	2,70 m (0,32 m)	353 (50%)	75 (11%)	2 (0,25%)

dat niet 16.480 m<sup>2</sup> netto doorstroomopening wordt gerealiseerd maar in plaats daarvan een netto doorstroomopening van 14.000 m<sup>2</sup> respectievelijk 12.500 m<sup>2</sup> werd uit de onzekerheid (standaardafwijking) voor de netto doorstroomopening geschat op 3,4% en 0,16%. In tabel 4 zijn deze gegevens nog eens samengevat, waar- bij tevens voor de genoemde concrete netto doorstroomopeningen de verwachte onderschrijdingsfrequenties van een drietal concre- te getijverschillen (2,70 m, 2,30 m en 1,80 m) bij Yerseke zijn aan- gegeven.

## Geval b

Het verwachte gemiddelde getijverschil bij Yerseke, met toepas- sing van correcties op de weerstandsverdeling over de sluitgaten (bruto 750 m<sup>2</sup>) en een kansberekening voor het realiseren van een kleinere netto doorstroomopening.

De brutodoorstroomopening van 17.913 m<sup>2</sup> - 750 m<sup>2</sup> = 17.163 m<sup>2</sup>, met een gemiddelde afvoercoëfficiënt van 0,92, resulteert in een netto doorstroomopening van 15.790 m<sup>2</sup> ( $\sigma$  = 1.320 m<sup>2</sup>). Voor deze netto doorstroomopening werd een gemiddeld getijverschil bij Yerseke van 3,04 m ( $\sigma$  = 0,39 m) verwacht. De kansen dat niet 15.790 m<sup>2</sup> netto doorstroomopening wordt gerealiseerd maar in plaats daarvan een netto doorstroomopening van 14.000 m<sup>2</sup> respectie- velijk 12.500 m<sup>2</sup> werd uit de onzekerheid (standaardafwijking) voor de netto doorstroomopening geschat op 8,7% en 0,64%. Deze gege- vens zijn overeenkomstig Geval a nog eens samengevat in tabel 5.

Door deze benadering is tevens het begrip „minimum gemiddeld getijverschil“ gedefinieerd. De kans dat een gemiddeld getijver- schil van 2,70 m bij Yerseke niet wordt gerealiseerd is kleiner dan 0,16% (geval a) respectievelijk 0,64% (geval b) (doc. 2).

In 1984 werd opnieuw een verwachting opgesteld van de met het ontwerp te realiseren bruto doorstroomopening. Hierbij werden de gevolgen van een aantal wijzigingen in rekening gebracht.

De situatie was toen als volgt:

- ontwerpsituatie december 1981, 32 openingen in de Roompot, bruto doorstroomopening: 18.043 m<sup>2</sup>
- maatregelen in verband met een mogelijke inzet van de Universeel Inzetbare Pijler (UIP, zie Deelnota 1.4, par. 2.5) 3 pijlers 1 m hoger gefundeerd en daardoor ook 3 dorpelbalken 1 m hoger (1982): - 118 m<sup>2</sup>

- niet plaatsen van de UIP, één opening in de Roompot komt te vervallen (1983) — 178m<sup>2</sup>
  - verlaging van de kerende hoogte in de Hammen en daarmee het peil van de dorpelbalken met ca. 0,2 m: + 130 m<sup>2</sup>
- Verwacht bruto doorstroomprofiel: 17.877 m<sup>2</sup>

Dit getal verschilt 36 m<sup>2</sup> of 0,2% van het getal waarop de eerder beschreven prognose was gebaseerd.

Een verschil dat slechts een marginale invloed heeft op de ver- wachtingen ten aanzien van het gemiddelde getijverschil bij Yerse- ke.

De werkelijke gerealiseerde bruto doorstroomopening kan pas worden vastgesteld na de voltooiing van de stormvloedkering. De werkelijke invloed van de Stormvloedkering op het gemiddelde ge- tijverschil bij Yerseke kan dan pas na jaren lange in situ-metingen worden vastgesteld.

### 3.2. Veiligheid (kerende hoogte)

De stormvloedkering vormt met de daar achterliggende hoofdwa- terkeringen rond de Oosterschelde een systeem dat aan het omrin- gende gebied, van uit de Oosterschelde gezien, de zogenaamde „Deltaveiligheid“ moet bieden. De Deltacommissie zegt in haar rapport (Deel I, blz. 37) hierover het volgende:

„De hiervoor gegeven kostenramingen betreffen plannen, waarbij is uitgegaan van de eis, dat de meest vitale delen van ons land zul- len worden veilig gesteld tegen stormvloeden met een overschrij- dingsfrequentie van 1% per eeuw, terwijl voor de overige delen des lands een enkele malen grotere overschrijdingsfrequentie als uitgangspunt is genomen. Aangezien een hoogst bereikbare storm- vloedstand niet is aan te geven, blijft steeds het risico van een ramp bestaan, welke stormvloedhoogte men ook als grondslag voor de verbetering van de hoofdwaterkering aanvaard.“

De waterhoogte behorend bij de in bovenstaand citaat bedoelde stormvloed wordt aangeduid met de term „basispeil“. De voor de „overige delen des lands“ aanvaardbaar geachte grotere over- schrijdingsfrequentie wordt geconcretiseerd door het voor die ge- bieden (waaronder Zeeland) geldende basispeil te verlagen met 0,3 m, hetgeen praktisch neerkomt op een verwachte overschrij- dingsfrequentie van 2,5 x 10<sup>-4</sup> per jaar of wel 2,5% per eeuw.

Met de term „ontwerppeil” wordt de waterstand aangegeven waarop de dijken worden ontworpen. Dit kan in bepaalde gevallen overeenkomen met het basispeil, in andere gevallen komt het overeen met het hiervoor aangegeven verlaagde peil.

Uit bovenstaand citaat kan worden afgeleid dat het de intentie van de Deltacommissie is geweest om met name Zeeland te beschermen tegen stormvloed met een kans van voorkomen van 1 per 4000 jaar (overschrijdingsfrequentie  $2,5 \times 10^{-4}$  per jaar).

Gezien de beschermende functie van de Stormvloedkering voor het Oosterscheldebekken kan hieruit het volgende worden afgeleid:

- a. De kerende hoogte van de stormvloedkering moet worden afgestemd op het voor het zuidwesten des lands aanbevolen ontwerppeil voor hoofdwaterkeringen.
- b. Voor de stormvloedkering zelf moet rekening worden gehouden met een ontwerpbelasting ten gevolge van een potentiële bedreiging met een overschrijdingskans van 1% per eeuw. (Voor het zuidwesten des lands mag een 2,5 maal zo grote kans op overschrijding worden gehanteerd) (doc. 4 en 5).

Met betrekking tot de kerende hoogte van de stormvloedkering draagt het aanbevolen ontwerppeil aan de noordelijke Damaanzet op Schouwen N.A.P. + 5,3 m en aan de zuidelijke Damaanzet op Noord-Beveland N.A.P. + 5,5 m.

Rekening houdend met zettingen van de kering en de relatieve zeespiegelrijzing tijdens de levensduur van de kering is de kerende hoogte bij aanleg vastgesteld op N.A.P. + 5,8 m.

Aanvankelijk gold deze maat voor het gehele beweegbare deel van de stormvloedkering. Tijdens de uitvoering bleek het zinvol om de funderingsdiepte van de pijlers in het sluitgat „Hammen” 0,20 m lager te kiezen, hetgeen met het oog op het daar geldende ontwerppeil toelaatbaar is.

Hieruit voortvloeiend is voor het sluitgat Hammen de kerende hoogte nader vastgesteld op N.A.P. + 5,60 m (doc. 6).

Met betrekking tot de ontwerpbelasting op de stormvloedkering als geheel tengevolge van een potentiële bedreiging kan worden vastgesteld dat deze potentiële bedreiging in twee componenten kan worden verdeeld:

- Ten eerste, een potentiële bedreiging van buiten af, samen te vatten in een verval- en golfbelasting en
- Ten tweede in een potentiële bedreiging van binnenuit, in die zin dat door het falen van een onderdeel van de kering (bijvoorbeeld een weigerende schuif), de kering in zijn totaliteit bezwijkt, dat wil zeggen, niet meer in staat is om het volle geweld van de stormvloed buiten de Oosterschelde te houden.

Omtrent de reserve waarmee aan deze potentiële bedreigingen weerstand moet kunnen worden geboden gaf de Deltacommissie geen algemeen toepasbaar uitsluitsel. Alleen met betrekking tot de potentiële bedreiging van buitenaf werd voor dijken een norm gegeven voor de kerende hoogte als indicatie voor de sterkte daarvan.

Aangezien de stormvloedkering voor het belangrijkste deel een constructie is, vervaardigd uit beton, staal en steenachtige materialen is deze norm daarvoor niet hanteerbaar en diende naar een andere toetsingsnorm te worden gezocht. Een verdere uitwerking van de problematiek wordt in Deelnota 1.2 Ontwerffilosofie gegeven.

### 3.3. Overige randvoorwaarden

Naast de hiervoor reeds behandelde randvoorwaarden, die als het meest ingrijpend kunnen worden omschreven, zijn er nog een aantal randvoorwaarden te noemen die als uitgangspunt hebben gediend voor het maken van het ontwerp. Deze randvoorwaarden worden hieronder in het kort weergegeven:

- Levensduur van de kering.

In navolging van het ontwerp voor de Spuisluis in het Haringvliet is er ook bij dit ontwerp van uitgegaan dat de onvervangbare onderdelen van de kering een levensduur moeten hebben van 200 jaar. Hoewel het onderscheid vervangbaar/onvervangbaar met de mogelijke voortschrijding van de techniek over deze periode een betrekkelijke zaak is, gaat het hier in het bijzonder om de constructies van het funderingsbed, de pijlers, de dorpel- en bovenbalken en de drempel constructie in zijn totaliteit.

De overige onderdelen van de kering kunnen met meer of minder moeite vervangen of hersteld worden en dus kan daarvoor eventueel met een kortere levensduur genoegen worden genomen.

- Natuurrandvoorwaarden.

De fysische, chemische, geologische en biologische omstandigheden op de locatie waar de stormvloedkering moet worden gebouwd, geven beperkingen of stellen bijzondere eisen aan het ontwerp.

Deze natuurrandvoorwaarden worden in Deelnota 1.3 nader behandeld.

- Vrijheid van beheer.

Uit voorlopige studies is gebleken dat er verschillende momenten kunnen worden gekozen waarop de kering bij een al dan niet verwachte stormvloed kan worden gesloten. Deze mogelijke keuzen hebben enerzijds grote gevolgen voor het achterliggende Oosterscheldebekken en zijn daarom onderdeel van zorgvuldige beleidsmatige overwegingen; anderzijds hebben ze een belangrijke invloed op de keuze van de ontwerpbelastingen voor de kering. Deze aspecten worden in Deelnota 1.5 respectievelijk Deelnota 1.2 meer uitgebreid behandeld. Uitgangspunt voor het ontwerp is geweest dat aan de beheerder de grootst mogelijke vrijheid wordt geboden in de keuze van zijn sluitingsstrategie.

- Aan de politieke besluitvorming ontleende randvoorwaarden.

De hierbedoelde randvoorwaarden zijn als zogenaamde ontbindende voorwaarden al eerder in deze Deelnota (par. 2.1) aan de orde geweest. Het gaat om de door de Regering en Tweede Kamer uitgesproken voorwaarden dat de kosten een bepaald peil niet mochten overschrijden en dat de kering in 1985 operationeel moest zijn.

Hoewel deze voorwaarden een uitgangspunt vormden bij het maken van het ontwerp is het, zoals bekend, niet mogelijk gebleken daar aan te voldoen.

## Documentatie:

### Par. 3.1.

1. Doorstroomprofiel  
PGO-nota nr. 6, mei 1978, PEGEOO-N-78157

### par. 3.4.3.

2. Doorstroomprofiel en getijverschil,  
PGS-nota nr. 13, febr. 1984, PEGESS-N-84053  
par. 2.4.2.

### Par. 3.2.

4. Interpretatie richtlijnen Deltacommissie  
PGO-nota nr. 2, febr. 1977, PGO 214, par. 2.1.
5. Interpretatie Deltawet en Kerende hoogte van de Konstruktie  
PGO-nota nr. 2, febr. 1977, PGO 214, Bijlage 1, hoofdstuk III
6. Kerende hoogte  
PGS-nota nr. 13, febr. 1984, PEGESS-N-84053, par. 2.4.1.  
Par. 3.3.
7. Aanvullende Uitgangspunten  
PGO-nota nr. 2, febr. 1977, PGO 214, par. 3

## Literatuur:

### Par. 3.1.

1. Analyse varianten doorstroomopening stormvloedkering samenvatting van het rapport van de werkgroep, keuze doorlaatopening,  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 81, aug. 1977, pag. 41 tot en met 45.
2. Aanstaande veranderingen in de getijdebeweging op het Oosterscheldebekken,  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 86, nov. 1978, pag. 284 tot en met 290.
3. Het getijverschil te Yerseke na voltooiing van de Oosterscheldewerken,  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 105, aug. 1983, pag. 247 tot en met 250.

### Par. 3.2.

#### Deltacommissie:

4. Rapport Deltacommissie, Deel I:  
„Eindverslag en Interimadviezen”  
Staatsdrukkerij- en Uitgeversbedrijf, Den Haag 1961.
5. Het eindverslag van de Deltacommissie, met tabel van ontwerppeilen langs de Nederlandse kust;  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 15, febr. 1961, pag. 3 en 4.
6. Het werk en de conclusies van de Deltacommissie  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 19, febr. 1962, pag. 3 tot en met 11.

## 4. Ontwikkeling van het Ontwerp

### 4.1. Inleiding

In de jaren 1974 tot en met 1977 is er een grote creativiteit getoond in het maken van voorontwerpen voor een stormvloedkering in de Oosterschelde.

Hierbij zijn soms zeer originele ideeën geopperd. Na 1977 heeft deze creativiteit zich vooral gericht op de oplossing van het grote aantal detailproblemen die het gekozen ontwerp met zich meebracht. Ook daarbij zijn vaak zeer originele oplossingen bedacht en heeft het constructieve denken in de waterbouwkunde en daarmee samenhangend de uitvoeringstechniek geheel nieuwe wegen bewandeld.

Hoewel uit het historisch overzicht (hoofdstuk 2, par. 1) hieromtrent al het een en ander valt af te leiden zal in dit hoofdstuk worden getracht om een wat overzichtelijker beeld van de ontwikkeling van het ontwerp voor de stormvloedkering te schetsen.

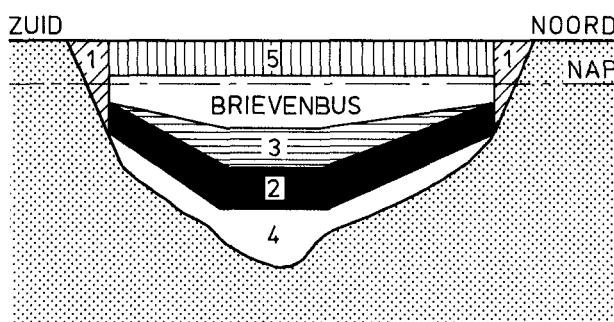
De ontwikkelingen in de studieperiode 1974-1976 worden slechts zeer globaal aangegeven omdat hieraan in een afzonderlijke rapportage uitgebreid aandacht wordt besteed (stormvloedkering Oosterschelde: Eindrapport en achterliggende deelrapporten, doc. 2). De ontwikkelingen daarna zijn te volgen in de sinds december 1976 verschenen voortgangsrapporten van de Projectgroep Stormvloedkering Oosterschelde (de zogenaamde PGO- en later PGS-nota's, doc. 3 t/m 9). Deze ontwikkelingen worden behandeld aan de hand van het ontwerp voor de pijler en de drempel met het funderingsbed als zijnde de meest markante onderdelen van het ontwerp.

### 4.2. Van tijdelijke doorlaatbare blokkendam tot permanente pijlerdam

Het idee, gelanceerd door de Commissie Klaasesz, om in de Oosterscheldemond een stormvloedkering te bouwen, was, hoewel geboren uit een streven naar een compromis, revolutionair voor de Nederlandse waterbouwkunde, vooral vanwege de omvang van het project. Aan de andere kant was het dualistisch van karakter. De aanleg van een, weliswaar tijdelijk functionerende, waterdoorlatende en getijreducerende blokkendam was een revolutionair voorstel. De aanleg daarna van de definitieve stormvloedkering in een droge bouwput, ongeveer op de plaats van het Damvak Geul was daarentegen tamelijk traditioneel (conform spuisluis Haringvliet). Dit zou tevens ingrijpende morfologische veranderingen in de mond van de Oosterschelde nodig maken, hetgeen min of meer in tegenspraak was met het streven om het aanwezige milieu in de Oosterschelde zoveel mogelijk te sparen.

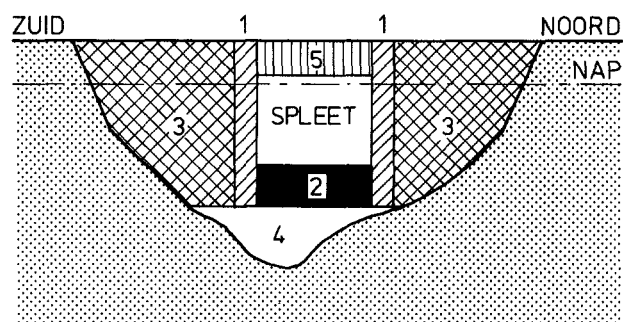
In ongeveer 6 weken tijd is door de Combinatie Dijkbouw Oosterschelde op verzoek van Rijkswaterstaat een aantal voorontwerpen voor een tijdelijke poreuze dam bestudeerd (fig 13). Hieruit kwam de variant met doorlaatcaissons als de meest aantrekkelijke naar voren (doc. 1). Van daaruit was het een betrekkelijk kleine stap naar het voorstel voor de aanleg van een permanente stormvloedkering in de reeds aanwezige sluitgaten op basis van afsluitbare doorlaatcaissons.

fig. 14 varianten vormgeving sluitgat



#### BRIEVENBUSPROFIEL.

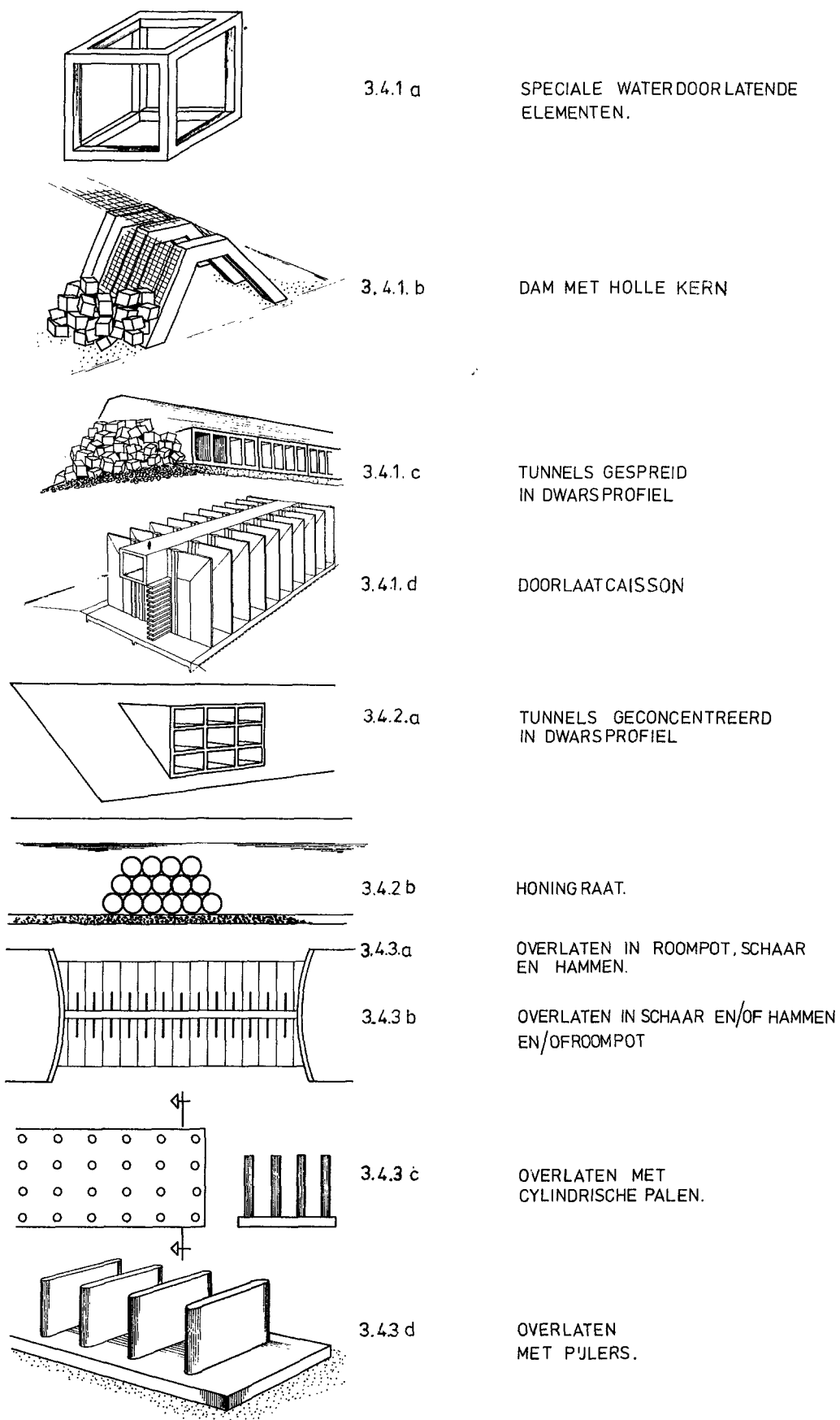
1. Landhoofdconstructie.
2. Constructie - kering.
3. Dorpelbalken.
4. Drempel.
5. Bovendeel - kering.



#### SPLEETPROFIEL.

1. Overgangsconstructie.
2. Constructie - kering.
3. Aansluitende dammen.
4. Drempel.
5. Bovendeel - kering.

fig. 13 varianten tijdelijke doorlatende dam



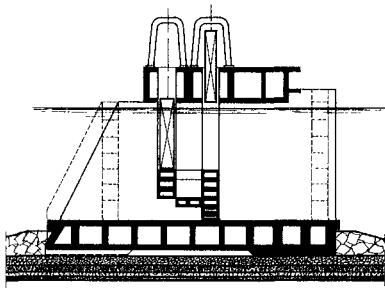


fig. 15 caissons op staal

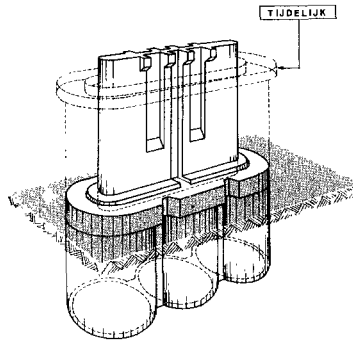


fig. 16 pijlers op putten

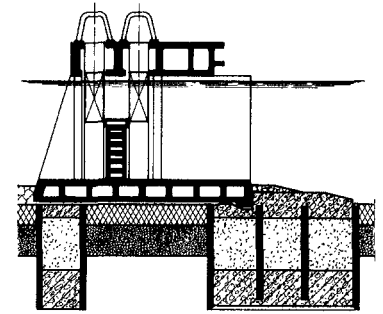


fig. 17 caissons op putten

De voordelen waren:

- geen dubbel werk maken (eerst tijdelijk doorlaatwerk, dan definitief doorlaatwerk), dus de totale bouwtijd korter en waarschijnlijk goedkoper,
- veel minder ingrijpend in de morfologie van de Oosterscheldemond,
- het reeds gemaakte werk kon beter in het nieuwe ontwerp worden ingepast.

Het nadeel was:

- een later tijdstip van het bereiken van de vereiste deltaveiligheid (1985 in plaats van 1979) door de langere voorbereidings- en bouwtijd in verband met het definitieve karakter van de te maken kunstwerken.

Voor het eerst werd hiermee de gedachte aan prefabricage van grote onderdelen van het kunstwerk in het ontwerp voor de stormvloedkering geïntroduceerd.

De caissons konden worden gebouwd in bouwputten bij het Damvak Geul (besluit in 1975).

Op basis van dit voorstel werd in november 1974 de voorlopige Regeringsbeslissing genomen. In de volgende studieperiode van circa anderhalf jaar werd het ontwerp diepergaand bestudeerd.

Wat de vorm van de doorstroomopeningen betreft werd een betrekkelijk smalle en diepe opening („spleet,-oplossing) vergeleken met een zo breed mogelijk en betrekkelijk ondiepe opening („brievbus,-oplossing) (fig. 14).

De brievenbus-oplossing bleek de voorkeur te verdienen vanwege het betere stroombeeld in de geulen.

Constructief werden, naast een groot aantal al spoedig verworpen alternatieven, drie varianten diepergaand uitgewerkt en vergeleken.

Dit waren de varianten (fig. 15 t/m fig. 18)

- caissons op staal
- pijlers op putten
- caissons op putten

In de vergelijking van deze varianten werd de voorkeur gegeven aan de variant „pijlers op putten” omdat deze oplossing

- in de kostenraming met een marginaal verschil ten opzichte van „caissons op staal” de goedkoopste was
- de minste kans gaf op overschrijding van de kostenraming
- de beste kans gaf op het gereed zijn in 1985.

Voor de details van deze varianten wordt verwezen naar het eindrapport van de studieperiode uitgebracht door de Rijkswaterstaat (doc. 2A). Enkele punten worden er hier uitgelicht:

- Bij de variant „caissons op staal” moesten de weinig stabiele holocene afzettingen kunstmatig worden verdicht om een goede funderingsgrond te verkrijgen. Dit werd op grond van onderzoeksresultaten realiseerbaar geacht. Bij de drempel opbouw werden echter aanzandingsproblemen voorzien die de stabiliteit van de drempel als fundering voor de caissons in gevaar zou kunnen brengen. Deze problemen zouden tot belangrijke kosten- en tijdsverschijdingen kunnen leiden.
- Bij de „putten” funderingen wordt de draagkracht vooral ontleend aan de diepliggende pleistocene-afzettingen, waardoor de hiervoor genoemde funderingsproblemen werden ondergaan. Een onzeker element bij de putten fundering was het gedurende vrij lange tijd op open water te moeten werken in open bouwkuipen op ca. 25 m diepte. Met deze werkmethode bestond geen ervaring. De problemen en risico's werden echter overkomelijk en aanvaardbaar geacht.
- Bij de „caisson” oplossingen waren de stroomsnelheden bij het plaatsen van de laatste caissons in de sluitgaten kritisch voor het manoeuvreren. Om deze binnen aanvaardbare grenzen te houden moest de initiële bruto doorstroomopening van de caissons enkele malen groter zijn dan uiteindelijk nodig was voor het gewenste tijverschil op de Oosterschelde. Dit werkte uiteraard kostenverhogend.
- Bij de pijleroplossing was de vermindering van het doorstroomprofiel in de bouwfase van de pijler minder ingrijpend. De opbouw van de drempel kon gebeuren na deze fase.

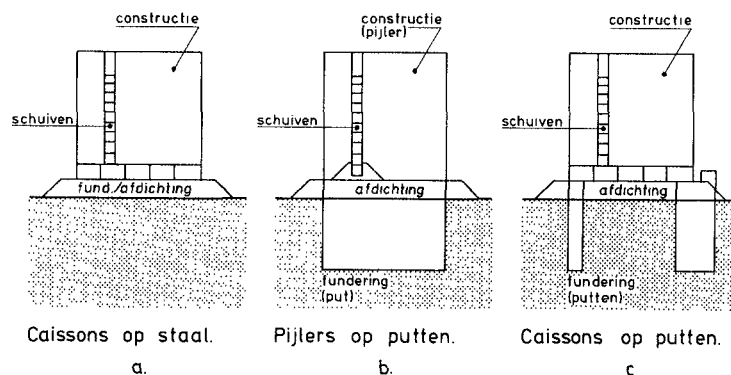


fig. 18 principe bestudeerde varianten



### 4.3. Van „pijlers op putten” naar „pijlers op staal”.

Op basis van het voorontwerp voor een pijlerdam met pijlers op putten is in 1976 de definitieve regeringsbeslissing genomen om de Stormvloedkering aan te leggen.

In dit ontwerp (fig. 19) werden de pijlers via putten gefundeerd in de 30 tot 40 m beneden N.A.P. liggende pleistocene afzettingen. De tegen ontgrondingen bescherming gevende bodembekleding moest door de putten worden doorsneden. De noodzakelijke verkleining van het doorstroomprofiel werd hoofdzakelijk bereikt door een stapeling van geprefabriceerde dorpelbalken, terwijl de tussen deze dorpelbalken en de bodem aan te brengen drempelconstructie hoofdzakelijk de functie had om de bij gesloten kering onder de dorpelbalken doorlopende kwelstroom in bedwang te houden.

De geprefabriceerde putten zouden met een daarop gemonteerde stalen kuip met behulp van een speciaal te bouwen hefschip op de geulbodem worden geplaatst en met behulp van een cutterinstallatie op diepte worden gebracht (fig. 20). In de droog gepompte kuip

zou dan de eveneens geprefabriceerde pijler (wand), door het hefschip te plaatsen, met behulp van ter plaatse te storten beton aan de put worden verbonden.

Op te lossen problemen voor dit ontwerp waren o.a.:

- de standzekerheid van de droog gepompte kuip onder slecht weer condities (golfbelastingen);
- de veiligheid van de werkmensen onder in de droog gepompte kuip (ca. 25 m beneden het wateroppervlak) voor het maken van de verbinding tussen pijler en put;
- de invloed van slecht weer condities op het gedrag van het hefschip dat gedurende vrij lange tijd (enige weken) op de pijlerlocatie moest blijven om de put op de vereiste diepte te brengen;
- de handhaving van de grondichtheid van de aansluiting van de eerder aan te brengen bodembescherming op de put tijdens het doorsnijden en het omlaagbrengen van de put.

De voor deze en andere problemen bedachte oplossingen worden hier niet behandeld. Hiervoor kan worden verwezen naar de Projectgroep-rapportages nr. 1 t/m 4 van december 1976 t/m mei 1977 (doc. 3 t/m 6).

fig. 19 constructie pijlers op putten

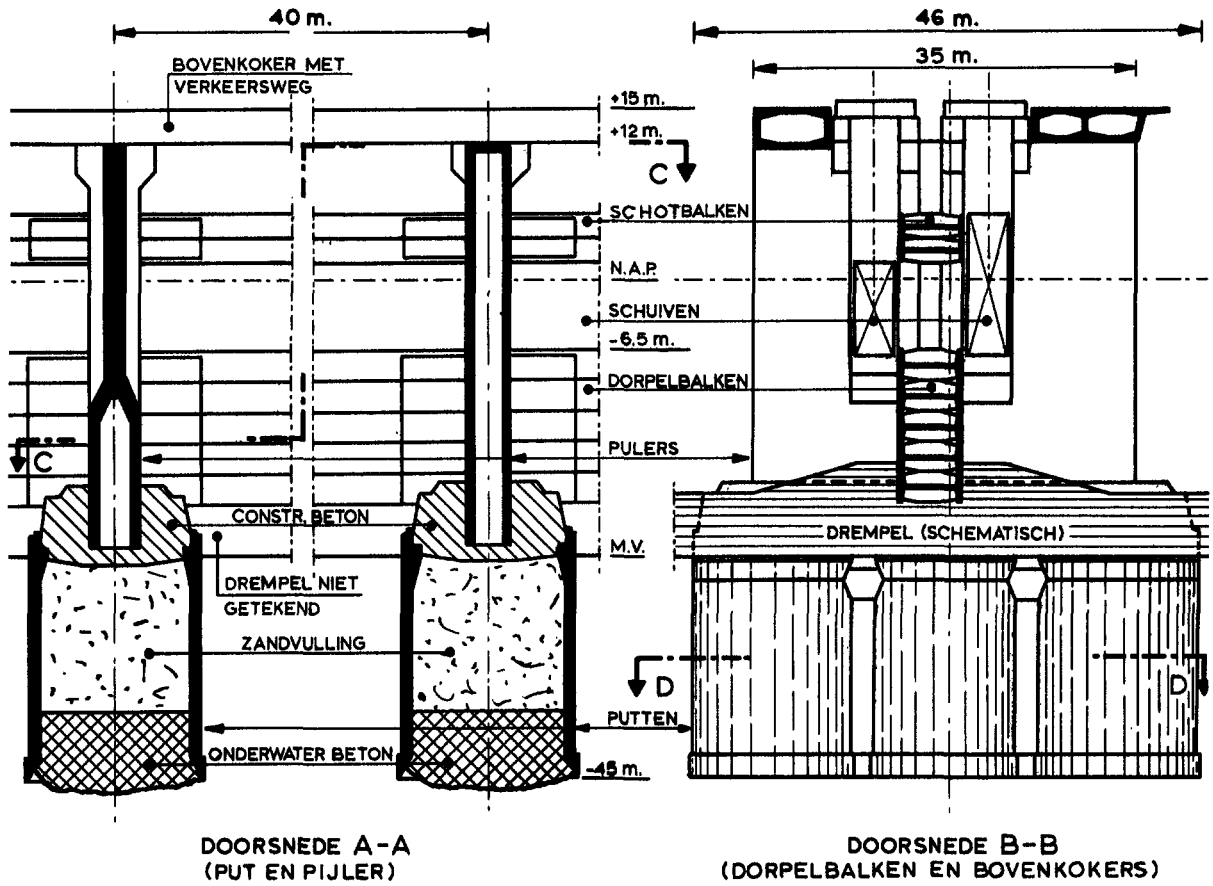
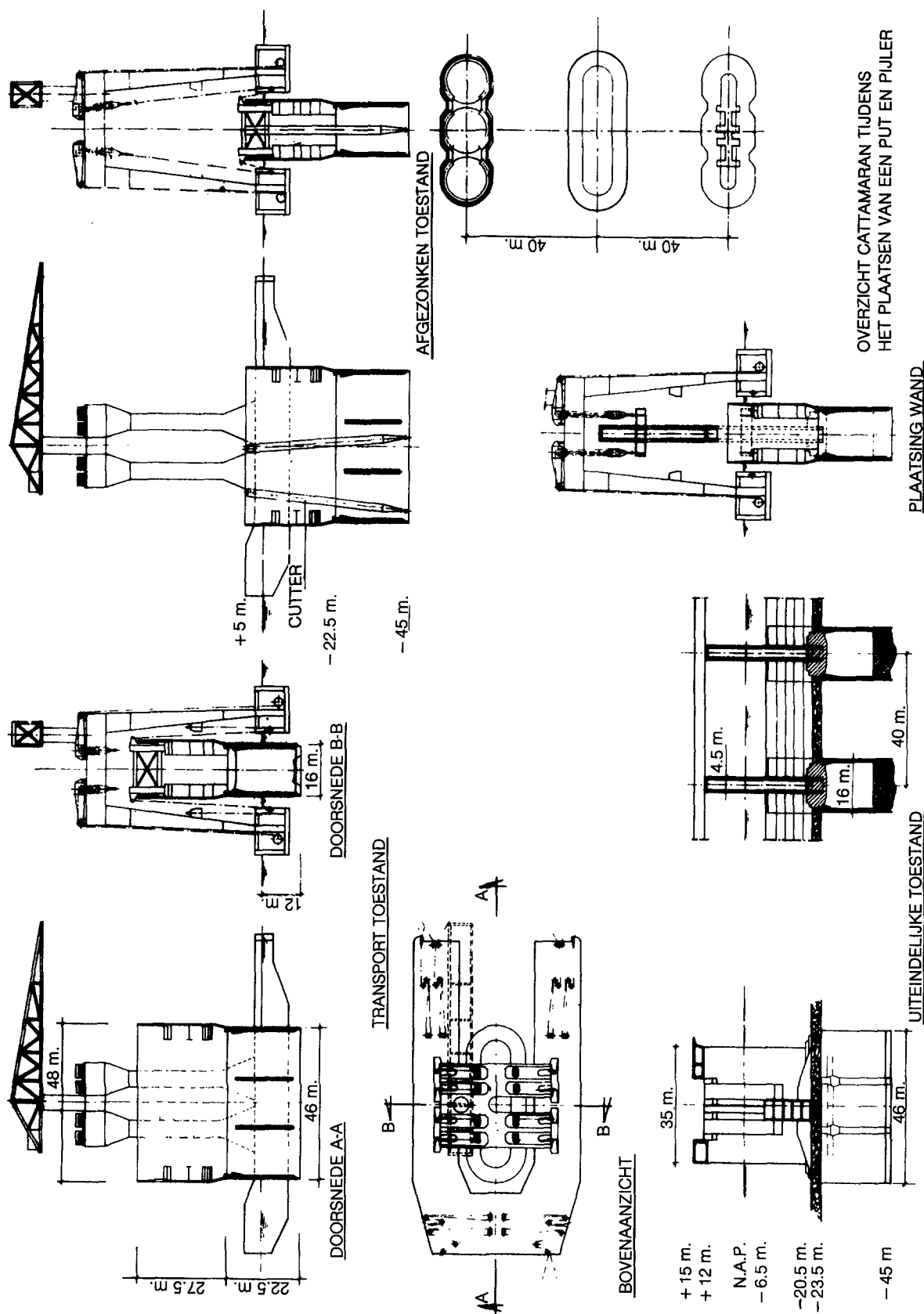


fig. 20 het plaatsen van een put en een pijler met behulp van een hefschip



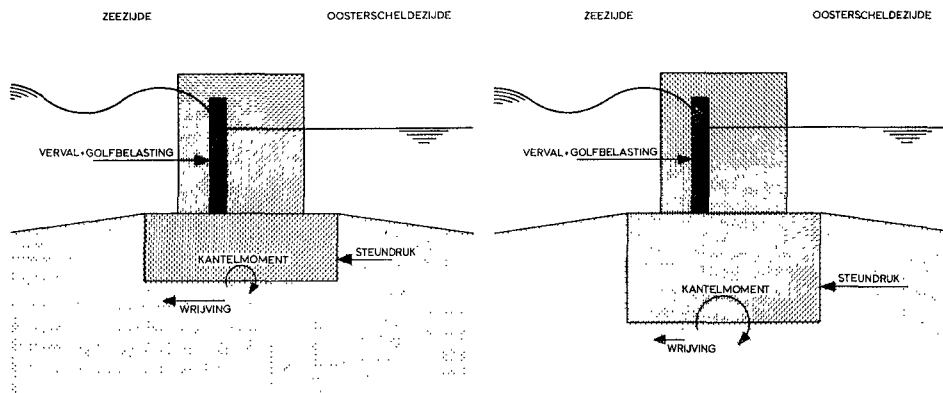


fig. 21 het kantelmoment neemt toe bij diepere fundering

Bij de studies naar een optimalisatie van de putten fundering bleek al spoedig dat de diepe fundering in de pleistocene afzettingen niet alleen voordelen bood ten aanzien van de stabiliteit van de pijler-put-combinatie. Er waren ook nadelen.

Met een toenemende funderingsdiepte wordt het kantelmoment aan de voet groter, hetgeen op maaiveldhoogte leidt tot grotere horizontale verplaatsingen (fig. 21).

Dit kantelmoment zou vooral moeten worden opgevangen door de hoger gelegen weinig stabiele lagen.

Deze lagen zouden dan moeten worden verdicht om de weerstand daarvan te verhogen.

Anderzijds nemen de horizontale verplaatsingen ten gevolge van verschuiving af met een toenemende funderingsdiepte (fig. 22). Er blijkt bij een funderingsdiepte van 10 à 12 m beneden het maaiveld een zeker optimum te bestaan in de resulterende verplaatsingen op maaiveld hoogte.

Het opdrijvend vermogen van de kuip-put combinatie met een droog gepompte kuip stelde een, van de diepteligging van de put afhankelijke, ondergrens van 11 tot 16 m aan de hoogte van de put. Verder bleek een vergroting van de putbreedte een gunstige invloed te hebben op de stabiliteit en de gronddrukken.

Op deze wijze is de betrekkelijk slanke diep gefundeerde put geëvolueerd tot een wat bredere minder diep gefundeerde put die nu echter met zijn voet veelal in de slappere holocene afzettingen terecht kwam (fig. 23).

Om voldoende draagkracht te kunnen bieden was hierdoor zowel onder als naast de put een verdichting van de slappere lagen noodzakelijk. Waar deze verdichting door een te hoog slijbgehalte van het zand, dan wel door de aanwezigheid van kleilenzen niet mogelijk was, moest de ondergrond over een zekere diepte worden vervangen door een beter te verdichten materiaal.

Uitgaande van het geoptimaliseerde ontwerp voor de pijler-put-combinatie bleek het mogelijk om hiervoor een monoliet constructie te ontwerpen die de functies van beide elementen in zich verenigde. Door een nu mogelijk geworden verdere vermindering van de funderingsdiepte en gebruik te maken van het opdrijvend vermogen van de holle ruimte in de voet stelde deze eveneens te prefabriceren constructie bij het plaatsen vrijwel geen hogere eisen aan de hefcapaciteit van het plaatsingsvaartuig. Een groot aantal van de reeds eerder genoemde problemen, verbonden aan de pijler-put combinatie, waren hiermee tevens in één klap opgelost.

- De bouwfaselastigheden op de monolietpijler waren ca. 25% van de belastingen op de kuip-put combinatie;
- De werkzaamheden op locatie, direct verband houdend met de pijlerbouw werden van enige maanden per pijler teruggebracht tot een enkele dag voor de plaatsingsoperatie;
- het risico van het werken op grote diepte in een open kuip in betrekkelijk open water was verdwenen.

Een verdere vergroting van de voetplaat leidde tot een vergroting van de stabiliteit van de pijler en tot een verlaging van de belasting op de ondergrond.

Verder werd uit beproevingen zowel in het laboratorium als op ware grootte een beter inzicht verkregen in de te verwachten wrijvingscoëfficiënt tussen voetplaat en de bodem. Hierdoor was het mogelijk om de op de pijler werkende horizontale krachten vrijwel geheel door de wrijving te laten opnemen. Met inachtneming van de aan te brengen grondverbeteringen en de verdichting van de ondergrond werd nu de funderingsdiepte van de pijlers meer bepaald door de hoogteligging van de dorpelbalk in verband met de definitieve doorstroombopening en de vormgeving van de pijlervoet voor wat betreft de minimumdiepte en de mogelijkheden voor ophoging van de geulbodem met zand in de diepste delen van de geulen voor wat betreft de maximum diepte.

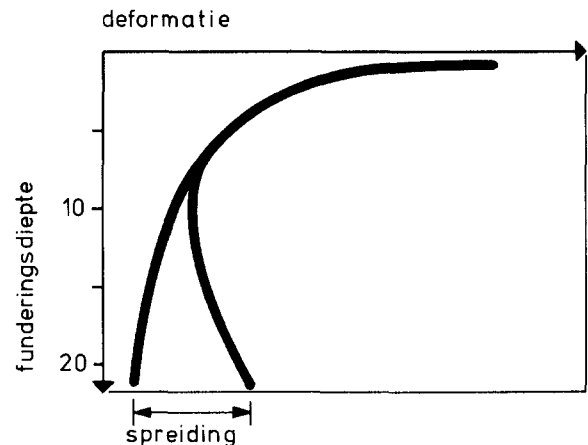


fig. 22 horizontale verplaatsing in relatie tot funderingsdiepte (verschuiven en kantelen)

Hiervan uitgaande is het pijler-ontwerp in een aantal stadia (fig. 24) verder ontwikkeld tot het huidige ontwerp. Op deze ontwikkeling is mede van invloed geweest:

- het ontwerp van de drempel en de bodemafdichting tegen ontgrondingen in het tracé van de kering.
- het vervallen van de ruimte reservering voor een tweede beweegbare kering en
- de verlaging van de hoogteligging van de autoweg van N.A.P. + 18 m naar N.A.P. + 12 m en het combineren van de werkweg en de autoweg over de kering op één kokerligger.

De pijlerafstand is vergroot van 40 naar 45 m hart op hart, op grond van nieuwe inzichten met betrekking tot de grootte van de belastingen.

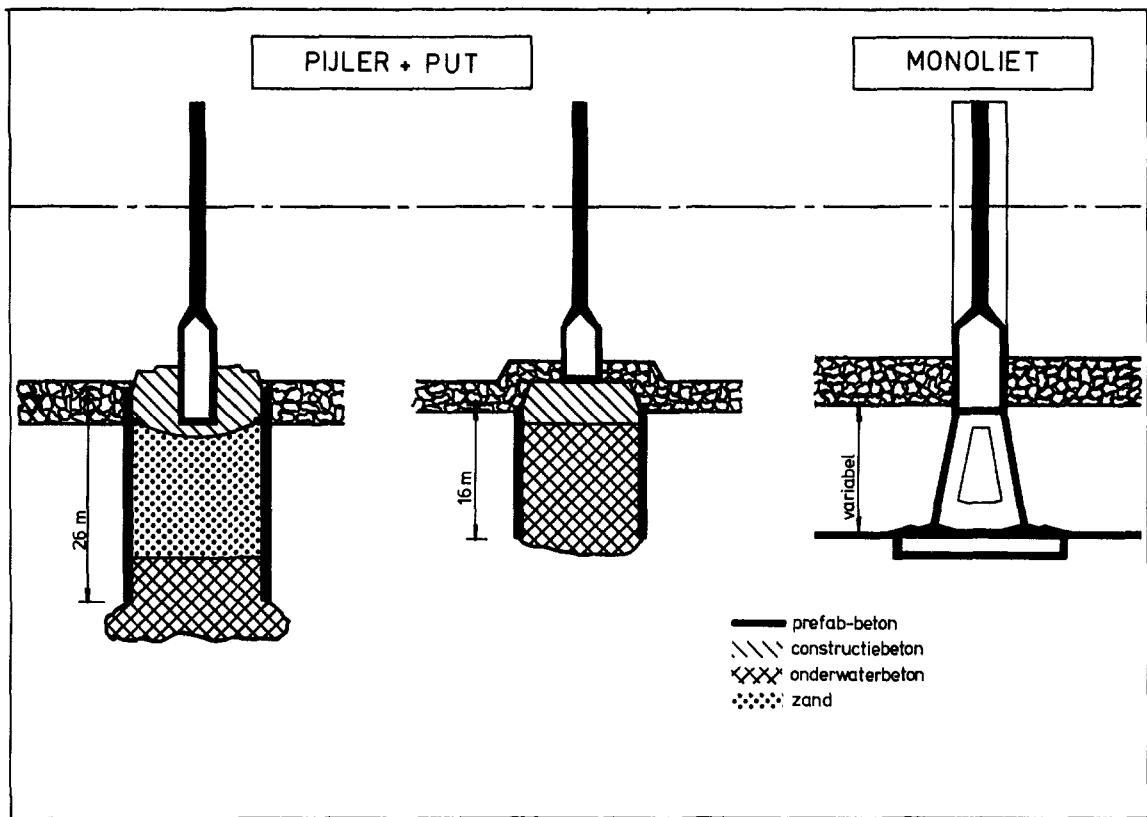


fig. 23 ontwikkeling van de fundering

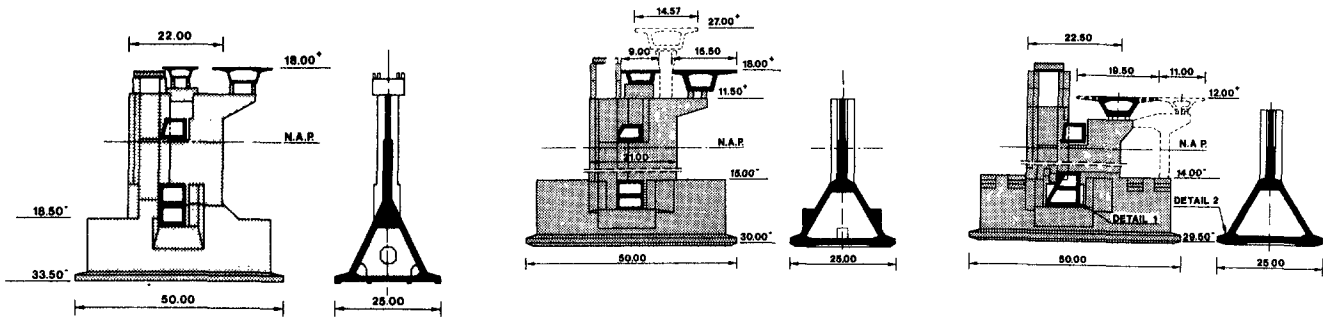
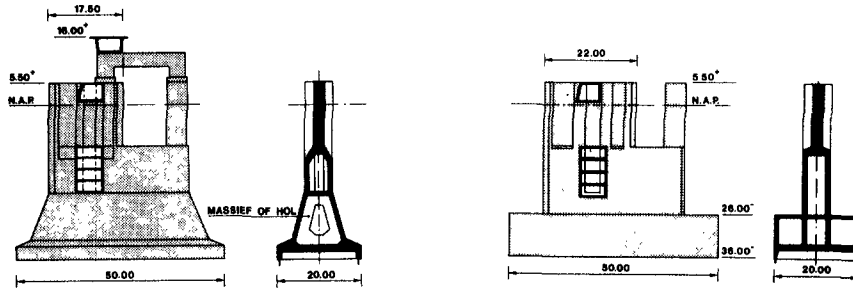
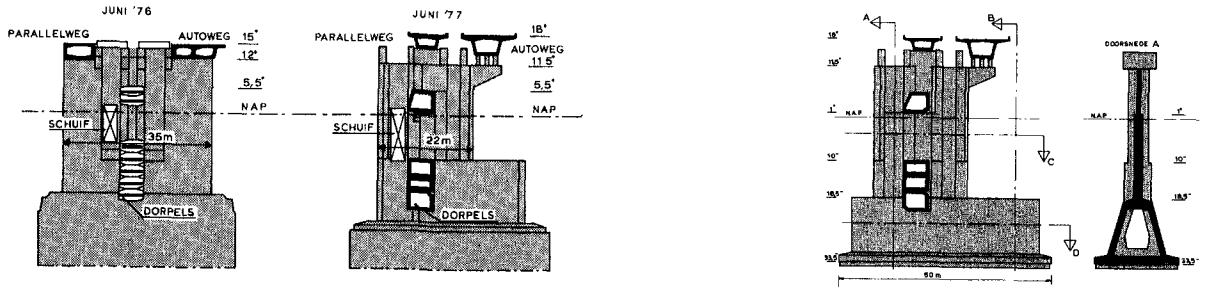


fig. 24 diverse stadia van het pijler-ontwerp

#### 4.4. De ontwikkeling van het ontwerp voor de drempel en het funderingsbed

In het „pijlers op putten,-plan werd de noodzakelijke verkleining van de doorstroomopening vooral in het begin hoofdzakelijk bereikt door een stapeling van schotbalken (fig. 19). De drempel was in de eerste plaats een overgangsconstructie van deze schotbalken naar de ondergrond en had hoofdzakelijk de functie om de onder de kering doorlopende kwelstroom zodanig in bedwang te houden dat hierdoor geen ontgrondingen konden optreden. Bij een gesloten kering onder stormvloed-condities treden onder de schotbalken zeer grote verhangen op.

Om te voorkomen dat deze grote verhangen ook in de ondergrond zouden optreden, en daarbij grondverplaatsingen zouden veroorzaken, werd gedacht aan een horizontale verval spreider in de vorm van een waterdichte steenasfaltmat, voorzien van de nodige ballast om overdrukken van beneden af te weerstaan. Deze steenasfaltmat werd door de putten doorsneden met alle risico's voor lekkage langs de doorsnijding als gevolg van de onvermijdelijke pijlerbeweging en uitvoeringstoleranties (fig. 25 boven). Mede als gevolg van deze lekkage problemen werd later dit idee verlaten. De drempel kreeg een zodanige filteropbouw dat korrelverplaatsing fysisch onmogelijk worden en grote verhangen zonder schadelijke gevolgen kunnen worden aanvaard (fig. 26).

De eerste filterlagen tot en met een grove grindlaag zouden moeten worden aangebracht vóór het plaatsen en omlaag cutteren van de putten en de opbouw van de pijlers om ontgrondingen tijdens dit proces te voorkomen. Na het verwijderen van de kuip werden deze filterlagen afgedekt met een zanddichte „sandwich“-constructie, bestaande uit twee blokkenmatten met daartussen een laag grind. Het doel van de sandwich-constructie was het voorkomen dat

eventueel in het onderliggende filterpakket opgenomen zand er later weer zou worden uitgespoeld, hetgeen tot ongewenste zettingen zou kunnen leiden. Ter voorkoming van doorgaande verticale spleten door bewegingen van de pijler werd de sandwich constructie doorgetrokken over de kop van de put (fig. 25 onder).

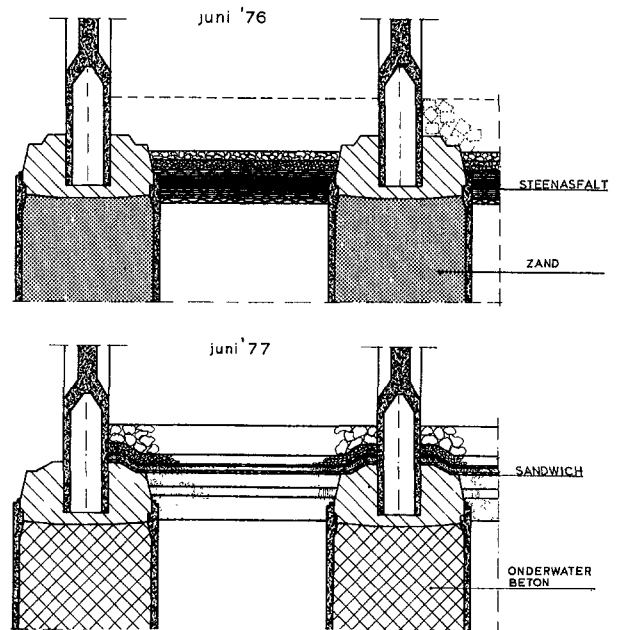


fig. 25 ontwikkeling van de drempel, tussen juni 1976 en mei 1977, aansluiting op de put-kop

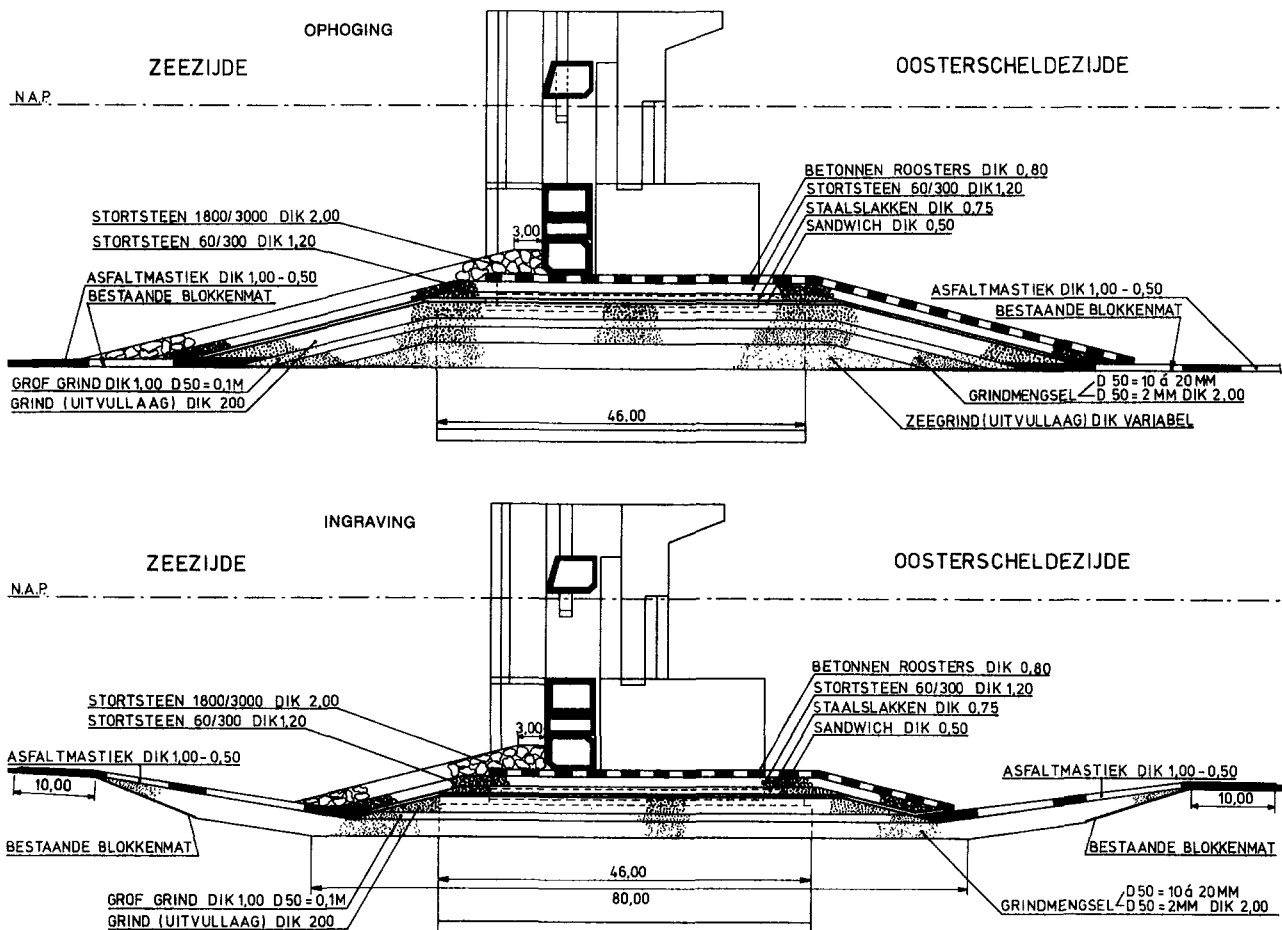


fig. 26 drempel-ontwerp met filterconstructie voor pijler-op-putten

In dit stadium van het ontwerp was het hefschip voor het plaatsen van de putten en pijlers nog uitgerust met poten om een rustige ligging tijdens het werken te waarborgen.

De eis dat deze poten niet door de grove grindlaag mochten dringen bepaalde de minimum dikte van het grindpakket.

Met de introductie van het ontwerp voor een monoliet pijler werd het funderingsniveau van de pijler belangrijk omhoog gebracht en dat van de drempel omlaag gebracht naar het peil van de onderkant van de pijlervoet. Voor de beneden dit peil gelegen overgangsconstructie naar de ondergrond werd hiermee voor het eerst het begrip „funderingsbed” geïntroduceerd.

In dit stadium van het ontwerp (mei '77, fig. 27) bestond het funderingsbed uit een ca. 1,5 m dikke filterlaag van fosforslakken ( $D_{90} = 10 \text{ à } 20 \text{ mm}$ ) aan te brengen op een te verdichten ondergrond al dan niet door tussenkomst van een eveneens te verdichten uitvullaag van zeegrind. Dit funderingsbed werd afgedekt met een tenminste griddichte filtermat om het te beschermen tegen

wegspoelen bij het plaatsen van de pijlers.

In de erboven liggende drempel constructie werd voorzien in een vervalspreider tussen de pijlers, overlappend gelegd op de voetplaat, ter reductie van de verhangen in het funderingsbed (extra veiligheid tegen grondverplaatsingen). Buiten de pijlers werd in het verlengde van de vervalspreider een gronddichte sandwichconstructie aangebracht. Het profiel van de drempel werd in belangrijke mate bepaald door de toen nog noodzakelijk geachte inbedding (8 tot 12 m, afhankelijk van de diepte ligging) van de pijler in het drempellichaam, om horizontale krachten op de pijler op te vangen. Met name de grote breedte aan de Oosterscheldezijde was daarvan het gevolg. Mede door deze grotere inbeddingsdiepte werd het aantal dorpelbalken, nodig voor de begrenzing van de definitieve doorstroombopening teruggebracht van 3 naar 2.

Door dit alles kreeg de drempel meer dan voorheen een wezenlijke rol in de profielvernaauwing van de doorstroombopening.

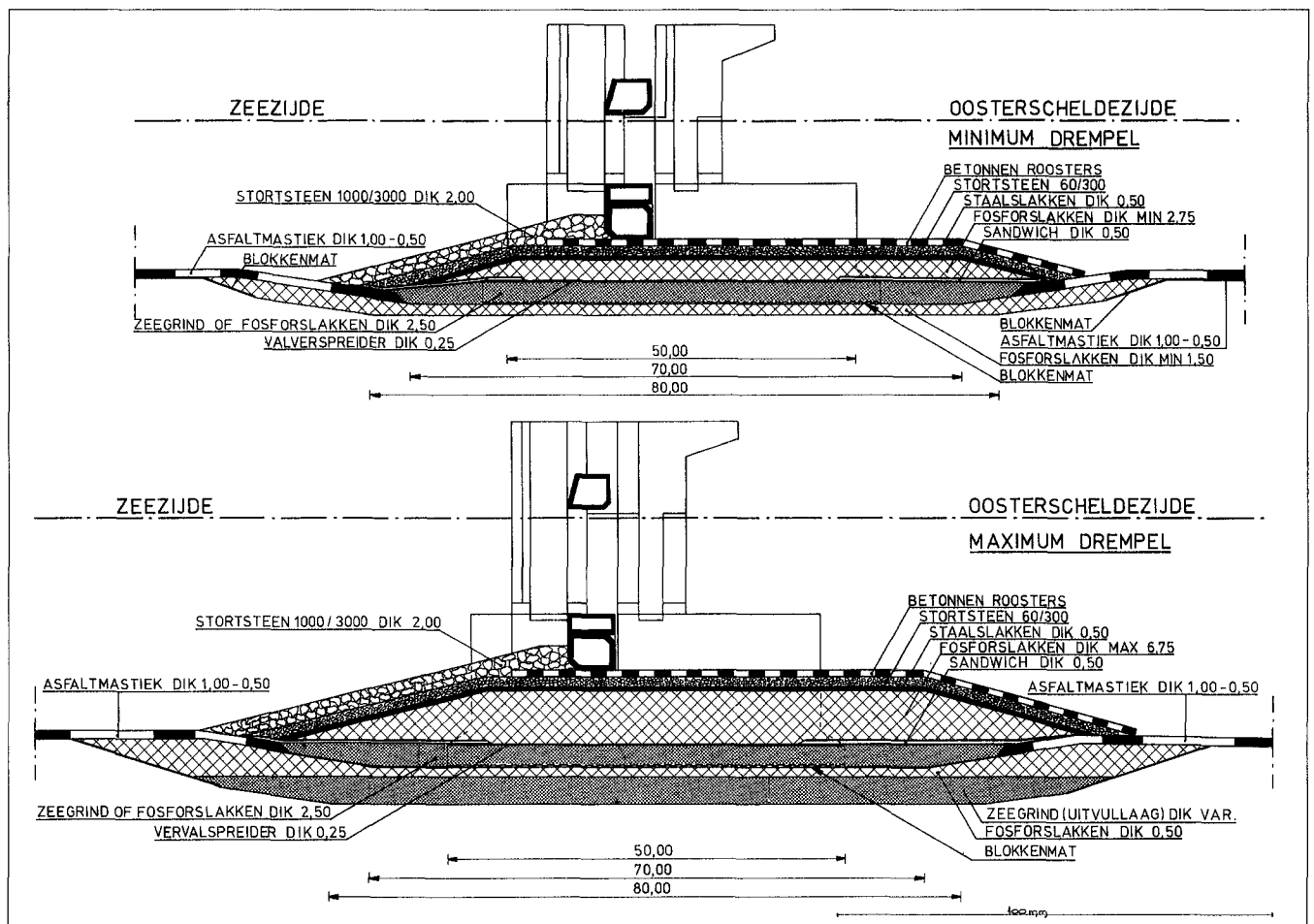


fig. 27 drempel-ontwerp met vervalspreider voor monoliet pijlers



In de nu volgende periode van ongeveer anderhalf jaar (mei '77 tot december '78) hebben zich een aantal ontwikkelingen voorgedaan die van grote invloed zijn geweest op het ontwerp van het funderingsbed en de drempel:

- De plaatsingsoperatie van de pijler kon met een drijvend schip worden uitgevoerd. Hierdoor hoefde het funderingsbed niet langer bestand te zijn tegen de stempeldrukken van de poten van het plaatsingsvaartuig en kon de dikte van de filterlagen belangrijk worden vermindert.
- Een fysisch ondoordringbaar filter voor het Oosterschelde-zand ( $D_{50} = \text{ca. } 0,15 \text{ mm}$ ) zou bij nader inzien moeten bestaan uit 4 lagen tot aan de steen 10/60 kg in de drempel nl.:  
 grof zand  $D_{50} = \text{ca. } 1 \text{ mm}$   
 kif  $D_{50} = \text{ca. } 5 \text{ mm}$   
 grind  $D_{50} = \text{ca. } 20 \text{ mm}$   
 steen of slakken  $D_{50} = \text{ca. } 80 \text{ mm}$   
 Vooral de twee kleinste fracties leveren in losgestorte vorm voor wat betreft de stroombestendigheid, problemen op bij de aanleg. Het gelijktijdig aanbrengen van de eerste drie lagen in één productie gang zou wenselijk zijn.
- De hierboven genoemde problemen met het losgestorte filter leidden tot het voorstel om de eerste drie filterlagen te ver-

pakken in een geprefabriceerde filtermat die met een speciaal vaartuig zou moeten worden aangebracht.

Met deze opzet kon de drempel verder als een open constructie uit gestort materiaal worden ontworpen.

- Uit onderzoek was gebleken dat een inbedding van de pijler in het materiaal van de drempel niet langer noodzakelijk was om de horizontale krachten op te nemen. Hierdoor kon het dwarsprofiel van de drempel worden beperkt tot het noodzakelijke voor de eigen stabiliteit.
- Uit onderzoek was gebleken dat de krachten, op de dorpelbalk uitgeoefend door de overschietende stroom onder stormvloedcondities bij een weigerende schuif, dermate groot waren dat maatregelen noodzakelijk waren;

\* De twee dorpelbalken werden samengevoegd tot één zware dorpelbalk met een schuine voorkant;

\* De dorpelbalk moest gedeeltelijk worden ingebed in de toplaag van de drempel, een maatregel die tevens gunstig is voor de afvoercoëfficiënt.

Deze ontwikkelingen leidden tot een ontwerp voor het funderingsbed en de drempel dat in grote lijnen overeenkomt met het huidige ontwerp (fig. 28 en 29, te vergelijken met Deelnota 1.4 fig. 26 en 27).

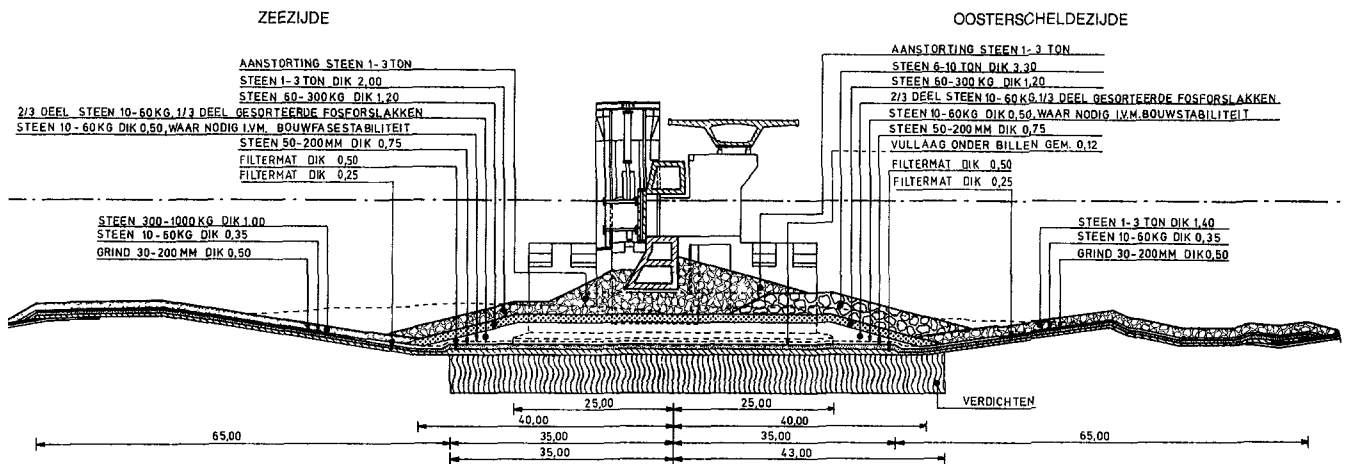


fig. 28 Drempelontwerp met filtermatten in funderingsbed (ingraving)

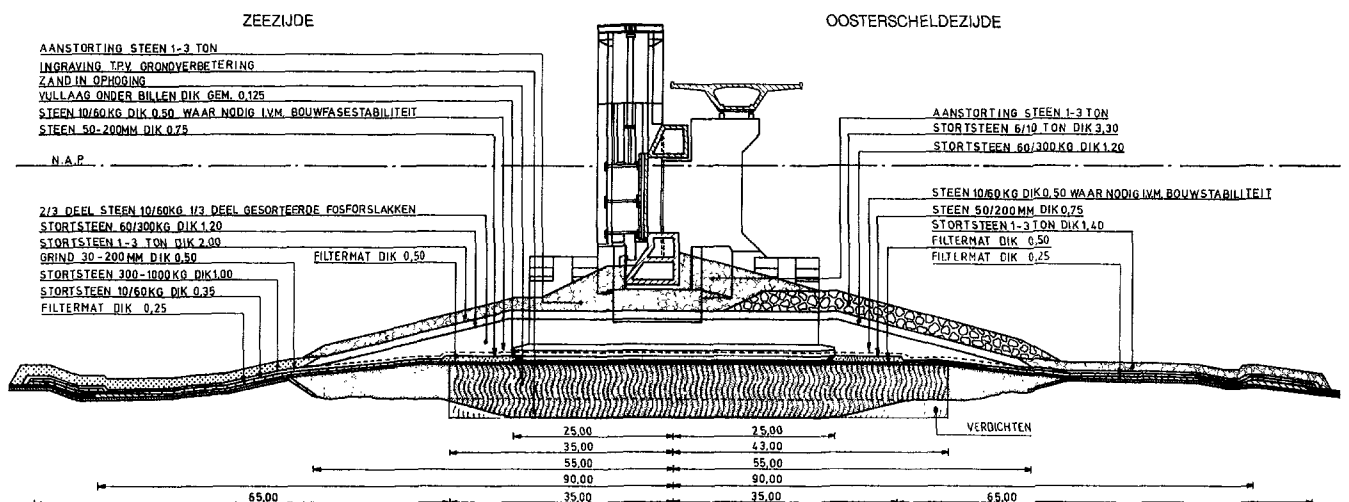


fig. 29 Drempelontwerp met filtermatten in funderingsbed (ophoging en grondverbetering)

## Literatuur

paragraaf 4.2.

1. Ontwerp voor de stormvloedkering in de Oosterschelde.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 73, aug. '75, pag. 115 tot en met 126.
2. De afsluitmiddelen van de stormvloedkering.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 73, aug. '75, pag. 127 tot en met 135.
3. De verdere ontwikkelingen in het ontwerp van de caissons en hun afsluitmiddelen.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 74, nov. '75, pag. 181 tot en met 187.
4. De keuze van een stormvloedkering voor de Oosterschelde (samenvatting „Blauwe nota,,).  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 78, nov. '76, pag. 441 tot en met 451.

paragraaf 4.3.

5. Nieuwe ontwikkelingen in het ontwerp van de stormvloedkering.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 81, aug. '77, pag. 9 tot en met 15.
6. Vorderingen in het ontwerp van de stormvloedkering in de Oosterschelde.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 83, febr. '78, pag. 142 tot en met 165.
7. *Stand van zaken met betrekking tot het ontwerp van de stormvloedkering.*  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 87, febr. '79, pag. 341 tot en met 344.
8. Interactie van de pijlers van de stormvloedkering met de drempel en ondergrond.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 87, febr. '79, pag. 345 tot en met 347.
9. Het pijlerontwerp.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 89, aug. '79, pag. 433 tot en met 440.

paragraaf 4.4.

10. Ontwerp en uitvoeringsaspecten van de drempel.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 83, febr. '78, pag. 150 tot en met 153.

11. Verdere studie naar het drempelontwerp van de stormvloedkering.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 85, aug. '78, pag. 261 tot en met 263.
12. A. De aanzanding bij de drempelopbouw  
B. Het doorstroomprofiel  
C. Filteronderzoek ten behoeve van het drempelontwerp  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. '86, nov. '78, pag. 291 tot en met 304.
13. Het funderingsbed.  
Driemaandelijks Bericht Deltawerken nr. 93, aug. '80, pag. 125 tot en met 129.

## Documentatie

paragraaf 4.2.

1. *Poreuze Dam Oosterschelde.*  
Rapport Combinatie Dijkbouw Oosterschelde, Rijswijk, april 1974.
2. A. Stormvloedkering Oosterschelde, Eindrapport  
Rijkswaterstaat, mei 1976 (zogenaamde blauwe nota), den Haag, mei 1976.  
B. Deelrapporten 1 tot en met 8 behorend bij A.
  1. Milieu aspecten en morfologische ontwikkeling;  
(in voorbereiding)
  2. Hydraulische aspecten; (1984)
  3. Grondmechanische aspecten; (1984)
  4. Caissons op staal; (in voorbereiding)
  5. Pijlers op putten; (in voorbereiding)
  6. Caissons op putten; (in voorbereiding)
  7. Afsluitmiddelen; (1979)
  8. Planning, begroting en literatuuroverzicht;  
(in voorbereiding)

paragraaf 4.3. en 4.4.

Voortgangsnota's van de Projectgroep Stormvloedkering Oosterschelde,

3. Nota nr. 1, december '76, PGO 137
4. Nota nr. 2, februari '77, PGO 214, met 10 bijlagen in 2 afzonderlijke delen.
5. Nota nr. 3, maart '77, PGO 247
6. Nota nr. 4, mei '77, PGO 278, met 14 bijlagen (tekeningen) in een afzonderlijke bundel.
7. Nota nr. 5, december '77, PEGEOO-N-77122 met een bijlage.
8. Nota nr. 6, mei '78, PEGEOO-N-78157.
9. Nota nr. 7, december '78, PEGEOO-N-78293.

## 5. Organisatie van het project

### 5.1. Inleiding

In vervolg op de regeringsbeslissing van 17 juni 1976 tot aanleg van een stormvloedkering in de Oosterschelde en de uitvoering van compartimenteringswerken volgens het model C3 met een verbeterd kanaal door Zuid-Beveland, is door de Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat de voorbereiding en uitvoering van dit werk opgedragen aan de Deltadienst als voorttrekkende dienst in samenwerking met de specialistische Directies Bruggen en Sluizen en Stuwen en de toekomstige beheerder, de Directie Zeeland. Als belangrijkste deelprojecten van het totale Oosterscheldeproject kunnen worden genoemd:

- de bouw van de stormvloedkering
- de aanleg van de compartimenteringswerken, c.a.
- de verruiming van het Kanaal door Zuid-Beveland, c.a.
- de uitvoering van een studie naar het te voeren sluitingsbeleid met de stormvloedkering (project BARCON = BARrier CONtrol).

Daarnaast kunnen nog een aantal meer secundaire zaken worden genoemd die een gecoördineerde aanpak vragen zoals:

- de uitvoering van onderzoek op en rond de Oosterschelde
- de uitvoering van aanpassingswerken in de bestaande infrastructuur
- de voorlichting aan het publiek over het hele gebeuren.

Voor deze onderwerpen waren projectorganisaties en overleggroepen in het leven geroepen onder de overkoepelende leiding (op directeursniveau) van de BegeleidingsGroep Oosterschelde (BGO) (zie fig. 30).

Het ontwerp en de bouw van de stormvloedkering was het omvangrijkste deelproject van de Oosterscheldewerken dat alleen door een gezamenlijke inspanning van Rijkswaterstaat, bedrijfsleven en onderzoeksinstituten kon worden gerealiseerd. Hierbij ontstond een tamelijk uitgebreide en soms vrij gecompliceerde rolverdeling tussen de Rijkswaterstaat enerzijds en de medewerkende bedrijven en instituten anderzijds. Een rolverdeling waarbinnen door de

Rijkswaterstaat een groot aantal functies werden vervuld, maar ook met name door de aannemerscombinatie DOSBOUW v.o.f. een veelzijdige rol werd gespeeld (fig. 31).

De totale omvang van het project, het multidisciplinaire en grensverleggende karakter daarvan, de veelheid van relaties naar buiten en het grote aantal functies dat de Rijkswaterstaat met de vier in dit project meest betrokken diensten moest vervullen, maakte een tamelijk omvangrijke en gecompliceerde projectorganisatie noodzakelijk. Deze noodzaak werd reeds door de Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat onderkend door in zijn opdracht aan de Deltadienst tot voorbereiding en uitvoering van de Oosterscheldewerken, met betrekking tot de stormvloedkering, de voorkeur uit te spreken voor een sterk geïntegreerde samenwerkingsvorm tussen de betrokken diensten van de Rijkswaterstaat. Daarmee zou worden afgeweken van de tot dusver gebruikelijke samenwerkingsvorm tussen Rijkswaterstaatsdiensten bij multidisciplinaire projecten (zie bijlage 1 van doc. 1).

Deze geïntegreerde samenwerkingsvorm kwam reeds tot uiting in de al genoemde overkoepelende organisatie van de Oosterscheldewerken, die in een matrix-structuur haaks stond op de bestaande lijnorganisatie van de Rijkswaterstaat (fig. 32). Het hoogste orgaan hiervan (de BGO) had ten opzichte van hogerhand de eindverantwoordelijkheid voor het gevoerde beleid en het oppertoezicht op de coördinatie van de uitgevoerde werkzaamheden. Behalve de Hoofdingenieurs-Directeuren van de betrokken diensten hadden hierin ook zitting: een vertegenwoordiger van de Hoofddirectie van de Rijkswaterstaat en een vertegenwoordiger van de Directie Financieel-Economische Zaken van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. De administratieve afwikkeling van de uitgevoerde werkzaamheden verliep langs de bestaande lijnorganisatie. In de onderscheiden projectorganisaties en overleggroepen waren de deelnemende diensten naar behoefte vertegenwoordigd en was de integratie, eveneens naar behoefte, meer of minder sterk doorgevoerd, het sterkst in de projectorganisatie voor de stormvloedkering.

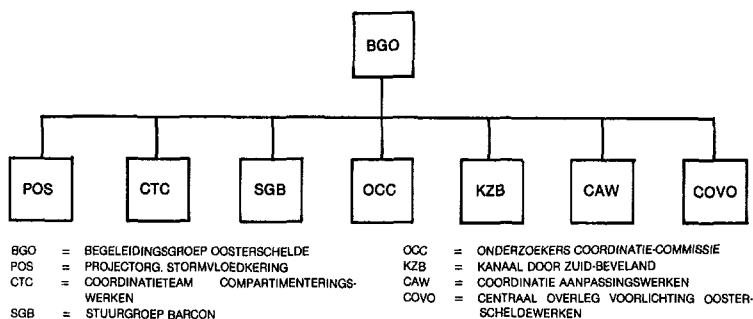


fig. 30 projectorganisatie onder de Begeleidings Groep Oosterschelde

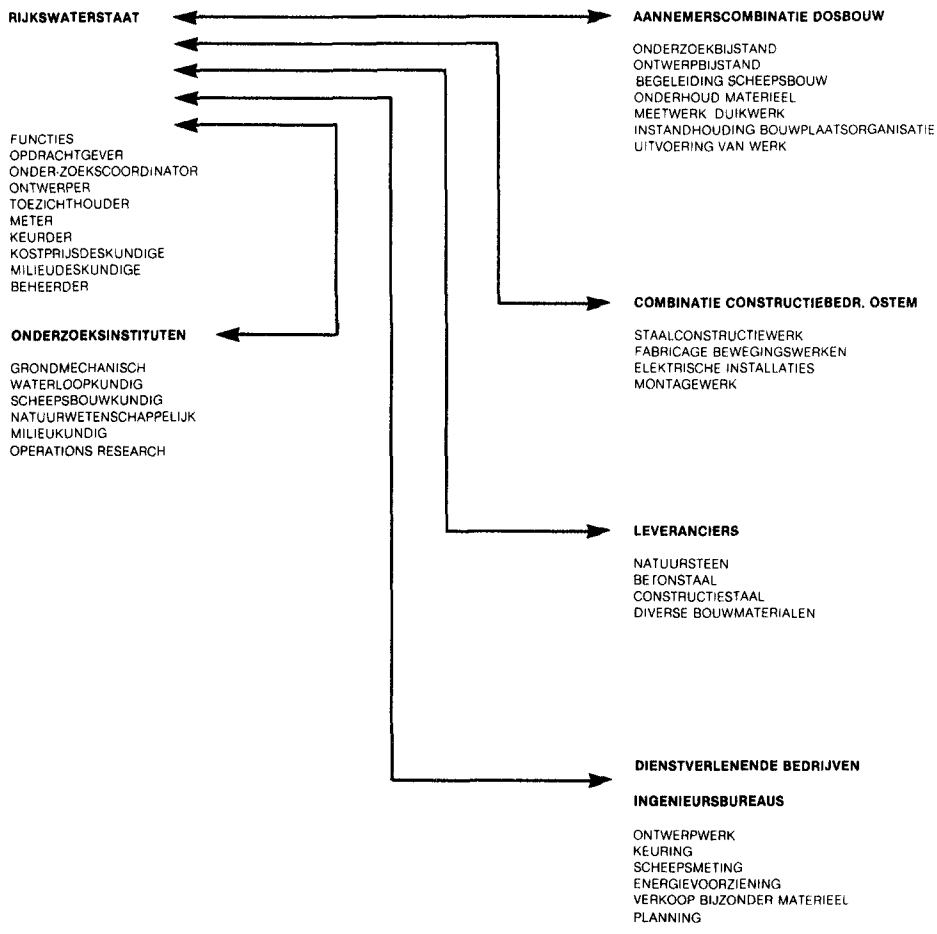


fig. 31 project Stormvloedkering, rolverdeling Rijkswaterstaat-anderen

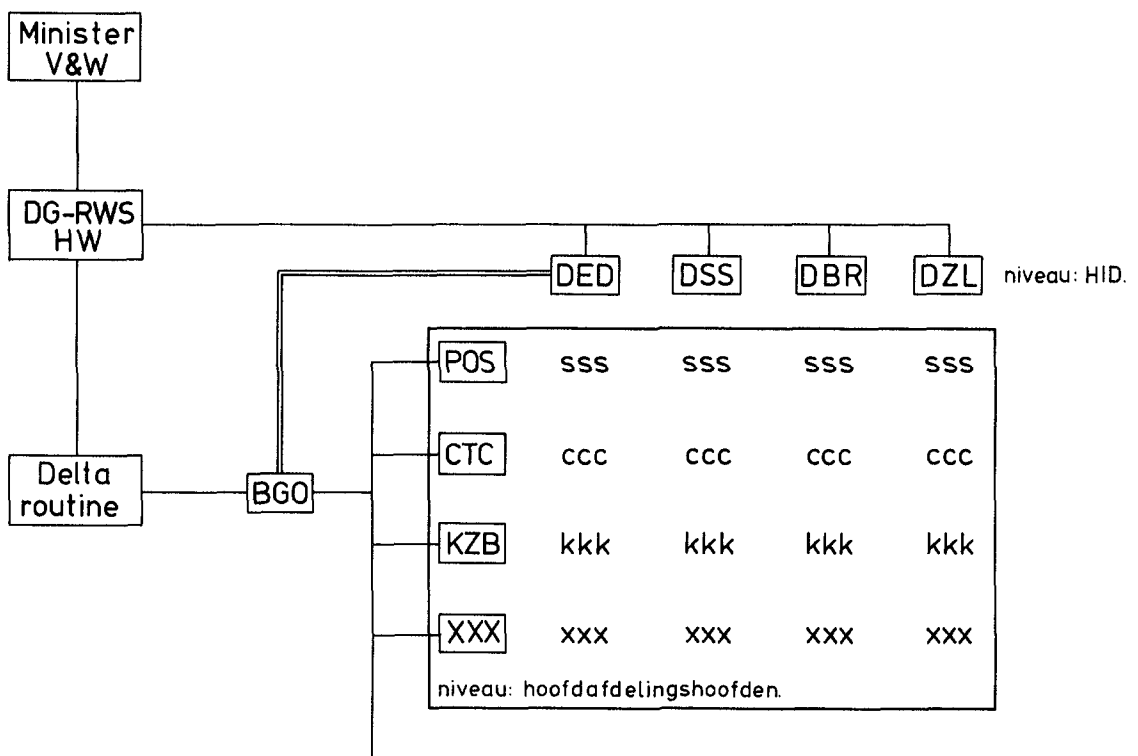


fig. 32 structuur van de projectorganisatie Oosterscheldewerken

## 5.2. De projectorganisatie voor de stormvloedkering in de Rijkswaterstaat

### 5.2.1. De totale opzet

De taakverdeling van de deelnemende diensten was globaal als volgt:

- Deltadienst: Algemeen :
  - totaal ontwerp,
  - totaal planning,
  - kostenbewaking,
  - coördinatie uitvoering.
- Specifiek :
  - grondwerken,
  - „natte“ werken,
  - waterloopkundig en morfologisch onderzoek.
- Dir. Sluizen en Stuwen:
  - betonwerken in het algemeen,
  - Roompotsluis,
  - centraal bedieningsgebouw.
- Dir. Bruggen :
  - sluitingsmiddelen (staalconstructies),
  - bewegingswerken,
  - elektrische en bedieningsinstallaties.
- Dir. Zeeland :
  - de doorgaande weg over de kering en de aansluiting daarvan op het bestaande wegnnet,
  - zaken betreffende het toekomstige beheer van de kering,
  - toekomstige bestemming van de beschikbaar komende terreinen.

Hierbij fungeerden de drie eerstgenoemde diensten als „bouwdienst“. Naast een collectieve verantwoordelijkheid voor het hele project, waren de deelnemende diensten individueel verantwoordelijk voor hun eigen inbreng.

In de opzet van de projectorganisatie werd er naar gestreefd om zoveel mogelijk taken en bevoegdheden te delegeren naar de lagere niveau's zodat de hogere niveau's zich meer konden beperken tot het algemene management, de totale coördinatie en de meer principiële zaken. Op de werkniveau's werd er gestreefd naar zo klein mogelijke groepen met een specifieke taakstelling. Dit gold in het bijzonder voor de ontwerporganisatie (zie par. 5.2.2.).

Door deze opzet kon worden bereikt dat de zaken op alle niveau's overzichtelijk en hanteerbaar bleven.

Hoewel in haar principiële opzet niet aangetast, is de projectorganisatie gedurende de loop van het werk onderhevig geweest aan veranderingen (doc. 1 t/m 7). Veranderingen die voor het grootste deel werden ingegeven door de tijdsgebonden behoeften van het werk: het vorderings-stadium van het ontwerpwerk en de geleidelijke accentverlegging van ontwerp naar uitvoering. Voor een kleiner deel, maar meer van principiële aard, werden veranderingen ingegeven door een evaluatie van het functioneren van de projectorganisatie als zodanig.

In de projectorganisatie waren van de top af twee lijnen te onderscheiden die qua opzet principiële van elkaar verschilden.

De eerste lijn was gericht op de totstandkoming van het ontwerp: de ontwerporganisatie.

Hierin was de integratie van de samenwerkende diensten het verst doorgevoerd en was er sprake van een collectieve verantwoordelijkheid voor de totstandkoming van een gecoördineerd ontwerp, de totaalplanning en de totale kosten van het project.

Kort samengevat bestond de ontwerporganisatie uit:

- de BegeleidingsGroep Oosterschelde (BGO) - directeursniveau
- de StuurGroep Oosterschelde (SGO) - hoofdafdelingsniveau
- de ProjectGroep Oosterschelde (PGO).

Hierin hadden de twee eerstgenoemde groepen vooral een beleidsaangevende taak, terwijl het eigenlijke werk werd gedaan door de Projectgroep met de daaronder ressorterende projectbureau's en stafgroepen, met voor de PGO hoofdzakelijk coördinerende en management taken.

De tweede lijn, de uitvoeringsorganisatie, was gericht op de daadwerkelijke realisering van het project: de opdrachtgeving aan de aannemers en de directievoering over het te maken werk.

Door de in de AVW 1968 vastgelegde bouwwettelijke verhoudingen ten opzichte van de aannemers en om administratieve redenen was het noodzakelijk dat de eigen identiteit van de deelnemende diensten als opdrachtgever en directievoerder behouden bleef. Aan de integratie-gedachte was daarom alleen intern gericht gestalte gegeven.

Kort samengevat bestond de uitvoeringsorganisatie uit:

- de RWS-directies (DD, Br., Sl. en St.)
- de Directie Stormvloedkering (SVK)
- het Uitvoeringsteam SVK (UTE).

Hierin traden de afzonderlijke RWS-directies op als opdrachtgever. De Directie SVK was op beleidsniveau (hoofdafdelingsniveau) en het Uitvoeringsteam SVK op managementniveau het intern gericht samenwerkingsverband voor de begeleiding van de uit te voeren werken. Binnen deze samenwerkingsverbanden werd, intern gericht, de beslissingsbevoegdheid van de individuele directievertegenwoordigers aan beperkingen onderworpen (onderlinge consultatieplicht en overeenstemming).

Behalve de bestaande verbindingen via de lijnorganisatie van de deelnemende diensten werden structureel de Ontwerporganisatie en de Uitvoeringsorganisatie op het niveau van de SGO en de Directie-SVK aan elkaar gekoppeld door een onderlinge consultatie- en informatieplicht (fig. 33). In de praktijk bestonden overigens deze teams veelal uit dezelfde personen.

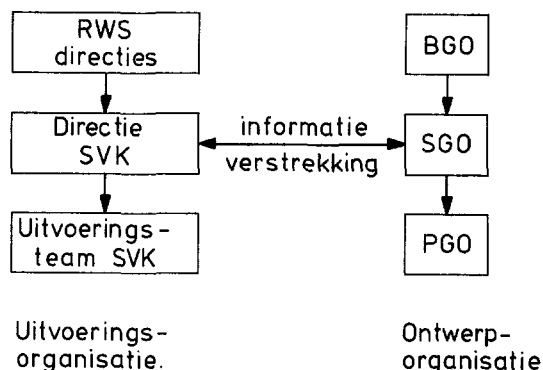


fig. 33 hoofdstructuur van de projectorganisatie Stormvloedkering (vóór 1982)

Na een organisatieonderzoek (doc. 5) werden in 1982 de doelgroepen op het laagste beleidsniveau in de Ontwerp- en Uitvoeringsorganisatie (SGO en Dir. SVK) alsmede de doelgroepen op het hoogste managementniveau in beide organisaties (PGO en UTE) samengevoegd tot één nieuwe projectgroep, de ProjectGroep Stormvloedkering (PGS), met daarin herkenbare kernen voor het dagelijks management, zowel in de ontwerplijn (PGO) als in de uitvoeringslijn (UTE) (doc. 6 en 7). Deze nieuwe projectgroep viel direct onder de BGO. De structuur van de projectorganisatie werd nu als aangegeven in fig. 34.

De meest kenmerkende verschillen ten opzichte van de oude organisatie waren:

- minder lagen in de organisatie
- duidelijker management
- kortere beslislijnen
- directe koppeling ontwerp-uitvoering.

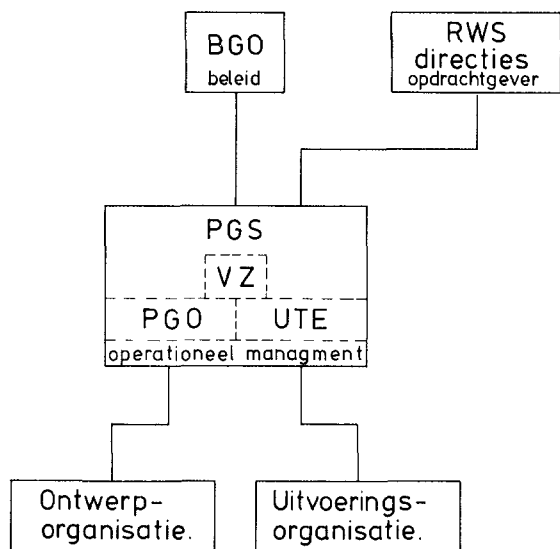


fig. 34 hoofdstructuur van de projectorganisatie Stormvloedkering (na 1982)

## 5.2.2. Verder uitwerking van de projectorganisatie

De Ontwerporganisatie.

Onder de coördinerende leiding van de PGO, zowel vóór als na de in 1982 doorgevoerde reorganisatie, werd het eigenlijke ontwerpwerk gedelegeerd aan een aantal projectbureau's, die ieder een deel van het project kregen toegewezen. Tijdens het hoogtepunt van de ontwerpactiviteiten waren er acht projectbureau's ingesteld (zie tabel 6). Gezien de toegewezen deelprojecten waren van projectbureau's 1, 2, 3, 5 en 6 meer bij het eigenlijke ontwerp van de kering betrokken en hadden de projectbureau's 4, 7 en 8 een meer ondersteunend karakter (zie ook tabel 9). Bij de taakverdeling over de verschillende projectbureau's was het uitgangspunt dat de eindverantwoordelijkheid voor de technisch-inhoudelijke aspecten zoveel mogelijk bij één van de drie bouwdiensten lag. In de loop van het ontwerpproces is het aantal van en de taakverdeling over de projectbureau's aan wijzigingen onderhevig geweest (tabel 6 t/m 8 en 9 t/m 12). Tegen het einde van het project waren er nog vier projectbureau's over (fig. 35).

Elk projectbureau was belast met de coördinatie inzake de voorbereiding van de haar toegewezen deelprojecten tot aan het sluiten van deelovereenkomsten, alsmede het inpassen van deze deelprojecten in het gehele project, inclusief de plannings- en kostenaspecten. Een en ander diende te geschieden binnen de door de PGO (eerder PGO) opgestelde randvoorwaarden (doc. 7).

Onder de verantwoordelijkheid van de projectbureau's werd het werk verder onderverdeeld en gedelegeerd naar werkgroepen, die konden steunen op de technische bijstand van de deelnemende diensten.

tabel 6: Taakomschrijving Projectbureau's

overzicht specifieke taken

(organisatie d.d. 1978) (par. 5.2.2)

Taken	ONTWERP		UITVOERINGS-METHODE		MATERIEEL	
	studie	voortwerp def. ontwerp + bestek	studie	ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie	ontwikkeling voorbereiding + bouw
Deelprojecten						
Projectbureau I						
damaanzetten	x	x	x	x	x	-
komplex Noordland	x	x	x	x	-	-
komplex N. Jans	x	x	x	x	-	-
komplex R plaat	x	x	x	x	-	-
aansl wegen	x	x	x	x	-	-
Projectbureau II						
bodembescherming	x	x	x	x	x	-
stortebedden	x	x	x	x	x	-
man. plateau's	-	-	x	x	x	-
cunet	-	-	-	-	-	-
Projectbureau III						
cunet	x	x	-	x	x	-
fund. bed	x	x	x	x	x	-
drempel	x	x	x	x	x	-
aanstormingen	x	x	x	x	x	-
Projectbureau IV						
damaanzetten	-	-	-	-	-	x
stortebedden	-	-	-	-	-	-
man. plateau's	-	-	-	-	-	-
cunet	-	-	-	-	-	x
fund. bed	-	-	-	-	-	x
drempel	-	-	-	-	-	x
aanstormingen	-	-	-	-	-	x
pijlers plaatsen	-	-	x	x	x	x
ankerpalen	x	x	x	x	x	-
dorpelbalken	-	-	-	-	-	x
Projectbureau V						
pijlers maken	x	x	x	x	x	-
dorpelbalken	x	x	x	x	x	-
bovenbouw	x	x	x	x	x	x
Projectbureau VI						
schuiven	x	x	x	x	x	-
bewegingswerken	x	x	x	x	x	-
elektra	x	x	x	x	x	-
bedieningsgebouw	x	x	x	x	x	-
schuifgeleidingen	x	x	x	x	x	-
energie voorz.	x	x	x	x	x	-
Projectbureau VII						
bouw energie	x	x	x	x	x	-
bouwpot Schaar	x	x	x	x	x	-
werkterrein Schaar	x	x	x	x	x	-
hulpbrug	x	x	x	x	x	-
haven voorz	x	x	x	x	x	-
Projectbureau VIII						
survey	x	x	x	x	x	-
werkbaarheid	x	x	x	x	x	-
veiligheid	x	x	x	x	x	-
communicatie	x	x	x	x	x	-
corridor	x	x	x	x	x	-

tabel 7: Taakomschrijving Projectbureau's

overzicht specifieke taken

(organisatie d.d. 1980) (par. 5.2.2)

Taken				Taken					
Fase				Fase					
Deelprojecten	ONTWERP	UITVOERINGS METHODE	MATERIEEL	Deelprojecten	ONTWERP	UITVOERINGS METHODE	MATERIEEL		
	studie voortwerp def.ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw		studie voortwerp def.ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw		
Projectbureau I	damaanzet Schouwen havens Noordland Roompotsluis havens Neeltje-Jans aansl. wegen oeverbescherming	x x x x x x x x x x x x x x x x x x	x x x x x x x x x x x x x x x x x x	x - - - - - - - - - - - - - - x - -	Projectbureau V	pijlars maken dorpelbalken maken verkeerskokers maken bovenbalken maken hamerstukken maken elementen plaatsen	x x x x x x x x x x x x x x x - - -	x x x x x x x x x x x x x x x x x x	- - - - - - - - - - - - - - - - x x
Projectbureau II	bodembescherming stortebedden damaanzetten exkl. Schouwen manoeuvrerplateau's grondverbeteringen verdichten inkorting Neeltje-J. Roggenplaat	x x x x x x - - - - - - - - - x x x x x x x x x x x x	x x	x - - x - - - - - x - - - - - x - - - - - - - - - - -	Projectbureau VI	schuiven maken bewegingswerken elektra energievoorziening bedieningsgebouw schuifgeleidingen schuiven plaatsen	x x x x x x x x x x x x x x x x x x - - -	x x	- - - - - - - - - - - - - - - - - - - x x
Projectbureau III	funderingsbed drempel aanstortingen	x x x x x x x x x	x x x x x x x x x	x - - x - - x - -	Projectbureau VII	terrein indeling terrein beheer bouwput Schaar werkerterreinen haveninrichting	x x x x x x x x x x x x x x x	- - - - - - x x x x x x x x x	- - - - - - - - - - - - - - -
Projectbureau IV	ankerpalen manoeuvrerplateau's grondverbeteringen verdichten funderingsbed drempel aanstortingen pijlars plaatsen schuiven plaatsen elementen plaatsen	x x x x -	x x x - - - - - - - - - - - - - - - - - - x x x - - - - - - - - -	x x x - x x - x x - x x - x x - x x - x x x x x x x x x - -					

tabel 8: Taakomschrijving Projectbureau's

overzicht specifieke taken

(organisatie d.d. 1982) (par. 5.2.2)

Taken				Taken					
Fase				Fase					
Deelprojecten	ONTWERP	UITVOERINGS METHODE	MATERIEEL	Deelprojecten	ONTWERP	UITVOERINGS METHODE	MATERIEEL		
	studie voortwerp def.ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw		studie voortwerp def.ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw		
Projectbureau II	bouwput Schaar havens Noordland Roompotsluis definitieve wegen terreininrichting zandbalans  bodembescherming stortebedden damaanzetten onderb. landhoofden manoeuvrerplateau's grondverbeteringen verdichten  Roggenplaat oeverbescherming	x x x x x x x x x x x x x x x x x x  x	x x x x x x x x x x x x x x x x x x  x	- - - - - - - - - - - - - - - - - -  x - - x - - x - - x - - x - - x - - - - - - - - - - -	Projectbureau IV	ankerpalen manoeuvrerplateau's grondverbeteringen verdichten funderingsbed drempel aanstortingen  pijlars plaatsen schuiven plaatsen elementen plaatsen vlakken	x x x - - - - - - - - - - - - - - - - - -  - - - - - - - - - - - - - - -	x x x - - - - - - - - - - - - - - - - - -  x x x x x x x x x x x x x x x	x x x - x x - x - - - x x
Projectbureau III	funderingsbed drempel aanstortingen vlakken	x x x x x x x x x x x x	x x x x x x x x x x x x	x - - x - - x - - x - -	Projectbureau V	pijlars maken dorpelbalken maken verkeerskokers maken bovenbalken maken hamerstukken maken elementen plaatsen bovenb. landhoofden	x x x x x x x x x x x x x x x - - - x x x	x x	- - - - - - - - - - - - - - - - x x x - -
				Projectbureau VI	schuiven maken bewegingswerken elektra energievoorziening bedieningsgebouw schuifgeleidingen schuiven plaatsen	x x x x x x x x x x x x x x x x x x - - -	x x	- - - - - - - - - - - - - - - - - - - x x	

Taken	ONTWERP	UITVOERINGS-METHODE	MATERIEEL	Taken	ONTWERP	UITVOERINGS-METHODE	MATERIEEL
Fase	voortwerp def. ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw	Fase	voortwerp def. ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw
Deelprojecten	studie voortwerp def. ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw	Deelprojecten	studie voortwerp def. ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw
<u>DAMAANZETTEN CA.</u>				<u>BETON</u>			
Damaanzetten	1 1 1	1 1 1	1 4 4	Pijlers maken	5 5 5	5 5 5	- - -
Komplex Noordland	1 1 1	1 1 1	- - -	Pijlers plaatsen	- - -	4 4 4	4 4 4
Komplex Neeltje-Jans	1 1 1	1 1 1	- - -	Dorpelbalken	5 5 5	5 5 5	4 4 4
Komplex Roggenplaat	1 1 1	1 1 1	- - -	Bovenbouw	5 5 5	5 5 5	5 5 5
Aansl. wegen	1 1 1	1 1 1	- - -	<u>AFSLUITMIDDELEN</u>			
<u>BODEMVOORZIENINGEN</u>				Schuiven	6 6 6	6 6 6	- - -
Bodembescherming	2 2 2	2 2 2	- - -	Bewegingswerken	6 6 6	6 6 6	- - -
Stortebedden	2 2 2	2 2 2	- - -	Elektra	6 6 6	6 6 6	- - -
Oeverbescherming	2 2 2	2 2 2	- - -	Energievoorziening	6 6 6	6 6 6	- - -
Manoeuvrerplateau's	2 2 2	2 2 2	2 4 4	Bedieningsgebouw	6 6 6	6 6 6	- - -
Cunet	3 3 2	3 3 3	3 4 4	Schuilgeleidingen	6 6 6	6 6 6	- - -
<u>DREMPEL</u>				<u>HULPWERKEN</u>			
Fund. bed	3 3 3	3 3 3	3 4 4	Bouwput Schaar	7 7 7	7 7 7	- - -
Drempel	3 3 3	3 3 3	3 4 4	Werkerterrein Schaar	7 7 7	7 7 7	- - -
Aanstormingen	3 3 3	3 3 3	3 4 4	Bouwenegie	7 7 7	7 7 7	- - -
				Ankerpalen	4 4 4	4 4 4	- - -
				Hulpbrug	7 7 7	7 7 7	- - -
				Havenvoorziening	7 7 7	7 7 7	- - -
				Ondersteuning uitv.	8 8 8	8 8 8	- - -

tabel 10: Projectbureau's

overzicht taakverdeling per deelproject

(organisatie d.d. 1980) (par. 5.2.2.)

Taken	ONTWERP	UITVOERINGS-METHODE	MATERIEEL	Taken	ONTWERP	UITVOERINGS-METHODE	MATERIEEL
Fase	voortwerp def. ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw	Fase	voortwerp def. ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw
Deelprojecten	studie voortwerp def. ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw	Deelprojecten	studie voortwerp def. ontwerp + bestek	studie ontwikkeling voorbereiding uitvoering	studie ontwikkeling voorbereiding + bouw
<u>DAMAANZETTEN</u>				<u>BETON</u>			
Damaanzet Schouwen	1 1 1	1 1 1	1 1 1	Pijlers maken	5 5 5	5 5 5	- - -
Havens Noordland aanleg	1 1 1	1 1 1	- - -	Pijlers plaatsen	- - -	4 4 4	4 4 4
Roompotsluis	1 1 1	1 1 1	- - -	Dorpelbalken maken	5 5 5	5 5 5	- - -
Havens Neeltje Jans aanleg	1 1 1	1 1 1	- - -	Verkeerskokers maken	5 5 5	5 5 5	- - -
Inkorting Neeltje-Jans	2 2 2	2 2 2	- - -	Bovenbalken maken	5 5 5	5 5 5	- - -
Roggenplaat	2 2 2	2 2 2	- - -	Hamerstukken maken	5 5 5	5 5 5	- - -
Aansl. wegen	1 1 1	1 1 1	- - -	Elementen plaatsen	- - -	5 5 5	4 5 5
Damaanzetten excl. Schouwen	1 1 1	1 1 1	2 - -	<u>AFSLUITMIDDELEN</u>			
<u>BODEMVOORZIENING</u>				Schuiven maken	6 6 6	6 6 6	- - -
Bodembescherming	2 2 2	2 2 2	2 - -	Schuiven plaatsen	- - -	6 6 6	4 6 6
Stortebedden	2 2 2	2 2 2	2 - -	Bewegingswerken	6 6 6	6 6 6	- - -
Oeverbescherming	2 2 2	2 2 2	2 - -	Elektra	6 6 6	6 6 6	- - -
Manoeuvrerplateau's	4 2 2	2 2 2	2 4 4	Energievoorziening	6 6 6	6 6 6	- - -
Grondverbeteringen	2 2 2	2 2 2	2 4 4	Bedieningsgebouw	6 6 6	6 6 6	- - -
Verdichten	2 2 2	2 2 2	4 4 4	Schuilgeleidingen	6 6 6	6 6 6	- - -
<u>DREMPEL</u>				<u>HULPWERKEN</u>			
Funderingsbed	3 3 3	3 3 3	3 4 4	Bouwput Schaar	7 7 7	7 7 7	- - -
Drempel	3 3 3	3 3 3	3 4 4	Werkerreinen	7 7 7	7 7 7	- - -
Aanstormingen	3 3 3	3 3 3	3 4 4	Ankerpalen	4 4 4	4 4 4	4 4 4
				Haveninrichting	7 7 7	7 7 7	- - -



tabel 11: Projectbureau's

overzicht taakverdeling per deelproject

(organisatie d.d. 1981) (par. 5.2.2.)

Taken				Taken						
Fase				Fase						
Deelprojecten	ONTWERP			UITVOERINGS-METHODE			MATERIEEL			
	studie	voortwerp	def.ontwerp + bestek	studie	ontwikkeling	voorbereiding	uitvoering	studie	ontwikkeling	voorbereiding + bouw
<u>DAMAANZETTEN</u>										
Havens Noordland	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Roompotsluis	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Inkorting Neeltje-Jans	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Roggenplaat eiland	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Definitieve wegen	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Damaanzetten	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
<u>BODEMVOORZIENING</u>										
Bodembescherming	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
Stortebedden	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
Oeverbescherming	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
Manoeuvrerplateau's	4	2	2	2	2	2	2	4	4	
Grondverbeteringen	2	2	2	2	2	2	2	4	4	
Verdichten	2	2	2	2	2	2	4	4	4	
<u>DREMPEL</u>										
Funderingsbed	3	3	3	3	3	3	3	4	4	
Vlakken	3	3	3	3	3	3	3	4	4	
Drempel	3	3	3	3	3	3	3	4	4	
Aanstortingen	3	3	3	3	3	3	3	4	4	
<u>BETON</u>										
Pijlers maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Pijlers plaatsen	-	-	-	4	4	4	4	4	4	
Dorpelbalken maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Verkeerskokers maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Bovenbalken maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Hamerstukken maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Elementen plaatsen	-	-	-	5	5	5	4	5	5	
<u>AFSLUITMIDDELEN</u>										
Schuiven maken	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Schuiven plaatsen	-	-	-	6	6	6	4	6	6	
Bewegingswerken	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Elektra	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Energievoorziening	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Bedieningsgebouw	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Schuilgeleidingen	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
<u>HULPWERKEN</u>										
Bouwput Schaar	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Terreinrichting	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Ankerpalen	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Zandbalans	2	2	2	2	2	2	-	-	-	

tabel 12: Projectbureau's

overzicht taakverdeling per deelproject

(organisatie d.d. 1982) (par. 5.2.2.)

Taken				Taken						
Fase				Fase						
Deelprojecten	ONTWERP			UITVOERINGS-METHODE			MATERIEEL			
	studie	voortwerp	def.ontwerp + bestek	studie	ontwikkeling	voorbereiding	uitvoering	studie	ontwikkeling	voorbereiding + bouw
<u>DAMAANZETTEN</u>										
Havens Noordland	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Roompotsluis	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Inkorting Neeltje-Jans	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Roggenplaat eiland	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Definitieve wegen	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Damaanzetten	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
<u>BODEMVOORZIENING</u>										
Bodembescherming	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
Stortebedden	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
Oeverbescherming	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
Manoeuvrerplateau's	4	2	2	2	2	2	-	-	-	
Grondverbeteringen	2	2	2	2	2	2	2	-	-	
Verdichten	2	2	2	2	2	2	4	4	4	
<u>DREMPEL</u>										
Funderingsbed	3	3	3	3	3	3	3	4	4	
Vlakken	3	3	3	3	3	3	3	4	4	
Drempel	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Aanstortingen	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<u>BETON</u>										
Pijlers maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Pijlers plaatsen	-	-	-	4	4	4	4	4	4	
Dorpelbalken maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Verkeerskokers maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Bovenbalken maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Hamerstukken maken	5	5	5	5	5	5	-	-	-	
Elementen plaatsen	-	-	-	5	5	5	4	5	5	
<u>AFSLUITMIDDELEN</u>										
Schuiven maken	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Schuiven plaatsen	-	-	-	6	6	6	4	6	6	
Bewegingswerken	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Elektra	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Energievoorziening	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Bedieningsgebouw	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
Schuilgeleidingen	6	6	6	6	6	6	-	-	-	
<u>HULPWERKEN</u>										
Bouwput Schaar	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Terreinrichting	2	2	2	2	2	2	-	-	-	
Ankerpalen	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Zandbalans	2	2	2	2	2	2	-	-	-	

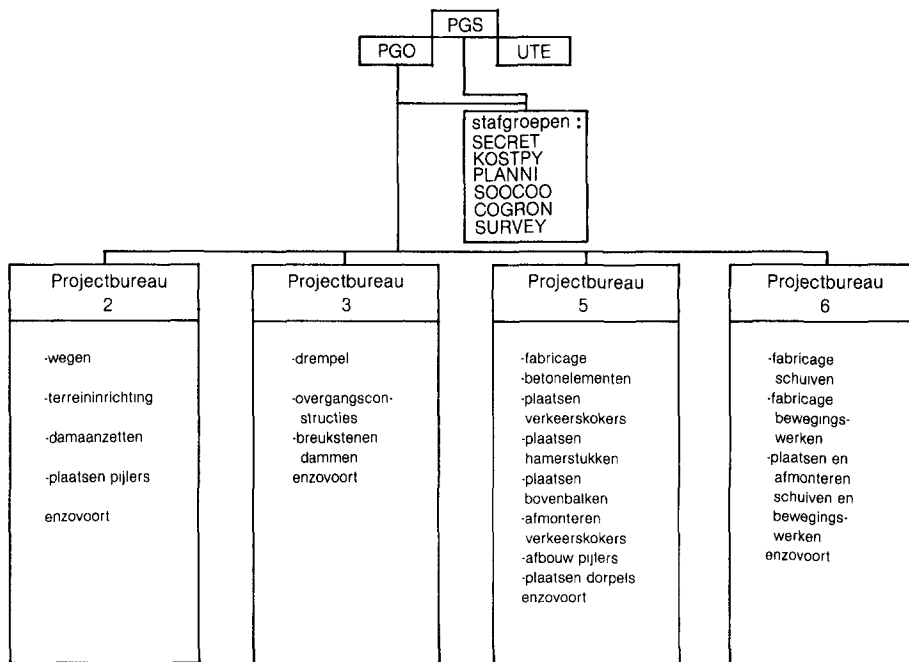


fig. 35: schema van het ontwerpgebonden operationele management (organisatie 1984)

In het werk van de projectbureau's en de daaronder vallende werkgroepen werd in bijna alle gevallen ook deelgenomen door vertegenwoordigers van de aannemers (met name DOSBOUW) en adviserende instituten als het Waterloopkundig Laboratorium en het Laboratorium voor Grondmechanica alsmede door ingehuurde krachten van ingenieursbureau's. Dit om de bij deze betrokkenen aanwezige kennis zoveel mogelijk te benutten. Om te voorzien in personele tekorten van de deelnemende Rijkswaterstaatsdiensten werd extra personeel van bedrijven (waaronder DOSBOUW) ingehuurd.

#### De Uitvoeringsorganisatie

Het uit te voeren werk werd uitgegeven in een groot aantal (deel-)projecten (zie par. 5.3.) opgedragen door één van de drie bouw-diensten. De vertegenwoordiger van de opdrachtgevende dienst in het Uitvoeringsteam (UTE) was tegenover de aannemer van een deelproject directie in de zin van de AVW 1968. Voor een aantal met name genoemde activiteiten, hoofdzakelijk gelegen rond de as van de kering (zie doc. 7) werd, intern gericht, gezamenlijk directie gevoerd om de werkzaamheden voldoende geïntegreerd te laten verlopen. Dit hield in dat enerzijds binnen het UTE overeenstemming moest worden bereikt over, ten aanzien van de directievoering over een daaronder vallend deelproject, te nemen beslissingen en anderzijds dat medewerkers van de andere (geen opdrachtgever zijnde) diensten konden worden aangewezen als toegevoegde directie. Ten aanzien van de overige werkzaamheden bestond er een coördinatieplicht.

Per deelproject werd er een projectleider en eventueel verder toezicht benoemd als toegevoegde directie. Deze projectleiders waren verantwoording schuldig aan het UTE.

Teneinde een goede (terug)koppeling van ontwerp en uitvoering te verkrijgen werd er door het betreffende projectbureau per (deel)project een ontwerpdeskundige aan de uitvoeringsorganisatie toegevoegd. Deze ontwerpdeskundige was verantwoordelijk voor een juiste interpretatie van ontwerpgegevens tijdens de uitvoering.

#### Stafgroepen

Ten behoeve van de ondersteuning van de projectorganisatie in engere zin werden voor aspecten die min of meer het gehele project betroffen (zowel ontwerpgericht als uitvoeringsgericht) een aantal stafgroepen ingesteld.

Behalve een rechtstreekse ondersteuning van de top van de projectorganisatie (PGS, PGO, UTE) werkten deze stafgroepen ook ondersteunend naar de projectbureau's en de projectleiders.

In een aantal gevallen gaven deze stafgroepen weer leiding aan aparte werkgroepen voor bijzondere deelaspecten. Als belangrijkste stafgroepen kunnen worden genoemd:

- Secretariaat (SECRET):  
algemene secretariaatswerkzaamheden, in het bijzonder ten behoeve van PGS, PGO en UTE, alsmede algemene informatieverstrekking en interne communicatie.
- Kostprijs (KOSTPY):  
kostenoverzichten; kostprijsanalyses; kostenramingen.
- Planning en risico-analyse (PLANNI):  
algehele projectplanning en planningscoördinatie; voortgangscrôlê; risico-analyse inzake tijd en kosten en in verband daarmee advisering voor alternatieven.
- Onderzoekscoördinatie (SOCCOO):  
beoordelen van onderzoeksvoorstellen uit de ontwerp- en uitvoeringsorganisatie; systematisering van de aanpak van onderzoek en de budgetbewaking van onderzoek; onderzoek naar en vertaling van omgevingscondities naar belastingen op constructies (zowel bouwfasen als eindfase) en materieel; ontwikkeling van een hydrometeo-informatie systeem ten behoeve van de uitvoering; preventieve analyse van ongewenste gebeurtenissen en advisering daaromtrent.
- Coördinatie voorbereiding onderhoud (COGRON):  
onderhoudsdraaiboeken; kosten, materialen en materieel t.b.v. het onderhoud.
- Meetsystemen (SURVEY):  
ontwikkeling en/of aanschaf van meetapparatuur; capaciteitsbepaling voor uitvoering en verwerking van metingen; zorg dragen voor plaatsebepalingsinformatie; ontwikkeling van een opslagsysteem voor meetgegevens; instructie; onderhoud van meetapparatuur.

- Esthetica, inrichting landschap (STOVIL): advisering m.b.t. esthetische vormgeving, inrichting en landschappelijke inpassing van de verschillende zichtbare onderdelen van de stormvloedkering en bijbehorende werken.
- Uitvoeringsfilosofie (UF): advisering inzake de hoofdlijnen van organisatorische-, plannings-, ontwerp- en uitvoeringsproblemen. Een adviesorgaan van de voorzitter van de PGS; geen stafgroep in de gebruikelijke betekenis.

Voor de overige stafgroepen die hebben bestaan wordt verwezen naar de documentatie 1 t/m 4 en 6.

Evenals bij de projectbureau's waren in de stafgroepen en de daaronder ressorterende werkgroepen vertegenwoordigers opgenomen van de aannemer (DOSBOUW) of externe adviseurs, dan wel op persoonlijke basis ingehuurde deskundigen.

### 5.3. Contractuele aspecten

In paragraaf 5.1. is reeds gewezen op de tamelijk uitgebreide en soms gecompliceerde rolverdeling tussen de Rijkswaterstaat enerzijds en de aan het project Stormvloedkering medewerkende bedrijven en instellingen anderzijds (zie ook fig. 31). Deze rolverdeling was geregeld in een groot aantal overeenkomsten tussen het Rijk en de individuele bedrijven of instellingen. Naar gelang de aard en de inhoud van deze overeenkomsten trad één van de drie bouw diensten (DD, Br. of S & S) op als vertegenwoordiger van het Rijk. Het voert te ver om al deze overeenkomsten individueel of per soort te behandelen. In het algemeen weken ze weinig af van de bij de Rijkswaterstaat gebruikelijke overeenkomsten. Het gaat dan om:

- overeenkomsten met laboratoria en onderzoeksinstituten over onderzoekswerkzaamheden ten behoeve van ontwerp, uitvoering en beheer van de kering;
- overeenkomsten met instituten en ingenieursbureau's voor het verrichten van ondersteunende en dienstverlenende arbeid;
- overeenkomsten tot levering van bouwmaterialen als natuursteen en constructiestaal.

Meer aandacht verdient de relatie met de twee aannemerscombinaties „DOSBOUW" en „OSTEM", die beiden als hoofdaannemer optraden voor respectievelijk de „natte,- en „beton,-werken enerzijds en de afsluitmiddelen, bewegingswerken en elektrische installaties anderzijds. De relatie met deze twee hoofdaannemers was in principe geregeld in twee zogenoemde raamovereenkomsten, n.l. DED-1750 (doc. 8) en Br/8795 (doc. 9). Alvorens nader op deze raamovereenkomsten en de daaruit voortvloeiende relaties in te gaan een kort stukje voorgeschiedenis.

In 1973 werd tussen het Rijk en de aannemerscombinatie Dijkbouw Oosterschelde te Rijswijk (zie staat 1) een raamovereenkomst (DED-1452) gesloten betreffende de uitvoering van werken ter voltooiing van de afsluitdam in de mond van de Oosterschelde. Onder deze raamovereenkomst waren reeds deelovereenkomsten in uitvoering toen in 1974 het besluit tot heroverweging van de Oosterschelde-afsluiting werd genomen en als gevolg daarvan deze werken werden stilgelegd.

In 1975 werd met de Combinatie Dijkbouw Oosterschelde, de Ballast-Nedam Groep N.V. en de Bos-Kalis Westminster Group N.V. een overeenkomst gesloten (DED-1606) tot het verlenen van bijstand aan de haalbaarheidsstudies voor de realisering van een stormvloedkering. In deze overeenkomst werd tevens de intentie uitgesproken (art. 5, lid 1) om, bij doorgaan van dat project, een deel van de werkzaamheden, die buiten de reeds eerder gesloten

overeenkomst (DED-1452) met de Combinatie Dijkbouw Oosterschelde zouden vallen, op te dragen aan een combinatie bestaande uit:

- Ballast-Nedam Groep N.V.
- Bos-Kalis Westminster Group N.V.
- Hollandse Beton Groep N.V.
- Koninklijke Adriaan Volker Groep B.V.
- Stevin Groep N.V.

Deze aannemers en die reeds deelnemende in de Combinatie Dijkbouw Oosterschelde hebben daarna de aannemerscombinatie „DOSBOUW v.o.f.", opgericht.

Ter voldoening aan de hiervoor genoemde intentieverklaring en ter vervanging van de nog steeds van kracht zijnde raamovereenkomst DED-1452, werd de eerder genoemde raamovereenkomst DED-1750 gesloten met de aannemerscombinatie „DOSBOUW v.o.f.". In deze vennootschap waren de in staat 2 genoemde bedrijven de vennoten. De bij deze bedrijven of hun groepen behorende gehele of partiële dochterondernemingen werden geacht deel uit te maken van de vennootschap. Dezen konden daardoor niet de status van onderaannemer krijgen (zie ook doc. 8 en de AVW 1968).

---

#### Staat 1.

Deelnemers in de Combinatie Dijkbouw Oosterschelde te Rijswijk (par. 5.3).

Aannemers Combinatie Zinkwerken B.V. te Gorinchem;  
Baggermaatschappij Breejenhout B.V. te Overveen;  
Van Hattum en Blankevoort Baggeren B.V. te Beverwijk;  
Hollandsche Aanneming Maatschappij B.V. te Rijswijk;  
B.V. Aannemings- en Wegenbouwbedrijf P.H. Offringa te 't Harde;  
Aannemingsmaatschappij van Oord-Utrecht N.V. te Odijk;  
Adriaan Volker Baggermaatschappij B.V. te Rotterdam.

---



---

#### Staat 2.

Vennoten van de vennootschap onder firma BOSBOUW, gevestigd te Burghsluis, gemeente Westenschouwen (par. 5.3.):

1. Ballast-Nedam Groep N.V. te Amstelveen;
  2. Bos-Kalis Westminster Group N.V. te Papendrecht;
  3. Baggermaatschappij Breejenhout B.V. te Overveen;
  - 4a. Hollandsche Aanneming Maatschappij B.V. te Rijswijk;
  - 4b. Hollandsche Beton Maatschappij B.V. te Rijswijk;
  5. van Oord-Utrecht N.V. te Odijk;
  - 6a. Stevin Baggeren B.V. te Beverwijk;
  - 6b. Stevin Beton en Waterbouw B.V. te Beverwijk;
  - 7a. Adriaan Volker Baggermaatschappij B.V. te Rotterdam;
  - 7b. Adriaan Volker Beton en Waterbouw B.V. te Rotterdam;
  8. Aannemers Combinatie Zinkwerken B.V. te Gorinchem.
- 

Mede aanleiding tot het sluiten van een raamovereenkomst waren o.a. de volgende overwegingen:

- Er kon nog niet worden beschikt over een uitgewerkt ontwerp.
- Het was te voorzien dat voor de uitwerking en uitvoering van het definitieve ontwerp nieuwe constructie- en werkmethoden, alsmede bijzonder materieel moesten worden ontwikkeld, waarbij enerzijds de inbreng van kennis en ervaring van de aannemer gewenst was en anderzijds de aannemer daarvoor mede de verantwoordelijkheid moest dragen.

- Gezien het krappe tijdschema voor het gehele werk moesten en konden ook reeds delen van het werk worden uitgevoerd zonder dat het totale ontwerp gereed was. De uitgifte van deelopdrachten lag daarmee voor de hand.
- Gezien het ontbreken van een vrije concurrentie en het bijzondere karakter van het uit te voeren werk was het noodzakelijk om algemeen geldende afspraken te maken over regels en procedures ter vaststelling van een voor beide partijen aanvaardbare aannemingsom voor de onder de raamovereenkomst vallende deelopdrachten.

De in deze overwegingen genoemde zaken werden dan ook in de gesloten raamovereenkomst geregeld, alsmede:

- de werkingssfeer van de overeenkomst (zo werden bijvoorbeeld de afsluitmiddelen c.a. en de Roompotsluis c.a. daarvan uitgesloten);
- de wederzijdse rechten op constructies en bijzonder materieel die geheel of in belangrijke mate op het werk zouden worden afgeschreven dan wel door het Rijk ter beschikking gesteld, alsmede de wederzijdse bemoeiingen bij het ontwerp en de verwerving daarvan;
- de keuze van eventuele onderaannemers.

Onder deze raamovereenkomst konden zowel de Deltadienst als de Directie Sluizen en Stuwen namens het Rijk optreden als opdrachtgever voor deelovereenkomsten.

Voor de door de Directie Bruggen namens het Rijk op te dragen afsluitmiddelen c.a. werd eveneens de voorkeur gegeven aan het aangaan van een relatie met één hoofdaannemer. De voornaamste reden hiervoor was dat voor de uitvoering van dit deel van het werk een vrij groot aantal gespecialiseerde bedrijven zouden moeten worden ingeschakeld die onderling nauw dienden samen te werken en op de bouwplaats moesten samenwerken met vooral de aannemer van het betonwerk (zie ook par. 5.4.).

De hoofdaannemer zou een belangrijk deel van het coördinatie-werk in deze van de opdrachtgever kunnen overnemen, de onderlinge verhoudingen van de betrokken bedrijven zouden duidelijker worden en het aantal min of meer onafhankelijke partijen in de coördinatie op de bouwplaats zou daarmee worden beperkt.

Om de coördinerende rol van de hoofdaannemer zo goed mogelijk tot zijn recht te laten komen, was het van belang om deze in een zo vroeg mogelijk stadium in het werk te betrekken. Dit kon gebeuren door de relatie met de hoofdaannemer vast te leggen in een raamovereenkomst, waardoor het niet nodig was dat het ontwerp tot in alle finesses vastlag en ook niet alle in het werk te betrekken bedrijven bekend hoefden te zijn.

Behalve de zaken rond het hoofdaannemerschap, werden in deze raamovereenkomst o.a. geregeld:

- procedures voor de keuze van de in het werk te betrekken bedrijven, al dan niet in onderaanneming
- procedures voor de totstandkoming van de onder de raamovereenkomst uit te brengen deelovereenkomsten met de bijbehorende prijsvaststelling (zie ook doc. 9).

De keuze van de hoofdaannemer is gebeurd op grond van reeds bestaande relaties met het bedrijfsleven. Er bestond namelijk een uit de dertiger jaren daterende regeling tussen de Directie Bruggen en een groep constructiewerkplaatsen om het fabriekswerk voor grote orders zwaar staalconstructiewerk (voornamelijk stalen bruggen) volgens een bepaalde verdeelsleutel en onder afgesproken regels ten aanzien van de prijsvorming (de zogenaamde „kostprijs,„) over de deelnemers in deze groep te verdelen. Uiteraard is de samenstelling van de groep en de quotaverdeling daarin in de loop van de tijd aan de ontwikkelingen aangepast. Bij de uitgifte

van het werk voor de stormvloedkering waren Hollandia-Kloos N.V. te Krimpen aan de IJssel en Grootint B.V. te Rotterdam de belangrijkste vertegenwoordigers van deze groep. Op grond van hun ervaring en de hierboven aangeduide bestaande relaties kwamen deze bedrijven het meest in aanmerking voor het hoofdaannemerschap.

Deze twee bedrijven hadden als vennoten de vennootschap onder firma „OSTEM“ opgericht om in de raamovereenkomst als contractant ter andere zijde op te treden. In deze nieuwe vennootschap werd het management ondergebracht, nodig voor de organisatie en voorbereiding van het uit te voeren werk. Als gevolg van de juridische status van de OSTEM was in de raamovereenkomst tevens bepaald dat de tot de vennoten behorende bedrijven niet als onderaannemer konden optreden.

In het kader van deze raamovereenkomst werd een combinatie van de Rotterdamse Droogdok Mij. en Stork-Werkspoor door het Rijk aangewezen als belangrijkste onderaannemer voor de levering van de bewegingswerken.

#### 5.4. Relatie-aspecten

Wanneer de bij de realisering van de stormvloedkering betrokken instanties worden bekeken (fig. 31) dan kan worden geconstateerd dat er, met inachtnaam van par. 5.2. en 5.3., sprake is van vijf hoofdbetrokkenen, n.l. de drie bouwdiensten aan opdrachtgeverszijde en de twee hoofdaannemers aan de uitvoeringszijde.

De onderlinge verhoudingen tussen deze hoofdbetrokkenen vonden hun grondslag in het reeds eerder genoemde (par. 5.2.) „a-coörd van samenwerking“ (doc. 1) en de in par. 5.3. behandelde twee raamovereenkomsten (doc. 8 en 9). Deze verhoudingen zijn nog eens sterk geschematiseerd samengevat in figuur 36.

Het werk dat onder dit samenwerkingsverband tussen de vijf hoofdbetrokkenen tot stand kwam resulteerde in vijf hoofdproductiestromen die uiteindelijk op de bouwplaats van de stormvloedkering bij elkaar kwamen, maar ook daarvoor al onderlinge relaties hadden voor wat betreft:

- uitwisseling van technische gegevens en ontwerprandvoorwaarden
- afstemming van plannings
- onderlinge levering van onderdelen.

Binnen deze hoofdstromen waren meerdere substromen te onderkennen die in het algemeen een sterkere onderlinge afhankelijkheid vertoonden en vaak ook eerder bij elkaar kwamen.

In de Ontwerporganisatie werden op ad hoc-basis horizontale contacten onderhouden tussen de projectbureau's met hun werkgroepen onderling en met de stafgroepen en de daarondervallende werkgroepen.

Ter bevestiging van deze contacten werden in de top van de Projectorganisatie regelmatig de PGS-management-vergaderingen (PGSMAN) gehouden, waarbij behalve de PGS ook de voorzitters van de projectbureau's en de stafgroepen aanwezig waren. In deze vergaderingen werden tevens problemen van algemeen belang besproken. Voor de dagelijkse leiding waren de leden van de „kern“ uit de PGS (voorzitter, PGO en UTE; fig. 34) aanspreekbaar.

De onderlinge relaties tussen de projectorganisatie en de (hoofd-)aannemers werden horizontaal op verschillende niveau's onderhouden.

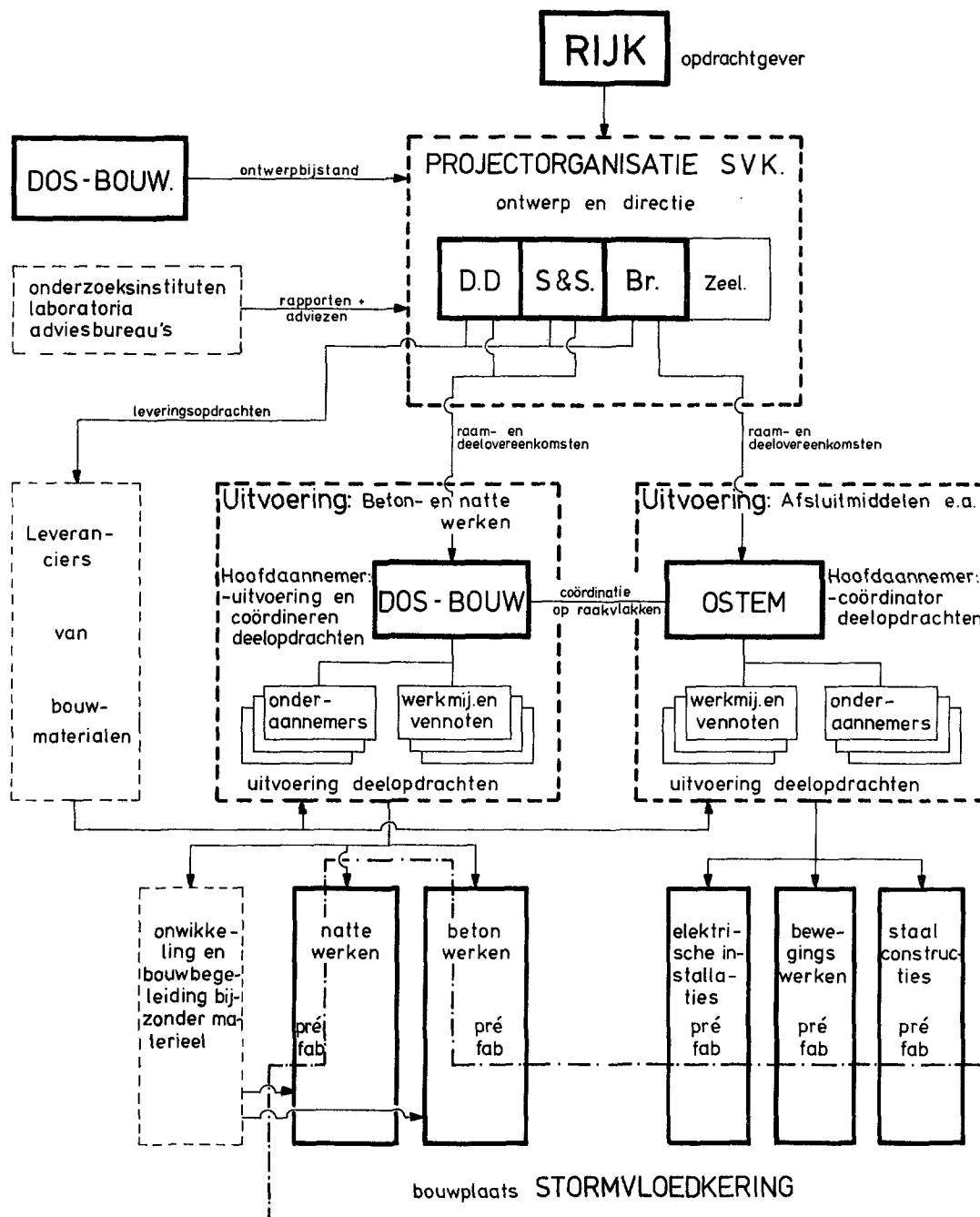
Op het niveau van de BGO bestonden er incidentele contacten met de Raden van Bestuur van DOSBOUW en OSTEM.

Binnen het samenwerkingsverband was het contact meer gestructureerd, zeker op de hoogste niveau's. Figuur 37 geeft hiervan een

ook weer sterk geschematiseerd beeld. Uit dit schema blijkt dat de ontwerporganisatie (in de praktijk meestal via de ontwerpdeskundige, par. 5.2.) mede in deze contacten was betrokken. Alleen de bouwvergaderingen werden werkelijk centraal gehouden: de overige werkbeprekingen werden min of meer decentraal per (hoofd-)productiestroom of met meerdere (hoofd-)productiestromen tesamen gehouden, afhankelijk van het niveau en de aard van de te behandelen onderwerpen. Wanneer de twee hoofdaannemers DOSBOUW en OSTEM met elkaar worden vergeleken (zie ook fig. 36 en par. 5.3.) dan valt een karakteristiek verschil op: DOSBOUW was een echte bouwcombi-

natie op locatie met als eigen activiteiten: management, ontwerp en uitvoering. OSTEM daarentegen was een pure management organisatie, waaronder de eigenlijke productie geheel plaats vond bij de werkmaatschappijen van de vennoten dan wel de onderaannemer. Dit betekende dat vertegenwoordigers van deze bedrijven in het algemeen meer betrokken waren in de laagste niveau's van het werkoverleg dan bij DOSBOUW het geval was. Het karakter van de OSTEM-organisatie had ook zijn invloed op de intensiteit van het werkoverleg in de hieronder vallende (hoofd-)productiestromen, omdat de werkzaamheden daarvoor sterk waren gespreid over een groot aantal plaatsen in binnen- en buitenland.

fig. 36 relaties tussen de hoofdbetrokkenen



Aannemers.  
DOSBOUW & OSTEM.

Opdrachtgever.  
RIJKSWATERSTAAT.

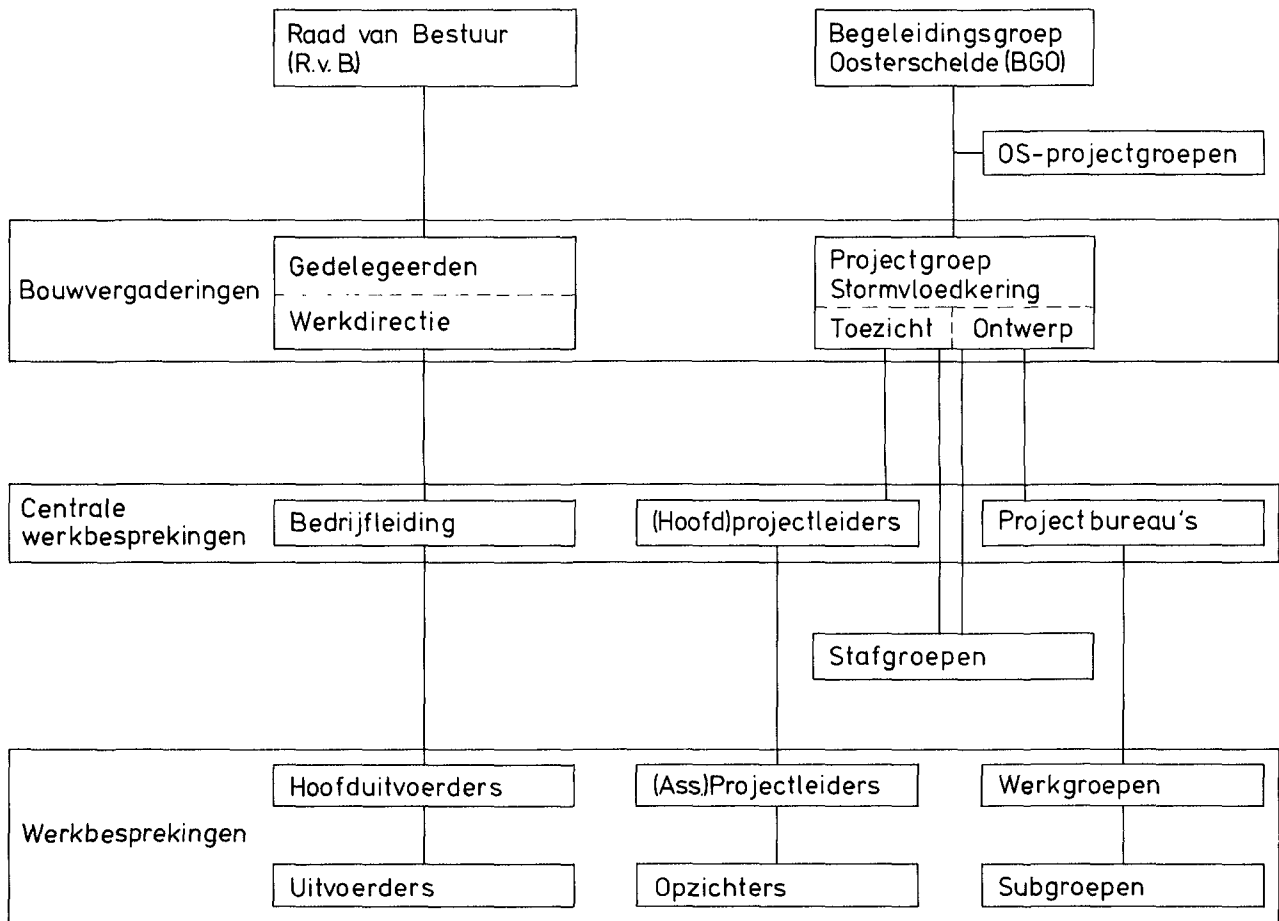


fig. 37 overleg tussen de projectorganisatie en de aannemers op verschillende niveaus

De relaties van de projectorganisatie met de overige medebetrokkenen (niet via de hoofdaannemers) werden in het algemeen onderhouden via de lijnorganisatie van de opdrachtgevende dienst. De resultaten daarvan werden via de vertegenwoordigers van die dienst in het werk van de projectorganisatie ingebracht. In een aantal gevallen (zie par. 5.2.2.) hadden vertegenwoordigers van onderzoeksinstituten, ingenieurs- en adviesbureau's, al dan niet op persoonlijke titel zitting in één van de organen van de projectorganisatie.

### 5.5. Planningsaspecten

Voor een complex project als de stormvloedkering dat bovendien voor wat betreft de realiseringstijd en de kosten aan duidelijke limieten was gebonden was een goede besturing van het realiseringproces onontbeerlijk. Zoals bekend waren de gestelde limieten gebaseerd op ramingen afkomstig uit de voorstudie periode uitgaande van het voorontwerp voor pijlers op putten. De kosten werden zo goed mogelijk onder controle gehouden door aan de projectbureau's voor de betreffende deelontwerpen een bepaald budget toe te wijzen dat alleen met toestemming van de top van de projectorganisatie mocht worden overschreden. Nood-

zakelijke budgetoverschrijdingen werden zoveel mogelijk gecompenseerd met bezuinigingen elders. Hierdoor kon de overschrijding van de oorspronkelijke raming, afgezien van inflatoire effecten, beperkt worden tot ca. 30%, ondanks het feit dat in het ontwerp en de uitvoering vaak volledig nieuwe technieken moesten worden toegepast, waarvoor veel, op het budget drukkend, onderzoek moest worden uitgevoerd (zie ook Deelnota 1.2, hoofdstuk 7). Ook de tijdsplanning moest aan een scherpe controle worden onderworpen, aangezien de toegemeten realiseringstijd vrij kort genoemd zou kunnen worden. De tijdsplanning was een voortdurend iteratieproces tussen een planning in hoofdlijnen voor het totale project en een steeds gedetailleerder planning voor deelprojecten en onderdelen daarvan.

Nieuwe inzichten omtrent ontwerp en uitvoering, invloeden van buitenaf, resultaten van de voortgangscontrole en de gevolgen van door het management genomen maatregelen werden voortdurend in de planning verwerkt. In het kader van de voortgangscontrole werd iedere maand de stand van zaken door de top van de projectorganisatie (PGO, later PGS) bekeken. Dit wil niet zeggen dat ook iedere maand de totale planning van het project werd herzien. Dit gebeurde met een lagere frequentie, alleen wanneer er ingrijpende veranderingen moesten worden doorgevoerd. Belangrijke hulpmiddelen bij de tijdsplanning waren:

- de netwerkanalyse:
  - een analyse van de relaties en de afhankelijkheden tussen de activiteiten voor de uitvoering van werken, weergegeven in de vorm van een netwerkplanning. De netwerkanalyse is toegepast bij het plannen van de meer ingewikkelde deelprojecten en niet voor het gehele project.
- het relatie-tijd diagram (fig. 38):
  - een planningspresentatie in de vorm van een balkenschema, waarin behalve de tijd benodigd voor activiteiten ook de on-

derlinge relaties staan aangegeven. Het relatie-tijd diagram wordt ook wel gebruikt om de resultaten van een netwerkplanning in een makkelijker leesbare vorm te presenteren. Deze vorm van planningspresentatie is op vrij uitgebreide schaal bij de planning van het gehele project of delen daarvan toegepast. Hieruit kon vrij eenvoudig worden afgelezen welke reeksen van activiteiten bepalend waren (kritische paden) voor de benodigde tijd voor de realisatie van het gehele project, dan wel deelprojecten.

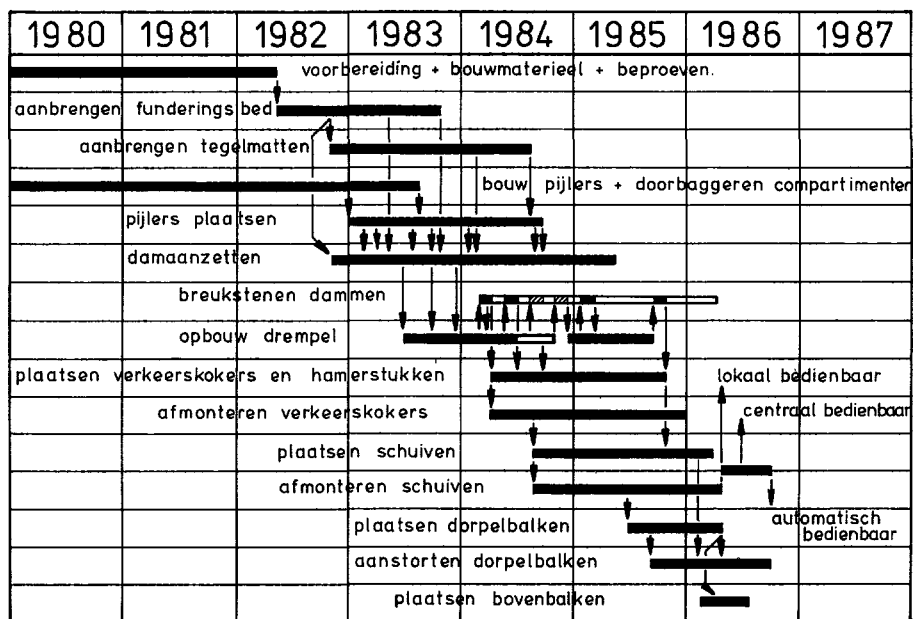


fig. 38 eenvoudig voorbeeld van een relatie-tijd-diagram

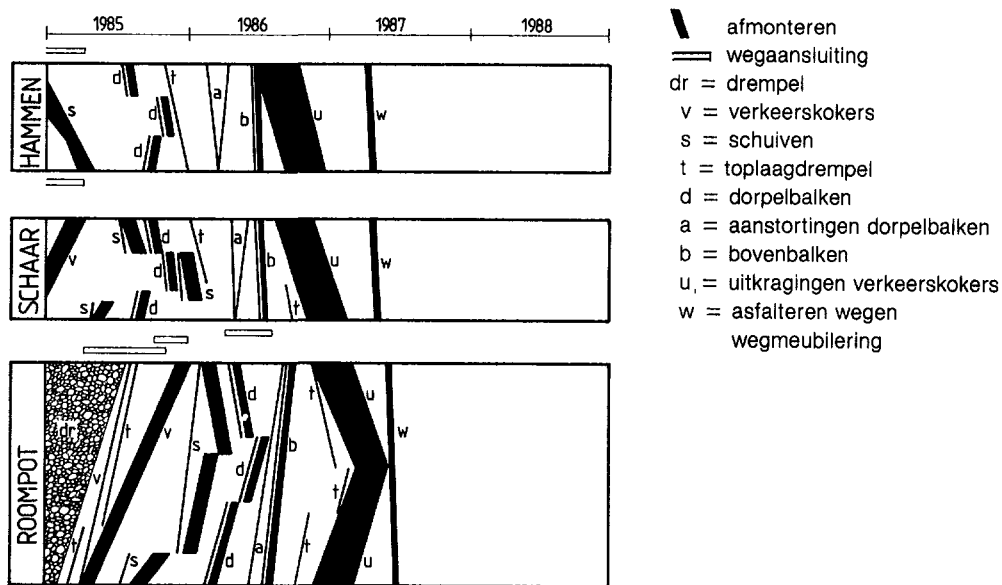
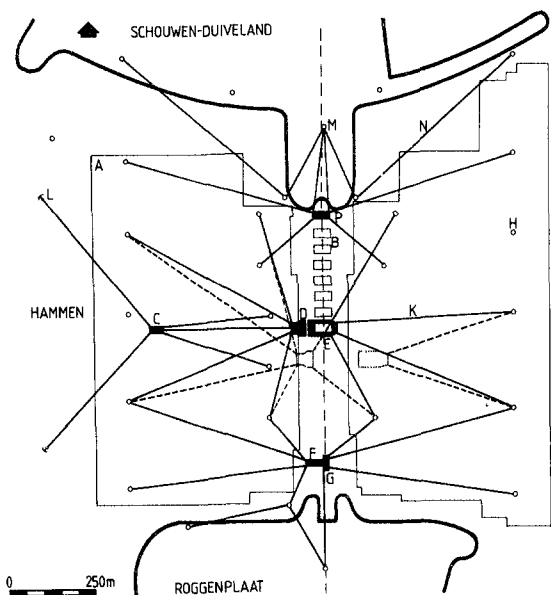


fig. 39 Tijdweg diagram



- A = Bodembescherming
- B = Pijlers
- C = Verankeringsponton
- D = MACOMA
- E = OSTREA
- F = JAN HEYMANS
- G = SEPIA
- H = Ankerpaal
- K = Ankerdraad
- L = Grondanker
- M = Centrale ankerpaal
- N = Spruit
- P = Afvierponton

fig. 40 Ankerpatroon funderingsmatten eg-bedrijf

- het tijd-wegdiagram (fig. 39):  
 een tweedimensionale (naar tijd en plaats) presentatie van de planning van activiteiten, waarvan het ruimtebeslag mede (soms uitsluitend) bepalend was voor de onderlinge afhankelijkheid.  
 Dit werd opgesteld voor de uitvoeringsactiviteiten in de sluitgaten. Vooral de vaak zeer uitgestrekte ankersystemen van de bij deze activiteiten gebruikte werkvaartuigen verhinderden vaak andere activiteiten in een tamelijk ruime zone rond de eigenlijke werkplek. In verband met de veiligheid van werken werden elkaar kruisende ankerdraden niet toegelaten (fig. 40). Vooral in de latere fasen van het project, toen het aantal activiteiten in de sluitgaten toenam, is de planning hiervan met behulp van het tijd-wegdiagram van doorslaggevende betekenis geweest voor de planning van het gehele project.
- de risico-analyse:  
 een analyse van de factoren die van invloed kunnen zijn op de tijdsduur van een bepaalde activiteit en het maken van een schatting van de kans van optreden daarvan. Met behulp van probabilistische rekenmethoden kan dan worden berekend wat de betrouwbaarheid is van de opgegeven tijdsduur van een activiteit of een reeks van activiteiten. Tevens kan een schatting gemaakt worden van de meest waarschijnlijke marge waarbinnen het werkelijke voltooiingstijdstip van een bepaalde activiteit of reeks van activiteiten zal komen te liggen. In het algemeen kan hiermee een indruk worden verkregen van de betrouwbaarheid van een bepaalde planning en waar daarin de meest kritische punten liggen. Het belang daarvan, in het bijzonder voor activiteiten die in de totale planning op het kritische pad liggen, zal duidelijk zijn.  
 Deze hulpmiddelen werden gebruikt voor de opstelling van de werkdocumenten waarmee door het management het realisatieproces werd gestuurd.  
 Van deze werkdocumenten (plannen) kunnen worden genoemd:
  - het overall uitvoeringsplan:  
 een relatie-tijddiagram van het gehele project, gedetailleerd tot hoofdactiviteiten en kalendermaanden. Dit was het basisplan, dat door de PGS werd vastgesteld en als uitgangspunt diende voor alle andere plannen. Het eerder ge-

noemde tijd-wegdiagram voor de sluitgatactiviteiten was een van de belangrijkste uitgangspunten voor de opstelling van dit plan.

- het beleidsplan:  
 een meer tot hoofdlijnen en kalenderkwartalen geschematiseerd balkendiagram, zonder relatielijnen, waarin vooral beleidsrelevante elementen waren aangegeven. Het werd opgesteld door de PGS en goedgekeurd door de BGO. Eventueel gekoppeld aan een voortgangsrapportage, diende het vooral ter informatie naar hogere beleidsniveau's.
- het coördinatieplan:  
 een het gehele project omvattend balkendiagram in kalendermaanden van hoofdactiviteiten, gegroepeerd per projectbureau c.q. stafgroep, waarin de hiervoor uit het overall plan afgeleide en in de PGS afgesproken tijden werden vastgelegd. Dit coördinatieplan gold als uitgangspunt voor de meer gedetailleerde planningsdocumenten van de projectbureau's en stafgroepen. Een ongeveer twee jaar bestrijdend uittreksel van dit coördinatieplan werd gebruikt voor de maandelijkse voortgangsrapportage van het gehele werk.
- projectbureauplannen, werkgroepplannen, deelprojectplannen:  
 naar het niveau in de projectorganisatie meer gedetailleerde balkenschema's, uitsluitend voor de betrokken activiteiten. Ze werden uitsluitend voor de interne processturing in deze groepen of deelprojecten gebruikt.

Samenvattend kan worden gesteld, dat de hiërarchie in de projectorganisatie werd weerspiegeld in de hiërarchie van de planningsdocumenten (fig. 41).

De planningsdocumenten in gebruik op een bepaald niveau dienden, met gebruikmaking van informatie uit lagere of gelijke niveau's, afgestemd te zijn op de documenten in gebruik op het naast hogere niveau en werden ook door dat hogere niveau goedgekeurd.

Op ieder niveau dienden dus de plannen van de aangrenzende niveau's bekend te zijn, waardoor de onderlinge informatie-uitwisseling zo goed mogelijk was gewaarborgd.



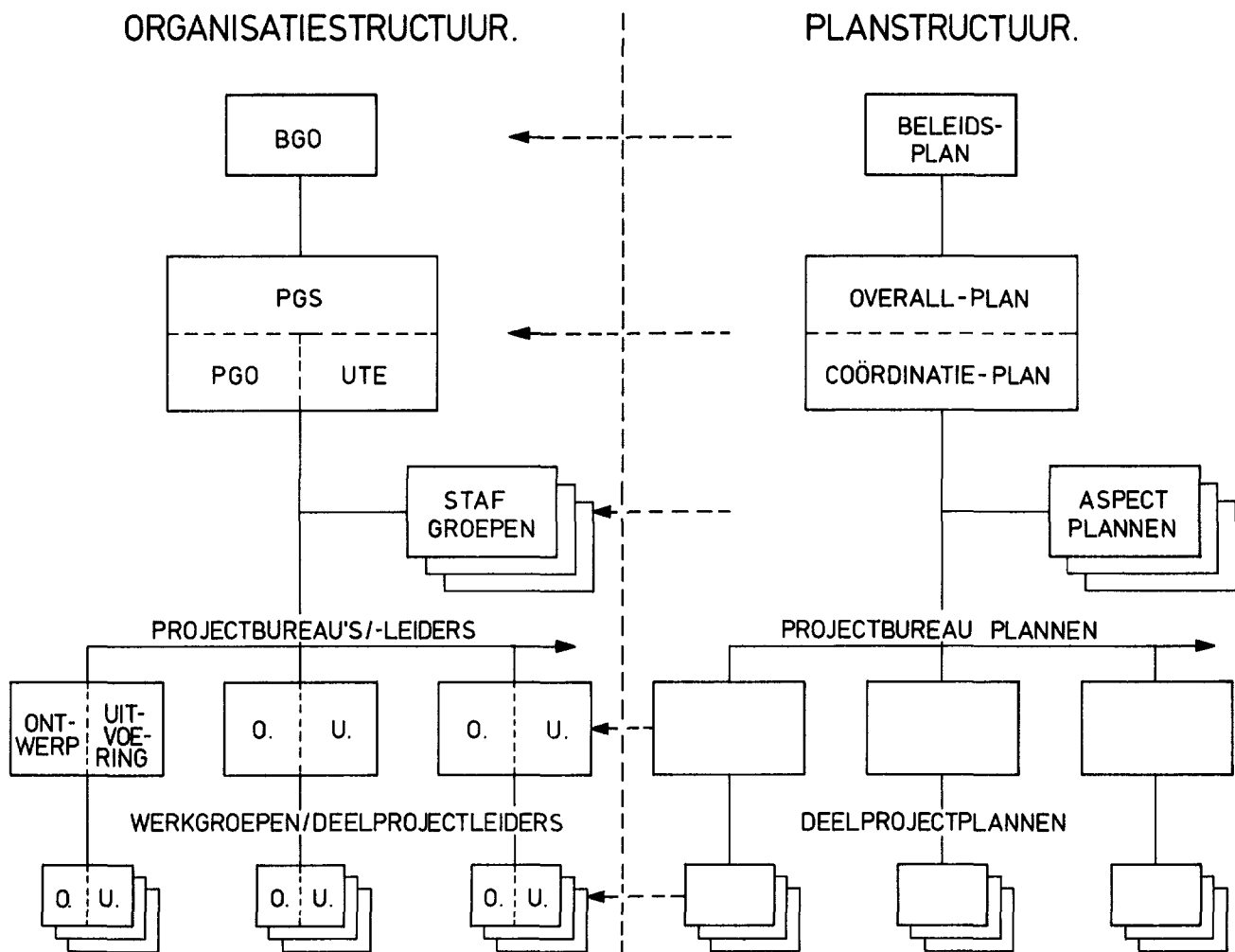


fig. 41 Structuur van organisatie en planning

**Documentatie:**

1. Project Stormvloedkering Oosterschelde, organisatie en samenwerking tussen de Deltadienst, de Directie Bruggen en de Directie Sluizen en Stuwen, SGO-26-H, ongedateerd, met 10 bijlagen.  
Ook wel genoemd: Akkoord van Samenwerking.
2. Nota Organisatie en Taakomschrijving, PEGEOO-N-78213, d.d. 21 aug. '78.
3. Nota Organisatie en Taakomschrijving, PEGEOO-N-80083, d.d. 1 mrt. '80, 2e druk d.d. 16 apr. '80.
4. Projectorganisatie Stormvloedkering Oosterschelde, Organisatie en Taakomschrijving, PEGEOO-N-82016, d.d. dec. '81.

5. Onderzoek uitvoeringsorganisatie Oosterscheldekering, PEGESS-M-82040.
6. Projectorganisatie Stormvloedkering Oosterschelde, Organisatie en Taakomschrijving, PEGESS-N-82241, d.d. nov. '82.
7. Projectorganisatie ter realisering van de Stormvloedkering Oosterschelde - Organisatie en Taakomschrijving, PEGESS-N-84309, d.d. 1 nov. '84.
8. Raamovereenkomst betreffende de uitvoering van werken ter realisering van de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde, tussen de eilanden Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland, nr. DED-1750, d.d. 29 sept. '77.
9. Raamovereenkomst betreffende het vervaardigen, leveren en bedrijfsvaardig opstellen van afsluitmiddelen ten behoeve van de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde, tussen de eilanden Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland. Nr. Br./8795, d.d. 24 mrt. '80.



---

## Deelnota 2: Ontwerpfilosofie



# Inhoud

<b>1. Basisfilosofie en concept van het ontwerp</b>	<b>86</b>
1.1. Ontwikkeling van de basisfilosofie	
1.2. Het basis concept voor het ontwerp	
1.3. De overige aspecten van de ontwerpfilosofie	
<b>2. Functionele analyse</b>	<b>88</b>
2.1. Basisfuncties en globale functionele indeling	
2.2. Vaste kering	
2.2.1. Nadere analyse	
2.2.2. Functionele eisen	
2.3. De afsluitbare kering	
2.3.1. Nadere analyse	
2.3.2. Functie-eisen, ontleend aan de basisfuncties	
2.3.3. Functie-eisen, ontleend aan de eis voor de levensduur	
2.3.4. Functie-eisen, ontleend aan de onderlinge relaties tussen systemen en onderdelen	
2.3.5. Bouwfaseproblematiek	
<b>3. Veiligheidsanalyse</b>	<b>92</b>
3.1. Acceptabele faalkans	
3.2. Nadere definitie van het falen van de stormvloedkering	
3.3. Globale analyse van ongewenste gebeurtenissen	
3.3.1. Gebeurtenissen aan de vaste kering	
3.3.2. Gebeurtenissen aan de afsluitbare kering	
3.4. Totale faalkansanalyse	
3.5. De faalkans van de stormvloedkering bij een lagere toelaatbare waterstand op de Oosterschelde	
3.6. De invloed van de tek door de kering op de veiligheid	
<b>4. Belangrijke keuzen voor het ontwerp</b>	<b>103</b>
4.1. Funderingsgrondslag	
4.2. Prefabricage	
4.3. Materiaalkeuze	
4.4. Enkele of dubbele kering	
4.5. Keuze systeem bewegingswerken	
<b>5. Prefabricage en vormvastheidsproblematiek</b>	<b>105</b>
<b>6. Het probabilisme in het ontwerpen</b>	<b>109</b>
6.1. Algemeen overzicht	
6.2. Toepassingen in het ontwerp van de stormvloedkering	
6.3. Nadere uitwerking van de strategieën	
6.3.1. Grenstoestanden	
6.3.2. Spoor A strategie	
6.3.3. Spoor B strategie	
6.3.4. Spoor C strategie	
<b>7. Wisselwerking tussen onderzoek en projectrealisatie</b>	<b>113</b>
<b>8. De landschapsvorming van de Oosterschelde en omgeving</b>	<b>115</b>
8.1. Inleiding	
8.2. Uitgangspunten en overwegingen	
8.3. De vormgeving van het werkeiland Neeltje Jans c.a.	
8.4. De vormgeving van de damaanzetten	
8.5. Slotbeschouwing	

---

# 1. Basisfilosofie en concept van het ontwerp

---

## 1.1 Ontwikkeling van de basisfilosofie

De ontwerpfilosofie geeft een antwoord op de vraag: „Hoe kan op een praktische wijze invulling worden gegeven aan de bestuurlijke opdracht om in de monding van de Oosterschelde een werk te realiseren dat onder stormvloedomstandigheden de nodige veiligheid kan bieden aan het land rond de Oosterschelde en onder normale omstandigheden een zodanige getijdewerking op dit bekken kan toelaten dat de aanwezige natuurwaarden en andere belangen zo min mogelijk worden geschaad?”

De met het beschreven ontwerp van de Stormvloedkering gegeven invulling van de opdracht is het resultaat van een denkproces dat al gestart is na het uitbrengen van het rapport van de Commissie Klaasesz (zie deelnota 1.1. hoofdstuk 2 en 4) en waarbij een groot aantal mogelijk lijkende oplossingen zijn bekeken. In dit denkproces heeft ook de filosofie achter het gekozen ontwerp een steeds duidelijker vorm aangenomen.

Concreet geeft de ontwerpfilosofie een aantal uitgangspunten en richtlijnen aan voor het eigenlijke ontwerp en de benadering van de problematiek met als doelstellingen:

1. Het streven naar een optimaal en evenwichtig ontwerp van de gehele stormvloedkering, uitgaande van de beschikbare tijd, mankracht, kennis, natuur- en materiaalgegevens.
2. Het streven naar een constructie die een faalkans heeft die kleiner is dan een zekere waarde.  
Deze faalkans moet gerelateerd zijn aan de door de Delta-commissie geformuleerde normen met betrekking tot dijkhoogten.

In de eerste doelstelling wordt onder „optimaal” verstaan: een ontwerp, dat voldoet aan de functionele eisen tegen zo laag mogelijke kosten, waarbij onder de kosten wordt gerekend met de stichtingskosten én de gekapitaliseerde onderhoudskosten. Onder „evenwichtig” wordt verstaan, dat de onderdelen van de kering in principe in gelijke mate bijdragen tot de sterkte (veiligheid) daarvan, dus zonder dat daarin zwakke of te sterke schakels voorkomen.

De beperkte vereiste realiseringstijd en het beschikbaar gestelde budget waren belangrijke gegevens.

Uit deze gegevens konden de volgende uitgangspunten worden afgeleid:

- Het reeds voor de totale afsluiting van de Oosterschelde gemaakte werk zo goed mogelijk opnemen in het ontwerp voor de stormvloedkering;
- het streven naar een zo flexibel mogelijk ontwerp.

Dit laatste betekent dat het ontwerp van onderdelen van de kering zodanig zou moeten worden gemaakt dat de invloed daarvan op het ontwerp van andere onderdelen zo gering mogelijk zou zijn. Hierdoor zou het mogelijk zijn om:

- onderdelen van het ontwerp reeds in uitvoering te nemen zonder dat het ontwerp van aansluitende delen geheel vast stond;
- het ontwerpproces te verdelen in meerdere parallel verlopen-

de processtromen;

- het ontwerp van die delen, die het eerst moeten worden uitgevoerd voor te trekken ten opzichte van andere delen;
- eventuele nieuwe inzichten nog te kunnen verwerken in het ontwerp van nog niet uitgevoerde delen, dan wel aanpassingen aan reeds in uitvoering zijnde delen zonder al te grote consequenties te kunnen doorvoeren.

In de eerste fase van het reeds genoemde denkproces, die wordt aangeduid met de „Vorstudie periode” (doc. 1) en de daarop volgende nadere uitwerking van het toen vigerende „pijlers-op-puttenplan” is een hoeveelheid kennis en verdieping van inzicht in de te verwachten problematiek opgedaan, die in de volgende nadere opvatting van het te maken ontwerp zou kunnen worden samengevat:

- streven naar een zo min mogelijke verstoring van de bestaande morfologie in de geulen;
- streven naar een geleidelijke en evenwichtige profielverkleining in de stroomgeulen in een zo laat mogelijke fase van het werk ten einde met name de stroombelastingen op het niet geconsolideerde werk in de bouw fase zo laag mogelijk te houden en verder, rekening houdend met de vordering van de compartimenteringswerken, met het oogmerk om tijdens de uitvoering het getijverschil op de Oosterschelde zo groot mogelijk te houden;
- streven naar het zo min mogelijk, vooral in de tijd gezien, moeten uitvoeren van „kwetsbare” activiteiten in de stroomgeulen, hetgeen leidde tot:
- het streven naar een nog verdergaande prefabricage van onderdelen, vooral die, welke in de aanmaak arbeidsintensief waren of kwetsbaar waren en onderwater zouden moeten worden aangebracht, alsmede
- het streven naar het zoveel mogelijk opbouwen van het onderwatergedeelte van de afsluitbare kering uit korrelige materialen (in principe eenvoudig aan te brengen).

## 1.2 Het basis-concept voor het ontwerp

Met de in de voorgaande paragraaf aangegeven filosofie en opvattingen als uitgangspunt zou het voorliggende ontwerp als volgt kunnen worden gekarakteriseerd:

- De ten behoeve van de definitieve afsluiting uitgevoerde grondwerken op de platen in de Oosterschelde en langs de oevers worden in het nieuwe ontwerp opgenomen als vaste delen van de stormvloedkering.
- De afsluitbare delen van de kering worden gebouwd in de drie uitgespaarde sluitgaten, met brede en relatief ondiepe doorstroomopeningen (door pijlers verder onderverdeeld) en een handhaving van de bestaande verhoudingen in de debietverdeling over de sluitgaten.
- De funderingsgrondslag voor de in de sluitgaten te maken constructies wordt in vorm en grondmechanische eigenschappen zodanig verbeterd dat een fundering op staal van

de pijlers mogelijk wordt.

- Ter vastlegging van het bodemmateriaal en het vormen van een overgang naar de aan te brengen constructies wordt de funderingsgrondslag afgedekt met een grotendeels geprefabriceerde filterconstructie uit korrelige materialen.
- De te bouwen betonconstructies in de afsluitbare kering worden beperkt tot datgene wat nodig is voor de omranding en ondersteuning van de afsluitmiddelen en de realisering van de oeververbinding voor het wegverkeer (pijlers, onder- en bovenbalken, verkeersbruggen) en worden als geprefabriceerde delen in het werk gebracht.
- Als afsluitmiddelen worden stalen hefschuiven toegepast, die eveneens, met hun bewegingswerken worden geprefabriceerd.
- De verder noodzakelijke permanente afsluiting van de stroomgeulen wordt gerealiseerd door met korrelige materialen (voornamelijk breuksteen) op te bouwen dammen.

### 1.3 De overige aspecten van de ontwerpfilosofie

Behalve de in paragraaf 1.1 reeds uiteengezette basisfilosofie voor het ontwerp, komen in het eigenlijke ontwerpproces nog een aantal aspecten voor die tot de ontwerpfilosofie kunnen worden gerekend. Ze worden hier in het kort aangestipt en in volgende hoofdstukken verder uitgewerkt.

In het streven naar een optimaal ontwerp is een zo scherp mogelijke formulering van, aan de stormvloedkering in zijn geheel en in onderdelen, te stellen eisen noodzakelijk. Onvermijdelijk zullen deze zogenaamde functionele eisen moeten worden gekoppeld aan een te aanvaarden faalkans, omdat in het bijzonder niet bekend is hoe zwaar de zwaarst te verwachten stormvloed over een periode van 200 jaar zal zijn en dus nooit de absolute zekerheid kan worden verschaft dat altijd aan met name de veiligheidseisen zal worden voldaan.

Een zo scherp mogelijke formulering van de functionele eisen kan worden bereikt aan de hand van een functionele analyse van het

object en zijn onderdelen.

De te aanvaarden faalkans zou moeten worden gerelateerd aan de door de Deltacommissie geformuleerde normen met betrekking tot dijkhoogten, waarin ook met een zekere faalkans is rekening gehouden. Deze normen, waarin de geaccepteerde faalkans niet numeriek is aangegeven, kunnen niet zomaar worden overgedragen naar andere waterkerende constructies, zoals het afsluitbare deel van de stormvloedkering, waarvoor andere eisen en bezwijkmechanismen gelden. Er moest dus worden gezocht naar een nieuwe liefst numerieke formulering van de te aanvaarden faalkans voor de stormvloedkering waarbij de vereiste levensduur, in het bijzonder voor het functioneren van de onvervangbare delen, een belangrijke rol speelt.

De faalkans van de stormvloedkering, met name van het afsluitbare deel, wordt enerzijds bepaald door de kans van optreden van bepaalde belastingen in relatie met de kans op het voldoende sterk zijn van de constructies om die belastingen te weerstaan en anderzijds door de kans op een bedrijfszekere inzet van de afsluitmiddelen.

Uitgaande van de maatschappelijk gerichte doelstelling van de kering (bescherming) en rekening houdend met het voor Nederland geldende gemiddelde overlijdens risico door ongevallen, is een te aanvaarden faalkans van  $10^{-7}$  per jaar afgeleid (par 3.1).

Een naar verwachting optimaal ontwerp zal worden verkregen wanneer alle factoren die deze kansen beïnvloeden, bijvoorbeeld met behulp van gebeurtenissenbomen, met elkaar in verband worden gebracht en de kans van optreden van deze factoren wordt doorberekend. Bovendien wordt op deze manier een beter inzicht verkregen in de potentiële zwakke plekken van het geheel. Kortweg wordt het ontwerpen volgens deze methode de probabilistische benadering genoemd, die overigens in zijn meest ideale vorm niet altijd toepasbaar is.

In het kader van de hiervoor geschetste problematiek moesten in het ontwerp een aantal belangrijke keuzen worden gedaan.

Tenslotte werd nog gestreefd naar een zo goed mogelijke aanpassing, qua vormgeving, van de stormvloedkering aan de in de Oosterschelde en omgeving aanwezige landschappelijke waarden.

## 2. Functionele analyse

### 2.1 Basisfuncties en globale functionele indeling

Kort omschreven kunnen uit de politieke besluitvorming voor de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde twee hoofddoelstellingen worden geformuleerd:

- Het beveiligen van de waterkeringen rond de Oosterschelde en daarmee de achterliggende gebieden tegen hoge stormvloeden overeenkomstig de normen van de Deltacommissie.
- Het vanaf een gegeven minimum handhaven van het bestaande natuurlijke milieu in het bekken van de Oosterschelde.

Als nevendoelelstelling kan hierbij worden genoemd:

- Het verschaffen van een wegverbinding tussen Schouwen en Noord-Beveland, passend in het Structuurschema Verkeer en Vervoer.

Verder kunnen als afgeleide doelstellingen nog worden aangegeven:

- Het ten behoeve van de scheepvaart handhaven van een beperkte directe verbinding tussen de Oosterschelde en de Noordzee.
- Het gebruik van de eenmaal ontstane infrastructuur voor andere doeleinden, zoals recreatie en bedrijvigheid (de zogenaamde secundaire functies van de kering, zie deelnota 1.5).

Vanuit de twee hoofddoelstellingen kunnen voor de stormvloedkering twee basisfuncties worden afgeleid:

- Het veilig keren van stormvloeden tot een hoogte die wordt begrensd door een overschrijdingskans van  $2.5 \times 10^{-4}$  per jaar.
- Het onder niet-stormvloedcondities toelaten van de getijdewerking op de Oosterschelde, waarbij een, aan een maximum gebonden, reductie van het oorspronkelijke getij wordt geaccepteerd (minimum gemiddeld getijverschil bij Yerseke van 2,7 m).

Vanwege de tegenstrijdigheid van deze basisfuncties is gekozen voor een afsluitbare kering. Daardoor ontstaat een derde basisfunctie, nl.:

- Het kunnen sluiten en openen van de kering (de transformatiefunctie).

Deze basisfuncties voor de stormvloedkering kunnen aan een nadere analyse worden onderworpen.

De totale kering overziende kan een onderscheid worden gemaakt tussen:

- delen die uitsluitend in één basisfunctie (de kerende functie) een rol spelen; dit zijn de hoofdzakelijk uit zand opgebouwde vaste delen van de kering, en
- delen die met betrekking tot de eerste twee basisfuncties een dubbelrol spelen, nl. de afsluitbare delen van de kering.

In de laatste groep wordt de transformatiefunctie vervuld door het systeem van de afsluitmiddelen.

In de verdere analyse worden de twee hiervoor genoemde groepen afzonderlijk beschouwd. Hierin worden uiteindelijk de te behandelende functionele eisen alleen kwalitatief aangegeven.

De getalsmatige invulling daarvan moet gebeuren aan de hand van de in deelnota 1.3 te behandelen natuurrandvoorwaarden, met in achtnaam van de uit de veiligheidsanalyse getrokken conclusies.

### 2.2 Vaste kering

#### 2.2.1 Nadere analyse

Als onderdelen van de vaste kering worden beschouwd:

- de grondwerken op de Noord-Bevelandse en Schouwse oever, aansluitend op de aldaar reeds aanwezige waterkeringen;
- de waterkerende grondlichamen op het eilandcomplex Neeltje Jans (Noordland, Damvak Geul, Neeltje Jans) en het eiland Roggenplaat;
- de Roompotsluis (scheepvaart);
- de overgangsconstructies aan de oevers van de drie stroomgeulen tussen de eerder genoemde grondlichamen en de afsluitbare kering; deze overgangsconstructies bestaan uit een beëindigingsconstructie van de grondlichamen (damaanzet) en een breukstenen dam.

Al deze onderdelen hebben met elkaar gemeen dat zij moeten beantwoorden aan de basisfunctie: het keren van stormvloeden. In de concrete uitwerking van de functie-eisen treden er echter tussen deze onderdelen verschillen op doordat:

- naast de basisfunctie aan verschillende neven- of afgeleide functies moet worden voldaan zoals:
  - \* het doorlaten van scheepvaartverkeer (Roompotsluis).
  - \* het dragen van wegen voor het landverkeer (grondlichamen),
  - \* het gebruik van de aanwezige infrastructuur voor andere doeleinden (Neeltje Jans, Roggenplaat),
  - \* functies die voortvloeien uit de relatie met naastliggende onderdelen (damaanzetten, breukstenen dammen);
- de situering in het geheel, vooral het al dan niet aanwezig zijn van een droog achterland onmiddellijk achter de kering, aanleiding geeft tot een verschillende interpretatie van de basisfunctie.

In het algemeen kan worden geconstateerd dat, met betrekking tot de kerende-functie, de onderdelen van de vaste kering betrekkelijk onafhankelijk van elkaar functioneren. Dat wil zeggen dat het bezwijken van het ene onderdeel niet noodzakelijkerwijs hoeft te leiden tot het bezwijken van het naastliggende onderdeel. Een uitzondering hierop vormen:

- de breukstenen dammen, waarvan kan worden gesteld dat het bezwijken daarvan in het meest extreme geval aanleiding kan geven tot een ondermijning van de aangrenzende randpijler, danwel een aantasting van de damaanzetconstructie, en
- de Roompotsluis, waarvan een bezwijken, met name door het uitspoelen van het sluissterrein, eveneens in het meest extreme geval aanleiding kan geven tot een ondermijning van de naastliggende grondlichamen.



## 2.2.2 Functionele eisen

Met betrekking tot de kerende hoogte van de waterkeringen gold als uitgangspunt het door de Deltacommissie aanbevolen ontwerp-peil met een overschrijdingskans van  $2.5 \times 10^{-4}$  per jaar (zie ook deelnota 1.1 par. 3.2.). Voor de Noord-Bevelandse zijde van de Oosterschelde was dit N.A.P. + 5,50 m en voor de Schouwse kant N.A.P. + 5,30 m.

Voor dijken is de kruinhoogte tevens een maat voor de sterkte daarvan, omdat het bezwijken meestal wordt ingeleid door een verweking van het binnentalud, veroorzaakt door overslaand water. Daarbij wordt aangenomen dat het buitentalud voldoende is verdedigd.

De Deltacommissie stelde als eis dat niet meer dan 2% van de bij stormvloed te verwachten golfoploop mocht leiden tot wateroverslag. Deze eis gold ook voor de waterkerende hoogte van de grondlichamen in de stormvloedkering, nader berekend op N.A.P. + 11,50 m en was tevens voldoende voor de bescherming van de eventueel er achterliggende droge terreinen (Neeltje Jans, Roggenplaat).

In dit verband kan nog worden gewezen op de mogelijke ondersteunende functie van de aan de zeezijde van de kering gelegen werken. Bedoeld worden de havendammen van de Buitenhaven Neeltje Jans en de Buitenhaven Noordland, met het daartussen liggende strand met duinvorming op het eilandcomplex Neeltje Jans en de westelijke ringdijk van het eiland Roggenplaat. Deze werken hebben een zekere remmende werking voor de golfaanval op de eigenlijke kering, die bij het ontwerp daarvan kan worden benut (o.a. bij de kerende hoogte van coupures).

Verder werden de afmetingen van de waterkerende grondlichamen bepaald door de dragende functie voor de over de kering lopende verkeersweg, waarvan met name de hoogteligging werd aangegeven door de hoogteligging op de kering in de stroomgeulen (N.A.P. + 12 m) en de kruising met de Roompotsluis (een vrije doorvaarthoogte van N.A.P. + 20 m).

Ook voor de kerende hoogte van de breukstenen dammen was het eerdergenoemde ontwerp-peil uitgangspunt.

Omdat hier geen gevaar voor verweking door wateroverslag bestaat en het overslaande water direct in het bekken van de Oosterschelde kan worden opgenomen, werd de toelaatbare overslag en daarmee de vereiste overhoogte boven het ontwerp-peil hoofdzakelijk bepaald door de erosie-bestendigheid van de buitenste schil breuksteen in relatie tot de te verwachten golfaanval. Om dezelfde reden was een absolute waterdichtheid van de breukstenen dam niet vereist.

De dragende functie voor de verkeersweg speelde bij de functie-eisen voor de breukstenen dam geen rol, omdat deze was overgenomen door de daaraan parallel liggende landhoofdverkeerskokers in aansluiting op de over de afsluitbare kering liggende verkeerskokers.

De damaanzetten hebben als belangrijkste functies:

- het beëindigen van de zandlichamen van de vaste kering in de overgang naar de afsluitbare kering;
- het vormen van een funderingsgrondslag voor de er op gelegen betonnen landhoofdconstructies, die op hun beurt fungeren als steunpunt voor de landhoofdverkeerskokers, als overgang voor de verkeersweg en als toegang tot het inwendige van de verkeerskokers.

Met betrekking tot deze functies golden als eisen:

- er mocht, onder invloed van optredende hydraulische verhangen, geen zand uit het achterliggende zandlichaam uitspoelen naar de open breukstenen dam en het naastliggende water;
- onder het landhoofd waren belangrijke zettingsverschillen niet toelaatbaar.

Verder moest de constructie bestand zijn tegen de bij de ontwerpstorm te verwachten golfaanval.

Zowel de breukstenen dammen als de damaanzetten moesten voor een groot deel in stromend water vanaf een vrij grote diepte worden opgebouwd, hun fundering vormt tevens de beëindiging van het funderingsbed van de afsluitbare kering. Dit betekende dat zowel in het ontwerp als in de uitvoering rekening moest worden gehouden met:

- het ontwerp en de fasering in de bouw van de afsluitbare kering (o.a. harmonisatie van bouwfasen);
- de kans op schade door storm en erosie door de stroom in de bouwfasen;
- de kans op zandafzettingen op plaatsen, waar deze in een latere fase onder invloed van hydraulische verhangen zouden kunnen worden uitgespoeld en zodoende aanleiding geven tot ongewenste zettingen, met name voor de funderingsgrondslag van de landhoofden.

Voor de Roompotsluis gold als functionele eis dat normaal aannemersmaterieel ten behoeve van de afbouw van de kering in de laatste fase en het onderhoud, alsmede pleziervaartuigen, vissersvaartuigen en eventueel kustvaarders moesten kunnen worden doorgeschut bij alle normaal voorkomende waterstandsverschillen. Ten aanzien van de kerende hoogte gold het ontwerp-peil als uitgangspunt. Mits het sluissterrein en de taluds van de aangrenzende grondlichamen voldoende erosiebestendig waren bekleed, was wateroverslag door golven hier aanvaardbaar, omdat dit water via de Binnenhaven Noordland direct naar de Oosterschelde kon worden afgevoerd en ondanks het feit dat onder die omstandigheden het sluissterrein moeilijk of niet toegankelijk zou zijn.

## 2.3 De afsluitbare kering

### 2.3.1 Nadere analyse

Het afsluitbare deel van de kering bestaat in hoofdzaak uit het funderingsbed, de drempel, het samenstel van pijlers, dorpelbalken, bovenbalken, verkeerskokers en als afsluitende elementen de schuiven met hun bewegingswerken, c.a. Het draagvermogen van de ondergrond speelt in de functievervulling van het geheel een essentiële rol. De aangrenzende stortebedden en bodembescherming hebben een ondersteunende functie, nl. voorkomen dat de funderingsgrondslag door erosie wordt ondermijnd.

Kenmerkend voor de onderdelen van de afsluitbare kering is dat zij, in onderlinge afhankelijkheid één systeem vormen dat de toegekende functies moet vervullen. Dit systeem kan worden onderverdeeld in:

- een systeem van passieve onderdelen, die alleen al door hun aanwezigheid de hun toebedeelde rol vervullen en waaraan hoofdzakelijk eisen worden gesteld die betrekking hebben op sterkte, vorm en levensduur, en
- een systeem van actieve onderdelen die door het verrichten/ondergaan van een handeling de toebedeelde rol vervullen. Naast eisen die betrekking hebben op vorm en sterkte worden hieraan ook eisen gesteld die betrekking hebben op de bedrijfszekerheid en bedienbaarheid.

Zoals reeds in paragraaf 2.1. is aangegeven kunnen voor de afsluitbare kering drie basisfuncties worden aangegeven nl.:

- de doorlaatfunctie;
- de kerende functie;
- de transformatiefunctie,

en als nevenfunctie:

- de dragende functie voor een wegverbinding over de kering.
- Het passieve systeem vervult hoofdzakelijk een rol in de eerste twee basisfuncties en in de nevenfunctie.

Het actieve systeem verzorgt de transformatiefunctie en speelt, noodzakelijkerwijs daaruitvoertvloeiend, voor een deel (de schuiven) ook een rol in de kerende functie.

Aan de hand van de drie basisfuncties kunnen de functie-eisen, waaraan het ontwerp van de afsluitbare kering moest voldoen, worden aangegeven.

Verder zal blijken dat andere zaken, zoals

- de eis dat de kering tenminste 200 jaar moet kunnen functioneren,
- de onderlinge relaties tussen het actieve- en het passieve systeem, alsmede tussen de onderdelen binnen deze systemen, en
- de problematiek van het bouwen in stromend water, hebben geleid tot additionele eisen die in meerdere gevallen maatgevend bleken te zijn voor onderdelen van het ontwerp.

### 2.3.2 Functie-eisen, ontleend aan de basisfuncties

#### De doorlaatfunctie

Aan de doorlaatfunctie kunnen, algemeen geformuleerd, de volgende functie-eisen worden verbonden:

- het bieden van een zodanig grote doorstroomopening (A) met een zodanige vorm (rendement  $\mu$  dat, voor het onderhouden van het minimaal gewenste getijverschil op de door compartimentering in oppervlak verkleinde Oosterschelde, voldoende debieten effectief kunnen worden doorgelaten (voldoende  $\mu A$ ) (zie ook deelnota 1.1, par. 3.1);
- het voldoende stroombestendig zijn van de daarvoor in aanmerking komende onderdelen onder de feitelijke omstandigheden waarbij de doorlaatfunctie (al dan niet gewenst) in bedrijf is;
- het hebben van een zodanig doorstroomprofiel dat de morfologische versterking van de aanwezige omgeving zo gering mogelijk is.

#### De kerende functie

Aan de kerende functie kunnen, algemeen geformuleerd, de volgende functie-eisen worden verbonden:

- het keren van stormvloedwater die het ontwerppeil (N.A.P. + 5,50 m, resp. 5,30 m, zie deelnota 1.1 paragraaf 3.2) niet overschrijden, rekening houdend met een realistische lage binnenwaterstand (positief verval); hierbij is een zeker debiet door de kering (door lek en golfoverslag) toelaatbaar, in verband met het kobergend vermogen van het Oosterscheldebekken;
- het bestand zijn tegen de krachten van de bij de stormvloedwater behorende golfaanval.

#### De transformatiefunctie

Aan de transformatiefunctie kunnen, algemeen geformuleerd, de volgende eisen worden verbonden:

- het met voldoende bedrijfszekerheid kunnen uitvoeren van de gewenste transformatie;
- vanwege de ruimtelijke uitgebreidheid van het complex, het zowel centraal, als decentraal kunnen bedienen van het actieve systeem;
- een zo groot mogelijke vrijheid voor de beheerder in het kiezen van de meest gewenste strategie ten aanzien van het gebruik van de transformatiefunctie.

Meer uitgewerkt betekent deze laatste functie-eis dat:

- \* de schuiven „opstroom” gesloten moeten kunnen worden,
- \* de schuiven „onder verval, zowel positief als negatief” moeten kunnen worden geopend, en
- \* de schuiven in een gedeeltelijk gesloten stand onder verval moeten kunnen blijven staan (de zogenaamde reductor strategie, zie deelnota 1.5 hoofdstuk 1).

Behalve voor het ontwerp van het actieve systeem heeft deze functie-eis ook zijn invloed op de nadere interpretatie van de doorlaatfunctie, met name voor de stroombestendigheidseis.

### 2.3.3 Functie-eisen, ontleend aan de eis voor de levensduur

In het passieve systeem zitten veel onderdelen die niet of moeilijk vervangbaar zijn. De reeds in het algemeen voor het hele complex van de stormvloedkering geformuleerde eis voor een functioneringsduur van tenminste 200 jaar (zie deelnota 1.1. hoofdstuk 3) geldt in het bijzonder voor deze onderdelen.

Deze eis kan worden uitgesplitst in de eisen:

- het construeren op duurzaamheid (materiaalkeuze, etc.);
- het zodanig construeren dat bij een falen van onderdelen of functies niet het hele systeem onherstelbaar wordt aangetast (interne beveiliging).

Bij de laatste eis gaat het dan in het bijzonder om het falen van de transformatiefunctie onder of na stormvloedomstandigheden. Dit kan worden veroorzaakt door een storing in het actieve systeem, waardoor één of meerdere schuiven niet functioneren, dan wel door een falen van het beheer, de centrale commandogeving of de energievoorziening, waardoor de transformatiefunctie in zijn geheel niet of niet tijdig wordt geactiveerd.

Vooraf voor de stroombestendigheidseis voor relevante onderdelen leidt de eis tot interne beveiliging voor de gevolgen van het (gedeeltelijk) falen van de transformatiefunctie tot aanvullende eisen, nl.:

- het stroombestendig zijn bij een open kering onder stormvloedomstandigheden;
- het stroombestendig zijn bij één of meerdere open schuiven onder stormvloedomstandigheden (weigerende schuifsituatie);
- het stroombestendig zijn bij het niet openen van één of meerdere schuiven, met name bij een negatief verval.

Voor de kerende functie leidt de eis tot interne beveiliging tegen de gevolgen van het falen van de transformatiefunctie tot de aanvullende eis:

- het kunnen keren van een negatief verval, waarbij dus de binnenwaterstand hoger is dan de buitenwaterstand.

### 2.3.4 Functie-eisen ontleend aan de onderlinge relaties tussen systemen en onderdelen

In paragraaf 2.3.1. is reeds aangegeven dat de onderdelen van de afsluitbare kering in onderlinge afhankelijkheid in een systeem functioneren. Hierin vervult ieder onderdeel een specifieke rol die nader kan worden geanalyseerd en waarvoor specifieke functie-eisen kunnen worden geformuleerd. Deze specifieke functie-eisen komen aan de orde bij de meer gedetailleerde behandeling van het ontwerp in de Boeken 2 t/m 4. Het zou te ver voeren om ze hier reeds te behandelen.

Een uitzondering wordt gemaakt voor de vormvastheid van het samenstel van de betonnen onderdelen in de afsluitbare kering. Deze onderdelen werden geprefabriceerd en in het werk betrekkelijk los aan elkaar verbonden, waardoor een beperkte vervorming van het systeem zonder grote secundaire belastingen mogelijk is. Anderszins is deze vervorming aan duidelijke tolerantiegrenzen gebonden.

den door de geleidingsfunctie van dit systeem voor het bewegen van de schuiven en het mogelijk optreden van te grote secundaire belastingen in de onderlinge aansluitingen van de onderdelen.

Plaatsings- en fabricagetoleranties spelen hierbij ook nog een rol (zie hoofdstuk 5). Tijdens de bouw en gedurende de levensduur worden de vervormingen in de gekozen constructie in belangrijke mate bepaald door deformaties in het funderingsbed en vooral in de onderliggende funderingsgrondslag, die daardoor eveneens aan aanvaardbaarheidsgrenzen zijn gebonden.

Wat nauwkeuriger geformuleerd leidt dit tot de volgende functionele eis voor het funderingsbed en de funderingsgrondslag onder de pijlers:

„De tijdelijke of blijvende deformaties in de fundering die aanleiding geven tot het scheefzakken van de pijlers en/of tot standverschillen tussen de pijlers onderling, onder invloed van de daarop werkende belastingen, dan wel veroorzaakt door grondverplaatsingen onder invloed van andere processen zijn voor de gehele levensduur van de kering aan zekere aanvaardbaarheidsgrenzen gebonden.,,

Gezien de vereiste levensduur van 200 jaar voor de kering is het voldoen aan deze eis van doorslaggevend belang voor het functioneren van de kering, te meer daar een herstel of compensatie achteraf van te grote vervormingen vrijwel niet mogelijk is.

### 2.3.5 Bouwfaseproblematiek

De afsluitbare kering moest worden opgebouwd vanuit een bewegelijke bodem in een milieu dat werd beheerst door stromingen en golven. Door de geleidelijke verkleining van het doorstroomprofiel,

naarmate het werk aan de afsluitbare kering in de stroomgeulen vorderde, zou vooral de stroomaanval op het gemaakte werk en de bodem in de nabije omgeving daarvan toenemen.

Als algemene eis voor zowel het ontwerp als de uitvoeringsvolgorde moest daarvoor gelden dat:

in iedere fase van de bouw opnieuw een stabiele situatie ontstond, rekening houdend met de dan te verwachten stromingen en golfaanval. Kwetsbare situaties zouden slechts korte tijd mogen duren en moesten van beperkte omvang zijn.

In het ontwerp werd deze eis vertaald in de zogenaamde bouwfasebelastingen, waaraan de gemaakte constructies in de betrokken bouwfase weerstand moesten kunnen bieden.

In een aantal gevallen, zoals bijvoorbeeld voor de bodem bescherming op bepaalde plaatsen, waren deze bouwfasebelastingen maatgevend voor de dimensionering.

In andere gevallen leidde de hiervoor geformuleerde algemene eis tot een additionele eis van stroombestendigheid voor onderdelen die in de definitieve situatie daaraan niet meer zouden worden blootgesteld.

Zo vloeide het besluit tot het grotendeels prefabriceren van de filterconstructies van het funderingsbed voort uit de noodzaak tot het zo snel mogelijk vastleggen van het op maat afgewerkte (uit zand bestaande) oppervlak van de funderingsgrondslag en het direct stroombestendig maken van de daarop aan te brengen eerste fijne fracties van de filterconstructie. De verpakking in filterdoek moest o.a. in de tijdelijke eis tot stroombestendigheid voorzien. Bij de opbouw van de kern van de drempel en de breukstenen dam werden de afmetingen van de aldaar toegepaste breuksteen grotendeels bepaald door de eis van stroombestendigheid in die bouwfase.

### 3. Veiligheidsanalyse

#### 3.1 Acceptabele faalkans

Een van de doelstellingen voor de aanleg van de Stormvloedkering was:

„Het beschermen van delen van Zeeland tegen overstroming vanuit de Oosterschelde tengevolge van stormvloedden”.

Ter voldoening aan deze doelstelling werkt de stormvloedkering in één systeem samen met de aanwezige waterkeringen rond de Oosterschelde.

In het algemeen zal hierin het falen van de stormvloedkering aanleiding geven tot het falen van het hele systeem en daarmee tot het ontstaan van de in de doelstelling omschreven maximaal ongewenste gebeurtenis.

Omgekeerd hoeft het falen van het hele systeem niet altijd te worden veroorzaakt door het falen van de stormvloedkering. (zie Deelnota 1.5 hoofdstuk 1).

Hieruit volgt dat de faalkans van de stormvloedkering tot op zekere hoogte autonoom kan worden beschouwd.

Dit is dan tevens in navolging van de Deltacommissie die in haar rapport ontwerpnormen voor hoofdwaterkeringen heeft aangegeven, zonder rekening te houden met de eventuele systemen waarin deze hoofdwaterkeringen voor kunnen komen. Voor de stormvloedkering is de autonome beschouwing van de faalkans in zoverre beperkt dat bij de definiëring van het falen (zie par. 3.2.) de werking van het hele systeem is betrokken.

Bij de behandeling van de randvoorwaarden „veiligheid” (zie Deelnota 1.1 hoofdstuk 3) werd reeds aangegeven dat de kerende hoogte van de kering moest worden afgestemd op het voor het zuid-westen des lands aanbevolen ontwerppeil, dat een overschrijdingskans heeft van  $2,5 \times 10^{-4}$  per jaar.

Hieruit volgt dat, voor wat dit aspect betreft, in zekere zin gesproken zou kunnen worden van een geaccepteerde faalkans die kleiner is dan  $2,5 \times 10^{-4}$  per jaar. Een overschrijden van dit peil zal op een gegeven ogenblik betekenen dat de kering overstroomt. Per definitie is er dan eigenlijk geen sprake van falen, omdat een overstrooming van de kering nog niet betekent dat dan ook delen van Zeeland onderwater zullen lopen.

Afhankelijk van een aantal andere factoren is er in het hele systeem nog een zekere reserve aanwezig.

Met betrekking tot de sterkte van de kering werd aangegeven dat deze bestand zou moeten zijn tegen een potentiële bedreiging van buitenaf, eveneens met een overschrijdingskans van  $2,5 \times 10^{-4}$  per jaar. Verder werd onderkend dat de kering zou kunnen falen door een potentiële bedreiging van binnenuit; n.l. door een kettingreactie van ongewenste gebeurtenissen in het object zelf, al dan niet in samenhang met de potentiële bedreiging van buitenaf. Tenslotte kan uit de functionele analyse worden afgeleid dat het functioneren van de kering, en dus ook het falen daarvan, afhankelijk is van menselijk handelen, n.l. het tijdig doen sluiten van de kering.

Al deze elementen blijken met elkaar bij te dragen tot de totale faalkans van de kering (zie par. 3.4). Gezien de verschillende aard van deze elementen is het niet mogelijk om uitsluitend technische normen aan te leggen voor de toetsing van het ontwerp.

Omdat de stormvloedkering in de reeds genoemde doelstelling een maatschappelijk doel dient, is getracht om vanuit de maatschappelijke achtergrond een acceptabele faalkans af te leiden die als toetsingskriterium voor de faalkans van de kering zou kunnen dienen. De filosofie daarbij was, dat de groep Zeeuwen die eventueel zou worden bedreigd door een falen van de stormvloedkering geen groter overlijdensrisico zou mogen lopen dan gemiddeld over heel Nederland het geval is voor het overlijdensrisico door ongevallen (ca.  $10^{-4}$  per jaar per individu).

De gebeurtenis, die dit risico aangeeft is als volgt gedefinieerd: „Door het falen van de stormvloedkering lopen delen van Zeeland onderwater”. Voor deze gebeurtenis werd het aantal doden geschat op ca. 1000 in een potentieel bedreigde groep van ca. 100.000 zielen.

Wanneer het gemiddeld voor Nederland geldende overlijdensrisico door ongevallen wordt betrokken op de groep van 1000 potentiële slachtoffers, dan ontstaat voor het falen van de stormvloedkering een maximaal toelaatbare kans van  $10^{-7}$  per jaar ( $10^{-4}/1000$ ). Wanneer wordt bedacht dat de totale bedreigde groep ca. 100.000 zielen telt, dan wordt het duidelijk dat het individuele risico door het falen van de stormvloedkering dan  $10^{-9}$  per jaar bedraagt. Een evaluatie hiervan kan gemaakt worden op basis van fig. 1. In doc. 1 is deze filosofie meer gedetailleerd uitgewerkt.

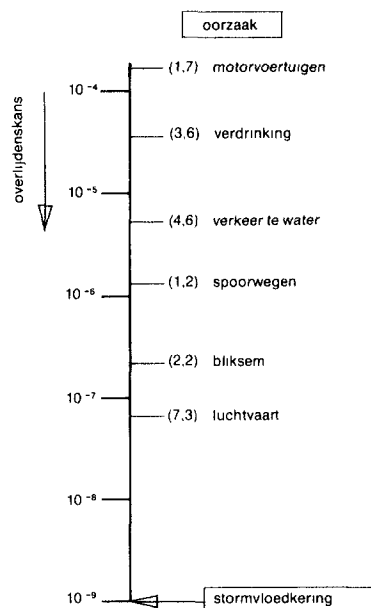


fig. 1 Overlijdenskans per individu per jaar in de Nederlandse samenleving.

### 3.2 Nadere definitie van het falen van de Stormvloedkering

Het falen (bezwijken) van de stormvloedkering kan langs twee wegen leiden tot de maximaal ongewenste gebeurtenis „delen van Zeeland lopen onderwater“:

1. Door een debiet door de kering ontstaat op de Oosterschelde een zodanig hoog peil dat de daar omheen liggende waterkeringen door overstroming bezwijken.
2. De aan de Schouwse- en/of Noord-Bevelandse oever grenzende delen van de kering bezwijken. Daarbij wordt aangenomen dat dan tevens de aangrenzende waterkeringen van deze eilanden worden aangetast en zullen bezwijken, min of meer onafhankelijk van de waterstand op de Oosterschelde.

Zoals de formulering reeds aangeeft is de eerste weg van belang voor de definiëring van het falen van de gehele kering en meer in het bijzonder voor de afsluitbare kering, waarop de faalkansanalyse zich vooral zal concentreren.

Voor de faalkansanalyse van de stormvloedkering is voor het maximaal toelaatbare peil op de Oosterschelde aangehouden het gemiddelde ontwerppeil (N.A.P. + 4,30 m) voor de voorlopige dijksversterking rond de Oosterschelde (overschrijdingsfrequentie 1/500 per jaar, bij een open Oosterschelde).

Hierbij werd er vanuitgegaan dat uiteindelijk alle betrokken waterkeringen dit peil nog zouden kunnen keren.

Met de hiervoor genoemde gegevens kan het falen van de stormvloedkering in zijn geheel worden gedefinieerd met:

„Het doorlaten van een zodanig debiet dat de maximaal toelaatbare waterstand op de Oosterschelde (gemiddeld N.A.P. + 4,3 m) wordt overschreden...“

De kans op het optreden van een aldus gedefinieerde maximaal ongewenste gebeurtenis, zou met inachtnaam van de kans op het optreden van een ongewenste gebeurtenis volgens de tweede genoemde weg, moeten worden getoetst aan de geaccepteerde faalkans.

Het debiet dat tijdens stormvloeden door de kering zou kunnen worden doorgelaten kan nader worden onderverdeeld in:

1. Een debiet dat ontstaat door:
  - golfoverslag over lage delen van de kering (kerende hoogte N.A.P. + 5,80 m resp. + 5,60 m);
  - lek door de drempel en breukstenen dammen;
  - lek door het niet geheel afsluiten van de schuiven.
2. Een extra debiet dat langs de onder 1. genoemde wegen ontstaat door overschrijding van het ontwerppeil.
3. Een extra debiet dat ontstaat door een ongewenste gebeurtenis, betrekking hebbend op de kering zelf.

Van het onder 1. genoemde debiet kan worden gesteld dat dit, hoewel naar gelang van de omstandigheden in omvang verschillend, altijd aanwezig is. Gebruik makend van het kombergend vermogen van de dan afgesloten Oosterschelde en op grond van de functionele analyse wordt dit debiet geaccepteerd.

Bij het selecteren van de veilige sluitingsstrategieën moet met het bestaan van dit debiet rekening worden gehouden.

Van het onder 2. genoemde debiet kan worden gesteld dat ook dit in zekere zin wordt geaccepteerd, omdat het voortvloeit uit de overschrijding van een aan de ontwerpers van de kering opgelegde randvoorwaarde. Overigens is de kans van optreden van dit extra debiet per definitie kleiner dan  $2,5 \times 10^{-4}$  per jaar en behoeft daarenboven niet onmiddellijk tot een overschrijding van de maximaal toelaatbare waterstand op de Oosterschelde te leiden. Een en ander is onder andere afhankelijk van de mate en de duur van overschrijding en de gekozen sluitingsstrategie.

Alleen van het onder 3. genoemde debiet kan worden gesteld dat dit in principe niet aanvaardbaar is.

Hoewel alle drie hiervoor beschouwde debieten bijdragen tot de faalkans van de kering volgens de aangegeven definitie, gaat de aandacht in de veiligheidsbeschouwing in het bijzonder uit naar de kans van optreden van gebeurtenissen, die het onder 3. genoemde debiet kunnen veroorzaken. Voor zover deze gebeurtenissen aanleiding kunnen geven tot het gedefinieerde fatale debiet, moet de kans van optreden daarvan, in samenhang met de kans van optreden van de medebepalende natuurrandvoorwaarden, worden getoetst aan de geaccepteerde faalkans.

Voor zover het bovenstaande niet het geval is, is in principe een hogere kans van voorkomen aanvaardbaar, mits deze gebeurtenissen geen aanleiding geven tot een blijvende schade aan de kering, die een toekomstig functioneren in de weg staat. (Zie ook hoofdstuk 2, functionele analyse).

### 3.3 Globale analyse van ongewenste gebeurtenissen

Over de hele kering gezien kunnen de gebeurtenissen, die aanleiding geven tot een falen van de kering, worden verdeeld in twee groepen:

- gebeurtenissen die betrekking hebben op de vaste delen van de kering en
- gebeurtenissen die betrekking hebben op de afsluitbare delen van de kering.

#### 3.3.1 Gebeurtenissen aan de vaste kering

Essentieel bestaat de vaste kering uit:

- waterkerende grondlichamen, hoofdzakelijk uit zand opgebouwd (damvakken op de werkeilanden en de damaanzetten);
- breukstenen dammen;
- de Roompotsluis.

Het falen van de kering manifesteert zich hier in een bezwijken van deze waterkerende constructies.

De waterkerende grondlichamen zijn vanwege hun dragende functie voor de verkeersweg (zie hoofdstuk 2) in het algemeen overgedimensioneerd ten opzichte van de kerende functie. Uitgaande van een kerende hoogte van N.A.P. + 12 m en een 2% golfoverslag werd de bezwijkkans hiervan kleiner dan  $10^{-9}$  per jaar geschat (doc. 2).

Ook voor de berekening van de kerende hoogte van op verschillende plaatsen aanwezige coupures werden pessimistische aannamen gedaan (doc. 3), op grond waarvan kan worden aangenomen dat deze geen afbreuk doen aan de bovengenoemde kansinschatting.

Het bezwijken van de damaanzetten kan nog worden ingeleid door een bezwijken van de breukstenen dammen.

Na de initiële gebeurtenis (bezwijken van de toplaag breukstenen dam, danwel ernstig verzakken van de aansluitende rand-pijler) kan een (tijdvergend) erosieproces opgang komen dat de damaanzetten kan doen bezwijken. In doc. 4 is een risico-analyse gemaakt voor het optreden van dit proces en de mogelijke gevolgen. Voor de damaanzetten Schouwen en Noord-Beveland kan een verdere voortschrijding van dit erosieproces leiden tot het bezwijken van de aangrenzende waterkeringen op de genoemde eilanden (faalweg 2 uit par. 3.2.); voor alle damaanzetten betekent een bezwijken een verhoogde waterstand op de Oosterschelde (faalweg 1). Uit deze analyse blijkt verder dat voor de toplaag breukstenen dam bij Schouwen en Noord-Beveland een faalkans van  $10^{-7}$  per jaar vereist is en dat voor die bij de werkeilanden een hogere faalkans (uiteindelijk vastgesteld op  $10^{-6}$  per jaar) toelaatbaar is.

Voor de Roompotsluis werd de faalkans ten aanzien van een door-

braak geschat op  $10^{-7}$  per jaar, gezien de vrij pessimistische ontwerp aannamen.

### 3.3.2 Gebeurtenissen aan de afsluitbare kering

Principieel kunnen de gebeurtenissen aan de afsluitbare kering, die (al dan niet via een kettingreactie) leiden tot een te groot debiet door de kering en daarmee tot mogelijkerwijs te hoge waterstanden op de Oosterschelde worden verdeeld in twee groepen:

- gebeurtenissen, die algemeen kunnen worden omschreven als: het bezwijken van onderdelen die deelnemen aan de kerende functie, en
- gebeurtenissen, die leiden tot het niet tijdig (kunnen) sluiten van de schuiven.

Dit principiële onderscheid is van belang omdat de benadering van de problematiek in het ontwerp verschillend is.

In het eerste geval gaat het om een ontwerpproces dat in het algemeen kan worden gekarakteriseerd door:

- belastingaannamen;
- sterkteberekeningen (modellering van het krachtenverloop);
- aannamen van materiaaleigenschappen.

Dit proces moet met voldoende zekerheden (veiligheidscoëfficiënten) worden omringd om tot de vereiste faalkans te leiden (zie verder hoofdstuk 6).

In het tweede geval gaat het vooral om bedrijfszekerheidsaspecten in het ontwerp van het bewegingssysteem van de schuiven en de betrouwbaarheid van de menselijke organisatie die dit systeem in werking moet stellen.

Zonder op de details in te gaan (zie daarvoor Boek 4) kan worden geconstateerd dat in principe een groot aantal begingeburtenissen (storingen) kunnen leiden tot het niet functioneren van het bewegingssysteem.

Qua organisatie bestaat dit systeem uit centrale en decentrale componenten. Storingen in het centraal georganiseerde deel kunnen het functioneren van grote aantallen schuiven, dan wel de hele

kering beïnvloeden, terwijl storingen in het decentrale deel veelal slechts betrekking hebben op het functioneren van een enkele schuif.

Door op vitale plaatsen in het ontwerp reeds allerlei reserves in te bouwen kunnen de gevolgen van optredende storingen, al dan niet automatisch, zo goed mogelijk worden opgevangen.

Niettemin blijft de kans op fatale storingen altijd aanwezig.

Ook de menselijke organisatie, die het geheel moet bedienen is aan een kans op falen onderworpen. Hoewel deze organisatie geheel onder de verantwoording van de beheerder valt is in het ontwerp van de stormvloedkering voorzien in een automatisch werkend noodsluitsysteem als een reserve op het eventueel falen van de menselijke organisatie. Ook dit noodsluitsysteem zal echter aan een bepaalde faalkans zijn onderworpen.

Kwantitatief kunnen alle globaal behandelde ongewenste gebeurtenissen worden onderscheiden in:

- gebeurtenissen, waardoor slechts enkele doorstroomopeningen niet worden afgesloten, dan wel bezwijken, en
- gebeurtenissen, waardoor een groot aantal doorstroomopeningen niet worden gesloten, dan wel bezwijken.

Gezien het komberegend vermogen van de Oosterschelde hoeft een enkele niet afgesloten doorstroomopening nog niet te leiden tot overschrijding van de toelaatbare waterstand en dus tot een falen van de kering volgens de gegeven definitie.

In doc. 5 is onder andere verslag gedaan van modelberekeningen die een prognose gaven van de overschrijdingskansen van waterstanden op de Oosterschelde bij verschillende sluitingsstrategieën en bij verschillende aantallen weigerende schuiven. Dit laatste als maatstaf voor een gedeeltelijk falen van de kering.

De gegevens in tabel 1 zijn aan deze nota ontleend. Hieruit blijkt dat de invloed van een enkele weigerende schuif niet groter is dan de keuze tussen twee verschillende alarm-peil-sluitingen. Pas wanneer er een opening is, vergelijkbaar met 5 of meer weigerende schuiven, ontstaat er een reëel verhoogd risico op ontoelaatbaar hoge waterstanden op de Oosterschelde.

Tabel 1 Berekende overschrijdingskansen van Oosterscheldewaterstanden bij verschillende sluitingsstrategieën en aantal weigerende schuiven. Tijdstip: einde storm.

Sluitingsstrategie					Rekenmodel	Weigerende schuiven aantal	Oosterschelde waterstanden			
LWK	AI	AII	AIII	AIV			$Pr = 2,5 \times 10^{-4}$ /jaar NAP + m	NAP + 3,5 m Pr per jaar	NAP + 4,3 m Pr per jaar	
X	X	X	X	X	BARCON	0	2,65	$< 10^{-9}$	$< 10^{-9}$	
					BARCON	0	3,0	$1,6 \times 10^{-7}$	$< 10^{-9}$	
					BARCON	0	3,4	$8 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-9}$	
					BARCON	0	4,0	$10^{-2}$	$2 \times 10^{-5}$	
	X	X	X	X	X	OOSWAT	0	2,25	$2 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-9}$
						OOSWAT	0	2,9	$4,5 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-8}$
						OOSWAT	0	3,2	$3,4 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-7}$
						OOSWAT	1	3,0	$1,2 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-8}$
						OOSWAT	5	3,5	$2,5 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-6}$
						OOSWAT	10	3,9	$1,6 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-5}$
						OOSWAT	1	3,3	$8 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-7}$
						OOSWAT	5	3,7	$6 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-5}$
nvt	-	-	-	-	nvt	62	5,3 *	$6 \times 10^{-2}$ *	$3 \times 10^{-3}$ *	

Sluitingsstrategie: sluiting op:

- LWK = laagwaterkering  
 AI = alarmpeil I, NAP + 2,75 m  
 AII = alarmpeil II, NAP + 3,25 m  
 AIII = alarmpeil III, NAP + 3,0 m  
 AIV = alarmpeil IV, NAP + 3,5 m  
 Gegevens ontleend aan doc. 5.

\* Volgens statistische gegevens Rapport-Delta-Commissie voor Burghsluis voor een open Oosterschelde.

Bij weigerende schuiven moet de kans van optreden nog worden vermenigvuldigd met de kans van optreden van een aantal weigerende schuiven, deze kans is kleiner dan:

- $10^{-2}$  per sluitingsactie voor 1 schuiven
- $6,3 \times 10^{-5}$  per sluitingsactie voor 5 schuiven
- $2 \times 10^{-4}$  per sluitingsactie voor 10 schuiven, bij onbemande bediening ( $Pr = 0,1$ )
- $5 \times 10^{-5}$  per sluitingsactie voor 62 schuiven, bij bemande bediening ( $Pr = 0,9$ )
- $8 \times 10^{-5}$  per sluitingsactie voor 62 schuiven, bij onbemande bediening ( $Pr = 0,1$ ) volgens doc. 8.

### 3.4 Totale faalkansanalyse

Alle denkbare ongewenste gebeurtenissen die kunnen leiden tot de maximaal ongewenste gebeurtenis:

„Delen van Zeeland lopen onder water”

kunnen in een logische gebeurtenissenboom met elkaar en met de eindgebeurtenis in verband worden gebracht.

Een dergelijke gebeurtenissenboom krijgt dan de naam foutenboom.

Wanneer een zo goed mogelijk beredeneerde schatting van de kans van optreden van alle begingebourtenissen en een eveneens beredeneerde schatting van de kans op doorwerking naar logische vervolg gebeurtenissen als gegevens in deze foutenboom worden ingevoerd, is met eenvoudige rekenregels uit de kansberekening de kans van optreden van de eindgebeurtenis te berekenen.

Volgens deze methode is voor de stormvloedkering in doc. 2 een totale faalkansanalyse uitgevoerd. Fig. 2 geeft hiervan de hoofd-foutenboom die op de invoerplaatsen wordt ondersteund door een groot aantal sub-foutenbomen en op andere wijze afgeleide kansen van optreden.

In deze analyse wordt een onderscheid gemaakt tussen een (ongewenst) debiet door 4 of minder afsluitbare openingen en een debiet door 5 of meer afsluitbare openingen.

In het eerste geval wordt aangenomen dat de kering heeft gefunctioneerd ondanks dat er ook dan nog een kans blijft bestaan dat de maximaal toelaatbare waterstand op de Oosterschelde wordt overschreden (zie ook par. 3.3.2.). Overigens werd deze kans wel meegenomen bij de berekening van de kans op de maximale gebeurtenis.

In fig. 3 is nog eens de top van deze foutenboom in een wat gewijzigde vorm aangegeven met in fig. 4 en 5 een kwantitatieve invulling daarvan voor twee verschillende sluitingsstrategieën, nl. een sluiting bij laagwaterkentering (fig. 4) en een sluiting bij een alarmpeil van N.A.P. + 3,25 m (fig. 5).

Aan deze faalkansanalyse werden de volgende conclusies verbonden:

a. Indien als „de faalkans” van de stormvloedkering de gemiddelde kans wordt beschouwd waarbij een te hoge waterstand op de Oosterschelde ontstaat, dan bedraagt deze kans ruwweg  $3 \times 10^{-8}$  per jaar bij een LWK (Laag Water Kentering) sluiting en  $1,5 \times 10^{-8}$  per jaar bij een AP II (Alarm Peil II) sluiting.

Indien voor alle (begin)gebeurtenissen de ongunstigste ramingen worden aangehouden, hetgeen een pessimistisch uitgangspunt is, dan worden de eerder genoemde kansen:  $4 \times 10^{-7}$  resp.  $10^{-6}$  per jaar;

b. De meest gevoelige gebeurtenissen, in de zin dat de aan die gebeurtenissen verbonden kansen voor praktisch 100% aan het eindresultaat bijdragen, zijn:

„invoer” 1c „beheer faalt ten aanzien van vijf of meer afsluitopeningen”,

„invoer” 2c „schuifmechanisme faalt ten aanzien van vijf of meer afsluitopeningen” en

„invoer” 4 „golfoverslag e.d.”;

c. De gebeurtenis „delen van Zeeland lopen onder” is een gevolg van zowel „waterstand op Oosterschelde hoger dan N.A.P. + 4,3 m” (waaraan de onder a. genoemde kansen zijn gerelateerd) als van „Schouwen en/of Noord-Beveland lopen/loopt onder”. Voor de gebeurtenis „delen van Zeeland lopen onder” bedraagt door beide oorzaken tezamen de gemiddelde kans ca.  $10^{-7}$  per jaar zowel bij een LWK-sluiting als bij een AP II-sluiting. Deze waarden voldoen aan het door de Deltadienst van Rijkswaterstaat gestelde criterium van  $10^{-7}$  per jaar. De ongunstigste (pessimistische) raming bedraagt voor deze gebeurtenis (1 à 2)  $10^{-6}$  per jaar, hetgeen een orde

groter is dan het criterium;

d. De gebeurtenissen welke hoofdzakelijk aan de onder a. en c. genoemde faalkansen bijdragen, zijn:

„invoer” 18a „damaanzet faalt wegens falende topplaat” bij een LWK-sluiting en

„invoer” 4 „golfoverslag e.d.” bij een AP II-sluiting;

e. De hier aangehouden sluitingsstrategieën hebben geen wezenlijke invloed op de faalkansen van het totale systeem;

f. Indien het gewenst is om het ontwerp van een onderdeel te wijzigen, waardoor de bijbehorende faal- en bezwijkkans eveneens wijzigt, dan dient men zich te realiseren wat de gevolgen zijn zowel voor de faalkans van het gehele systeem, als voor de speelruimte voor de faalkansen van andere onderdelen.

Hierbij passen echter een aantal opmerkingen:

- De „invoer 1c” (falend beheer) berustte op een ruwe schatting, omdat de organisatie van het beheer niet bekend was. Nu deze organisatie, met name het hele systeem voor de activering van de bediening (zie deelnota 1.5 par. 1.7) beter bekend is, zijn er betere schattingen te maken. Volgens doc. 9 zou deze invoer nu geschat moeten worden op  $2,8 \times 10^{-5}$  per noodzakelijke sluitingsactie, hetgeen praktisch neer zou komen op  $2,8 \times 10^{-5}$  per jaar.

In deze invoer is rekening gehouden met:

een falende bemanning van de kering,

een falend noodsluitsysteem en/of

een falende elektriciteitsvoorziening (centrale) bij automatische bediening van de kering.

Omdat de kering dan geheel open blijft staan wordt de overdrachtscoëfficiënt voor de overschrijding van het maximaal toelaatbare Oosterscheldepeil (N.A.P. + 4,3 m)  $3 \times 10^{-3}$  per jaar.

- De „invoeren 2a, 2b en 2c” berusten op de faalkansanalyse voor het voorlopige ontwerp voor het bewegingssysteem volgens doc. 7.

Aan de hand van het definitieve ontwerp van het bewegingssysteem is later opnieuw een faalkansanalyse daarvoor uitgevoerd (doc. 8). Op grond hiervan moest de faalkans van een willekeurige schuif (invoer 2a) worden geschat op  $10^{-2}$  per aanvraag.

De „invoer 2c” moet op grond van deze analyse ook worden herzien. Deze invoer wordt hoofdzakelijk bepaald door het falen van de energievoorziening door het niet in voldoende mate kunnen opstarten van de dieselcentrale.

Voor een bemande sluiting wordt de weigeringskans voor de dieselcentrale geschat op  $5 \times 10^{-5}$  per aanvraag en voor een onbemande (automatische) sluiting op  $8 \times 10^{-5}$  per aanvraag. Met een kans van 0,9 per sluitingsactie op een bemande sluiting wordt de „invoer 2c” dan  $4,5 \times 10^{-5}$  per aanvraag.

Ook hier geldt de aanname dat de kering in het geheel niet sluit, zodat dan eveneens een overdrachtscoëfficiënt geldt van  $3 \times 10^{-3}$  per jaar.

- De „invoer 18” is gebaseerd op doc. 4. De breukstenen dammen bij de werkeilanden zijn echter ontworpen op een faalkans van  $10^{-6}$  per jaar in plaats van  $10^{-5}$  per jaar (zie deelnota 2.9).

- De „invoer 4”, alsmede de schattingen voor de overdrachtscoëfficiënten van de verschillende ongewenste gebeurtenissen naar de kans op overschrijding van het maximaal toelaatbare peil op de Oosterschelde zijn ontleend aan of mede gebaseerd op doc. 5 (zie ook tabel 1).

Wanneer de hierboven aangegeven wijzigingen in de invoer worden verwerkt in de top van de foutenboom (zie figuur 6 en 7) dan blijkt de totale faalkans, vrijwel onafhankelijk van de sluitingsstra-

tegie ongeveer  $3 \times 10^{-7}$  per jaar te worden. Aan deze faalkans wordt dan voor circa 2/3 bijgedragen door het gecombineerde falen van de bediening, inclusief een automatische sluiting, en de energievoorziening door de dieselcentrale en voor circa 1/3 door het be-

zijken van de damaanzetten aan de Noord-Bevelandse en/of Schouwse oever.

Gezien de zeer lage waarde is de afwijking ten opzichte van het faalcriterium ( $1 \times 10^{-7}$  per jaar) gering te noemen.

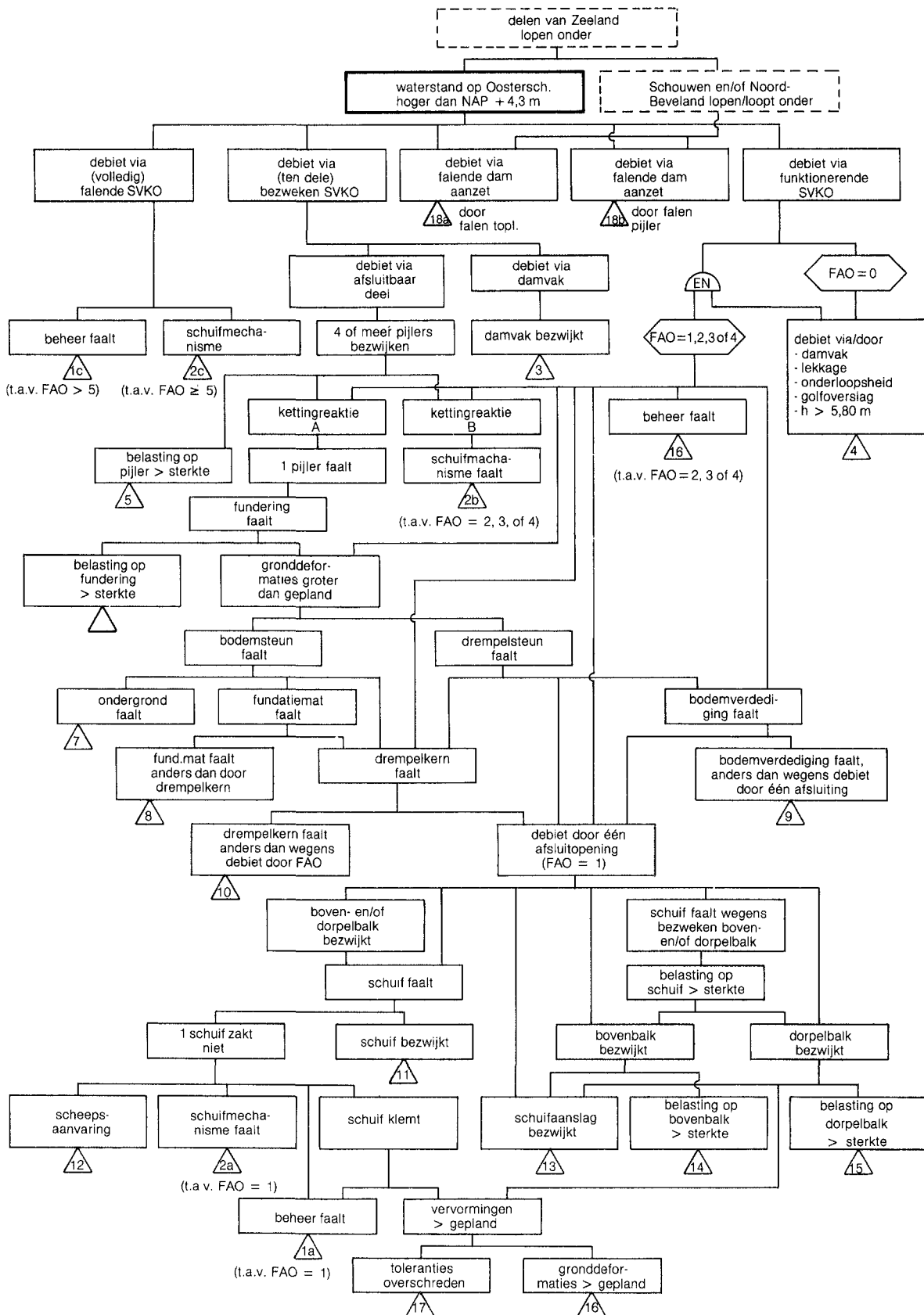


fig. 2 Hoofd foutenboom



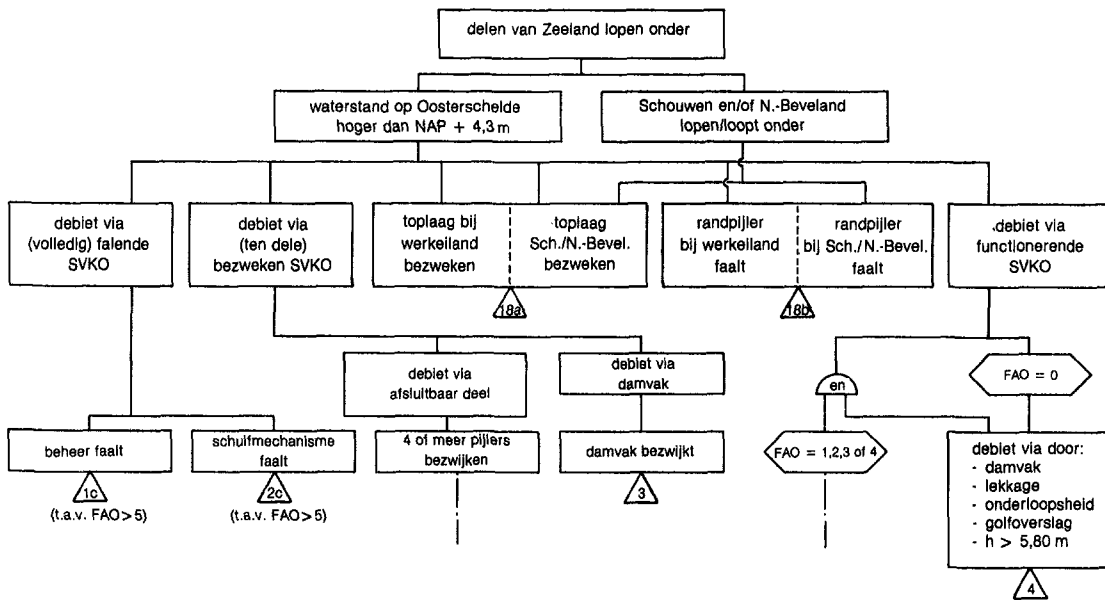


fig. 3 Top foutenboom

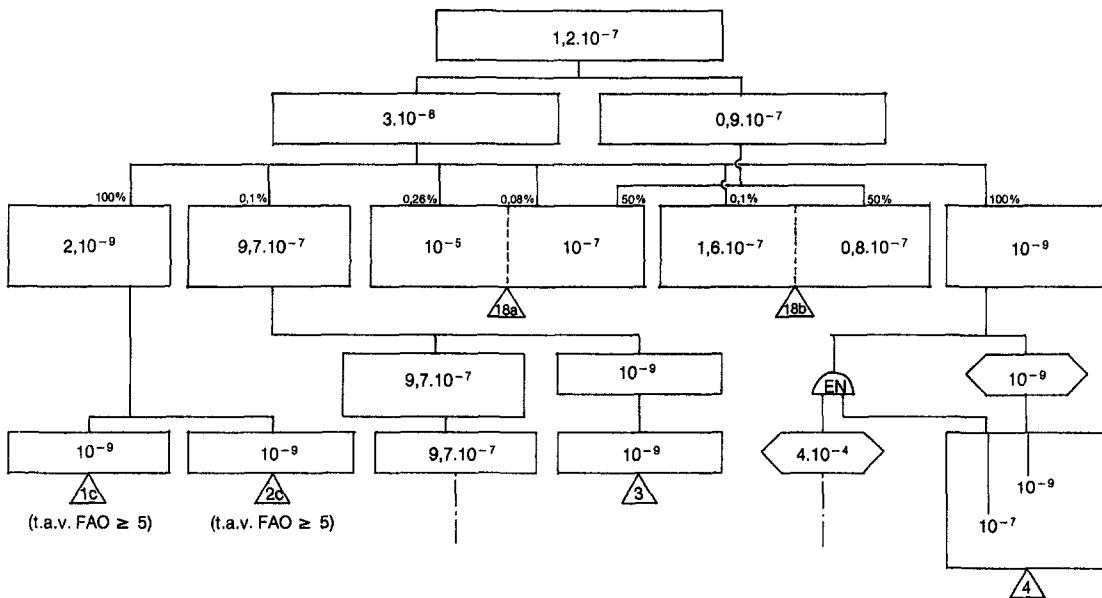


fig. 4 Geschatte faalkans op grond van gemiddelde kansen per begingebuurtenis, volgens doc. 2, strategie: Sluiting op LWK. faalconditie:  $OS > NAP + 4,3 m$

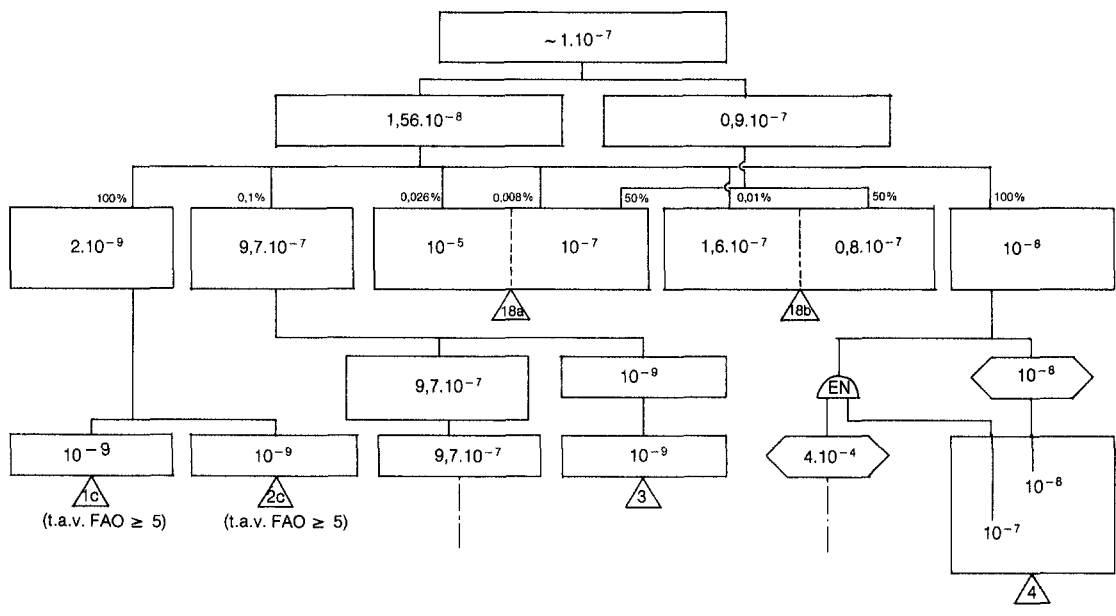


fig. 5 Geschatte faalkans op grond van gemiddelde kansen per begingebuurtenis, volgens doc. 2. strategie: Sluiting op AP II (NAP + 3,25 m), faalconditie:  $OS > NAP + 4,3$  m

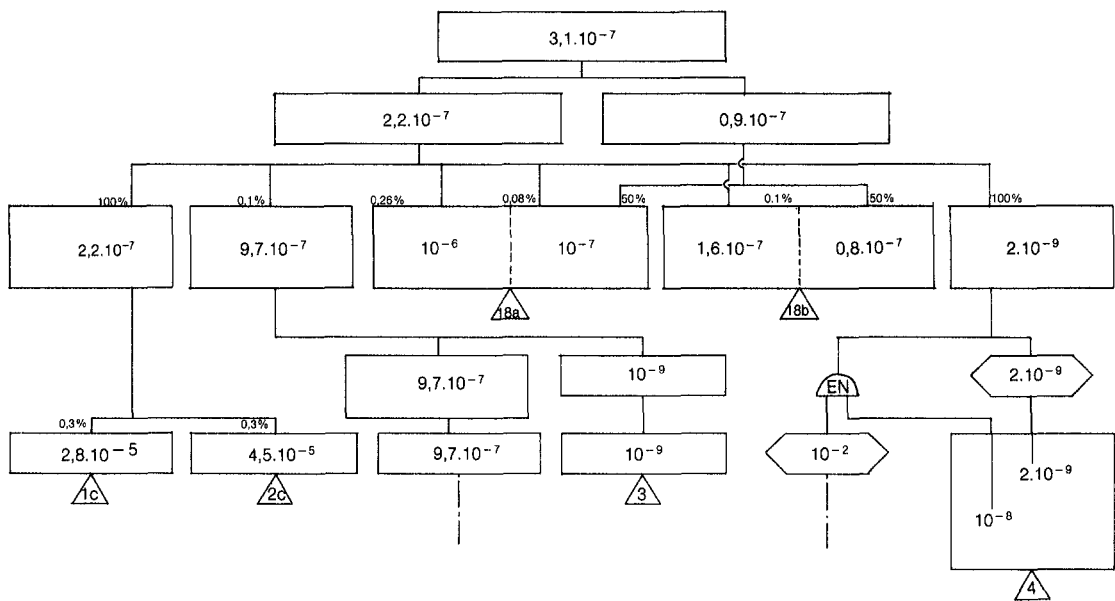


fig. 6 Geschatte faalkans op grond van gemiddelde kansen per begingebuurtenis, aangepaste invoer, sluiting: L.W.K, faalconditie:  $OS > NAP + 4,3$  m

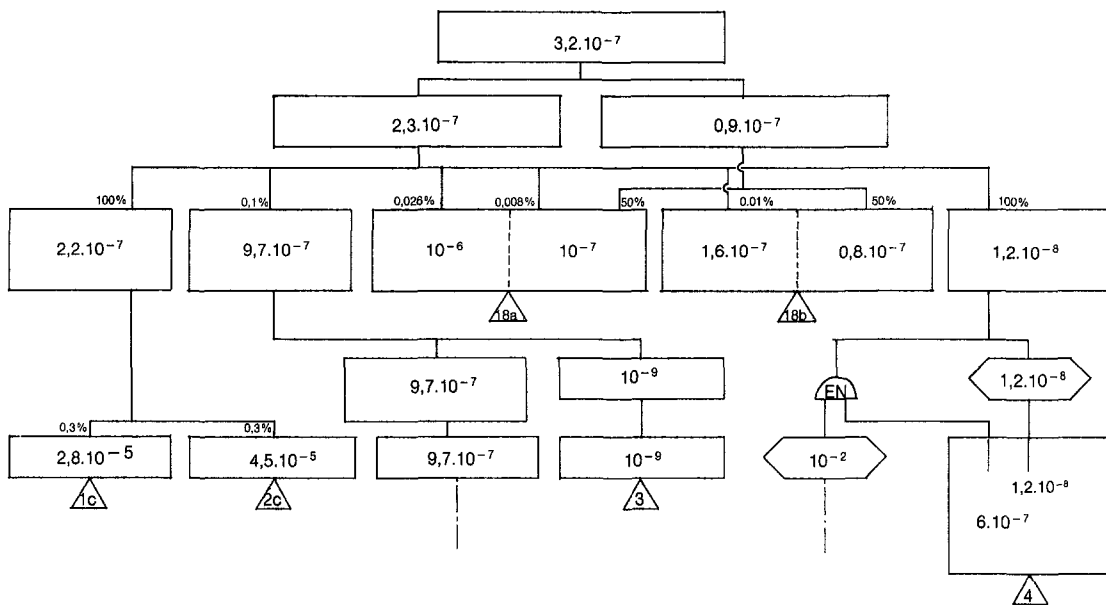


fig. 7 Geschatte faalkans op grond van gemiddelde kansen per begingebuurtenis, aangepaste invoer, sluiting: AP II (NAP + 3,25 m), faalconditie:  $QS > NAP + 4,3 m$

### 3.5 De faalkans van de stormvloedkering bij een lagere toelaatbare waterstand op de Oosterschelde

In 1985 is in de BARCON-studie (zie Deelnota 1.5 hoofdstuk 1) de veiligheid van het hele systeem van stormvloedkering en waterkeringen rond de Oosterschelde onderzocht in verband met de keuze van sluitingsstrategieën. Hieruit bleek dat reeds bij een overschrijding van een gemiddelde waterstand op de Oosterschelde van N.A.P. + 3,50 m bepaalde waterkeringen zouden kunnen overstromen, hetgeen aanleiding was om in de veiligheidsfilosofie van BARCON voor het hele systeem een maximaal toelaatbare waterstand van N.A.P. + 3,50 m vast te stellen.

In deze filosofie, waarin ook andere bezwijkmechanismen voor de waterkeringen, dan gerelateerd aan de maximale waterstand, zijn beschouwd, werd een kans van optreden van de maximaal ongewenste gebeurtenis: „delen van Zeeland lopen onderwater” kleiner dan  $2,5 \times 10^{-5}$  per jaar aanvaardbaar geacht. Een en ander in navolging van de veiligheidsfilosofie voor hoofdwaterkeringen in het algemeen, ontwikkeld door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (zie deelnota 1.5 par. 1.2.1.).

Zoals al is gesteld kwamen deze gegevens eerst in de loop van 1985 beschikbaar, terwijl de in dit hoofdstuk behandelde veiligheidsfilosofie voor de kering alléén in hoofdzaak reeds in 1979 werd ontwikkeld. De veiligheidsanalyse van de kering komt met deze nieuwe gegevens in een ander licht te staan. Enerzijds is het criterium voor de maximaal toelaatbare waterstanden op de Oosterschelde verzwakt en anderzijds zou eventueel de te aanvaarden faalkans voor de kering hoger kunnen worden gesteld dan  $10^{-7}$  per jaar, hetgeen een verlichting betekent.

In verband hiermee is het van belang om na te gaan hoe groot de faalkans van de stormvloedkering wordt, wanneer voor het faalkriterium: „door een debiet door de kering wordt de maximaal toe-

laatbare waterstand op de Oosterschelde overschreden” in plaats van het eerder gebruikte peil van N.A.P. + 4,30 m, het peil van N.A.P. + 3,50 m als maatstaf wordt gehanteerd.

Het lagere toelaatbare peil op de Oosterschelde heeft een grote invloed op de waarde van de in de top van de foutenboom te hanteren overdrachtscoëfficiënten.

Deze zijn op basis van doc. 5 (tabel 1) opnieuw ingeschat.

Voor de „invoeren 1c en 2c” wordt de overdrachtscoëfficiënt dan  $6 \times 10^{-2}$  of 6%.

Voor de „invoeren 18a en 18b” worden de op de waterstand betrekking hebbende overdrachtscoëfficiënten een factor 20 (bij een AP II sluiting) tot 100 (bij een L.W.K.-sluiting) hoger, wanneer overigens de redenering van doc. 4 wordt gevolgd.

Ook de „invoer 4” (lek door de kering) krijgt een grotere invloed.

In fig. 8, 9 en 10 is voor verschillende sluitingscondities de top van de foutenboom opnieuw kwantitatief ingevuld.

De berekende faalkans wordt dan als volgt:

L.W.K.-sluiting:  $5 \times 10^{-6}$  per jaar

AP I-sluiting:  $1 \times 10^{-5}$  per jaar

AP II-sluiting:  $4 \times 10^{-5}$  per jaar.

Bij de sluiting op L.W.K. wordt de faalkans vrijwel volledig bepaald door de gecombineerde kans op een falende bediening en een falende dieselcentrale, terwijl bij een sluiting op AP I respectievelijk AP II de faalkans steeds meer wordt beheerst door de lek door de kering.

De overige mogelijke oorzaken voor het falen van de kering zijn in vergelijking met de hiervoor genoemde mogelijke oorzaken te verwaarlozen voor wat betreft hun bijdrage aan de totale faalkans. Uit deze beschouwing kan de conclusie worden getrokken dat, ondanks de (onvoorziene) verzwaring van de eis voor de toelaatbare

waterstanden op de Oosterschelde, de daaraan verbonden technische faalkans van de kering als zodanig voldoende laag is ten opzichte van het, in de BARCON-filosofie aangehouden, veiligheidskriterium; maar dat de keuze van het tijdstip van de sluiting een wezenlijke invloed heeft op de faalkans van het hele systeem.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de in deze paragraaf gegeven getallen als indicatie moeten worden opgevat, omdat de oorspronkelijke faalkansanalyse (zie par. 3.4) al een nauwkeurigheidsmarge van een factor 10 aangaf en omdat hier opnieuw „snelle” interpolaties en extrapolaties van gegevens zijn toegepast.

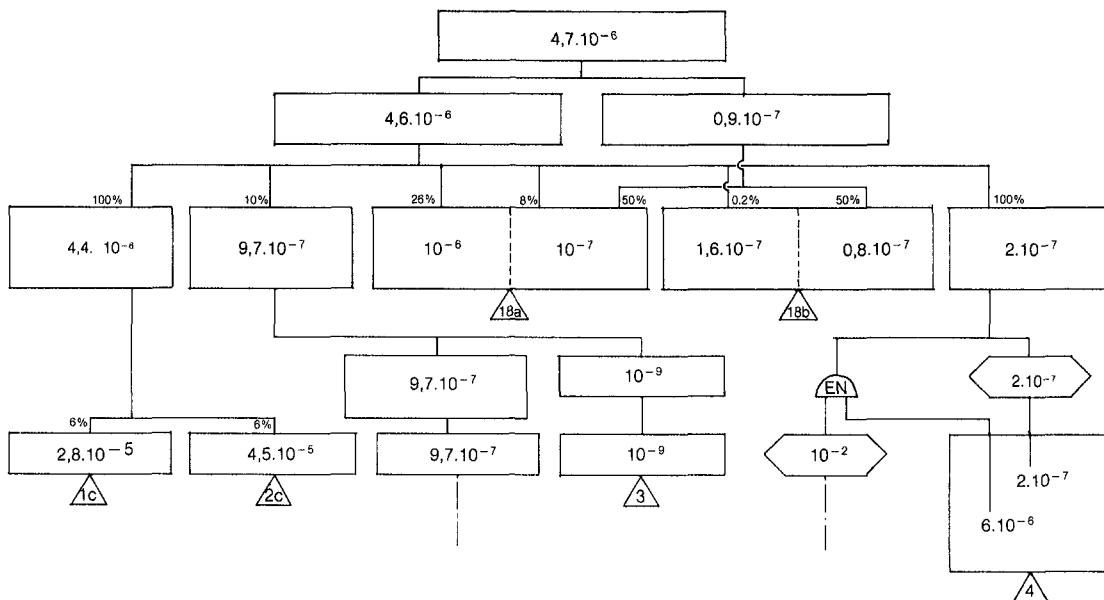


fig. 8 Faalkans stormvloedkering faalconditie:  $OS > NAP + 3,5$  m, sluiting: L.W.K.

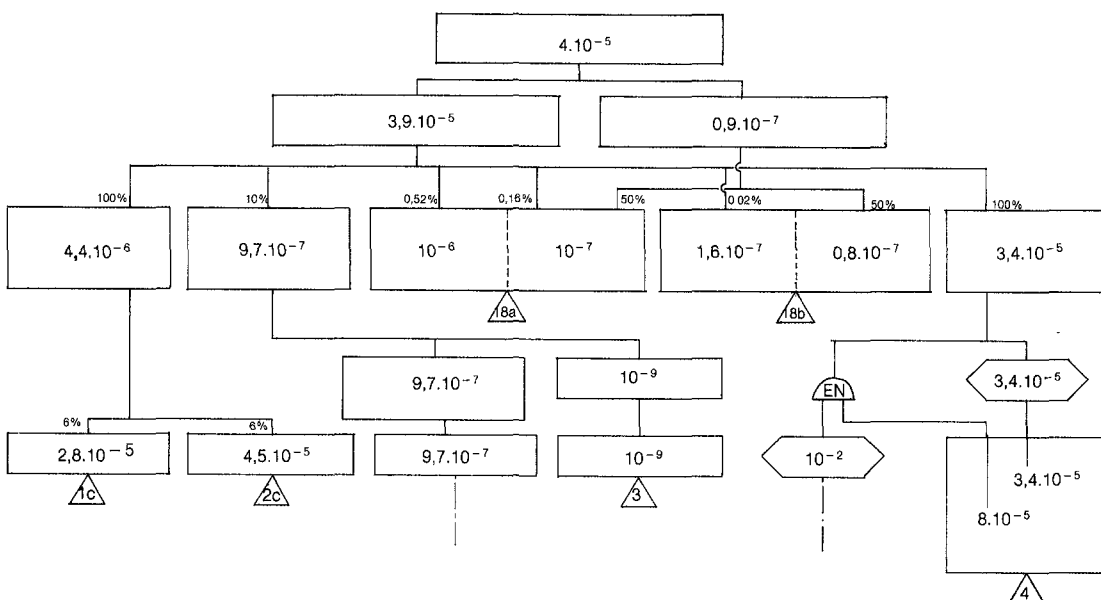


fig. 9 Faalkans stormvloedkering faalconditie:  $OS > NAP + 3,5$  m, sluiting: AP II (NAP + 3,25 m)

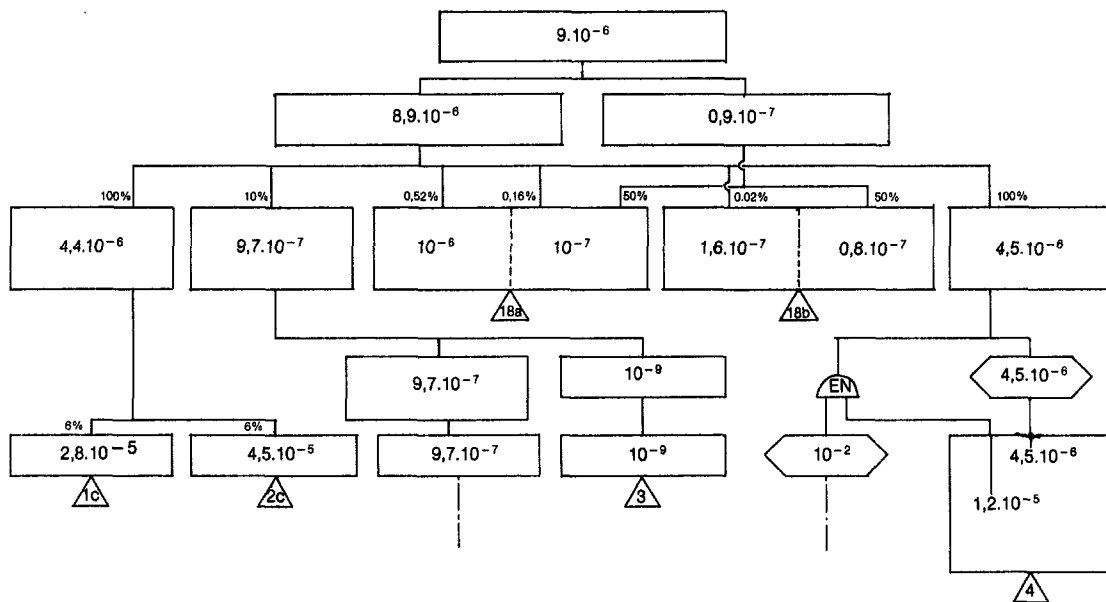


fig. 10 Faalkans stormvloedkering  
 faalconditie:  $QS > NAP + 3,5$  m, sluiting: AP I ( $NAP + 2,75$  m)

### 3.6 De invloed van de lek door de kering op de veiligheid

De lek door de functionerende kering heeft samen met de golf-overslag een niet te verwaarlozen invloed op de waterstand in de Oosterschelde bij een afgesloten kering.

In par. 3.5 bleek reeds dat voor de overschrijdingskans van het peil van N.A.P. + 3,50 m in bepaalde situaties de lek door de functionerende kering maatgevend is.

Deze inzichten zijn gebaseerd op de in doc. 5 gerapporteerde berekeningen. Hierin is behalve met een debiet door golfoverslag, rekening gehouden met een debiet door lek door de kering.

Naar de stand van het toen vigerende ontwerp (1978-1979) is de lek door de kering in rekening gebracht door het aannemen van een fictieve doorstroombopening van ca. 1200 m<sup>2</sup> (1345 m<sup>2</sup> zonder aangroei, 1055 m<sup>2</sup> met aangroei). Van deze doorstroombopening wordt ca. 950 m<sup>2</sup> bepaald door de spleten tussen de schuiven enerzijds en de dorpel- en bovenbalken anderzijds.

Het restant (ca. 400 m<sup>2</sup> zonder aangroei en 100 m<sup>2</sup> met aangroei) werd bepaald door de lek door de drempel, waarin de (aangestorte) spleet tussen onderkant dorpelbalk en bovenkant drempel een groot aandeel had. Deze doorlaatbaarheid van de drempel wordt in belangrijke mate beïnvloed door de ontwikkeling in de loop der jaren van mosselaangroei in de daar aanwezige holle ruimten (zie ook Deelnota 1.3 par. 5.4.).

Door een aantal doorgevoerde wijzigingen is in het huidige ontwerp de fictieve opening van de drempel gewaardeerd op ca. 1350 m<sup>2</sup> zonder aangroei en met aangroei op ca. 320 m<sup>2</sup>. In het eerste geval is de toename van de fictieve opening ca. 1000 m<sup>2</sup>, hetgeen ongeveer overeenkomt met twee weigerende schuiven.

In het begin van de levensduur van de kering, wanneer de te verwachten aangroei zich nog niet heeft ontwikkeld, en ook later, wan-

neer de aangroei onverwacht niet of in veel mindere mate heeft plaatsgevonden, heeft deze grotere lek een verhogend effect op de kansverwachting voor de overschrijding van de maximaal toelaatbare waterstand op de Oosterschelde.

Voor het peil van N.A.P. + 3,50 m wordt dan de overschrijdingskans bij een AP I-sluiting ca.  $4 \times 10^{-5}$  en bij een AP II-sluiting ca.  $2 \times 10^{-4}$  per jaar bij een functionerende kering. Ook aan deze getallen moet conform het voorbehoud bij par. 3.5 een indicatieve waarde worden toegekend.

Wanneer de aangroei zich conform de verwachtingen ontwikkelt, dan zal na verloop van enige jaren het verhogend effect van de grotere lekopening vrijwel zijn verdwenen.

### Documentatie

1. Kooman, ir. D.: De acceptabele faalkans van de SVKO, Risico opbouw; notitie Deltadienst DDWT-79.251 of PEGEOO-M-79205, d.d. 15-3-1979.
2. Beukel, ir. A. van den; Kooman, ir. D.: Faalkansanalyse van de Oosterschelde Stormvloedkering, TNO-IBBC, rapport no. B-80-62/62.3.2002.
3. Anoniem: Kerende hoogte bij Damvak Geul en bij buitenhaven Neeltje Jans, Rijkswaterstaat Deltadienst Projectorganisatie Stormvloedkering, 2 PROBU-M-84080, d.d. 12-9-1984, met bijlagen.
4. Klopper, ir. J.W.: Risico-analyse damaanzetten, Deltadienst, DDWT-80.125, d.d. 10-1-1980.

5. Kooman, ir. D.: Overschrijdingskansen van vervallen en waterstanden bij de Stormvloedkering Oosterschelde; Rijkswaterstaat Deltadienst, DDWT-79.016, d.d. juli 1979 met bijlagen.
6. Project BARCON, deelrapport: Veiligheidsaspecten van het beheer van de Stormvloedkering in de Oosterschelde (concept); Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg, mei 1985.
7. Horst, ir. J. van der: Faalkansanalyse van het bewegingssysteem voor de schuiven van de Stormvloedkering in de Oosterschelde; TNO, Hoofdafdeling Maatschappelijke Technologie, Werkgroep Industriële Veiligheid, afd. Systeemanalyse en technologie, ref. nr. 78-04891, d.d. 27 maart 1979, ook bekend onder Deltadienst, Projectorganisatie Stormvloedkering, SOCCOO-N-79272.
8. Otterloo, ir. R. van; Hortensius, ing. J.: Analyse van het bewegingssysteem voor de schuiven van de Stormvloedkering in de Oosterschelde (2) KEMA-rapport nr. WSK/30125-1, mei 1984. Gedeeltelijk herzien door directie Bruggen, Rijkswaterstaat.
9. Houben, R.: Faalkansanalyse Stormvloedkering, Mechanisme „debiet via open schuiven”. Rijkswaterstaat, Projectorganisatie Stormvloedkering, d.d. 13 november 1985, UMGEFO-M-85021.

## 4. Belangrijke keuzen voor het ontwerp

Tijdens het ontwerpproces moesten een groot aantal keuzen worden gemaakt uit mogelijke alternatieven.

De meeste keuzen betroffen uiteraard de vormgeving van allerlei details uit het ontwerp.

Enkele keuzen waren echter van een zodanig principiële aard dat zij de conceptie van het ontwerp van vooral het afsluitbare deel van de kering bepaalden.

In dit hoofdstuk wordt aan deze keuzen aandacht besteed. Daarbij wordt voorbijgegaan aan keuzen, hoe principeel ook, die reeds in de voorstudieperiode zijn gedaan, omdat daarover reeds elders (zie doc. 1) uitvoerig is gerapporteerd. Sommige van de hier te behandelen keuzen zijn reeds eerder in deze ontwerpnota (deelnota 1.1 hoofdstuk 4, deelnota 1.2 hoofdstuk 1) aan de orde geweest. Volledigheidshalve worden ze hier nog eens opgenomen.

### 4.1 Funderingsgrondslag

Een van de belangrijkste keuzen in het ontwerpproces was de keuze om de grondmechanische eigenschappen van de funderingsgrondslag zo goed mogelijk aan te passen aan de daaraan te stellen eisen door de constructies die er op moesten worden aangebracht. Hierdoor werden tot de diepliggende draagkrachtige lagen doordringende funderingsconstructies voor de pijlers overbodig en konden deze op staal worden gefundeerd. Deze keuze werd mogelijk gemaakt door de ontwikkeling van een techniek voor verdichting van de bodem in de diepte. Niet of slecht verdichtbaar bodem-materiaal kon worden vervangen door beter verdichtbaar materiaal (zand).

Een verdere optimalisatie van deze keuze werd bereikt door bij de aan te brengen grondverbeteringen tevens de geometrie van de funderingsgrondslag aan te passen aan het ontwerp (ophogingen in de diepste delen van de stroomgeulen). Hierdoor kon enerzijds de maximale hoogte van de pijlers worden beperkt en anderzijds meer uniformiteit worden gebracht in het pijlerontwerp.

### 4.2 Prefabricage

Door de hiervoor behandelde verbetering van de funderingsgrondslag werd ook de volledige prefabricage van de pijlers in principe mogelijk. Mede hierdoor werd de prefabricage van onderdelen tot een van de uitgangspunten voor ontwerp en uitvoering verheven.

De filosofie daarachter was het zoveel mogelijk weghalen van activiteiten uit de invloedssfeer van de omstandigheden op de bouwplaats (stroom, golven, wind), waardoor allerlei risico's konden worden beperkt. Op de aspecten van de prefabricage wordt in hoofdstuk 5 verder ingegaan.

### 4.3 Materiaalkeuze

De eis dat de stormvloedkering een functionele levensduur van tenminste 200 jaar moest hebben is een belangrijke leiddraad voor

de materiaalkeuze geweest.

Waar mogelijk zijn in de natuur voorkomende materialen met een grote bestendigheid (zand, grind, breuksteen) toegepast. Met name de breuksteen (graniet en basalt) is op soortelijk gewicht en duurzaamheid geselecteerd.

Voor de constructieve elementen (zoals pijlers, dorpelbalken, enz.) die voor een belangrijk deel niet of moeilijk vervangbaar zijn, is voorgespannen beton als constructiemateriaal gekozen.

Hoewel met dit materiaal geen langere ervaringen zijn opgedaan dan ca. 60 jaar, werd verwacht dat, aan de hand van de resultaten van gericht beton-technologisch onderzoek, deze constructies zodanig zouden kunnen worden ontworpen en uitgevoerd dat de verkregen kwaliteit voldoende waarborgen biedt voor een lange levensduur (zie ook Boek 3, Betonconstructies).

Voor de schuiven is de materiaalkeuze gevallen op staal. Het lage eigengewicht van daarin uitgevoerde constructies heeft hier de doorslag gegeven. Bovendien zijn deze onderdelen in principe vervangbaar en voor onderhoud redelijk bereikbaar.

De toepassing van kunststoffen met een blijvende functie in het geheel is zoveel mogelijk vermeden, vanwege de onzekere levensduur van deze materialen. Een uitzondering hierop vormt de toepassing van het zogenaamde geotextiel uit polypropyleenweefsel in de bodembescherming. De reden hiervoor was dat grote delen van deze bodembescherming reeds waren aangebracht (met een toen tijdelijke functie) in het kader van het oorspronkelijke plan tot totale afsluiting van de Oosterschelde. Voor het resterende deel zijn wel duurzaamheid verbeterende maatregelen genomen, maar of deze afdoende zullen blijken te zijn moet worden afgewacht. Voor een nadere uitwerking van deze problematiek wordt verwezen naar Deelnota 2.10. Overigens is de bodembescherming wel vervangbaar.

### 4.4 Enkele of dubbele kering

Hoewel voor een dergelijke constructie een dubbele kering niet ongebruikelijk is (Spuisluis Haringvliet, Stormvloedkering Hollandse IJssel) is in dit ontwerp gekozen voor een enkele kering.

Een nadere analyse van de mogelijke oorzaken en gevolgen van een weigerende schuif (zie doc. 1) wees uit dat enerzijds een dubbele uitvoering een betrekkelijk lage verhoging van de bedrijfszekerheid zou geven en anderzijds een weigerende schuif de veiligheid van de kerende functie slechts in geringe mate zou aantasten (zie ook hoofdstuk 3).

Naast de hoge investeringen in een extra stel schuiven en bewegingswerken zou een verdubbeling ook nog belangrijke extra investeringen in de pijler vragen.

De eindconclusie was dat de aanzienlijke meerkosten van een dubbele kering niet opwogen tegen een te bereiken grotere bedrijfszekerheid (dus veiligheid). Het leek meer rendabel om alle inspanningen te richten op een zo bedrijfszeker mogelijke uitvoering van een enkele kering.

#### 4.5 Keuze systeem bewegingswerken

Voor de bewegingswerken van de schuiven waren in principe twee systemen mogelijk:

- een elektro-hydraulisch systeem, gebaseerd op de toepassing van hydraulische cilinders;
- een elektro-mechanisch systeem, waarbij gebruik gemaakt werd van tandheugels en rondsels.

In geen van beide systemen werd gebruik gemaakt van contragewichten, zodat het volle schuifgewicht door het bewegingswerk moest worden gedragen.

Op het moment van de keuze was voor beide systemen een basisonwerp gereed. Een verdere uitwerking was nog noodzakelijk, omdat onder andere nog niet alle krachten op de schuiven bekend waren. In verband met de beschikbare voorbereidingstijd kon een beslissende keuze tussen de systemen echter niet verder worden uitgesteld.

Beide systemen werden beoordeeld op de aspecten:

- stand van het ontwerp;
- betrouwbaarheid;
- uitvoerbaarheid;
- onderhoud;
- planning;
- kosten;
- aesthetica.

In de totale beoordeling waren beide systemen vrijwel gelijkwaardig; waar er sprake was van verschillen in waardering, die afwisselend in het voordeel van het ene of het andere systeem uitvielen, waren dit meer nuanceverschillen.

Uiteindelijk werd gekozen voor het hydraulische systeem.

Als belangrijkste argumenten daarvan werden genoemd:

- dat de kans op problemen en kosten consequenties bij de uitwerking van het hydraulische ontwerp kleiner werden geacht dan voor het mechanische ontwerp;
- dat de grotere mogelijkheid tot continue toestandsbewaking op afstand bij het hydraulische ontwerp een verbetering van de bedrijfsvoering zou geven, hetgeen zijn weerslag zou inbrengen in de bedrijfszekerheid en het onderhoud;
- dat het hydraulische systeem aesthetisch beter in het geheel van de stormvloedkering paste en dat het naar verwachting minder windhinder zou opleveren voor de ernaast gelegen auto- en onderhoudswegen dan het mechanische, aangezien dit laatste systeem tot wat meer massieve eenheden op de pijlers zou leiden.

#### Documentatie bij par. 4.4.

1. Spek, ir. H.: Invloed van een weigerende schuif in de stormvloedkering op de waterstand op het Oosterscheldebekken. Rijkswaterstaat, Deltadienst, nota DDWT-78.005 of PEGEOO-N-78200, d.d. februari 1978.

bij par. 4.5.

2. Remery, ir. F.J.: Keuze type bewegingswerk, Projectorganisatie Stormvloedkering, 64BEWO-N-80023, d.d. 23 september 1980.
3. Anoniem: Keuze type bewegingswerk SVKO. Projectorganisatie Stormvloedkering, PB VI, 6PROBU-M-80213, d.d. 10 oktober 1980.



## 5. Prefabricage en vormvastheidsproblematiek

In deelnota 1.1. is het begrip prefabricage al meermalen genoemd. In hoofdstuk 1 van deze deelnota is verspreid al een belangrijk deel van de argumenten aangegeven die pleiten voor prefabricage van onderdelen voor de stormvloedkering. In dit hoofdstuk zullen die argumenten nog eens naast elkaar worden gezet, de gekozen indeling in te prefabriceren (betonnen)elementen nader belicht en wordt verder aandacht besteed aan de hiermee samenhangende problematiek van de vormvastheid.

In het algemeen geldt voor prefabricage dat:

- de productie van onderdelen van de bouwplaats wordt verplaatst naar een plek waar de omstandigheden beter controleerbaar zijn en/of betere productiefaciliteiten beschikbaar zijn. Hierdoor zal een kwalitatief beter produkt kunnen worden geleverd en kunnen, vooral bij een seriematige productie, kostenbesparingen worden bereikt;
- de productie van onderdelen decentraal en daardoor ongehinderd parallel kan plaatsvinden, waardoor de totale bouwtijd op de bouwplaats belangrijk kan worden ingekort;
- binnen zekere randvoorwaarden ieder onderdeel zelfstandig kan worden ontworpen.

Bij prefabricage dienen echter goede afspraken te worden gemaakt omtrent de afstemming van die randvoorwaarden, waarbij de maatvoering van de onderdelen een belangrijk element is, omdat die op de bouwplaats letterlijk als delen van een bouwdoos in elkaar moeten passen en aldaar de correctiemogelijkheden voor maatafwijkingen in het algemeen zeer beperkt zijn.

Bij de stormvloedkering waren vooral de omstandigheden in de drie stroomgeulen, waar de afsluitbare kering moest komen uitermate moeilijk voor de uitvoering van een bouwwerk van grote omvang. In de uit te voeren constructies was het repetitie-element ruim aanwezig. Een relatief korte realiseringstijd was een van de

belangrijkste randvoorwaarden voor het gehele project. Hierdoor is vooral voor de bouwwerkzaamheden aan de afsluitbare kering gekozen voor het principe: zoveel mogelijk arbeidsintensieve onderdelen, waaraan bovendien kwalitatief hoge eisen werden gesteld, te prefabriceren. Dit gold in het bijzonder voor de betonnen onderdelen, ondanks het grote gewicht daarvan. Voor de stalen, werktuigkundige en elektrotechnische onderdelen was het bijna vanzelfsprekend dat deze elders in fabrieken zouden worden geprefabriceerd. De voor de afsluitbare kering te prefabriceren onderdelen omvatten dan: de pijlers, de dorpel- en bovenbalken, de verkeerskokers, de hamerstukken en de schuiven met hun bewegingswerken (zie figuur 11). De voor de vastlegging van de makkelijk erodeerbare ondergrond noodzakelijke korrelige filterconstructies werden in de vorm van filtermatten eveneens geprefabriceerd omdat een opbouw ter plekke erg kwetsbaar was.

Karakteristiek voor deze indeling is dat de onderdelen overwegend betrekkelijk los in elkaar passen; dat wil zeggen dat de aansluitingen hoofdzakelijk dwarskrachten en vrijwel geen buigende momenten kunnen overbrengen. Dit heeft tot gevolg dat de inwendige weerstand van de constructie tegen van buitenaf opgedrongen vervormingen (zettingen in de ondergrond) gering is of omgekeerd: dat de vormvastheid van het geheel hoofdzakelijk wordt ontleend aan de vormvastheid van de funderingsgrondslag.

De keuze van de gegeven indeling van de te prefabriceren (betonnen)elementen was niet vanzelfsprekend. In principe waren er twee alternatieve mogelijkheden aanwezig, hetgeen aan de hand van de onderstaande uiteenzetting kan worden verduidelijkt.

Het afsluitbare deel van de stormvloedkering is opgebouwd uit een groot aantal secties met een vast en beweegbaar deel. Bovenbalk, dorpelbalk en pijler vormen het vaste deel; schematisch weergegeven in figuur 12. Bij het onderverdelen in vooraf te prefabriceren

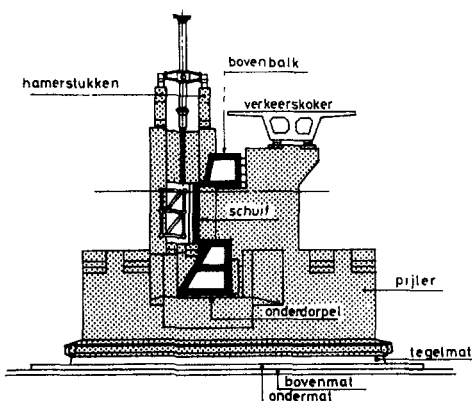
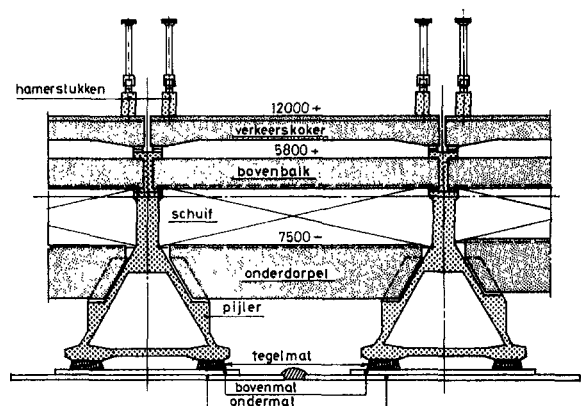


fig. 11



constructie-onderdelen kunnen grofweg twee methoden worden aangehouden (zie figuur 13).

Methode 1 gaat er van uit dat het vaste deel van elke sectie als een vormvast frame wordt geprefabriceerd en als een eenheid wordt geplaatst in het sluitgat.

Methode 2 gaat er van uit dat het vaste deel van elke sectie als losse stijlen (pijlers) en regels (bovenbalk, dorpelbalk) wordt geprefabriceerd en in het sluitgat samengesteld.

Het zal duidelijk zijn dat methode 1 favoriet is, indien alleen wordt gelet op pas- en meetwerk ten aanzien van de beweegbare delen. Een maatafwijking bij het plaatsen van het frame en de onvlakheid van de fundatie zullen geen invloed hebben op de speling tussen schuif en pijler en daardoor ook geen invloed hebben op de bewegingsmogelijkheid van de schuif. Dit in tegenstelling tot methode 2 (zie figuur 14), waarbij tevens de speling tussen bovenbalk, dorpelbalk en pijler wordt beïnvloed.

In het voorontwerpstadium is methode 1 één van de alternatieven geweest. Deze methode vraagt echter grote eenheden (caissons). De hiermee samenhangende fundatieproblemen en de kosten waren de belangrijkste oorzaken voor het afwijzen daarvan. In deelnota 1.1. hoofdstuk 4 is reeds geschetst hoe de ontwikkeling tot het concept volgens methode 2 heeft plaatsgevonden. De keuze voor methode 2 houdt in dat het samenstellen en het functioneren van de kering sterk afhankelijk is van optredende maatafwijkingen en van een goede detaillering van de aansluitpunten.

Naast alle voordelen van prefabriceren blijkt hieruit dat de vormvastheid een belangrijk probleemveld is dat kan worden onderverdeeld in:

- het tijdens de samenbouw met de gewenste nauwkeurigheid reproduceren van de ontworpen maatvoering, en
- de mogelijkheid van tijdens de levensduur optredende vervormingen.

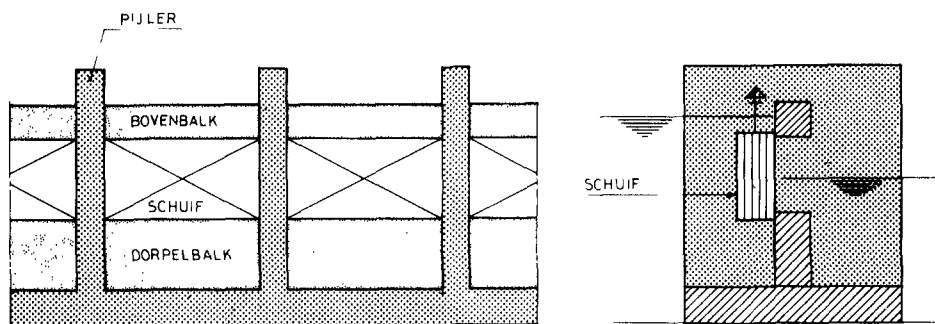


fig. 12

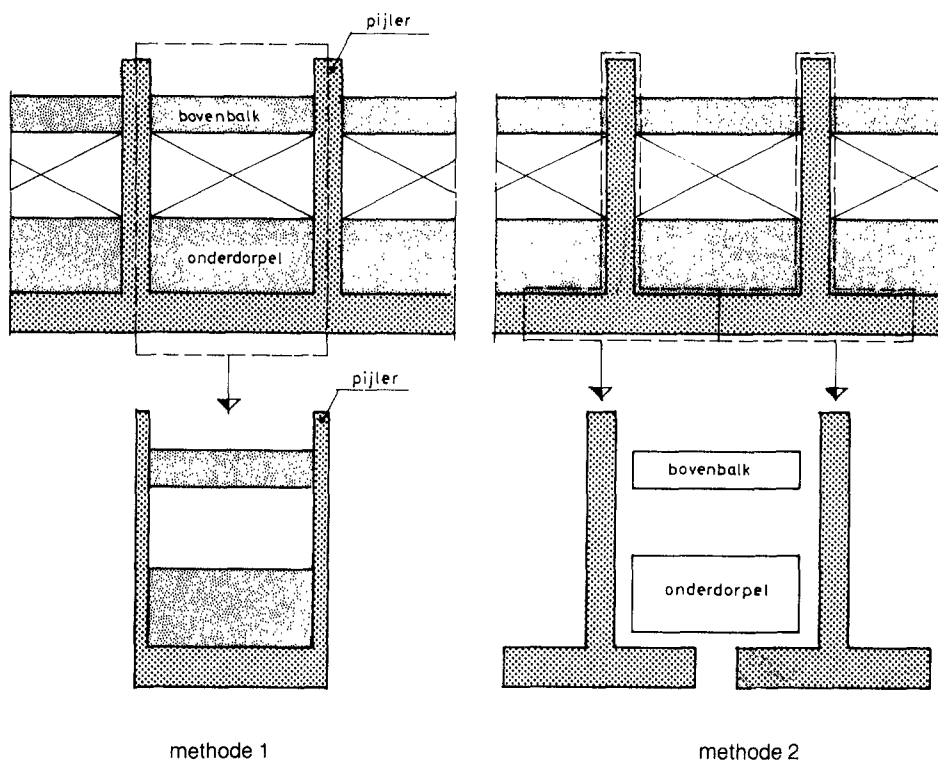


fig. 13

Uit figuur 14 blijkt dat afwijkingen in de positie van de pijlers kritisch zijn voor de vorm van het geheel. Anderzijds wordt de toelaatbaarheid van afwijkingen in de vorm beperkt door het moeten kunnen bewegen van de schuif in de, in de pijler aangebrachte, geleidingen en de constructieve mogelijkheden van schuifaanslag en geleiding.

Naast alle andere mogelijke maatafwijkingen zijn deze twee elementen het meest bepalend voor de hele problematiek.

Bij een verdere analyse van het probleemveld van de vormvastheid kan dit worden onderverdeeld in:

- het opsporen van oorzaken die het passen van de onderdelen beïnvloeden;
- het vaststellen van uitgangspunten bij het samenstellen en beoordelen van maatafwijkingen;
- het vaststellen van tolerantiegrenzen;
- het bepalen van de invloed van meetprocedures en de volgorde van uitvoeren;
- het vaststellen van keuringsprocedures tijdens de uitvoering;
- het inventariseren van maatregelen om tegenvallers op te vangen.

Deze punten zullen niet verder uitgebreid worden uitgewerkt. Er wordt volstaan met een aantal opmerkingen.

Maatafwijkingen kunnen ontstaan door:

- deformaties in de funderingsgrondslag, zowel tijdens de bouw als gedurende de levensduur van de kering; nader onder te verdelen in:
    - \* deformaties van de ondergrond, afhankelijk van de samenstelling van de grond en de mate van verdichting in relatie tot de optredende belastingen
    - \* deformaties van het funderingsbed (filtermatten) door het mogelijk uitspoelen van eventueel tijdens de bouw ingesloten zandlenzen tussen de matten onderling en/of de bovenmat en de pijlervoet
- maatafwijkingen voortvloeiend uit de beperkte nauwkeurigheid van de toegepaste bewerkings- en fabricagetechnieken. Vooral de nauwkeurigheid van het vlakbaggeren van het oplegvlak van de funderingsmatten onder de pijlervoet en de plaatsingstechniek van de pijlers was hierbij belangrijk;

- de beperkingen in de nauwkeurigheid van de toegepaste meettechnieken, met name bij de plaatsbepaling op en onder water;
- de beperkingen in de gelijkloop van de schuiven door de in principe onafhankelijk werkende bewegingswerken aan weerskanten van een schuif.

Het mogelijk optreden van alle deformaties en maatafwijkingen is uitvoerig geanalyseerd en kwantitatief zo goed mogelijk ingeschat. Er werd van uitgegaan dat de werkelijk optredende afwijkingen zich normaal zouden verdelen rond een zeker gemiddelde, waarbij voor de door te berekenen bandbreedte (tolerantie ruimte) werd uitgegaan van 95% betrouwbaarheids grenzen.

De maatafwijkingen werden volgens de regels van de waarschijnlijkheidsleer samengesteld en doorberekend naar hun uitwerking op de kritische punten in de samenstelling van de onderdelen.

De hierboven bedoelde kritische punten waren:

- de positie van de fundatiematten ten opzichte van de gewenste positie van de pijler;
- de aansluitingen van de dorpelbalk, bovenbalk en verkeerskoker aan de pijler;
- de aanslagen van de schuiven en de schuifgeleidingen op de pijler.

Ter beperking van de noodzakelijke tolerantieruimte is gekeken naar mogelijkheden om de nauwkeurigheid van de toe te passen bewerkings- en meettechnieken te verbeteren. Dit gold in het bijzonder voor het vlakbaggeren van de funderingsgrondslag onder de pijlervoet en voor het inmeten en plaatsen van de pijlers.

Om op de genoemde kritische punten het uit de produktiemogelijkheden ontstane tolerantieveld verder te verkleinen is in het ontwerp gezocht naar mogelijkheden om onderweg tijdens de bouw nog maatcorrecties aan te brengen.

Zo is de tegelmat ontworpen om een eventuele onvlakheid van het funderingsbed te compenseren. Bij het ontwerp en de produktie van de dorpel- en bovenbalken, de verkeerskokers en de schuiven werd de mogelijkheid geschapen om in een stadium na het plaatsen van de pijlers, voornamelijk de lengte nog aan te passen aan de gerealiseerde posities van de pijlers waartussen ze moesten komen.

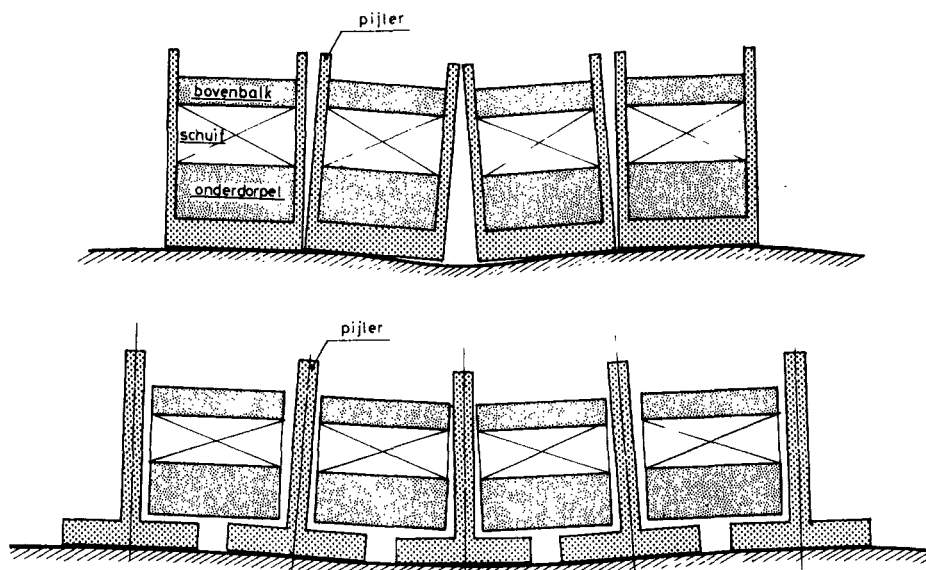


fig. 14

Al de hiervoor in het kort beschreven analyses, overwegingen en maatregelen resulteerden in de samenstelling van uitgebreide tabellen met maattoleranties waaraan onderdelen en samenbouwfases moesten voldoen en waarin tevens de beschikbare tolerantieruimte voor vervormingen van de hele constructie tijdens de levensduur werd aangegeven.

In tabel 2 zijn hiervan de belangrijkste aangegeven. Hierin wordt gerefereerd aan een assenstelsel per pijler waarvan de z-as de verticaal is en de y-as de lengte-as van de kering.

Behalve als toetsingsnorm voor productie en samenbouw, werden de tolerantiegegevens tevens gehanteerd als randvoorwaarde voor het ontwerp in detail van de diverse onderlinge aansluitpunten van de geprefabriceerde onderdelen.

Op deze wijze werd bereikt dat alle onzekerheden in de maatvoering zo evenwichtig mogelijk over de hele constructie werden verdeeld en dat de kans op ontoelaatbare maatafwijkingen in het eindresultaat zo klein mogelijk werd gehouden.

Tabel 2  
Tolerantiegrenzen voor de belangrijkste deelprocessen in mm en mm/m

	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta \phi_x$	$\Delta \phi_y$	$\Delta \phi_z$
<b>bouwfase:</b>						
fabricage pijler	$\pm 25$	$\pm 25$	$\pm 25$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$	-
fabricage schuif	-	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 0,4$	-	-
leggen bovenmat	$\pm 1000$	$\pm 1000$	$\pm 95$	$\pm 9,3$	$\pm 3,7$	$\pm 20$
leggen tegelmat	$\pm 1000$	$\pm 650$	$\pm 200$	$\pm 5,2$	$\pm 2,6$	$\pm 14$
plaatsen pijler	$\pm 300$	$\pm 300$	-	-	-	$\pm 4,2$
<b>eindfase:</b>						
gronddeformaties	0 + 92	$\pm 45$	+ 58 + 95	$\pm 1,2$	$\pm 2,9$	$\pm 0,3$
uitspoelen zandlagen	-	-	$\pm 50$	$\pm 2,8$	$\pm 1,4$	-
ongelijkloop schuif	-	-	-	$\pm 3,7$	-	-

## 6. Het probabilisme in het ontwerpen

### 6.1 Algemeen overzicht

Het ontwerpen van een civiele constructie komt in belangrijke mate neer op het zodanig dimensioneren van de componenten dat zij de grootste te verwachten belastingen kunnen weerstaan. Door middel van statische (of desnoods dynamische-) berekeningen worden de krachten in de constructie bepaald.

Om tot een veilige constructie te komen zijn een viertal methoden bekend.

In het verleden werd de zuiver deterministische methode toegepast. Daarbij werden de op de constructie werkende belastingen, voor zover niet exact te bepalen als geschatte standaard belastingen ingevoerd.

De dimensionering van het ontwerp geschiedde aan de hand van vastgestelde toelaatbare spanningen.

De veiligheid van het ontwerp werd bij deze methode bepaald door de mate waarin de belastingen pessimistisch waren ingeschat en de marge tussen de toegelaten spanningen en de werkelijke sterkte van het toegepaste materiaal. Een werkelijk inzicht in de bezwijkkans werd niet gegeven.

Deze methode is echter successievelijk verlaten, omdat het inzicht veld gewonnen heeft, dat het voor de veiligheid van een constructie veel belangrijker is om de marge tot de bezwijktoestand te beschouwen. Deze marge wordt gewoonlijk met een „veiligheidscoëfficiënt” overbrugd.

Bij de zogenaamde quasi-probabilistische methode worden van de materiaaleigenschappen en de belastingen ongunstige „karakteristieke” waarden ingevoerd, die een geringe kans (meestal 5%) hebben om te worden onder- respectievelijk overschreden. Voor de veiligheidscoëfficiënt wordt een bepaalde voorgeschreven waarde gebruikt. Momenteel is dit de gangbare veiligheidsbeschouwing voor alle civiele constructies (zie de bouwvoorschriften NEN 3850, NEN 3851, NEN 3861). Hoewel hierin beter rekening is gehouden met de kansverdeling in belastingen en materiaaleigenschappen is de methode toch overwegend deterministisch en geeft ook deze nog betrekkelijk weinig inzicht in de werkelijke bezwijkkans. Bij een gelijkblijvende veiligheidscoëfficiënt blijken namelijk de variatiecoëfficiënten van de belasting en de sterkte van invloed te zijn op de bezwijkkans (zie onder andere doc. 1).

Een beter inzicht in de bezwijkkans wordt verkregen bij de semi-probabilistische methode, waarbij wordt uitgegaan van een geaccepteerde faalkans voor de te ontwerpen constructie. Rekening houdend met de variatiecoëfficiënten behorend bij de belasting, de voor het ontwerp noodzakelijke schematiseringen (berekeningen, modellen, etc.) en de materiaaleigenschappen wordt voor deze drie groepen afzonderlijk een veiligheidscoëfficiënt vastgesteld, als regel onder toevoeging van een coëfficiënt voor overbelasting. Voor het overige is deze methode gelijk aan de quasi-probabilistische methode.

De vierde methode is de zuiver probabilistische methode. Hierin worden de kansdichtheidsfuncties die betrekking hebben op de belastingen op- en de sterkte-eigenschappen van ieder relevant onderdeel van de constructie volgens de regels van de

waarschijnlijkheids-theorie (probabilisme) gecombineerd tot een bezwijkkans voor dat onderdeel. Voor de hele constructie wordt systematisch, met behulp van logische gebeurtenissenbomen nagegaan welke begingebourtenissen (bezwijken van onderdelen) zouden kunnen leiden tot het bezwijken van de hele constructie. Deze begingebourtenissen worden met behulp van een foutenboom gezamenlijk in relatie gebracht tot de eindgebeurtenis (het bezwijken van de hele constructie). Wederom met behulp van probabilistische rekenregels wordt dan de gezamenlijke kans van optreden van de begingebourtenissen vertaald naar een kans van optreden van de eindgebeurtenis. Deze laatste kans kan dan worden getoetst aan een acceptatienorm (zie ook hoofdstuk 3).

Aan de belastingzijde wordt de kansdichtheidsfunctie (k.d.f.) daarvan bepaald door de k.d.f. van de natuurrandvoorwaarden die de belasting bepalen en de k.d.f. van de juistheid van de overdrachtsfuncties die deze randvoorwaarden vertalen naar concrete belastingen.

Aan de sterktezijde zijn de kansdichtheidsfuncties van de materiaaleigenschappen, de juistheid van de bij de sterktebepaling toegepaste modellering (zowel rekenkundig als praktisch) en de kwaliteit van de uitvoering van belang. Deze methode veronderstelt het bekend zijn van alle relevante gegevens en gaat uit van een concreet ontwerp. In tegenstelling tot de eerste drie genoemde methoden, die constructief genoemd kunnen worden, in de laatste methode eerder retrospectief van karakter en is daardoor zelfstandig vrijwel niet toe te passen, maar geeft wel het beste inzicht in de werkelijke bezwijkkans.

In de civiele techniek zijn de genoemde methoden hoofdzakelijk ontwikkeld voor een toepassing bij het ontwerpen van beton- en staalconstructies. Bij het ontwerpen in de grondmechanische en typisch waterbouwkundige discipline (bijvoorbeeld bodembescherming) hebben ze niet of nauwelijks ingang gevonden. Een geheel andere ontwerppraktijk, met veel meer empirische benaderingen is daar gebruikelijk. De traditioneel daarbij gehanteerde veiligheidsfilosofieën zijn van een andere aard dan die voor beton- en staalconstructies gebruikelijk zijn.

### 6.2 Toepassingen in het ontwerp van de stormvloedkering

De stormvloedkering als geheel is een hybride constructie; dat wil zeggen dat de onderdelen daarvan thuishoren in verschillende disciplines van de civiele techniek, n.l.: typisch waterbouwkundige-, grondmechanische-, beton- en staalconstructies. Dit geldt nog sterker voor het afsluitbare deel van de kering in de drie geulen, waar de aandacht in het bijzonder naar uitging.

Werken in het grote geheel de onderdelen nog min of meer onafhankelijk van elkaar, bij de afsluitbare kering vormen de onderdelen in onderlinge afhankelijkheid één functionerend systeem (zie ook hoofdstuk 2). Omdat de onderdelen vanuit verschillende disciplines werden ontworpen bestond er, in het bijzonder voor de afsluitbare kering, het gevaar, dat er verschillende veiligheidsfilosofieën in één systeem zouden worden gehanteerd, hetgeen in strijd zou zijn met het streven naar een evenwichtig ontwerp.

Voor de bestudering van deze problematiek en het aandragen van oplossingen werd de werkgroep Ontwerp Methodiek (OM) opgericht (zie ook deelnota 1.1, par. 5.2.2).

Een oplossing werd gevonden door de ontwerpproblematiek in hoofdzaak volgens twee strategieën te benaderen, waaraan voor enkele onderdelen nog een derde strategie is toegevoegd (doc. 2 t/m 5).

De eerste strategie (in het taalgebruik van de Projectgroep „spoor A” genoemd) is de semi-probabilistische benadering, zo goed mogelijk toegepast in de verschillende ontwerpdisciplines. Uit deze benadering volgde een concreet ontwerp voor het betrokken onderdeel.

De tweede strategie (spoor B) is de zuiver probabilistische bezwijkkanalyse van de uit „spoor A” verkregen ontwerpen. In een foutenboom werden de kansen op bezwijken van onderdelen kwantitatief ingevuld en samen met de kwantitatieve invulling van de kans op andere mogelijke oorzaken voor het falen van de hele kering gecombineerd tot een totale faalkans. Dit vormde dan de reeds in hoofdstuk 3 behandelde totale faalkansanalyse van de hele kering. De derde strategie (spoor C) was een economische optimalisatie van het ontwerp. Deze methode bevatte, naast de elementen van spoor B, ook nog de bepaling van het economisch optimum tussen initiële investeringen en de over de levensduur gekapitaliseerde schadeverwachting. Met behulp van deze berekeningen kon worden nagegaan of met een geringe extra investering een relatief grote mate aan winst in veiligheid kon worden verkregen.

### 6.3 Nadere uitwerking van de strategieën

#### 6.3.1 Grenstoelstanden

Een centraal uitgangspunt, voor het ontwerp van de kering en de onderdelen daarvan volgens de strategieën A en B, was de vaststelling van de maatgevende grenstoelstanden voor de verschillende onderdelen. Hiervan is voor de stormvloedkering een uitgebreide inventarisatie en beschrijving gemaakt (zie doc. 6).

De grenstoelstand van een onderdeel kan in algemene termen worden gedefinieerd met:

Het nog juist aanvaardbare (door het ontwerpproces te voorstellen) gedrag van een constructie-onderdeel onder bepaalde omstandigheden (belasting toelstand).

In de omschrijving van wat in het gedrag nog juist aanvaardbaar is, worden de aan het onderdeel gestelde, functionele, eisen verwerkt.

In termen van belasting en sterkte kan de grenstoelstand worden gedefinieerd met:

De toelstand van een onderdeel waarin belasting en sterkte met elkaar in evenwicht zijn.

De kans op overschrijding van de grenstoelstand door een hogere belasting dan wel door een lagere sterkte is de bezwijkkans van het constructie-onderdeel.

De eerste definitie is ruimer dan de tweede, niet ieder nog juist aanvaardbaar gedrag is gekoppeld aan bezwijken. Zo werden bijvoorbeeld de betonconstructies behalve op sterkte (= bezwijken) ook nog gedimensioneerd op de vereiste levensduur van 200 jaar. Hierbij werd als aanvaardbaar gedrag aangemerkt:

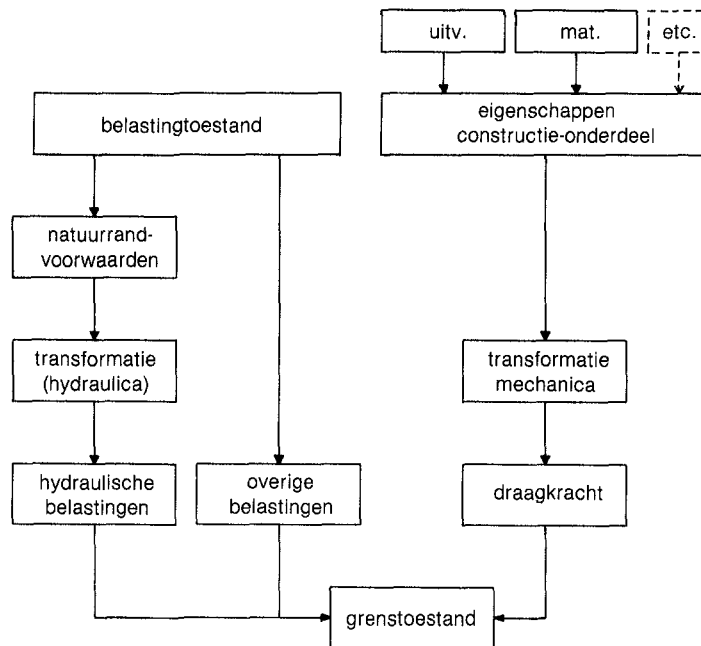
Een zodanige (geringe) scheurvorming dat nog geen gevaar bestaat voor een corrosie-aantasting van het wapeningsstaal.

(Zie verder boek 3).

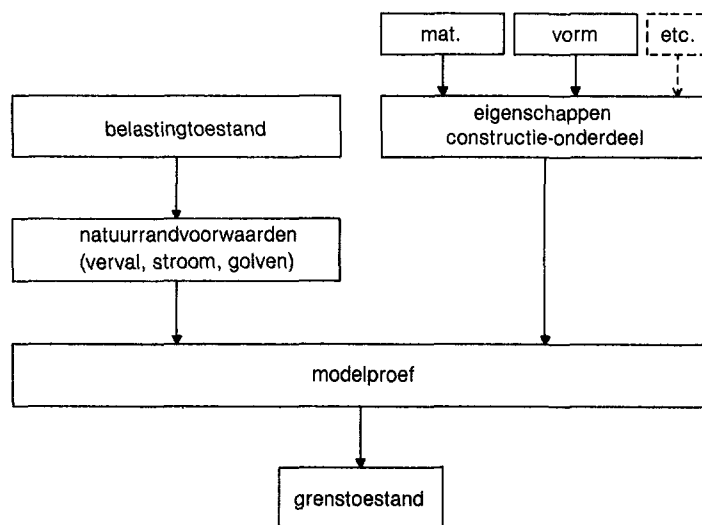
In de zin van de tweede definitie is voor het ontwerp de beschrijving van de relatie tussen belasting en sterkte bepalend.

Wanneer op grond van theoretische en praktische kennis deze relatie volledig analytisch kan worden beschreven, dan kunnen de elementen van deze beschrijving volgens schema I worden weergegeven. Dit is in de regel het geval bij beton-, staal- en grondmechanische constructies.

Voor het sterkte-aspect: erosiebestendigheid van uit korrelige materialen opgebouwde waterbouwkundige constructies (bodembescherming, toplaag van drempel en breukstenen dam), is een analytische beschrijving van de relatie belasting-sterkte niet mogelijk en moet deze relatie aan de hand van (schaal-)modelproeven worden vastgesteld. De elementen van de relatiebeschrijving kunnen dan worden weergegeven volgens schema II.



schema I



schema II

### 6.3.2 Spoor A strategie

In deze strategie werd voor het ontwerp de grenstoestand, volgens schema I of II, beschreven op een deterministische wijze.

Door middel van partiële veiligheidsfactoren, afgestemd op de geaccepteerde faalkans, werd rekening gehouden met de mogelijke spreiding (onzekerheid) in de verschillende elementen, vooral aan de draagkrachtzijde.

Toegesplitst op de concrete situatie voor het ontwerp en de uitvoering van de stormvloedkering is, met in achtname van de richtlijnen uit ISO 2394, de vaststelling van de partiële veiligheidscoëfficiënten onderwerp geweest van een uitvoerige studie (doc. 7).

Hoewel de Nederlandse bouwvoorschriften voor beton- en staalconstructies veiligheidscoëfficiënten aangeven, waren dit soort richtlijnen voor grondmechanica en waterbouwkunde niet beschikbaar. Verder was de studie noodzakelijk om te waarborgen dat het veiligheidsbegrip in de verschillende disciplines op gelijke wijze zou worden gehanteerd. Uit deze studie werden voor de verschillende ontwerpdisciplines de volgende karakteristieke veiligheidscoëfficiënten vastgesteld:

beton	- 1.4
staal	- 1.2
natte werken	- 1.5
grond	- 1.4.

Aan de belastingzijde werden de bekende gegevens van de natuurrandvoorwaarden probabilistisch bewerkt tot voor de verschillende onderdelen maatgevende combinaties (zie deelnota 1.3).

Voor de voor het bezwijken van de hele kering vitale onderdelen hadden deze combinaties een overschrijdingskans van  $2,5 \times 10^{-4}$  per jaar en werden de daaruit voortvloeiende belastingen aangemerkt als een extreme belasting ( $Q_e$ ), waarop geen veiligheidscoëfficiënt voor overbelasting meer werd toegepast.

Voor niet vitale delen en voor de dimensionering op levensduur van de betonconstructies werd uitgegaan van combinaties met een overschrijdingskans van  $10^{-2}$  per jaar. De daaruit voortvloeiende belastingen werden als karakteristieke belastingen ( $Q_k$ ) aangemerkt, waarop in het algemeen nog een veiligheidscoëfficiënt voor overbelasting van 1.2 werd toegepast.

Voor de, voor het ontwerp maatgevende, bouwfasebelastingen (zie ook hoofdstuk 2 en deelnota 1.3) werden afhankelijk van de bouwfaseduur hogere overschrijdingskansen aangehouden voor de karakteristieke belastingen.

### 6.3.3 Spoor B strategie

Zoals reeds eerder in par. 6.2 is aangegeven vormt de in hoofdstuk 3 behandelde totale faalkansanalyse een belangrijk onderdeel van de spoor B strategie. Men zou zelfs kunnen stellen dat dit het essentiële deel van deze strategie is, omdat hierin alle mogelijk geachte oorzaken tot falen zijn opgenomen en hieruit valt af te leiden in welke mate de kans op een bepaalde begingebuurtenis doorwerkt naar de kans op de maximale eindgebeurtenis en de evenwichtigheid van het ontwerp kan worden beoordeeld.

In de foutenboom, die als basis dient voor de faalkansanalyse, zijn onder andere als begingebuurtenis ingevoerd, het bezwijken van onderdelen van de kering.

Kwantitatief werd hier de bezwijkkans ingevoerd met de kans van doorwerking naar de logische vervolgebuurtenissen.

Allereerst werden per onderdeel vanuit het overschrijden van de grenstoestand, gebeurtenissenbomen opgezet, waarin alle mogelijke logische vervolgebuurtenissen werden geïnventariseerd. Hieruit werden die takken gelicht, die leidden tot de maximale eindgebeurtenis, en ondergebracht in de foutenboom van de totale faalkansanalyse.

De kans op overschrijding van de grenstoestand werd per onderdeel zo goed mogelijke berekend, uitgaande van een ontwerp gemaakt volgens spoor A.

Hiertoe werden de kansdichtheidsfuncties van de elementen uit de beschrijving van de grenstoestand (schema I en II van par. 6.3.1.) volgens de regels van het probabilisme samengevoegd en de overschrijdingskans afgeleid.

In het geval van schema I vroeg dit een grote hoeveelheid berekeningen en in het geval van schema II een groot aantal modelproeven, reden waarom deze zuiver probabilistische bezwijkkans berekening alleen voor de belangrijkste onderdelen is uitgevoerd.

In eerste instantie werden daarbij de kansdichtheidsfuncties voor de kwaliteit van de uitvoering aan de hand van schattingen ingevoerd. In een later stadium werden deze kansdichtheidsfuncties aan de hand van de uitvoeringservaringen gecontroleerd.

Geheel analytisch zijn deze probabilistische berekeningen uitgevoerd voor:

- de hoofddoorsnede van de pijlervoet;
- de algehele stabiliteit van de pijler;
- de dorpelbalken;
- de bovenbalken;
- de hoofdliggers van de schuiven.

Mede aan de hand van (schaal-)modelproeven werden deze berekeningen uitgevoerd voor:

- de toplaag van de drempel en de breukstenen dammen;
- de overgangsconstructie tussen drempel en stortebed;
- de bodembescherming, met name in de nabijheid van de kering aan de Oosterscheldezijde.

Voor de overige onderdelen werd op basis van het volgens spoor A tot stand gekomen ontwerp, voor zover nodig, een zo goed mogelijke schatting van de bezwijkkans gemaakt.

#### 6.3.4 Spoor C strategie

In de economische benadering wordt de bezwijkkans van een onderdeel vertaald in een te betalen jaarlijkse verzekeringspremie voor de daaruit voortvloeiende in geld uitgedrukte schade. De afkoopwaarde van deze verzekeringspremie wordt opgeteld bij de investeringskosten voor de ontwerpvariant, waarvoor de schadekans is berekend. Bij het optimale ontwerp is de som van de investering en afkoopwaarde van de schadekans minimaal. In het ontwerp van de stormvloedkering werd deze methode vooral gebruikt om na te gaan of een zekere extra versterking van een onderdeel (= verlaging van de bezwijkkans) rendabel zou kunnen zijn voor de beperking van de totale schadeverwachting aan de kering. Hierbij werd dan de economische vervolgschade aan Zeeland buiten beschouwing gelaten, omdat het hele besluit tot aanleg van de stormvloedkering niet op economische motieven was gebaseerd (zie deelnota 1.1, hoofdstuk 2).

Deze economische optimalisatie per onderdeel kende twee beperkingen.

De eerste beperking was, dat de optimale bezwijkkans hoger zou komen te liggen dan aanvaardbaar was volgens de (afgeleide) normen van de Delta-veiligheid.

De tweede beperking was, dat het effect van de versterking van een bepaald onderdeel werd overheerst door de bezwijkkans van een onderdeel, gelegen in een andere tak van de foutenboom.

Het eindresultaat van deze beperkingen was dat uiteindelijk de spoor C strategie hoofdzakelijk effectief is toegepast bij onderdelen, waarvan het eventuele bezwijken een ondergeschikte rol speelde in de foutenboom voor de totale faalkans van de kering, dan wel daarin in het geheel niet voorkwamen, zoals bijvoorbeeld de bodembescherming aan de zeezijde van de kering.

#### Documentatie:

1. Anoniem, Stormvloedkering in de Oosterschelde, Onderzoek naar geavanceerde methoden ten behoeve van een harmonisatie van het ontwerp; d.d. 20 april 1976 TNO, Groep Bijzondere Studies, Bureau Risico-analyse. Ref.nr. 76-20-04, opdracht nr. 014012.

2. Projectgroep Stormvloedkering Oosterschelde, Nota nr. 2, d.d. februari 1977, PGO 214 met bijlage 1.
3. Projectgroep Stormvloedkering Oosterschelde, Nota nr. 6, d.d. mei 1978, PEGEOO-N-78157.
4. Projectgroep Stormvloedkering Oosterschelde, PGO-nota nr. 7, d.d. december 1978, PEGEOO-N-78293.
5. Projectgroep Stormvloedkering Oosterschelde, PGO-nota nr. 8, d.d. juli 1979, PEGEOO-N-79100.
6. Mulder, ir. Th., e.a.: Grenstoestandennota (concept en onvolledig), Werkgroep Ontwerpmethodiek, d.d. 1 juni 1976, SOOCOO-N-79174.
7. Mulder, ir. Th., e.a.: Nota onderbouwing veiligheidscoëfficiënten (onvolledig), d.d. 1 oktober 1979, Werkgroep Ontwerpmethodiek, SOOCOO-N-79364.

#### Literatuur:

1. Kooman, D.; Mulder, T.; Quelerij, L.de; Vrijling, J.K.: Probabilistic approach to determine loads and safety factors, Symposium on foundation aspects of coastal structures, Delft, 9-12 oktober 1978, Proceedings vol. 1, paper III.1.
2. Kooman, ir. D.; Schaik, ing. H.H. van: Probabilistische ontwerpmethodiek, Cement XXXI (1979) nr. 12.
3. Kooman, D.; Stuij, J.: Scope and programming of hydraulic research in relation to the realization process, in: Hydraulic Aspects of Coastal Structures, part 1, II Design philosophy and Strategy in the project related research, 1980, Delft University Press, ISBN 90 6275 0540.
4. Mulder, Th.; Vrijling, J.K.: Probabilistic load determination, zie verder bij 3.
5. Vrijling, drs. ir. J.K.: Probabilistische methoden in het ontwerp van de stormvloedkering, Cement XXXIV (1982) nr. 11.



## 7. Wisselwerking tussen onderzoek en projectrealisatie

Het onderzoek heeft in het ontwerp en de uitvoering van de Stormvloedkering een grote rol gespeeld. Het belang van deze rol komt organisatorisch tot uiting in de instelling van de stafgroep SOCCOO, die de coördinatie en budgetbewaking van het onderzoek moest verzorgen en het management van de projectorganisatie moest adviseren omtrent het uit te voeren onderzoek. Financieel komt deze rol tot uiting doordat de onderzoekskosten bij elkaar ca. 5% van de totale stichtingskosten van de kering hebben uitgemaakt. (ontwerp- en onderzoekskosten samen ca. 20%). Dit aandeel is belangrijk hoger dan voor een groot waterbouwkundig werk gebruikelijk is.

De combinatie van voor dit werk specifieke problemen:

- het bouwen op een voor wind, golven en stromingen weinig beschutte locatie,
- op een erosiegevoelige funderingsbodem met geringe draagkracht,

gekoppeld aan hoge eisen voor wat betreft:

- veiligheid,
- bedrijfszekerheid,
- stabiliteit,
- levensduur van de uit te voeren constructies,

nog verder ingeperkt door randvoorwaarden als:

- een zo gering mogelijke verstoring van de aanwezige morfologische situatie,
- een beperkt beschikbaar budget,
- een relatief korte beschikbare bouwtijd,

maakten dat traditionele oplossingen niet toepasbaar waren.

Een doorbraak naar nieuwe constructies en werkmethoden was noodzakelijk. Dat deze doorbraak niet ineens kwam, maar geleidelijk tot stand kwam aan de hand van onderzoek van talrijke vraagstukken mag reeds duidelijk zijn geworden uit Deelnota 1.1 hoofdstuk 4. Bovendien moesten een groot aantal vraagstukken, betrekking hebbend op:

- de optredende belastingen op de kering of onderdelen daarvan,
- een zo groot mogelijke levensduur van de kering;
- de veiligheid van de kering;
- de bedrijfszekerheid van de bewegende elementen,

aan de hand van onderzoek worden opgelost.

Het voert te ver om alle onderzoek in detail te behandelen. In grote lijnen kan een onderscheid gemaakt worden tussen:

- onderzoek in het terrein naar geologische, grondmechanische en hydraulische gegevens ter bepaling van de zogenoemde natuurlijke randvoorwaarden voor het project, zowel tijdens de bouw als in de definitieve toestand;
- onderzoek aan waterloopkundige modellen ter bepaling van de vormgeving en het voorspellen van optredende stromingen en golfbelastingen, alsmede van morfologische verschijnselen (aanzandingen/ontgrondingen), eveneens zowel in de bouwfase als in de eindfase;
- onderzoek aan grondmechanische modellen ter bepaling van de aan te houden waarden voor de belastingoverdracht van de betonconstructies naar de ondergrond en de daarbij te

verwachten verplaatsingen;

- onderzoek aan waterloopkundige en dynamische modellen ter bepaling van de dynamische belastingen op - en als gevolg daarvan het dynamische gedrag van - de sluitingsmiddelen;
- materiaal technologisch onderzoek ter optimalisatie van de uit te voeren betonconstructies met het oog op de vereiste lange levensduur en ter optimalisatie van de conservering van de zuigerstangen van het hydraulische bewegingswerk;
- onderzoek naar de eigenschappen en/of bruikbaarheid van ontworpen constructies en materieel of details daarvan;
- onderzoek naar de gebruiksmogelijkheden voor het project van elders reeds toegepaste technieken voor met name het vlakbaggeren en opschonen van het funderingsbed, de plaatsbepaling boven- en onderwater, alsmede de verdere ontwikkeling van deze technieken;
- onderzoek ter ontwikkeling van nieuwe werkmethoden of constructies;
- het ontwikkelen van stochastische rekenmodellen ter extrapolatie van prototypemetingen en schaalmodelonderzoeksresultaten;
- het ontwikkelen van nieuwe en geavanceerde ontwerpmethoden gebaseerd op de stochastische eigenschappen van zowel de belastingen op als de sterkte van de te bouwen constructies en haar onderdelen.

De eerste twee genoemde soorten onderzoek (in het terrein en aan waterbouwkundige modellen) zijn vrij gebruikelijk voor waterbouwkundige werken van enige omvang en daarom niet zo bijzonder. De schaal van het onderzoek was echter dermate groot, dat speciale uitrusting is ontwikkeld om betrouwbaar en snel grote hoeveelheden gegevens te produceren.

De overige soorten komen in het algemeen niet zo vaak voor en vrijwel zeker niet in een omvang en intensiteit zoals die in dit project hebben plaatsgevonden. Deze onderzoekingen hadden veelal een innoverend karakter.

Het ging er vaak om:

- nieuwe ideeën op hun bruikbaarheid te onderzoeken en verder te ontwikkelen;
- specifieke problemen meer fundamenteel te onderzoeken om langs die weg te komen tot bruikbare oplossingen.

Bepaalde oplossingen hebben soms een hele ketting reactie van nieuwe ontwikkelingen veroorzaakt. Zo heeft de ontwikkeling van de methode voor het in de diepte onderwater verdichten van losgepakte zandlagen, gecombineerd met de methode om, d.m.v. uit verschillende korrelgrootten opgebouwde filterlagen, ontgrondingen door grote cyclische verhangen in het porieënwater te voorkomen, geleid tot:

- de mogelijkheid om alle betonnen onderdelen van de kering te prefabriceren en, voorzover nodig, direct op de zandbodem te plaatsen;
- de ontwikkeling van de daarvoor vereiste filtermatten voor het funderingsbed;
- de ontwikkeling van de uiterst nauwkeurige baggertechniek

met behulp van de dustpan-zuigmond;

- de verdere ontwikkeling van uiterst verfijnde plaatsbepalingstechnieken zowel boven- als onderwater, in relatie met ongebruikelijk hoge eisen t.a.v. de plaatsingsnauwkeurigheid van de elementen.

Uit eerder gemaakte opmerkingen kon reeds worden afgeleid dat de in dit project gerealiseerde vernieuwingen in ontwerp en werkmethode niet zijn doorgevoerd omwille van de vernieuwing zelf, maar omdat ze het perspectief boden tot betere oplossingen voor zich voordoende problemen.

Het tekort aan kennis dan wel ervaring moest door middel van onderzoek worden aangevuld.

De resultaten daarvan hebben geleid tot wijzigingen in het ontwerp, gegevens voor het nieuw te ontwerpen materieel en de opzet van nieuwe werkmethode.

Ook tijdens de uitvoering werden de resultaten van het reeds gemaakte werk regelmatig opgenomen, geanalyseerd en geëvalu-

eerd, hetgeen in een vrij groot aantal gevallen heeft geleid tot aanpassingen in het ontwerp dan wel de gevolgde werkmethode.

De uitkomsten van de waterloopkundige modelonderzoeken werden aan de hand van metingen in de werkelijkheid gecontroleerd. Door middel van deze prototypewaarnemingen konden de voor spelmodellen van waterstanden en stroomsnelheden verbeterd worden, zodat voor de steeds complexer wordende bouwfases met betrekking tot de waterloopkundige toestand voorspellingen konden worden gedaan, waarvan de betrouwbaarheid tenminste gelijk bleef of toenam ten opzichte van voorgaande bouwfases.

Deze tussentijdse opnamen kunnen ook als een deel van het onderzoek worden opgevat.

Zodoende heeft er vanaf het begin van het ontwerp tot vrijwel aan de voltooiing van de realisatie een voortdurende wisselwerking plaatsgevonden tussen het onderzoek enerzijds en ontwerp en uitvoering anderzijds.

## 8. De landschapsvorming van de Oosterscheldekering en omgeving

### 8.1 Inleiding

De Oosterscheldekering vormt een nadrukkelijk element in het landschap van de Oosterschelde. De wijze waarop een dergelijk grote waterbouwkundig werk zich manifesteert wordt in de eerste plaats bepaald door het op de functie van het werk gebaseerde technische ontwerp en de daaruit voortvloeiende vormgeving. Verder kan de vormgeving nog worden beïnvloed door rekening te houden met diverse secundaire functies, waarvoor het werk mogelijkheden biedt.

Voorbeelden van dit laatste zijn de verkeersfunctie, de recreatiefunctie en de natuurfunctie. Iedere functie stelt zijn eigen voorwaarden aan het ontwerp en de vormgeving.

Uitgaande van het op de primaire functie gebaseerde ontwerp en inspeland op de mogelijkheden voor secundaire functies kan een landschapsvorming worden gezocht waarmee recht wordt gedaan aan het landschap als geheel en aan het bijzondere karakter van de kering. Uit het voorgaande blijkt de wenselijkheid van een verantwoorde landschapsvormgeving. Ten behoeve van de Oosterscheldekering zijn, in opdracht van de Rijkswaterstaat, landschapsstudies verricht door de Stichting voor Landschapsplanning en Ontwerp (STILO) te Wageningen. Het resultaat van deze studies is neergelegd in de nota: „Landschapsvormgeving van de Oosterscheldekering en de werklocaties langs de kusten van Schouwen en Noord-Beveland“. De studies hebben in hoofdzaak betrekking op de elementen die in landschappelijk opzicht kunnen worden beïnvloed, namelijk de damvakken met de werkterreinen, de bouwputten en de werkhavens.

De studies zijn begeleid door de stafgroep STOVIL waaraan is deelgenomen door de hoofdafdelingen Waterbouwkundige Werken en Milieu en Inrichting van de Deltadienst, de directies Sluizen en Stuw en Bruggen van de Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer en het architectenbureau Quist B.V., dat de vormgeving van de betonwerken heeft verzorgd.

### 8.2 Uitgangspunten en overwegingen

Om een visie met betrekking tot de landschapsvormgeving te kunnen onderbouwen heeft een analyse plaatsgevonden van de specifieke kenmerken van het landschap van de Oosterschelde, toegespitst op het westelijke gedeelte, en van de landschapkenmerken van de aangrenzende gebieden, namelijk Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland, waarvan het Landschap niet los kan worden gezien van dat van de Oosterschelde zelf.

Belangrijke landschappelijke kenmerken van de Oosterschelde zijn:

- de wijdheid
- de dynamiek van het getijdemilieu met diepe geulen, platen, slikken en -met name in het oosten- schorren.

Kenmerkend voor Schouwen zijn:

- het onderscheid tussen het duinlandschap in het westen en het polderlandschap;
- de grote maat van de polder Schouwen;

- het patroon van in het verleden ontstane kreekruggen en poelen;
- een vrijwel aaneengesloten reeks inlagen, achter de dijken.

Noord-Beveland wordt met name gekenmerkt door:

- de kleine maat van de polders;
- de grillige kustlijn;
- de verspreid gelegen inlagen, strandjes en lage duintjes.

Meer gedetailleerde landschapsbeschrijvingen zijn opgenomen in de in par. 8.1 genoemde nota van STILO.

In het kader van deze landschapsanalyse is verder ook ingegaan op de technische verschijningsvorm van de Oosterscheldekering, die een nieuw element vormt in het bestaande landschap. In deze paragraaf wordt daarop niet nader ingegaan.

Bij de keuze van de uitgangspunten die bij de landschapsvormgeving kunnen worden gehanteerd is overwogen dat de Oosterscheldekering wordt gebouwd met een tweeledige doelstelling, namelijk om de vereiste veiligheid tegen overstromingen te garanderen en om het waardevolle getijdemilieu te kunnen handhaven. In landschappelijk opzicht betekent dit dat het technische patroon van de kering als het ware over het te handhaven natuurlijke landschapspatroon wordt gelegd. Deze beide patronen vormen een sterk contrast, waarin het tweeledige karakter van de kering wordt weerspiegeld. Op grond van de voorgaande overweging is als voornaamste uitgangspunt voor de landschapsvormgeving gekozen voor het zoveel mogelijk zichtbaar maken en accentueren van dit tweeledige karakter. Om dit te bereiken hebben bij het ontwerp de volgende overwegingen een rol gespeeld. Tussen de Oosterschelde en de Noordzee blijft de ecologische samenhang gehandhaafd. Als gevolg van de bouw van de kering ontstaat echter een visuele barrière. Alleen vanaf het hoogste punt van de kering - 12 m boven N.A.P. - kunnen beide zijden worden overzien. Het versterken van deze visuele relatie, als uitdrukking van de blijvende ecologische samenhang wordt van groot belang geacht. De plaat Neeltje Jans, met een belangrijke natuurfunctie, grenst direct aan de kering en is gemakkelijk bereikbaar. Door middel van een hierop afgestemde landschapsvorming zou de bereikbaarheid vanaf de kering zoveel mogelijk kunnen worden beperkt.

Door de aanwezigheid van in functioneel opzicht secundaire dwars elementen, zoals bouwdokken en werkhavens wordt het uitzicht over her water vanaf de kusten van Schouwen en Noord-Beveland beperkt. Lokaal wordt hierdoor afbreuk gedaan aan de karakteristieke wijdheid van het Oosterscheldegebied.

Aan de Oosterscheldezijde van het damvak wordt het beeld vooral bepaald door uitgestrekte werkterreinen en bouwdokken. Door middel van het landschapsonwerp zou gepoogd kunnen worden de specifieke kenmerken van het getijdemilieu ervaarbaar te maken als contrast met het technische patroon van de kering.

Door de aanwezigheid van omvangrijke secundaire elementen is de functionele structuur van het waterbouwkundige werk vaak moeilijk in het beeld herkenbaar. Met name aan de Oosterscheldezijde wordt de lineaire hoofdvorm van de kering in het landschapsbeeld overheerst door secundaire elementen. In verband hiermee is nagestreefd in het ontwerp een duidelijk onderscheid aan te

brengen tussen de hoofd- en bijzaken van de kering. Als middelen daartoe is bijvoorbeeld gedacht aan het verlagen van de kruinhoogte van dwars op de kering gelegen dijken, het verlagen van de werkerreinen en het tot stand brengen van een ruimtelijke scheiding tussen de kering en de er langs gelegen bouwputdijken of restanten daarvan.

Verder is overwogen dat onderdelen van de hulpwerken zoals bouwdocken, werkhavens blijvend uitdrukking zouden kunnen geven aan de inspanningen bij de bouwfase van een uniek waterbouwkundig werk.

Bij de landschapsstudie is voorts de wenselijkheid onderkend om een zo groot mogelijke vrijheid te behouden ten aanzien van de uiteindelijke keuze van nevenbestemmingen. De reden hieraan is dat parallel aan de landschapsstudie onder verantwoordelijkheid van de Stuurgroep Oosterschelde werd gewerkt aan de opstelling van een plan voor de inrichting en het beheer van het Oosterscheldebied. Dit heeft geresulteerd in het Beleidsplan voor de Oosterschelde 1982.

Ten tijde van de landschapsstudie kon dus nog niet worden beschikt over concrete ideeën over het toekomstige medegebruik van de huidige werkerreinen, werkhavens, etc. Inmiddels is in het kader van het beleidsplan naar deze gebruiksmogelijkheden nadere studie verricht. Hiervoor wordt verwezen naar deelnota 1.5 hoofdstuk 2.

### 8.3 De vormgeving van het werkeiland Neeltje Jans c.a.

De landschapsstudie heeft geresulteerd in vier uitgewerkte alternatieven die zich onderscheiden door de mate waarin en de wijze waarop het technische patroon en het natuurlijke patroon aan elkaar zijn gerelateerd. Verder vertonen de alternatieven verschillen in de verhouding tussen de functioneel primaire elementen -de lineaire hoofdvorm- en de functioneel secundaire elementen. Nader geconcretiseerd hebben de verschillen tussen de alternatieven vooral betrekking op de wijze waarop de secundaire elementen als bouwputten en werkerreinen zijn behandeld. Dit varieert van een volledige handhaving tot het vrijwel geheel verwijderen van genoemde elementen. In de twee tussenliggende alternatieven is sprake van een gedeeltelijke verwijdering.

De alternatieven zijn weergegeven in de figuren 15, 16, 17 en 18. De alternatieven vertonen enkele gemeenschappelijke kenmerken, waaronder de doorgaande weg over de kering en de situering van het bedienings- en dienstengebouw, het ir. J.W. Topshuis. Ten aanzien van de doorgaande weg is voorgesteld de blijvende ecologische relatie tussen Noordzee en Oosterschelde ook visueel tot uitdrukking te brengen door de weg op een zodanig niveau aan te leggen -ongeveer 12 m boven N.A.P.- dat naar beide zijden een vrij uitzicht over het water blijft bestaan. Ter vergelijking kan worden vermeld dat een dergelijke situatie ter plaatse van de Veerse dam

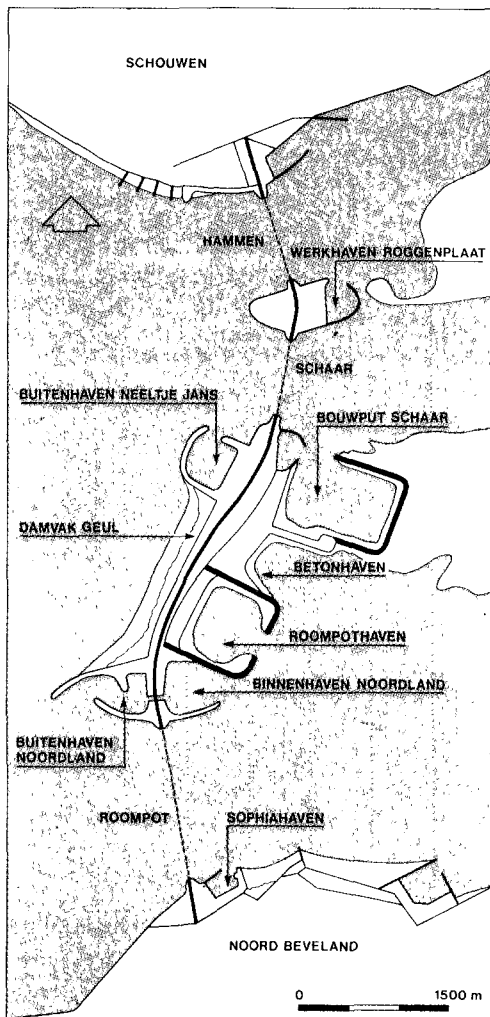


fig. 15

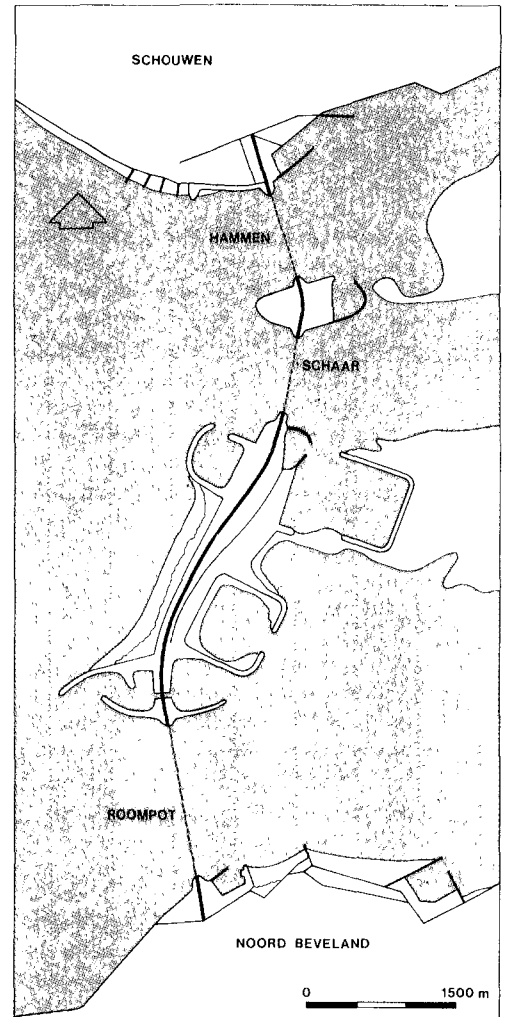


fig. 16

en de Brouwersdam niet voorkomt. Daar staan de achterliggende bekkens echter ook niet in open verbinding met de Noordzee, waardoor er sprake is van een minder sterke ecologische relatie dan bij de Oosterschelde.

Voor de situering van het Ir. J.W. Topshuis zijn diverse mogelijkheden onderzocht. De keuze is gevallen op een plaats aan de buitenzijde van de kering, nabij de buitenhaven Neeltje Jans. Daarbij is overwogen, dat het gebouw hier zodanig in een bocht van de kering kan worden opgenomen dat geen afbreuk wordt gedaan aan de lineaire hoofdvorm van de kering, die vanuit het gebouw bovendien goed zal kunnen worden waargenomen. Door de vormgeving van het gebouw en de ligging aan de buitenzijde wordt ook de spanning tussen veiligheid enerzijds en de dynamiek van de zee anderzijds benadrukt.

Uit de in het voorgaande aangeduide alternatieven is in eerste instantie geen keuze gemaakt. Gezien de relatie met de mogelijkheden voor de toekomstige nieuwe functies van het Neeltje Jans gebied is de mening van de Stuurgroep Oosterschelde over de landschappelijke afwerking gevraagd.

Deze heeft ten aanzien van de mogelijkheden voor de toekomstige inrichting van het Neeltje Jans gebied een indicatieve keuze gemaakt voor het zogenaamde „Integratie,-alternatief, waarin wordt ingespeeld op de gebruiksmogelijkheden van de werkterreinen, bouwputten, werkhavens, etc. Hiermee is feitelijk gekozen voor

het handhaven van de secundaire elementen (fig. 15). Daarbij is echter wel de intentie uitgesproken de in het voorgaande beschreven landschapsvisie overigens zoveel mogelijk te handhaven.

De Stuurgroep heeft de Rijkswaterstaat gevraagd om bij het uitvoeren van werkzaamheden in het kader van de afwerking met de indicatieve inrichtingskeuze en de verdere uitwerking daarvan rekening te houden.

#### 8.4 De vormgeving van de damaanzetten

De vormgevingsvoorstellen voor de kusten van Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland hebben betrekking op de volgende locaties: de beide damaanzetten, het havenplateau te Burghsluis, het werkhavengebied Schelphoek en de werkhaven Sophia.

Overwogen is dat langs de kusten gebieden met een belangrijke natuurfunctie worden aangetroffen. Met name de inlagen zijn voor het westelijke Oosterscheldegebied kenmerkende landschapselementen, die een wezenlijk onderdeel vormen van het ecosysteem. Deze belangrijke natuurfunctie vormt een eerste uitgangspunt. Verder is overwogen, dat de kusten van Schouwen en Noord-Beveland een verschillend karakter vertonen.

De kust van Schouwen wordt gekenmerkt door:

- een strakke, naar binnen gebogen kustlijn;
- een vrijwel aaneengesloten inlagenzone;

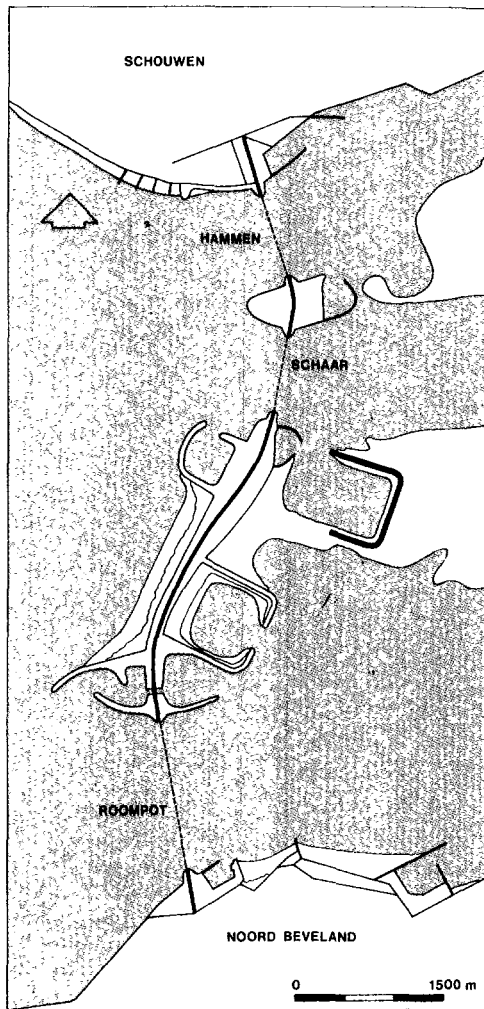


fig. 17

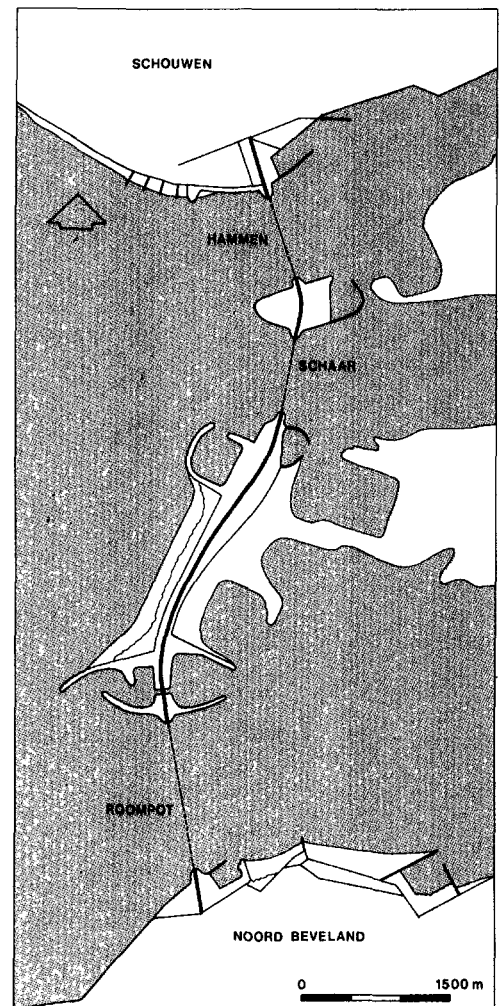


fig. 18

- het ontbreken van strand;
- de aanwezigheid van grote waterdiepten, dicht onder de kust;
- de aanwezigheid van grote, bij eb droogvallende opwassen, betrekkelijk dicht onder de kust;

De kust van Noord-Beveland wordt gekenmerkt door:

- een grillige, getande vorm;
- verspreide, meestal kleinere inlagen;
- de aanwezigheid van grotere en kleinere stranden, verspreid in inhammen langs de kust;
- een ondiepe zone dicht onder de kust; de geulen en droogvallende platen liggen op grotere afstand.

Voorgesteld is om bij de landschapvormgeving van de diverse locaties het specifieke karakter van de beide kustzones, zoals in het voorgaande is aangegeven, te handhaven en zo mogelijk te versterken.

Voor de damaanzetten op Schouwen en Noord-Beveland zijn de volgende vormgevingsvoorstellen ontwikkeld.

Ter plaatse van de damaanzet Schouwen liggen twee inlagen, waarvan de westelijke door de damaanzet wordt doorsneden (zie fig. 19). Voorgesteld is de beide inlagen zoveel mogelijk te handhaven, respectievelijk in de oorspronkelijke staat terug te brengen. Dit kan worden bereikt door de damaanzet een zo smal mogelijke vorm te geven. Hiermee wordt, analoog aan de voorgestelde vormgevingsideeën voor de Oosterscheldekering, de overlapping van twee verschillende landschapspatronen benadrukt. Een variatiemogelijkheid is aanwezig in het al of niet verwijderen van de ter plaatse aanwezige werkhaven en het bijbehorende haventerrein. Vooralsnog is deze gehandhaafd.

De damaanzet Noord-Beveland doorsnijdt een zone met strandjes en duinen. Voorgesteld is om in samenhang met het grondlichaam voor de toeleidende wegen, een kunstmatig duin aan te leggen en zo mogelijk de in de omgeving aanwezige strandjes met overtollig zand te versterken. Hierdoor wordt het natuurlijke patroon versterkt in contrast met het technische patroon van de kering. De werkhaven vervult in de toekomst nog slechts een functie voor de hier aanwezige bergplaats voor de reserve-deur van de Roonpotsluis. Voorgesteld is om de rest van de haven -het westelijke gedeelte- vol te spuiten met zand en op die manier bij de duinvorming te betrekken (zie fig. 20).

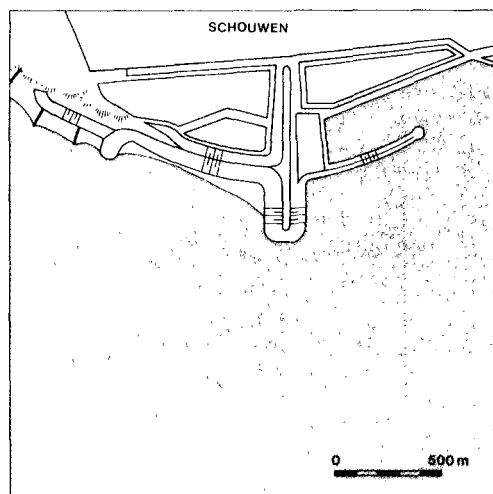


fig. 19

## 8.5 Slotbeschouwing

In het voorgaande is een overzicht gegeven van de resultaten van een studie naar de landschapsvormgeving van de Oosterscheldekering en de werklocaties langs de aangrenzende kustgebieden van de Oosterschelde.

Zoals reeds is aangegeven, bestaat een nieuwe samenhang tussen de landschapsvormgeving en de toekomstige (neven)functies van de diverse locaties, waarnaar deels nog studie wordt verricht. De resultaten van de landschapsstudie kunnen daarbij het landschappelijke kader vormen. De definitieve vormgeving van de werkerreinen, bouwputten, havens etc. is vooral afhankelijk van de bestuurlijk gewenste ontwikkelingen en de daarbij beschikbare middelen. Nadat op dit punt meer definitieve beslissingen zijn genomen, kan worden bezien of binnen het raam van de voor de afwerking van de terreinen c.a. beschikbare financiële middelen, reeds enigszins met toekomstige functies en de mede daarop te baseren vormgeving rekening kan worden gehouden. Dit valt verder buiten het kader van deze ontwerpnota.

### Documentatie:

SV-34	notitie „architectonische overwegingen stormvloedkering Oosterschelde”.
SV-44	concept-notitie „Inrichting en vormgeving Oosterschel dedam en omgeving” van werkgroep LH.
SV-48	tweede concept-notitie „werkgroep LH”.
SV-62	notities m.b.t. de aanleg van een 5e bouwput, van LH, d.d. 31-1-1979.
SV-79	tekening voorstel locaties bedrijfsgebouwen, van arch. bureau Quist, d.d. 5-6-1979.
SV-81	concept landschapsstructuurschets voor de SVK in de OS; van LH.

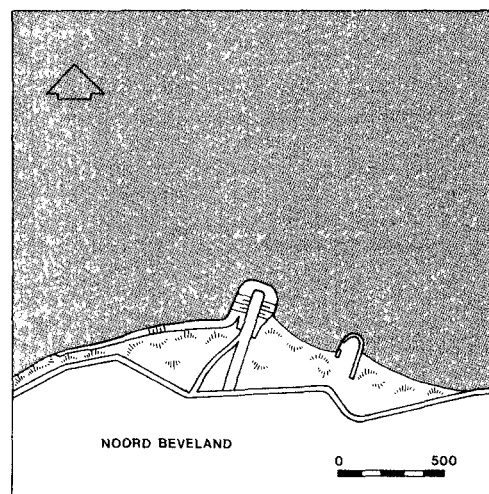


fig. 20

- SV-82 notitie „Verticaal alignement overbrugging sluis Noordland”, d.d. 22-8-1979, van LH.
- SV-87 concept landschapsstructuurschets voor de SVK in de OS bestemmingsmodellen, van LH;
- SV-88 brief van arch. bureau Quist aan van Houweninge, met bijlagen, betreft dienstgebouw, d.d. 1-10-1979.
- SV-94 notitie SVK OS, mogelijke bestemmingen, d.d. oktober 1979, van LH.
- SV-102 notitie „Landschappelijke aspecten m.b.t. keuze locatie bedieningsgebouw”, van LH, d.d. 30-10-1979.
- SV-110 tekening Alternatief voor de vormgeving van de landhoofden van de SVK, van SBB, d.d. december 1979.
- SV-115 notitie „Alternatief locatie dienstengebouw SVK”, STOVIL-M-80.002 van Schellekens, d.d. 1-2-1980.
- SV-121 notitie „Vormgeving landhoofden”, STOVIL-M-80.007 van Schellekens, d.d. 10-3-1980.
- SV-132 notitie nr. STOVIL-M-80.008 „Vormgeving landhoofden”, van WWW, d.d. 12-4-1980.
- SV-135 notitie bij de Keus van het bewegingswerk, van arch. bureau Quist. d.d. 28-4-1980 (nr. STOVIL-M-80.015).
- SV-143 concept-nota „Landschappelijke vormgeving OSK” van projectgroep STOVIL. d.d. juni 1980 (nr. STOVIL-M-80.016).
- SV-145 notitie „Inrichting van werkhavens en opslagterreinen (nr.7 PROBU-M-80.026), van WWW, d.d. 14-5-1980.
- SV-150 notitie „Meteo-post in dienstengebouw”, d.d. 4-7-1980, van Schellekens.
- SV-161 notitie „Landschappelijke aspecten ENERGO-project”, van LH, d.d. 800829.
- SV-163 notitie „Landschappelijke aspecten ENERGO-project, van STOVIL aan werkgroep ENERGO, d.d. 800908, nr. DDMMI-80.531, (STOVIL-M-80.017).
- SV-179 notitie „Naar een alternatief landschappelijk ontwerp, eerste verkenning”, van LH, d.d. 801011.
- SV-187 notitie „Alternatieven voor de landschapsvormgeving van de Oosterscheldekering” (interimrapport t.b.v. bespreking in de PGO), van LH, d.d. november 1980.
- SV-189 notitie „Landschappelijke vormgeving van de stormvloedkering over de Roggenplaat”, van LH, d.d. 801111.
- SV-192 notitie „Roggenplaat, vormgeving Noordzëezijde”, van LH, d.d. 801125.
- SV-201 notitie „Standpunt STOVIL over kunstwerk” van Schellekens aan voorz. PGO, d.d. 12-12-1980 (STOVIL-M-80.021).
- SV-211 tekening „Essentie landschappelijke vormgeving, plaats en vorm van het dienstengebouw Oosterscheldekering” van het bureau Quist.
- SV-222 situatie-tekening dienstengebouw Oosterscheldekering, nr.80153, van arch.bureau Quist, d.d. 18-12-1980.
- SV-226 concept-notitie „Plaatskeuze experimentele windmolens”, d.d. 14-3-1981, van LH.
- SV-236 notitie DDMI-81.344 „Vervolg landschappelijke studies stafgroep STOVIL”, d.d. 28-4-1981, aan voorz. PGO (STOVIL-M-81.009).
- SV-245 notitie landschappelijke aspecten van het ENERGO-project, van LH, d.d. 810619.
- SV-258 notitie DDMI-81.581 „Landschappelijke aspecten van het ENERGO-project”, d.d. 25-9-1981, nr. STOVIL-M-81.008.
- SV-259 notitie „Landschapsontwikkeling van de Oosterscheldeoevers op Schouwen en Noord-Beveland, van STILO, d.d. 29-9-1981.
- SV-262 nota STOVIL-M-81.011 d.d. september 1981.
- SV-266 notitie DDMI-81.648 Plaatskeuze reservedeur Roompotsluis aan projectbureau 1. STOVIL-M-81.012.
- SV-288 notitie inzake vormgeving bewegingswerken op hamerstukken (PEGEOO-M-82061).
- SV-290 tekening betr. situering reservedeur Roompotsluis.
- SV-303 notitie DDMI-82.477 inz. berging overtollig zand aan zuidzijde bouwdok Schaar (STOVIL-M-82.003).
- SV-314 notitie DDMI-82.555 inz. kunstmatige duinvorming langs de werkeilanden van de Oosterscheldekering.
- SV-316 inrichtingsplan voor de terreinen rondom het bedienings- en dienstengebouw.
- SV-317 herziene situatie van het inrichtingsplan.
- SV-318 STILO-nota „Landschapsvormgeving van de Oosterscheldekering en de werklocaties langs de kusten van Schouwen en Noord-Beveland”.





---

## Deelnota 3 Natuurrandvoorwaarden



# Inhoud

<b>1. Algemene Inleiding</b>	<b>124</b>
<b>2. Grondmechanische aspecten</b>	<b>125</b>
2.1. Geologische gesteldheid	
2.2. Grondmechanische consequenties	
2.3. Gekozen oplossingen	
<b>3. Morfologische aspecten</b>	<b>127</b>
3.1. Morfologische karakteristiek van de Oosterschelde voor de afsluiting	
3.2. Invloed van de stormvloedkering op de macromorfologie	
3.3. Invloed van de stormvloedkering op de morfologie in de onmiddellijke omgeving	
3.4. Morfologisch onderzoek voor het ontwerp en de uitvoering van de stormvloedkering	
3.5. Morfologische randvoorwaarden voor ontwerp en uitvoering	
<b>4. Hydraulische aspecten</b>	<b>138</b>
4.1. Inleiding	
4.2. Gegevensbewerking voor de gesloten kering	
4.2.1. Algemeen overzicht	
4.2.2. Stormvloedstanden	
4.2.3. Binnenwaterstand	
4.2.4. Golfenergie	
4.2.5. Drie-dimensionale kansdichtheidsfunctie van stormvloedstand, golfenergie en binnenwaterstand	
4.3. Gegevensbewerking voor de open kering	
4.3.1. Algemeen overzicht	
4.3.2. Modellen ten behoeve van de Oosterscheldekering	
4.3.3. De getijrandvoorwaarden: het verticale getij	
4.3.4. Debieten en stroomsnelheden rond de kering	
4.3.5. Waterstanden en vervallen over de open kering	
4.3.6. Het verval over de gesloten kering	
4.3.7. Bewaking en controle	
4.4. Vertaling van de randvoorwaarden naar hydraulische belastingen	
4.4.1. Methodiek	
4.4.2. Specifieke situaties	
4.5. Randvoorwaarden bouwfase	
4.5.1. Inleiding	
4.5.2. Golfmodellen bouwfase	
4.5.3. Vaststellen randvoorwaarden ten behoeve van het ontwerp	
4.5.4. Vaststellen randvoorwaarden ten behoeve van de werkbaarheid	
4.5.5. Belastingen in de bouwfase	
<b>5. Ecologische aspecten</b>	<b>161</b>
5.1. Korte karakteristiek en inbreng in het totaalontwerp	
5.2. Migratie van vis en bodemdieren in relatie tot het drempelontwerp	
5.3. De invloed van bouwmaterialen op het milieu	
5.4. Aangroeiproblematiek	
5.5. „Gesloten schuiven” problematiek	

---

# 1. Algemene inleiding

---

De Stormvloedkering, dat wil zeggen de landhoofden, de damvaken, de betonconstructies met de afsluitmiddelen, de fundering daaronder, de ondergrond en de aansluitende bodembeschermingen, vormt één hydraulisch functionerend en reagerend geheel.

Dat geheel moet kunnen voldoen aan vele verschillende en vaak tegenstrijdige functionele eisen (doorstroomprofiel, kerende hoogte, duurzaamheid, beheersbaarheid; zie deelnota 1.2).

Daarnaast stelt de natuurlijke omgeving prevalente eisen die niet ongestraft kunnen worden genegeerd en die de begrenzings aangeven van de mogelijkheden van ontwerp en uitvoering.

Ook kan de wisselwerking tussen een voltooide stormvloedkering en zijn omgeving veelal op de lange duur tot niet gewenste veranderingen in die omgeving leiden. In het ontwerp en bij de uitvoering dient hiermede rekening te worden gehouden.

In de voorliggende deelnota zijn de verschillende facetten van de wisselwerking tussen stormvloedkering en zijn omgeving benaderd vanuit vier disciplinaire aandachtsgebieden te weten de geotechniek, de morfologie, de hydraulica, de milieukunde.

Deze benaderingswijze sluit goed aan bij het onderzoek dat in opdracht van Rijkswaterstaat met name door het Waterloopkundig Laboratorium en Laboratorium voor Grondmechanica werd verricht ter verkrijging van gegevens over de aard en intensiteit van de wisselwerking tussen de Stormvloedkering en zijn omgeving.

Het geotechnisch onderzoek (hoofdstuk 2) betreft het verkrijgen van inzicht in de draagkracht van de ondergrond onder de pijlers en de drempel en het voorkomen van toelaatbare evenwichtsverstoringen aan de rand van de bodembescherming. Het morfologisch onderzoek (hoofdstuk 3) diende inzicht te verschaffen in de aanzandings- en ontgrondingsproblematiek nabij het object en de gevolgen op langere termijn voor de monding en het bekken van de Oosterschelde.

Het hydraulisch onderzoek (hoofdstuk 4) moest gegevens verschaffen over de grootte en invloed van te verwachten golf-, verval- en stroomkrachten. Het milieu onderzoek (hoofdstuk 5) tenslotte betrof de vele aspecten van het natuurgebeuren in en langs het water van de Oosterschelde en de mogelijke gevolgen van de voorgenomen ingrepen.

## 2. Grondmechanische aspecten

### 2.1. Geologische gesteldheid

Het uitgevoerde grondonderzoek in de sluitgaten heeft in grote lijnen het volgende beeld van de grondgesteldheid verschaft:

Bovenkant-Pleistoceen ligt ter plaatse van:

- de Roompot tussen N.A.P.- 30 m en N.A.P.- 35 m;
- de Schaar van Roggenplaat omstreeks N.A.P.- 30 m;
- de Hammen tussen N.A.P.- 32 m en N.A.P.- 38 m.

Doorgaande, harde lagen (lagen dikker dan 10 m met conusweerstand groter dan 20-30 MN/m<sup>2</sup>) komen echter op grotere diepten voor dan de bovenkant Pleistoceen, n.l. ter plaatse van:

- de Roompot vanaf N.A.P.- 34 m à N.A.P.- 43 m;
- de Schaar van Roggenplaat vanaf circa N.A.P.- 42 m;
- de Hammen vanaf circa N.A.P.- 52 m.

Boven de pleistocene afzettingen (formatie van Tegelen en formatie van Maassluis) worden de holocene afzettingen gevonden, die in hoofdzaak uit jong zeezand en oud wadzand bestaan.

Deze holocene afzettingen bezitten over het algemeen een losse korrelstapelning met een hoog poriëngehalte (42-44 %).

De conusweerstand heeft over het algemeen een waarde van 4-10 MN/m<sup>2</sup>. In het noordelijk deel van het tracé in de Hammen bevatten de jonge holocene afzettingen veel klei- en siltlagen, waardoor de mechanische eigenschappen van deze afzettingen duidelijk minder zijn dan in het overige gedeelte van het tracé van de stormvloedkering. Ten gevolge van geulvorming is de holocene afzetting in de diepe delen van de drie sluitgaten aanzienlijk dunner dan aan de randen. Het grondonderzoek in het Pleistoceen beperkte zich tot een twintigtal boringen en twaalf boorsonderingen tot een diepte van N.A.P.- 50 m tot N.A.P.- 60 m.

Hieruit bleek dat de samenstelling en de eigenschappen van het Pleistoceen sterk wisselen.

In de Hammen is de formatie van Tegelen, waarin zeer hoge sondeerwaarden voorkomen, enige meters dik. Daaronder komt tot de verkende diepte de formatie van Maassluis voor, waarin tot circa N.A.P.- 52 m overwegend slihoudend zand voorkomt met sondeerwaarden van 10 tot 16 MN/m<sup>2</sup>. In dit pakket worden tussenlagen van één tot enkele meters sterk kleihoudend zand aangetroffen met lage sondeerwaarden van 5 à 7 MN/m<sup>2</sup>. Vanaf circa N.A.P.-52 m zijn zeer hoge sondeerwaarden gemeten.

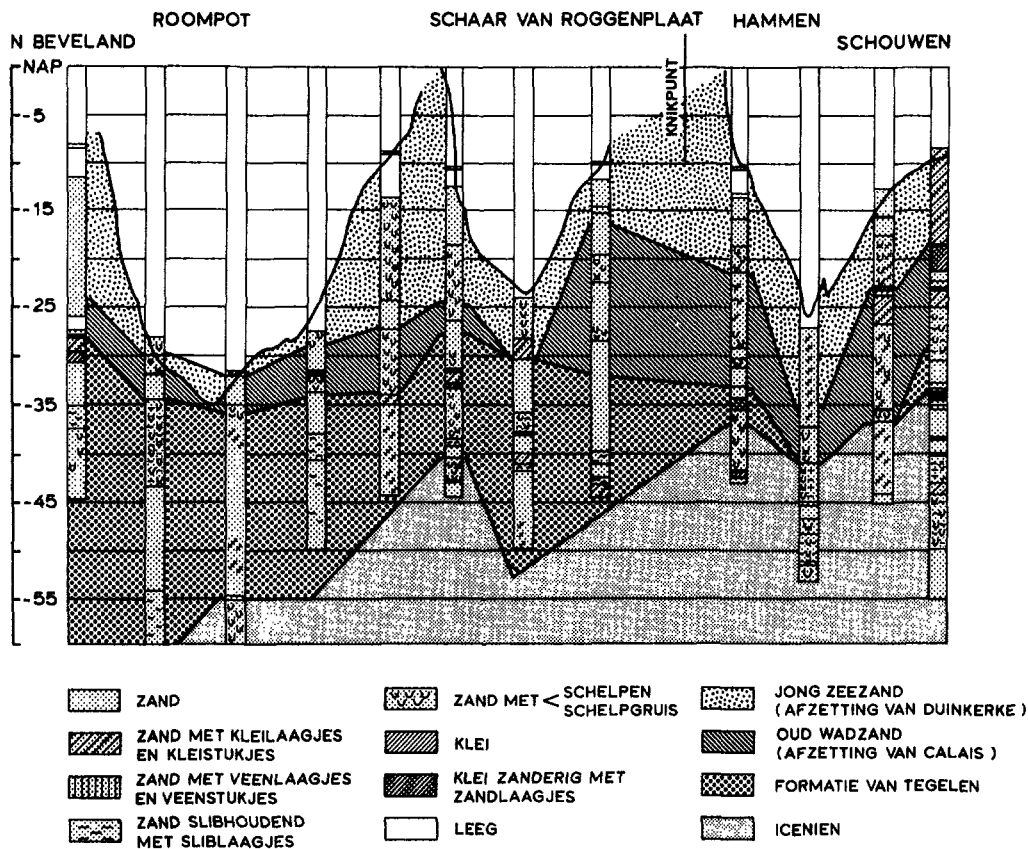


fig. 1  
Geologisch profiel van de Oosterscheldemonnd, 100 m ten oosten van het afsluitingstracé.

In de Schaar van Roggenplaat komt vanaf circa N.A.P.- 32 m tot de verkende diepte de formatie van Tegelen voor, waarin vrijwel over het gehele sluitgat enige meters dikke tot sterk kleihoudende lagen worden aangetroffen, omstreeks het niveau van N.A.P.- 40 m. Daarboven en daaronder komt zand voor met zeer hoge sondeerwaarden.

In de Roompot wordt eveneens tot circa N.A.P.- 60 m de formatie van Tegelen aangetroffen, waarin over het algemeen zeer hoge sondeerwaarden zijn gemeten.

Uitzonderingen zijn de randen van het sluitgat waar omstreeks N.A.P.- 40 m kleihoudende lagen kunnen voorkomen.

In fig. 1 is schematisch het geologische profiel getekend.

## 2.2. Grondmechanische consequenties

De geotechnische ontwerpproblemen kunnen gezien de geologische gesteldheid van de ondergrond in twee groepen worden onderverdeeld. De eerste groep betreft de deformaties van de constructie (pijler en drempel). Gedurende storm omstandigheden worden er door verval en golven krachten op de constructie en dus ook op de ondergrond onder en in de nabijheid van de constructie uitgeoefend. Deze krachten leiden tot spanningsveranderingen en dus vervormingen in de ondergrond, met de kans op onacceptabele deformaties of zelfs instabiliteit van de constructies. Hierbij dient ook het verschijnsel verweking genoemd te worden. Bij een losgepakte ondergrond en voldoende grote golven kunnen er zodanig grote waterspanningen in de ondergrond ontstaan dat de ondergrond t.g.v. deze cyclische belastingen verweekt. De constructie kan dan zijn stabiliteit verliezen. Verder ontstaan er, ten gevolge van verval en golven, grondwaterstromen door de drempel en de ondergrond, die een ongewenste erosie van de ondergrond en daarmee zettingen van de constructies kunnen veroorzaken.

Een tweede groep problemen betreft de instabiliteit van ontgrondingskuilen aan het einde van de bodembescherming (op circa 500 à 600 m uit de as van de kering). Kuilen tot een evenwichtsdiepte van 25 m kunnen door zettingsvloeiingen of afschuivingen terugschrijden richting stormvloedkering en zo schade toebrengen aan de fundering van de kering.

Bovenstaande problemen kunnen als hoofdproblemen gekenmerkt worden. Evenwel zijn inherent aan de gekozen oplossing van pijler, drempel en bodembescherming een groot aantal bijkomende grondmechanische problemen te formuleren zoals filterwerking funderingsbed en drempel, onderlooptheid (piping) met als consequentie het verdichten van het funderingsbed, dorpelbalkkrachten met als consequentie afschuiven van de dorpelbalken etc. Deze problemen worden meer uitgebreid behandeld in Boek 2 en Boek 3.

## 2.3. Gekozen oplossingen

Uitgaande van de uitwendige belastingen (verval + golven) en uitgaande van de gekozen constructie (pijler + drempel + bodem-

bescherming) kunnen de krachten, die via de constructie worden overgebracht, op de ondergrond worden bepaald. Deze krachten gekoppeld aan de geologische gesteldheid van de ondergrond geven als resultaat zettingen, gevaar voor verweking en erosie van de ondergrond t.p.v. de pijler en drempel en zettingsvloeiingen cq afschuivingen aan de rand van de bodembescherming.

Daar de deformaties van de pijler en de verschildeformaties tussen twee pijlers niet te groot mogen zijn in verband met de passing van onder andere de schuiven zijn er toelaatbare zettingen vastgesteld die overigens worden bepaald door de grootte van de voetplaat van de pijler en door de stijfheid van de ondergrond.

De eigenschappen van losgepakte lagen van de ondergrond, met een in het algemeen te lage stijfheid en te hoge kans op verweking, kunnen in principe worden verbeterd door het toepassen van een mechanische verdichting door trillen. Plaatselijk te hoge siltgehalten in deze lagen lieten echter een effectieve verdichting niet toe. Ook de lage stijfheid van kleilagen was met een mechanische verdichting niet te verbeteren.

Daarom is er in de invloedsszône van de pijler en drempelbelastingen rond de as van de kering het losgepakte zand, de klei en de zandhoudende klei weggebaggerd en vervangen door een grondverbetering bestaande uit schoon zand, die door middel van trillen in de diepte werd verdicht en zo van de vereiste stijfheidseigenschappen voorzien (conusweerstand bij sonderingen minimaal 13 MN/m<sup>2</sup> en een poriënvolume kleiner dan 40%).

Omdat de grondwaterstromingen onder en naast de pijler zo groot kunnen worden dat er erosie van zand kan optreden is er gekozen voor het aanbrengen van een filterconstructie (funderingsbed) op de ondergrond onder en naast de pijler. Deze bestaat uit opeenvolgende lagen materialen (zand, kif, grind) met een zodanige korrelgrootte dat het daaronderliggende fijnere materiaal niet in de poriën kan doordringen. Om deze filterconstructie, die werd geprefabriceerd, goed te laten aansluiten op de ondergrond en deze de vereiste pakkingsdichtheid (stijfheid) te geven moest die eveneens worden verdicht (zie ook Boek 2).

Tijdens de bouw en na gereedkoming van de stormvloedkering zullen als gevolg van de vernauwing van het doorstroombroefiel turbulente stromingen ontstaan, die bescherming van de geulbodem in de omgeving van de kering noodzakelijk maakten.

De berekende evenwichtskuil diepten van de ontgrondingskuilen aan de rand van de bodembescherming waren een uitgangspunt bij het ontwerpen van de lengte van de bodembescherming (zie hoofdstuk 3).

De hellingen van de ontgrondingskuil mogen niet te steil worden, omdat anders het gevaar ontstaat van een locale afschuiving van de helling die in losgepakt zand een zettingsvloeiing kan veroorzaken, waarbij het bodemzand zich min of meer als een vloeistof gaat gedragen. De omstandigheden waarbij zettingsvloeiingen optreden zijn onvoldoende bekend; hetzelfde geldt voor de mogelijke afmetingen ervan. Veiligheidshalve werd daarom bij het ontwerp van de randbodembescherming een situatie nagestreefd, waarbij geen zettingsvloeiing kan optreden.

Door de bodem nabij de rand van de ontgrondingskuil te verdichten en/of door een adequate bestorting van het talud is de kans op een zettingsvloeiing aanzienlijk verkleind.

### 3. Morfologische aspecten

#### 3.1. Morfologische karakteristiek van de Oosterschelde vóór de aanleg van de Oosterscheldewerken

De huidige morfologie van de Oosterschelde is het resultaat deels van een natuurlijke ontwikkeling, namelijk van een complex systeem van estuaria en deels van een kunstmatig opgelegde ontwikkeling, namelijk het aanleggen van dijken en dammen en het uitvoeren van baggerwerkzaamheden (figuur 2).

Vooraf het aanleggen van de verschillende dammen (Hellegatdam, 1931; Grevelingendam, 1962-1964; Volkerakdam, 1969) en het uitvoeren van baggerwerkzaamheden als de doorgraving van de Amer-Bergsche Maas in 1904 en de verruiming van de Nieuwe Merwede tussen 1920 en 1930 hebben de laatste honderd jaar de morfologische ontwikkeling van de Oosterschelde beïnvloed. Ten gevolge van deze werken is het getijvolume sterk toegenomen, waardoor in eerste instantie de stroomsnelheden groter zijn geworden en als reactie hierop in tweede instantie het doorstroombroefiel toegenomen is.

Gedurende de afgelopen honderd jaar is de gehele Oosterschelde circa 1,2 m dieper geworden. De verdieping kwam voornamelijk tot uitdrukking in de geulen.

De monding van de Oosterschelde bestaat zoals de meeste zeegeulen langs de Nederlandse kust uit een beweeglijk patroon van geulen en platen. Het samenspel van water en zand heeft geleid tot een dynamisch evenwicht. Natuurlijke veranderingen betreffende het patroon van geulen en platen verlopen relatief langzaam. Door toename van het getijvolume hebben de geulen zich in de afgelopen eeuw niet alleen verplaatst maar zijn ze tegelijkertijd ook ruimer geworden. In de loop van de tijd hebben de hoofdgeulen zich langs de oevers geconcentreerd. Toen verdere horizontale verplaatsing en verruiming als gevolg van de oeverwerken niet meer mogelijk was, heeft de toeneming van het geulprofiel de vorm aangenomen van verdiepingen (figuur 3). Tegelijkertijd is het bankengebied in breedte toegenomen.

Gelijktijdig met de afsluiting van het Volkerak in 1969, waardoor het getijvolume met bijna 10% toenam, begon de aanleg van het eerste werkeiland, Roggenplaat, in de mond van de Oosterschelde. In de daarop volgende jaren werden de werkeilanden Neeltje Jans en Noordland gebouwd, terwijl tevens begonnen werd met de aanleg van de damaanzet bij Noord-Beveland en de Geul werd afgesloten door verbinding van de werkeilanden Noordland en Neeltje Jans. Als gevolg van deze werken was een vernauwing van het profiel ontstaan, die door verdere uitschuring van de drie hoofdgeulen Hammen, Schaar van Roggenplaat en Roompot gecompenseerd zou worden. Een complicatie hierbij werd gevormd doordat de Hammen en de Schaar van Roggenplaat ter plaatse van het damtracé zijn gaan uitbochten. Als gevolg van deze geulverplaatsingen vonden er voornamelijk aan de zuidzijde van deze geulen verdiepingen plaats (figuren 4 en 5).

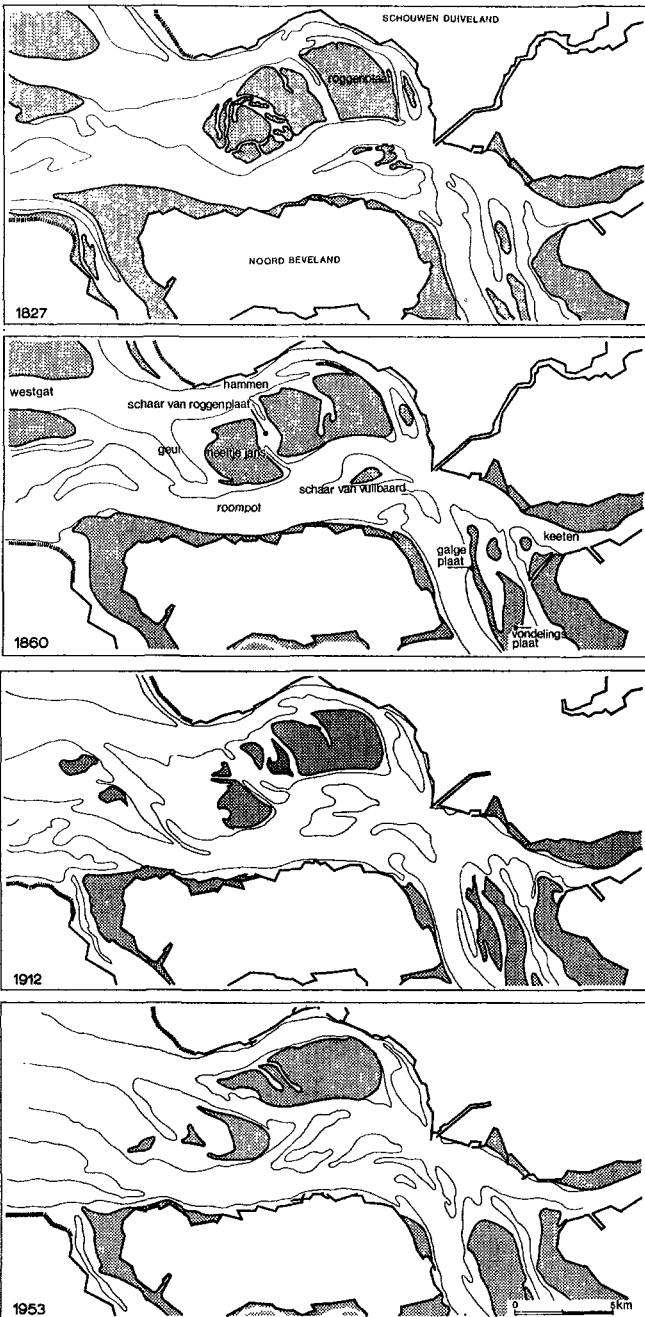


fig. 2  
Ontwikkeling van de platen in de Oosterschelde 1827 - 1953.

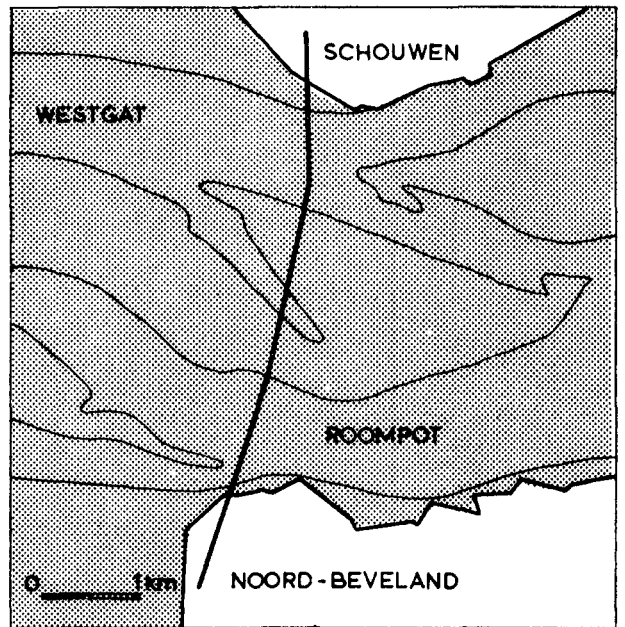


fig. 3  
Ontwikkeling van het bodemprofiel in een raai in de Oosterscheldemond 1827 - 1953.

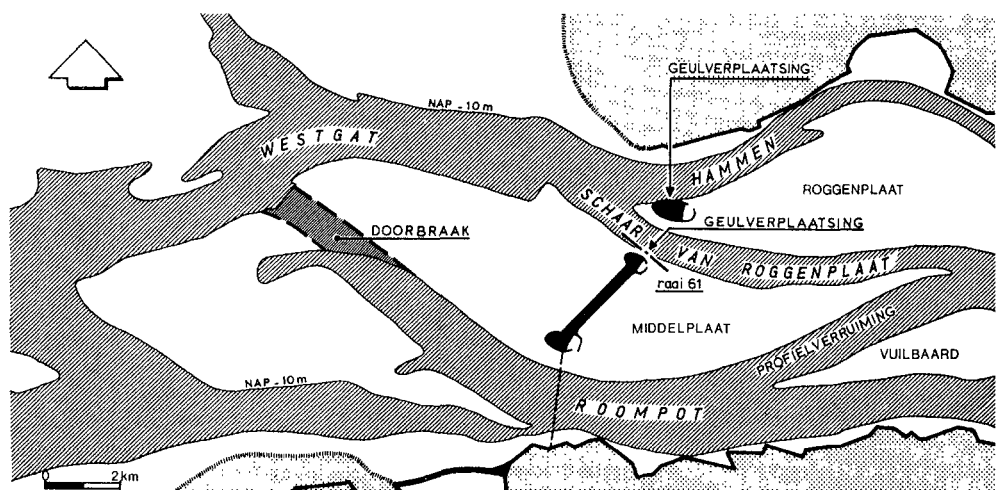
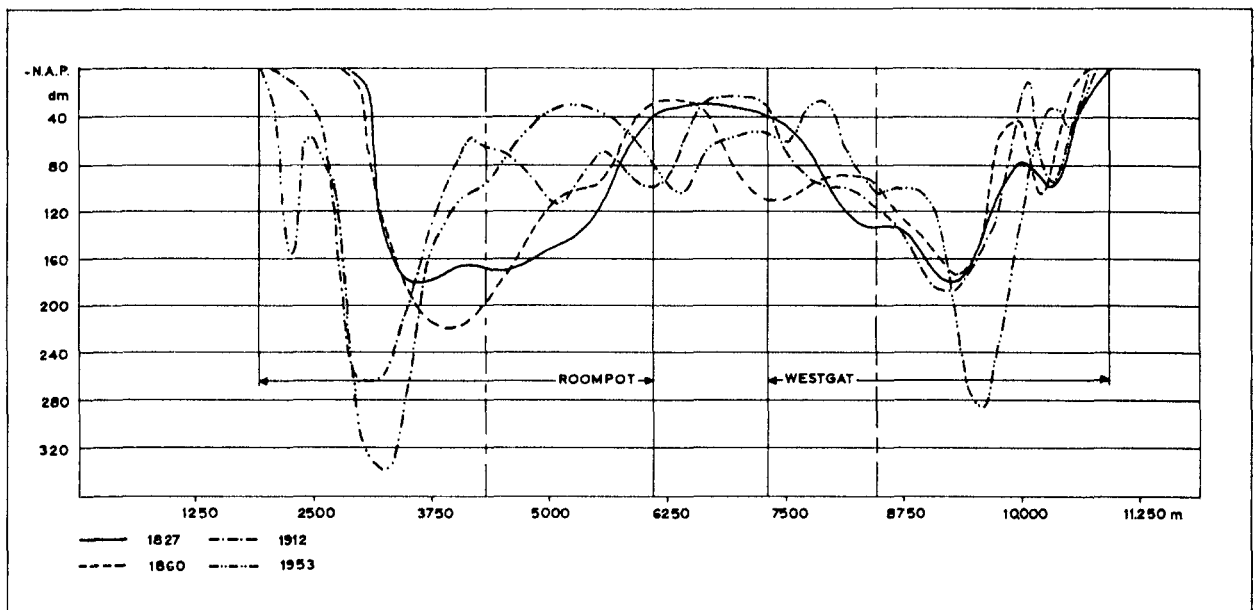


fig. 4  
Ontwikkelingen in de Oosterscheldemond tussen 1969 en 1975.



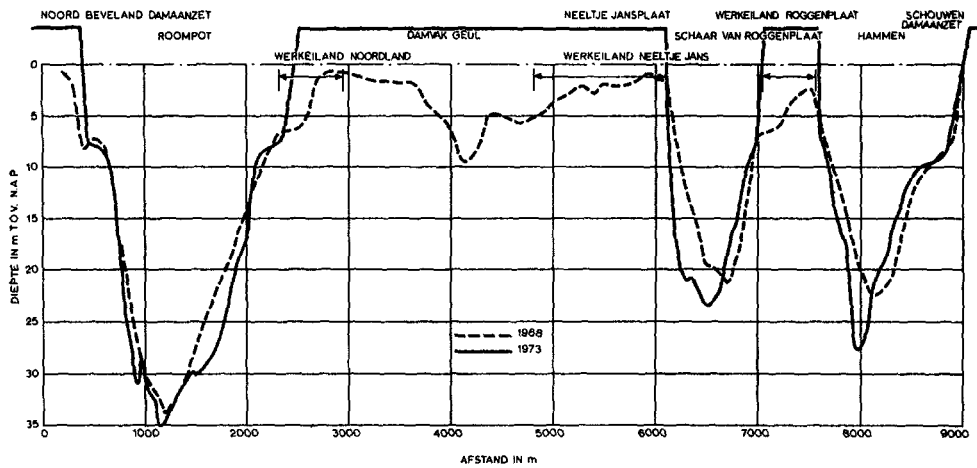


fig. 5  
 Profielverandering in het tracé van de stormvloedkering tussen 1968 en 1973.

Een andere recente ontwikkeling was de kortsluiting tussen de vloedschaar van de Roompot en de Schaar van Vuilbaard ten zuiden van het gebied van de Roggenplaat. Gelijktijdig hiermee is zee- waarts van het damtracé een doorbraak ontstaan van de ebschaar van de Roompot naar het Westgat (figuur 4).

De ontwikkelingen kunnen voor een gedeelte worden toegeschreven aan het feit dat het ebvolume na de afsluiting van het Volkerak in 1969 met bijna 10% is toegenomen, maar ook voor een deel aan de afsluiting van de Geul in 1972. Waarschijnlijk hebben deze oorzaken de doorbraken slechts versneld, omdat de tendens van de ebschaar van de Roompot om naar het noorden af te buigen in de richting van de laatstgenoemde doorbraak al eerder was waar te nemen.

### 3.2. Invloed van de stormvloedkering op de macromorfologie

#### Oosterschelde

In 3.1 is reeds beschreven dat het profieloppervlak van de geulen in de afgelopen eeuw zich aanpaste aan de toename van het getijvolume.

Het streven van het bekken naar een bepaald evenwicht kan worden uitgedrukt in een relatie tussen getijvolume en profieloppervlak. In de zeearmen van het Deltagebied geldt dat het quotiënt van het getijvolume en het profieloppervlak ongeveer constant is. Dit betekent dat door de reductie van het getijvolume door de aanleg van de stormvloedkering het profieloppervlak van de geulen te groot wordt: het bekken zal streven naar verondieping.

De te verwachten verondieping van de bodem komt op rekening van twee processen, namelijk zandsedimentatie en sliedsedimentatie (figuur 6).

Het zand- en sliedehalte van het water dat met vloed de Oosterschelde binnenkomt is dus in hoge mate bepalend voor de snelheid van het proces van ondieping. Daarnaast kan verondieping ontstaan door erosie van de bestaande oeversgebieden en platen. Zand en slied die door de vloedstroom mee naar binnen worden gevoerd, komen terecht in een gebied met naar verhouding tot vroeger veel lagere snelheden. Vooral het zand zal dan vrij snel gaan bezinken; zandsedimentatie wordt dan ook vooral verwacht in het gebied tussen de stormvloedkering en Tholen; aanvankelijk vooral in het westelijke deel van dit gebied, maar naarmate de evenwichtstoestand bereikt wordt, zal de zandsedimentatie zich ook in meer oostelijke richting gaan uitbreiden. In tegenstelling tot vroeger, toen de naar buiten trekkende ebstromen weer veel zand naar buiten voerden, zal het gesedimenteerde zand in de nieuwe toestand grotendeels in de Oosterschelde achterblijven. Voor het slied zal het proces in grote lijnen analoog verlopen. Slied sedimenteert echter minder snel; het zal dus naar verwachting ook verder in het gebied van de Oosterschelde doordringen. Bovendien zal in het water van de Oosterschelde altijd wel een zeker minimaal sliedehalte aanwezig blijven. Voor deze fijne deeltjes geldt dus niet dat al het materiaal dat met de vloedstroom naar binnen komt, ook in het bekken zal sedimenteren. Wel geldt ook hier dat de naar buiten gaande ebstroom veel minder materiaal meeneemt dan vroeger ten gevolge van de hogere snelheden het geval was.

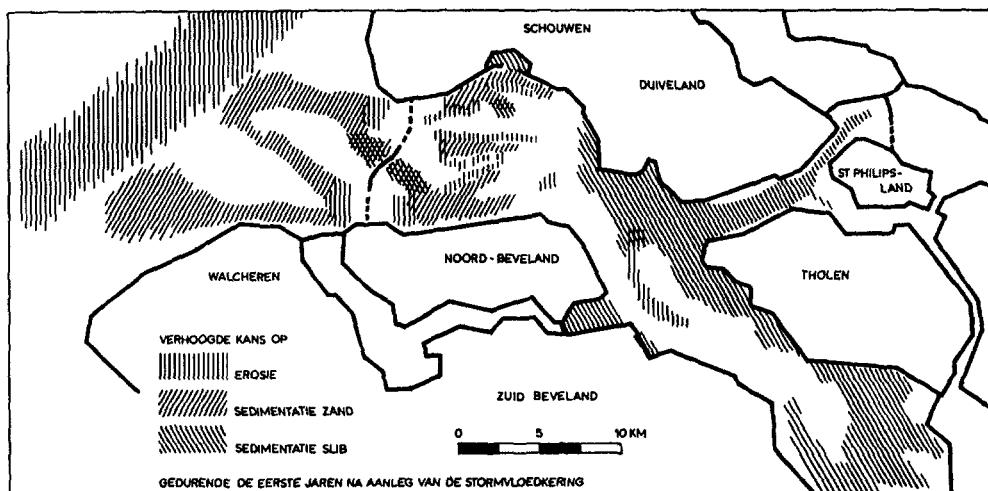


fig. 6  
 Plaatsen met kans op verhoogde sedimentatie en erosie gedurende de eerste jaren na aanleg van de stormvloedkering.

Als gevolg van de aanleg van de compartimenteringsdammen zullen er faseverschillen gaan optreden in de getijvoortplanting in de hoofdgeulen. Mogelijk zullen nieuwe geulen ontstaan of zullen er geulverleggingen gaan optreden.

De morfologische ontwikkeling van de geulen zal in belangrijke mate worden bepaald door de afname van het horizontale getij, terwijl de ontwikkeling van platen, slikken en de schorren mede afhankelijk is van de golfwerking. Door de reductie van het getijverschil zal de golfwerking zich op een kleinere zone van de oevers gaan concentreren omdat de golfaanval wordt verdeeld over een kleiner verticaal interval. Hierdoor kan erosie van bepaalde oevergedeelten gaan optreden waardoor het oppervlak van platen, slikken en schorren wordt verkleind.

Door de aanleg van de Oosterscheldewerken zal het tijdstip waarop de maximale vloedstroom ten opzichte van de hoogwaterkentering voorkomt gaan verschuiven. De maximale stroomsnelheid zal eerder in het getij optreden.

De consequentie hiervan zou kunnen zijn dat naast de algemene afname van het zandtransport ook de concentraties van zand boven de platen en slikken bij vloed nog eens extra laag zullen zijn, omdat op het tijdstip waarop de maximale concentratie (= circa 0-30 minuten na maximale stroomsnelheden) optreedt er nog geen water boven de grote gedeelten van de platen en slikken staat. Hierdoor zal de sedimentatie op platen en slikken negatief worden beïnvloed.

#### Voordelta

Met betrekking tot de voorspelling van de invloed van de aanleg van de stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde op de buitendelta en het aangrenzende kustgebied kan worden gebruik gemaakt van ervaringen die zijn opgedaan met de reeds uitgevoerde afsluitingen. De ingreep door de bouw van de stormvloedkering is weliswaar een andere dan wanneer er een volledige afsluiting zou plaatsvinden, maar toch bestaan er grote overeenkomsten in de processen, waarvan gebruik gemaakt kan worden voor prognoses.

De bodem van de zeegaten en van het aangrenzende kustgebied bestaat grotendeels uit tamelijk fijn zand, dat gemakkelijk door de getijstromen in beweging wordt gebracht en verplaatst. Bovendien ondervindt de bodem hier de invloed van de golfbeweging die in deze open wateren vaak zeer krachtig is.

De vorm van de stroomgeulen en van de daartussen gelegen banken is dan ook geheel bepaald door het samenspel van getijstromen en golfkrachten. De invloed van de stroom is daarbij duidelijk overheersend, hetgeen blijkt uit het lijnenspel van geulen en banken, waarin zich het stromingspatroon duidelijk verraadt.

Door de afsluitingen van de grote zeegaten in het kader van de Deltawerken verandert de getijbeweging drastisch. De stroming loodrecht op de kust maakt plaats voor een meer evenwijdig met de kust gerichte stroom terwijl de golfinvloed nauwelijks of niet verandert. Tengevolge hiervan kunnen voor de kust parallelle zandbanken ontstaan, waarbij door de golfwerking materiaal wordt aangevoerd van de onderzeese vooroever. Deze laatste wordt hierdoor vermoedelijk steiler.

Door de aanleg van de stormvloedkering moet met betrekking tot het kustgebied voor de Oosterschelde met een dergelijke, zei-het mogelijk minder nadrukkelijke ontwikkeling worden gerekend (figuur 7).

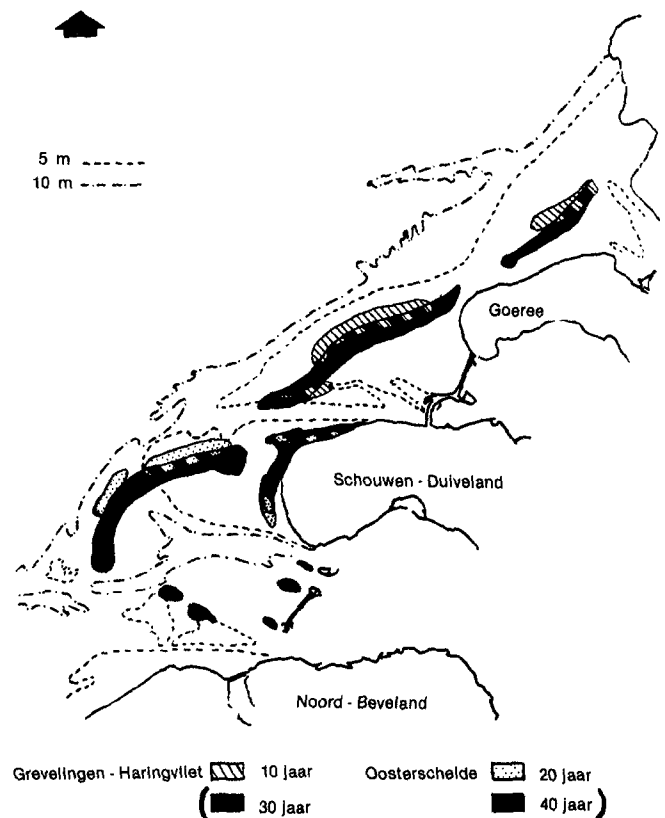


fig. 7 Hypothetische ontwikkelingen van zandbanken in het Voordeltagebied.

### 3.3. Invloed van de stormvloedkering op de morfologie in de onmiddellijke omgeving

#### Aanzandingen tijdens de bouw van de stormvloedkering

Aanzandingen kunnen verschillende handelingen bij de opbouw van de SVK ongunstig beïnvloeden. Naast de aanzanding die optreedt in de gebaggerde sleuf voor het aanbrengen van grondverbeteringen in het tracé van de stormvloedkering moet tijdens de opbouw van constructiegedeelten rekening worden gehouden met de vorming van zandlenzen tussen de verschillende constructielagen. In 3.4 wordt hierop verder ingegaan.

#### Erosie tijdens de bouw van de stormvloedkering

Water dat de stormvloedkering in de Oosterschelde passeert, zal in de kering een versnelling ondergaan, en na passage door de kering een vertraging. Bij het vertragen ontstaan wervels, waardoor het zandtransporterend vermogen van de waterstroom groter wordt dan het bovenstreams van de kering het geval was. Na passeren van de bodembescherming wordt het zandtransporterend vermogen van de turbulente stroom volledig „aangesproken”; er wordt net zo lang zand door de stroom opgenomen totdat er evenwicht ontstaat tussen het maximaal mogelijke en het feitelijk optredende zandtransport. Dit houdt in dat de stroom meer bodemmateriaal wegneemt dan aanvoert, en dus ontgronding veroorzaakt. Bij een toenemende kuil diepte verloopt dit proces steeds geleidelijker totdat uiteindelijk een evenwichtsligging van de ontgrondingskuil wordt bereikt.

Tijdens de bouw van de stormvloedkering waren twee fasen van belang met betrekking tot de morfologie in de omgeving van de stormvloedkering:

1. het plaatsen van dorpelbalken;
2. het geheel of gedeeltelijk afsluiten van sluitgaten met behulp van de schuiven t.b.v. bovenbalkplaatsingen en aanstortingen.

In deze fase werd de grootte en verdeling van de debieten door de sluitgaten beïnvloed.

De grootte van het sluitgatdebit bepaalde onder andere de snelheid van ontgronden, de aanval op de bodembescherming en mogelijke veranderingen in de stroomgeulen. De mate waarin de debietverdeling tussen twee sluitgaten varieerde gaf een indicatie voor mogelijke morfologische veranderingen van de platen tussen twee stroomgeulen.

#### Erosie na voltooiing van de stormvloedkering

##### Kortsluitgeulen

Na voltooiing van de stormvloedkering is de debietverdeling over de drie sluitgaten gelijk aan de verdeling in de situatie voor de aanleg. Dit betekent dat de dwarsverbindingen tussen de hoofdgeulen (kortsluitgeulen) zich niet verder zullen ontwikkelen.

##### Ontgrondingskuilen

Tijdens het dorpelbalkenplaatsen, zullen door de onregelmatige weerstandsverdeling over het dwarsprofiel van de sluitgaten sterke turbulenties en daardoor sterke ontgroningen optreden. Nadat de laatste dorpel is geplaatst verlopen de ontgroningen minder snel.

Belangrijk wordt dan ook de invloed van bovenaanvoer van zand en de invloed van kleilaagjes in de bodem die de kuildiepten reduceren. Rekening houdend met deze aspecten worden maximale kuildiepten van circa 15 m verwacht. Door de aanzehelling van de ontgrondingskuilen te stabiliseren met bestortingen vormen deze

ontgroningen geen gevaar voor de kering. Na het gereedkomen van de compartimenteringsdammen zal het debiet door de kering enigszins afnemen, waardoor de ontwikkeling van de ontgrondingskuilen verder afneemt.

### 3.4. Morfologisch onderzoek voor het ontwerp en de uitvoering van de stormvloedkering

#### Aanzandingsproblematiek

Het verschijnsel van de zandtransporten speelt bij het ontwerp en de uitvoering van de stormvloedkering een belangrijke rol. Aanzandingen kunnen verschillende handelingen bij de opbouw van de stormvloedkering ongunstig beïnvloeden en kunnen veroorzaken dat gedeelten van de constructie niet blijvend aan de gestelde eisen voldoen. Aanzanding tijdens de opbouw van constructiegedeelten kan de vorming van zogenaamde zandlenzen bevorderen tussen verschillende constructielagen. Als gevolg van een discontinue laagopbouw of later, als gevolg van uitspoeling van de zandlenzen kan de stabiliteit van het betreffende onderdeel nadelig worden beïnvloed.

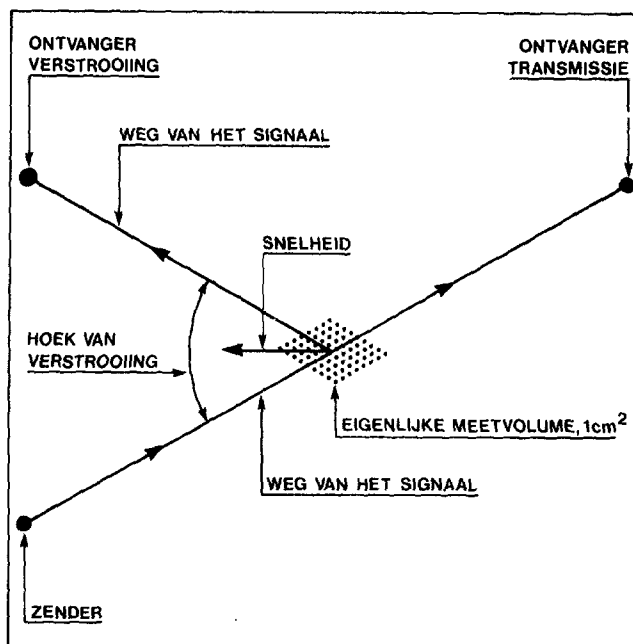
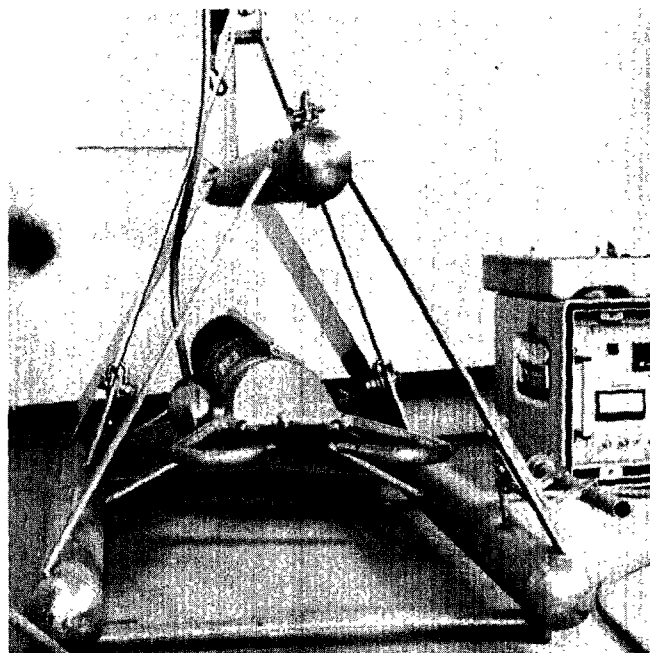
Naast de aanzanding die optreedt in de gebaggerde sleuf voor het aanbrengen van grondverbeteringen in het tracé van de SVK, zijn er bij elke pijler een aantal grenslagen aan te wijzen, die tijdens de bouw blootstaan aan aanzanding:

- tussen de verdichte bodem en de onderfiltermat
- tussen de onder- en bovenfiltermat
- tussen de bovenmatten en eventuele tegelmatten
- tussen de bovenmat respectievelijk tegelmat en de pijlervoet.

Door te kiezen voor een geprefabriceerde filteropbouw is bereikt dat de aanzanding zich tijdens de opbouw van de fundering beperkt tot bovengenoemde lagen.

Om het zand te verwijderen dat zich op de verschillende lagen afzet is het materieel waarmee de matten worden gelegd en de pijlers geplaatst voorzien van een zuigsysteem, waarmee de grensvlakken tussentijds worden opgeschoond.

fig. 8 De akoestische zandtransportmeter.



Ten behoeve van het ontwerp van het materieel en de uitvoeringsmethodieken zijn er model- en in-situ-metingen verricht. Ook werden er mathematische modellen ontwikkeld ter voorspelling van de te verwachten aanzandingen.

Voor het meten van zandtransporten werd een uitvoerig meetplan opgesteld met als doel:

- de ontwikkeling van een methode waarmee het zandtransport op willekeurige plaatsen en tijdstippen tijdens de bouw van de kering kon worden voorspeld;
- het maken van een beschrijving van het verloop van de materiaaltransporten buiten het gebied van de kering zoals in de vaargeulen van de grote werkschepen en de voorspelling van veranderingen in de bodemligging voor en achter de kering, die weer gevolgen hebben voor bepaalde randvoorwaarden zoals stroom en golven;
- de voorspelling van het eventueel transport van zwevend materiaal, waaronder slib, gedurende de bouw van de werken.

Allereerst werd een inventariserend onderzoek over de gehele Oosterschelde uitgevoerd door middel van fotovluchten. Daarbij werden sediment- of troebelheidsbanen waargenomen. Vervolgens werd de aard van deze banen onderzocht door metingen dwars over de geulen, met akoestische zandmeters en troebelheidsmeters.

Het onderzoek naar de relatie tussen het transport en andere grootheden, zoals snelheid en temperatuur van het water en golfgang, werd vervolgens aangepakt met 13-uurs metingen in een aantal meetpunten in raaien loodrecht op de geulen Hammen en Schaar. De conventionele meetmethoden hebben allen als bezwaar dat:

- een gemiddelde zandconcentratie over een zekere tijd wordt gemeten;
- stroomsnelheden afzonderlijk en niet op dezelfde locatie worden gemeten;
- de metingen discontinue plaatsvinden.

Om tegemoet te komen aan deze bezwaren is in samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium te Delft een akoestische zandtransportmeter, de AZTM, ontwikkeld. Het meetprincipe is weergegeven in figuur 8.

De door het zand in het eigenlijke meetvolume verstrooide en geabsorbeerde akoestische energie wordt gemeten. Met behulp van het doppler effect wordt de snelheid van de zanddeeltjes bepaald en de absorptie is een maat van de zandconcentratie. Over de korrelgrootte komt geen informatie beschikbaar.

Met de verkregen gegevens is de klassieke zandtransportformule herijkt en is een voorspelmodel ontwikkeld voor de drie stroomgeulen Hammen, Schaar en Roompot.

De zandconcentratie op een bepaald punt blijkt niet alleen afhankelijk van het stroomsnelheidsverloop en de golfwerking ter plaatsen, maar ook van bijvoorbeeld de turbulentie en de watertemperatuur en van de korrelgrootte van het materiaal dat bovenstrooms wordt opgewerveld. Van belang is verder de mate waarin bovenstrooms materiaal door de stroom kan worden opgenomen. Er zijn immers aan weerszijden van de Oosterscheldedekering over een brede strook bodembeschermingen aangebracht in de vorm van blokkenmatten en asfaltmatten.

#### Ontgrondingsproblematiek

Na de keuze voor een verticale vernauwing bij het ontwerp van de stormvloedkering blijft er een groot aantal mogelijkheden voor de vorm van het doorstroomprofiel. Een belangrijk aspect daarbij is het stroombeeld ter weerszijden van de stormvloedkering.

Aan de hand van stroombeeldonderzoek in het detailmodel van de sluitgaten M 1001 in het Waterloopkundig Laboratorium te De Voorst werd de verdeling van de dorpelhoogte langs de as van het sluitgat in de eindsituatie ontworpen. Het resultaat werd beoordeeld aan de hand van in het model gemeten stroomsnelheidsverdelingen langs de rand van de bodembescherming.

Ook voor het ontwerp van de bodembescherming is de mate van ontgronding aan de rand maatgevend.

De hellingen van de ontgrondingskuil mogen niet te steil worden, omdat anders het gevaar ontstaat van een locale afschuiving van de helling die in losgepakt zand een zettingsvloeiing kan veroorzaken, waarbij het bodemzand zich min of meer als een vloeistof gaat gedragen. De omstandigheden waarbij zettingsvloeiingen optreden zijn onvoldoende bekend; hetzelfde geldt voor de mogelijke afmetingen ervan. Veiligheidshalve werd daarom bij het ontwerp van de zandbodembescherming een situatie nagestreefd, waarbij geen zettingsvloeiing kan optreden.

Door de bodem nabij de rand van de ontgrondingskuil te verdichten en/of door een adequate bestorting van het talud wordt de kans op een zettingsvloeiing aanzienlijk verkleind. Bij het ontgrondingsonderzoek is een maximale kuildiepte van 25 m aangehouden voor het ontwerp van de lengte van de bodembescherming (figuur 9). De lengte van de bodembescherming werd langs gecombineerde experimenteel-analytische weg bepaald in het model M1001.

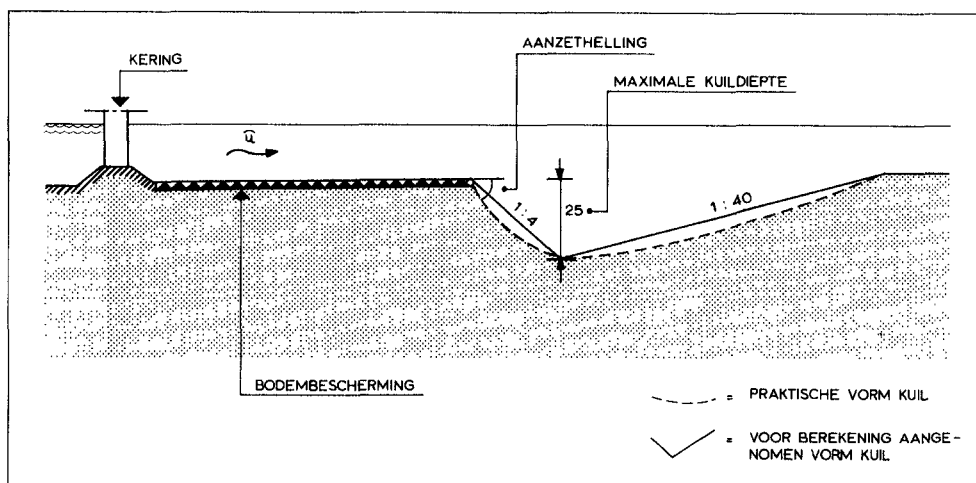
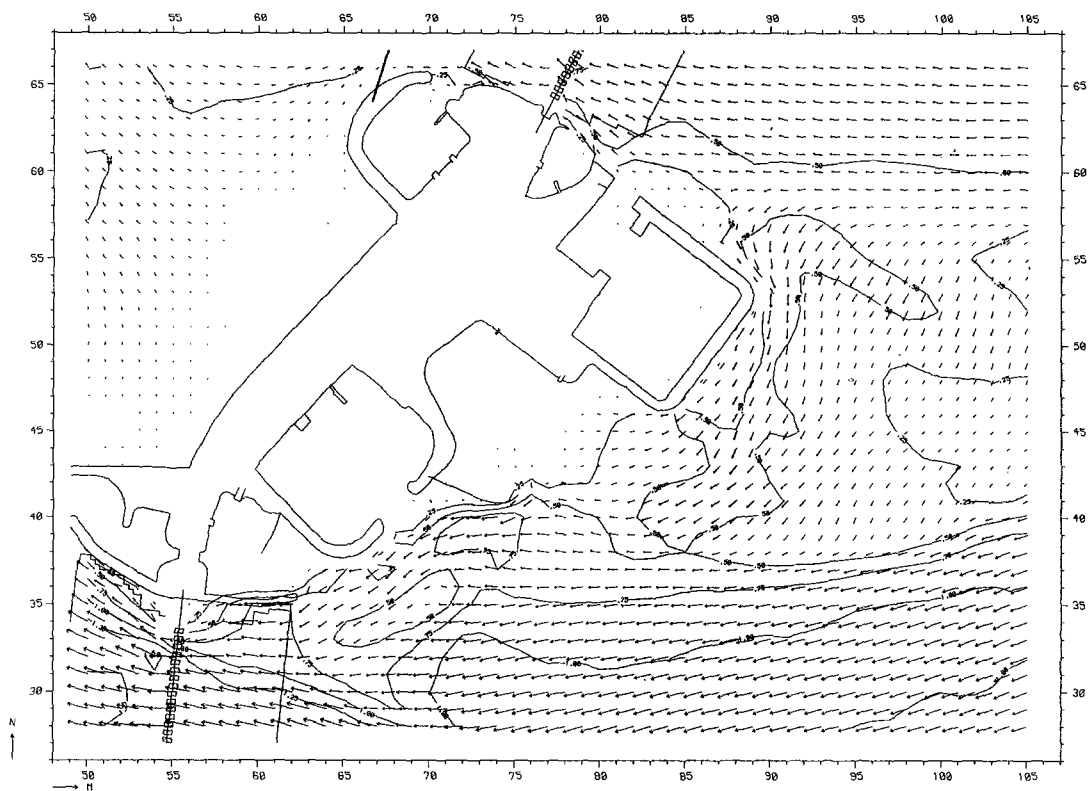
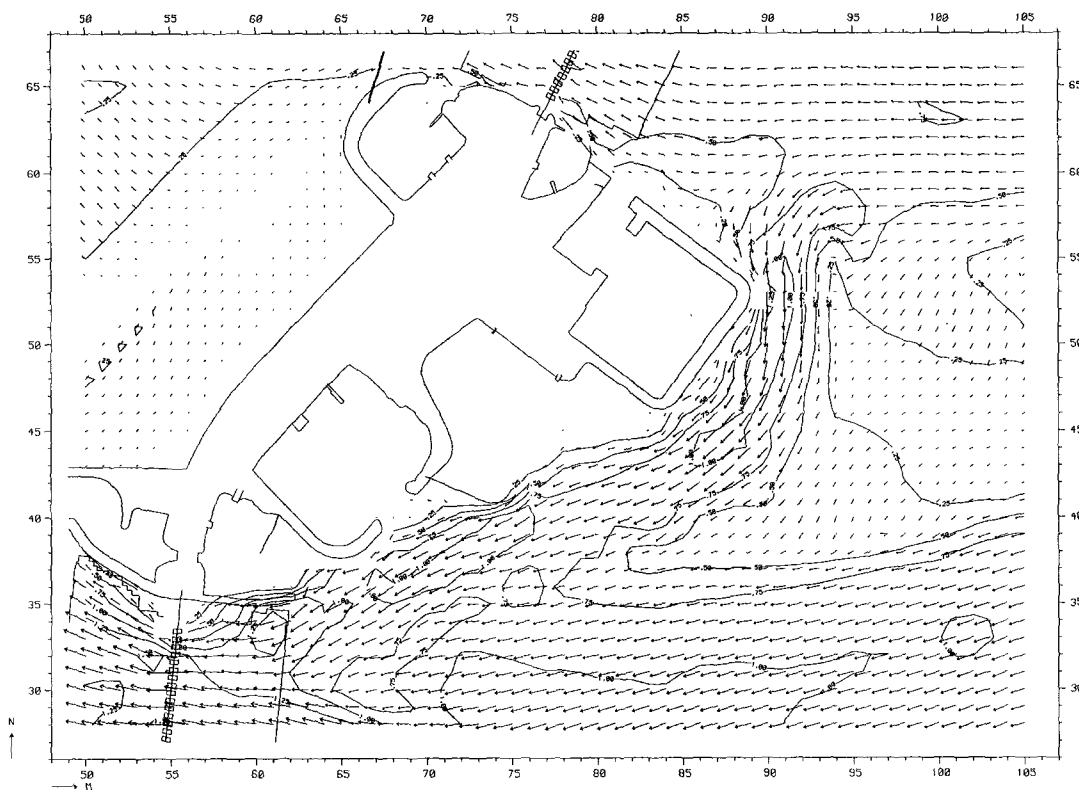


fig. 9

Te verwachten ontgrondingskuil aan de bodenstroomse zijde van de stormvloedkering.



a. Geschematiseerde bodemligging gelijk aan werkelijke ligging.



b. Geschematiseerde bodemligging met 10 meter diepe, 500 meter brede geul.

fig. 11 Resultaat van DOOS-berekening stroombeeld kortsluitverbinding Schaar-Roompot bij gesloten sluitgat Schaar.

In dit model is voor het gedeelte buiten de bodembescherming een beweeglijke bodem ingebouwd, die bestaat uit loskorrelig materiaal, met behulp waarvan het ontgrondingsproces bestudeerd kon worden. De randvoorwaarden die de waterbeweging in dit model bepalen, werden geleverd door het overzichtstijdsmodel M 1000, waarin het gehele gebied van de Oosterschelde en de voordelta is weergegeven.

Door herhaling van proeven bij verschillende lengte van de bodembescherming was het mogelijk de lengte van de bodembescherming te relateren aan de mate waarin de ontgroning afnam. Met de computer werd na invoer van de nodige gegevens berekend hoe lang de bodembescherming moest worden om de ontgrondingskuil nog binnen het aanvaardbare te houden.

Voor een uitgebreide beschrijving van de verschillende ontgrondingsonderzoeken wordt verwezen naar hoofdstuk 5 van doc. 1. Voor voorspellingen ten aanzien van de ontwikkeling van ontgrondingskuilen tijdens de scheve bouwfasen bij de afbouw van de stormvloedkering is gebruik gemaakt van de resultaten van het ontgrondingsonderzoek. Met behulp van de uit dit onderzoek verkregen ontgrondingsparameter en berekeningen met het computer-model DOOS kon de ontwikkeling gedurende deze fasen worden voorspeld.

#### Kortsluitgeulen

Voor het onderzoek naar de ontwikkeling van kortsluitgeulen tussen de 3 sluitgaten tijdens de scheve bouwfasen bij de afbouw van de stormvloedkering zijn verschillende onderzoeksmiddelen, bestaande uit mathematische stromingsmodellen en mathematische morfologische modellen, toegepast.

In eerste instantie is nagegaan welke waterstandsverschillen tussen de hoofdgeulen konden optreden als functie van de mate van vernauwing van de sluitgaten.

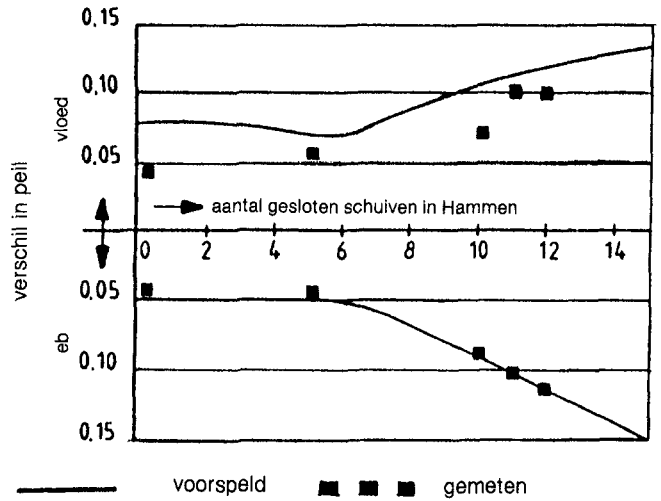


fig. 10 Met IMPLIC voorspelde maximale waterstandsverschillen tussen Hammen en Schaar bij een toenemend aantal gesloten schuiven in de Hammen.

De resultaten waren gebaseerd op berekeningen met het één-dimensionale model IMPLIC. In figuur 10 is het resultaat van een dergelijke berekening voor het waterstandsverschil tussen Hammen en Schaar bij een toenemend aantal gesloten schuiven in de Hammen afgebeeld.

Met het twee-dimensionale model DOOS zijn stroomsnelheden en debieten berekend in de diverse kortsluitverbindingen voor de verschillende bouwfasen. In figuur 11 wordt het stroombeeld aangegeven voor de situatie dat het sluitgat Schaar volledig is gesloten (voor huidige bodemligging en bodemligging met een 10 meter diepe, 500 meter brede geul). Hieruit blijkt dat bij een verdieping de stroomsnelheden toenemen en dus de erosie een progressief verloop zal hebben (zie ook figuur 12).

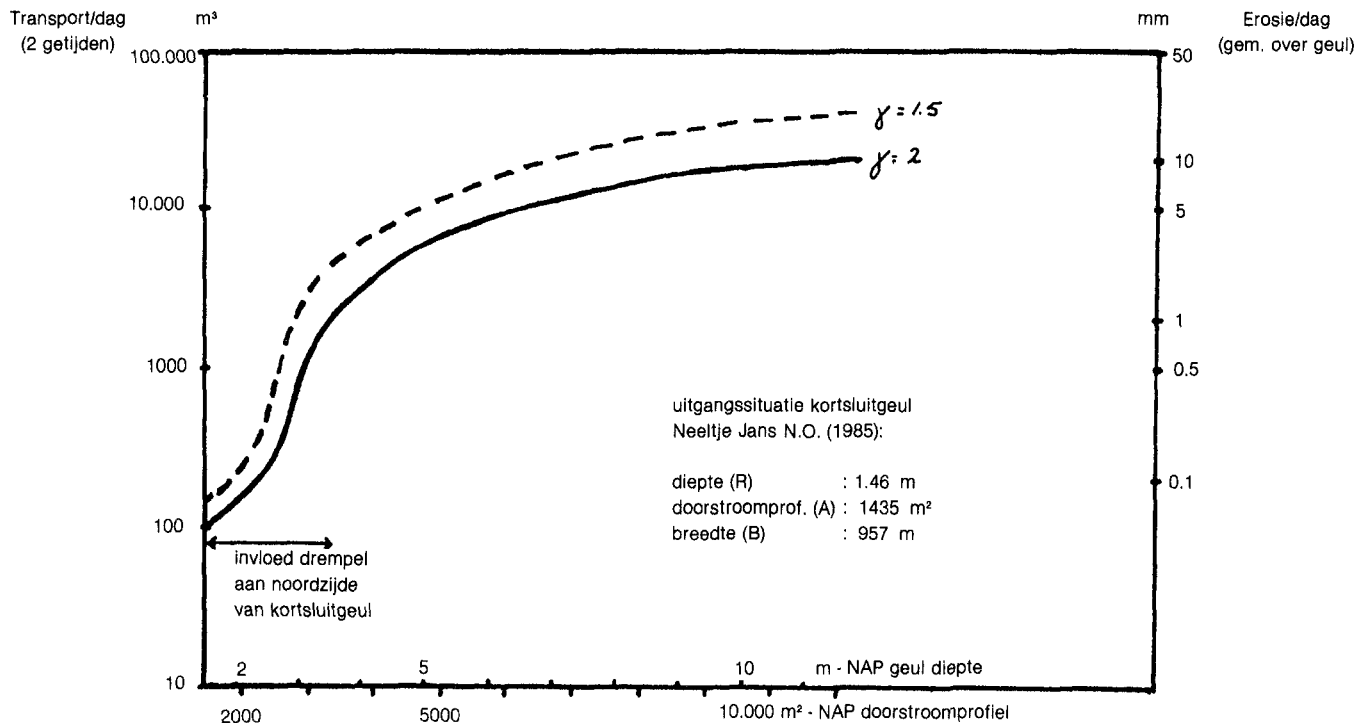


fig. 12 Relatie tussen doorstroomoppervlak van de geul Schaar-Roompot en de erosie per dag in de situatie Schaar en Hammen met dorpelbalken, Roompot alléén drempel.

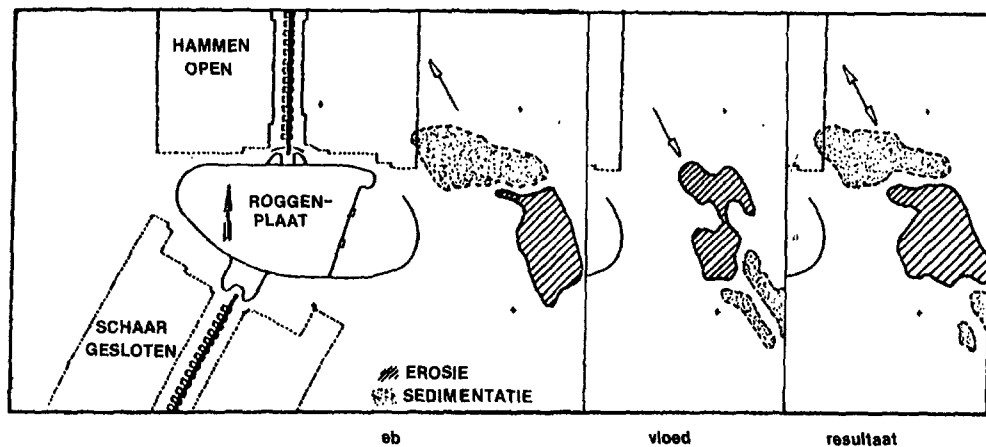


fig. 13 Resultaat SLUITZAK-berekening erosie/sedimentatie in de kortsluitgeul tussen Hammen en Schaar in de situatie Schaar gesloten.

Erosieberekeningen zijn uitgevoerd voor verschillende karakteristieke situaties. De hierbij gebruikte zandtransportmodellen zijn ZANDTY (gekoppeld achter IMPLIC) en WAMOR en SLUITZAK (beide gekoppeld achter DOOS). In figuur 13 is het resultaat van het meest geavanceerde quasi-drie-dimensionale model SLUITZAK, voor een markante bouwphase gegeven (Schaar gesloten, Hammen en Roompot open).

Met behulp van de resultaten van dit onderzoek kon tijdens de afbouw van de stormvloedkering worden geadviseerd t.a.v. het uitvoeringsschema en een gericht bewakingssysteem van de kritieke gebieden worden opgesteld.

### 3.5. Morfologische randvoorwaarden voor ontwerp en uitvoering

Debietverdeling over de hoofdgeulen

Het hoofdcriterium bij het bepalen van de doorstroomopeningen van de stormvloedkering in Hammen, Schaar en Roompot is een zodanige verdeling dat het morfologische patroon in de Oosterschelde zoveel mogelijk wordt behandhaafd. Dit houdt in dat de debietverdeling over de 3 hoofdgeulen gelijk dient te blijven.

In de huidige situatie is de verhouding van de oppervlakten van de dwarsprofielen beneden N.A.P. voor Hammen, Schaar en Roompot 25%-20%-55%. De maximale debieten verhouden zich echter als 20%-20%-60%.

Voor de situatie na het gereedkomen van de stormvloedkering geldt dat de maximale debieten ongeveer in verhouding zullen staan tot de effectieve doorstroomprofielen in de drie sluitgaten. De verdeling van het totale dwarsprofiel over de sluitgaten is dan ook in het ontwerp in verhouding tot de huidige verdeling van de maximale debieten (bij gemiddeld getij) gekozen (20-20-60%).

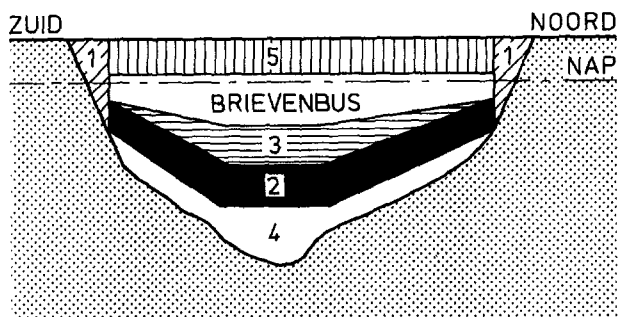
Sluitgatprofielen

Doordat in de eindfase van de bouw van de stormvloedkering slechts een beperkt deel van de oorspronkelijke geulprofielen wordt gebruikt is bij het ontwerp in principe een groot aantal mogelijkheden aanwezig voor de situering en de vorm van het definitieve doorstroomprofiel. Het belangrijkste hydraulische aspect is een zo goed mogelijke spreiding van de stroom over het geulprofiel, vooral in verband met de ontgrondingen.

Bij de zogenaamde spleetoplossing, een relatief smalle diepe opening in het midden van de geulen is een lengte van de bodembescherming aan weerszijden van de kering van ongeveer 1500 m noodzakelijk, terwijl bij de brievenbusoplossing, waarbij de totale breedte van het sluitgat wordt benut en verkleining van het profiel voornamelijk door verticale vernauwing wordt bereikt, een lengte van de bodembescherming van gemiddeld 500 m voldoende is (figuur 14).

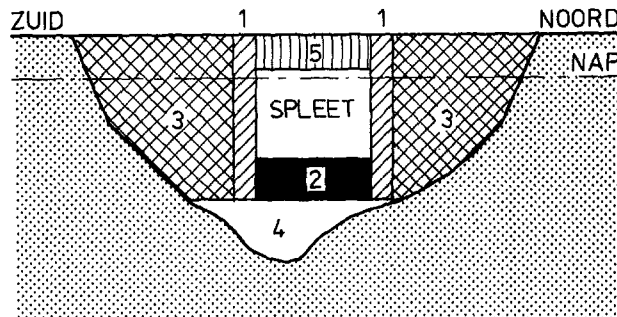
Dit tesamen met andere argumenten heeft geleid tot de keuze van de zogenaamde brievenbusoplossing.

fig. 14 Profielvernuwing van sluitgaten: brievenbus- en spleetprofiel.



#### BRIEVENBUSPROFIEL.

1. Landhoofdconstructie.
2. Constructie - kering.
3. Dorpelbalken.
4. Drempel.
5. Bovendeel - kering.



#### SPLEETPROFIEL.

1. Overgangsconstructie.
2. Constructie - kering.
3. Aansluitende dammen.
4. Drempel.
5. Bovendeel - kering.

## Aanzandingen

Om afgezet zand te verwijderen is het materieel voor het leggen van matten en pijlerplaatsen voorzien van een zorgvuldig ontworpen zuigsysteem waarmee de grensvlakken tussentijds werden opgeschoond.

Niettegenstaande alle materiële voorzieningen die zijn getroffen om de hoeveelheid zand in de verschillende grenslagen te beperken, is het uit nadere studie nodig gebieden om de werkmethode van de uitvoeringshandelingen doordacht te kiezen om niet alsnog ongewenst grote aanzandingen te krijgen.

Bij de uitvoeringshandelingen blokkeert de te leggen mat of de te plaatsen pijler, maar ook de zuigmond tijdens het opschoonproces plaatselijk het doorstroomprofiel in het sluitgat.

Na onderzoek bleek dat alle essentiële handelingen zoveel mogelijk dienden plaats te vinden rond de kentering van het getij wanneer de stroomsnelheden laag zijn. De leg- en zuigrichting dienden daarnaast zodanig gekozen te worden dat geërodeerd bodemmateriaal niet kon neerslaan op het eerder opgeschoonde werkvlak.

## Ontgrondingen

Indien een zettingsvloeiing plaatsvindt, ingeleid door een afschuiving, die veroorzaakt wordt door een te steile helling van de ontgrondingskuil, zal het zand onder de bodembescherming wegvloeien. Hierdoor wordt de bodembescherming plaatselijk beschadigd (o.a. door het ontstaan van open naden tussen bodembeschermingsvelden), waardoor het onderliggende zand bloot wordt gesteld aan de eroderende werking van de stroom, met als gevolg een terugschrijdende erosie die uiteindelijk de stormvloedkering zelf zou kunnen ondermijnen.

Hierdoor, en gezien de eerder genoemde onzekerheden omtrent het optreden en gedrag van zettingsvloeiingen, werd het niet laten ontstaan van zettingsvloeiingen langs de rand van de bodembescherming als criterium gekozen. Zettingsvloeiingen kunnen volgens de huidige inzichten slechts met zekerheid worden voorkomen door het verdichten van een strook van de bodem ter plaatse van de rand van de bodembescherming.

De maximale diepte van het grondpakket dat met de beschikbare technieken kan worden verdicht bedraagt thans circa 25 m. Hiermee wordt een feitelijk criterium voor het ontwerpen van de bodembescherming geschapen; namelijk dat de uiteindelijke maximale ontgrondingsdiepte ( $h_{\max}$ ) nergens de grens van 25 m mag overschrijden.

Tengevolge van de scheve bouwfases (dorpelbalkplaatsen, gesloten schuiven) kan door tijdelijk hogere sluitgatdebieten lokaal een sterke erosie optreden. Behalve bij de ontgrondingen aan de rand bodembescherming is dit aspect vooral van belang in gebieden zoals de Noordbevelandse oever. Bij de planning van de afbouw waren de ontgrondingsvoorspellingen van belang omdat rekening diende te worden gehouden met de eis dat noodzakelijke uit te voe-

ren bestortingen de bestortingscapaciteit niet te boven mochten gaan. Overigens kon volstaan worden met een uitgebreide bewaking tijdens de scheve bouwfases om tijdig maatregelen, zoals het aanbrengen van de bestortingen, te kunnen treffen. Het bestoringscriterium in deze gebieden was een ontgrondingsdiepte van 5 m bij een helling van 1:3 à 1:4.

## Kortsluitgeulen

### Dorpelbalkplaatsen

Uit de modelberekeningen bleek dat gedurende de dorpelbalkplaatsingen nauwelijks van debiettoenamen in de kortsluitgeul tussen Hammen en Schaar sprake was in het geval dat de Hammen maximaal 6 dorpels voorliep op het Schaar of het Schaar maximaal 2 dorpels voorliep op de Hammen.

Gedurende de plaatsingen was er weinig of geen erosie te verwachten tussen Schaar en Roompot aan de zeezijde. Aan de Oosterscheldezijde stond deze kortsluitverbinding bloot aan toenemende stroomsnelheden over het hele traject omdat de weerstand van het platengebied groot was (zèer ondiep). Indien echter om welke reden dan ook in het platengebied een verdieping ontstond, dan zal de erosie aanzienlijk toenemen. Om deze reden was besloten om op de kop van de ringdijk van bouwput Schaar preventieve maatregelen te nemen in de vorm van een „grinddeken” die daar over de plaat is aangelegd over een lengte van enkele honderden meters. Hierdoor trad een vervalspreiding op, waardoor een plotselinge doorbraak minder waarschijnlijk werd. Bovendien werd een duidelijk gemarkeerd bewakingscriterium gecreeërd.

De grenzen die door de vorming van kortsluitgeulen aan de uitvoering van de dorpelbalkplaatsingen werden gesteld waren ruim, zeker in het geval dat enige erosie in de kortsluitgeulen werd geaccepteerd. Met uitzondering van de verbinding Schaar-Roompot Oost kon worden volstaan met een uitgebreid bewakingsprogramma ten aanzien van optredende verdiepingen. Naast de aanleg van genoemde grinddeken diende de verbinding tussen Schaar en Roompot Oost extra te worden bewaakt. In het geval van onacceptabele verdieping van de kortsluitgeulen diende te worden overgegaan tot of het opheffen van de scheve sluitgatsituatie of het aanbrengen van bestortingen.

## Gesloten schuivensituaties

Gesloten schuivensituaties t.b.v. het aanbrengen van bovenbalken of bestortingen bij de kering traden slechts gedurende een beperkte tijd op. Bij uit de hand lopende situaties konden deze snel worden opgeheven door het heffen van schuiven (of het sluiten van schuiven in het naastliggende sluitgat). De marge ten aanzien van vervallen over de verschillende kortsluitverbindingen was dan ook ruimer dan bij het plaatsen van de dorpels.



## Documentatie:

1. Anonymous, Onderzoek naar de mogelijkheid van afsluiting van de Oosterschelde met een gedeeltelijk geprefabriceerde stormvloedkering, Deelnota 2, Hydraulische aspecten, Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage december 1984.
2. Anonymous, Onderzoek naar de mogelijkheid van de afsluiting van de Oosterschelde met een gedeeltelijk geprefabriceerde stormvloedkering, Eindrapport, Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage mei 1976.
3. Konter, J. e.a., Stormvloedkering Oosterschelde, Hydraulische aspecten planning 700D, Burghsluis november 1984, nota 2PROBU-N-84129; 29VORM-N-84055.

## Literatuur:

1. Blik, A.J. e.a., Short cut channels in tidal estuaries, Uit S.Y. Wangea: Proceedings of the Third International Symposium on River Sedimentation, Vol III, Estuarine and Coastal Sedimentation. 1986, School of Engineering, University of Mississippi, Mississippi USA. Printed by McNaughton and Gunn, Inc. pp 300-309.
2. Speekenbrink, H., Blik, A.J., Boon, T.J., Svasek, J.N., Van Wijngaarden, N.J.: Sedimentation in dredged trenches, uit: Paape A., e.a. Hydraulic aspects of Coastal structures, part 2. Developments in Hydraulic Engineering, related to the design of the Oosterschelde Storm Surge Barrier in the Netherlands, Delft University Press, 1980, pp 215-233.
3. Driemaandelijks Bericht Deltawerken, Deltadienst Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage:  
nr.  
71 febr'75 Bodemveranderingen in de monding van de Oosterschelde pp 15-19  
72 mei '75 Hydrografisch onderzoek naar de invloed van de SVK op de omgeving pp 84-92  
74 nov '75 De voortgang van het waterloopkundig en morfologisch onderzoek pp 206-212  
76 mei '76 Waterloopkundige en hydrografische gevolgen voor het Oosterscheldebekken pp 312-323  
76 mei '76 De waterloopkundige, hydrografische en ecologische gevolgen van de stormvloedkering voor de buitendelta en het aangrenzende kustgebied pp 332-350  
86 nov '78 Hydraulisch onderzoek naar de lengte van de bodembescherming pp 305-308  
86 nov '78 Aanzanding bij de drempelbouw pp 291-297  
88 mei '79 De morfologie van de Oosterschelde pp 407-409  
94 nov '80 Prognose van de bodemligging in de omgeving van de Oosterscheldedekering tijdens de bouw pp 180-183  
96 mei '81 Bodemfluctuaties in de Oosterschelde pp 305-308  
99 febr'82 Aanzanding bij de bouw van de Oosterscheldedekering pp 467-472  
106 nov '83 Problematiek rond de randen van de bodembescherming pp 359-363  
107 febr'84 De beheersing van ontgrondingskuilen pp 294-298  
108 mei '84 Een acoestische zandtransportmeter pp 430-437  
110 nov '84 Zandconcentratievoorspellingen pp 541-545.

## 4. Hydraulische aspecten

### 4.1. Inleiding

De belangrijkste eisen waaraan het ontwerp van de SVKO moest voldoen, zijn het garanderen van een getijverschil van 2,70 m in Yerseke (vormgevingsaspect open kering) en het keren van een stormvloed (sterkte-aspect gesloten kering).

Volgens de door de Deltacommissie geformuleerde normen moet een waterkering ontworpen worden op een maatgevende stormvloedwaterstand (waterstand met een overschrijdingskans van  $2.5 \times 10^{-4}$  per jaar), in combinatie met een golfoploopcriterium.

Voor een conventionele zeewering zoals een dijk kan een extreme waterstand gebruikt worden als ontwerpcriterium omdat overlopen één van de grootste bedreigingen vormt.

Ten gevolge van een overstroming zal de SVKO echter niet bezwijken. Daarentegen kan reeds de combinatie van één verval en één golf voldoende zijn om de kering ernstig te beschadigen.

Het is daarom noodzakelijk geweest de „Deltanorm” te interpreteren m.b.t. het ontwerp van de stormvloedkering.

Dit is gebeurd door een extreme belastingscombinatie te definiëren die een overschrijdingskans heeft van  $2.5 \times 10^{-4}$  per jaar (gelijk aan de Deltanorm).

Deze extreme belasting is het uitgangspunt voor het gehele ontwerp m.b.t. de eindfasesituatie. Daarna kunnen hydraulisch gezien twee sterk verschillende situaties onderscheiden worden, namelijk de gesloten kering (incidentele gebeurtenis) en de open kering (normale situatie). Het zal duidelijk zijn dat de randvoorwaarden en dus ook de ontwerpbelastingen zoals die voor beide situaties opgaan sterk verschillend zijn.

Voor de meeste onderdelen is voor het ontwerp de gesloten keringssituatie overheersend (bijdrage aan de totale faalkans), waarin de voornaamste randvoorwaarden worden gevormd door het verval over de kering en de golfconditie.

In het geval van een open kering worden de ontwerp randvoorwaarden opgelegd door een combinatie van golven en stroom

Ook tijdens de bouwphase zijn de natuurrandvoorwaarden van belang. Enerzijds voor ontwerpdoeleinden (materieel, constructie) en anderzijds als randvoorwaarde voor de uitvoering (werkbaarheid). Belangrijke verschillen met de randvoorwaarde voor de eindfase ontstaan doordat de duur van de bouwphase beperkt is en doordat de geaccepteerde faalkans hoger is. Hierdoor liggen de ontwerp randvoorwaarden voor de bouwphase vaak lager dan voor de eindfase. Daar staat echter tegenover dat de constructie tijdens sommige bouwfasen nog niet haar volle sterkte bezit.

In dit hoofdstuk wordt allereerst in par. 4.2 ingegaan op de hydraulische randvoorwaarden voor de gesloten kering in de eindfase met de probabilistische bewerking van gegevens over waterstanden en golven.

In samenhang met de randvoorwaarden voor de open kering (stroom en golven) worden in par. 4.3 de fysische en mathematische modellen behandeld, die zijn gebruikt voor de beschrijving van de waterbeweging op het Oosterscheldebekken in het algemeen en meer in detail rond de kering. Met deze modellen werden onder andere waterstandsgegevens aan de zeezijde van de kering omgezet tot stroomgegevens ter bepaling van de stroomrandvoorwaarden voor de open kering.

In par. 4.4 wordt de omzetting van de vastgestelde natuurrandvoorwaarden in belastingen op de verschillende constructieonderdelen behandeld.

Tenslotte worden in par. 4.5 de randvoorwaarden in de bouwphase, voor het ontwerp van keringonderdelen en werkmaterieel en de werkbaarheid op de bouwplaats behandeld, waarna nog kort wordt ingegaan op de daaruit voortvloeiende bouwphase belastingen.

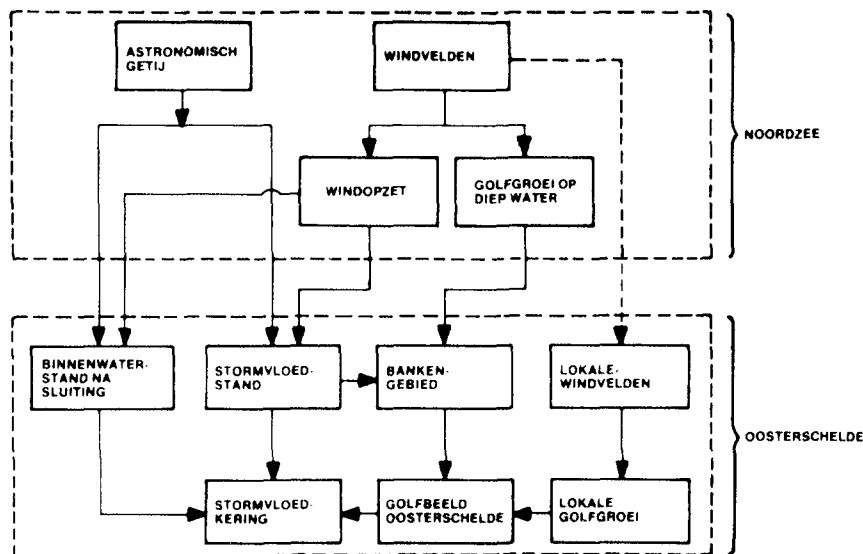


fig. 15 Het schema van de fysische relaties die gebruikt worden bij de afleiding van de drie-dimensionale kansdichtheidsfunctie van stormvloedstand, golfenergie en binnenwaterstand.

## 4.2. Gegevens bewerking voor de gesloten kering

### 4.2.1 Algemeen overzicht

Voor het probabilistisch ontwerpen van de stormvloedkering is een statistische beschrijving van de belastingen door middel van kansdichtheidsfuncties (k.d.f.) een vereiste. Dit betekent dat om te beginnen de meerdimensionale k.d.f. van de hydraulische randvoorwaarden (stormvloedstand, binnenwaterstand en golfenergie) bepaald moet worden.

In principe staan twee methoden ter beschikking om de waarnemingen van deze natuurrandvoorwaarden en hun onderlinge correlaties (voor zover beschikbaar) te extrapoleren naar waarden met een lage kans van voorkomen (nodig voor het ontwerp) waar metingen ontbreken:

1. een zuiver statistische extrapolatie;
2. een statistische extrapolatie ondersteund door op fysische wetten berustende mathematische modellen. De mathematische modellen kunnen getoetst worden aan waarnemingen.

Een combinatie van deze methoden is toegepast bij de berekening van de drie-dimensionale k.d.f. van stormvloedstanden, golfenergie en binnenwaterstanden. Een schematische weergave van het mathematische model dat bij deze ontwikkeling is gebruikt, is gegeven in figuur 15.

De k.d.f. van de hoogwaterstanden is gebaseerd op de statistische extrapolatie van een 50 jaar lange waarnemingsreeks bij Burghsluis. De fysische kennis van het stormvloedverschijnsel dat veroorzaakt wordt door een windopzet in de Noordzee te zamen met het astronomische hoogwater, is uitsluitend gebruikt om te onderzoeken of de via statistische extrapolatie voorspelde extrema fysisch mogelijk zijn.

Het inzicht, dat een stormvloed wordt gevormd door een willekeurige combinatie van een windopzet met het astronomisch getij, werd wel benut bij het berekenen van de voorwaardelijke kansdichtheidsfunctie van binnenwaterstanden. De strategieën, die gevolgd worden bij het sluiten van de kering tijdens stormvloeden konden eenvoudig in het model worden opgenomen. Met behulp van het model werd de voorwaardelijke k.d.f. van binnenwaterstanden voor een aantal sluitingsstrategieën bepaald.

Daarnaast is een eenvoudig model ontwikkeld waarmee het golfbeeld op de Oosterschelde beschreven kon worden (rechterdeel figuur 15). Hierbij is aangenomen dat dit golfbeeld is opgebouwd uit enerzijds de over de banken doordringende laagfrequente energie en anderzijds uit hoogfrequente golven opgewekt door lokale windvelden. Met het model is de voorwaardelijke twee-dimensionale k.d.f. van stormvloedstanden en golfenergie bepaald.

Nadat was bewezen dat de golfenergie en de binnenwaterstand statistisch onafhankelijk zijn, werd de gezochte drie-dimensionale k.d.f. van stormvloedstanden, golfenergie en binnenwaterstanden afgeleid als het produkt van de bovenvermelde voorwaardelijke k.d.f.'s en de k.d.f. van de stormvloedstanden. Het resultaat vormde het startpunt van de berekening van de kansdichtheidsfunctie van de hydraulische belasting op de kering (par. 4.4.).

In de volgende paragrafen zullen de gebruikte modellen om te komen tot de kansdichtheidsfuncties kort worden toegelicht.

Voor meer uitgebreide informatie wordt verwezen naar doc. 1. Achtereenvolgens wordt een beknopt overzicht gegeven van de modellen zoals die gehanteerd zijn voor de afleiding van de drie-dimensionale kansdichtheidsfunctie van stormvloedstanden, golfenergie en binnenwaterstand, waarmee de kansverdeling van de ontwerp natuurrandvoorwaarden voor een gesloten kering vastgelegd kunnen worden.

### 4.2.2 Stormvloedstanden

Aangenomen is dat de stormvloedstand opgebouwd is uit twee statistisch onafhankelijke fenomenen nl.:

- windopzet;
- astronomisch getij.

De maximale windopzet is gerelateerd aan het windveld op de Noordzee (via de 9 uur ononderbroken overschreden windsnelheid W9), terwijl uit 38 geselecteerde stormen het verloop van de windopzet als functie van de tijd is afgeleid (figuur 16):

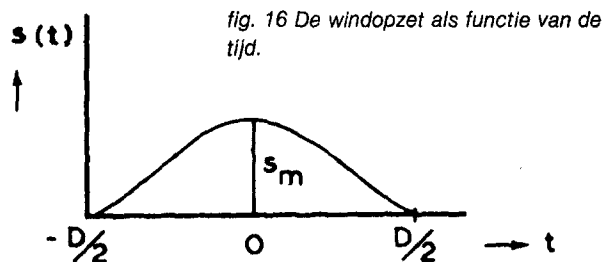


fig. 16 De windopzet als functie van de tijd.

$$\underline{s}(t) = \underline{s}_m \cos^2\left(\frac{\pi t}{\underline{D}}\right) \quad \text{voor } 0 \leq t \leq \underline{D}$$

waarin  $\underline{s}_m$  = max. windopzet tijdens de storm (= functie van W9)  
 $\underline{D}$  = totale duur van de windopzet

Tevens is uit meetgegevens een formulering van de overschrijdingskans van de maximum windopzet tijdens een storm bepaald:

$$\Pr(\underline{s}_m > s) = \exp\left(\frac{1.53 - s}{0.3026}\right)$$

evenals de k.d.f. van de stormduur  $p(\underline{D})$ . De stormduur ( $\underline{D}$ ) is onafhankelijk verondersteld van de windsnelheid (W9). Hiermee kan de kansverdeling van de windopzet als functie van de tijd en de storm (W9) bepaald worden.

Het astronomisch getij is gemodelleerd als een harmonische wisseling van de waterstand (periode  $T_0 = 12,4$  uur) met een Gaussisch verdeelde hoogwater amplitude  $h_{HW}$  met een gemiddelde  $M_{HW}$  en een standaardafwijking  $\sigma$  terwijl de laagwater amplitude lineair afhankelijk van de hoogwater amplitude is verondersteld:

$$\underline{h}_{LW} = 0,897 \underline{h}_{HW} - 0,22$$

Het astronomisch getij is nu vastgesteld door:

$$\underline{h}(t) = \frac{\underline{h}_{HW} - \underline{h}_{LW}}{2} \sin \frac{2\pi}{T_0} (t + \underline{\Phi}) + \frac{\underline{h}_{HW} + \underline{h}_{LW}}{2}$$

Een stormvloedstand wordt nu verondersteld beschreven te kunnen worden via lineaire superpositie van een willekeurig astronomisch getij en een willekeurige windopzet:

$$\underline{z}(t) = \underline{h}(t) + \underline{s}(t)$$

waarvan het maximum optreedt met een faseverschuiving  $\underline{\Phi}$  t.o.v. het astronomisch getij (figuur 17).

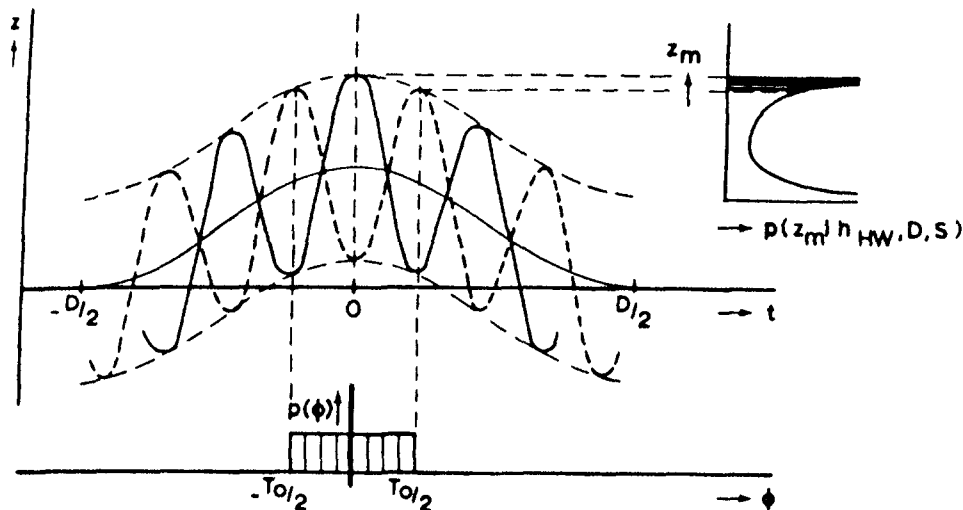


fig. 17 Stormvloedwaterstand als lineaire superpositie van wind opzet en astronomisch getij.

Aangezien de verdelingen van de verschillende variabelen bekend zijn ( $\Phi$  wordt uniform verdeeld verondersteld) kan de verdeling van de stormvloedstanden berekend worden, waarbij verder aangenomen is dat de stormduur  $D$  en de windopzet onafhankelijk zijn. Vergelijking van de hieruit af te leiden cumulatieve k.d.f. met de overschrijdingscurve gepubliceerd door de Deltacommissie geeft een goede overeenkomst te zien (figuur 18).

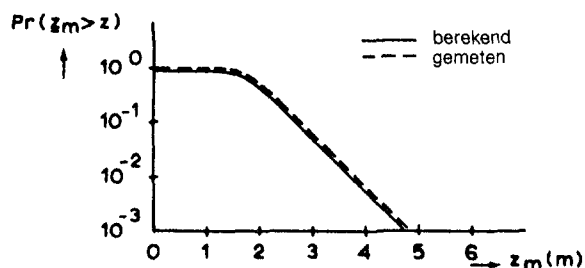


fig. 18 Vergelijking van de berekende en gemeten overschrijdingslijn van maximale stormvloedstanden.

#### 4.2.3 Binnenwaterstand

Het in de voorgaande paragraaf aangegeven model is vervolgens ook gebruikt voor het vaststellen van de kansverdeling van de binnenwaterstand waarbij de kering gesloten is.

Daarvoor is uitgegaan van de sluitingsstrategie voor de kering: „sluiting op laagwater”, hetgeen inhoudt dat de kering wordt gesloten op het laagwater voorafgaand aan het hoogwater (stormvloedpeil) dat naar verwachting een zeker drempelpeil zal overschrijden.

Met behulp van het model is de twee-dimensionale k.d.f. bepaald voor de binnenwaterstand en de maximale buitenwaterstand door voor gegeven waarden van  $\Phi$ ,  $h_{HW}$ ,  $s_m$  en  $D$  de stormvloedstand te berekenen en vervolgens het sluitingstijdstip en daarmee de binnenwaterstand vast te stellen (zie figuur 19).

$$z_{LW}(t_{\text{dicht}}, h_{LW}, D, s_m) = h_{LW} + s(t_{\text{dicht}})$$

Door van elke combinatie van  $h_{HW}$ ,  $s_m$  en  $D$  de kans van voorkomen te berekenen, evenals de bijbehorende stormvloedstand  $z_m$  en de binnenwaterstand  $z_{LW}$  (figuur 20) kan de twee-dimensionale k.d.f. voor de maximale stormvloedstand en de binnenwaterstand bepaald worden ( $p(z_m, z_{LW})$ ).

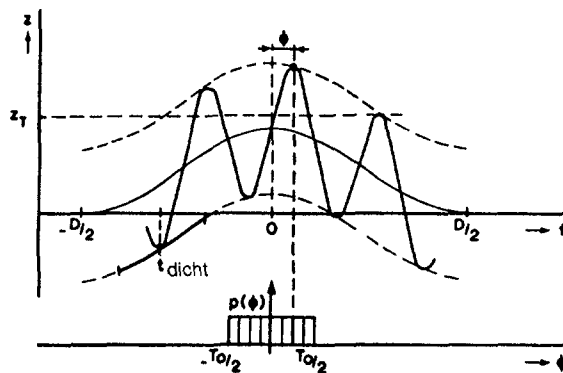


fig. 19 De relatie tussen de maximale stormvloedstand en het laag waterpeil tijdens sluiting.

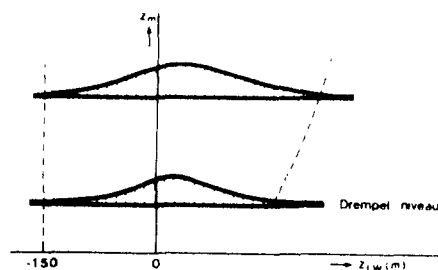


fig. 20 De twee-dimensionale kansdichtheidsfunctie van de maximum stormvloedstand en de laagwaterstand tijdens sluiting van de kering.

In het voorgaande is de twee-dimensionale k.d.f. voor binnenwaterstanden en stormvloedstanden toegelicht zoals deze is afgeleid uit de beschikbare meetgegevens. Hierin is de invloed van de kering zelf op de randvoorwaarden dan ook niet opgenomen. Om de invloeden van de gesloten kering op het Oosterscheldebekken, zoals afwaaiing, translatiegolven, schommelingen en lek, mee te nemen, heeft een correctie van de berekende kansverdelingsfunctie plaatsgevonden, die hier niet verder wordt toegelicht.

#### 4.2.4 Golfenergie

In deze paragraaf wordt het tweede deel van de uiteindelijke drie-dimensionale k.d.f. van de natuurrandvoorwaarden toegelicht, namelijk de twee-dimensionale k.d.f. van stormvloedstanden en golfenergie.

Uit golfwaarnemingen gedaan met de meetpaal OS IV in de monding van de Oosterschelde, bleek dat er een matige correlatie bestaat tussen de stormvloedstand en de golfenergie, en dat de golfspectra gedurende stormcondities over het algemeen dubbeltoppig zijn.

Het gebrek aan voldoende golfwaarnemingen verhinderde echter een extrapolatie vanuit de meetgegevens van de tweedimensionale k.d.f. van stormvloedstanden en golfenergie met statistische technieken.

Daarom werd een mathematisch model ontwikkeld, dat schematisch is weergegeven in de rechterhelft van figuur 15. Het model is gebaseerd op de hypothese dat de typische dubbelgepekte vorm van het golfspectrum wordt veroorzaakt door het feit dat de golfenergie voortvloeit uit twee bronnen. Enerzijds dringt vanuit de Noordzee via het bankengebied voor de monding van de Oosterschelde laagfrequente golfenergie door tot de kering. De hoeveelheid golfenergie, die overblijft nadat in het bankengebied breking, bodemdissipatie en refractie t.g.v. diepte en stroom hun tol hebben geëist, is een functie van de stormvloedstand.

Anderzijds worden in het mondingsgebied door lokale windvelden, die enige relatie vertonen met de algemene stormintensiteit, hoogfrequente golven opgewekt. De laagfrequente en de hoogfrequente golfenergie vormen samen het golfbeeld nabij de kering dat derhalve een tweepiekg spectrum kent (figuur 21).

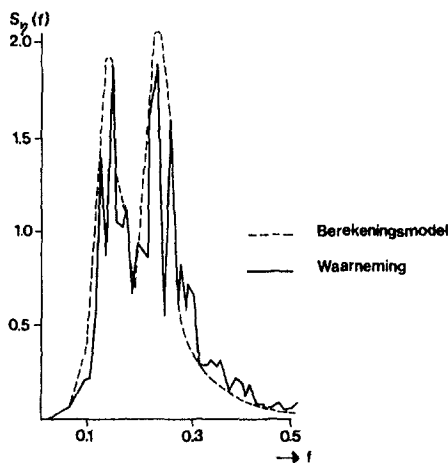


fig. 21 Karakteristiek golfspectrum voor de Oosterschelde.

Het rekenmodel dat bovenvermelde effecten bevat is getest in een simulatie van verscheidene historische stormen. Aangezien de overeenstemming tussen model en waarnemingen goed was, werd het model gebruikt bij de extrapolatie van de voorwaardelijke tweedimensionale k.d.f. van stormvloedstanden en golfenergie.

Deze is als volgt afgeleid:

- golfspectrum t.p.v. de kering is hoofdzakelijk bepaald door de stormvloedstand  $z$  en de plaatselijke windsnelheid  $v_w$ ;
- stormvloedstand  $z$  is bepaald door het astronomisch getij  $h$  en de windopzet  $s$ , waarbij  $s$  direct gekoppeld is aan de windsnelheid op de zuidelijke Noordzee;
- de lokale windsnelheid  $v_w$  kan gekoppeld worden aan de windsnelheid op de Noordzee. Door rekening te houden met een faseverschil  $\tau$  tussen het moment van optreden van de maximale windsnelheid en de maximale windopzet (circa 6 uur) en het verloop van de windsnelheid als functie van de tijd kan de voorwaardelijke k.d.f. van een extreme stormvloedstand en de lokale windsnelheid berekend worden;

- doordat nu het uiteindelijke golfspectrum zowel bepaald wordt door het plaatselijke windveld als de stormvloedstand kan, voor elke combinatie van  $z$  en  $v_w$ , met het opgestelde model een significante golfhoogte  $H_s$  en  $z$ 'n kans van optreden berekend worden, waarmee uiteindelijk de voorwaardelijke kansdichtheidsfunctie van stormvloedstanden en golfenergie ( $p(wz | z_m)$ ) bepaald is (zie figuur 22).

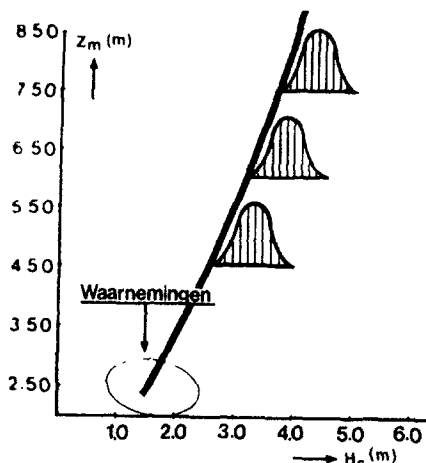


fig. 22 De relatie tussen de stormvloedstand en de significante golfhoogte; in de figuur zijn tevens de voorwaardelijke kansdichtheidsfuncties van  $H_s$  gegeven voor een aantal stormvloedstanden.

#### 4.2.5 Drie-dimensionale kansdichtheidsfunctie van stormvloedstand, golfenergie en binnenwaterstand

In het voorgaande zijn de tweedimensionale k.d.f. van de stormvloedstand en de binnenwaterstand, geschreven als  $p(z_m, z_{LW})$  en de voorwaardelijke k.d.f. voor de stormvloedstand en de lokale windsnelheid, waar in elk punt het golfspectrum bekend is ( $p(w | z_m)$ ), bepaald.

De twee k.d.f.'s mogen gecombineerd worden tot de gezochte drie-dimensionale k.d.f. voor de natuurrandvoorwaarden als de binnenwaterstand ( $z_{LW}$ ) en de lokale windsnelheid onafhankelijk zijn. Aangezien uit de opgestelde modellen gebleken is dat de binnenwaterstand slechts zwak gecorreleerd is met de maximale stormvloedstand en uit historische gegevens van significante golfhoogten en laagwaters geen correlatie blijkt is de veronderstelling van statistische onafhankelijkheid gerechtvaardigd en kan de gezochte k.d.f. tenslotte berekend worden via:

$$P(z_m, z_{LW}, w) = P(z_m, z_{LW}) \cdot P(w | z_m)$$

### 4.3. Gegevens bewerking voor de open kering

#### 4.3.1 Algemeen overzicht

In de operationele fase met een open kering worden de hydraulische ontwerprandvoorwaarden gegeven door een combinatie van stroomsnelheden en golfcondities, die gelimiteerd zijn door het sluitingscriterium van de kering (par. 4.2.3).

De golfcondities kunnen met het in par. 4.2.4 geschetste golfmodel worden berekend.

Voor het vaststellen van de stroomrandvoorwaarden is uitgebreid fysisch en mathematisch modelonderzoek verricht, waaruit zowel

Tabel 1: Indeling van modelvoorspellingen

	termijn		
	kort	middellang	lang
verticaal getij	astronomisch getij en windopzet	astronomisch getij	statistiek van getij en windopzet of specifiek getij
bouwfase van de kering	huidige bouwfase	huidige of toekomstige bouwfase	toekomstige bouwfase
doel van de voorspelling	operationele begeleiding	werkvoorbereiding	ontwerp randvoorwaarden, sterkte eisen, overlevingscondities en werkbaarheid, cyclustijdbeschouwingen
resultaat van de voorspelling	snelheidskromme	snelheidskromme	extreme snelheden of standaard-snelheidskromme
termijn	12-36 uur	week - 1 à 2 maanden	1/2 jaar - jaren

voor de operationele fase (t.b.v. ontwerp) als voor de bouwfase (t.b.v. ontwerp, planning en werkbaarheid) verwachtingen omtrent de stroomsnelheden zijn verkregen als functie van het verticaal getij op zee (zie par. 4.3.3).

Aangezien zowel de overschrijdingslijn voor het verticaal getij als die voor de input parameters van het golfmodel bekend zijn kunnen curves van gelijke kansen van overschrijding (combinatie golven en stroming) bepaald worden.

De afregeling van de gebruikte fysische en mathematische modellen geschiedde op grond van prototype waarnemingen in de To situatie (de situatie zonder verstoringen) maar ook in latere bouwfases.

Stroomproeven of berekeningen met deze modellen leverden voor iedere ingestelde bouwfase resultaten, zoals:

- de debieten door de sluitgaten van de kering;
- de stroomsnelheden in en nabij de as van de kering;
- de vervallen over de kering;
- stroombeelden rond de constructie;
- de waterstanden in het Oosterscheldebekken;
- het golfklimaat en de golfbelasting nabij de kering.

In 1982-1983 zijn enkele rekenmodellen en modelgegevens samengevoegd tot één numeriek voorspelsysteem, dat in principe zowel voor de lange-, de middellange- als de korte-termijn verwachtingen operationeel gebruikt kon worden.

Het voornaamste onderscheid tussen de toepassingsgebieden werd gevormd door de invoergegevens van het systeem.

Bij de lange-termijn verwachting bestond die uit de statistiek van het verticale getij op zee, bij de middellange-termijn verwachting uit het verwachte astronomische verticale getij en bij de korte-termijn verwachting werden ook de verwachte weersinvloeden op het verticale getij in rekening gebracht. Een indeling van de voorspellingen naar de genoemde termijnen geeft tabel 1.

Na een korte beschrijving van de beschikbare modellen zullen toepasbaarheid en kwaliteit van de resultaten beschouwd worden in

het kader van de hydraulische aspecten. De aspecten met betrekking tot de golfmodellen zullen later behandeld worden.

#### 4.3.2 Modellen ten behoeve van de Oosterscheldekering

Voor het vaststellen van hydraulische randvoorwaarden in de ontwerpfase van het Deltaplan zijn in 1959 en 1963 respectievelijk de fysische modellen M600 en M822 aangelegd.

In deze modellen zijn met name de varianten onderzocht met betrekking tot definitieve sluitingen in zuidwest Nederland, dus ook de Oosterschelde.

In 1968 is door het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst het overzichtsgetijmodel M1000 en het detailpermanentemodel M1001 gebouwd. In het model M1000 is het gehele Oosterscheldebekken op schaal weergegeven met een modelrand in zee die buiten de invloedssfeer ligt van de dam/kering aanleg (figuur 23).

Deze laatstgenoemde modellen zijn in de zeventiger jaren intensief gebruikt zowel voor het onderzoek naar een volledige sluiting, als voor het onderzoek naar een afsluitbare kering, na de politieke beslissing van 1975.

Het M1000 model werd gestroomd met randvoorwaarden (randwaterstanden) die gebaseerd waren op prototype waarnemingen of astronomische voorspellingen. Het onderzoek richtte zich op allerlei zogenaamde bouwfasenonderzoeken, waarbij debietverdelingen, stroomsnelheden en stroombeelden belangrijke resultaten waren.

Het model M1000 is in 1984 vervangen door een numeriek model en in 1986 afgebroken.

De M1001 modellen van de 3 sluitgaten Hammen, Schaar en Roompot werden gestroomd met een vooraf ingesteld debiet (eb/vloed) dat een stationair stroombeeld opleverde. De resultaten leverden informatie met betrekking tot de ontwikkeling van ontgrondingskuilen, schadebeelden van de bodembescherming, stroombeelden en de stroomsnelheidsverdeling over het sluitgat. Daarnaast zijn ze ook gebruikt voor krachtmetingen op het werkmaterieel.

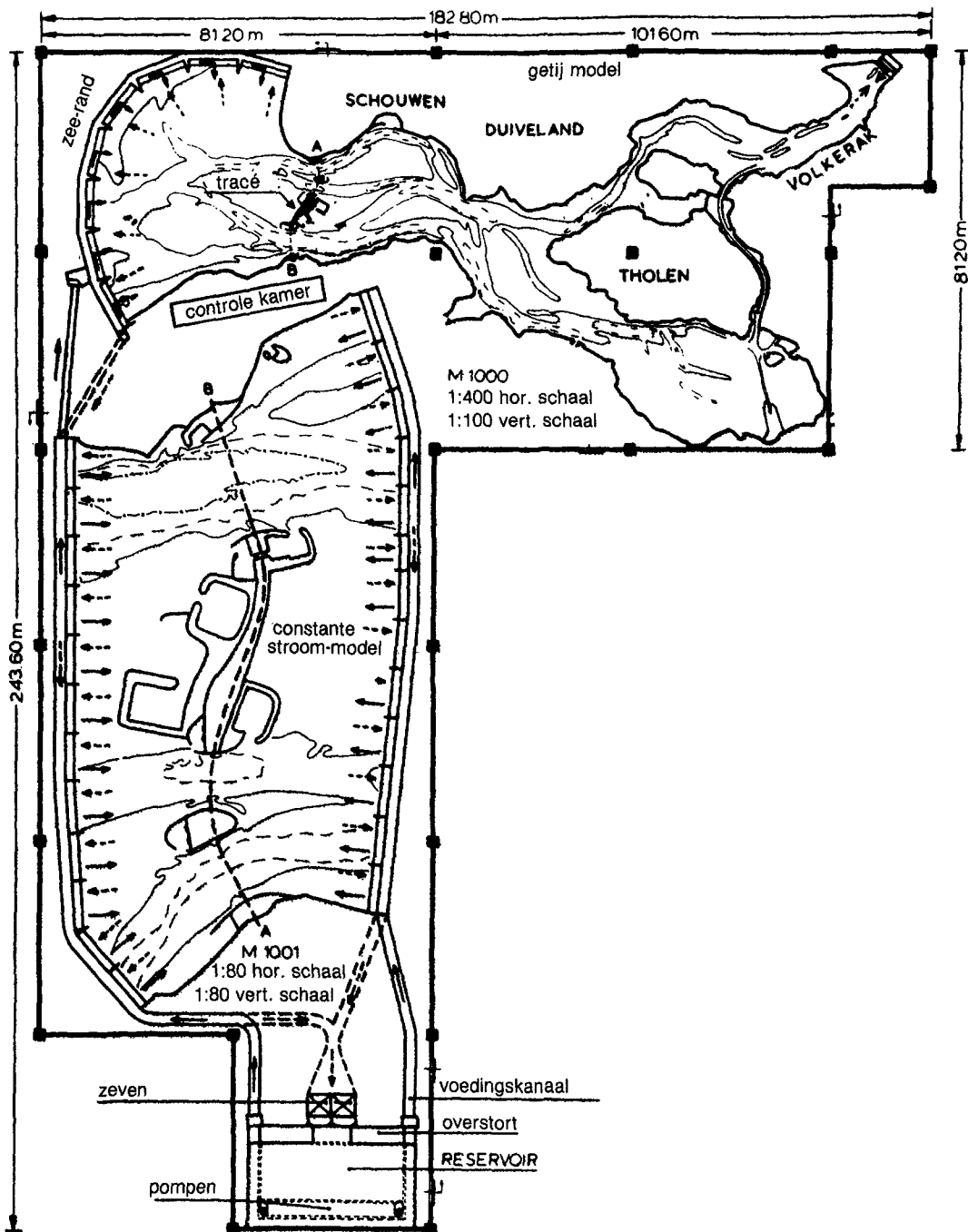


fig. 23 *Overzicht van de stroommodellen M1000 en M1001 in de Voorst.*

Naast de grote en kleinere fysische modellen zijn „rekenmodellen” ontwikkeld waarbij de tijdschaal veelal een fractie was van die van het model M 1000 en het instellen van een bepaalde bouw-fase veel eenvoudiger werd.

In de vijftiger jaren is daarvoor de Deltar (Delta-tijd-analogen-rekenmachine) gebouwd. Met behulp van opgelegde waterstanden konden met dit elektrisch analogen waterstanden, debieten en snelheden berekend worden (tijdschaal 1:100), voor verschillende plaatsen in het bekken.

Rond 1970 is een gedetailleerd Oosterscheldebekken geschematiseerd dat afgeregeld was op grond van prototype metingen.

Met behulp van de Deltarschematisatie en -resultaten is in 1973 het één-dimensionale IMPLIC-rekenmodel ontwikkeld waarin de tijdschaal varieert van 1:500-1000, afhankelijk van de computer.

De gebruikte schematisatie is weergegeven op figuur 24.

Dit rekenmodel dat snel en betrouwbaar was is na 1982 operationeel geworden en maakte het mogelijk om berekeningen uit te voeren voor de korte-, middellange- en lange termijn. Ook zijn allerlei gevoeligheidsonderzoeken hiermee uitgevoerd.

De ontwikkeling van de 2-dimensionale modellen die al dateert van 1968 (WAQUA-modellen) heeft zich wat betreft de Oosterschelde gericht op overzichtsmo-dellen (OOST-modellen) en detailmodellen voor zowel de sluitgaten van de kering als de compartimenteringswerken (DOOS-modellen).

De resultaten van 2-dimensionale modellen zijn met name gebruikt voor stroombeelden, erosieberekeningen en het berekenen van afvoercoëfficiënten.

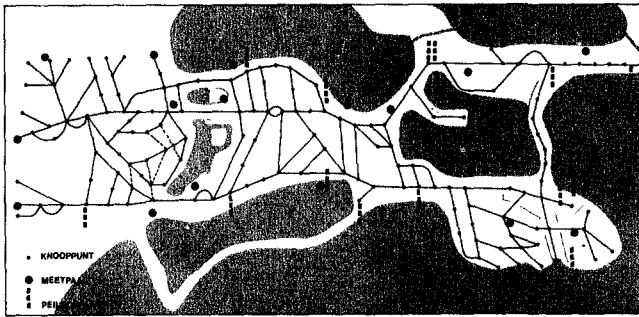


fig. 24 IMPLIC-schema van de Oosterschelde inclusief meetpalen van het HISTOS-meetnet.

Om al deze modellen te ontwerpen en te toetsen waren meetcampagnes en permanente meetopstellingen in het prototype nodig. Met name de meetcampagnes (snelheid/debiet) zijn uitgevoerd door de Meetdienst Zierikzee, waar tevens permanent de gegevens werden bewaakt die werden ingewonnen via de meetpalen en boeien van het zogenaamde HISTOS-meetnet (fig. 24).

In de volgende paragrafen zal ingegaan worden op de hydraulische randvoorwaarden die ontleend zijn aan prototype waarnemingen en modelresultaten.

In tabel 2 zijn deze schematisch weergegeven.

#### 4.3.3 De getijrandvoorwaarden: het verticale getij

De waterstand aan de rand van het Oosterscheldebekken wordt bepaald door het dubbeldaagse getij op de Noordzee. Naast dit getij spelen meteorologische effecten een belangrijke rol in de optredende waterstand, vooral in het niveau van hoogwater.

Op grond van 50 jaar waarnemingen nabij Burghsluis is een kansverdeling van de hoogwaterniveaus gemaakt die geëxtrapolerd is in het frequentiegebied waarvan geen waarnemingen waren. Deze extremenverdeling is met name van belang in verband met het ontwerp van de hoogte van aan te leggen kunstwerken (zie figuur 25).

Tabel 3: Extreme waardenverdeling: getijverschil bij OS IV

frequentie per jaar	afgaand water m	opkomend water m
gemiddeld getij	2,82 (0,32 = $\sigma$ )	2,82 (0,32 = $\sigma$ )
2	3,65	3,72
1	3,75	3,81
0,5	3,85	3,89
0,2	3,98	4,00
0,1	4,07	4,09
$5 \cdot 10^{-2}$	4,17	4,17
$2 \cdot 10^{-2}$	4,30	4,28
$10^{-2}$	4,40	4,37
$5 \cdot 10^{-3}$	4,49	4,45
$2 \cdot 10^{-3}$	4,62	4,56
$10^{-3}$	4,72	4,65
$5 \cdot 10^{-4}$	4,81	4,73
$2,5 \cdot 10^{-4}$	4,91	4,81

Als drijvende kracht voor de eb- en vloedstroom in de monding van de Oosterschelde geldt echter het getijverschil op zee. Naast een maat voor de debieten en snelheden in de sluitgaten is het getijverschil bij de randpalen van het HISTOS-meetnet in de verschillende bouwfasen ook bepalend voor het getijverschil en daarmee samenhangend de stroomsnelheden in het bekken.

De reeks waterstandswaarnemingen bij OSIV tussen 1973 en 1983 leverde de resultaten op, welke algemeen gebruikt zijn bij de langetermijn voorspellingen voor de bouw van de kering en de compartimenteringswerken.

De kansverdeling voor gemiddelde getij-omstandigheden en een extreme waardenverdeling zijn in tabel 3 weergegeven.

Uit de statistiek van de randvoorwaarden (voor het model) kunnen met behulp van de rekenmodellen, de kansverdelingen van debieten, snelheden en waterstandsverschillen berekend worden.

Tabel 2: Overzicht waarnemingen voor bepaling randvoorwaarden

	Model					Prototype	
	M1000	M1001	Deltar	Implic	Waqua	Histos	Meetdienst
waterstanden	X	X	X	X	X	X	-
vervallen	X	X	X	X	X	X	-
debieten	X	-	X	X	X	-	X
stroomsnelheden	X	X	X	X	X	X	X
stroombeelden	X	X	-	-	X	-	X
turbulentie	-	X	-	-	-	-	X
erosie, sed.transport	-	X	-	-	-	-	X



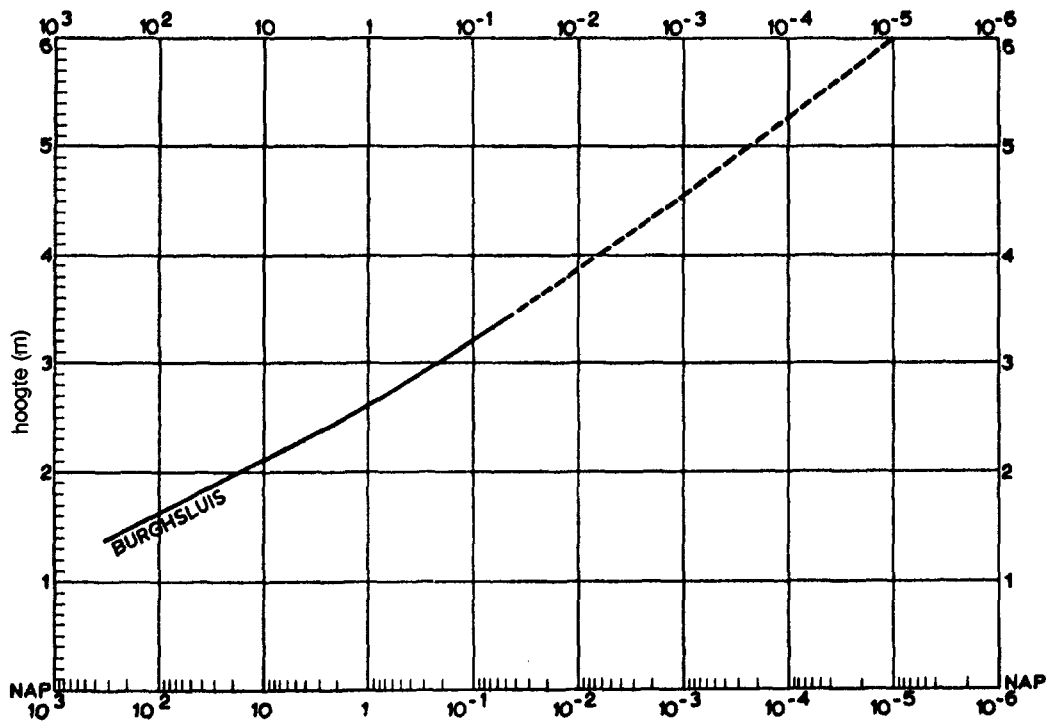
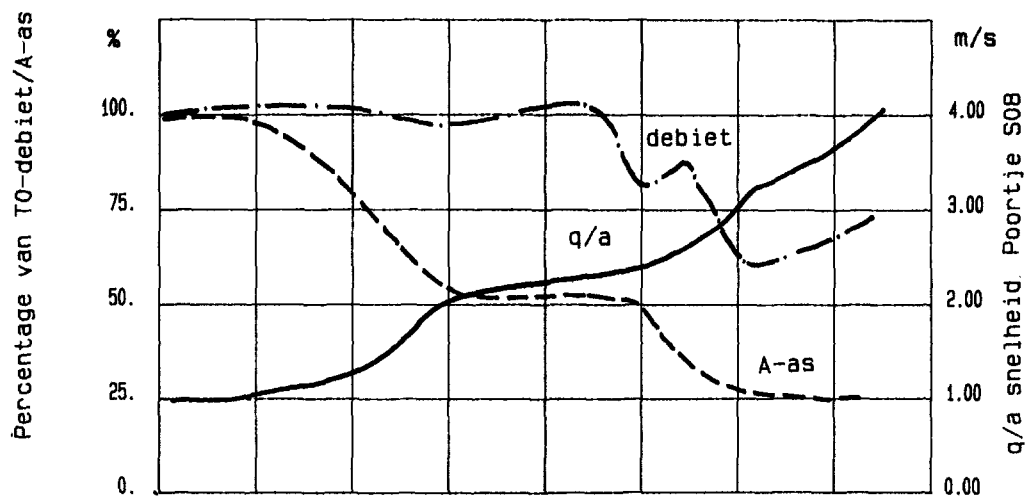


fig. 25 Overschrijdingfrequentie voor hoogwater te Burghsluis, gebaseerd op waarnemingen uit de periode 1901-1950.

Voorspeld verloop: Schaar Eb (Planning 700H)



Bouwfases in sluitgaten.

Hammen	Pijlers	Drempel			Dorpelbalken		
Schaar		Pijlers	Drempel		Dorpelbalken		
Roompot			Pijlers	Drempel			Dorpelbalken

fig. 26 Voorspeld debietverloop Schaar (PL700H)

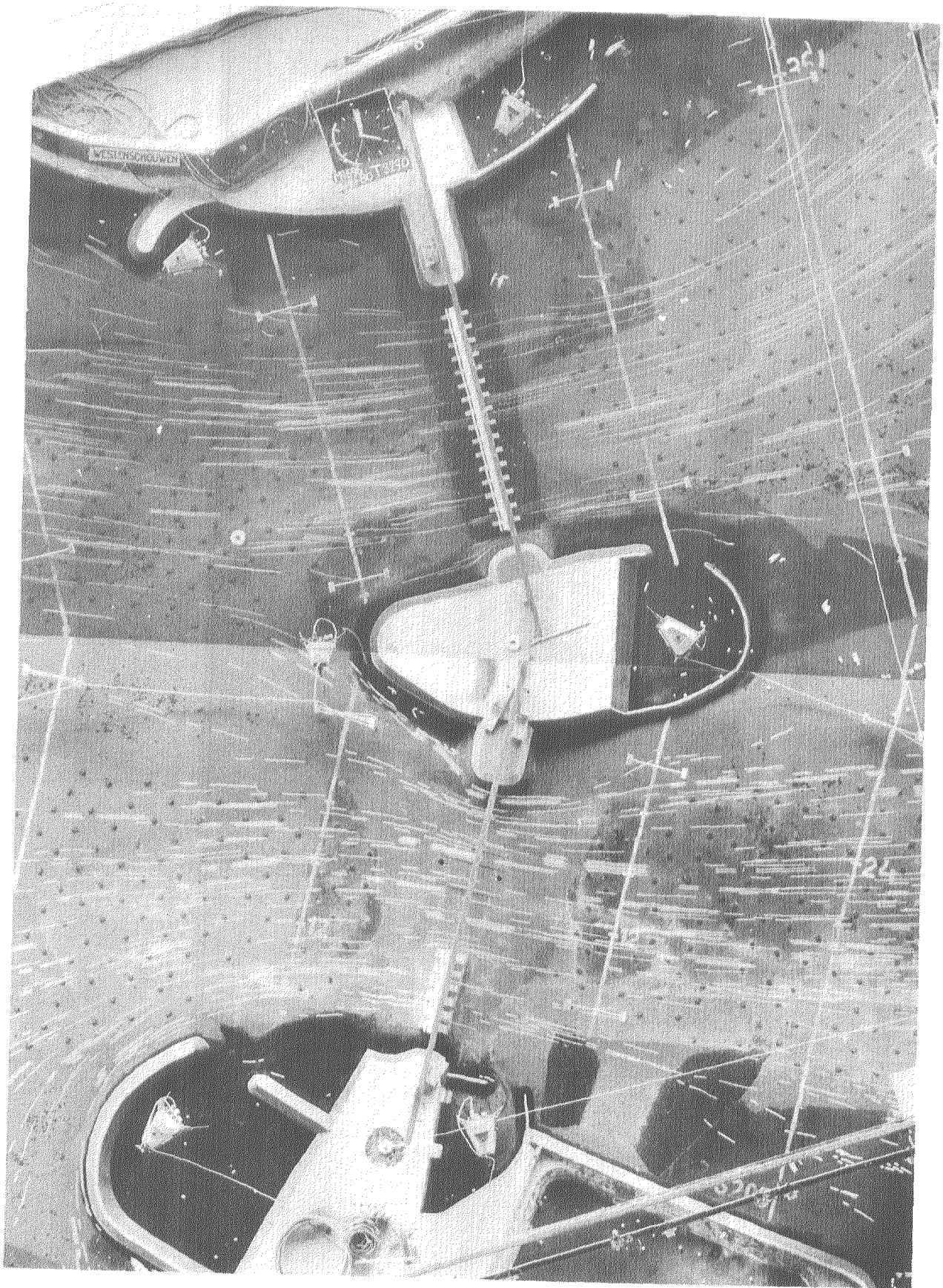


fig. 27 Stroombeeld Schaar en Hammen.

#### 4.3.4 Debiëten en stroomsnelheden rond de kering in de bouwfase.

Door de bouw van de Oosterscheldekering neemt het oorspronkelijke sluitgatooppervlak geleidelijk af van circa 77.500 m<sup>2</sup> tot circa 17.600 m<sup>2</sup>. Bij deze opening is een getijverschil van 2,73 m bij Yerseke onder gemiddelde getij-omstandigheden gegarandeerd (ontwerpeis).

Vanwege de weerstandstoename nemen de debieten door de Hammen, Schaar en Roompot af. De snelheden in de voordelta en in de Oosterschelde zullen verminderen. Maar, doordat de debieten door de sluitgaten niet in dezelfde mate verminderen als het sluitgatooppervlak, nemen de stroomsnelheden in de pijlervakken toe. Op grond van berekeningen met het 1-d model IMPLIC zijn voor een groot aantal bouwfasen de sluitgatdebiëten berekend. De poortjessnelheden worden uit de debieten berekend met het R1495 model. Dit rekenmodel verdeelt het sluitgatdebiet over de pijlervakken en is afgeregeld op schaalmodelproeven in de modellen M1000 en M1001.

De poortjessnelheden werden berekend als gemiddelde over het gehele oppervlak. De maximum snelheid tussen twee pijlers kan echter lokaal wel 20-30% hoger liggen en loopt op tot 5 à 6 m/sec in de eindfase.

Voor het sluitgat Schaar is in figuur 26 de onderlinge relatie sluitgatdebiet, sluitgatooppervlak en pijlervaksnelheid S08 weergegeven als functie van de bouwfase.

In verband met de uitvoering van de werken in de sluitgaten zijn voor alle bouwfasen deze lange-termijn verwachtingen berekend, waarop de uitvoering onder andere de werkbaarheidspercentages heeft gebaseerd. De verwachtingen van de stroomsnelheden zijn tevens als randvoorwaarden gebruikt voor het ontwerp van hulpmiddelen ten behoeve van de bouw.

In de zogenaamde scheve bouwfasen, waarbij in een sluitgat een asymmetrische profielvernauwing aanwezig is, ontstonden aan weerszijden van de as van de kering dwarscomponenten in de stroming. De uitvoering ondervond hiervan hinder omdat de verankeringskrachten op de werkschepen daardoor moeilijk voorspelbaar waren. In het model M1001 zijn voor deze situaties stroom-

beeldonderzoeken (zie fig. 27) verricht om een beter inzicht te verkrijgen. De scheve bouwfasen ontstonden vooral wanneer nog niet alle dorpelbalken in een sluitgat waren geplaatst.

De turbulentiegraad van het water, een maat voor de variatie in stroomsnelheid op zekere diepte, is een grootheid die het dynamische karakter van een stroom aangeeft.

Omdat vooral ten gevolge van de versterking van de turbulentie-intensiteit in het stroomvertraginggebied benedenstrooms van de constructie de transportcapaciteit van de stroom plaatselijk toeneemt, is hiernaar uitgebreid onderzoek gedaan in sluitgaten van het model M1001.

Het onderzoek richtte zich vooral op de ontwikkeling van ontgrondingskuilen aan weerszijden van de bodembescherming.

Omdat nergens de maximale diepte van 25 meter overschreden mocht worden, is de definitieve lengte van de bodembescherming 500-600 meter geworden.

#### 4.3.5 Waterstanden en vervallen over de open kering

Bij het ontwerp van de sluitgaten is rekening gehouden met het behoud van een zeker getijverschil op het Oosterscheldebekken onder gemiddelde getijcondities (ontwerpeis, zie deelnota 1.1 par. 3.1).

In principe mocht, ter bescherming van de natuurwaarden en visserijbelangen op de Oosterschelde, ook tijdens de bouw van de kering en voor de aanleg van de compartimenteringsdammen een minimum getijverschil van 2,30 m onder gemiddelde omstandigheden niet worden overschreden (zie ook par. 5.5).

Om deze reden is bij veel onderzoek en in berekeningen het getijverschil bij Yerseke meegenomen en bewaakt. Als gevolg van het toenemen van de weerstand in de monding van de Oosterschelde, gedurende de bouw van de kering, nam de getij-amplitude op het bekken af.

In fig. 28 is dit (berekende) getijverschil voor Yerseke uitgezet voor de periode juli 1986 tot juli 1987, waarin de laatste fasen van de bouw van de kering vielen, met de belangrijkste weerstandsverhogingen, en de aanleg van de compartimenteringsdammen.

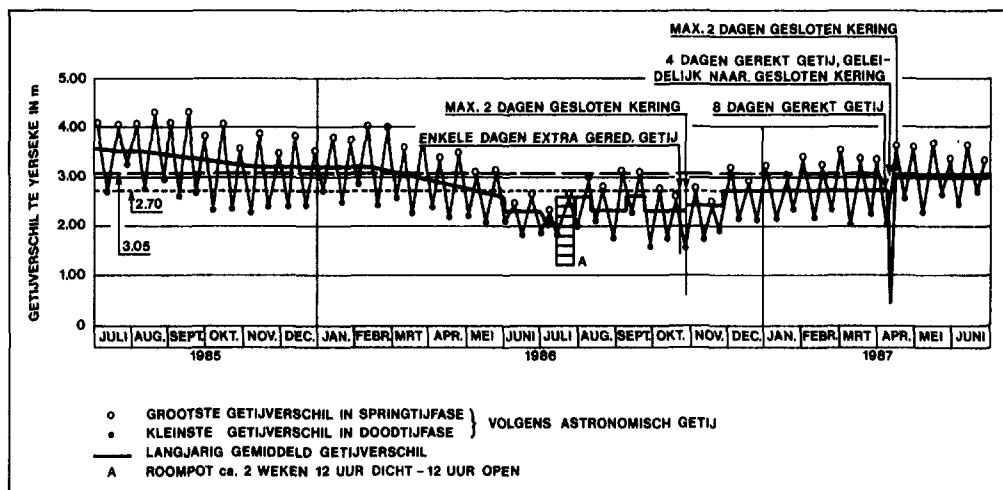


fig. 28 Globaal verloop getijverschil te Yerseke.

Tabel 4: Vervallen over de sluitgaten

frequentie per jaar	eb zonder CT	eb met CT	vloed zonder CT	vloed met CT
2	1,22	0,99	1,39	1,17
1	1,26	1,03	1,43	1,21
0,5	1,31	1,07	1,48	1,26
0,2	1,36	1,12	1,54	1,31
0,1	1,40	1,16	1,58	1,35
10 <sup>-2</sup>	1,54	1,28	1,73	1,49
10 <sup>-3</sup>	1,68	1,40	1,87	1,62
2,5·10 <sup>-4</sup>	1,76	1,48	1,96	1,70
	(m)	(m)	(m)	(m)

CT = compartimentering van de Oosterschelde.

Tot het gereedkomen van de compartimenteringsdammen waren daarin enkele periode gepland, waarbij het getijverschil sterk gereduceerd zou worden door manipulaties met de schuiven. Als gevolg van de lek door de kering, langs de schuiven en door de drempel, werd er dan nog ten hoogste een getijverschil van 0,50 m verwacht.

In tabel 4 is de extreme waardeverdeling van de vervallen over de sluitgaten aangegeven voor een open kering, met en zonder de invloed van de compartimenteringswerken.

Hieruit blijkt tevens dat in de eindfase, na de voltooiing van de compartimenteringswerken, de vervallen over de open kering gemiddeld lager worden dan daarvoor.

De stroomsnelheden in de doorstroomopeningen van de kering worden in het algemeen bepaald door het verval over de open kering, dat kan worden bewaakt door de waterstandsmeeptalen van het HISTOS-meetnet. Een uitzondering daarop vormt het geval van een weigerende (open) schuif in een overigens gesloten kering (zie par. 4.3.6).

De eerder genoemde schuifmanipulaties werden uitgevoerd om gunstige hydraulische condities, dat wil zeggen lagere stroomsnelheden, te scheppen voor de uitvoering van werk, zowel aan de kering als achter in het bekken ten behoeve van de sluiting van de compartimenteringsdammen.

Door echter in één sluitgat de schuiven gedeeltelijk of helemaal te laten zakken vindt er echter een herverdeling plaats van het debiet over de overblijvende doorstroomopeningen. Hierdoor nemen de vervallen toe, zoals kan worden afgeleid uit de relatie:

$$Q = \mu A \sqrt{2g\Delta h}$$

waarin:

Q = sluitgatdebiet

$\mu$  = contractie coëfficiënt

A = sluitgatopening

g = gravitatie constante

$\Delta h$  = verval over de kering.

Deze toename van het verval kan oplopen met meer dan 50% over het sluitgat waarin gesloten wordt.

Dit is vooral het geval bij afgaand water omdat er dan in veel mindere mate een herverdeling van het totale debiet over de drie sluitgaten kan plaatsvinden door de droogvallende banken.

Dit betekende bijvoorbeeld dat bij een gemiddeld getij het ebval in de Roompot zonder compartimentering (circa 0,90 m) kon worden opgevoerd tot een verval dat normaal met een frequentie van 10<sup>-1</sup> per jaar zou voorkomen. De relatie tussen de mate van sluiten in de Roompot ( $A/A_0$ ) en de relatieve toename van de stroomsnelheid (door het grotere verval) is weergegeven in fig. 29.

Een goede bewaking van de mogelijk optredende vervallen bij schuifmanipulaties in de bouwphase was dus noodzakelijk, omdat de kans op een overschrijding van de ontwerpvervallen reëel was.

Ook in de eindfase, wanneer bijvoorbeeld voor onderhoudsdoeleinden een aantal schuiven worden gesloten of bij een opening van de kering na een totale sluiting moeten de vervallen over de open kering, vooral bij afgaand water, worden bewaakt.

#### 4.3.6 Het verval over de gesloten kering

Bij het manipuleren van de schuiven in de stormvloedkering kunnen twee procedures worden onderscheiden, n.l. het laten zakken van alle schuiven in verband met het feit dat de buitenwaterstand een bepaald grenspeil bereikt heeft of zal bereiken en schuifmanipulaties om het getij op het bekken te beïnvloeden ten gunste van bepaalde activiteiten (zie ook deelnota 1.5 hoofdstuk 1). Voor een gedeeltelijke sluiting gelden de in de vorige paragraaf reeds gegeven beschouwingen.

Bij een stormvloedsluiting wordt het maximale verval over de kering beïnvloed door het tijdstip van sluiting of de sluitingsstrategie. Figuur 30 geeft voor verschillende sluitingsstrategieën de overschrijdingskansen van een verval over de gesloten kering.

In het algemeen hebben deze vervallen geen consequenties voor de stroombestendigheid van de drempel en de bodembescherming omdat er dan vrijwel geen stroom loopt.

Een uitzondering hierop wordt gevormd door de situatie, wanneer bij een stormvloedsluiting één of meer schuiven weigeren te sluiten. Dan zal door de betrokken doorstroomopeningen met een groot verval een debiet tot het Oosterscheldebekken kunnen toetreden. Het grootste verval zal dan kunnen optreden wanneer slechts één schuif weigert.

Voor deze situatie is een ontwerpverval aangehouden van 4,20 m rekening houdend met de kans van optreden van dat verval en de kans op een weigerende schuif.

Het negatieve verval over de gesloten kering (buitenpeil lager dan binnenpeil) wordt bepaald door de Oosterscheldewaterstand na

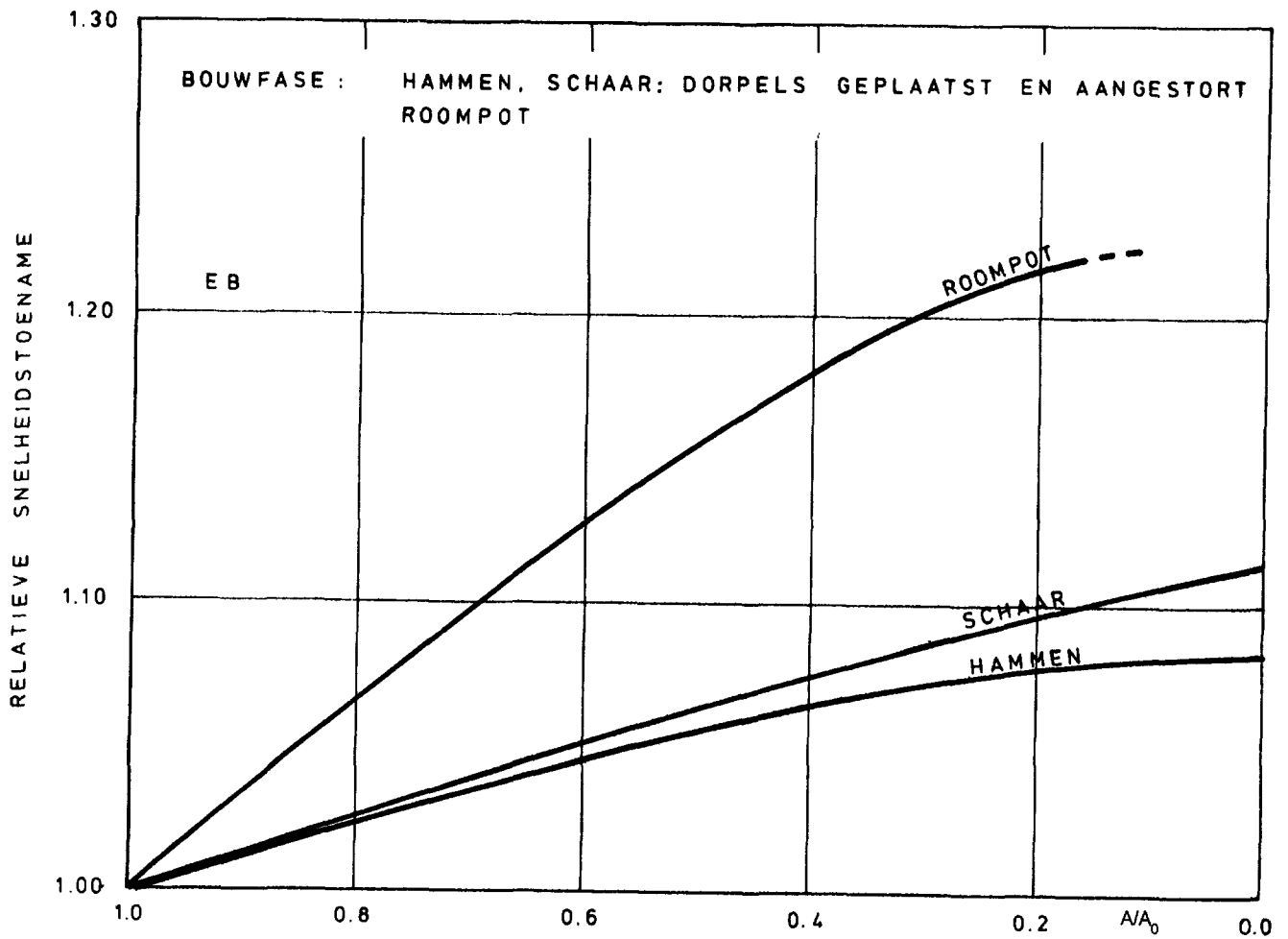


fig. 29 Resterende sluitgat opening in de Roompot schuifmanipulaties in de Roompot.

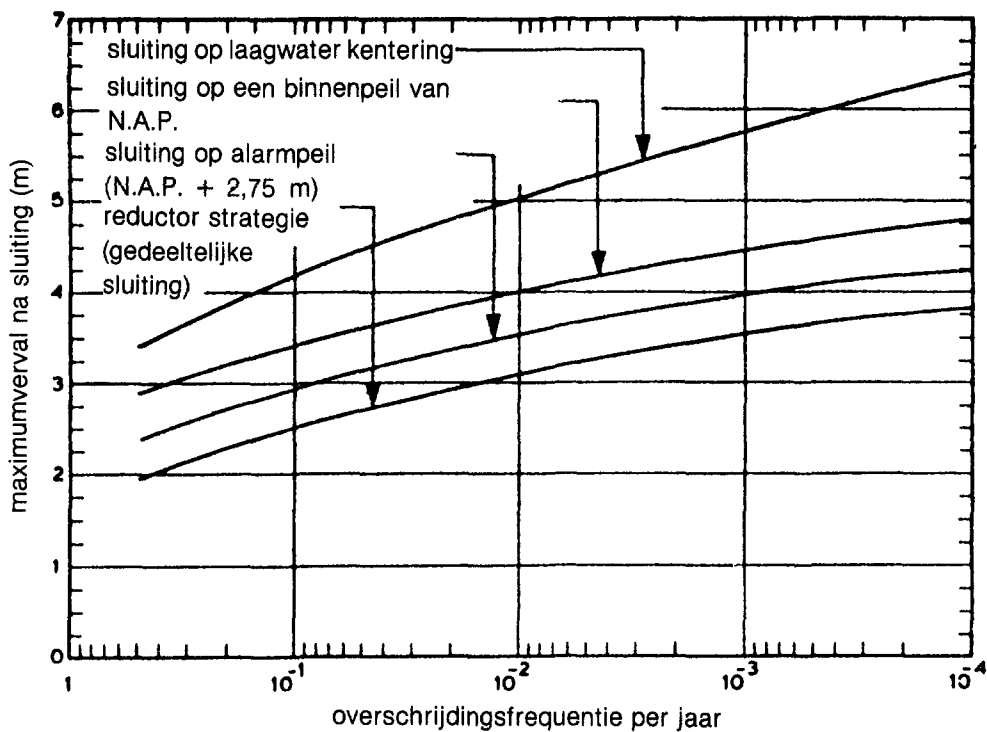


fig. 30 Overschrijdings krommen voor het maximum verval na sluiting

een stormvloedsluiting en de hoogte van het daaropvolgende laagwater op de Noordzee, wanneer de kering gesloten blijft. In het algemeen is dit een uitzonderingssituatie die alleen optreedt wanneer bij een verwachte meertoppige stormvloed (zie deelnota 1.5, hoofdstuk 1) besloten wordt om tussentijds de kering niet te openen, danwel, bij falend beheer, wanneer wordt nagelaten om de kering tijdig te openen.

De normale situatie is dat de kering bij een ongeveer gelijke binnen- en buitenwaterstand met afgaand buitenwater wordt geopend.

De buitenwaterstand is afhankelijk van het astronomische getij en de dan geldende meteorologische invloeden daarop, terwijl de binnenwaterstand in belangrijke mate wordt bepaald door de bij de sluiting gevolgde strategie.

Ook bij een negatief verval over de gesloten kering is het denkbaar dat één of meer schuiven niet zijn gesloten.

Voor deze situatie is gerekend met een ontwerpverval van 2,40 m. In par. 4.4.2 wordt verder een overzicht gegeven van de belangrijkste voor het ontwerp maatgevende vervallen.

#### 4.3.7 Bewaking en controle

Bij elke voorspelling moet er rekening mee worden gehouden dat de nauwkeurigheid van het eindresultaat beperkt is. Op gezette tijden moeten daarom metingen in de natuur worden uitgevoerd om het voorspelsysteem systematisch te controleren en zo nodig bij te stellen. Het gehele voorspelsysteem wordt dan stap voor stap nagelopen.

Op basis van deze natuurmetingen wordt in eerste instantie onderzocht welke modellen afwijkingen vertonen, en hoe groot die afwijkingen zijn. Afhankelijk van de uitslag wordt dan bepaald of een nieuwe afregeling of een bijstelling van het model noodzakelijk is. Voor de controle van de waterstand aan de Noordzezijde is het noodzakelijk regelmatig het voorspelde astronomische getij te vergelijken met het opgetreden getij.

Door de weersinvloeden uit de waterstandsregistraties te filteren kan de kwaliteit van het voorspelde getij worden bewaakt. Dit was (en is) een voortdurend punt van aandacht.

De reproductie van de waterbeweging in het Oosterscheldebekken werd periodiek geëvalueerd door de opgetreden waterstanden aan weerszijden van de kering, in het midden en achterin het Oosterscheldebekken te vergelijken met de resultaten van een simulatie met het getijmodel IMPLIC. Systematische afwijkingen duiden er op dat de modelschematisering uit de pas liep. De mogelijke oorzaken, zoals een wijziging in de sluitgatvorm, de stromingssituatie, de bodemruwheid of een afwijking in de geschatte afvoercoëfficiënt van een sluitgat dienden te worden opgespoord; dan volgde aanpassing van het model.

De verschillen tussen het R1495-model en de werkelijkheid waren veelal terug te voeren tot interpolatiefouten tussen schaalmodelresultaten, en tot verschillen in bouwphase binnen het sluitgat. De grootste afwijkingen werden geconstateerd aan de randen. De verschillen tussen model en werkelijkheid werden telkens vereffend door het invoeren van een correctiefactor. Deze correctiefactoren moesten op regelmatige tijden door middel van metingen worden gecontroleerd (zie figuur 31).

Door het simultaan meten van het sluitgatdebiet op 200 à 500 meter bovenstreams van de kering en van de snelheden in de as in een relevant aantal pijlerpoorten, konden de snelheden in de as en de verdeling van de snelheden over de as worden bepaald, en vergeleken met de uitkomst van IMPLIC-R1495.

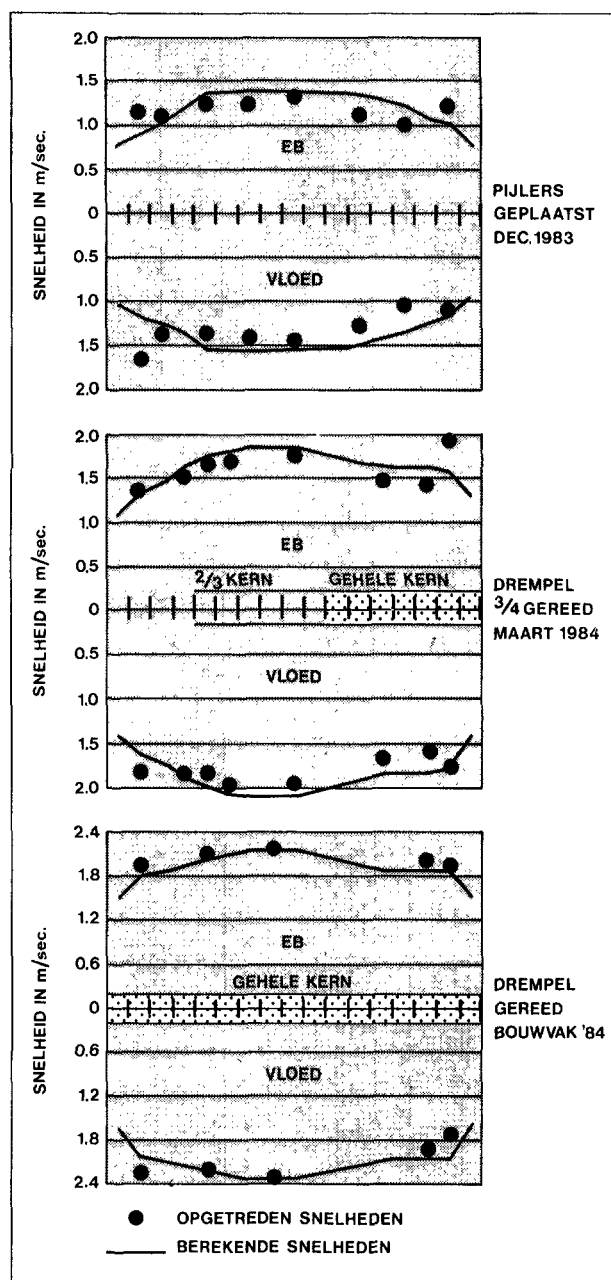


fig. 31 Vergelijking van gemeten en met behulp van IMPLIC/R1495 berekende stroomsnelheden.

Het doel van deze controlemetingen naar de snelheidsverdeling in de as was tweeledig. In de eerste plaats kon langs deze weg een ijking worden uitgevoerd voor het voorspelsysteem ten behoeve van de operationele begeleiding. Daarnaast werden de ten behoeve van het ontwerp berekende snelheden per pijlerpoort gecontroleerd.

De standaardafwijking rond de voorspellingen was, vlak na een bijstelling, het kleinst. Bij voortschrijdende bouw verliep de ijking, zodat de betrouwbaarheidsband rond de voorspelling weer breder werd.

De frequentie waarmee verificatie in het prototype moest plaatsvinden en op welke manier, werd bepaald door de snelheid waarmee de vorm van het sluitgat veranderde (figuur 32) en door de nauwkeurigheidseisen van de gebruiker.

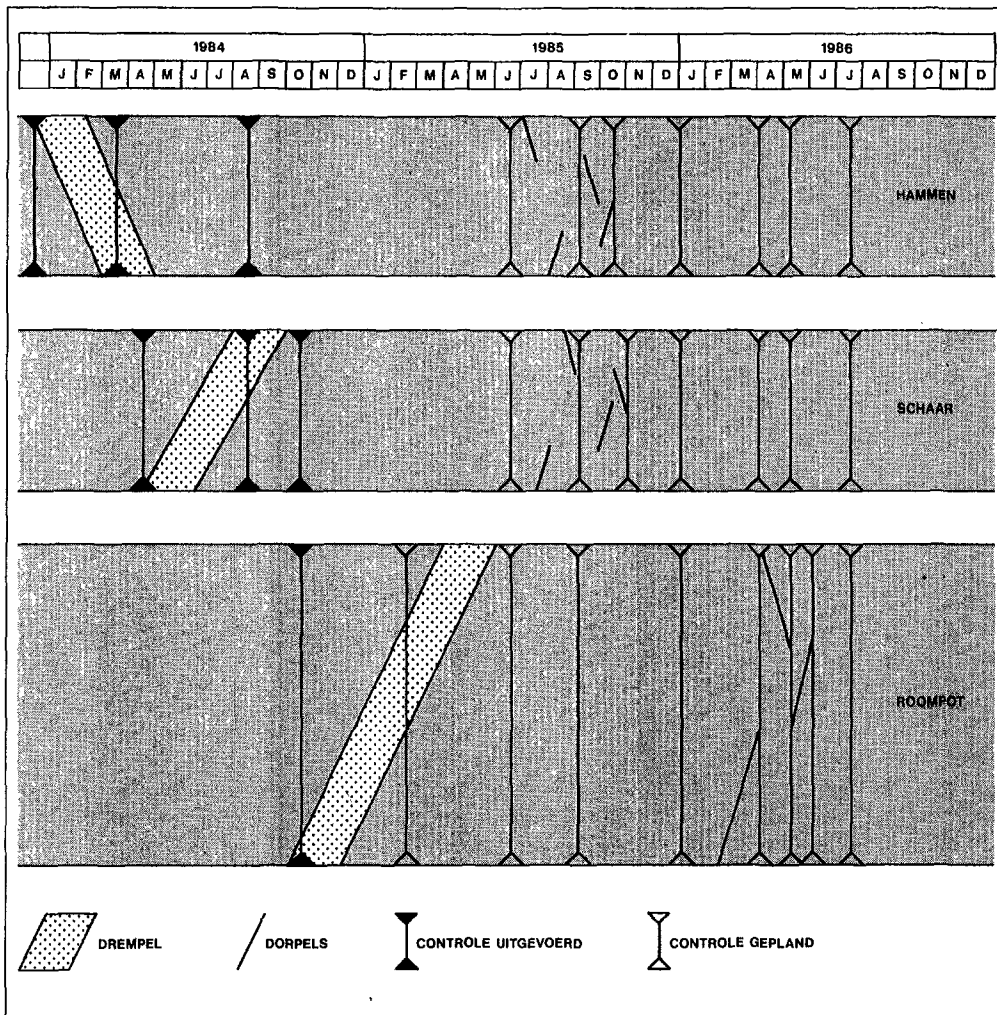


fig. 32 Planning van controlemetingen.

#### 4.4 Vertaling van de randvoorwaarden naar hydraulische belastingen

##### 4.4.1 Methodiek

Uit de in de paragraaf 4.2.5 afgeleide drie-dimensionale k.d.f. van de hydraulische randvoorwaarden voor de gesloten kering wordt de kansverdeling van de belastingen berekend waaruit tenslotte de extreme belasting behorende bij een overschrijdingskans van  $2.5 \times 10^{-4}$  per jaar bepaald kan worden.

De transformatie van de hydraulische randvoorwaarden in de golfbelasting en de vervalbelasting die op de kering werken, gebeurt via overdrachtsfuncties. Deze functies leggen het verband tussen de respectievelijke natuurrandvoorwaarden en de belasting:

vervalbelasting  $S = S(Z_m, Z_{LW}, \text{geometrie})$ :

golfbelastingsspectrum  $S_w = W(Z_m, S_\eta, \text{geometrie})$ .

In het geval van de vervalbelasting kan deze functie eenvoudig worden afgeleid uit de hydrostatische drukverdeling aan beide zijden van de kering en de potentiaal-stroming in de drempel rond de pijlervoet. Voor de berekening van de golfbelasting is de lineaire golftheorie toegepast. De golfbelasting  $w(t)$  wordt bepaald door de drukverdeling over de hoogte die wordt veroorzaakt door de inkomende en de gedeeltelijk gereflecteerde sinusgolf.

De waarde van de overdrachtsfunctie wordt gevonden door het maximum van  $W(t)$  te delen door de amplitude van de inkomende regelmatige golf. Door deze procedure te herhalen voor een groot aantal hoekfrequenties wordt de overdrachtsfunctie vastgesteld.

De overdrachtsfunctie is dus in feite de golfbelasting die veroorzaakt wordt door een regelmatige golf met een amplitude van 1 m, weergegeven als functie van de golffrequentie.

Indien men nu een lineair systeem veronderstelt kan met behulp van de overdrachtsfunctie het golfspectrum dat een onregelmatig golfbeeld beschrijft, worden getransformeerd in het belastingspectrum (zie figuur 33):

$$S_w(f) = O^2(f) \cdot S_\eta(f)$$

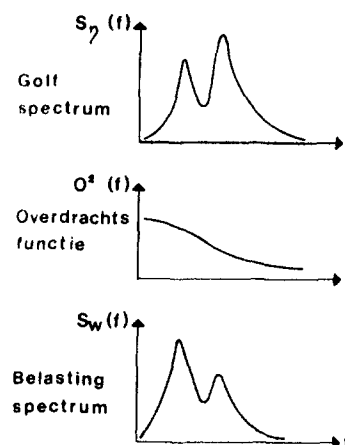


fig. 33 Berekening van het belastingspectrum.

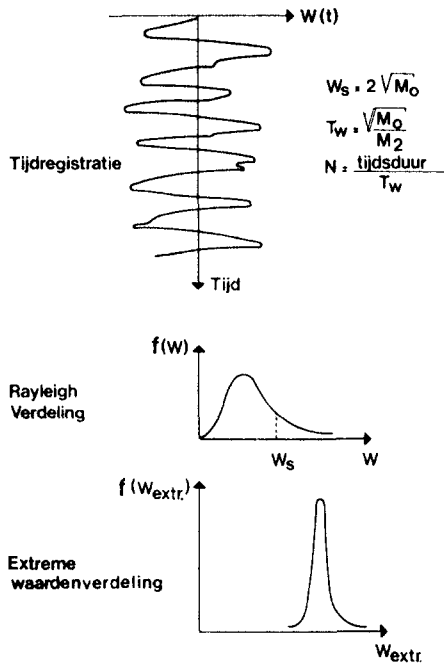


fig. 34 Verband tussen verloop golfbelasting in de tijd en de kansdichtheidsfunctie van de extreme golfbelasting.

Met het belastingspectrum ligt de tijdsregistratie van het onregelmatige belastingbeeld vast (zie figuur 34). Indien het belastingspectrum voldoende smal is volgen de individuele golfbelastingsmaxima een Rayleigh-verdeling. De traditionele parameters, de significante belasting  $W_s$  en de gemiddelde golfbelastingsperiode  $T_w$ , worden verkregen door middel van de bekende betrekkingen. Tevens ligt het aantal golven  $N$  binnen een storm met een duur  $D$  vast.

De lineariteitsveronderstelling waarvan de toelaatbaarheid van de spectrale benadering, zoals die hierboven is vermeld afhankelijk is, werd uitgebreid onderzocht in de golfgoten van het Waterloopkundig Laboratorium te Delft. Talloze proeven zijn uitgevoerd zowel met regelmatige als met onregelmatige golven om de geldigheid van de beschreven berekeningsmethode aan te tonen. De conclusie was dat de resultaten van de modelproeven het mathematische model ondersteunen. De rekenmodellen voor de vervalbelasting en de golfbelasting zijn dan ook in de verdere berekeningen toegepast.

Met behulp van de gevonden overdrachtsfuncties voor de verval- en golfbelasting werd de in par. 4.2.5 afgeleide drie-dimensionale k.d.f. van de randvoorwaarden getransformeerd in de tweedimensionale k.d.f. van de vervalbelasting en de significante golfbelasting.

Numeriek verloopt deze integratie in een tweetal stappen (zie figuur 35). Eerst wordt de voorkomenskans van een integratieblokje  $\Delta z, \Delta b, \Delta s_\eta$  vastgesteld volgens:

$$P_r(z, b, S_\eta) = f_{z, b, S_\eta}(z, b, S_\eta) \Delta z \cdot \Delta b \cdot \Delta S_\eta$$

Vervolgens wordt de kansinhoud van het blokje op de juiste plaats in het  $(S, W_s)$ -vlak gedeponeerd. Die plaats wordt bepaald door de vervalbelasting en de significante golfbelasting, die bij randvoorwaardenpunt  $(z, b, S_\eta)$  behoren (zie figuur 35):

$$S = S(z, b)$$

$$W_s = W(z, S_\eta).$$

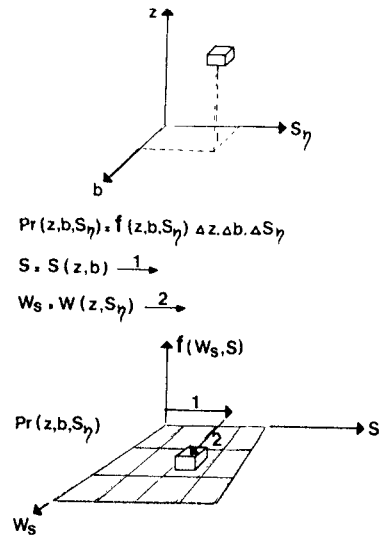


fig. 35 Transformatie kansdichtheidsfunctie van de natuurrandvoorwaarden naar de kansdichtheidsfunctie van de significante golfbelasting en vervalbelasting.

Door deze procedure te herhalen voor alle punten van de randvoorwaardenruimte, ontstaat de k.d.f. van de vervalbelasting en de golfbelasting  $f_{W_s, S}(W_s, S)$ . Tot slot moet de k.d.f.  $f_{W_s, S}(W_s, S)$  worden omgezet in de k.d.f. van de vervalbelasting en de individuele golfbelastingsmaxima  $W$ , rekening houdend met het karakter van de beschouwde grenstoestand.

Drie veel voorkomende gevallen daarvoor zijn:

1. Voor grenstoestanden, waarbij in beginsel alle belastingspieken belangrijk zijn, geldt de Rayleigh-verdeling. Bij het ontwerp van de stormvloedkering is deze verdeling toegepast bij de vermoeilingsberekeningen van de schuif en voor de berekeningen van voortgaande grondmechanische deformaties.
2. Indien men een grenstoestand beschouwt, waarbij een eenmalige overschrijding van een bepaald belastingniveau tot bezwijken leidt, dan is het gebruik van een extreme waardenverdeling vereist. Dit is toegepast bij de bepaling van de maximale belasting ten behoeve van het constructieve ontwerp van de pijlers, de dorpelbalken, de bovenbalken en de schuiven.
3. Tenslotte is er nog een derde mogelijkheid, waarbij bezwijken pas optreedt, nadat een belastingniveau herhaalde malen is overschreden.

In dit geval kan de binomiaalverdeling worden toegepast om de kans te bepalen dat een belastingpiek een gegeven niveau  $W$  tenminste één maal overschrijdt binnen  $N$  maxima.

Om nu de gezochte kansdichtheidsfunctie van de individuele golfbelasting en vervalbelasting te vinden volgens één van de drie vermelde typen, moet in het numerieke proces het kansblokje  $P_r(z, b, S_\eta)$  vervangen worden door de juiste verdelingsfunctie.

Daarna volgt eenzelfde procedure en wordt de gekozen k.d.f. in het  $(W, S)$ -vlak geplaatst (zie figuur 35).



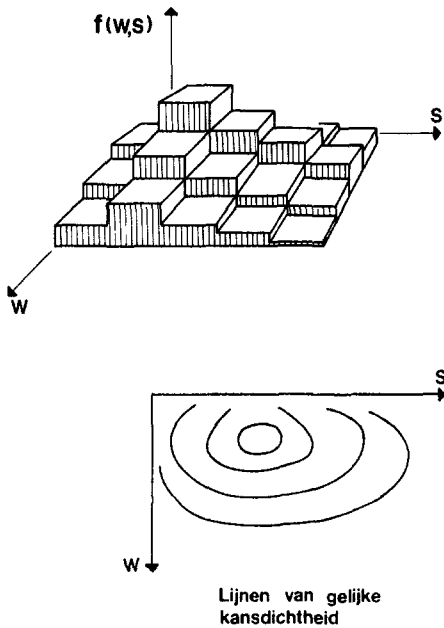


fig. 36 Resultaat, kansdichtheidsfunctie van golfbelasting en vervalbelasting.

De transformatie van  $F_{w,s}(W_s, S)$  in  $f_{w,s}(W, S)$  is een feit, zodra de gehele procedure voor alle punten van de  $(z, b, S, \eta)$ -ruimte is uitgevoerd en het resultaat in het  $(S, W)$ -vlak is gesommeerd (zie figuur 36).

De laatste stap behelst het berekenen van de overschrijdingslijn van de totale belasting voor een bepaalde grenstoestand. Daarvoor is het noodzakelijk te weten in welke verhouding de golfbelasting en de vervalbelasting bijdragen aan het bereiken van de grenstoestand.

Algemeen geformuleerd:

$$\underline{I} = \beta S + \gamma W$$

De overschrijdingskans kan worden beekend door de k.d.f.  $f_{w,s}(W, S)$  te integreren over het gebied waar  $\beta S + \gamma W > T$  (figuur 37).

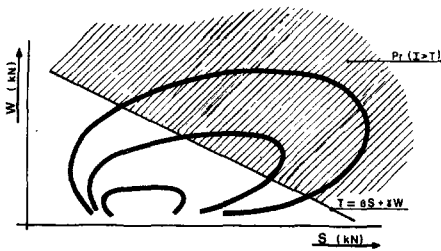


fig. 37 De berekening van de overschrijdingskans van de totale belasting T.

$$\Pr(\underline{I} > T) = \int \int_{\beta S + \gamma W} f_{w,s}(W, S) dW dS$$

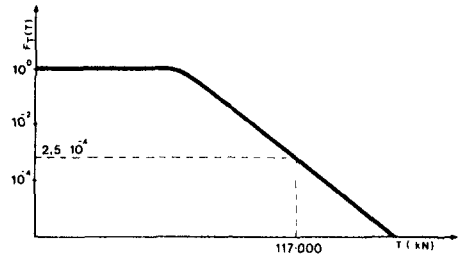


fig. 38 De overschrijdingslijn voor de totale belasting T op pijler R17.

Het resultaat, de kans dat de totale belasting T op bijvoorbeeld een pijler wordt overschreden, kan goed benaderd worden met een extremen verdeling (zie figuur 38).

#### 4.4.2 Specifieke situaties

Met behulp van bovenstaande algemene toepasbare methodiek zijn voor een aantal essentiële onderdelen van de kering de overschrijdingslijnen voor de belasting bepaald voor diverse operationele situaties van de kering.

De bij de berekening van de belastingen gebruikte natuurrandvoorwaarden zijn de randvoorwaarden zoals deze bepaald zijn door de werkgroep natuurrandvoorwaarden (doc. 1). De hydraulische randvoorwaarden zijn vastgelegd in de nota „overschrijdingskansen van vervallen en waterstanden bij de SVKO” (doc. 4). De belangrijkste vervallen en de bijbehorende overschrijdingskansen zijn samengevat in tabel 5.

Deze natuurrandvoorwaarden werden gebruikt in de rekenprogramma's SEAST 9 en PROBER. Deze programma's berekenen de langsbelasting op de SVKO in gesloten toestand met behulp van een probabilistische methode. SEAST9 is een oudere versie van het programma PROBER (doc. 2).

Voor het verkrijgen van inzicht in de betrouwbaarheid van de resultaten uit SEAST9 wordt verwezen naar notitie DDWT-78.276 (doc. 3).

Uit de met SEAST9 (PROBER) probabilistisch vastgestelde totaalbelasting (= golf + vervalbelasting) met een overschrijdingskans van  $2.5 \times 10^{-4}$  per jaar, werd een golfhoogte met bijbehorende periode en een verval met een bepaalde binnen- en buitenwaterstand vastgesteld. Deze golfhoogte en dit verval werden dan als semi-probabilistische randvoorwaarden gebruikt voor het vaststellen van drukfiguren en de berekening van belastingen bij weigerende schuif of tijdens de sluitingsprocedure. Voor de berekening van de drukverloop langs de drempel werd een golf genomen met een langere periode, dan de semi-probabilistische, omdat golven met langere perioden de grootste bijdrage leveren aan de overschrijdingskans van  $2.5 \times 10^{-4}$  per jaar voor de druk op de drempel. Golven met korte perioden geven geen drukverhoging op de drempel, omdat de golfdruk zich niet tot op de bodem voortplant.

In tabel 6 zijn de situaties, zoals die voor de verschillende onderdelen van de kering zijn geanalyseerd, gebruik makend van de hiervoor beschreven methodieken, aangegeven.

Voor meer informatie wordt verwezen naar doc. 6.

Tabel 5: Overschrijdingskansen ontwerpvervalen voor drie beheersstrategieën.

			Overschrijdingskans			
	maatgevend onderdeel	ontwerpverval (m)	LWK 5) strategie	alarmpeil I 5) strategie	sluitings- 5) strategie 2-1-2	dagelijks situatie
VLOED						
sluiten	toplaag drempel bewegingswerk	4,20	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	
gesloten	aanstortingen O.S.	5,30 4)	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	
gesloten + weigerende schuif	toplaag drempel bodembescherming	4,15 4)	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	
open	bewegingswerken	2,50	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	
open + omgekeerd weigerende schuif	bodembescherming	2,70	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	$P_2 \cdot 10^{-3}$
open	bodembescherming	2,80	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	$P_2 \cdot 10^{-3}$
EB						
sluiten	bewegingswerk	3,40	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
gesloten	aanstortingen N.Z.	3,40 3)	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$P_1 \cdot 10^{-4}$	
gesloten + weigerende schuif	toplaag drempel	2,40 1)	$P_1 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}$	$P_1 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} 1)$	$P_1 \cdot 10^{-4} 1)$	
openen	bodembescherming	2,30		$P_1 \cdot 3,5 \cdot 10^{-2}$	$P_1 \cdot 10^{-2}$	
open + omgekeerd weigerende schuif	bodembescherming	1,90	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0,19x
open	bodembescherming	2,30	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	$3,3 \cdot 10^{-4} 2)$ $10^{-5}$

- 1) Inclusief kans op 1 weigerende schuif is  $10^{-2}$  per sluiting.  $P_1 = 10^{-4}$  kans dat de kering wordt geopend als waterstand zeezijde lager is dan waterstand O.S.-zijde.  $P_2 = 10^{-1}$  kans dat de kering open staat bij extreme randvoorwaarden.
- 2) Inclusief kans op omgekeerd weigerende schuif = 0,19 per sluiting.
- 3) Inclusief aangroei.
- 4) Hierbij is gebruik gemaakt van de vervaloverschrijdingslijn die rekening houdt met lek, golfoverslag en windopzet.
- 5) Voor de verklaring der strategieën zie deelnota 1.5, hoofdstuk 1.

Tabel 6:

	Belasting op					
	pijler	drempel	dorpelbalk	schuif	bovenbalk	kolom v.k.k.
Gesloten SVKO	X	X	X	X	X	X
Weigerende SVKO	X	X	X	X	X	X
Sluitende of openende SVKO	X	X	X	X	X	
Dwarsbelasting	X					
Bouwfasebelasting	X					
Schuininvallende golven				X		
Dagelijkse omstandigheden				X		
Ijsbelasting				X	X	

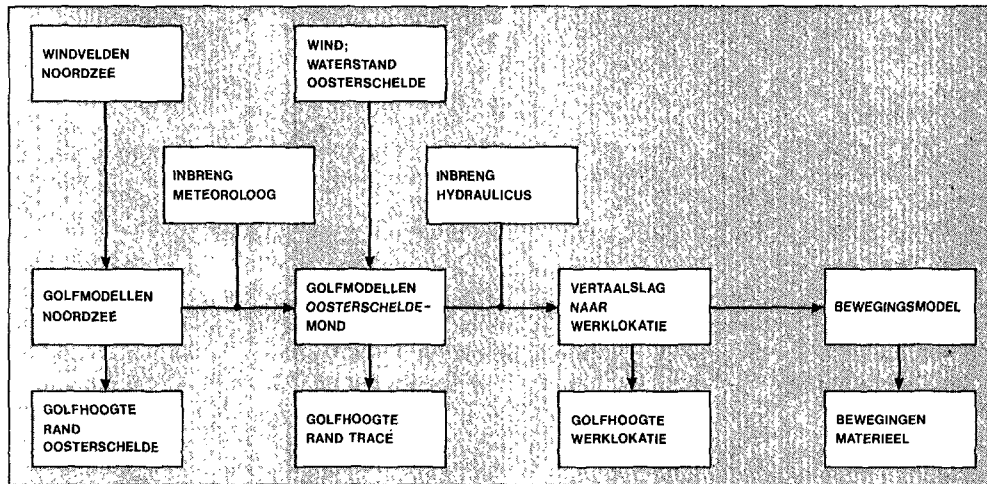


fig. 39 Schematische voorstelling rekenmethode.

#### 4.5. Randvoorwaarden bouwfase

##### 4.5.1 Inleiding

Tijdens de bouwfase zijn hydraulische randvoorwaarden van belang voor ontwerpdoeleinden (materieel, bouwphasebelasting constructie) en voor werkbaarheidsbeschouwingen (materieel). Voor ontwerpdoeleinden kan in principe dezelfde probabilistische werkwijze worden gevolgd als hiervoor in par. 4.2 en 4.4 is beschreven. Meestal is echter gekozen voor een eenvoudige semi-probabilistische aanpak waarbij wel rekening werd gehouden met de beperkte expositieduur.

Werkbaarheidsbeschouwingen zijn gebaseerd op de statistiek van de dagelijkse hydraulische omstandigheden. Omdat in het Oosterscheldegebied veelvuldig werd gemeten was deze statistiek steeds afdoende bekend. Dit geldt vooral voor de ongestoorde situatie. Het Databankboek (doc. 6) geeft hiervan een goed overzicht. In latere bouwfasen - toen de kering de hydraulische randvoorwaarden duidelijk ging verstoren - werd vooral gesteund op modellen en vertaalslagen. Dit gold ook voor de operationele begeleiding met hydraulische voorspellingen.

Hierna wordt eerst ingegaan op de golfmodellen voor de bouwphase. Vervolgens komen de hydraulische randvoorwaarden aan de orde en tot slot wordt ingegaan op de bouwphasebelastingen.

##### 4.5.2 Golfmodellen bouwphase

Ten behoeve van de bouwphase was een groot aantal golfmodellen in gebruik. Dit grote aantal was vooral gericht op de operationele begeleiding. Voor ontwerpdoeleinden werd steeds gebruik gemaakt van het in par. 4.2.4 beschreven golfmodel.

Het rekensysteem was opgebouwd als een keten van modellen (zie figuur 39) waarbij in de operationele begeleiding nog de mogelijkheid tot bijstelling bestond (inbreng meteoroloog en hydraulicus). Door deze keten werd het systeem gesplitst in een aantal specifieke deelsystemen.

Zowel voor de Noordzee als voor de Oosterschelde waren verscheidene golfmodellen beschikbaar. Er zijn fysisch-mathematische modellen en correlatiemodellen in gebruik.

De golfmodellen die bij het K.N.M.I. in gebruik waren om de golven aan de rand van de Oosterschelde te voorspellen, waren het welbekende GONO-model, de methode-Kruseman, en een golf/windrelatie.

GONO is een fysisch-mathematisch model. Het berekent voor de Noordzee volgens een regelmatig netwerk met afstanden tussen de roosterpunten van 75 km zeegangsgolven uit de daar heersende windvelden (voorspeld dan wel actueel aanwezig). Voor enkele locaties, zoals Eurogeul en IJmuiden, wordt daaraan nog de deining toegevoegd. Dit gebeurt door voor elk roosterpunt na te gaan of de daar aanwezige zeegang die locaties zal kunnen bereiken. GONO berekent dus zowel zeegang als deining. De locatie Eurogeul werd gebruikt om de verwachting op te stellen voor de rand van de Oosterschelde ter plaatse van locatie BG II (zie fig. 40).

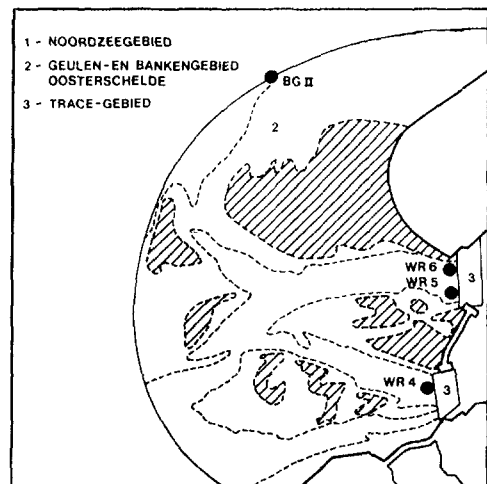


fig. 40 Indeling gebieden.

De methode-Kruseman gaat uit van veertien vakken op de Noordzee. Van elk vak wordt uit de optredende of voorspelde wind het zeegangsveld bepaald, en hieruit wordt door middel van tabellen de laagfrequente energiebijdrage ter plaatse van de Eurogeul berekend. De tabellen zijn gebaseerd op de fysische processen die een rol spelen. De methode werd vroeger met de hand uitgevoerd, maar is tegenwoordig geautomatiseerd. Actuele golfgegevens op de Noordzee kunnen eenvoudig worden meegenomen hetgeen de betrouwbaarheid ten goede komt.

De golf/wind-relaties zijn statistische relaties voor een bepaalde locatie tussen enerzijds golfparameters zoals golfhoogte en golfperi-

ode en anderzijds de lokale wind. Deze relaties zijn het meest bruikbaar voor zeeegang.

Voor de vertaling van golven aan de rand van de Oosterschelde, over het ondiepe geulen- en bankengebied heen naar de rand van het tracé, werden de correlatiemodellen MDC4 en MDC5 gebruikt. Deze Meer-Dimensionale Correlatiemodellen beschrijven de golfparameters als een lineaire combinatie van de randvoorwaarden. In MDC5 zijn dit vier randvoorwaarden: de golf bij BG II, de wind, de waterstand en de stroom, en een constante, zodat in dit model vijf coëfficiënten moeten worden afgeregeld. Bij MDC4 is het er één minder: hier ontbreekt de golftrandvoorwaarde bij BG II. Voor de bepaling van deining is MDC4 daarom minder geschikt. De bovengenoemde coëfficiënten zijn bepaald voor een groot aantal klassen van windrichting en stroomrichting. Beide modellen zijn erg nauwkeurig.

De vertaalslag naar de werklocatie was opgebouwd uit twee onderdelen. Tot 200 meter voor de as van het tracé werd een eenvoudige lineaire overdrachtsfunctie gehanteerd die slechts afhankelijk is van de getijfase. Voor werklocaties dicht bij de as of ten oosten van de kering bleek uit het M1752 onderzoek (invloed golf en stroom tijdens de bouwphase) dat de plaatselijk sterke stroom een grote invloed had op de golven. Daarom was hiervoor een golfmodel ontwikkeld dat de lokale stroominvloed in rekening bracht.

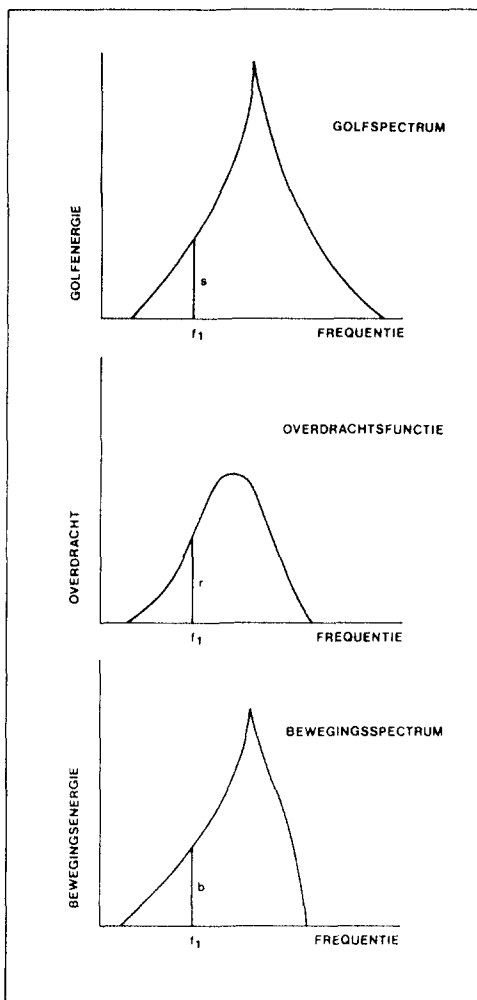


fig. 41 Schematische weergave berekening responses.

Dit zogenaamde EXCO-model is gebaseerd op fysische relaties zoals stroomrefractie, en was afgeregeld met behulp van metingen in en om de kering. Omdat de invloed van de stroom op de golven sterk afhankelijk van de golfperiode is het noodzakelijk hier uit te gaan van een golfspectrum. Er werd een parametrisch spectrummodel gebruikt, dat speciaal voor de Oosterschelde is ontwikkeld. De spectrale vormparameters werden bepaald uit relaties met de karakteristieke golfparameters. Deze relaties zijn statistisch vastgesteld uit een groot aantal gemeten spectra.

De laatste schakel in het systeem was de berekening van de bewegingen van het materieel. Hoewel dit niet zo zeer een golfmodel betreft heeft het hier wel een zeer sterke relatie mee. De beweging van een schip is sterk afhankelijk van de golfperiode waarmee het wordt aangeslagen. Per golfperiode kan een overdrachtswaarde worden vastgesteld. Door het golfspectrum per periode met deze overdrachtswaarde te vermenigvuldigen ontstaat een bewegingsspectrum (figuur 41). Van de relevante bewegingen zijn de overdrachtsfuncties vooraf berekend. Verificatiestudies hebben aangetoond dat de aldus verkregen overdrachtsfuncties voldoende betrouwbaar zijn.

#### 4.5.3 Vaststellen randvoorwaarden ten behoeve van het ontwerp

Voor bouwphase ontwerprandvoorwaarden waren vooral golven en/of stroom van belang. Bij de vaststelling werd veelal een semi-probabilistische aanpak gevolgd. Er werd een randvoorwaarde gekozen bij een zekere overschrijdingskans.

Ten aanzien van de golven is uitgegaan van de golfhoogte overschrijdingslijn die volgde uit de methodiek voor het eindfase ontwerp (zie par. 4.2.4). Dit geldt ook voor golftrandvoorwaarden aan de Oosterscheldezijde van de kering. Dit betekent dat bij bouwphase golftrandvoorwaarden geen rekening is gehouden met eventuele reductie door de kering. De overschrijdingslijn van de golfhoogte is weergegeven in figuur 42.

Voor de stroom werden steeds normale verdelingen aangehouden waarbij gemiddelde en spreiding overigens nog wel afhankelijk waren van de expositieduur.

De methode om de beperkte expositieduur in rekening te brengen wordt hierna beschreven.

#### Methodiek beperkte expositieduur

Algemeen kan de methodiek als volgt worden omschreven. De expositieduur kan worden uitgedrukt in het aantal (N) getijden ofwel (N) hoogwaters. Aangenomen is dat op elk hoogwater een gelijke kansverdeling voor een extreme hoogwaterstand bestond en dat de N realisaties onderling onafhankelijk waren.

De overschrijdingskans  $Q_N$  van een N maal herhaalde gebeurtenis met overschrijdingskans Q wordt vastgelegd door middel van de volgende relatie:

$$Q_N = 1 - (1 - Q)^N$$

Wanneer de overschrijdingskans ( $Q_N$ ) van de golfhoogte gedurende de expositieduur is vastgelegd kan de overschrijdingskans (Q) per gebeurtenis worden bepaald volgens de inverse relatie:

$$Q = 1 - (1 - Q_N)^{1/N}$$

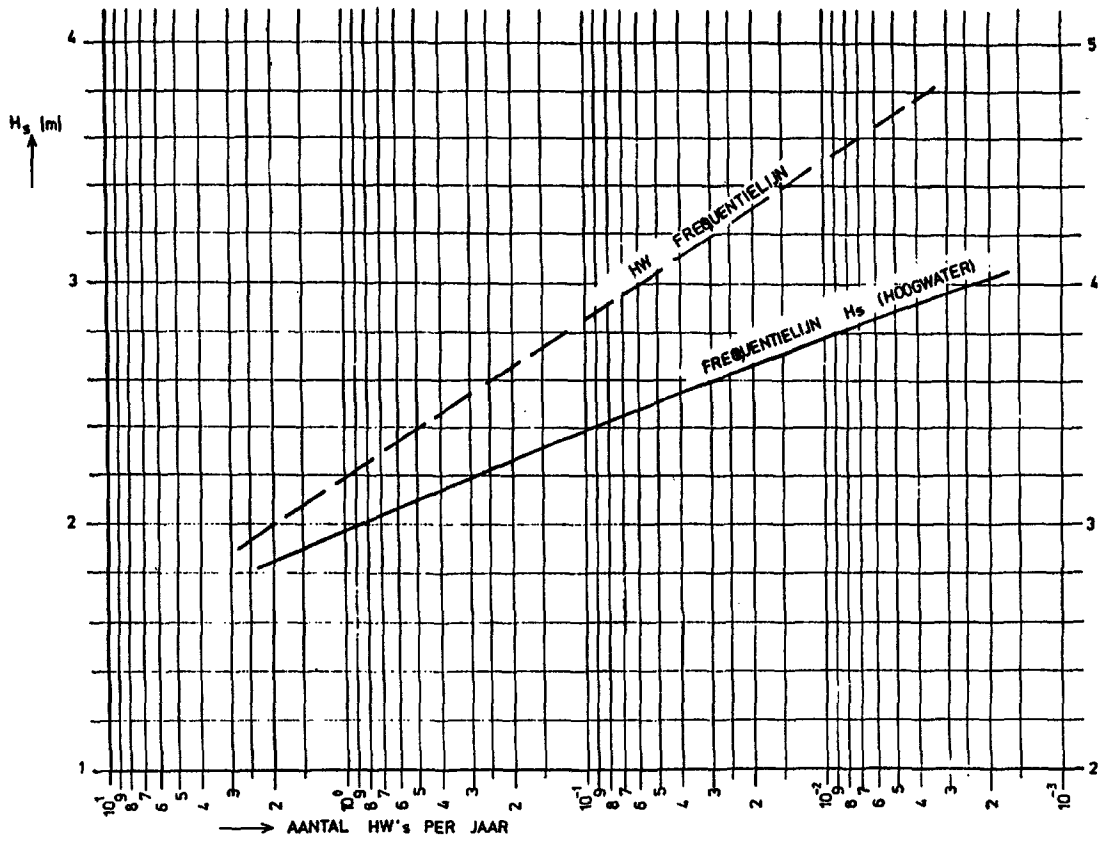
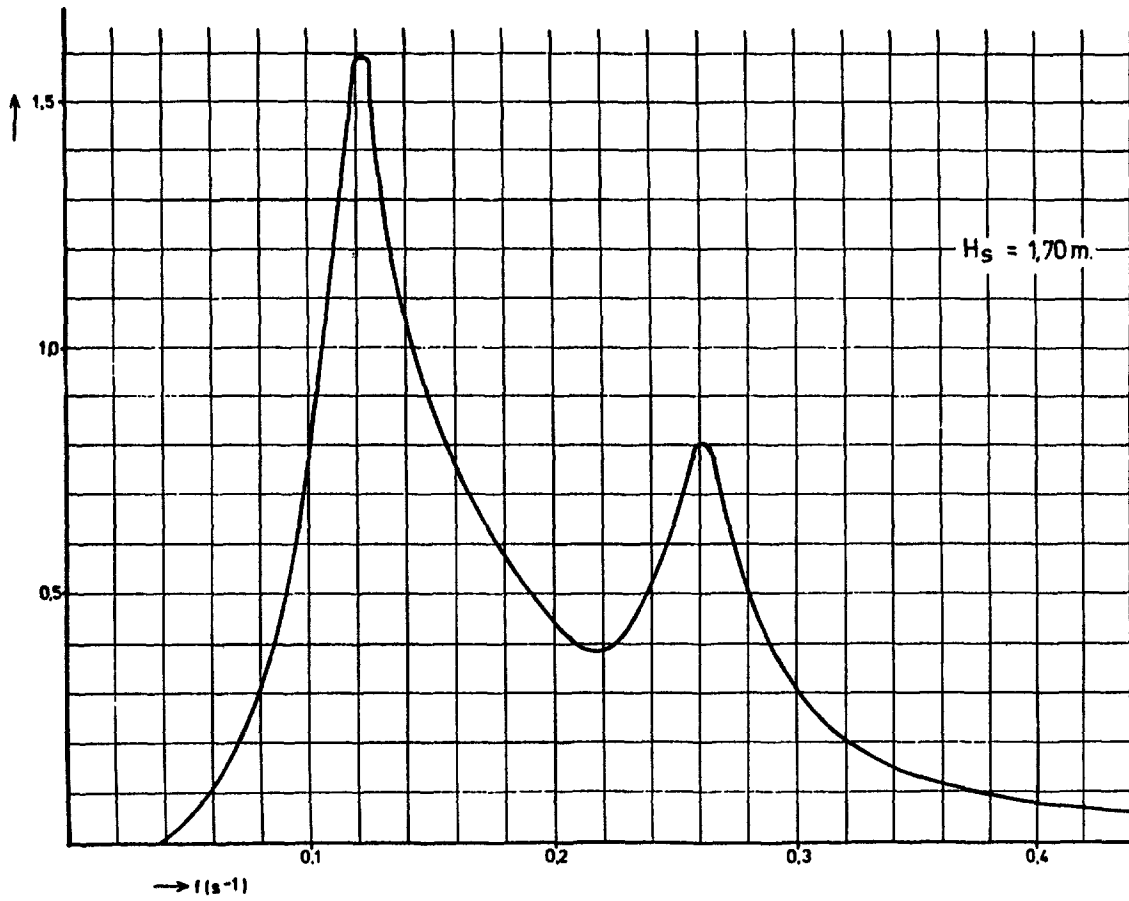


fig. 42 Overschrijdingslijn golfhoogten ( $H_s$ ) bij hoogwater.

fig. 43 Standaard spectrum overlevingscondities Ostrea.



Om te komen tot de bijbehorende golfhoogte dient eerst het bijbehorende aantal hoogwaters per jaar bepaald te worden (horizontale as van figuur 43). Dit gebeurt volgens de relatie:

$$Q = n/705.$$

De golfhoogte dient dan gezocht te worden bij de waarde n volgens

$$n = 705 \star \left[ 1 - (1 - Q_N)^{1/N} \right]$$

Vooraf in latere bouwfasen is de stroom een belangrijke rol gaan spelen. Daarom werden combinaties van golf- en stroomrandvoorwaarden van belang.

Aangenomen is dat golven en stroom ongecorrleerd zijn. Voor extreme omstandigheden is deze aanname acceptabel, hoewel enigzins aan de pessimistische kant. Voor de overschrijdingskans van een combinatie betekent dit dat deze voldoet aan de relatie:

$$Q_{H,V} = Q_H \star Q_V$$

waarbij  $Q_V$  de overschrijdingskans van de stroom is. Voor het bepalen van de waarde  $Q_V$  afhankelijk van de expositieduur wordt verwezen naar doc. 7.

Bij een waarde  $Q_{H,V}$  horen dus zeer vele combinaties van  $Q_H$  en  $Q_V$  en daarmee vele snelheden en golfhoogtes. In de praktijk is steeds een tweetal combinaties afgegeven, één waarbij de kans op golf groot is en die van stroom klein en omgekeerd. Een en ander hangt uiteraard af van de gevoeligheid van werkschip of constructie (onderdeel) voor golf en stroom.

1% kans in expositieduur

Uitgangspunt voor de bepaling van de randvoorwaarden is vrijwel steeds geweest dat in de expositieduur 1% overschrijdingskans geaccepteerd werd.

Een uitzondering hierop vormde de Ostrea. Hierbij is namelijk tevens rekening gehouden met het feit dat de Ostrea slechts onder bepaalde condities het sluitgat inging en bij verwachte slechte condities kon vluchten.

Er is dus ook rekening gehouden met de voorspelnaauwkeurigheid van het HMC (Hydro Meteo Centrum). Als voorbeeld zijn in tabel 7 de randvoorwaarden voor het plaatsen pijler bedrijf weergegeven. Figuur 43 geeft het ontwerp golfspectrum voor de Ostrea.

Vooraf tijdens de bouwfase zijn - door het operationeel worden van rekenmodellen voor scheepsbewegingen - veel overleefanalyses uitgevoerd (zie doc. 8). In één geval heeft dit geleid tot bijstelling van de ontwerprandvoorwaarden (combinatie MacDos).

#### 4.5.4 Vaststellen randvoorwaarden ten behoeve van de werkbaarheid

Algemeen kan werkbaarheid omschreven worden als het percentage van de tijd dat maximaal toegestane responsies (verplaatsin-

Tabel 7: Randvoorwaarden voor de werkschepen (combinaties) voor het plaatsen-pijler-bedrijf

	$H_s$ (m)	Vstr (m/s)
Ostrea	1,70	-
Macoma	2,50	-
Mac + Os	1,70	2,05
	1,30	2,50
Mac + DOS I	2,30	2,05
	1,80	2,30

gen, snelheden of versnellingen) van bepaalde delen van het materieel worden overschreden. Het aandeel dat de golven hebben in deze responsies kan omschreven worden via een responsie-overdrachtsfunctie. Door vermenigvuldiging van het golfspectrum met de overdrachtsfunctie ontstaat een bewegingsspectrum (zie figuur 41) waaruit weer karakteristieke bewegingsparameters kunnen worden afgeleid (b.v. significante beweging, piekfrequentie).

Omdat elk schip in zijn eigen specifieke overdrachtsfuncties heeft is het lastig algemeen geldende werkbaarheidsspectra te geven. Met behulp van standaardoverdrachtsfuncties is dit evenwel toch geprobeerd. Uitgangspunt daarbij is een werkbaarheid van 80 à 90% geweest.

#### Methodiek

Voor het vaststellen van werkbaarheidsspectra is uitgegaan van een standaardvorm van het golfspectrum volgens

$$S(f) = \alpha f_p^{-9,5} \cdot f^6 \quad 0 \leq f \leq f_p$$

$$= \alpha f^{-3,5} \quad f > f_p$$

waarin  $\alpha$  = evenredigheidsconstante,  $f$  = frequentie en  $f_p$  = piekfrequentie ( $f_p = 1/T_p$  met  $T_p$  de piekperiode).

Verder is uitgegaan van standaardoverdrachtsfuncties voor groot respectievelijk klein (hulp) materieel volgens fig. 44.

Door combinatie van spectrumvorm, overdrachtsfunctie en de statistiek van  $x$  en  $f_p$  (uit metingen) kon de overschrijdingskans (= werkbaarheid) van een significante beweging bepaald worden.

Omdat bij één significante beweging meerdere spectra ( $\alpha$ ,  $f_p$  combinaties) horen moet hieruit een representatief spectrum gekozen worden. Voor hoog- en laagwater levert dit verschillende spectra. Voor de details van deze berekening wordt verwezen naar doc. 9.

#### Werkbaarheidsspectra

Op de bovenstaande wijze zijn representatieve spectra gekozen met een werkbaarheid van 80 à 90%.

In termen van  $H_s$  en  $T_p$  zijn de spectra als volgt (tabel 8).

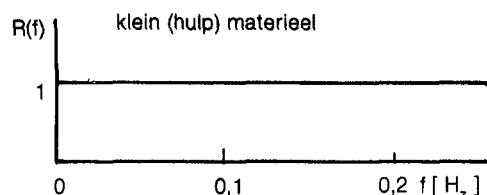
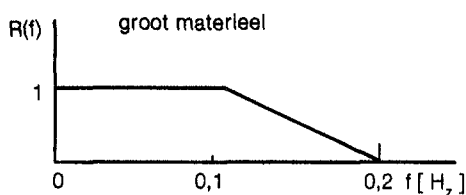


fig. 44 Standaard overdrachtsfuncties voor golfbeweging op vaartuigen.

Tabel 8: Werkbaarheidsspectra voor drijvend materiaal

	$H_s$ (m)	$T_p$ (sec)
Groot materieel	0,75	8 op hoogwater
	0,30	6 op laagwater
Klein (hulp)materieel	0,75	

Voor het groot materieel is de werkbaarheid voor bovengenoemde condities globaal 90%. Voor het klein materieel globaal 80%. Met name het laagwaterspectrum voor groot materieel is veelvuldig gebruikt als toets voor maatgevende bewegingen waarbij als eis werd gesteld dat het schip te allen tijde onder deze condities moest kunnen werken. De werkbaarheidsspectra voor groot materieel op hoog- en laagwater zijn weergegeven in figuur 45 en 46.

Deze vorm van werkbaarheidsbeschouwing, gerelateerd aan responsies, is tijdens de bouwphase meer expliciet gemaakt door deze grootheden op te nemen in het operationele voorspelsysteem van het HMC. Dit werd mogelijk doordat voor kritieke bewegingen en krachten betrouwbare overdrachtsfuncties konden worden vastgesteld met behulp van de eerder genoemde dynamica modellen. Het opnemen van bewegingsvoorspellingen heeft de operationele besluitvorming bevorderd.

Bij het plaatsen pijler bedrijf is bijvoorbeeld de voorspelde beweging van de zuigmond van de Macoma betrokken bij de beslissing omtrent het plaatsen van de pijler.

#### 4.5.5 Belastingen in de bouwphase

Bouwfasebelastingen waren van belang voor die constructieonderdelen die tijdens de bouw nog niet hun definitieve sterkte hadden. De belangrijkste onderdelen waarvoor dit gold waren: de pijler voordat zij in de drempel was ingepakt, de negatieve overlap voor het aanbrengen van de drempel, de dorpelbalk voor het grouten van de stelvijzels en de drempel tijdens de opbouw.

Voor de pijler is de bouwfasebelasting bepaald met behulp van de modelproefresultaten van het bouwphase-onderzoek M1000 en de proeven M1506, M1525, M1532 en NSP-proeven. Met behulp van deze proeven zijn onder andere de overdrachtsfuncties ten behoeve van de probabilistische belastingsberekening bepaald. De extreme bouwfasebelasting is die met een overschrijdingskans van 1 in een periode van 3 jaar. De resultaten van deze berekeningen zijn vermeld in het eindverslag onderzoek bouwfasebelastingen (doc. 10).

Verder zijn voor het bouwfasestadium, waarbij wel de schuiven waren geplaatst maar nog niet de dorpel- en bovenbalken, voor twee situaties de belastingen bepaald, namelijk:

- I bouwfase stormbelasting met geheven schuif en
- II springtijbelasting met gesloten schuif.

Bij de negatieve overlap en de dorpelbalken hebben de bouwfasebelastingen aanleiding gegeven tot ontwerp aanpassingen (grindwiepenmat, tijdelijke verwigging dorpelbalk). Voor de drempel heeft de bouwfasebelasting geleid tot de formulering van maximaal toelaatbare vervallen over de kering en een stringente inspectie bij overschrijding daarvan.

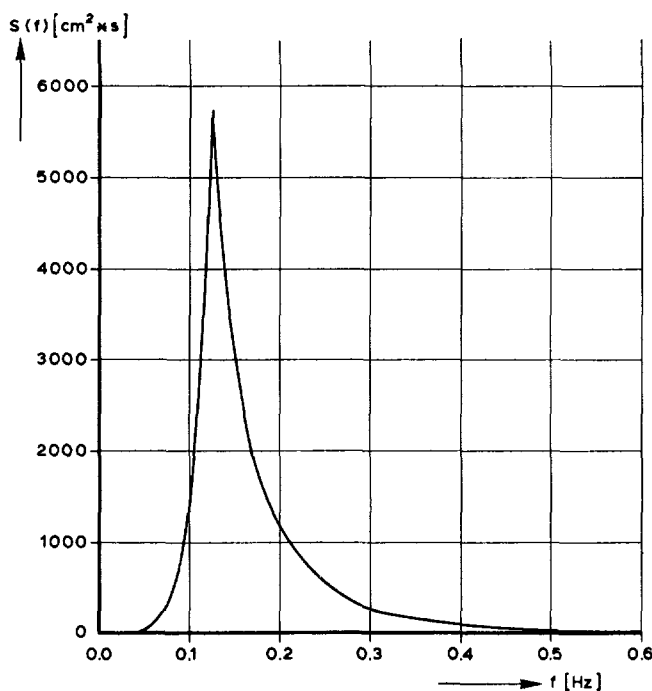


fig. 45 Werkbaarheidsspectrum groot materieel.

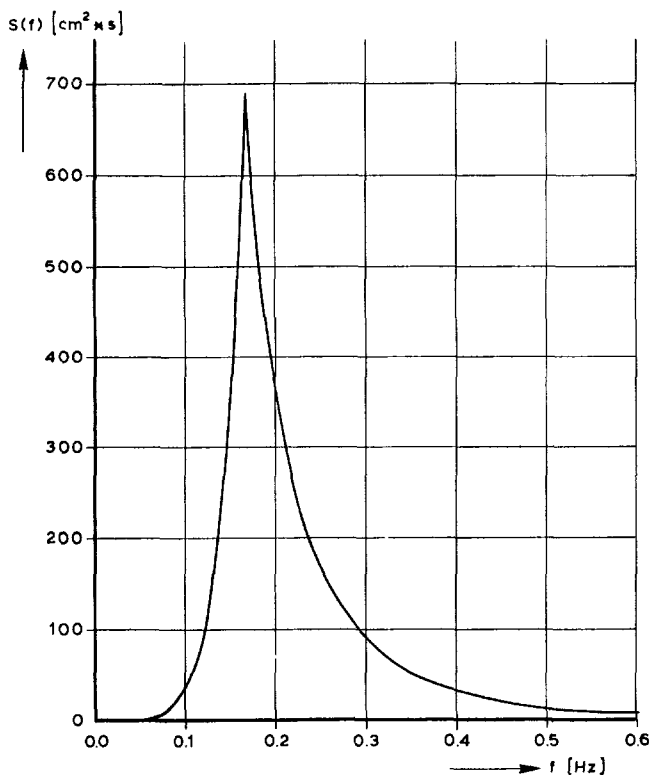
Hoogwater

$$H_s = 75 \text{ cm} \quad T_p = 8 \text{ sec}$$

fig. 46 Werkbaarheidsspectrum groot materieel.

Laagwater

$$H_s = 30 \text{ cm} \quad T_p = 6 \text{ sec}$$



**Documentatie:**

1. DDWT 86.001-Natuurrandvoorwaarden.
2. DDWT-80.002 PROBER, een programma voor de berekening van de probabilistische langsbelasting op de stormvloedkering in de Oosterschelde in gesloten toestand (NOTA).
3. DDWT-78.276 Betrouwbaarheid van de m.b.v. „SEAST9” bepaalde kansverdeling van de totaalbelasting (NOTA).
4. DDWT-79.016 Overschrijdingskansen van vervallen en waterstanden bij de stormvloedkering in de Oosterschelde (NOTA).
5. Belastingen stormvloedkering Oosterschelde(concept), sept. 1985, PEGESS-N-85357, nota met bijlagen in 2 delen.
6. Databankboek d.d. 2 december 1981, deel E.
7. SOCCOO-M-84508 Deel 5, Stroominformatie t.b.v. de afbouw van de stormvloedkering Deel 5 Ontwerpmethodiek korte expositieduur.
8. Evaluatie van het onderzoek naar het dynamisch gedrag van het bijzonder SVKO materieel, BEBIMA, SOCCOO-R-84212.
9. DDWT-81.513 Werkbaarheidsanalyse t.a.v. bewegingen of krachten.
10. SOCCOO-N-81190 Nota Bouwfasebelastingen pijlers.