

Pomp Accumulatie Centrale IJsselmeer



Deelrapportage fase 1
"Bekkendijken"

Pomp Accumulatie Centrale IJsselmeer

DEELRAPPORTAGE

FASE 1

BEKKENDUKEN



door :

PAC - projectgroep

- Rijkswaterstaat



- Hollandsche Beton Groep NV



- Ballast Nedam Groep NV

- Raadg. Ing. Bur. Lievense

voor :

Nederlandse

Energie

Ontwikkelings

Maatschappij





De rapportage van de Pomp Accumulatie Centrale IJsselmeer studie fase 1 waarvan deze deelrapportage onderdeel vormt kwam tot stand in opdracht van de Nederlandse Energie Ontwikkelings Maatschappij B.V. (NEOM) onder verantwoordelijkheid van, behalve de NEOM, de PAC-Projectgroep, waarin participeren:

- Rijkswaterstaat
- Hollandsche Beton Groep N.V.
- Ballast Nedam Groep N.V.
- Raadgevend Ingenieurs Bureau Lievense B.V.

en waaraan tevens hebben medegewerkt:

- N.V. Samenwerkende Electriciteits Productiebedrijven SEP
- Rijksdienst voor de IJsselmeer Polders
- Zanen Verstoep N.V.
- Bitumarin B.V.
- N.V. Tot Keuring van Electrotechnische Materialen KEMA
- Laboratorium voor Grondmechanica
- Waterloopkundig Laboratorium
- Technische Hogeschool
Afdeling der Civiele Techniek
Laboratorium voor Vloeistofmechanica
- Fundamentum B.V.





DEELRAPPORT
FASE 1
BEKKENBOUW

DEEL A

INHOUDSOPGAVE

titel	blz.
1. Inleiding	1
2. Samenvatting en conclusies	2
3. Uitgangspunten en randvoorwaarden	6
3.1. Projectplan	6
3.2. Geometrie	7
3.3. Gegevens van de ondergrond	7
3.4. Randvoorwaarden en uitgangspunten	12
3.5. Veiligheid en risico-analyse	14
4. Locatie	23
5. Ontwikkeling Alternatieven	25
5.1. Afbakening alternatieven	25
5.2. Hoofdspoor I : constructies	27
5.3. Hoofdspoor II: alternatieve constructies	35
6. Verkennende berekeningen	51
6.1 Inleiding	51
6.2 Stabiliteitsberekeningen	51
6.3 Kwelberekeningen	55
6.4 Deformaties	72
7. Uitvoeringsmethoden	76
7.1 Algemeen	76
7.2 Cunetbaggeren	77
7.3 Dijklichaam	77
7.4 Zandwinning	78
7.5 Alternatieve uitvoeringsmethoden	80
7.6 Maatregelen op het stort	80
7.7 Uitvoering filters en klei-afdichtingen	81
8. Bespreking variant oplossingen	82
8.1 Inleiding	82
8.2 Constructiedetails "type grondmassief"	84
8.3 Voorkeursvarianten "type grondmassief"	89
8.4 Constructiedetails "type alternatieve constructies"	107
8.5 Voorkeursvarianten "type alternatieve constructies"	115



titel	blz.
9. Aanpassingswerken	123
9.1 Inleiding	123
9.2 Probleemstelling	123
9.3 Gevolgde werkwijze	124
9.4 Beschrijving benodigde aanpassingen	124
<u>DEEL B</u>	
10. Bijlagen	

1. Inleiding

Deze nota is het verslag van de eerste fase van de PAC-studie, met betrekking tot de bekkenbouw. Het doel van deze eerste fase is het kiezen van één of enkele voorkeursvarianten op basis van verkennende berekeningen en beschouwingen uitgaande van de doelstellingen, omschreven in het projectplan.

De eerste fase voor het ontwerp van het bekken omvatte:

1. Het uitvoeren van een vooronderzoek met betrekking tot de geologische opbouw van het IJsselmeergebied en het vaststellen van het eventueel aanvullend grondonderzoek.
2. Het globaal ontwerpen van basisvarianten van de bekkendijken.
3. Het uitvoeren van globale kwelberekeningen.
4. Het onderzoeken van de noodzaak tot aanpassingswerken in de omliggende gebieden.
5. Het uitvoeren van globale kostenramingen.

De werkzaamheden ten aanzien van bovenstaande aspecten hebben geleid, volgens het Projectplan, tot enkele voorkeursvarianten voor de bekkendijken voor 18 - 24 - 40 - 50 en 60 m hoge bekkens..

In de hierna volgende hoofdstukken is getracht een samenvatting te presenteren van de werkzaamheden.

Hierbij is gestreefd naar een volledige rapportage, echter ten aanzien van de diverse deelaspecten zijn samenvattingen opgenomen.

Voor detailbeschouwingen ten aanzien van deze aspecten wordt in dit rapport naar de relevante stukken verwezen.

Een overzicht van deze stukken is als bijlage toegevoegd in deel B van deze rapportage.

De voorkeursvarianten zijn beschreven in hoofdstuk 8. Deze voorkeursvarianten voldoen aan de eisen van:

1. technische realiseerbaarheid
2. vergelijkbaarheid van kostenniveaus ten aanzien van aanleg.

In de verdere studie (tweede fase) zullen deze voorkeursvarianten nader gedetailleerd en geoptimaliseerd worden. In verband hiermee moeten dan ook de in de deelrapportage Kosten gepresenteerde kostenniveaus als indicaties en vergelijkingsgrootheden beschouwd worden.

In de eerste fase heeft een eerste toetsing van de keuzevarianten aan de veiligheidsnorm (faalkans) plaatsgevonden. De risico-analyse is in deze eerste fase echter vooral gehanteerd als bouwsteen voor de ontwerpfilosofie.

De kwantitatieve toetsing aan de veiligheidsnorm zal in de tweede fase verder ontwikkeld worden.

2. Samenvatting en conclusies

2.1 Uitgangspunt voor de vergelijkende studie naar bek-
kendijken vormt het projectplan, later aangevuld met
twee hogere bekkens, 5 hoofdvarianten worden onder-
scheidend, nml. bekkens met een hoog en laag water-
stand van

+ 18/+ 12 m
+ 25/+ 16 m
+ 40/+ 26.5 m
+ 50/+ 40 m
+ 60/+ 47.5 m

2.2 Hoofdeis te stellen aan de bekken is waterkering
met voldoende zekerheid.

Lekverlies dient zoveel mogelijk beperkt te worden
waardoor energieverlies gereduceerd wordt.

2.3 Bouwmateriaal zal hoofdzakelijk zand dienen te zijn,
omdat andere materiaaltoepassingen behoudens mengvor-
men van een zandterp met een kruinelement in beton of
gewapende grond niet tot economisch haalbare oplos-
singen leiden.

De genoemde mengvormen zijn concurrerend in prijs ten
opzichte van een volledige dijk; nadere studie is
echter vereist met betrekking tot de specifieke
problemen van deze oplossingen.

In hoeverre zandwinning in het bekken toelaatbaar is
hangt af van de invloed van de verstoring van de
holocene- en Eemkleilagen en de mogelijkheid om de
bekkenbodem na zandwinning weer voldoende wateraf-
sluitend te kunnen maken. Zo lang geen diep grondon-
derzoek gedaan is en daarmee dat probleem bestudeerd,
moet ervan uitgegaan worden dat er geen zandwinning
binnen het bekken mogelijk is.

2.4 De ontwikkeling van alternatieven is erop gericht de
hoofdfunctie (waterkering) te waarborgen met een
vergelijkbaar veiligheidsniveau.

Een groot aantal sub-alternatieven is daarnaast ont-
wikkeld met een aantal functionele elementen zoals
taludbekledingen, filters, drainagesystemen en con-
trolesystemen, die, indien toegepast, de faalkans
zullen verminderen. De noodzaak van toepassing hier-
van is thans zo goed mogelijk ingeschat, maar dient
uiteindelijk te volgen uit een meer gedetailleerde
faalkansbeschouwing inclusief inspectie, reparatie-
en beheersmogelijkheden. Eerste verkennende bereke-
ningen tonen aan dat de volgens het Projectplan
geëiste veiligheid van 10^{-6} vermoedelijk haalbaar is.

- 2.5 De thans gepresenteerde varianten, voldoen op basis van de aangenomen grondparameters, aan de volgende minimumeisen:
- a. - technische realiseerbaarheid
 - b. - vergelijkbaarheid van kostenramingen t.a.v. aanleg
 - c. - de vereiste veiligheid lijkt haalbaar voor alle varianten.
- 2.6 De technische realiseerbaarheid is nagegaan door middel van verkennende berekeningen betreffende:
- 2.6.1 - stabiliteit van taluds afhankelijk van de taludhelling, grondparameters, hoogteligging van de freatische lijn in het damlichaam en wijze van fundatie van het damlichaam. Indien gebouwd op grondverbetering kunnen steilere taludhellingen worden toegepast dan bij fundatie op holoceen (al dan niet gedraineerd).
 - 2.6.2 - kwelberekeningen van kwel door het damlichaam en door de ondergrond zijn uitgevoerd. Aangetoond is, dat het talud aan de bekkenzijde waterdicht uitgevoerd dient te worden ter beperking van kwelverlies. Het aanbrengen van kwelremmende voorzieningen op de bekkenbodem is minder effectief dan op de dijk, doch is in de noordelijke locatie nodig als de bodem geheel uit zand bestaat. Kwelremmende voorzieningen over de gehele bekkenbodem mogen uit kostenoogpunt slechts uit relatief goedkope afdichtingen bestaan. Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van een (betere) afdichting over een beperkte strookbreedte langs de bekkendijk. Een (evt. additionele) kwelbeperking kan ook verkregen worden door het plaatsen van diepwanden - langs de binnenomtrek van het bekkendijk - tot in de dieper gelegen afsluitende lagen. Dit is echter pas zinvol indien de diepere afsluitende klei- of keileemlagen onder de gehele bekkenlocatie voorkomen, overal van voldoende kwelbeperkende kwaliteit zijn en op een niet al te grote diepte voorkomen (10 à 20 m diep).

Naarmate bekkens hoger zijn worden hogere eisen gesteld aan de afsluitende lagen van de bekkenbodem om het kwelverlies op een gelijk laag nivo te houden. In het zuiden leidt dit tot de wens het bekken boven de Eemklei voorkomens te bouwen. Daar kan dan zowel het Holoceen als de Eemklei als bekkenbodemaafdichting benut worden. In deze rap-

portage is steeds één bekkenbodemaafdichting toegepast om de voorkeursoplossingen vergelijkbaar te houden.

2.6.3 - Deformaties

Bij de bouw van de dam rechtstreeks op het Holoceen zullen zettingen optreden die na 30 jaar tot 40 à 60% van de oorspronkelijke dikte kunnen zijn opgelopen. Bij het bouwen op zand kunnen deformaties tot enkele decimeters optreden, het aanbrenge van overhoogte compenseert deze deformaties. Ook een eerste maal vullen van het bekken kan deformaties van enkele decimeters tot gevolg hebben, de dagelijkse peilschommelingen in het bekken hebben deformaties van centimeters tot gevolg.

2.7 In de deelrapportage Kosten zijn kosten meegenomen ten behoeve van kwelbeperkende maatregelen vanuit het bekken (indien nodig) en tevens kosten van aanpassingswerken rond het gehele IJsselmeer vanwege peilfluctuaties en erosiebescherming op een deel van de bekkenbodem bij het lage en het middel bekken.

Technische criteria, die thans nog niet in kosten zijn uit te drukken, maar die vergelijkenderwijs in de volgende studiefase beoordeeld worden, zijn:

- bedrijfszekerheid
- kosten van onderhoud
- herstelbaarheid bij schade
- uitvoeringsproblemen
- gevoeligheid voor uitvoeringsfouten.

Voor alle gepresenteerde oplossingen geldt dat het in de deelrapportage Kosten genoemde het prijs-vergelijk alleen relatief mag worden beschouwd en dat de absolute bedragen nog in belangrijke mate kunnen afwijken. Overigens geldt dat de kostenramingen zijn gebaseerd op directe en indirecte kosten inclusief toeslagen echter exclusief BTW (prijsspeil maart 1985). Een overzicht van de kostenramingen voor de verschillende locaties en basisvarianten is weergegeven in de deelrapportage Kosten.



3. Randvoorwaarden en uitgangspunten

3.1 Projectplan

In het projectplan wordt uitgegaan van drie basisvarianten met als kenmerken: de hoogste en laagste waterstand en het turbinetype. Later zijn vanwege ontwikkelingen in de economische optimalisatie twee hogere bekken toegevoegd.

Omdat voor het globale bekkendijkontwerp het turbine-type géén invloed heeft is door dp_{g2} uitgegaan van vijf basisvarianten.

Deze varianten zijn:

	Peilen in meters t.o.v. N.A.P.	Bekken dia- meter	Oppervlak
1. LAAG BEKKEN	18/12	10,30 km	83 km ²
2. MIDDEL BEKKEN	24/16	7,7 km	47 km ²
3. HOOG BEKKEN	40/26,5	4,7 km	17 km ²
4. HOGER BEKKEN	50/40	4,8 km	18 km ²
5. HOOGSTE BEKKEN	60/47,5	3,9 km	12 km ²

Uit het projectplan zijn verder de voorwaarden, relevant voor het ontwerp in de eerste fase, af te leiden.

De hoofdeis is het keren van water onder de volgende neven-eisen:

1. het voldoen aan de veiligheidshypothese
2. het ontwerp moet technisch realiseerbaar zijn
3. het ontwerp moet economisch haalbaar zijn.

3.2 Geometrie

Voor de bekkengeometrie is voorshands uitgegaan van een cirkelvormig bekken, omdat hierbij, bij een gegeven bekkenoppervlak, de dijk lengte minimaal is.

In de eerste fase zijn er geen dwingende overwegingen geweest om van de cirkelvorm af te wijken. In de verdere studiestadia kan de totale bekkenvorm nader worden bepaald.

De straal van het bekken wordt bepaald op het nivo van de gemiddelde waarde van de hoogste en laagste waterstand.

Ten aanzien van de geometrie van de bekkendijken ter plaatse van de turbinebehuizing wordt verwezen naar de deelrapportage turbinebehuizingen.

3.3 Gegevens van de ondergrond

Geologie, grondgegevens en grondonderzoek

Verkennd vooronderzoek ten aanzien van beschikbare grondgegevens en geologische profielen is verricht op basis van een inventarisatie van archiefdata van RWS, ZZW, RIJP, RGD en de participerende bedrijven. Hieruit werd een beschrijving gedestilleerd ten aanzien van de belangrijkste drie aspecten:

1. funderingsgrondslag
2. zandwinning voor dijkbouw
3. kwelbeperking door ondergrond.

Beschouwen we op deze drie aspecten de Noord, Zuid en extreem Zuidlokatie.

3.3.1 Locatie Noord (oplossingen D, E en F)

Algemene beschrijving ondergrond (type IV en IIa van tekening PAC2-T-336)

Holoceen zand, afzetting van Duinkerken, dik minder dan 1 m, direct gelegen op Pleistoceen, dat bestaat uit zand met op 10 à 15 m onder N.A.P. een dikke min of meer aangesloten laag keileem. Het pakket op de keileem is veelal opgebouwd uit leemhoudend zand waarin veelvuldig leem en veenlagen voorkomen. Plaatselijk ontbreekt de keileem als gevolg van erosie.

ad 1. funderingsgrondslag

De ondergrond bestaat vanaf de oppervlakte uit draagkrachtig materiaal; grondverbetering is niet nodig. Wel rekenen op slibvrij maken van fundatiegrondslag over een geringe diepte in verband met stabiliteit.

ad 2. zandwinning voor dijksbouw

Het noorden, voor zover geclassificeerd als bodemtype IV is ongeschikt voor simpele methoden van zandwinning. Lokaal is gebied IIa wellicht beter en voor het grote lage bekken kan deels bodemtype III (zuid van IV) benut worden, hetwelk beschreven wordt als ten dele geschikt voor zandwinning

ad 3. kwelbeperking door ondergrond

De keileemlaag is niet overal aanwezig (zie diktecijfers keileem onder boringnummer op tekening PAC2-T-336). Voor het grote en middel bekken kan daarom niet op de afdichtende werking van de keileem gerekend worden. Voor de hoge kleine bekkens misschien wel. Voordat daarover definitief beslist wordt moet meer bekend zijn over de geologische verspreiding en de waterdichtheid van de keileemlaag.

Hiervoor zijn de huidige summiere grondgegevens onvoldoende en is aanvullend grondonderzoek noodzakelijk.

3.3.2 Locatie Extreem Zuid (oplossing G)

Algemene beschrijving

Holoceen pakket vanaf meerbodem op ca N.A.P. -4 tot ca N.A.P. -11, bestaande uit 1 à 2 m fijn zand, slappe klei en veenlagen met aan de onderkant een meestal dunne laag basisveen. Dikte afsluitende laag 4 à 6 m. Onder het Holoceen klei/veenpakket komt hier alleen Pleistoceen zand tot grote diepte voor (> 50 m à 200 m). Soms komen hierin grindlagen voor.

ad 1. funderingsgrondslag

Het Holocene pakket is weinig draagkrachtig, daar kan niet zonder meer op gebouwd worden, wellicht wel onder de volgende voorwaarden:

- langzaam in dunne lagen
- sneller door toepassen van verticale drainage (zandpalen of kunststofdrainage).

ad 2. zandwinning voor dijkbouw

Onder het Holoceen is goed winbaar materiaal aanwezig. Het voorkomen van grind behoeft twee aandachtsgebieden;

- winnen, daarbij is het benodigde vermogen of persafstand sterk afhankelijk van de hoeveelheid grind.
- opspuiten in dijklichaam, grindvoorkomens op verkeerde plaatsen of te geconcentreerd in dijk kunnen problemen opleveren. Door het meenemen van het Holocene pakket bij diepzuigen zou het slibpercentage van het dijk materiaal te hoog kunnen worden.

ad 3. kwelbeperking door ondergrond

In principe is de Holocene laag geschikt als kwelrem. Ze moet dan wel overal betrouwbaar aanwezig zijn en de dichte dijkbecliding moet er goed op aan te sluiten zijn.

Het probleem van "hydraulic fracturing" behoeft nog aandacht.

3.3.3 Locatie Zuid (oplossingen H en K)

Algemene beschrijving

Holoceen pakket als Locatie Extreem Zuid, alleen dunner, totale dikte van de afsluitende lagen 3 à 5 m.

Onder het Holoceen begint het Pleistocene zand op ca 9 à 11 - N.A.P. In het Pleistocene zand komt ten noorden van de breedtegraad door Urk op een diepte van N.A.P. -22 à -27 een laag Eemklei voor in dikte toenemend van 0,5 tot 8 m. Onder de Eemklei is weer Pleistoceen zand aanwezig.

ad 1. funderingsgrondslag

Voor wat betreft het Holoceen, dezelfde problemen als in extreem zuid, zij het iets minder daar waar de laagdikte kleiner is. De diepliggende Eemklei heeft voor de fundering van de dijk minder gevolgen dan de Holocene deklaag. Deze Eemkleilaag heeft wél zettingen tot gevolg.

ad 2. zandwinning voor dijkbouw

Tot boven Eemklei geschikt voor zandwinning. Door relatief dunne laag van -9 à 11 tot -22 à 27 zal niet erg eenvoudig gewonnen kunnen worden. Door het meewinnen van het Holoceen kan het slibpercentage te hoog worden in de dijk.

ad 3. kwelbeperking door ondergrond

Voor het Holoceen geldt hetzelfde als voor de locatie extreem zuid.

De Eemklei werkt kwelremmend. Deze laag kan bovendien een extra functie als bodemafdichting vervullen door bijvoorbeeld extra verticale schermen (2e kwelkering) tot in deze kleilaag te plaatsen. Dit heeft alleen zin als het hele bekken boven deze Eemkleilaag is gelegen en aangetoond wordt dat de laag overal aanwezig en betrouwbaar waterdicht is.

Referenties:

PAC2-T-065, tekening IJsselmeer, geschiktheid voor zandwinning

PAC2-T-062, tekening globale bodemkundig geologische kaart van het kleine IJsselmeer.

3.3.4 Grondonderzoek

De bestaande boringgegevens zijn verzameld en deels bewerkt om tot de locatiekeuze te komen welke per half februari 1985 gedaan is ten gunste van Noord en Zuid.

De huidige beperkte grondgegevens zijn onvoldoende om een definitief ontwerp van de dijk te kunnen maken. Met name ontbreken de grondparameters en de grondconstanten en vooral de spreiding hierin, noodzakelijk voor de veiligheidsbeschouwingen.

Direct na de locatiekeuze van het bekken is het daarom noodzakelijk aanvullend grondonderzoek te doen.

Inmiddels is een beperkt aanvullend grondonderzoek in uitvoering.

3.4 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Een compleet stramien voor het geven van randvoorwaarden is in concept gereed. Het overzicht wordt op de volgende bladzijde gepresenteerd. De randvoorwaarden zijn kwalitatief en beschrijvend vermeld en zullen in de volgende studiefase worden gekwantificeerd.

Randvoorwaarden, gehanteerd voor de verkennende berekeningen en het dijkontwerp zijn in de eerste studiefase gebaseerd op ervaring van de ontwerpers en gegevens uit de literatuur.

Als hoofduitgangspunten zijn gehanteerd:

- De constructie wordt zo waterdicht mogelijk ontworpen om energieverliezen tengevolge van kwel te minimaliseren.
- Voorshands is er uitgegaan van de noodzaak om het bekken leeg te zetten in verband met reparatie en onderhoud.
- De waterkering moet berijdbaar zijn in verband met inspectie en onderhoud.
- De geologische uitgangspunten, die zijn gehanteerd, zijn tot nu toe gebaseerd op gegevens en studies van het IJsselmeergebied die in het verleden zijn verricht.

Stramien randvoorwaarden

1. Invloeden van buitenaf en vanuit PAC zelf:
 - 1.1 Natuur; lucht, water, aarde, mens, dier
 - 1.2 PAC-bekken; constructies, bediening, invloed op omgeving
 - 1.3 PAC-bekken in aanlegfase
- 1.1 Stramien Natuur:
 - 1.1.1 Licht
 - 1.1.2 Lucht
 - a - temperatuur
 - b - windsnelheid
 - 1.1.3 Water
 - a - neerslag
 - b - oppervlaktewater
 - c - grondwater
 - 1.1.4 Aarde
 - a - grondslag/grondstof
 - b - aardbeweging
 - c - vorm aardoppervlak in omgeving
 - 1.1.5 Mens
 - a - aanwezigheid
 - b - gebruik van omgeving
 - c - misbruik omgeving
 - 1.1.6 Dier - natuurlijk gedrag
 - 1.1.7 Plant - natuurlijke groei
- 1.2 Stramien PAC-bekken; binnen kader economisch zijn
 - 1.2.1 Constructies dijk

<ul style="list-style-type: none"> a - dijk b - betonnen kunstwerken c - turbines d - hulpwerken 	}	<ul style="list-style-type: none"> raakvlakken raakvlakken 	}	<ul style="list-style-type: none"> andere combinaties van raakvlakken
--	---	--	---	--
 - 1.2.2 Bediening
 - a - mens
 - b - constructies
 - c - water
 - 1.2.3 Invloed op omgeving
 - a - water
 - b - aarde
- 1.3 PAC-bekken in aanlegfase
 - alle natuurrandvoorwaarden toepassen, andere faalkans toelaten
 - verandering van natuur door aanleg
 - bodem
 - verhogen spanningen
 - maken zuigputten
 - slib in water door spuiten
 - bergen onbruikbare specie
 - werktuigen
 - hinder scheepvaart
 - bereikbaarheid PAC-lokatie door werktuigen
 - werkterrein
 - tijdelijke
 - kwaliteitszorg
 - meten
 - interpreteren
 - bijsturen uitvoering
 - modificeren ontwerp

3.5 Veiligheid en risico-analyse

3.5.1 Inleiding

De veiligheid van het accumulatiebekken wordt gekarakteriseerd door de faalkans van het bekken.

Met falen wordt in dit verband bedoeld: de gebeurtenis dat het bekken bezwijkt, waardoor, tengevolge van een mogelijk optredende vloedgolf, omliggende gebieden met overstroming worden bedreigd.

De faalkans wordt als norm voor de veiligheid van het bekken gehanteerd.

Het aanvaarden van een dergelijke norm heeft directe consequenties voor het ontwerpproces. Uiteindelijk dient namelijk aangetoond te worden dat het ontwerp aan de gestelde norm voldoet.

Een toetsingsinstrument hierbij is de risico-analyse.

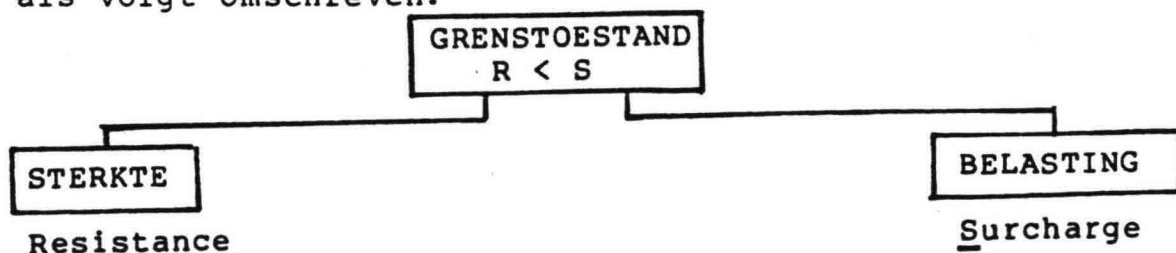
De functie van de risico-analyse binnen het ontwerpproces is in feite tweeledig:

1. Het ondersteunen van de ontwerp-filosofie en het aan- dragen van bouwstenen daarvoor.
2. Instrument voor de kwantitatieve bepaling van de faal- kans van het systeem: het toetsen van het ontwerp aan de gestelde norm.

In het voorlopig onderzoek ten bate van de locatie- en variantenkeuze is vooral de eerstgenoemde functie van de risico-analyse van belang. Bij een eenmaal gekozen alter- natief kan de werkelijke toetsing plaatsvinden, omdat in het algemeen de faalkans (veiligheid) sterk afhankelijk is van specifieke constructie-onderdelen.

3.5.2 Risico-analyse

In principe wordt bepaald hoe de sterkte van de dijk zich verhoudt tegenover de belasting er op. In schema als volgt omschreven:



Het begrip "grenstoestand" wordt ingevoerd om het moment van nog net niet bezwijken te omschrijven. Een hulpmiddel voor de risico-analyse is het opstellen van een foutenboom. Deze foutenboom is een logische verzameling gebeurtenissen, welke tot het bezwijken van de bekkendijken kunnen leiden.

3.5.3 Sterkte van de bekkendijk

In het algemeen kan een bekkendijk worden onderverdeeld in sterkte-elementen, elk met een specifieke functie.

Er zijn 4 hoofdelementen te onderscheiden:

1. STABILITEITSELEMENT
2. BESCHERMINGSELEMENTEN
3. AFDICHTINGSELEMENTEN
4. DRAINAGEELEMENTEN

Als niet-constructieve elementen zijn te noemen:

5. CONTROLELEMENTEN
6. BEHEERS/ONDERHOUDSELEMENTEN

Het samenspel tussen bovengenoemde elementen vormt de sterkte van de bekkendijk, en daarmee voor een groot gedeelte de veiligheid.

Een kwalitatieve beschouwing hiervan is te geven door de waterkering, in doorsnede, als een systeem te beschouwen.

In de meest extreme vormen is het samenspel van de elementen op te vatten als:

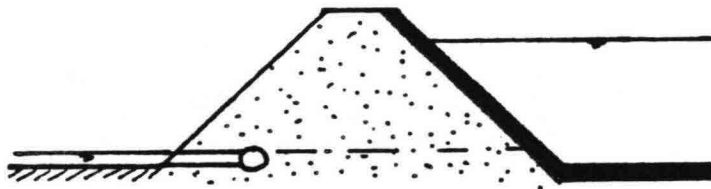
- een seriesysteem
- een parallelsysteem.

In het eerste geval hangt de veiligheid van de bekkendijk af van de faalkans van elk van de elementen. De faalkans van het systeem is de som van de faalkansen van elk van de elementen. Het systeem faalt als één van de elementen faalt.

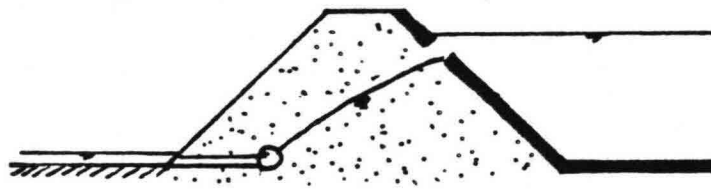
In het tweede geval, het parallelsysteem, is de faalkans van het systeem het produkt van de faalkansen van de elementen. Het systeem faalt slechts dan als alle elementen falen.

Het in het ontwerp streven naar een parallelle werking van de elementen werkt dus sterk veiligheidsverhogend.

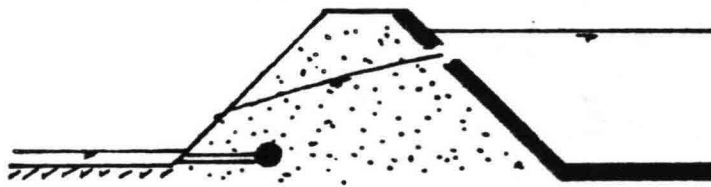
Ter illustratie dient de hoofdgrenstoestand "Glijvlak". Een van de bepalende factoren voor een glijvlakberekening is de ligging van de freatische lijn in het dijklichaam. Uitgangspunt voor de probabilistische berekening is: "Wat is de kans op een glijvlak, gegeven een hoge freatische lijn in het dijklichaam".



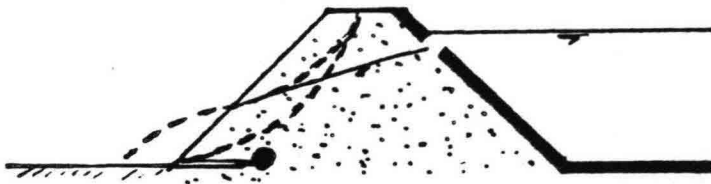
NORMALE SITUATIE



AFDICHTING FAALT



*AFDICHTING EN
DRAINAGE FAALT
GEVOLG: HOGE FREATISCHE
LYN*



*VERHOOGDE KANS OP
GLIJVLAK TEN GEVOLGE
VAN HOGE FREATISCHE
LYN*

Een hoge freatische lijn ontstaat bijvoorbeeld als zowel de afdichting als de drainage faalt.

De kans op een hoge freatische lijn wordt dus bepaald door het produkt van de faalkansen van de afdichting en de drainage.

Op zich zijn deze faalkansen sterk te beïnvloeden door controle- en beheersmaatregelen.

Het zal niet zo zijn dat een lekkende afdichting onmiddellijk een stijging in de freatische lijn veroorzaakt. Het "opbouwen" van de freatische lijn is een tijdproces. Het is dus mogelijk door een goede controle op tijd in te grijpen. Deze controle- en beheersmaatregelen zijn dan ook als elementen van het systeem te beschouwen en werken veiligheidsverhogend.

3.5.4 Ontwerpfilosofie probabilistische ontwerpen

Naar aanleiding van de bovenstaande systeemoverwegingen kunnen een aantal kwalitatieve conclusies worden getrokken.

- Het systeem (lees: dijkdoorsnede) moet voldoende reserve en redundancy (parallelwerking) bezitten: de veiligheid kan daarmee sterk toenemen, vooropgesteld dat de parallel geschakelde elementen niet volledig statistisch afhankelijk zijn. Hieruit volgt dat de parallelle elementen niet onderhevig moeten zijn aan dezelfde bezwijkmechanismen. Het is bijvoorbeeld de vraag in hoeverre een dubbel uitgevoerd filter of een dubbele drainage veiligheidsverhogend werken, omdat deze elementen tengevolge van dezelfde invloeden kunnen falen.
- Het parallelsysteem moet voldoende ductiliteit bezitten (= taaiheid). Voor de dijkdoorsnede houdt dit bijvoorbeeld in dat elementen een gedeelte van de functie van een falend element moeten kunnen overnemen. Als voorbeeld kan genoemd worden: het zandlichaam zal zelf een voldoende drainerende werking moeten bezitten om een gedeelte van de functie van een falend drainage-element te kunnen overnemen (bijv. homogene dijkopbouw).
- Faalkansen in de orde van de geaccepteerde systeemfaalkans worden uitsluitend gereserveerd voor de hoofdgrenstoestanden. Voor andere grenstoestanden is het beter, daar waar mogelijk, een extra veiligheid in te bouwen of over te dimensioneren.

3.5.5 Kwalitatieve beschouwing foutenboom

Uitgaande van de geaccepteerde systeemfaalkans (10^{-6}) is een globale indruk te krijgen van de maximaal toelaatbare faalkans per hoofdgrenstoestand.

Het systeem faalt als de turbinebehuizing faalt of de bekkendijk faalt.

De systeemfaalkans wordt naar evenredigheid over deze twee gebeurtenissen verdeeld.

De maximaal toelaatbare faalkans voor de bekkendijk wordt dus hiermee: $0,5 \cdot 10^{-6}$.

Onderscheiden worden verder 5 hoofdgrenstoestanden ten aanzien van doorbraak bekkendijk (zie figuur 3.5.5).

De hoofdgebeurtenissen staan overigens niet in volgorde van de kans van optreden. Deze hoofdgebeurtenissen zijn verder uitgesplitst naar gebeurtenissen die kunnen leiden tot de beschouwde hoofdgebeurtenis.

De gehele verzameling van gebeurtenissen vormt de foutenboom.

In de kwantitatieve beschouwing van de foutenboom, moet omwille van de bepaling van de faalkans van de constructie voor elke gebeurtenis een kans van optreden worden bepaald.

Bij een evenredige verdeling van de maximaal toelaatbare faalkans volgt een faalkans van orde 10^{-7} à 10^{-8} per hoofdgrenstoestand.

Deze orde van faalkansen is in de eerste fase van de studie als werkhypothese gebruikt.

Eventueel kan in een latere fase de verhouding tussen de faalkansen van de hoofdgrenstoestanden worden aangepast.

Hierna volgt een toelichting op de hoofdgrenstoestand:

- Overstromen

De "sterkte" van de waterkering wordt bij deze hoofdgrenstoestand gevormd door de kruinhoogte en de erosiebestendigheid van de kruin.

De risico-factoren ten aanzien van de kruinhoogte zijn:

deformatie		
	van de ondergrond	na verloop van tijd (consolidatie)

De grootste onzekerheid vormen de zettingen na verloop van tijd bij fundatie op het Holoceen en de zettingen die optreden als gevolg van het vullen van het bekken. De instantane of directe zetting door aanleg van de dijk treden op in de aanlegfase en worden bij aanleg reeds gecorrigeerd.

Door toepassing van een grondverbetering wordt het risico van de zettingen verkleind.

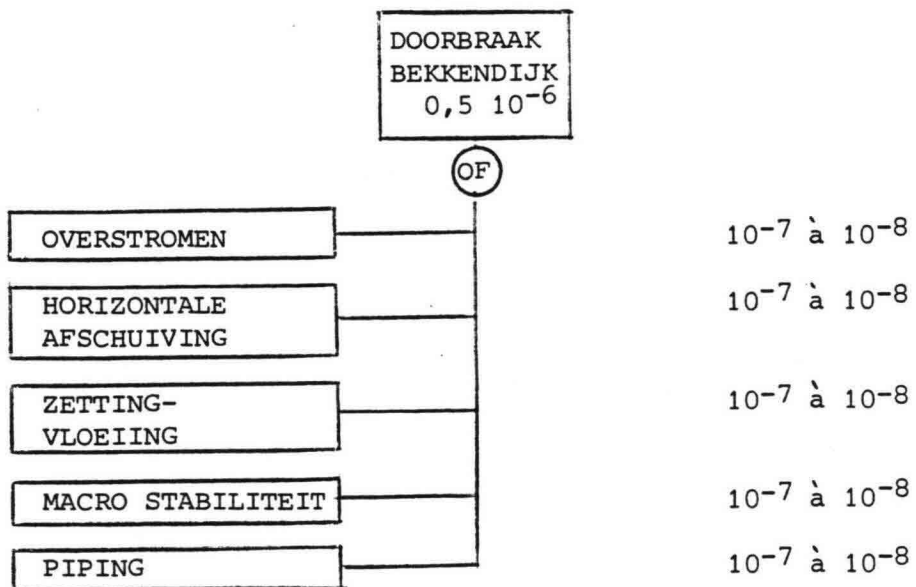


Fig. 3.5.5.

De belasting wordt gevormd door het bekkenpeil en is afhankelijk van natuurrandvoorwaarden en van de beheersing van het bekkenpeil door de mens.

De natuurrandvoorwaarden zijn:

- windopzet
- golfoploop
- neerslag
- buioscilaties.

Door de begrensdheid van het bekkenoppervlak zijn bovengenoemde natuurverschijnselen fysisch begrensd. De onzekerheid ligt bij de beheersing van het bekkenpeil. Met andere woorden: wat is de kans dat er een ongecontroleerde instroming plaatsvindt, doordat de pompen, nadat het bekkenpeil z'n maximale peil heeft bereikt, niet afslaan.

De faalkans van het pompbeheers- en controlesysteem moet in de orde liggen van de systeemfaalkans. Dit houdt in dat aan voornoemd systeem hoge eisen gesteld zullen worden. Een mogelijkheid om het risico ten aanzien van "overstromen" te verkleinen is het toepassen van noodoverlaten in de bekkendijk. Vooralsnog is hierin in het ontwerp niet voorzien.

- Horizontale afschuiving

De belasting wordt hierbij gevormd door de waterdruk en door ijskrachten. Ten aanzien van beide belastingsgrootheden geldt weer dat door de fysische begrensdheid van het accumulatiebekken de risico's begrensd zijn.

De sterkte van de bekkendijk wordt gevormd door de schuifweerstand van de ondergrond.

De risico's liggen hier vooral in de aanwezigheid van doorgaande lagen "slecht" materiaal. Door het toepassen van een grondverbetering is het risico voor een groot deel te vermijden.

- Zettingsvloeiingen

De zettingsvloeiingsgevoeligheid wordt gekarakteriseerd door de pakkingsdichtheid in vergelijking met de kritieke dichtheid van het zand. Het optreden van zettingsvloeiingen kan bij een losgepakte zand het gevolg zijn van trillingen of schokken tengevolge van de turbines, aardbevingen en schokgolven.

De "sterkte" is de pakkingsdichtheid van het zandlichaam. Door het toepassen van de juiste zandsoorten en het verzorgen van een goede pakkingsdichtheid zijn "sterkte"-risico's grotendeels te vermijden. Een andere belangrijke invloed op de "sterkte" is de geometrie en geologie van de omgeving. De risico's hierbij worden gevormd door de aanwezigheid van ontgrondingskuilen en/of winputten in de nabijheid van de bekkendijk, in combinatie met zettingsvloeiingsgevoelige grondlagen.

- Macro stabiliteit/Piping

Voor de hoofdgrenstoestanden macro stabiliteit en piping is het in te zien dat de risico's van de waterkering vooral aan de "sterktekant" liggen. Voor beide toestanden wordt de belasting voor een groot deel bepaald door de waterstand in het bekken, de ligging van de freatische lijn in de waterkering, de waterstand op het IJsselmeer en eventueel het waterspanningsverloop in de ondergrond.

In tegenstelling tot de voornoemde hoofdgrenstoestanden is de "sterkte" van de waterkering moeilijker te definiëren. Omdat de "sterkte" ten aanzien van "macro stabiliteit" en "piping" van wezenlijk belang is voor de veiligheid zal hieraan in het vervolg van de studie veel aandacht geschonken moeten worden.

Een eerste serie berekeningen laat zien dat het vereiste veiligheidsnivo wel haalbaar lijkt. (bijlage 20, PAC-N-298) De in de berekeningen aangenomen sterkte-eigenschappen van onder andere de grond moeten wel onderbouwd worden met uitkomsten van grondonderzoek. Ook het achterhalen van andere relevante gegevens over sterkte en de variatie daarin voor de verschillende onderdelen is noodzakelijk om definitieve berekeningen af te ronden.

3.5.6 Conclusies en aanbevelingen

- De uitgevoerde probabilistische berekeningen met betrekking tot de belangrijkste grenstoestand voor de bekkendijken, de macrostabiliteit, in het IJsselmeer geven aan dat de gestelde veiligheidsnorm haalbaar lijkt.
In bijlage 20, PAC-N-298, worden de berekeningen gepresenteerd.
- Noodgedwongen is gewerkt met schattingen voor een aantal parameters; dit kan er toe leiden dat de conclusie in fase 2 van de studie - op grond van de dan bekende gegevens - bijgesteld moet worden. Anderzijds blijkt uit de berekeningen dat met een relatief geringe aanpassing van het ontwerp reeds een belangrijke reductie van de faalkans verkregen wordt; uit de fase 2 - Risico-analyse worden dan ook geen belangrijke kostenverhogingen verwacht.
- Ter verificatie van de gedane aannamen met betrekking tot de grondparameters is in fase 2 een uitgebreid grondonderzoek nodig. Eisen aan dit onderzoek uit probabilistisch oogpunt moeten nog nader geformuleerd worden (overleg LGM).
- Nadere studie is vereist met betrekking tot het tweedimensionale/driemensionale effect op de gehanteerde modellen.
- Het probleem van de aansluiting van de dijk op de uitlaatconstructies in samenhang met de relatieve bewegingen, dient in fase 2 verder uitgewerkt te worden.
- Verder zal in fase 2 een uitgebreidere risico-analyse met betrekking tot de dijken uitgevoerd worden, waarin alle genoemde faalmechanismen en sterktefacetten geïntegreerd behandeld worden.



4. Locatie

Conform het Projectplan is de start van de studie geweest een locatie gelegen in het IJsselmeer nabij de Houtribdijk. In verband met de onzekere ontwikkeling in het Markermeergebied is gekozen voor een locatie ten noorden van de Houtribdijk.

In verband met deze arbitraire locatie is door de Projectgroep besloten het gehele IJsselmeer als mogelijk gebied te beschouwen voor een PAC-bekken.

Half februari is dit door de projectgroep teruggebracht naar twee voorkeurslocaties in het IJsselmeer (PACP-N-104): een Noord-locatie en een Zuid-locatie. Deze keuze heeft geleid tot een hoofdindeling van mogelijke bekkenvarianten, gebaseerd op:

1. de locatie
2. de bekkengrootte.

In de noordelijke locatie kunnen de vijf bekkenvarianten gesitueerd worden. De zuidelijke locatie is gesplitst in twee gebieden: het "normaal" zuidelijk gebied, waar het middel en de hogere bekkens geplaatst zouden kunnen worden, en een "extreem" zuidelijk gebied, waar de drie hoogste bekkens geplaatst kunnen worden.

In het rapport is de volgende hoofdindeling toegepast:

varianten D:	NOORDLOCATIE, LAAG BEKKEN	18/12	m
varianten E:	NOORDLOCATIE, MIDDEL BEKKEN	24/16	m
varianten F:	NOORDLOCATIE, HOOG BEKKEN	40/26,5	m
varianten G:	EXTREEM ZUID, HOOG BEKKEN	40/26,5	m
varianten H:	ZUIDLOCATIE, HOOG BEKKEN	40/26,5	m
varianten K:	ZUIDLOCATIE, MIDDEL BEKKEN	24/16	m

Doordat de bekkens 50/40 m en 60/47.5 m later bestudeerd zijn dan de oorspronkelijke drie was het niet noodzakelijk daarvoor een aparte letter te kiezen. Die dijken zijn steeds met hun peilen aangeduid. De plaats van deze dijken komt overeen met die van het 40/26.5 m bekken.

De varianten A, B, C zijn in het begin gebruikt als variantaanduidingen; deze zijn inmiddels achterhaald en komen als zodanig niet in dit rapport voor. Een overzicht van de locaties staat op tekening PAC2-T-336 en is als Bijlage 2 toegevoegd.

Voor de hogere bekkenen zijn de dijkconstructies zoals voor het 40 m bekken ontworpen eveneens volledig toepasbaar.

Wel is het bij hogere dijken in principe steeds aantrekkelijker om grondbesparende constructies zoals kruinelementen toe te passen.

Daarom is bijlage 17 - "Bekkendijk-constructies met behulp van terre armee" (PAC2-N-309) toegevoegd. Hierin wordt de laatste stand van zaken met betrekking tot alternatieve dijkconstructies gerapporteerd. De hieruit volgende ontwerpen zijn (voor een 50 m bekken) te vinden op bijlage 16 - (PAC2-T-308).

Zoals op de tekening valt te zien is er een variant bijgekomen met een flauw, en traditioneel afgedicht, talud aan de bekkenzijde. De hiermee te bereiken besparingen op kosten en zand zijn weliswaar minder, maar de constructieve problemen zijn in belangrijke mate gereduceerd (afdichtingen en aansluitingen). De besparing op zand is echter nog steeds aanzienlijk (22%).

5. Ontwikkeling alternatieven

5.1 Afbakening alternatieven

De primaire functionele behoefte (PFB) van de bekken-dijk is het keren van water. Uit de doelstellingen van het PAC-onderzoek volgen drie voorwaarden, waaronder de PFB vervuld moet worden:

1. voldoen aan de veiligheidsnorm
2. technische realiseerbaarheid
3. economische haalbaarheid.

Uitgaande van de PFB zijn door middel van een alternatieven boom (zie fig. 5.1.1) alle denkbare constructievormen gegenereerd.

Een eerste onderscheid in constructievormen is:

- FLEXIBELE CONSTRUCTIES ("opblaas"-constructies e.d.)
In dit verband worden met flexibele constructies bedoeld alle niet plaats- en/of vormvaste constructies.
Gelet op bovenstaande voorwaarden leek het niet zinvol hierop verder in te gaan.
- VASTE CONSTRUCTIES
Deze zijn onder te verdelen in
 - A. Spanningsconstructies
Dat wil zeggen constructies die hun sterkte en stabiliteit ontleen aan inwendige spanningen.
 - B. Gewichtconstructies
Sterkte en stabiliteit worden bij deze constructievormen in hoofdzaak ontleend aan het gewicht van de constructie.

Deze eerste afbakening heeft geleid tot twee hoofdsporen in het ontwerpproces:

- I. De min of meer "traditionele" constructievormen, bestaande in hoofdzaak uit een grondmassief (paragraaf: 5.2).
- II. De "alternatieve" constructievormen, dat wil zeggen, alle constructievormen die afwijken van het "grondmassief" type (paragraaf: 5.3).

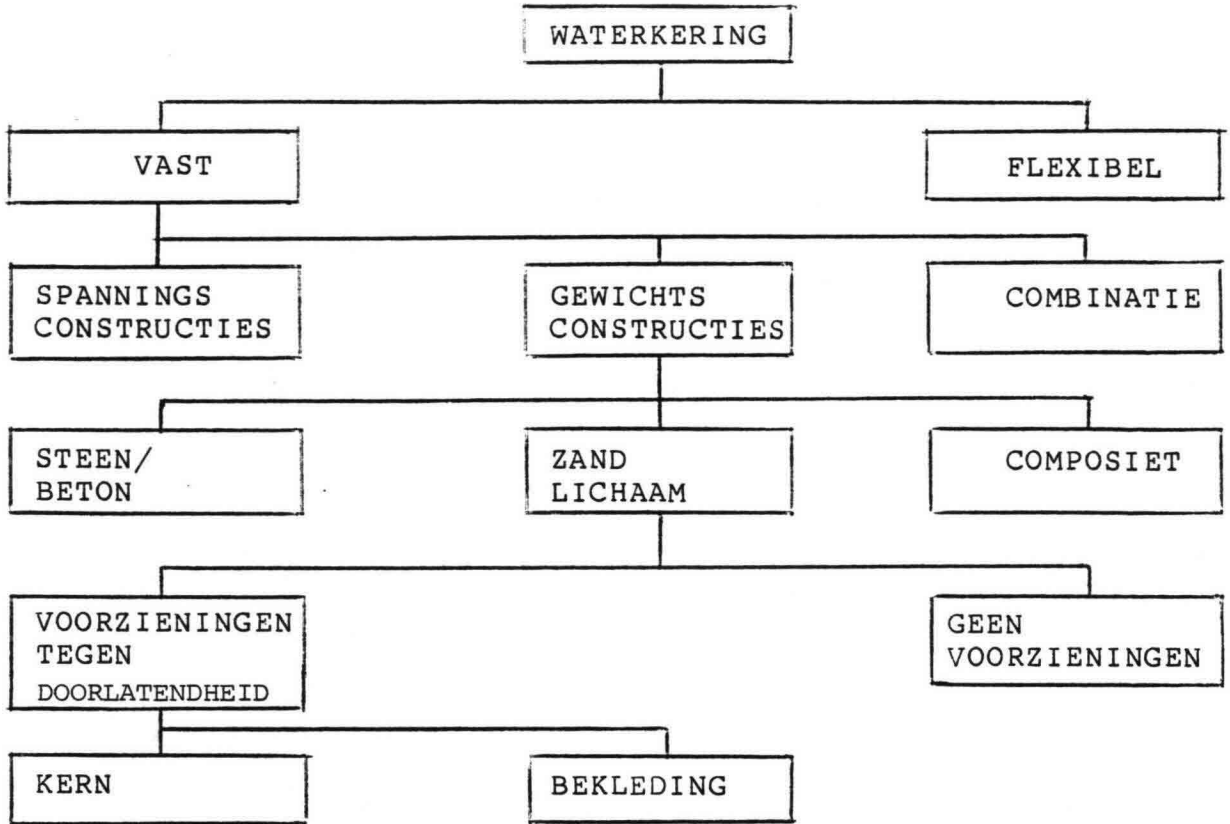


fig. 5.1.1 Alternatievenboom

Uitgaande van de hoofddeling (paragraaf 5.1) en de kenmerken ten aanzien van fundering, afdichting en constructieprincipes zijn een groot aantal alternatieven gegenereerd en nader onderzocht. Het zou hier te ver voeren om elk alternatief de revue te laten passeren. Hier wordt verwezen naar de relevante PAC2-stukken: zie bijlage 1.

5.2 Hoofdspoor I: "Type Grondmassief"

5.2.1 Inleiding

De alternatieven uit hoofdspoor I zijn ingedeeld naar de volgende kenmerken:

- I. FUNDATIEPRINCIPE
- II. AFDICHTINGSPRINCIPE
- III. CONSTRUCTIE-PRINCIPE

ad I Het fundatieprincipe is afhankelijk van de geologische opbouw van de ondergrond in de beschouwde locatie.

Noord-locatie

De ondergrond bestaat uit zand. Het grondmassief wordt rechtstreeks op de ondergrond gefundeerd.

Zuid-locatie

De ondergrond bestaat hier uit een laag Holoceen, bestaande uit klei en veen.

De volgende fundatieprincipes zijn onderzocht:

- fundatie op het Holoceen
- fundatie op het Holoceen, met zandpalen
- fundatie op een grondverbetering.

ad II Onderscheid is gemaakt volgens:

- uitwendige afdichting (taludafdichting)
- inwendige afdichting (verticale afdichting).

De uitwendige afdichting is een waterdicht of kwelbeperkend element op het talud van het grondmassief. Met inwendige afdichting worden verticale elementen door het grondmassief bedoeld in de vorm van schermen of kernen.

Een combinatie van beide afdichtingsprincipes is mogelijk.

ad III De grootste groep van alternatieven kenmerken zich door het verschil in constructie-principes.

Te noemen zijn:

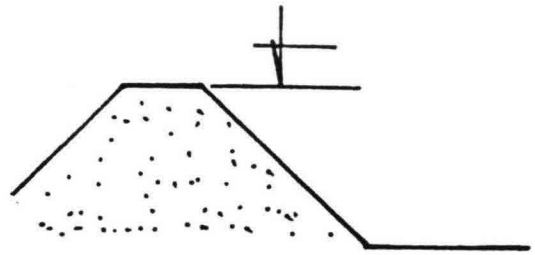
- aansluitdetails van het waterdicht element op de ondergrond
- het al dan niet aanwezig zijn van drainage-elementen en filterelementen.

KENMERKENDE VARIANT PRINCIPES

blad 1

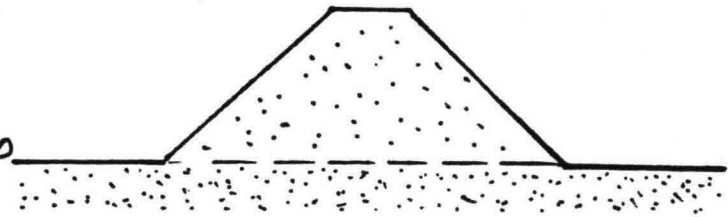
BEKKENHOOGTE

1. LAAG BEKKEN 18/12
2. MIDDEL BEKKEN 24/16
3. HOOG BEKKEN 40/26 $\frac{1}{2}$
4. HOGER BEKKEN 50/40
5. HOOGSTE BEKKEN 60/47 $\frac{1}{2}$

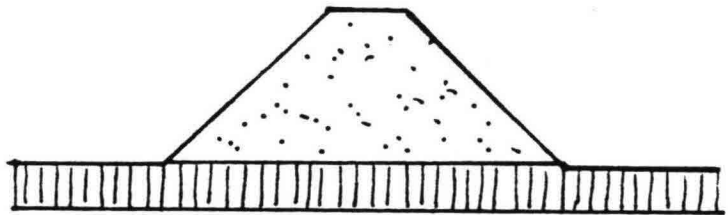


I. FUNDATIEPRINCIPE

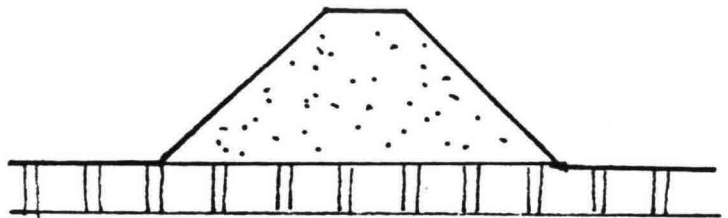
I.1. ZANDONDERGROND



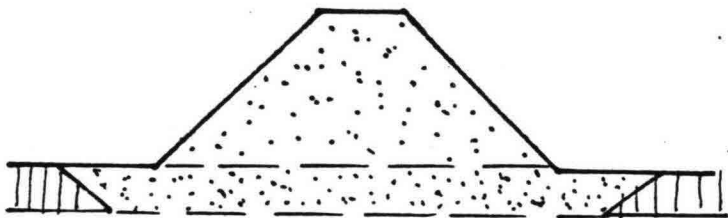
I.2. HOLOCEEN



I.3. HOLOCEEN / ZANDPALEN

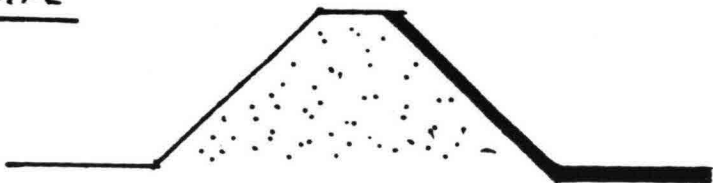


I.4. GRONDVERBETERING

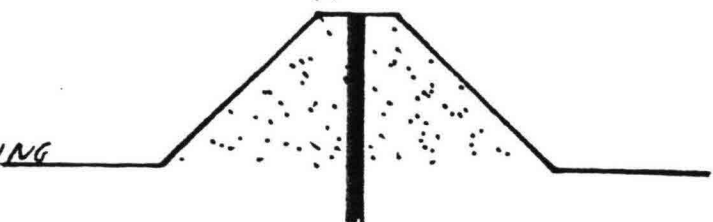


II. AFDICHTINGSPRINCIPE

II.1. TALUDAFDICHTING



II.2. VERTICALE AFDICHTING

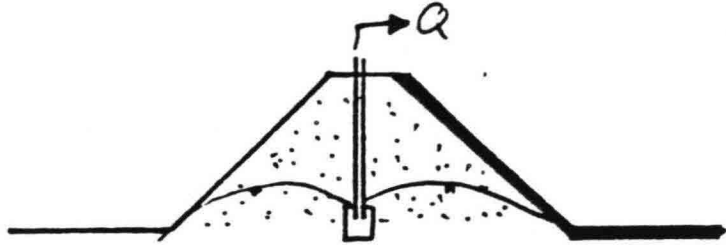


III. CONSTRUCTIE-PRINCIPE'S

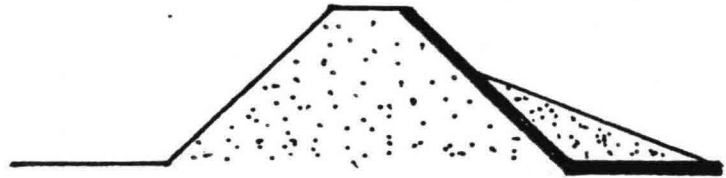
blad 2

III.1. DROOGZETTEN

•1. BEHALEN

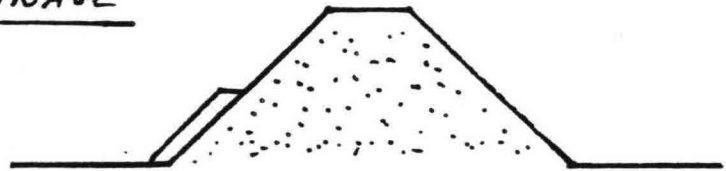


•2. BALLASTEN

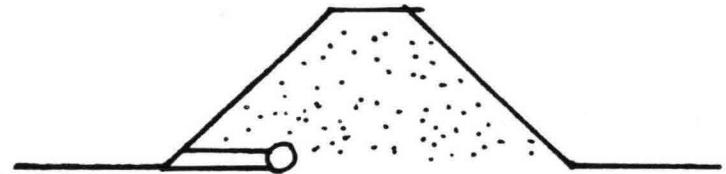


III.2. FILTERS/DRAINAGE

•1. TEENFILTER

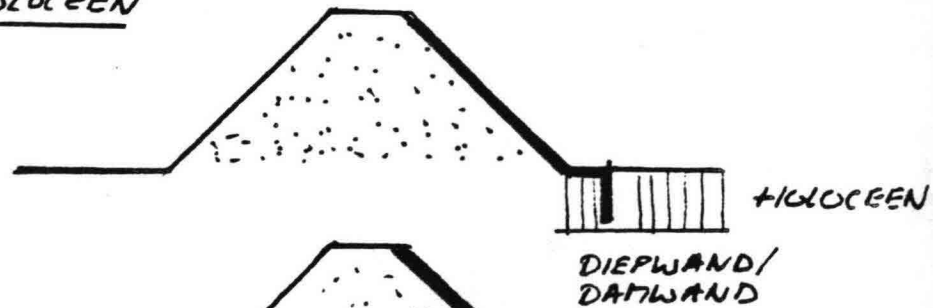


•2. INWENDIG FILTER + DRAINAGE

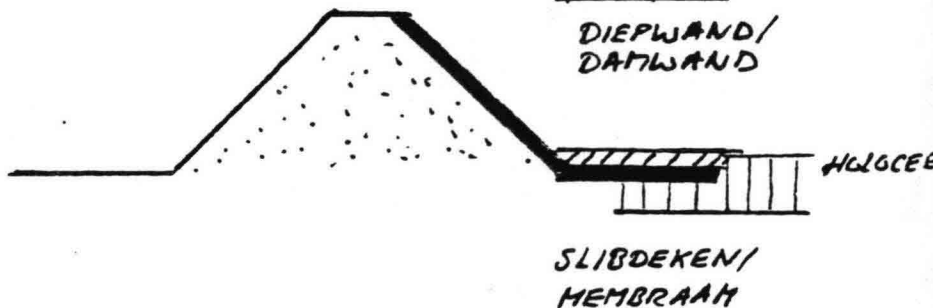


III.3. AANSLUITING HOLOCEEN

•1. VERTICAAL



•2. HORIZONTAAL

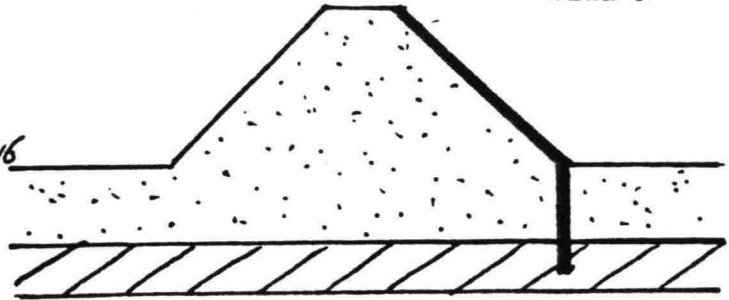


TU.4. AANSLUITING KEILEEM- OF EEMKLEILAAG

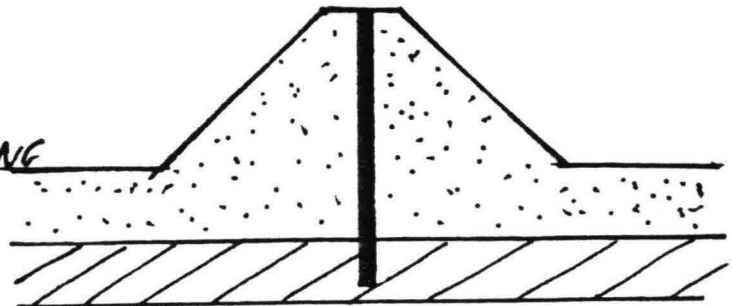
figuur 5.2.1

blad 3

• 1. TEENAANSLUITING



• 2. KERNAANSLUITING



5.2.2 Inventarisatie alternatieven

Aan de hand van verkennende berekeningen en beschouwingen ten aanzien van de technische haalbaarheid is een selectie gemaakt van de varianten die voor een nader onderzoek in aanmerking kwamen. Bij deze selectie zijn ook ervaringen en adviezen van "externe" deskundigen betrokken (PAC2-V-216 en 232 en PAC2-B-237).

De inventarisatie van de varianten wordt gegeven in de tabel 5.2.2

Vervolgens zijn uit de "variantenlijst" een aantal VOORKEURS-VARIANTEN geselecteerd, waarvan, ter onderlinge vergelijking, het kostenpeil is bepaald. Deze voorkeursvarianten worden in detail beschreven in Hoofdstuk 8.

De kosten worden behandeld in de deelrapportage Kosten.

Op bijlage 2, PAC2-T-336 zijn de plaatsen van de verschillende bekkens D t/m K weergegeven.

De 50/40 en 60/47.5 m bekkens zijn gelocaliseerd op dezelfde plaats als het 40/26.5 m bekken.

De 50/40 en 60/47.5 m bekkens zijn ontwikkeld na het uitwerken van de 18/12, 24/16 en 40/26.5 m varianten. Daardoor lag de technische uitwerking en voorkeur voor constructietype vast en behoeftte het hele scala van detailvariaties niet opnieuw uitgewerkt te worden. De 50/40 m en 60/47.5 m bekkens in de tabel zijn dus reeds de voorkeursvarianten, zoals die voor de lagere typen in hoofdstuk acht geselecteerd worden.

SECTOR	VARIANT HFD SUB	BEKKEN TYPE	BIJZONDERHEDEN	BALLAST OF BEMALEN	AANSLUITING DIJK MET BODEM	BODEM AFDICHTING	BIJLAGE NUMMER	TEKENING NUMMER
NOORD	D a	18/12	SLIBLAAG OVER 50 KM ² NODIG	BALLAST	MEMBRAAN	SLIB	3	PAC2-T-206
NOORD	D b	18/12	SLIBLAAG OVER 50 KM ² NODIG	BEMALEN	MEMBRAAN	SLIB	4	PAC2-T-207
NOORD	E a	24/16	SLIBLAAG OVER 35 KM ² NODIG	BALLAST	MEMBRAAN	SLIB	3	PAC2-T-206
NOORD	E b	24/16	SLIBLAAG OVER 35 KM ² NODIG	BEMALEN	MEMBRAAN	SLIB	4	PAC2-T-207
NOORD	F a	40/26,5	SLIBLAAG OVER 16 KM ² NODIG	BALLAST	MEMBRAAN	SLIB		
NOORD	F b	40/26,5	SLIBLAAG OVER 16 KM ² NODIG	BEMALEN	MEMBRAAN	SLIB		
NOORD	F c	40/26,5	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BALLAST	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM	3	PAC2-T-206
NOORD	F d	40/26,5	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM	4	PAC2-T-207
NOORD		50/40	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM	13	PAC2-T-239
NOORD		60/47,5	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM	13	PAC2-T-239

SECTOR	VARIANT HFD SUB	BEKKEN TYPE	BIJZONDERHEDEN	BALLAST OF BEMALEN	AANSLUITING DIJK MET BODEM	BODEM AFDICHTING	BIJLAGE NUMMER	TEKENING NUMMER
ZUID	K 1a	24/16	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	MEMBRAAN HORIZONTAAL	HOLOCEEN		
ZUID	K 1b	24/16	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	MEMBRAAN HORIZONTAAL	HOLOCEEN		
ZUID	K 1c	24/16	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	K 1d	24/16	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN	5	PAC2-T-208
ZUID	K 2a	24/16	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	K 2b	24/16	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	K 2c	24/16	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	K 2d	24/16	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	K 2e	24/16	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	K 2f	24/16	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	DIEPWAND	EEMKLEI	5	PAC2-T-208
ZUID	H 1a	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	MEMBRAAN HORIZONTAAL	HOLOCEEN	3	PAC2-T-206
ZUID	H 1b	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	MEMBRAAN HORIZONTAAL	HOLOCEEN		
ZUID	H 1c	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	H 1d	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN OF EEMKLEI	4	PAC2-T-207
ZUID	H 2a	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	3	PAC2-T-206
ZUID	H 2b	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	4	PAC2-T-207
ZUID	H 2c	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	H 2d	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	H 2e	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	H 2f	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	H 2g	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	DIEPWAND	EEMKLEI		
ZUID	H 2h	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	DIEPWAND	EEMKLEI		
ZUID		50/40	MET GRONDVERBETERING, DIEPW. MOET OP EEMKLEI AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND	EEMKLEI		
ZUID		50/40	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID		60/47,5	MET GRONDVERBETERING, DIEPW. MOET OP EEMKLEI AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR EEMKLEI	EEMKLEI		
ZUID		60/47,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		

SECTOR	VARIANT HFD SUB	BEKKEN TYPE	BIJZONDERHEDEN	BALLAST OF BEMALEN	AANSLUITING DIJK MET BODEM	BODEM AFDICHTING	BIJLAGE NUMMER	TEKENING NUMMER
EXTREEM ZUID	G 1a	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	3	PAC2-T-20
EXTREEM ZUID	G 1b	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 1c	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 1d	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN	4	PAC2-T-20
EXTREEM ZUID	G 2a	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	3	PAC2-T-30
EXTREEM ZUID	G 2b	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	4	PAC2-T-20
EXTREEM ZUID	G 2c	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 2d	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 2e	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 2f	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID		50/40	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN	14	PAC2-T-26
EXTREEM ZUID		60/47,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN	14	PAC2-T-26

5.3 Hoofdspoor II: "Alternatieve Waterkeringen"

5.3.1 Inleiding/Probleemstelling

Bij de studie naar mogelijke oplossingen voor de waterkering van het PAC-bekken zijn, naast de min of meer conventionele dijkvormen, ook andersoortige constructies beschouwd en beoordeeld op technische en economische haalbaarheid. De hierbij gevolgde werkwijze kan als volgt worden omschreven:

1. Systematische inventarisatie van mogelijke alternatieven
2. Globale dimensionering en kostenvergelijking
3. Op basis van 2 selectie van veelbelovende alternatieven
4. Uitwerking geselecteerde alternatieven, incl. kostenbepaling tot zelfde nivo als conventionele dijkoplossingen
5. Vergelijking met conventionele dijkoplossingen.

De punten 1 t/m 3 worden hierna behandeld. De punten 4 en 5 komen in hoofdstuk 8 aan de orde.

5.3.2 Inventarisatie mogelijke alternatieven

In eerste instantie zijn zoveel mogelijk principeoplossingen gegenereerd. Het enige criterium hierbij is dat de hoofdfunctie, namelijk waterkering, vervuld kan worden.

De principeoplossingen zijn schematisch weergegeven in fig. 5.3.2.

Uitgaande van een kering over de volle bekkenhoogte kunnen twee hoofdtypen worden onderscheiden:

- Type A: spanningsconstructies

Dit zijn relatief slanke kerende elementen, te vergelijken met damwanconstructies bij grondkering. In de elementen ontstaan hoge spanningen (buigingen en/of normaalkracht) ten gevolge van de waterbelasting. De stabiliteit wordt ontleend aan inklemming c.q. verankering in de bodem.

- Type B: gewichtsconstructies
Hierbij wordt de weerstand tegen de waterbelasting ontleend aan het gewicht van de constructie, uiteraard in samenhang met de eigenschappen van de ondergrond. Ook de dijkvorm behoort tot dit type.

In de figuren is aangegeven hoe deze hoofdtypen verder onderverdeeld kunnen worden in constructie-vormen; tevens is hierbij een mogelijke materiaalkeuze vermeld.

Naast genoemde hoofdtypen kan een veelheid aan mengvormen of gecombineerde constructies worden onderscheiden; aangeduid als type C.

Deze gecombineerde constructies bestaan veelal uit een grondmassief (dijk) met een andere constructie.

Hierbij kan

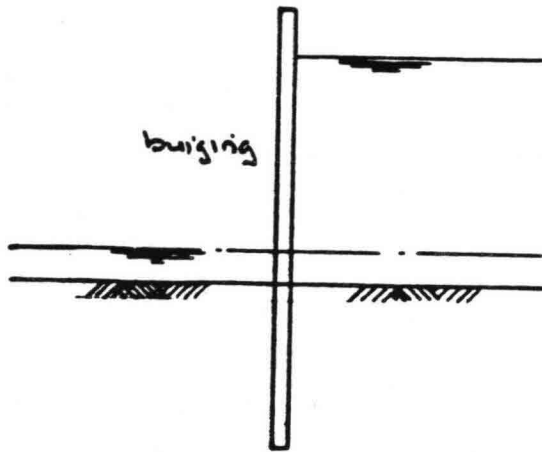
- verticaal (andere constructie op dijk)
- horizontaal (andere constructie voor of achter dijk)
- verticaal en horizontaal

gecombineerd worden.

De opsomming van mengvormen is beperkt tot de reëel lijkende mogelijkheden.

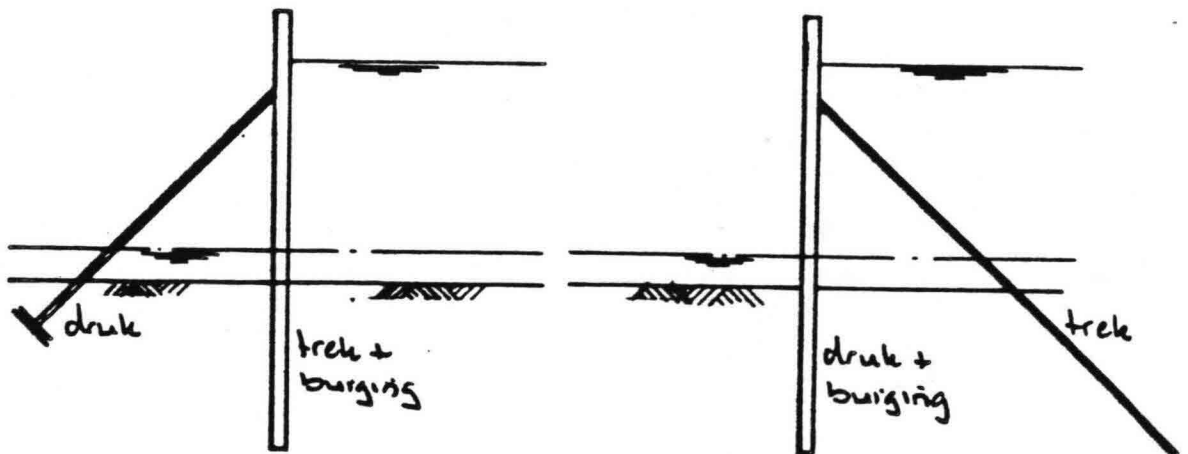
Type A Spanningsconstructies

1 Buigelement



materiaal: beton/staal

2 Buigelement + trek/drukschoren



materiaal: beton/staal

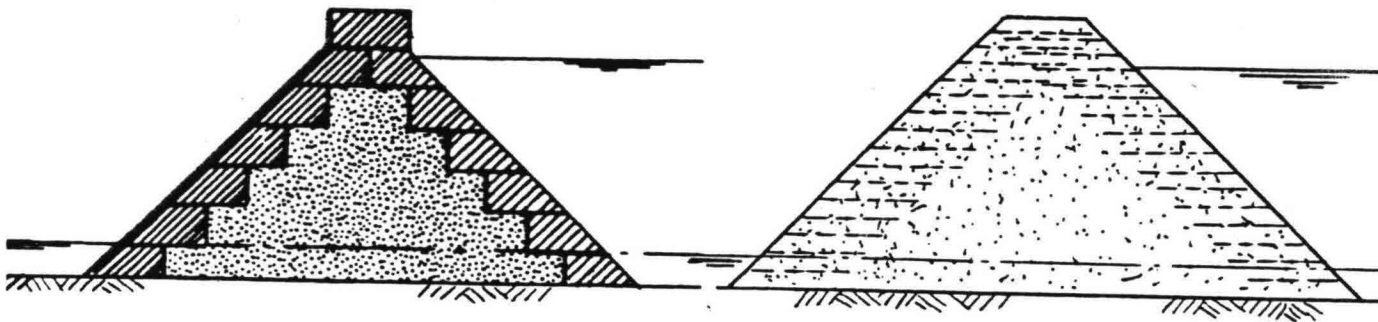
Fig 5.3.2 Alternatieve waterkeringen, bild 1

Type B Gewichtskonstrukties

1 Grondmassief

1.1 Traditionele dijk

1.2 Dijk + voorzieningen tbv steilere taluds



betonblokken massief/hol

gewapende grond

2 Beton (stuwdam)

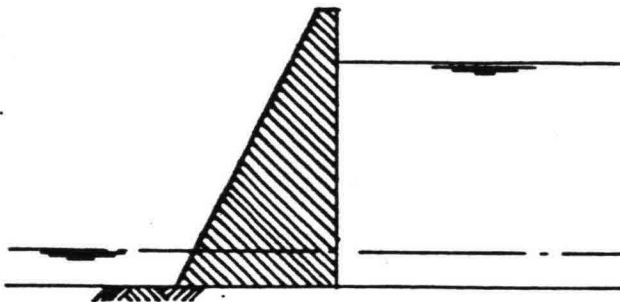
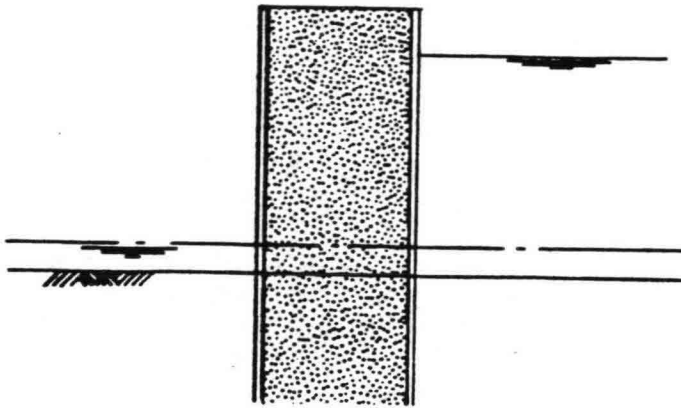


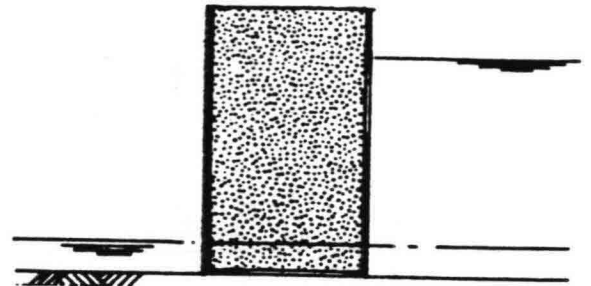
Fig 5.3.2 Alternatieve waterkeringen, bld 2

3 Ballast

3.1. Kist

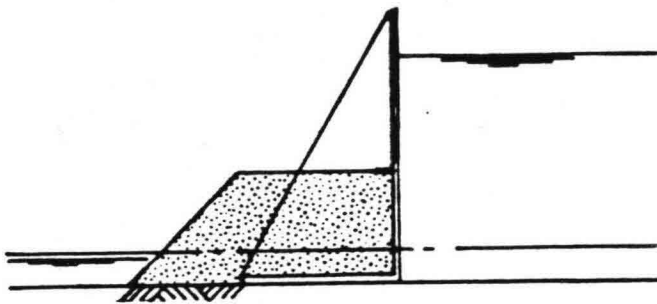


- cellendamwand staal
- kistdam staal/beton

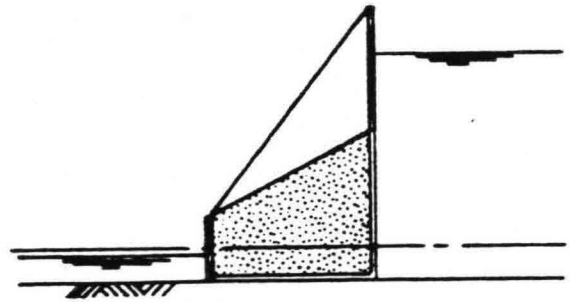


- 'caisson' beton
- gewapende grond (of trapjesvorm/hellend)

3.2. L-muur



beton

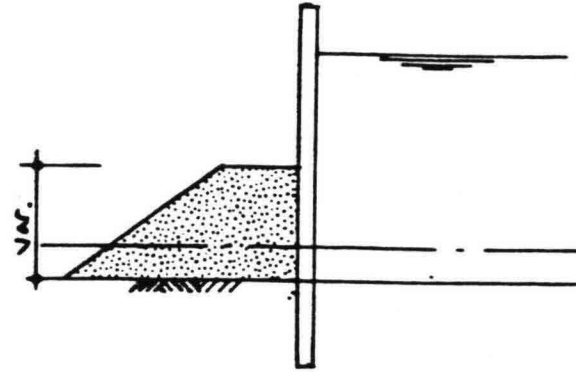
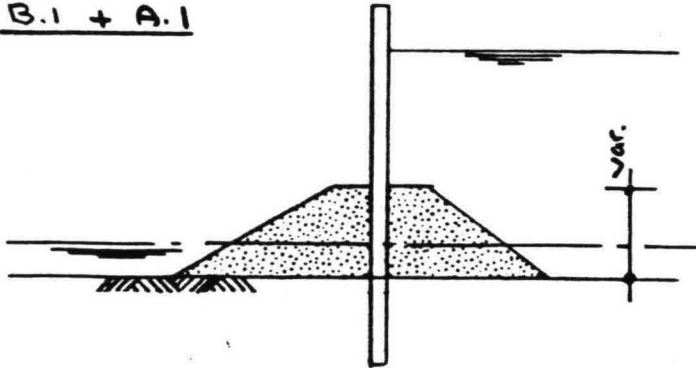


beton

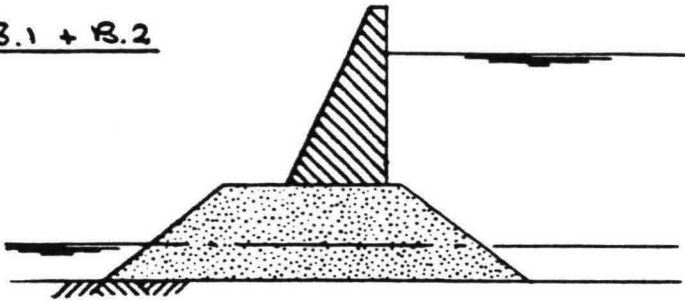
Fig 5.3.2 Alternatieve waterkeringen, bld 3

Type C Gekombineerde constructies

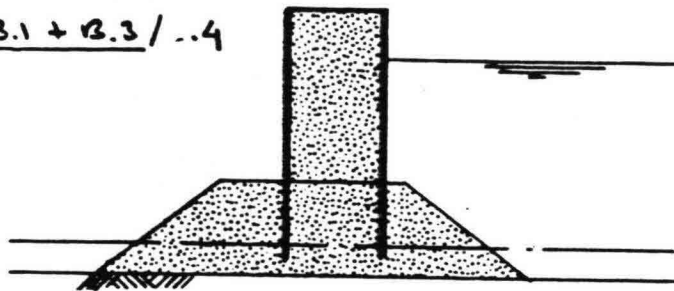
B.1 + A.1



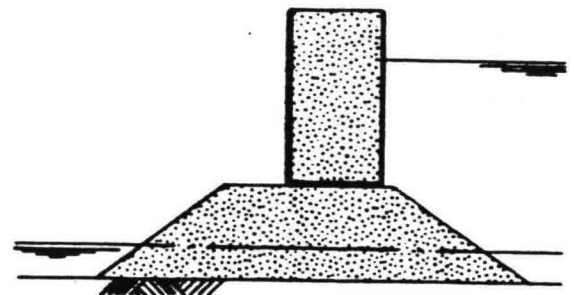
B.1 + B.2



B.1 + B.3 / ..4

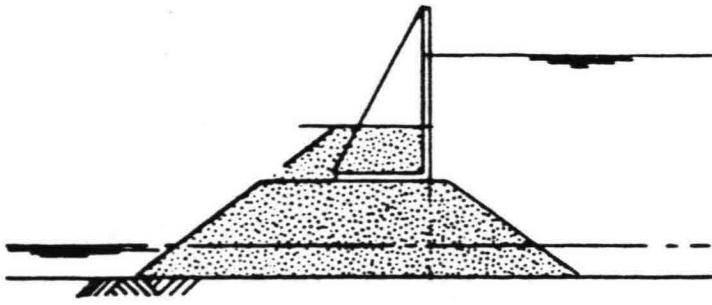


- cellendamwand
- kotterdam

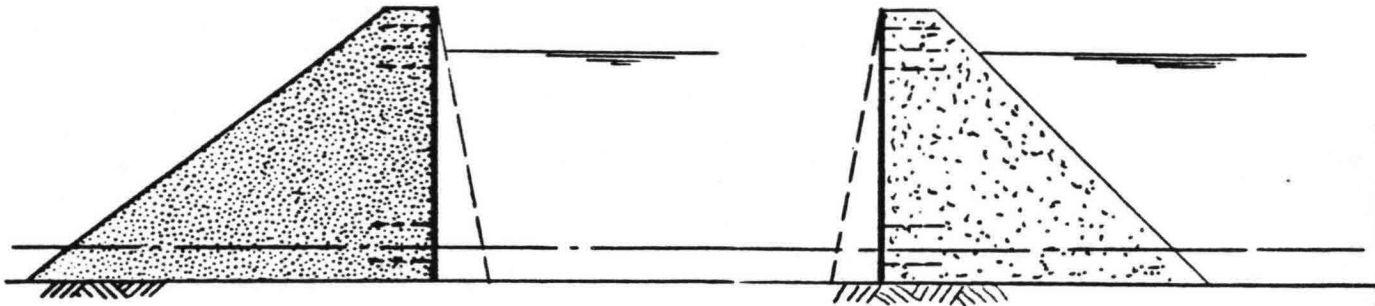


- ,caisson'
- gewapende grond (evt trapjesvorm/hellend)

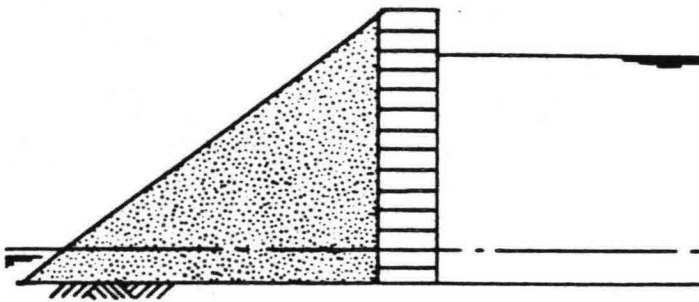
Fig 5.3.2 Alternatieve waterkeringen bld 4



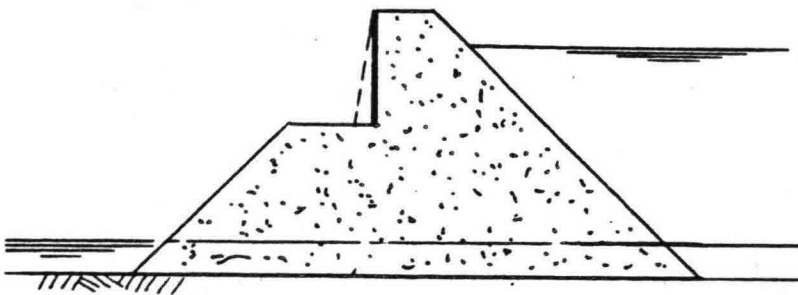
- L-muur beton



- gewapende grond



- blokkermuur beton hol/massief



- gewapende grond / L-muur / damwand

Fig 5.3.2 Alternatieve waterkeringen bld 5

5.3.3 Randvoorwaarden en belastingen

- Algemeen

De algemene randvoorwaarden, die verband houden met bekkengrootte en bekkenlocatie, zijn omschreven in hoofdstuk 3. Hier wordt volstaan met het geven van randvoorwaarden en belastingen, die speciaal voor de alternatieve waterkeringen van belang zijn. Er worden in eerste instantie drie verschillende bekken beschouwd:

bekken	waterhoogte
laag	18/12
midden	24/16
hoog	40/26,5

aan het einde van deze paragraaf worden de volgende hogere bekken mede beschouwd:

hoger	50/40
hoogst	60/47.5

Ten aanzien van de ondergrondcondities is bij de eerste vergelijking van alternatieven niet gedifferentieerd naar de verschillende locatiemogelijkheden. Er is uitgegaan van een ondergrond bestaande uit zand.

- Belastingen

De voornaamste belastingen zijn:

1. Hydrostatische waterdruk bekkenzijde
2. Golfbelastingen
3. Wateroverdrukken onder constructie/freatische lijn in constructie
4. IJsbelasting.

Tot nu toe is gedimensioneerd op 1 t/m 3.

Voor de golfbelastingen is uitgegaan van een significante golfhoogte $H_s = 1,50$ m en een maximale golfhoogte $H_{1\%} = 2,70$ m. Bij verticale constructies is gerekend met de zgn. staande golf, d.w.z. een verdubbeling van de golfhoogte.

Een zeer belangrijke randvoorwaarde voor alle constructies is het al dan niet optreden van wateroverdrukken onder de constructie. Dit heeft grote invloed op de dimensies. Het optreden van wateroverdrukken is afhankelijk van:

- afdichting van het bekken en aansluiting van de constructie daarop
- mogelijkheid van falen van afdichting/aansluiting
- aangebrachte drainages.

Bij de dimensionering is uitgegaan van een lineair verlopende overdruk onder de constructie; dit kan bijv. optreden als de afdichting faalt. Uiteraard dienen maatregelen getroffen te zijn om piping in dat geval te voorkomen.

Voor dit (extreme) belastinggeval is uitgegaan van de normaal gebruikelijke veiligheidsfactoren; de gehanteerde criteria voor de gewichtsconstructies zijn bijv.:

- veiligheid kantelen > 1,5
- veiligheid schuiven > 1,5
- gehele fundatie-oppervlak gedrukt
- veiligheid met betrekking tot stabiliteit fundering (Brinch - Hansen) > 1,5.

5.3.4 Resultaten globale dimensionering en selectie alternatieven

- Spanningsconstructies/Gewichtsconstructies over volle bekkenhoogte (typen A en B)

De uitgevoerde berekeningen tonen aan dat beide typen - gezien het hoge materiaalverbruik - economisch niet haalbaar zijn. Daarbij komen nog een aantal technische problemen, onder andere:

- grote (dagelijkse) verplaatsingen buigingselementen
 - aansluiting op bekkenafdichting onder water.
- Een en ander leidt tot de conclusie dat deze constructies als niet "feasible" beschouwd moeten worden voor het PAC-bekken.

- Gecombineerde constructies

Uit de eerste verkennende berekeningen is gebleken dat de mengvorm:

kist van beperkte hoogte op dijk

als meest economisch alternatief aangemerkt moet worden.

Achtergrond: met een kist van relatief geringe hoogte wordt reeds een grote hoeveelheid dijk materiaal gespaard; naarmate de kisthoogte toeneemt wordt steeds minder materiaal gespaard.

In aanmerking komende oplossingen voor de kist zijn:

- kist in beton met zandvulling
- kist in gewapende grond: betonnen bekledingsplaten met verankeringsstrips, die middels wrijving in grondmassief verankerd zijn.

Uit de diverse criteria volgt dat een trapeziumvormige doorsnede met de hoge kant aan de bekkenzijde qua materiaalverbruik het meest aantrekkelijk is. In beton is deze vorm rechtstreeks te realiseren. Bij gewapende grond is deze te benaderen met een trapjesvorm.

Voor de twee genoemde vormen zijn verdere berekeningen uitgevoerd, waarbij op grond van kostenvergelijkingen de kerende hoogte enigszins geoptimaliseerd is. Ter illustratie zijn de resultaten van deze exercitie voor het hoge bekken aangegeven in fig. 5.3.2 en 5.3.3. De genoemde prijzen dienen als zeer indicatief te worden beschouwd; het gaat om de onderlinge verhouding.

Hoeddeelheden / prijsen								
Dijk sand m ³ /m	zand m ³ /m	Kist beton m ² /m	aanl. adm. m ² /m	toel. kost m ² /m	Dijk + kist m ² /m			
7697	-	-	-	-	7654	1/1		
45597	-	-	-	-	45162	100%		
4297	521	52	2000	05171	69710	1/1		
09615	057	150051	2000	05171	01869	91%		
2875	390	65						
38000	2340	39000	3000	44340	82340	100%		
1530	880	132						
27240	5270	79200	4000	88480	115720	151%		
Behoudprijsen: f 15000 f 6/m ² f 600/m ² + f 8/m ²								

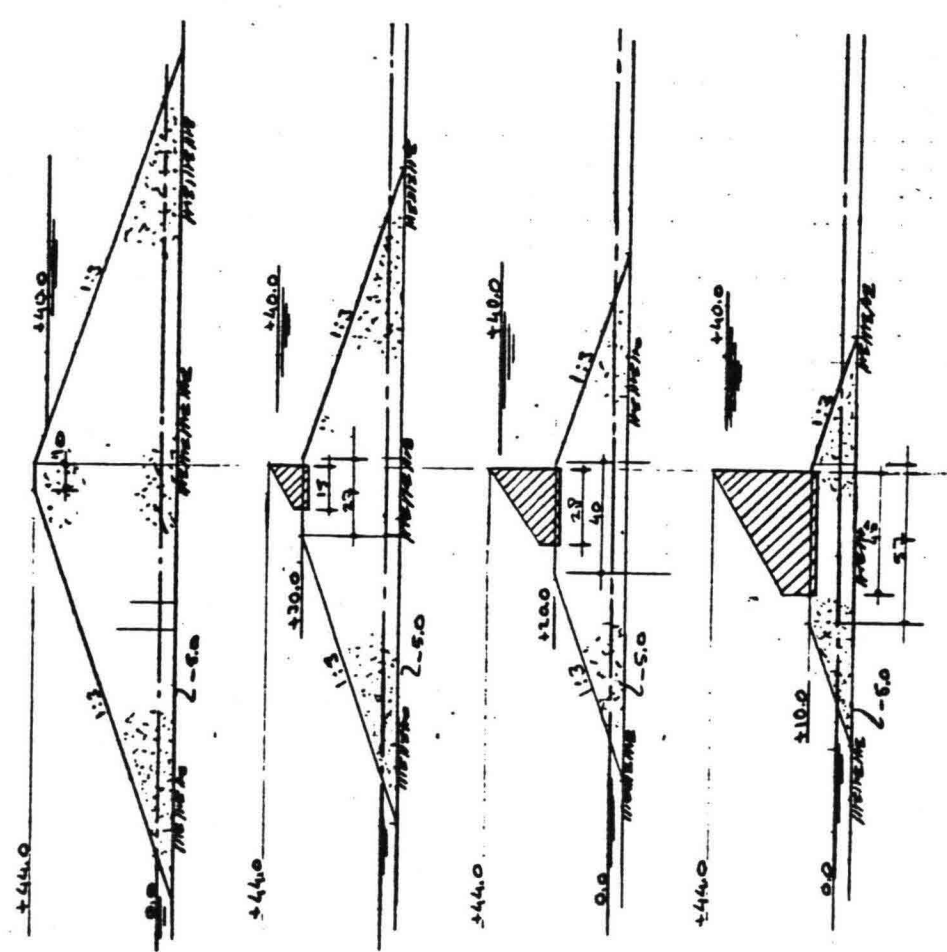


Fig 5.2.2. Globale prijsvergelijking
Dijk + betonkist / hoog bekken

Hoeveelheden / eenheden				%	
Dijk zand	zand / kist	beton	staal-constructie	totaal kist	Dijk + Kist
m ³ / m ²	m ³ / m ²	m ³ / m ²	kg / m ²	m ³ / m ²	%
7693	-	-	-	-	7654 100%
7654	-	-	-	-	
4620	578	5,4	1280	15970	6930 89%
5140	2250	4320	6400	3000	
2882	500	9,8	2440		
2794	5000	740	14700	4000	6444 91%
1455	900	15	4850		
26640	9000	12000	24350	5000	76940 101%
Eenheden / eenheden					
1500	100	100	15		
118					

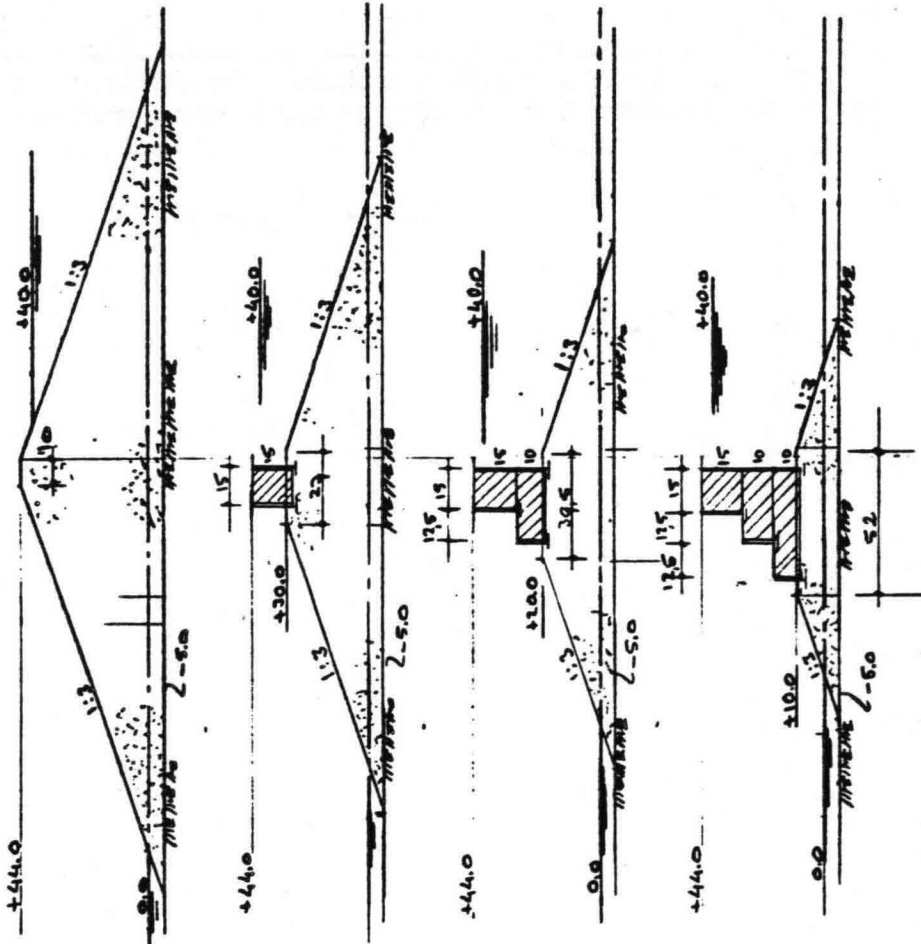


Fig 5.2.3. Globale prijsvergelijking
 Dijk + gewapende grond kist / m² behuizen

Op grond van deze vergelijkingen kunnen voor de diverse bekkengroottes de volgende conclusies ten aanzien van de toepassing van alternatieve waterkeringen getrokken worden.

Bekken 40/26,5 m

- betonkist met hoogte van ca 15 m en
- gewapende grond kist met hoogte van ca 15 - 25 m lijken aantrekkelijk.

Bekken 24/16 m

- betonkist met hoogte van ca 10 m en
- gewapende grond kist met hoogte tot ca 15 m lijken aantrekkelijk.

Bekken 18/12 m

Alternatieve waterkeringen niet aantrekkelijk.

Het prijsnivo van de aangeduide oplossingen ligt max. ca 10% onder dat van een conventionele dijk.

De hierboven geselecteerde kistoplossingen zijn in principe te combineren met de dijkvarianten als omschreven in par. 5.2, tabel 5.2.1.

Een combinatie met een dijk op holocene (met zandpalen) wordt niet wenselijk geacht in verband met zettingsverschillen.

Tabel 5.3.4. geeft een aantal mogelijke combinaties; deze tabel is dus niet volledig.

Deze alternatieven worden verder beschreven in hoofdstuk 8.

Daar wordt tevens aandacht besteed aan een aantal specifieke problemen o.a. de afdichting.

Voor de hogere bekkens van 50/40 en 60/47,5 zijn de alternatieve dijkconstructies zoals voor het 40 m bekken ontworpen eveneens volledig toegepast.

Wel is het bij de hogere dijken in principe steeds aantrekkelijker om grondbesparende constructies zoals kruinelementen toe te passen.

Daarom is bijlage 17 - "Bekkendijkconstructies met behulp van terre armee" (PAC2-N-309) toegevoegd. Hierin wordt de laatste stand van zaken met betrekking tot alternatieve dijkconstructies gerapporteerd. De hieruit volgende ontwerpen zijn (voor een 50 m bekken) te vinden op bijlage 16 - (PAC2-T-308).

Zoals op de tekening valt te zien is er een variant bijgekomen met een flauw en traditioneel afgedicht talud aan de bekkenzijde. De hiermee te bereiken besparingen op kosten en zand zijn weliswaar minder, maar de constructieve problemen zijn in belangrijke mate gereduceerd (afdichten en aansluitingen). De besparing op zand is echter nog steeds aanzienlijk (22%). Soortgelijke constructies zijn reeds toegepast.

Een kist geheel van gewapende grond om een permanent verval te keren is nog niet toegepast. Het vervolg van de studie zal uit moeten wijzen of gewapende grond constructief gelijkwaardig aan klassieke dijkbouw kan zijn.

SECTOR	VARIANT HFD SUB	BEKKEN TYPE	BIJZONDERHEDEN	BALLAST OF BEMALEN	AANSLUITING DIJK MET BODEM	BODEM AFDICHTING	BIJLAGE NUMMER	TEKENING NUMMER
NOORD	E b	24/16	SLIBLAAG OVER 35 KM ² NODIG	BEMALEN	MEMBRAAN	SLIB		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 18.0	"	"	"	11	PAC2-T-222
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 14.0	"	"	"	11	PAC2-T-222
"	F d	40/26,5	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"	10	PAC2-T-221
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"	10	PAC2-T-221
"	ALT 3	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	"	"	10	PAC2-T-221
"	ALT 4	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	CENTR. DIEPW. NAAR KEILEEM	"	10	PAC2-T-221
"		50/40	GEW. GROND-KIST OP DIJK + 30	BEMALEN	DIEPWAND	KEILEEM		
"		"	HALVE GEW. GROND-KIST OP DIJK + 30	"	"	"		
"		60/47,5	GEW. GROND-KIST OP DIJK + 35	BEMALEN	DIEPWAND	KEILEEM		
"		"	HALVE GEW. GROND-KIST OP DIJK + 35	"	"	"		
ZUID	K 2b	24/16	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBRAAN OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 18.0	"	"	"		
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 14.0	"	"	"		
"	H 2b	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBRAAN HOR OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"		
"	ALT 2	"	GEW. GRONDKIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"		
"	ALT 3	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	"	"		
"	ALT 4	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	CENTR. DIEPW. NAAR EEMKLEI	EEMKLEI		
"		50/40	MET GROND- GEW. GRONDKIST VERBETERING OP DIJK + 30	"	MEMBRAAN HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN	15	PAC2-T-240
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 30	"	"	"		
"		"	" GEW. GROND-KIST OP DIJK + 30	"	DIEPWAND	EEMKLEI		
"		"	MET GROND- HALVE GEW. GROND- VERBETERING KIST OP DIJK + 30	BEMALEN	DIEPWAND	EEMKLEI		
"		60/47,5	" GEW. GROND- KIST OP DIJK + 35	"	MEMBRAAN HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN	15	PAC2-T-240
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 35	"	"	"		
"		"	" GEW. GROND-KIST OP DIJK + 35	"	DIEPWAND	EEMKLEI		
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 35	"	"	"		
EXTREEM ZUID	G 2b	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	"	MEMBRAAN HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"		
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"		
"	ALT 3	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	"	"		
"		50/40	MET GROND- GEW. GROND- VERBETERING KIST OP DIJK + 30	"	MEMBRAAN HOR. ONDER HOLOCEEN	"	15	PAC2-T-240
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 30	"	"	"	16	PAC2-T-308
"		60/47,5	" GEW. GROND-KIST OP DIJK + 35	"	"	"	15	PAC2-T-240
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 35	"	"	"	16	PAC2-T-308

6. Verkennde berekeningen

6.1 Inleiding

De verkennde berekeningen zijn uitgevoerd ten aanzien van de volgende aspecten:

- stabiliteit van de waterkering
- kwelaspecten
- zettingen.

Voor al de berekeningen geldt als uitgangspunt een dijklichaam bestaande uit homogeen zand.

In de berekeningen zijn de verschillende locaties, met hun specifieke geologische kenmerken, beschouwd.

De in de berekeningen gehanteerde gegevens ten aanzien van de grondparameters zijn ontleend aan de literatuur.

De in dit rapport gepresenteerde berekeningen zijn dus slechts op te vatten als een eerste oriëntatie ten aanzien van bovengenoemde aspecten.

Tevens zijn de berekeningen deterministisch uitgevoerd. In de vervolgstudie zal meer de nadruk liggen op een probabilistische benadering. Wel is van de belangrijkste parameters een minimale en maximale afchatting gehanteerd.

6.2 Stabiliteitsberekeningen

6.2.1 Inleiding

De stabiliteit van de dijken is beschouwd bij drie soorten ondergrond:

- a) Holocene klei- en veenlagen
- b) Holocene klei- en veenlagen met zandpalen
- c) Zand (bestaand dan wel op grondverbetering).

Gezien de resultaten van de kwelberekeningen is een waterafdichting van de dijk noodzakelijk. Bij de stabiliteitsberekeningen is echter uitgegaan van een lekkende waterafdichting, d.w.z. een hoge freatische lijn in de dijk. De stabiliteit is deterministisch benaderd waarbij een minimum veiligheidsfactor $f = 1,3$ is gehanteerd. Dit is in deze fase nog gerechtvaardigd door relatief zekere aannamen, zoals o.a. de bovengenoemde ligging van de freatische lijn.

In de eind-ontwerpfase wordt de stabiliteit wel volgens de probabilistische methode uitgevoerd. Dit kan kleine wijzigingen met zich meebrengen ten aanzien van de in dit hoofdstuk gepresenteerde conclusies.

6.2.2 Uitgangspunten glijvlakberekeningen

De stabiliteit is berekend bij zowel cirkelvormige als niet-cirkelvormige glijvlakken. Ook is de gevoeligheid voor de diverse parameters beschouwd. Voor uitvoerige rapportage wordt verwezen naar de notitie PAC2-M-156. In deze paragraaf worden enkele van de uitgangspunten in het kort weergegeven.

Bodemopbouw en grondparameters

De opbouw van de Holocene lagen zoals aangehouden in de berekeningen is:

peil t.o.v. NAP van	tot	grondsoort	γ [kN/m ³]	φ' [°]	c' [kN/m ²]
- 4.5	- 6.0	zand	20	30	0
- 6.0	- 7.0	zavel	18	21,1	7,6
- 7.0	- 8.0	veen	10,5	43,2	1,25
- 8.0	- 10.5	klei	15	22,2	4,3
- 10.5	- 11.0	basisveen	10,5	27,5	7,6
- 11.0	en dieper	zand	20	30	0

De grondparameters zijn overgenomen uit het L.G.M.-rapport CO-254000/25 van oktober 1980.

Freatische lijn in het damprofiel

De freatische lijn in de dam is zoals gebruikelijk bij een eerste benadering aangehouden als een rechte lijn lopend tussen +40 op het bekkenzijdetalud tot +12 op het IJsselmeerzijdetalud (zie PAC2-M-108). Uit recente grondwaterstromingsberekeningen blijkt dat het uittreepunt op het IJsselmeertalud zelfs op +19 kan komen bij een volledig "open" bekkentalud. Voor de ongunstigste situatie is de aanname van +12 dus optimistisch. Voor gedetailleerde stabiliteitsberekeningen moet in een volgende fase voor ieder dijkprofiel eerst de freatische lijn in een model bepaald worden.

Wateroverspanning in de ondergrond

Er is sprake van 2 soorten wateroverspanningen:

1. Wateroverspanning in het Pleistocene zandpakket t.g.v. kwel uit het bekken. Bij de groep varianten waarbij het Holoceen volledig in tact blijft is het noodzakelijk deze wateroverspanning weg te nemen in verband met het opbarsten van de teen aan de IJsselmeerzijde.
2. Wateroverspanning in het Holocene klei- en veenpakket t.g.v. consolidatie. Deze wateroverspanning is tijdsafhankelijk. Er is uitgegaan van een aanpassing van 40%, d.w.z. de wateroverspanning in de klei- en veenlagen is 60% van de bovenbelasting. Bij de oplossing met zandpalen is uitgegaan van een aanpassing van 90%.

6.2.3 Benodigde taludhellingen bij veiligheidsfactor van 1,3 in de gebruiksfase

Uit de berekeningen volgen de onderstaande benodigde taludhellingen:

Alternatief	IJsselmeerzijde	Bekkenzijde	
		normaal bedrijf	bekken leeg
holoceen	1 : 5.5	1 : 4.5	1 : 6.5
holoceen met zandpalen	1 : 5.0 *	1 : 3.3	1 : 5.5
grondverbetering	1 : 4.3 *	1 : 2.8	1 : 4.5

* Gemiddelde helling beneden NAP +15

Bovenstaande resultaten zijn geldig bij een freatische lijn verlopend van 40 m + N.A.P. aan de bekkenzijde naar 12 m + N.A.P. aan de IJsselmeerzijde. Uit berekeningen blijkt dat de veiligheidsfactoren zeer gevoelig zijn voor het verloop van de freatische lijn. Een probabilistische benadering is noodzakelijk om een evenwichtige keuze van de taludhellingen mogelijk te maken. Hiervoor is inzicht nodig in de kans op verstopping van drainagelagen en lekkage van de waterafdichting.

Een eerste becijfering met aangenomen spreiding in drie waarden laat zien dat een veiligheid die ligt in de orde van de vereiste 10^{-6} haalbaar is.

6.2.4 Stabiliteit tijdens bouwfase

Voor de bouwfase is de stabiliteit voor een tweetal alternatieven beschouwd:

- a. dam op Holocene met zandpalen
- b. dam op zand.

Bij de berekeningen is uitgegaan van een volledig verzadigd damlichaam. In het geval van een dam op Holocene met zandpalen is een aanpassing van 90% aangehouden.

Voor de veiligheidsfactor wordt een waarde van 1.1 in de uitvoeringsfase geëist.

De toelaatbare taludhellingen voor de twee beschouwde alternatieven zijn vermeld in onderstaande tabel:

Alternatief	Taludhelling
- Holocene met zandpalen	1 : 4,5 à 1 : 5
- Zand of grondverbetering	1 : 3,5 à 1 : 4

Opm.: Bij hellingen steiler dan 1 : 4,6 dienen er maatregelen getroffen te worden om de microstabiliteit op de taluds te verzekeren (zie PAC2-M-156).

6.2.5 Stabiliteitsberekeningen voor 50/40 en 60/47.5 m bekkens

Berekeningen zijn niet nodig geacht. Door bepaling van het hoogste uittreepunt van de freatische lijn en de reeds uitgevoerde berekeningen kan gesteld worden dat het op bijlage 13 getekende profiel dezelfde stabiliteit heeft als die van de 40/26.5 m dam.

6.3 Kwelberekeningen

Samenvatting

Bij de aanleg van een accumulatiespaarbekken in het IJsselmeer zal het grondwaterregiem sterk worden beïnvloed.

Bij het opzetten van een hoge waterstand in het bekken zal via de dijk en de ondergrond kwelverlies optreden. Ook kunnen hoge grondwaterspanningen onder afdekkende klei/veenlagen ontstaan waardoor gevaar voor instabiliteit in de vorm van opbarsting van de holocene laag buiten het bekken kan voorkomen. Ook voor de bepaling van de stabiliteit van de dijk zijn de te verwachten grondwaterspanningen en freatische lijnen in het dijklichaam van groot belang. Bij toepassing van gesloten dijkbekledingen zijn de te verwachten maximale overdrukken belangrijk ter bepaling van de dimensies en eventueel effectief uit te voeren drainages en bemalingen in en onder de dijk.

Tenslotte kunnen afhankelijk van de locatie van het bekken de omringende gebieden, zoals het IJsselmeer zelf alsmede omringende polders door verhoogde kwel en zoutgehalte worden belast.

Om in een vroeg stadium van het ontwerp antwoorden op een groot aantal hierboven genoemde grondwaterproblemen te geven zijn in een aantal rekenmodellen, zowel analytische als analogie-modellen, grondwaterberekeningen uitgevoerd.

De parametrische aanpak en resultaten hiervan hebben belangrijk bijgedragen in het ontstaan van het voorstel van het huidige dijkontwerp.

Met name resulteerde dit in het nemen van kwelbeperkende maatregelen. Dit is vooral op de dijk gericht, in de vorm van een dichte taludbekleding met dichte aansluiting op slecht doorlatende lagen.

Ook een drainage in de holocene laag, al of niet tezamen met een totale grondverbetering onder en achter de dijk, bleken uit de resultaten een vereiste. Zonder deze drainage ontstaan zodanige drukken onder de holocene laag dat deze op zal barsten, hetgeen ontoelaatbaar is.

Het eventueel leegzetten van het bekken voor onderhoud en reparatie, zonder grondwatertechnische maatregelen zoals drainage en bemaling, blijkt uit de resultaten onhaalbaar. Door voldoende drainage in de holocene laag of grondverbetering kunnen, sterk afhankelijk van de locatie van het bekken, kwel- en

zoutbelastingen op omringende polders sterk worden gereduceerd; op het IJsselmeer wordt hierdoor het zoutbezwaar weer versterkt. Deze extra zoutbelasting is echter van tijdelijke aard.

De in een later stadium uitgevoerde berekeningen voor een 50/40 en 60/47.5 m bekken zijn gerapporteerd in bijlage 18 (PAC2-M-108).

De spreiding in de berekeningsresultaten blijft noodzakelijkerwijs groot zo lang geen gedegen onderzoek van de ondergrond (pompproeven) en van de waarschijnlijke samenstelling van de zanddam (boringen, korreldiameters, slibgehalte, opspuitproces) uitgevoerd is. Overigens zijn de resultaten zoals verwacht mocht worden uit de resultaten van de eerste berekeningen.

In de hier volgende paragrafen zullen de diverse grondwaterspecten apart worden behandeld en beschreven. Overigens wordt verwezen naar de tot heden toe hierover ingebracht notities; zie literatuur (1) t/m (10).

Inhoud ingedeeld naar de verschillende grondwaterspecten.

- 6.3.1 Inleiding
- 6.3.2 Kwelverlies
- 6.3.3 Grondwaterstijghoogten in de ondergrond
- 6.3.4 Freatische lijn in de dijk
- 6.3.5 Overdrukken op dichte bekledingen
- 6.3.6 Drainage IJsselmeertalud
- 6.3.7 Extra zoutbelasting op omringende gebieden
- 6.3.8 Pipinggevaar
- Literatuur

6.3.1 Inleiding

Bij het ontwerp van een bekken voor PAC IJsselmeerlocatie zijn een 4-tal aspecten met betrekking tot het grondwaterregiem in de dijk en de ondergrond van belang, te weten:

1. Permanent kwelverlies uit het bekken dat door extra opompen zal moeten worden gecompenseerd.
2. Extra grondwaterstijghoogten als gevolg van een hoge bekkenwaterstand in het dijklichaam en de ondergrond, inclusief onder afdekkende holocene lagen, waarop stabiliteiten van dijken en kunstwerken moeten worden gedimensioneerd.
3. Kwelbelasting op omringende bekkens (IJsselmeer, Markermeer) en omringende gebieden (polders als Friesland, Noord-Holland, Noordoostpolder, Flevoland, eventueel Markerwaard).
4. Zoutbelasting op omringende bekkens en omringende polders als afgeleide van punt 3): kwelbelasting op die gebieden.

Door het ontbreken van voldoende grondmechanische gegevens betreffende de grondopbouw en de in berekeningen in te voeren grondparameters zijn de berekeningen voorlopig globaal aangehouden, is er sterk geschematiseerd en zijn de parameters zo goed mogelijk binnen een bepaalde range afgeschat. Voor de gegevens hiervoor stond vooral een vroeger onderzoek naar een drinkwaterspaarbekken op het IJsselmeer centraal, zie hiervoor lit. (A).*

Vanwege de onbekendheid van locatiekeuze, de nauwkeurigheid van het ontwerp en de grondgegevens zijn de berekeningen globaal (veelal met analytische formules) en parametrisch gericht opgezet zodat vooral invloeden hieruit duidelijk blijken. Voor een definitief ontwerp zal eerst in een later stadium nog aanvullende berekeningen in meer geavanceerde modellen moeten worden uitgevoerd.

De grondwaterberekeningen die tot heden toe zijn uitgevoerd betreffen een tweetal locaties, een noordelijke en een zuidelijke locatie. Veelal werden een middelhoog bekken, oppervlak 50 km², max. peil NAP + 24 m en een hoog bekken, oppervlakte 16.5 km², max. peil NAP + 40 m, beschouwd.

Voor de opbouw van de ondergrond zijn steeds een tweetal schematisaties bekeken, nl. één waar op ondiepniveau, NAP - 25 à 30 m, slechts doorlatende lagen (Eemklei- of keileemlagen) voorkomen en een schematisatie waar de ondoorlatende basis van de watervoerende laag zeer diep op NAP - 200 à 220 m (formatie van Maassluis) voorkomt.

In de noordelijke locatie wordt zonder een afdekkende slecht doorlatende laag en in de zuidelijke locatie met een slecht doorlatende klei/veenlaag (holoceen pakket) gerekend.

De verschillende grondwateraspecten komen hierna achtereenvolgens aan de orde.

- * Lit. (A) "Geohydrologische aspecten van belang voor de aanleg van een drinkwaterspaarbekken in het IJsselmeergebied",; rapport van de ad-hoc werkgroep III van de technische werkgroep Spaarbekken IJsselmeer: juni 1979.

6.3.2 Kwilverlies

De berekeningen voor het kwilverlies uit het spaarbekken zijn uitgevoerd voor het hoge en het middelhoog bekken. De resultaten zijn weergegeven in lit. (1); PAC2-M-108.

Hierin is uitgegaan van het geval dat er geen geotechnische maatregelen zoals grondverbetering, drainage of bodem- en dijkafdichtingen worden toegepast.

Het kwelverlies is te onderscheiden in:

- * ondiepe kwel d.i. de kwel door het dijklichaam zelf
- * diepe kwel d.i. de kwel die door de bekkenbodem (c-laag of holocene laag) via de daaronder gelegen watervoerende zandlaag (kD-laag) zijdelings onder de dijk door in de richting van het IJsselmeergebied wegwelt.

Als resultaat werd gevonden dat vooral de kwel door de dijk zelf de grootste bijdrage in het totale kwelverlies heeft. Daaruit is bepaald dat het waterdicht bekleden van het bekkentalud de grootste bijdrage in de kwelreductie levert.

Een overzicht van de totale kwelcijfers is hieronder in tabel 1 als resumé gegeven, uitgaande van taluds 1 : 3.

Tabel 1 Kwelverliezen zonder geotechnische maatregelen uit notitie PAC2-M-108 bij taluds 1 : 3.

Middelhoog bekken 50 km ² , 25 km dijk, peil 24 m ⁺				Hoog bekken 16,5 km ² , 14,5 km dijk, peil 40m ⁺			
met holocene klei/veenlaag		zonder holoceen		met holocene klei/veenlaag		zonder holoceen	
met eem- kleilaag	zonder eemklei	met kei- leemlaag	zonder keileem	met eem- kleilaag	zonder eemklei	met kei- leemlaag	zonder keileem
1) diepe kwel door de ondergrond in cm/ dag							
0,2-0,3	0,4-1,2	-	-	0,6 - 1	0,7-3,2	-	-
2) ondiepe kwel door het dijklichaam in cm/dag							
0,6-5,9	0,6-5,9	-	-	2 - 20	2 - 20	-	-
Totale kwelverlies (diep + ondiep) in cm/dag							
1 - 6	1 - 7	1 - 13	3 - 34	3 - 21	3 - 23	3 - 33	9 - 88

- voor taluds 1 : 2 is het kwelverlies hoger; zie PAC2-M-108.
- vergelijkingen tussen de verschillende bekkens levert op dat:
 - a) de te voeren kwelverlieshoogten in cm/dag zich verhouden als het product van de opvoerhoogtes H vermenigvuldigd met de omtrekken ($2\pi R$) van de bekkens, gedeeld door de oppervlakten van de bekkens (F_B), (dus $F_B \cdot d = k \cdot H \cdot 2\pi \sqrt{\frac{F_B}{\pi}}$ uit het energiekostenverhaal).
 - b) de kwelverliesdebieten in m^3 /dag van de verschillende bekkens bijna even groot zijn.
 - c) het op te pompen kweldebit voor het hoogste bekken naar het hoogste niveau qua energieverlies dus het ongunstigst is en dus voor het hoogste bekken de meeste kosten in het reduceren van het kwelverlies gestopt dient te worden.

Kwelverliesbeperkende maatregelen, zoals het afdichten van het bekkentalud en het afdichten van de bodem van het bekken, zijn onderzocht. De resultaten zijn in lit. (2): PAC2-N-160 weergegeven. Als resumé zijn de bijlagen 3 en 4 van deze notitie hierbij gevoegd.

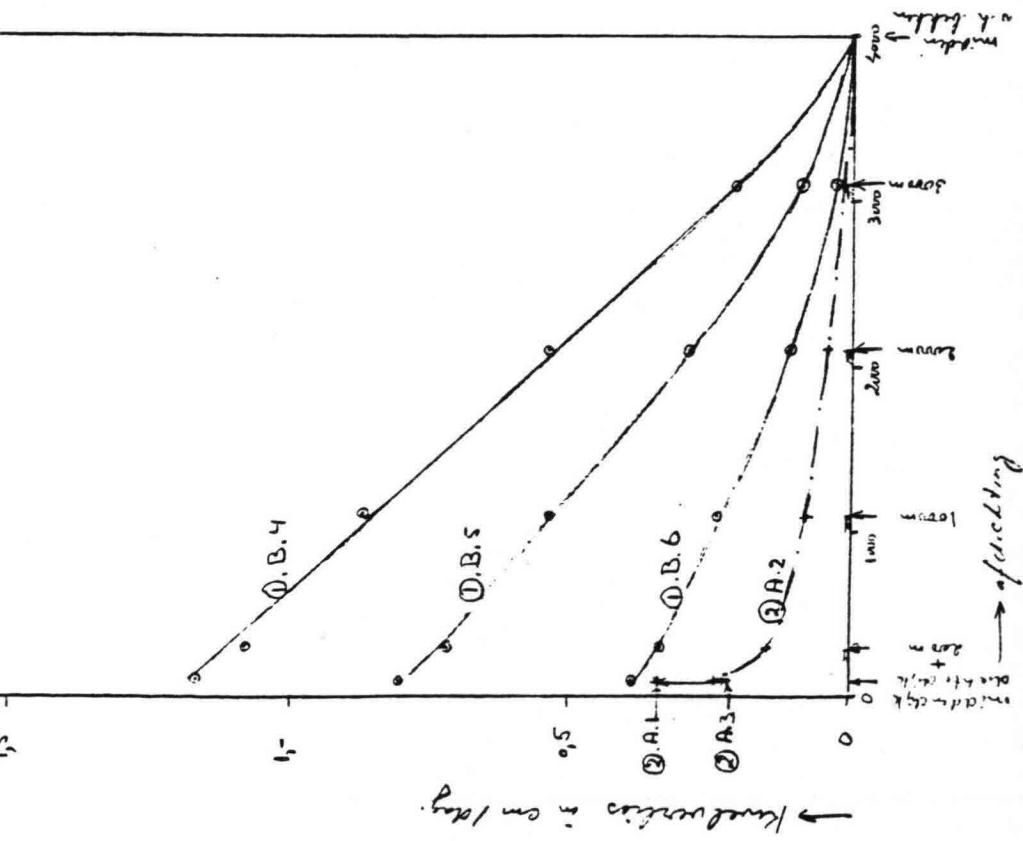
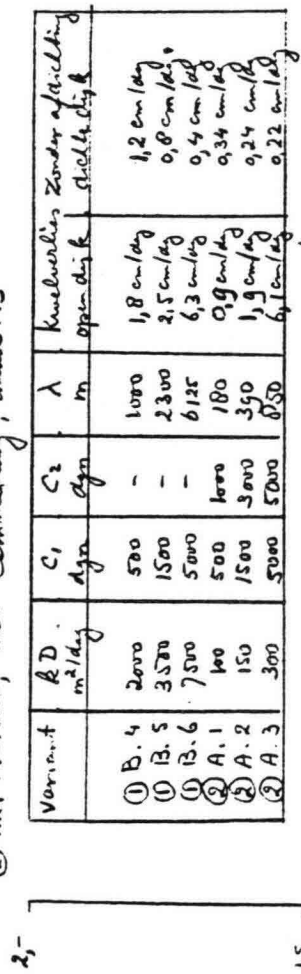
Het resultaat leverde op dat:

- a) Het dichtmaken van de dijk (dijkbekleding) de grootste reductie op het kwelverlies geeft.
- b) Het afdichten van de bodem van het bekken in geval van de noordelijke locatie wel effectief doch in het geval van het voorkomen van een holocene afdeklaag in de zuidelijke locatie in het geheel niet effectief is.
- c) Het ontwerp voor een dicht bekkentalud hoge eisen stelt aan een watertichte afsluiting van de taludbekleding op de afdichtende bekkenbodem of holocene deklaag.
- d) Een relatief kleine spleet in de bekleding of een opening bij de aansluiting op de bekkenbodem levert relatief weer veel kwelverlies op. Deze conclusie wordt gestaafd door de resultaten van een aantal berekeningen die voor vaststelling van de hoogte van de freatische lijn in het dijklichaam zijn uitgevoerd; zie hiervoor lit. (6) t/m (10), gebundeld in notitie PAC2-N-225.

Verloop van kneelvervals bij variatie in de lengte van een waterdichte bodemaafdekking

A) Zwitserske bobbeem, met bobbeem پوشed

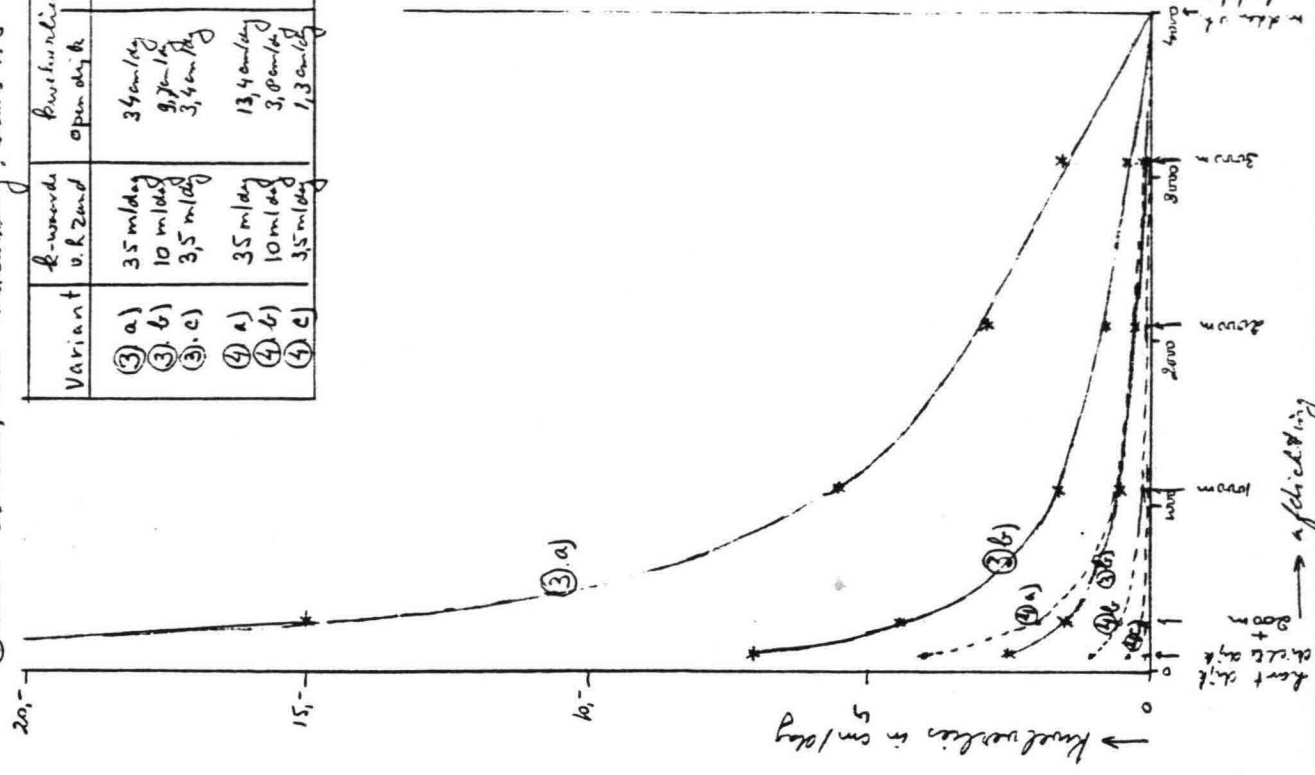
- 1) met bobbeem, zonder aanbrenging, tabel 1:3
- 2) met bobbeem, met aanbrenging, tabel 1:3



B) Noordske bobbeem, vandyse ondergrond

- 3) zonder bobbeem, zonder keileemlaag, tabel 1:3
- 4) zonder bobbeem, met keileemlaag, tabel 1:3

Variant	R-waardes v.R.zand	Buiswaardes opendijk	Zonder afdekking dikte dikte
3 a)	3,5 m/dag	3,6 m/dag	24,5 cm/dag
3 b)	10 m/dag	9,7 m/dag	7 cm/dag
3 c)	3,5 m/dag	3,4 m/dag	2,5 cm/dag
4 a)	3,5 m/dag	13,4 m/dag	4 cm/dag
4 b)	10 m/dag	3,0 m/dag	1,1 cm/dag
4 c)	3,5 m/dag	1,3 m/dag	0,4 cm/dag



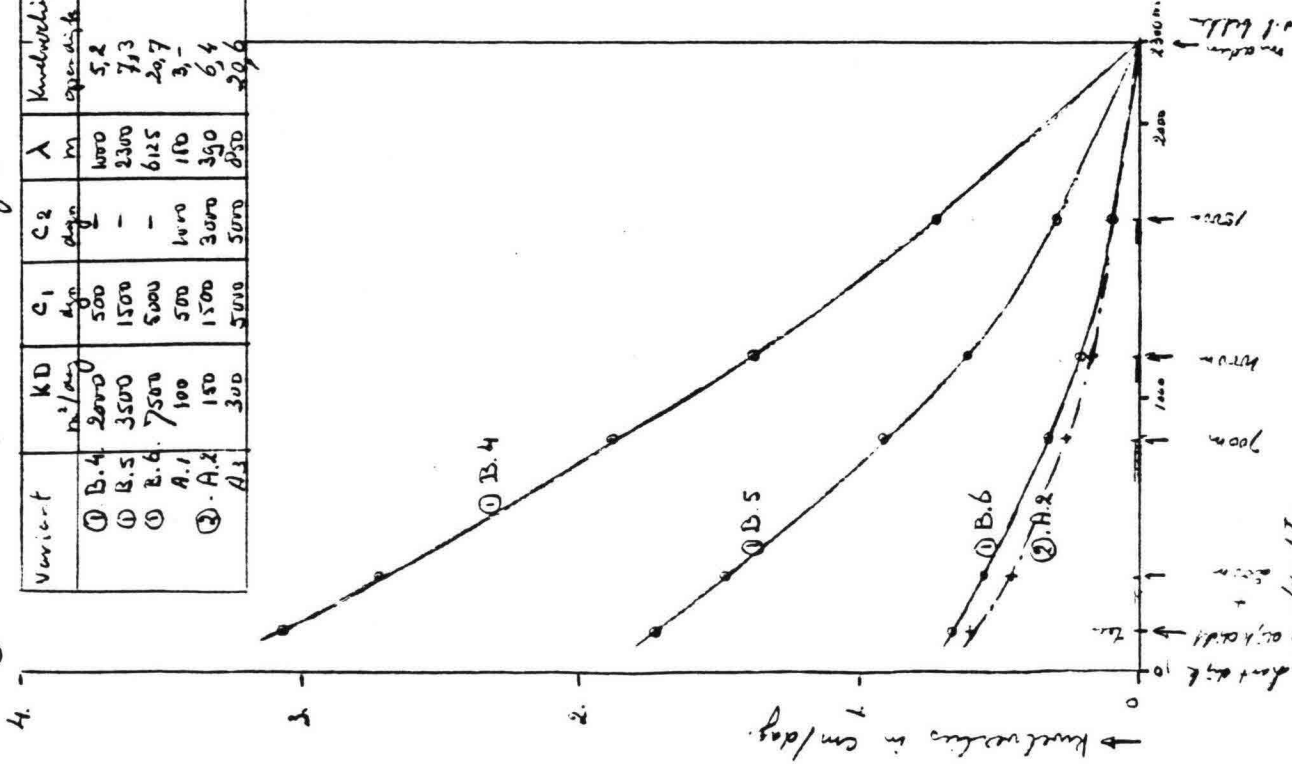
HOGE BERKEN 40m*PAC GYSELMEER

baltoort bij Noortie DOWT 05.254 (PAC 2-N-160)

Verloop Kweelreduktie met kolbeeen kleiween-punktet

- ① met kolbeeen, zonder eemkleiween, tabel 1:3
- ② met kolbeeen, met eemkleiween, tabel 1:3

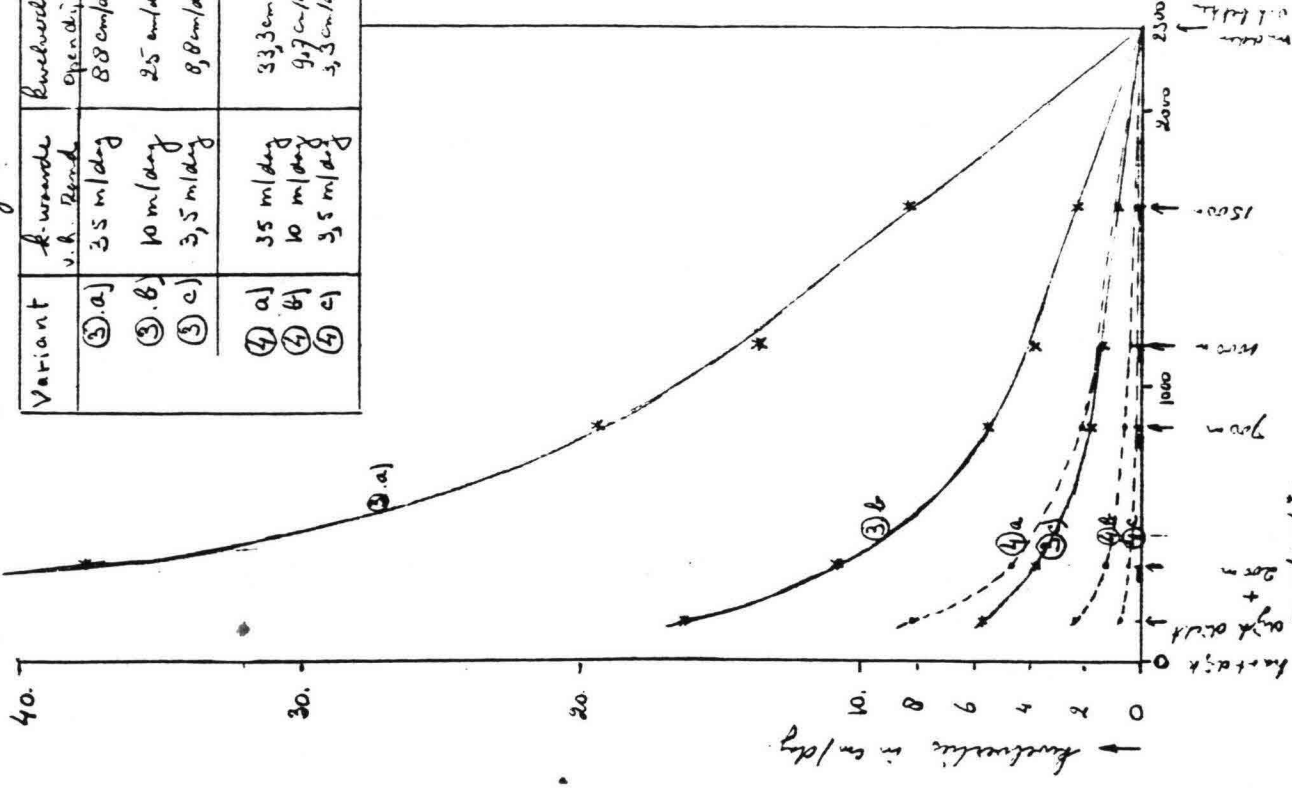
Variant	KD m ² /day	C ₁ dgn	C ₂ dgn	λ m	Kweelweeën zonder eemkleiween opendijk dikte/dijg
① B.4	2000	500	-	1000	5,2
① B.5	3500	1500	-	2300	7,3
① B.6	7500	5000	-	6125	20,7
② A.1	100	500	1000	100	3,-
② A.2	150	1500	3000	350	6,4
A.3	300	5000	5000	830	20,6



⑤ Noordelijke lokatie, Zandige ondergrond

- ① Zonder kolbeeen, Zonder keiween, tabel 1:3
- ② Zonder kolbeeen, met keiween, tabel 1:3

Variant	Kweelweeën v. b. Rend.	Kweelweeën opendijk	Zonder opendijk dikte/dijg
③ a)	3,5 m/day	8,8 cm/day	5,7 cm/day
③ b)	10 m/day	2,5 cm/day	16 cm/day
③ c)	3,5 m/day	8,8 cm/day	5,7 cm/day
④ a)	3,5 m/day	33,3 cm/day	8,2 cm/day
④ b)	10 m/day	9,7 cm/day	2,4 cm/day
④ c)	3,5 m/day	3,3 cm/day	0,8 cm/day



6.3.3 Grondwaterstijghoogten in de ondergrond

Berekeningen in notitie PAC2-M-108 leveren ten aanzien van stabiliteit van de dijk en ten aanzien van opbarsten van de bodem ontoelaatbaar hoge grondwaterstijghoogten onder het Holocene pakket op wanneer geen geotechnische maatregelen worden genomen.

Opbarsting van de Holocene laag zonder geotechnische maatregelen moet worden verwacht tot op ca 4 km buiten het bekken. Bij opbarsting dicht bij de IJsselmeerteen van de dijk bestaat bovendien gevaar voor piping.

Het toepassen van een goed functionerende drainsleuf aan de IJsselmeerzijde van de dijk, eventueel gecombineerd met een grondverbetering onder de dijk (in verband met stabiliteitseisen), is daarom een vereiste.

Een bodembreedte van minstens 10 m in de drainsleuf aan de achterkant van de dijk en een opvulling van deze drainsleuf met goed doorlatend en schoon, grof zand waarbij de verticale doorlatendheid minstens even groot als de horizontale doorlatendheid in de diepere zandlaag is ($k_{\text{vert}} \text{ drainsleuf} > k_{\text{hor}} \text{ zand}$) is daarbij geboden. Het voorkomen van sliblagen in die drainagesleuf of de grondverbetering is funest en herstelt weer de te hoge grondwaterstijghoogten in de ondergrond. De resultaten zijn te vinden in lit. (5), bijlage annex PAC2-N-160.

Het toepassen van een drainagesleuf en een grondverbetering reduceert bovendien de verspreiding van kwel naar omringende gebieden en behoedt deze gebieden voor extra kwelbezwaar en extra zoutbelasting; zie lit. (4).

Een vereiste is ook dat de drainsleuf voldoende diep, zeg 1 à 2 m dieper dan de Holocene laag, in de diepere watervoerende zandlaag (kD-laag) moet worden "ingekast".

6.3.4 Freatische lijn in de dijk

* Als kwelbeperkende maatregel wordt op de dijk een zo waterdicht mogelijke bekkentaludbekleding ontworpen.

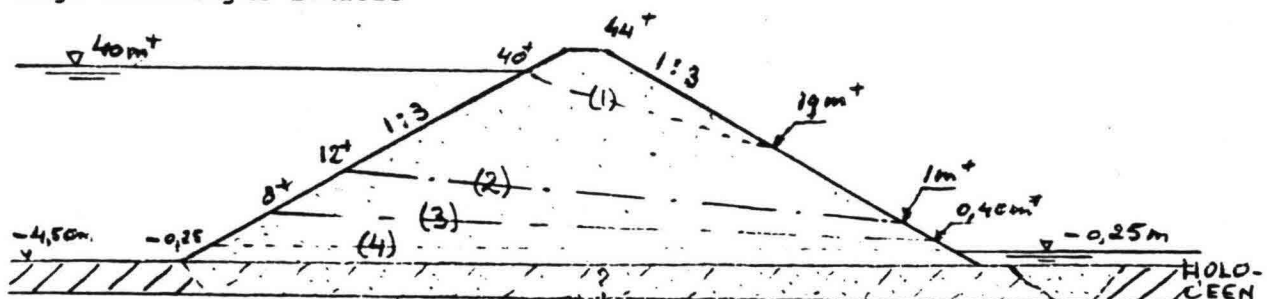
Ondanks een goed ontwerp hiervoor en een daarbij behorende goede uitvoering (toezicht!, controle-meetsystemen!) is het niet uitgesloten dat lekken, spleten, gaten en/of slechte bekledingsplekken zullen voorkomen.

- * Het gunstigst voor de freatische lijn is het geval met een volkomen waterdichte bekkentaludbekleding en een volkomen ondoorlatende holocene laag onder de dijk. Dan staat in de dijk over de gehele breedte een freatisch niveau gelijk aan het IJsselmeerniveau = NAP - 0.25 m. Dit is echter zeer onwaarschijnlijk omdat de holoceenlaag altijd enigszins water doorlaat en bij ongunstig aangenomen c-waarde (< 500 dagen) zelfs vrij veel water doorlaat. Zie onderstaande figuur.

In dat geval moet weer een hogere freatische lijn in de dijk worden verwacht. Uit voorlopige berekeningen is bepaald dat de lijn van verloopt van NAP + 8 m aan de onderkant van de bekleding tot circa NAP + 0.4 m als uittreepunt op het IJsselmeertalud. Hiernaar moet mede in verband met meer gegevens over de c-laag nog nader onderzoek worden verricht.

- * Een iets hogere freatische lijn van 12 m + tot 1 m + moet in het geval van een goed drainerende grondverbetering worden verwacht.
- * In de noordelijke locatie zal bij een dichte dijk-bekleding op een zandbodem de freatische lijn nog hoger kunnen liggen en wordt geschat tussen 26 m + en 8 m +.
Onvermijdelijke bodemafdekkingen maken in dit geval de freatische lijn weer gunstiger. Nader onderzoek hierover is nog nodig.

fig. zuidelijke locatie



- (1) = open bekleding of dichte bekleding met lekken met holoceen onder de dijk
- (2) = dichte bekleding met grondverbetering, met eemkleilaag op -30 m
- (3) = dichte bekleding zonder grondverbetering met drainsleuf achterzijde
- (4) = dichte bekleding potdichte holocene laag

- * De afmetingen en de plaats van lekken bepalen in hoge mate de hoogte van de freatische lijn in de dijk.
 Vooral ook aansluitingen met kunstwerken (turbinebuizen, e.a.) zullen daarbij bepalend in dijkdoorsneden in die omgeving kunnen zijn. Veel energie en kosten zal dus in het afdichten van bekledingen gestopt moeten worden. Een adequaat onderzoek naar het voorkomen van lekken (waar? hoe? hoeveel en wanneer?) is hoogst essentieel.
 Eén van de grootste veroorzakers van lekken zijn de zettingen en met name de zettingsverschillen in de beginfasen (duur maanden tot jaren) van het bekken ontstaan of worden geconstateerd. Vervormingen in de ondergrond bij dijkbouwfasen maar ook bij de inundatiefase van het bekken (enige dijk- en constructieverplaatsing zijn daar inherent aan.
- * De hoogte van de freatische lijn in de dijk is sterk mede bepalend voor de stabiliteit van de dijk, het totale kwelverlies alsmede het optreden van overdrukken bij het leegzetten van het accumulatiebekken voor reparatie en onderhoud.
- * Voor de hoogte van de freatische lijn in de dijk zijn een groot aantal analogon-berekeningen uitgevoerd en met name vooral gericht op het hoge bekken; doch analoog geldend voor de andere bekken: voor de resultaten wordt verwezen naar lit. (1) t/m 10).
- * Het ongunstigst voor de freatische lijn is het geval met een geheel open taludbekleding. Hieronder in tabel 2 voor de diverse gevallen in hoogte globaal aangegeven.

Tabel 2. Maximale freatischelijnhogten in ongunstigst geval van open bekleding en taluds 1: 3.

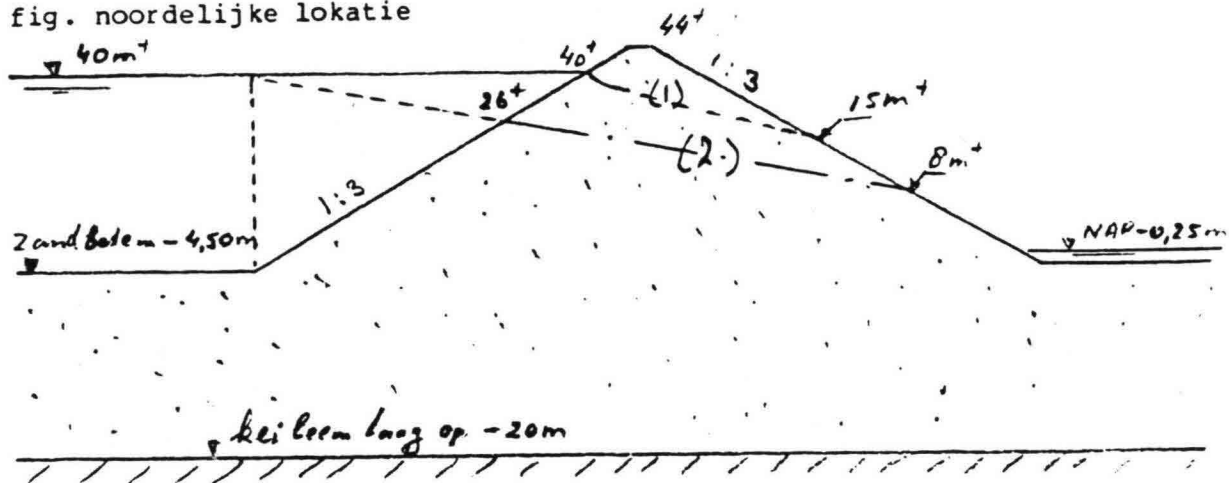
	Middelhoog bekken				Hoog bekken			
	met holocene klei/veenlaag		zonder holoceen		met holocene klei/veenlaag		zonder holoceen	
	met eemkleilaag	zonder eemklei	met keileemlaag	zonder keileem	met eemkleilaag	zonder eemklei	met keileemlaag	zonder keileem
1)	24 ⁺ -7,20 ⁺	24 ⁺ -7,20 ⁺	24 ⁺ -5,40 ⁺	24 - ?	40 ⁺ -19m ⁺	40 ⁺ -19 ⁺	40 ⁺ -15 ⁺	40 ⁺ - ?
2)	24 ⁺ -5,4 ⁺	24 ⁺ - ?	n.v.t.	n.v.t.	40 ⁺ -15 ⁺	40 ⁺ - ?	n.v.t.	n.v.t.

1) Is geval zonder grondverbetering

2) Is geval met grondverbetering met een zeer goede drainerende werking (k = kh zand).

Het tweede cijfer in de tabel is het uittreepunt op het IJsselmeertalud.

fig. noordelijke lokatie



- (1) = open bekleding of dichte bekleding met lekken
- (2) = dichte talud bekleding, open bekkenbodem, keileemlaag op -20 m

* Lekken in de bekleding doen de freatische lijn weer tot het hoogste niveau stijgen. Dit kan worden veroorzaakt door:

- a) een plaatselijk lek (bèn klein gat geeft relatief grote kweldebieten)
- b) het "doortranen" van de dijk in de vorm van een homogeen over de gehele bekleding verdeelde (slechte) doorlatendheid uitgedrukt in bv. de k'waarde van 10^{-8} m/sec à 10^{-9} m/sec.

Voor beide gevallen zijn berekeningen uitgevoerd en weergegeven in lit. (7) en (10).

- * Een over de lengte van het bekken doorgaande spleet met een breedte van 1 m geeft weer een hoge freatische lijn afhankelijk van de plaats van het lek. Een lek op NAP + 40 m geeft een freatische lijn van 40 m + tot 13.50 m +. Een spleetbreedte van 0.2 m geeft hetzelfde resultaat.
- * Nader onderzoek naar invloed van zeer nauwe spleten moet nog verder worden uitgewerkt.

- * De algemene conclusie is dat in verband met kans op lekken in de bekleding niet op de lagere freatische lijnen van 12 m + en 8 m + gerekend mag worden. De hoogste freatische lijn 40 m + tot 19 m + lijkt een te ongunstige aanname, te meer daar leklocaties in het bovenste taludgedeelte gemakkelijk geconstateerd en gerepareerd kunnen worden.
- * Een redelijke aanname lijkt een freatische lijn aan te nemen die gelegen is tussen + NAP + 26 à 28 m aan de bekkenzijde met een uittreepunt op circa NAP + 8 m aan de IJsselmeerzijde.

6.3.5 Overdrukken op dichte bekledingen

- * Als voor reparatie en onderhoud de bekkenwaterstand relatief snel verlaagd moet worden zal als gevolg van naijling van de grondwaterstand in de dijk grote overdrukken tegen de onderkant van de bekleding ontstaan. De grootte van de overdrukken worden bepaald door de k' -waarde van het zand en de hoogte van de freatische lijn in begintoestand, alsmede het al of niet toepassen van een goed drainerende grondverbetering.
- * Berekeningen van overdrukken onder ongunstige aannamen zijn uitgevoerd zie hiervoor lit. (9).
- * Dit resulteerde in onaanvaardbare overdrukken, zodat gewichtsbekleding in geval van een hoge freatische lijn geen aanvaardbare oplossing blijkt. Alleen ballasten met een dikke laag zand kan een oplossing bieden. Een alternatieve oplossing is het installeren van een bemaling in de dijk (bv. om de 25 à 50 m) die dan vroegtijdig aangezet dient te worden. Tijdlijnen van freatische lijnen geven aan dat de bemaling pas effectief werkt als deze dichtbij de bekkenteen van de dijk wordt aangebracht. In het midden van de dijk is deze veel minder effectief; zie lit. (9).
- * Nadere optimalisatie van combinatie van enkele verschillende bemalingsniveau's met een gedeeltelijke gewicht bekleding moet in de verdere studie worden bekeken.

6.3.6 Drainage IJsselmeertalud

- * Uit berekeningen van de hoogte van freatische lijnen is geresulteerd dat op het IJsselmeertalud op hoge niveau's het grondwater kan uittreden; maximaal tot NAP + 19 m + voor het hoge bekken en NAP + 7.20 m voor het middelhoge bekken.
- * Aangezien voor de stabiliteitsberekeningen van de taluds de hoogte van deze freatische lijn, bij dergelijke taluds van 1 : 3, grote invloeden op de stabiliteitsfactor heeft is het aan te bevelen een teendrainage aan die zijde aan te brengen zodat het IJsselmeertalud zoveel mogelijk grondwateruitstromingsvrij gemaakt wordt. Op enig of plaatselijk falen van deze drainage moet dan nog berekend worden.

6.3.7 Extra zoutbelasting op omringende gebieden

In lit. (4) zijn zoutberekeningen van extra zoutbelasting op het IJsselmeer en omringende poldergebieden behandeld.

Geconcludeerd werd dat in de noordelijke locatie extra zoutbelasting naar Friesland niet zal optreden. In de zuidelijkste locatie zal de belasting op polders sterk afhankelijk zijn van de afstand tot het bekken. Een grondverbetering onder en direct naast de dijken reduceren deze extra kwel- en zoutbelasting in hoge mate.

In een later stadium dient hiervoor met geavanceerde modellen meer onderzoek te worden gedaan.

6.3.8 Pipinggevaar

- * Vanwege de grote vervallen tussen de bekkenwaterstand en het IJsselmeerniveau kan soms niet aan de conservatieve piping criteria zoals die van Bligh, Griffith en Lane worden voldaan. Bovendien zijn deze conservatieve regels niet goed op dijkconstructies toepasbaar maar meer voor kunstwerken zoals sluizen e.d. bedoeld.

Bij niet voldoen aan de pipingregels kan dit altijd opgevangen worden door toepassing van een ideaal filter d.w.z. een zgn. "fysisch ondoordringbaar filter".

- * Voor zover in de drainagesleuven aan de buitenzijde van de IJsselmeerteen nog gevaar voor piping over blijft is het raadzaam op de bovenkant daarvan een goed filter op te bouwen.
- * Verhangbepaling uit equipotentiaalbeelden rondom de uitstroming via de grondverbetering en de drainingsleuf aan die zijde kunnen nog aantonen in welke mate deze filters noodzakelijk zijn.
- * Hetzelfde als hier genoemd geldt voor de uitstroomzijde aan de achterkant van turbinebehuizingen. Vooral korte kwelwegen vanwege zettingspleten en scheuren in vervalspreiders of aansluitingen met die kunstwerken bepalen het daar noodzakelijke ideale filter van afdoende afmeting en samenstelling.

Opm.:

Bij nader inzien kan "piping", het ontstaan van erosiekanaaltjes niet als zodanig in een zandlichaam ontstaan. Wellicht wel in een zandlichaam onder ingesloten kleilaagjes. Beter is het te spreken over terugschrijdende erosie.

LITERATUUR

Resumé van uitgebrachte notities m.b.t. grondwaterberekeningen PAC IJsselmeer door ing. J.C. van der Burg, Deltadienst (stand van zaken d.d. 25-3-85).

- (1) Notitie DDWT-85.207 (PAC 2-M-108) d.d. 18-1-'85:
"Grondwaterstromingsberekeningen PAC IJsselmeerlokatie"
Inhoud: Berekeningen voor Middelhoog en Hoogbekken van:
 - a) Kwelverlies
 - b) grondwaterstijghoogten onder holocene deklaag
 - c) freatische lijn in de dijk bij een volkomen open zanddijk

- (2) Notitie DDWT-85.254 (PAC 2-N-160) d.d. 15-2-'85:
"Kwelberekeningen bij gedeeltelijke bekkenbodem-afdekkingen en grondverbeteringen bij PAC IJsselmeer"
Inhoud: Berekeningen voor het Hoge en Middelhoge bekken van:
 - a) invloed op de kwel in geval van gedeeltelijk bekkenbodem-afdichting
 - b) globale berekening van invloed van grondverbetering op kwelverlies en opbarstreduktie op de holocene laag buiten het bekken.

- (3) Toevoegingen bijlage (3) en (4) bij notitie DDWT-85.254 (PAC-2-N160) bedoeld als annex bijlage bij die notitie DDWT-85.254.

- (4) Notitie DDWT 85.276 d.d. 25-2-'85, nog in concept en nog uit te werken met ir. A. Hebbink RIJP, geheten:
"Extra zoutbelasting op IJsselmeer en omgeving als gevolg van aanleg van een pompaccumulatiebekken".
Inhoud: Berekende zoutvracht als afgeleide van de kwelberekeningen uitnotitie DDWT-85.207 (PAC 2-M-108).

- (5) Notitie d.d. 4-3-'85: "PAC IJsselmeer, Zuidelijke lokatie, grondverbetering, grondwaterberekeningen" bevattende verbeterde berekeningen met anologonmodellen ingeval van grondverbeteringen bedoeld als bijlage annex notitie DDWT-85.254 (PAC 2-N-160).

Een vijftal notities betreffende de bepaling van de hoogte van de freatische lijn in de dijk bij een Hoog bekken.

(later te bundelen in een notitie DDWT-85.277 (PAC 2-N-225); geheten: "Bepaling freatische lijn in de dijk voor PAC IJsselmeer".

- (6) Notitie d.d. 4-3-'85: inhoud: Bepaling van kwelverlies en freatische lijn bij Hoog bekken bij variatie in gedeeltelijk open taludgedeelte van het bekkentalud (groot open deel).
- (7) Notitie d.d. 7-3-'85: inhoud: Bepaling ondiep kwelverlies door de dijk en freatische lijn bij een hoog bekken in geval van een homogeen verdeelde slecht doorlatende bekkentaludbekleding (niet geheel waterdicht), alleen voor de zuidelijke lokatie boven een holoceenpakket.
- (8) Notitie d.d. 8-3-'85: aanvulling op (6) notitie d.d. 4-3-'85: Verbeterde bepaling van kwelverlies en hoogste freatische lijn in een 2 dimensionaal model zowel bij een holocene laag als ondergrens (zuidelijke lokatie) als bij een zandige ondergrond, in diepte gevarieerd tot aan een diepte NAP-30 m (keileemlaag, noordelijke lokatie).
- (9) Notitie d.d. 15-3-'85 inhoudende: "tijdlijnen van de freatische lijn in de dijk en bepaling van overdrukken op de bekkentaludbekleding in geval van een snelle verlaging van de bekkenwaterstand (i.v.m. droogzetten van het bekken voor onderhoud en reparatie). Hetzelfde is gedaan in het geval dat er een bemaling in de dijk wordt toegepast. Nagegaan is waar de bemaling het meest effectief werkt.
- (10) Notitie d.d. 25-3-'85 inhoud: "Bepaling van freatische lijn bij variatie van de plaats van een lokaal lek in een dichte bekleding".

6.4 Deformaties

6.4.1 Dam op Holoceen

Voor de berekening van de eindzettingen zijn grondprofielen genomen, die bij benadering representatief zijn voor de Holoceene lagenopbouw van de zuidelijke locatie. Het zijn profielen uit het grondonderzoekten behoeve van de jachthaven Delta Marina in de nabijheid van Lelystad, uitgevoerd door Grontmij N.V. te De Bilt. Tevens zijn de uit dit onderzoek verkregen grondparameters gebruikt (zie PAC2-M-133).

Om de gevoeligheid van de dikte van de belangrijkste grondlaag in het Holoceen, de Calais-kleilaag op de eindzetting te bepalen, zijn eveneens berekeningen uitgevoerd voor een 1 m dikkere en dunnere Calais-kleilaag.

Bovendien is nagegaan wat de invloed is op de zetting van een afdekkende zandlaag van 2 m dikte hetgeen overeenstemt met de variatie van de afdekkende zandlaagdikte voor de zuidelijke locatie.

De zettingen zijn berekend met het een-dimensionale zettingsmodel van Terzaghi/Buisman na een consolidatieperiode van 30 jaar voor kruinhoogten van zowel N.A.P. +40 m (hoog bekken) als N.A.P. + 24m (middel hoog bekken). Naast de zetting onder de kruin is de zetting halverwege het talud berekend. Voor de resultaten zie onderstaande tabel:

Verwachtingswaarden zettingen
na consolidatieperiode van 30 jaar
in m

totale dikte Holoceen in m	7	7	6	6	5
dikte afdekkende zandlaag in m	0	2	0	2	0
kruinhoogte NAP +40:					
zetting onder kruin in m	3.95	3.15	3.45	2.60	2.45
zetting halverwege talud in m	3.30	2.45	2.85	2.15	2.05
kruinhoogte NAP +24:					
zetting onder kruin in m	3.55	2.75	3.10	2.35	2.20
zetting halverwege talud in m	2.90	2.10	2.50	1.90	1.80

Samenvattend kan gesteld worden dat bij de aanleg van een dam op het Holoceen van de zuidelijke locatie het Holocene pakket na 30 jaar consolidatie met de volgende percentages is samengedrukt:

- onder de kruin: 60 - 45% (dam tot 40+)
- onder de kruin: 50 - 40% (dam tot 24+)
- halverwege talud: 50 - 35% (dam tot 40+)
- halverwege talud: 40 - 30% (dam tot 24+).

Met betrekking tot de snelheid waarmee de zettingen optreden is dit met behulp van de geschematiseerde grondeigenschappen volgens L.G.M.-rapport Co 254000/25, okt. 1980 berekend. De berekening is uitgevoerd met de eendimensionale consolidatietheorie van Terzaghi met in de tijd constante doorlatendheid en samendrukkingsconstanten.

In onderstaande tabel is aangegeven het percentage van de totale zetting na 30 jaar op verschillende tijdstippen, uitgaande van drie verschillende bouw-tijden:

Percentage van de totale zetting opgetreden na

Bouw tijd	t = 1 jaar	1,5 jaar	2 jaar	2,5 jaar	5 jaar	7,5 jaar	10 jaar
3 jaar	41%	56%	67%	75%	94%	96%	97%
5 jaar				61%	89%	96%	97%
7 jaar				52%	77%	94%	97%

Bij een 10 x hogere samendrukbaarheid of een 10 x lagere doorlatendheid neemt dit percentage vrij snel af, hetgeen weergegeven wordt in de navolgende tabel.

Percentage van de totale zetting opgetreden na

Bouw-tijd	t = 2,5 jaar	t = 5 jaar	t = 7,5 jaar	t = 10 jaar
5 jaar	32%	57%	74%	87%

De resultaten van berekeningen voor het 50/40 en 60/47.5 bekken zijn weergegeven op bijlage 23 (PAC2-N-307).

6.4.2 Dam op grondverbetering

De deformaties van een dam op grondverbetering ten gevolge van het vullen en de dagelijkse peilvariaties zijn berekend uitgaande van geëxtrapoleerde samendrukkingsconstanten en E-waarden bepaald op Oosterschelde-zand bij lagere spanningsniveau's. Berekend zijn de vervormingen van het pakket tot een diepte van circa 30 m - N.A.P. ervan uitgaande dat er geen Eemklei aanwezig is.

	halfweg talud	teen v.d. dijk	Holoceen
Deformatie ten gevolge van le maal vullen van het bekken	0,06 - 0,12 m	0,29 - 0,38 m	2 à 3 m
Deformatie ten gevolge van dagelijkse wisselingen	0,01 ⁵ - 0,03 m	0,01 ⁵ - 0,03 m	

De horizontale deformaties zullen globaal geschat in dezelfde orde van grootte liggen. In de tweede fase van de studie zal met behulp van een elementenberekening en met invoer van parameters ontleend aan het uit te voeren grondonderzoek meer duidelijkheid over de te verwachten deformaties moeten worden verkregen.

Een eerste berekening met een eindige elementenmethode heeft intussen plaatsgevonden. Bijlage 23 geeft daarvan de eerste voorlopige resultaten.

Aan de invloed van Eemklei onder het bekken kan pas gerekend worden nadat relevante geotechnische informatie daarvan uit het grondonderzoek is gevolgd. Voor die laag is geen vergelijkbaar onderzoek beschikbaar.



7. Uitvoeringsmethode

7.1 Algemeen

De constructie van de bekkendijken vereist een gigantische hoeveelheid "nat" grondverzet, afhankelijk van de beschouwde variant; 90.000.000 tot 329.000.000 m³.

Uitgegaan is van de winningsmogelijkheid van zand in deze grote hoeveelheden. Bij cunetbaggeren is er van uitgegaan dat de daarbij vrijkomende niet-buikbare grond geborgen wordt binnen het bekken.

Voorlopig is ervan uitgegaan dat geen zand binnen het bekken gewonnen wordt in verband met het intact laten van de kwelbeperkende lagen aldaar.

In de onderstaande tabel is dit globaal uitgesplitst voor de locatie, en type bekken (hoog/middel/laag).

Locatie	Noord		Zuid		
	Zand	Bagger	Zand	Bagger	Z + B
laag 18/12	90	0	NVT	NTV	NVT
midden 24/16	95	0	177	61	238
hoog 40/26,5	124	0	175	52	227
hoger 50/40	187	0	252	62	314
hoogste 60/47,5	198	0	264	65	329

Hoeveelheden nat grondverzet in 10⁶ m³

Bij bovenstaande hoeveelheden is uitgegaan van de traditionele dijkontwerpen, bij de mogelijke alternatieve constructies zijn aanzienlijke reducties te verwezenlijken.

Wanneer uitgegaan wordt van b.v. 5 sets werktuigen betekent dit 2 tot 6 jaar productie. Naar uitvoeringsmethode kan het volgende onderscheid worden aangebracht:

A. Cunet baggeren ten behoeve van grondverbetering (indien van toepassing)

B. Dijklichaam

- B1 : tot 1,5⁻ - 2,0⁻ N.A.P.
- B2 : tot 30+ N.A.P.
- B3 : boven 30+ N.A.P. (i.v.t.)

7.2 Cunet baggeren (van toepassing in de zuidelijke locaties)

Als het dijkontwerp tot een grondverbetering noodzaakt, zullen de aanwezige onvoldoende draagkrachtige lagen klei, veen en/of leem verwijderd worden.

Door middel van cutterzuigers worden deze lagen, globaal gelegen tussen 4⁻ en 11⁻ m N.A.P., weggebaggerd en rechtstreeks op de toekomstige bekkenbodem gespoten.

Het gebaggerde cunet wordt vervolgens opgeschoond, waarbij tevens de klei- en veenresten worden verwijderd.

Hergebruik van klei

Door selectief te baggeren zou het mogelijk kunnen zijn klei- en/of keileemvoorkomens af te zonderen in een zodanige conditie dat hergebruik mogelijk wordt.

7.3 Dijklichaam

Met betrekking tot de tientallen miljoenen m³ zand welke benodigd zijn voor het dijklichaam, is er in eerste instantie van uitgegaan dat dit zand binnen 6 km van de plaats van verwerking gewonnen wordt. Tevens is uitgegaan van:

- toegestane zuigdiepte 70⁻ m
- voldoende vaardiepte
- het zand met een diepzuiger goed winbaar is.

In het noordelijk deel van het IJsselmeer zal niet aan al deze aspecten voldaan kunnen worden, hetgeen verdisconteerd is in de prijsvorming.

In deelrapportage "Kosten" wordt hierop teruggekomen.

Naar uitvoeringsmethode wordt onderscheid gemaakt in:

B-1 Dijklichaam tot 1.50^m - 2,00^m m N.A.P.

Het hiervoor benodigde zand wordt na winning met een diepzuiger naar de locatie getransporteerd met splijtbakken en rechtstreeks in het cunet gedumpt, waarbij per set werktuigen een productie wordt verwacht van 150.000 - 200.000 m³/week.

B-2 Dijklichaam van 1,5^m/2.0^m tot 30+ m N.A.P.

De winmethode is identiek als B-1 echter na transport met elevatorbakken of -schepen, wordt het zand met behulp van bakkenperszuigers in het werk gebracht. Geraamde productie 140.000 - 180.000 m³/week per set werktuigen.

B-3 Boven 30+ m N.A.P. (indien van toepassing)

In principe wordt dezelfde uitvoeringsmethode gebruikt als tot 30 + m NAP, echter wordt in verband met de grote pershoogte een extra booster ingezet. De verwachte productie blijft 140.000 - 180.000 m³/week per complete set. Volgt uit aanvullende stabiliteitsberekeningen dat de hoge freatische lijn, veroorzaakt door het perswater, problemen tijdens de uitvoering oplevert, dan kan dit noodzaken tot een (gedeeltelijk) droog grondverzet, een bredere basis of wellicht bronnering. Dit brengt kosten met zich mee. Deels is hier reeds rekening mee gehouden.

7.4 Zandwinning

Zoals reeds eerder is gesteld waren de uitgangspunten met betrekking tot zandwinning:

- max. afstand - 6 km
- toegestane zuigdiepte - 70^m
- voldoende vaardiepte
- goed lopend zand.

De kwaliteit van het zand, en ook de wingebieden op zich, kan sterk wisselen en hangt bovendien af van de locatiekeuze.

Mede met het oog hierop is gekozen voor de methode "winnen/varen", zodat reeds op de winplaats het slib grotendeels van het zand gescheiden wordt.

Zuidelijke locatie

In het zuidelijk deel van het IJsselmeer is in het algemeen een "goed lopend" zand aanwezig over voldoende diepte.

De holocene lagen, welke deze zandlagen afdekken, zullen niet afzonderlijk worden verwijderd, waardoor extra aandacht aan slib(concentratie) moet worden besteed.

Noordelijke locatie

Zandwinning is in het noordelijke deel van het IJsselmeer wat gecompliceerder aanzien:

- a. Indien een zandwingebied van voldoende grootte gelocaliseerd kan worden dan zullen de producties liggen beneden die welke in het zuiden gehaald kunnen worden, dit vanwege de slechtere kwaliteit van de zandvoorkomend en stoorlagen.
- b. Indien geen zandwingebied van voldoende grootte gelocaliseerd kan worden binnen de genoemde 6 km dan zullen grotere vaarafstanden geaccepteerd dienen te worden.

Bovenstaande leidt tot een zandprijs in het noordelijk deel van het IJsselmeer, welke Hfl. 1,80/m³ hoger ligt dan in het zuiden.

Kwaliteitsverbetering

Een kwaliteitsverbetering van het zand is mogelijk door:

- selectief baggeren
- bovenlagen verwijderen
- stoorlagen verwijderen
- werkmethodes zoals spoelen
- maatregelen op het stort.

Over het algemeen brengen deze maatregelen echter kosten met zich mee, en zullen daarom alleen als het ontwerp dit in relatie met het beschikbare zand uit de wingebieden vereist, toegepast worden.

7.5 Alternatieve uitvoeringsmethoden

Als mogelijke alternatieven op de genoemde uitvoeringsmethoden zijn aan te merken:

- A. Winnen en rechtstreeks in 't werk persen
- B. Winnen, varen en klappen, vervolgens oppersen met een bodemzuiger.

- ad A
- Rechtstreeks in 't werk persen heeft als
 - voordelen : - kostenbesparend
- productieverhogend
 - nadelen : - risicoverhogend i.v.m. mogelijke slibinsluitingen
- beperkt in persafstand
- minder flexibel.
- ad B
- "Klapput" met bodemzuiger heeft als
 - voordeel : - persbedrijf onafhankelijk van win-/klapbedrijf
 - nadeel : - bufferput (TFN) vereist.

Gezien de hoge eisen, die aan het slibgehalte gesteld worden (zie 6.4) zijn deze alternatieve uitvoeringsmethoden in eerste instantie niet verder uitgewerkt.

7.6 Maatregelen op het stort

Door middel van maatregelen op het stort en/of indeling van de stort(en) kan tegemoet worden gekomen aan kwalitatieve eisen uit de ontwerphoek. Hierbij wordt vooral gedacht aan:

- Slibconcentraties
- Slibgehalten
- Korrelgroottevariatiën in het profiel
- Gebruik van stortplastic
- Gecontroleerde afvoer perswater.

Een stortindeling zodanig dat de korrelgrootte in het dijkprofiel gevarieerd kan worden (b.v. ontwerp-eis: fijn aan bekkenzijde - grof aan de IJsselmeerzijde) heeft nogal consequenties op de werkmethode en kosten nl.:

- Selectief zandwinnen vereist
- Invloed op materieelkeuze
- Productiebeperkend
- Vaarafstandverhogend dus:
- Kostenverhogend

Bovendien is dit alleen mogelijk in de onderste lagen van het dijkprofiel waar voldoende breedte aanwezig is.

7.7 Uitvoering filters en klei-afdichtingen

Ten aanzien van de werkmethoden voor het verzet van materialen anders dan zand wordt het volgende aangehouden:

A. Filters

1. Filters op het talud

- Filters onder water worden na het profileren van het zand, rechtstreeks met drijvend materieel aangebracht.
- Filters boven water worden met behulp van droog materieel verwerkt, na met drijvende kranen in depot te zijn gezet (depots op talud).

2. Filters in het dijklichaam

Filters in het dijklichaam worden in den droge aangebracht tussen 2 spuitslagen door.

B. Klei

Klei wordt gekocht of door middel van depots verkregen met selectief baggeren uit 't cunet. De aanvoer zal plaatsvinden in de werkhavens, en voor zover mogelijk per as vervoerd, en met bulldozers verwerkt en verdicht.

De klei welke onder water dient te worden aangebracht wordt verwerkt met drijvende kranen.

In de kostenraming is rekening gehouden met klei uit de handel.

C. Diversen

Ballastzand zal gedeeltelijk droog aangebracht worden en gedeeltelijk via persleidingen, waarna het geprofileerd wordt.

8. Bespreking variant oplossingen

opm. Dijkprofielen zijn weergegeven op de tekeningen welke als bijlage in het bijlagerapport "Bekkendijken" zijn toegevoegd.

8.1 Inleiding

Voor het opstellen van de varianten is uitgegaan van de in het projectplan aangegeven basisvarianten met een bekkenwaterstand van resp. 18/12, 24/16 en 40/26,5 m, later gewijzigd in 18/12, 24/16, 40/26.5, 50/40 en 60/47.5 m.

Daarnaast is de voorlopige locatiekeuze van half februari voor Noord en Zuid maatgevend voor de mogelijke dijkconstructie. De plaatselijk voorkomende grondslag moet dienen als fundatie en zand uit de omgeving moet gewonnen worden voor de dijk-bouw. In het variantenschema van hoofdstuk 5 zijn de bekkenvarianten reeds aan de orde gekomen.

8.1.1 Hoofdvarianten "type grondmassief".

Resumerend zijn de volgende hoofdvarianten te onderscheiden:

Hoofdvar.	Locatie	Bekkentype	Funderingstype
D	Noord	18/12	op zand ondergrond
E	Noord	24/16	op zand ondergrond
F	Noord	40/26,5	op zand ondergrond
50/40	Noord	50/40	op zand ondergrond
60/47,5	Noord	60/47,5	op zand ondergrond
G	Extreem Zuid	40/26,5	op Holoceen (G1) of op grondverbetering (G2)
50/40	Extreem Zuid	50/40	op grondverbetering ^x
60/47,5	Extreem Zuid	60/47,5	op grondverbetering ^x
H	Zuid	40/26,5	op Holoceen (H1) of op grondverbetering (H2)
50/40	Zuid	50/40	op grondverbetering ^x
60/47,5	Zuid	60/47,5	op grondverbetering ^x
K	Zuid	24/16	op Holoceen (K1) of op grondverbetering (K2)

x opm: Gezien de latere uitwerking van de 50/40 en 60/47,5 varianten is alleen de voorkeursvariant met grondverbetering uitgewerkt.

Een cijfer 1 of 2 achter de hoofdvariantletter duidt op wijze van fundering. Deze codering is alleen op de zuidelijke locaties van toepassing.

8.1.2 Subvarianten

- keuze tussen ballasten of draineren

Een onderscheid is gemaakt naar "ballasten" of "draineren". Dit komt voort uit de aanname dat het bekken leeg moet kunnen worden gezet. Dit uitgangspunt heeft grote consequenties op het ontwerp omdat tijdens het dalen van de waterspiegel in het bekken tot N.A.P., moet worden voorkomen dat het grondwater vanuit de dijk een grotere druk uitoefend op de onderkant van de dichte bekleding dan de druk vanaf de bekkenzijde. Door deze overdruk zal de bekleding van het talud opbarsten en bezwijken.

Om dit te voorkomen kan men de volgende oplossingen kiezen:

- a) van bovenaf terugdrukken, dus de bekleding ballasten of
- b) het water onder de bekleding weghalen, door middel van "bemalen".
- c) in geval van leegzetten het bewust lekmaken van de bekleding op een beperkt aantal plaatsen.

In eerste instantie is uitgegaan van oplossing a) of b).

Op alle hoofdvarianten zijn dus twee subvarianten ("bemalen" of "ballasten") onderzocht.

Oplossing c), het bewust lekmaken tijdens het leegzetten is een theoretische oplossing welke niet het vereiste effect van drukontlasting onder het gehele waterdichte oppervlak kan hebben. Die oplossing is onmogelijk.

Een globale kostenberekening van het schetsontwerp "bemalen" komt veel gunstiger uit dan "ballasten". Om deze reden is consequent voor bemalen gekozen bij de voorkeursvarianten.

Beide systemen zijn echter nog niet in details ontworpen en berekend. Voor de verdere studie zal hieraan eerst meer aandacht aan geschonken moeten worden voordat definitief voor "bemalen" gekozen kan worden.

- bodemaafdichting en aansluitingen

Bij alle varianten bestaat de dichte taludbekleding ter plaatse van de teen van de dijk uit een membraan dat geballast met zand-of met steenachtig materiaal beschermd is.

De bekkenbodemaafdichting bestaat in het noorden òf uit slib op de bekkenbodem `of uit een dieper liggende keileemlaag.

In het extreme zuiden vormt het Holoceen de bodemaafdichting en in zuid het Holoceen en/of de diep gelegen Eemkleilaag. Toepassen van Holoceen en Eemklei is kwalitatief het beste.

Voor het maken van de aansluiting is gebruik gemaakt van een diepwand of het doorzetten van het membraan van het talud.

Variaties met verschillende keuzen van de genoemde detailoplossingen zijn weergegeven in tabel 8.3.1

Op de tekeningen in het bijlagenrapport zijn complete dijkprofielen van een aantal subvarianten getekend evenals details van alle genoemde oplossingen.

8.2 Constructiedetails "type Grondmassief"

In deze paragraaf worden de constructiedetails beschreven welke in de hoofd- en sub-varianten zijn toegepast:

8.2.1 Taludbekleding bekkenzijde

- In het gebied met dagelijks wisselende waterstanden.

De taludbekledingen bestaat bij alle oplossingen uit een waterdichte asfaltbekleding met een onderlaag van zandasfalt. Zie detail 4 op bijlage 6, tekening PAC2-T-209. De bovenzijde is voorzien van een oppervlaktebehandeling welke beschadiging van de dichte asfaltlaag door weers-, water- en algeninvloed moet beschermen.

De bovenste laag asfalt is dicht asfaltbeton dik 5 cm; deze vervult de functie van waterdicht zijn. De tweede laag asfalt is binder, een open asfaltbeton, dik 7 cm. Deze dient als vlakke harde ondergrond voor de dichte laag en geeft de totale laag meer sterkte tegen uitwendige belastingen. De onderste laag is zandasfalt, dik 0,1 m, deze dient als schone werkvloer.

- taludbekleding onder laagste bekkenniveau.
Het talud aan de bekkenzijde onder de laagste waterstand kan op twee manieren zijn opgebouwd;

1. met een dikke gewichtslaag ("ballast") zie o.a. details 5 en 7 (tek. PAC2-T-218 bijlage 7
2. zonder ballast ("bemalen") zie o.a. details 6, 8 en 9 (tekening PAC2-T-219, bijlage 8).

Als waterdicht element is bij beiden gekozen voor een membraan vanwege de flexibiliteit, prijs en eenvoudige constructie. Een membraan moet echter wegens de geringe dikte wel beschermd worden tegen mechanische beschadigingen. Bij "ballast" wordt de bescherming geleverd door een dikke laag zand, welke op zijn beurt erosiebestendig gemaakt is met een filterachtige laag. Deze is 1 m dik tot waar op golfvloedend gerekend moet worden en 0,5 m dik, waar alleen op stroom in het bekken gedimensioneerd behoeft te worden. Bovendien dient deze laag als filter tijdens het verlagen van het bekkenpeil tot N.A.P. Bij "Bemalen" wordt alleen bescherming vereist, geen gewicht. Of in de "bemalen" oplossing nog enig ballast nodig is zal nog worden bestudeerd. Daar kan de beschermingslaag direct op het membraan aangebracht worden. Gekozen is voor een dikte van 1 m grint.

8.2.2 Aansluiting op bekkenbodemaafdichting

Er zijn vele oplossingen voor aansluiting van waterdichte binnentaludbekleding op bekkenbodemaafdichting. Er zijn twee hoofdgroepen te onderscheiden: a) membranen en b) diep-wanden. De principes hiervan zijn:

Groep a) het membraan van de taludafdichting doorzetten naar bekkenbodemaafdichting. Dit kan alleen als de bekkenbodemaafdichting niet te diep in de ondergrond zit, dus bij slibdekenafdichting en bij Holoceen, zie o.a. details 10 en 11 tekening PAC2-T-219, bijlage 8.

Groep b) diepwanden als verticale verbinding tussen de taludafdichting en de bekkenbodemaafdichting. Dit kan in principe naar alle dichte lagen in de ondergrond, alleen niet naar de eventuele slibdeken op bekkenbodem. Zie detail 13 tekening PAC2-T-219, bijlage 8.

Een nadere beschrijving van de aansluitingen van het dijktalud volgt hieronder:

Groep a) Membraanaansluitingen

Algemeen:

De overgang van de dijk op Holocene moet vloeiend zijn om lekkages tengevolge van verschilzettingen ter plaatse van de aansluiting te voorkomen. In principe wordt die gelijkmatige overgang gevonden door het toepassen van flauwe taluds zowel van de ophogingen als ingravingen.

Membraan op Holocene (detail 10 tekening PAC2-T-219, bijlage 8).

Werkwijze:

Opschonen van een strook Holocene na het opspuiten van het dijklichaam om Holocene zandafdekkingen en zandafzettingen tengevolge van het opspuiten van de dijk te verwijderen. Diepte van het opschonen is afhankelijk van op welke laag in het Holocene betrouwbaar aangesloten kan worden. Het membraan moet boven water gelast worden en daarna op het Holocene afgezonken. Op het membraan moet ter plaatse van de aansluiting op het Holocene een kleideken van gehomogeniseerde dik vloeibare klei aangebracht worden om de blijvende aansluiting te verzekeren en de waterdichtheid ervan te verbeteren.

Membraan onder het Holocene (detail 11 tekening PAC2-T-219, bijlage 8).

Deze oplossing heeft drie voordelen boven aansluiten op Holocene:

1. membraan ligt overal op zand van de dijk, gevaar van beschadigen membraan door verschilzetting van Holocene en dijk is afwezig.
2. het membraan kan korter zijn
3. gehele dikte van holocene wordt aangesloten aan membraan.

Een nadeel is de veel grotere diepte waarop het membraan aangebracht moet worden.

Groep b) Diepwandaansluitingen

Algemeen:

Diepwandaansluitingen worden vaak toegepast in ongevoerde ondergronden om aan te sluiten op een waterdichte geologische laag, meestal rots of dikke kleipakketten. In die zin zijn aansluitingen met diepwanden op Eemklei en keileem binnen het ervaringsgebied. Belangrijk is de kwaliteit van de kleilaag in drie opzichten: 1) aanwezigheid, 2) dikte en 3) waterdichtheid. Zowel van Eemklei als keileem moeten deze kwaliteiten nog vastgesteld worden.

Aansluiten met een diepwand op het zeer slappe Holoceen is problematischer doch lijkt mogelijk. Dit moet nader onderbouwd worden. Een extra probleem met diepwanden bij de PAC-dijken is de zandpannekoek vanaf het maaiveld op ca 4 m onder water tot 1,5 m er boven. Diepwanden door ophogingen zijn niet erg gebruikelijk doch wel toegepast. Ook hierna is verdere studie nodig.

De aansluiting van de diepwand op het membraan van de taludbekleding is steeds uitgevoerd door toepassen van een kleikist rond de kop van de diepwand en daarin het membraan horizontaal beëindigen.

Steeds is een dubbele diepwand toegepast, een van 0,8 m en een van 0,1 m dik om in de aanlegfase door leegpompen tussen deze wanden een controle te hebben op de kwaliteit van de wand en de aansluiting op de dichte laag. Dit systeem kan wellicht problemen geven bij aansluiten op Holoceen vanwege zettingsverschillen gevaar in horizontale en verticale richting tengevolge van het pompen. Dit vereist nadere studie.

Diepwandaansluiting op Eemklei of keileem (Zie details 9 en deel van 13 op tekening resp. PAC2-T-218 en 219).

De diepwand moet tot voldoende diepte in de laag doorgezet worden om een goede aansluiting te verzorgen.

Diepwandaansluiting op Holoceen (Zie detail 12 tekening PAC2-T-219).

De diepwand is doorgezet tot in de ondergrond om eventueel watervoerende lagen in het Holoceen (veen) af te sluiten.

Nadere studie inzake vervormingsgedrag van het dijklichaam en de ondergrond is bij deze constructie zeker nodig. Getwijfeld wordt aan de uitvoerbaarheid en de waterdichtheid door de grote deformaties die het Holoceen zal ondergaan.

8.2.3 Taludbekleding IJsselmeerzijde

Op het talud aan de IJsselmeerzijde van het bekken is bij elke variant klei toegepast. De klei met een begroeiing van gras moet er voor zorg dragen dat de microstabiliteit van het zand gewaarborgd blijft.

8.2.4 Filters

Filters zijn aan de IJsselmeerzijde, op het beneden-talud en in de dijkteen toegepast, zie details 1 t/m 3 tekening PAC2-T-209. De primaire functie is dijkzand tegenhouden en kwelwater uit dijk en ondergrond doorlaten. Het filter op het talud is als reserve voor het in de dijk gelegen systeem. In de dijkteen is vanaf de hoge berm tot ca N.A.P. +0,5 een schuine filterlaag aangebracht welke het kwelwater uit de dijk via de filterbuis en afvoerbuizen naar het IJsselmeer afvoert. Door de afvoer te monitoren kan inzicht in het veranderen van kwelpatronen en de oorzaken daarvan verkregen worden. De grote drainagekoker in de dijk dient tevens als inspectiekoker.

8.2.5 Drainage, zie detail 16 tekening PAC2-T-220

Bij bouwen op Holoceen is het nodig nabij de dijkteen aan de IJsselmeerzijde een kortsluiting te maken tussen de watervoerende lagen onder het Holoceen en het oppervlaktewater om drukopbouw onder het Holoceen te voorkomen.

Daartoe is een drainage door het Holoceen van grof zand, afgedekt met grintzand aangebracht.

8.2.6 Verticale drainage

Uit de verkennende berekeningen is gebleken dat fundering op het Holoceen klei/veenpakket weliswaar mogelijk is, maar tot flauwere taluds en een erg lange consolidatietijd (+ 50% aanpassing na 30 jaar) zal leiden.

Daarom is in het ontwerp uitgegaan van een verticale drainage in het Holoceen.

In eerste instantie zijn zandpalen toegepast; ander-soortige constructies worden niet uitgesloten maar behoeven nadere studie.

Aan de bekkenzijde van het hart van de dijk lopen de zandpalen niet tot de onderkant van het Holoceen door om te voorkomen dat water vanonder het Holoceen tot in de dijk dringt. Aan de IJsselmeerzijde wordt uitwisseling van water van onder en boven het Holoceen als wenselijk gezien om overdruk vanonder het Holoceen te voorkomen. De zandpalen gaan daar dwars door het Holoceen. Zie tekening PAC2-T-220.

8.2.7 Berijdbaarheid

Er zijn wegen gesitueerd op de berm aan de IJsselmeerzijde (details 1 t/m 3 PAC2-T-209) en op de kruin van het dijklichaam (detail 4, PAC2-T-209). Beide wegen zijn bedoeld voor inspectie, onderhoud en algemene bereikbaarheid van het PAC-bekken.

8.2.8 Peilbuizen

De peilbuizen zijn inspectie/controlemiddelen van de freatische lijn in het dijklichaam. In de buizen zijn signaalgevers aangebracht om de waterstand te meten.

De controle heeft de volgende functies:

- o conditiebewaking van waterdichte elementen
- o controle op werking van filters
- o vaststellen grens van veilig opereren PAC-bekken in relatie met waterdruk vanuit de dijk.
- o tevoren vaststellen van verhoogde faalkansen dijk, welke wellicht tot preventief onderhoud moeten leiden.

De meest juiste plaats en de benodigde aantallen en instrumentatie zal in de 2^e studiefase bestudeerd worden.

8.2.9 Golfoploop

Het talud aan de bekkenzijde en de betonblokken op de kruin van de zijk zijn als golfoplooprem ontworpen (detail 4 PAC2-T-209).

8.3 Voorkeursvarianten "type Grondmassief"

De keuze van voorkeursvarianten is gedaan naar aanleiding van verschil in kosten tussen subvarianten bij oplossingen die kwalitatief gelijkwaardig zijn. Indien vanuit betrouwbaarheid (veiligheid) een duurdere oplossing de voorkeur verdient is die gekozen. Voor de kostenaspecten zie Deelrapportage "Kosten" van deze rapportage.

Per locatie en bekkentype van respectievelijk D, E, F, G, H en K is een voorkeursvariant gekozen.

Voor een beschrijving van de constructieve aspecten wordt verwezen naar de hoofdstukken 8.2.1 t/m 8.2.9.

- Voor de duidelijkheid wordt hier kort opgesomd waarom van iedere groep aan een bepaalde variant de voorkeur wordt gegeven.
- Bij alle varianten wordt "bemalen" gekozen boven "ballast" vanwege kosten. Voor verdere uitleg zie 8.1.2.
 - Noord 18/12, te groot om overal keileem te verwachten, als bodemafdichting, dus is slib nodig.
Noord 24/16, geheel als 18/12.
Noord 40/26,5; 50/40 en 60/47,5. Klein genoeg om overal keileem te verwachten. Met diepwand op keileem aansluiten is goedkoper dan slibdeken toepassen:
Noot: keileemvoorkomen moet nog beter aangetoond worden!
 - Zuid en extreem zuid algemeen.
Gekozen is voor bouwen op grondverbetering vanwege geringe kosten en minder risico op tijdverlies door consolidatiegedrag van Holoceen ingeval van bouwen daarop.
 - Zuid algemeen.
Voor bekkenbodemafdichting is zowel Holoceen als Eemklei beschikbaar. Beide lagen gebruiken is de beste oplossing. Om de oplossingen onderling vergelijkbaar te houden kwalitatief en in geld, is slechts één laag, het Holoceen, als bekkenbodemafdichting benut.
 - Zuid 24/16.
Membraanaansluiting op Holoceen is verkozen boven diepwand in Holoceen gezien technische problemen (zie 8.2.2. groep b "diepwanden"). Membraan op Holoceen is gekozen boven membraan onder aan het Holoceen vanwege lagere kosten. Bij deze beperkte hoogte van de dijk lijkt aansluiting onder aan het Holoceen niet nodig.
 - Zuid 40/26,5; 50/40 en 60/47,5.
In principe als zuid 24/16. De aansluiting van het membraan aan het Holoceen dient onder aan te geschieden om scheuren ervan ten gevolge van vershilzettingen te voorkomen.
 - Extreem zuid 40/26,5; 50/40 en 60/47,5
Geheel als bij varianten in zuid
Een tabel van alle varianten is na deze bladzijde voorafgaand aan de beschrijving van de voorkeursvarianten opgenomen:
Tabel 8.3.1. "Dijkvarianten compleet overzicht, in 3 bladen"
De voorkeursvarianten zijn in de kolom "variant" omkaderd.

SECTOR	VARIANT	BEKKEN TYPE	BIJZONDERHEDEN	BALLAST OF BEMALEN	AANSLUITING DIJK MET BODEM	BODEM AFDICHTING	BIJLAGE NUMMER	TEKENING NUMMER
NOORD	D a	18/12	SLIBLAAG OVER 50 KM ² NODIG	BALLAST	MEMBRAAN	SLIB	3	PAC2-T-206
NOORD	D b	18/12	SLIBLAAG OVER 50 KM ² NODIG	BEMALEN	MEMBRAAN	SLIB	4	PAC2-T-207
NOORD	E a	24/16	SLIBLAAG OVER 35 KM ² NODIG	BALLAST	MEMBRAAN	SLIB	3	PAC2-T-206
NOORD	E b	24/16	SLIBLAAG OVER 35 KM ² NODIG	BEMALEN	MEMBRAAN	SLIB	4	PAC2-T-207
NOORD	F a	40/26,5	SLIBLAAG OVER 16 KM ² NODIG	BALLAST	MEMBRAAN	SLIB		
NOORD	F b	40/26,5	SLIBLAAG OVER 16 KM ² NODIG	BEMALEN	MEMBRAAN	SLIB		
NOORD	F c	40/26,5	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BALLAST	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM	3	PAC2-T-206
NOORD	F d	40/26,5	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM	4	PAC2-T-207
NOORD		50/40	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM	13	PAC2-T-239
NOORD		60/47,5	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM	13	PAC2-T-239

SECTOR	VARIANT	BEKKEN TYPE	BIJZONDERHEDEN	BALLAST OF BEMALEN	AANSLUITING DIJK MET BODEM	BODEM AFDICHTING	BIJLAGE NUMMER	TEKENING NUMMER
ZUID	K 1a	24/16	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	MEMBRAAN HORIZONTAAL	HOLOCEEN		
ZUID	K 1b	24/16	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	MEMBRAAN HORIZONTAAL	HOLOCEEN		
ZUID	K 1c	24/16	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	K 1d	24/16	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN	5	PAC2-T-208
ZUID	K 2a	24/16	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	K 2b	24/16	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	K 2c	24/16	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	K 2d	24/16	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	K 2e	24/16	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	K 2f	24/16	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	DIEPWAND	EEMKLEI	5	PAC2-T-208
ZUID	H 1a	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	MEMBRAAN HORIZONTAAL	HOLOCEEN	3	PAC2-T-206
ZUID	H 1b	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	MEMBRAAN HORIZONTAAL	HOLOCEEN		
ZUID	H 1c	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	H 1d	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN OF EEMKLEI	4	PAC2-T-207
ZUID	H 2a	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	3	PAC2-T-206
ZUID	H 2b	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	4	PAC2-T-207
ZUID	H 2c	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	H 2d	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID	H 2e	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	H 2f	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN		
ZUID	H 2g	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	DIEPWAND	EEMKLEI		
ZUID	H 2h	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	DIEPWAND	EEMKLEI		
ZUID		50/40	MET GRONDVERBETERING, DIEPW. MOET OP EEMKLEI AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND	EEMKLEI		
ZUID		50/40	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
ZUID		60/47,5	MET GRONDVERBETERING, DIEPW. MOET OP EEMKLEI AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR EEMKLEI	EEMKLEI		
ZUID		60/47,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		

SECTOR	VARIANT	BEKKEN TYPE	BIJZONDERHEDEN	BALLAST OF BEMALEN	AANSLUITING DIJK MET BODEM	BODEM AFDICHTING	BIJLAGE NUMMER	TEKENING NUMMER
EXTREEM ZUID	G 1a	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	3	PAC2-T-20
EXTREEM ZUID	G 1b	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 1c	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 1d	40/26,5	OP HOLOCEEN MET ZANDPALEN	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN	4	PAC2-T-20
EXTREEM ZUID	G 2a	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	3	PAC2-T-30
EXTREEM ZUID	G 2b	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN	4	PAC2-T-20
EXTREEM ZUID	G 2c	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 2d	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 2e	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BALLAST	DIEPWAND	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID	G 2f	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	DIEPWAND	HOLOCEEN		
EXTREEM ZUID		50/40	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN	14	PAC2-T-26
EXTREEM ZUID		60/47,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBR. HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN	14	PAC2-T-26

8.3.1 Beschrijving per voorkeursvariant

Op de navolgende bladzijden is per voorkeursvariant aangegeven:

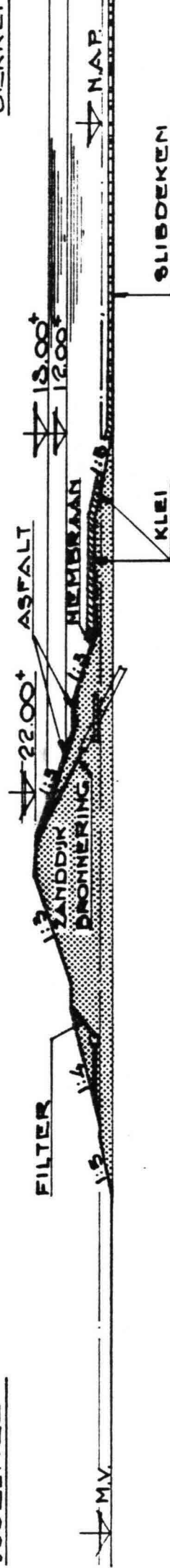
- constructieschets met belangrijkste benamingen en maatvoering
- belangrijkste kenmerken van deze voorkeursvariant
- omschrijving van deze voorkeursvariant.

PAC. DIJK LAAG BEKKEN, NOORD

USSELMEER

VARIANT D.B.

BEKKEN



BESCHRIJVING VOORKEURSVARIANT Db

Kenmerken:

- Locatie : Noord
- Bekkentype : 18/12
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : slibdeken
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt, membraan en klei
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemaafdichting : membraan en klei aangesloten op slibdeken

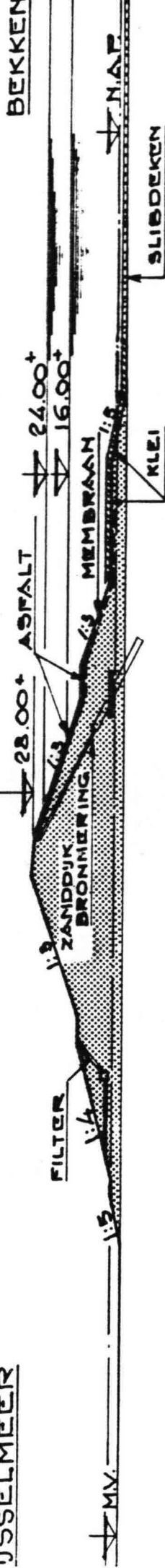
Beschrijving:

Zanddijk op zandondergrond. Bemaling t.b.v. leegzetten bekken. Deze oplossing vergt voor de bekkenbodemaafdichting een slibdeken. Daarvoor is ca $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ klei nodig. Deze oplossing is daardoor duur.

PAC. DIJK MIDDEN BEKKEN, NOORD

USSELMEER

VARIANT E.B.



BESCHRIJVING VOORKEURSVARIANT Eb

Kenmerken:

- Locatie : Noord
- Bekkentype : 24/16
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : slibdeken
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt, membraan en klei
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan en klei aangesloten op slibdeken

Beschrijving:

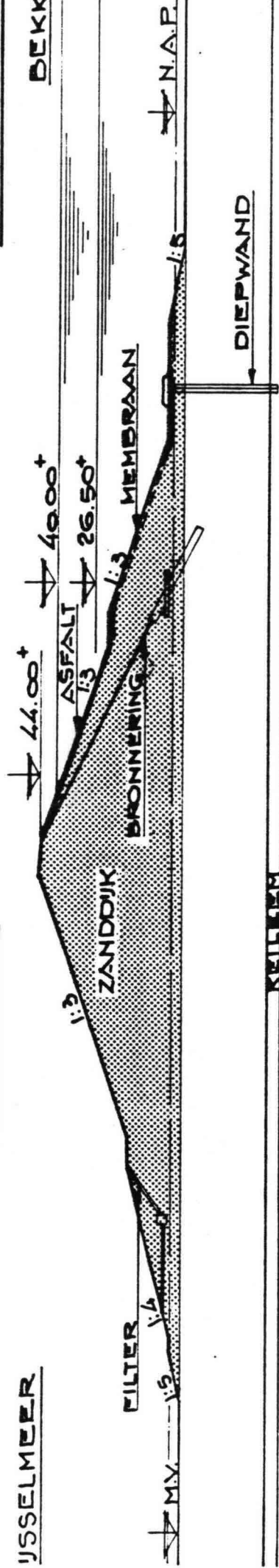
Zanddijk op zand ondergrond. Bemaling t.b.v. leegzetten bekken. Deze oplossing vergt ca 35 x 10⁶ m³ klei welke benodigd is voor de bekkenbodemafdichting. Deze oplossing is daardoor duur.

PAC. DIJK HOOG BEKKEN, NOORD

VARIANT F.d

USSELMEER

BEKKEN



BESCHRIJVING VOORKEURS-VARIANT Fd

Kenmerken:

- Locatie : Noord
- Bekkentype : 40/26,5 m
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : keileem
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan van taludbekleding aangesloten op diepwand welke ingekast is in de keileem

Beschrijving:

Zanddijk op ondergrond. Voorkeur ook bij deze oplossing voor een "bemalen" dijk boven "geballast". Voor de bekkenbodemafdichting is gekozen voor een geologische laag in de ondergrond; keileem. De taludbekleding wordt daarop aangesloten met behulp van een diepwand. Qua techniek en ervaring is de constructie met een diepwand beter bekend dan aansluiten met een membraan aan een slibdeken van de bekkenbodem.

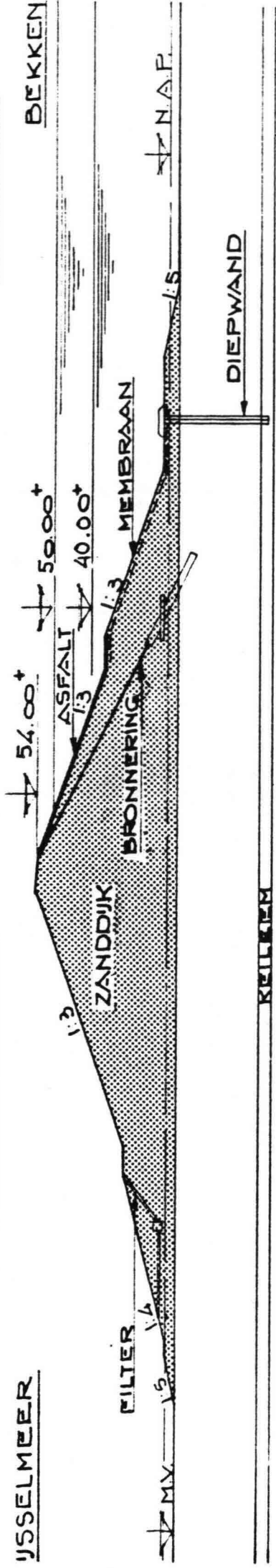
Opmerking: Aansluiten op keileemlaag lijkt reëel. Aangevoerd moet nog worden dat de aanwezigheid en kwaliteit voldoende is. Als toch een slibdeken als bekkenbodemafdichting nodig is, is dat veel duurder.

PAC. DIJK HOOG BEKKEN NOORD

VARIANT

JSSELMEER

BEKKEN



BESCHRIJVING VOORKEURS-VARIANT

Kenmerken:

- Locatie : Noord
- Bekkentype : 50/40 m
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : keileem
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemaafdichting : membraan van taludbekleding aangesloten op diepwand welke ingekast is in de keileem

Beschrijving:

Zanddijk op ondergrond. Voorkeur ook bij deze oplossing voor een "bemalen" dijk boven "geballast". Voor de bekkenbodemaafdichting is gekozen voor een geologische laag in de ondergrond; keileem. De taludbekleding wordt daarop aangesloten met behulp van een diepwand. Qua techniek en ervaring is de constructie met een diepwand beter bekend dan aansluiten met een membraan aan een slibdeken van de bekkenbodem.

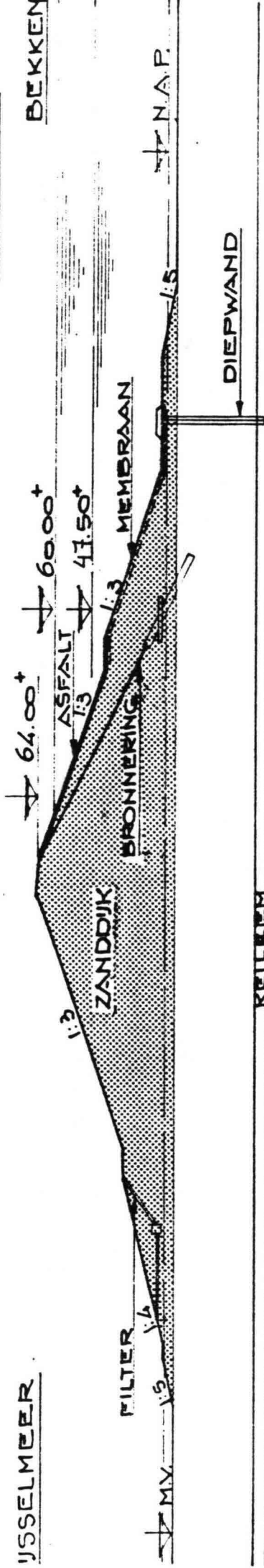
x Opmerking: Aansluiten op keileemlaag lijkt reëel. Aangehouden moet nog worden dat de aanwezigheid en kwaliteit voldoende is. Als toch een slibdeken als bekkenbodemaafdichting nodig is, is dat veel duurder.

PAC. DIJK HOOG BEKKEN NOORD

VARIANT

USSELMEER

BEKKEN



BESCHRIJVING VOORKEURSVARIANT

Kenmerken:

- Locatie : Noord
- Bekkentype : 60/47,5 m
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : keileem
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemaafdichting : membraan van taludbekleding aangesloten op diepwand welke ingekast is in de keileem

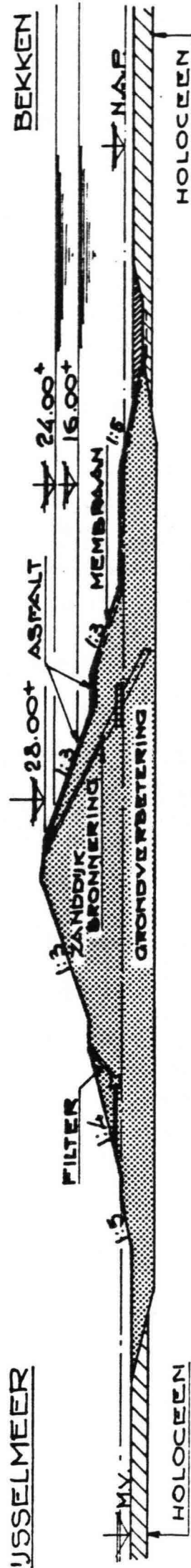
Beschrijving:

Zanddijk op ondergrond. Voorkeur ook bij deze oplossing voor een "bemalen" dijk boven "geballast". Voor de bekkenbodemaafdichting is gekozen voor een geologische laag in de ondergrond; keileem. De taludbekleding wordt daarop aangesloten met behulp van een diepwand. Qua techniek en ervaring is de constructie met een diepwand beter bekend dan aansluiten met een membraan aan een slibdeken van de bekkenbodem.

x Opmerking: Aansluiten op keileemlaag lijkt reëel. Aangetoond moet nog worden dat de aanwezigheid en kwaliteit voldoende is. Als toch een slibdeken als

PAC. DIJK MIDDEN BEKKEN ZUID

VARIANT K.2.b



BESCHRIJVING VOORKEURSVARIANT K2b

Kenmerken:

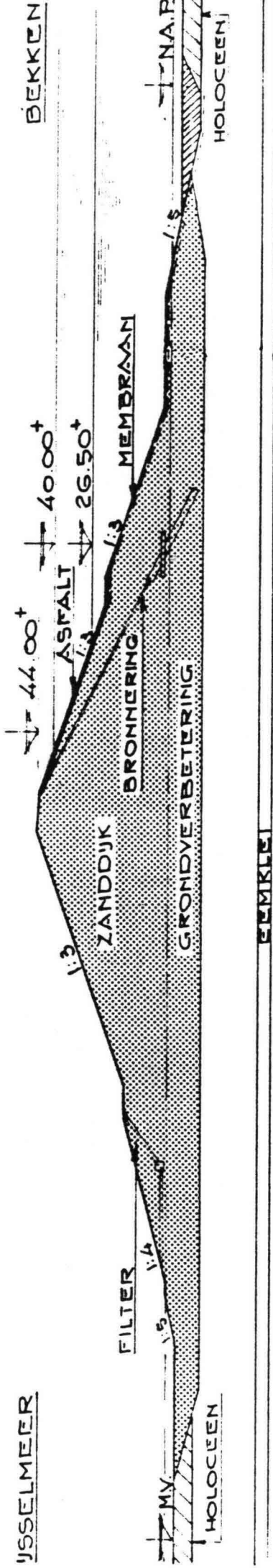
-	Locatie	:	Zuid
-	Bekkentype	:	24/16 m
-	Kruinelement	:	geen
-	Kwelbeperking bekkenbodem	:	holoceen
-	Kwelbeperking dijktalud	:	asfalt en membraan
-	Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken	:	bemaling
-	Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting	:	membranaansluiting op het holoceen

Beschrijving:

Zanddijk op grondverbetering. Ter plaatse van de dijk is het holoceen vervangen door zand.
 Voor de aansluiting op de bekkenbodem is gekozen voor een membranaansluiting op het holoceen.

PAC. DIJK HOOG BEKKEN, ZUID

VARIANT H.2.d



BESCHRIJVING VOORKEURS-VARIANT H2d

Kenmerken:

- Locatie : Zuid
- Bekkentype : 40/26,5 m
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : ongestoord holocene
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan van dijk door-zetten tot onder holocene

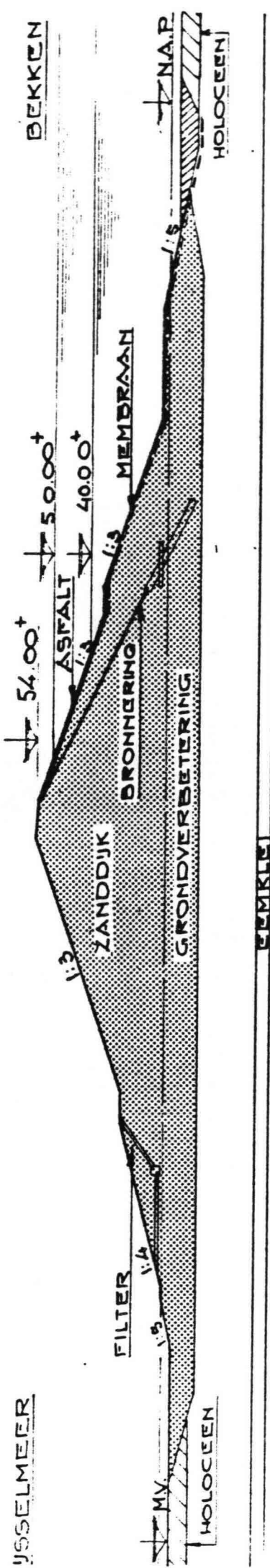
Beschrijving:

Zanddijk op grondverbetering. Ter plaatse van de dijk is het holocene vervangen door zand.

Op deze locatie zijn twee in principe waterdichte lagen in de ondergrond aanwezig. Omdat juist de aansluiting van de waterdichte taludbekleding op het waterdichte element in de ondergrond het moeilijkste probleem van het dijkontwerp vormt, zou een dubbele uitvoering de beste zijn. Vanwege onderlinge vergelijking met andere oplossingen is toch

PAC. DIJK HOOG BEKKEN, ZUID

VARIANT



BESCHRIJVING VORKEURS-VARIANT

Kenmerken:

-	Locatie	:	Zuid
-	Bekkentype	:	50/40 m
-	Kruinelement	:	geen
-	Kwelbeperking bekkenbodem	:	ongestoord holocene
-	Kwelbeperking dijktalud	:	asfalt en membraan
-	Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken	:	bemaling in dijk
-	Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemaafdichting	:	membraan van dijk doorzetten tot onder holocene

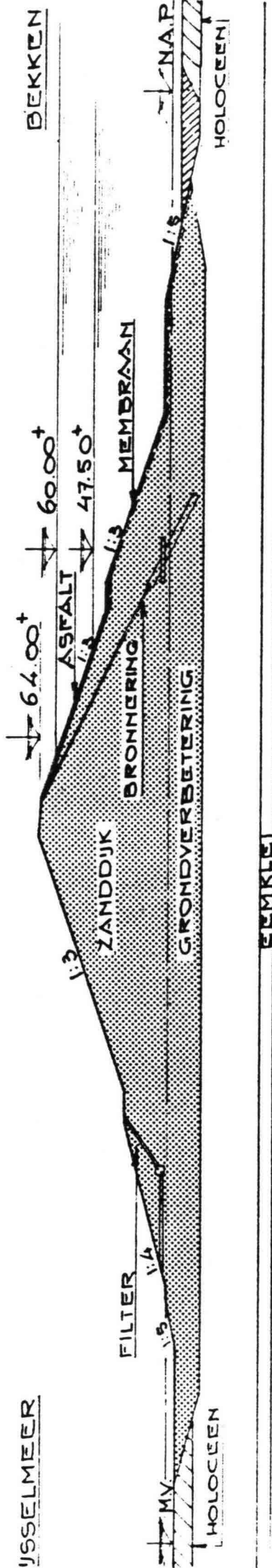
Beschrijving:

Zanddijk op grondverbetering. Ter plaatse van de dijk is het holocene vervangen door zand.

Op deze locatie zijn twee in principe waterdichte lagen in de ondergrond aanwezig. Omdat juist de aansluiting van de waterdichte taludbekleding op het waterdichte element in de ondergrond het moeilijkste probleem van het dijkontwerp vormt, zou een dubbele uitvoering de beste zijn. Vanwege onderlinge vergelijking met andere oplossingen is toch gekozen voor een membraanaansluiting ~~aan~~ het holocene.

PAC. DIJK HOOG, BEKKEN, ZUID

VARIANT



BESCHRIJVING VOORKEURSVARIANT

Kenmerken:

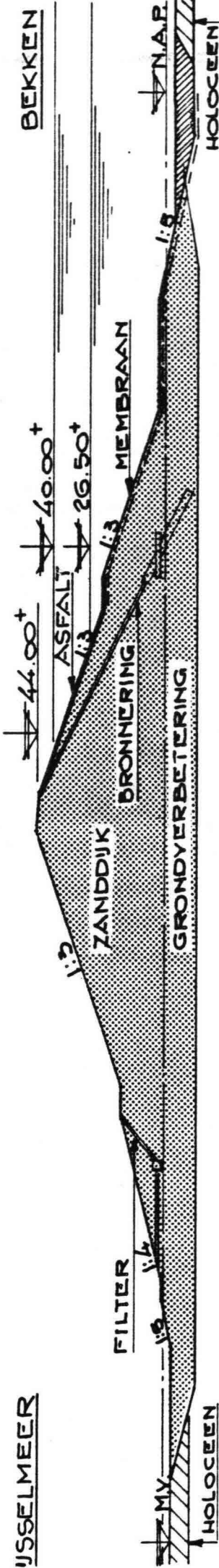
- Locatie : Zuid
- Bekkentype : 60/47,5 m
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : ongestoord holocene
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan van dijk door-
: zetten tot onder holocene

Beschrijving:

Zanddijk op grondverbetering. Ter plaatse van de dijk is het holocene vervangen door zand. Op deze locatie zijn twee in principe waterdichte lagen in de ondergrond aanwezig. Omdat juist de aansluiting van de waterdichte taludbekleding op het waterdichte element in de ondergrond het moeilijkste probleem van het dijkontwerp vormt, zou een dubbele uitvoering de beste zijn. Vanwege onderlinge vergelijking met andere oplossingen is toch gekozen voor een membraanaansluiting onder het holocene.

PAC. DIJK HOOGBEKKEN, EXTREEM ZUID

VARIANT G.2.d



BESCHRIJVING VOORKEURSVARIANT G2d

Kenmerken:

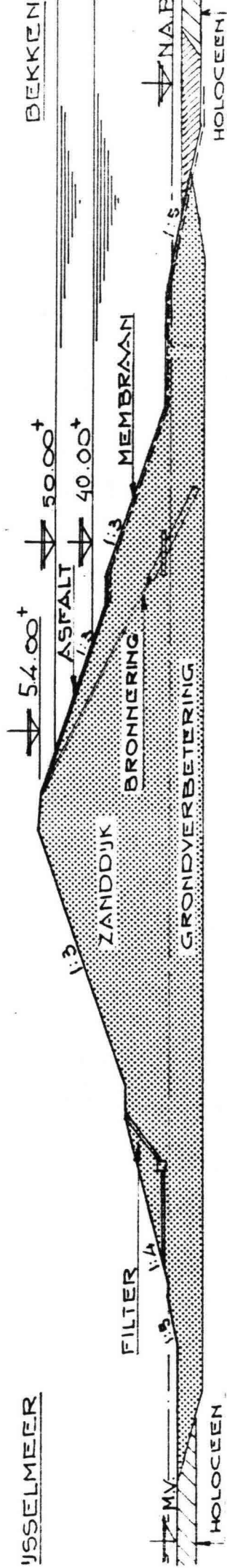
- Locatie : Extreem Zuid
- Bekkentype : 40/26,5 m
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : aanwezige holocene laag in de ondergrond van meerbodem tot ca NAP -11
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemalen
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan onder aan holocene met een klei afdekking

Beschrijving:

Zanddijk op een grondverbetering. Het holocene onder de dijk is vervangen door zand. Deze constructie is goedkoper dan bouwen op het holocene. Als aansluiting van de dijk-bekleding aan de bekkenbodem is gekozen voor een membraan boven een diepwand. De betrouwbaarheid wordt door de grotere flexibiliteit van het membraan groter geacht. Met name het detail van de waterdichte aansluiting op het holocene behoeft verdere studie. Deze oplossing gaat er van uit dat het Holocene overal in voldoende dikte en redelijk waterdicht aanwezig is. Grondonderzoek moet deze aanname bevestigen.

PAC. DIJK HOOG BEKKEN, EXTR. ZUID

VARIANT



Kenmerken:

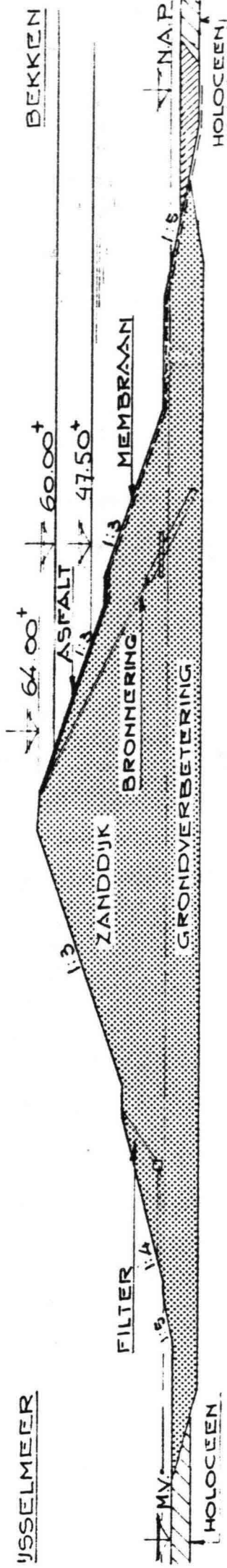
-	Locatie	:	Extr. Zuid
-	Bekkentype	:	50/40 m
-	Kruinelement	:	geen
-	Kwelbeperking bekkenbodem	:	ongestoord holoceen
-	Kwelbeperking dijktalud	:	asfalt en membraan
-	Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken	:	bemaling in dijk
-	Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting	:	membraan van dijk doorzetten tot onder aan holoceen

Beschrijving:

Geheel als voorgaande oplossing

PAC. DIJK HOOG BEKKEN, EXTR. ZUID

VARIANT



Kenmerken:

- Locatie : Extr. Zuid
- Bekkentype : 60/47,5 m
- Kruinelement : geen
- Kwelbeperking bekkenbodem : ongestoord holoceen
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan van dijk doorzetten tot onder aan holoceen

Beschrijving:

Geheel als voorgaande oplossing

8.4 Constructiedetails, "type alternatieve constructies"

8.4.1 Inleiding

In hfdst 5.3 is op grond van globale berekeningen en kostenvergelijkingen gekonkludeerd dat als alternatieve waterkering een combinatie van een dijk met daarop een kist (uitgevoerd in beton of gewapende grond) aantrekkelijk zou kunnen zijn. Tevens is aangegeven welke kerende hoogtes voor de verschillende kist-types beschouwd moeten worden.

Hier worden deze alternatieven meer in detail beschreven. Voor alle oplossingen geldt dat vorm en hoogte bepaald zijn op grond van een zeer grove optimalisatie; bij een evt. verdere ontwikkeling dient nauwkeuriger geoptimaliseerd te worden en moeten ook gebruikseisen ten aanzien van vorm en hoogte meegenomen worden.

Een specifiek probleem bij de alternatieve waterkeringen is de afdichting.

De kritische details bij de beschouwde kistoplossingen zijn:

- afdichting/aansluiting tussen elementen onderling (speciaal bij gewapende grond)
- aansluiting op dijkbekleding

De volgende algemene eisen kunnen geformuleerd worden:

- zo dicht mogelijk/flexibel/duurzaam (in verband met zettingsverschillen en wisselbelasting)
- falen afdichting mag niet leiden tot bezwijken kunstwerk of dijklichaam (evenwichtsverlies, piping)

Tegen de achtergrond van deze eisen zijn enige reëel lijkende details ontwikkeld, die hierna weergegeven worden.

Een verdere diepgaande studie met betrekking tot deze problematiek is echter vereist. Van groot belang daarbij is de ontwikkeling van de risico-analyse met betrekking tot deze details.

In principe kunnen alle dijkvarianten voor het hoge en middenbekken (met uitzondering van oplossingen op holocene) gecombineerd worden met een kist-element.

Ten behoeve van de overzichtelijkheid zijn slechts een beperkt aantal combinaties dijkvariant-kistelement gemaakt (zie tabel 8.4.1)

De hieruit volgende tendenzen gelden ook voor andere combinaties.

8.4.2 Dijkvarianten F, G2, H2 - Alternatief 1, 2, 3, 4.
(Hoog bekken, alternatief kist op dijk)

De volgende alternatieven zijn bekeken:

altern.	type kist	hoogte kist (m)	kruin dijk (m NAP)	opmerkingen
1	beton	15	+30	Te combineren met varianten (F, G ₂ , H ₂)
2	gew. grond	15	+30	
3	gew. grond	25 (15 + 10)	+20	
4	gew. grond	25 (15 + 10)	+20	met centrale diepwand en "open" talud aan bekkenzijde

Op tekening PAC2-T-221 zijn ter illustratie een aantal oplossingen gegeven voor de noordelijke locatie. (variant Fd met kist)

Tekening PAC2-T-229 geeft mogelijke details voor de kistoplossing en de aansluiting op het dijklichaam.

Beschrijving alternatief 1: Beton-kist h = 15,0 m

Algemeen

De kist is trapeziumvormig van doorsnede hoogte bekkenzijde 15,50 m hoogte IJsselmeerzijde 8,0 m, breedte 15,0 m. Het fundatienivo is 28,50 m + NAP.

De kruinhoogte van de dijk is 30,00 m + NAP. De kruinbreedte is 30,00 m. Aan IJsselmeerzijde is een weg geprojecteerd.

De kist wordt gevuld met zand; ter afsluiting kan aan de bovenzijde bijvoorbeeld een kleilaag aangebracht worden. De wijze van uitvoering van de kist - ter plaatse gestort of opgebouwd uit prefab elementen - staat nog open.

Afdichting en aansluiting op dijkbekleding

In par. 8.4.1 is reeds ingegaan op deze problematiek. Als afdichting voor de verticale voeg tussen de afzonderlijke elementen kan bijvoorbeeld een (vervangbare) rubberstrip, met daarachter een elastische vulling, toegepast worden. Zettingsverschillen ter plaatse van deze voeg zijn te voorkomen door nokken in de wanden toe te passen.

De aansluiting van de kist met de dijkbekleding is dubbel uitgevoerd, zie tek PAC2-T-229. De eerste dichting wordt gerealiseerd met asfaltmastiek. De voeg tussen betonconstructie en asfaltmastiek wordt door de waterdruk dichtgedrukt; tevens is nog een voegstrip toegepast. De mastieklaag sluit aan op de asfaltbekleding van de dijk.

De tweede dichting is een flexibel membraan, aan de ene zijde bevestigd aan de betonconstructie aan de andere zijde aansluitend op de asfaltbekleding. Tussen beide dichtingen bevindt zich grind.

Er zijn voorzieningen gepland om de druk in deze ruimte meten en om het water hieruit af te laten. (ten behoeve van detectie lekkage en vermijden van overdrukken) Om bij falen van de complete afdichting piping te voorkomen is aan IJsselmeerzijde een zanddicht filter geplaatst. Het filterdoek is flexibel aangesloten op de betonconstructie.

Verdere studie met betrekking tot gedrag/betrouwbaarheid van de genoemde details is - zoals eerder opgemerkt - vereist.

Overige dijkdetails

Hiervoor wordt verwezen naar de beschrijving van de dijkvarianten.

Beschrijving alternatief 2: Gewapende grond-kist
h = 15,0 m

Algemeen

De wanden van de kist zijn opgebouwd uit prefab beton panelen. Aan deze panelen zijn stalen verankeringsstrippen bevestigd. De door de grondvulling op de wand uitgeoefende krachten worden via deze ankers afgevoerd naar het inwendige van het grondmassief, buiten de actieve zone. Voor de uitwendige stabiliteit gedraagt een kistdam in gewapende grond, zich als een gewichtconstructie, bijvoorbeeld een caisson of L-muur.

De constructie wordt laagsgewijs opgebouwd:

- betonpaneel plaatsen
- laag zand aanbrengen en verdichten
- ankerstrippen aanbrengen etc.

De hoogte van de kist is 15,0 m. Ten behoeve van de prijsvergelijking is in eerste instantie uitgegaan van een rechthoekige kist. Dit leidt tot een vereiste breedte van ook circa 15,0 m.

(Bij een nadere optimalisatie, uitgevoerd in samenwerking met de vertegenwoordigde firma - Terre Armée - is gebleken dat het economischer is de bekkenzijde van de kist enigszins hellend uit te voeren; dit leidt tot besparingen op de verankeringsstrippen, zie ook hoofdstuk 8.4.4.

Het fundatienivo is 28,50 + NAP. De betonpanelen worden gesteld op fundatiestroken. De kruin van de dijk is als omschreven voor de betonkist

Afdichting en aansluiting op dijkbekleding

Een wezenlijk probleem bij dit alternatief is de afdichting van de voegen tussen de betonpanelen aan bekkenzijde; een belangrijke factor daarbij is de grootte van de optredende (gedeeltelijk wisselende) vervormingen.

Mogelijkheden zijn:

1. dichting vóór de panelen: "behangen" aan bekkenzijde
2. dichting in de voeg tussen de panelen
3. afdichtende laag achter de panelen; een complicatie hierbij zijn de door de laag stekende verankeringsstrippen.

Als secundaire dichting kan achter de betonpanelen een dichte laag (bijvoorbeeld asfaltmastiek) aangebracht worden. In verband met het mogelijk optreden van lekkage dient de kist met goed doorlatend zand gevuld te worden.

Aan de IJsselmeerzijde van de kist is een (zanddichte) drainage aangebracht. Afhankelijk van de resultaten van berekeningen met betrekking tot de waterstroming door de kust en het dijklichaam (bij een bepaalde lekgrootte) kan het noodzakelijk zijn de voegen van de panelen aan IJsselmeerzijde af te plakken met een zanddicht filterdoek. De aansluiting van de gewapende grondkist op de dijkbekleding kan gerealiseerd worden door een fundatiestrook plus een aanzet van de wand als een geheel uit te voeren. Hierdoor kan in principe het detail als besproken bij de betonkist toegepast worden.

Opm: Ook ten aanzien van de afdichtingsdetails is nog overleg gaande met de vertegenwoordigde firma. Hierbij wordt onder andere de ervaring opgedaan met gewapende grond stuwdammen in Amerika ingebracht.

Overige dijkdetails

Hiervoor wordt verwezen naar de beschrijving van de dijkvarianten.

Beschrijving alternatief 3: gewapende grond-kist

h = 25 m

De kist heeft hier een totale hoogte van 25 m en is trapsgewijs opgebouwd uit twee blokken. Het bovenste blok is 15 bij 15 m, het onderste 27,5 bij 10 m. De wand aan de bekkenzijde is vertikaal. (Ook hier geldt weer dat een licht hellende wand wat economischer zal zijn.)

Het fundatienivo is 18,50 + NAP. De kruinhoogte van de dijk is 20 + NAP, de kruinbreedte is 42,5 m. De verdere details komen in principe overeen met alternatief 2.

Beschrijving alternatief 4: gewapende grond-kist h = 25 m, met centrale diepwand naar keileemlaag.

De afmetingen van de gewapende grond-kist zijn hetzelfde als bij alternatief 3. De afdichting van het bekken wordt nu echter gerealiseerd door de centrale diepwand naar de keileemlaag en niet door de taludbekleding van de dijk.

Voor details betreffende de diepwand wordt verwezen naar de beschrijving van de dijkvarianten. De diepwand moet aangesloten worden op de kistwand aan de bekkenzijde. Dit kan bijvoorbeeld via de fundatiestrook van de kistwand.

De afdichting van de kistwand kan overeenkomstig alternatief 2 gerealiseerd worden.

Voor het dijktalud aan bekkenzijde kan volstaan worden met het aanbrengen van een filter; het talud moet echter flauwer worden dan bij een gesloten bekleding.

8.4.3 Dijkvarianten E, K2 - alternatief 1,2
(Midden bekken, alternatief kist op dijk)

De volgende alternatieven zijn bekeken:

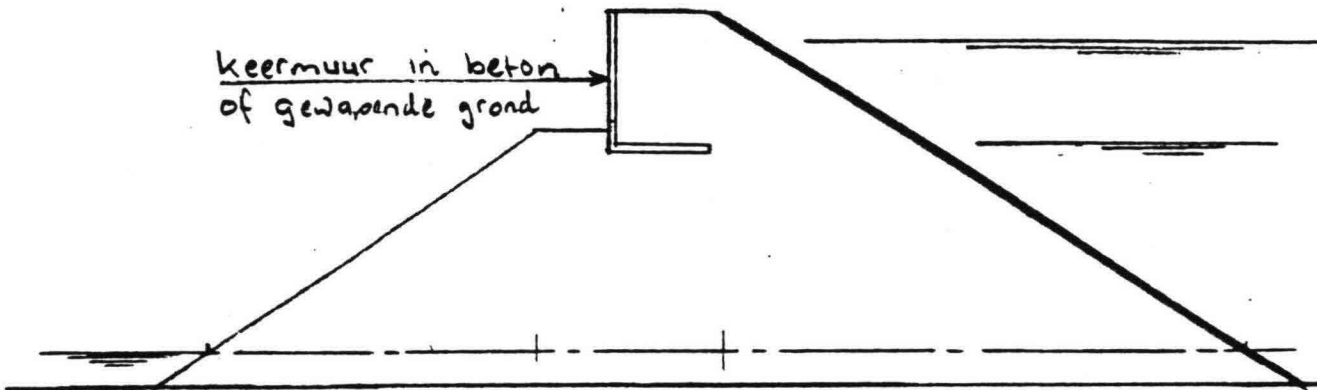
altern.	type kist	hoogte kist (m)	kruin dijk (m NAP)	opmerkingen
1	beton	11	+18	Te combineren met varianten (E, K ₂)
2	gew. grond	15	+14	

Op tekening PAC2-T-222 zijn oplossingen gegeven voor de noordelijke locatie. (variant Eb met kist)
Tek. PAC2-T-229 geeft mogelijke details voor de kistoplossing en de aansluiting op het dijklichaam.

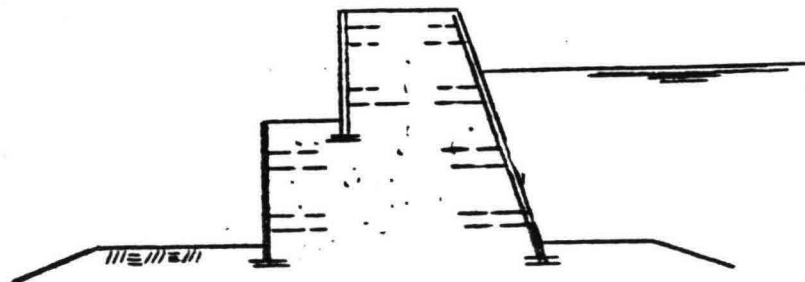
Afgezien van de afmetingen komen de aangegeven alternatieven volledig overeen met de alternatieven 1 en 2 voor het hoge bekken. Voor de beschrijving wordt verwezen naar par. 8.4.2

8.4.4 Opmerkingen ten aanzien van de verdere ontwikkeling van alternatieve waterkeringen.

- Wanneer uit een verdere analyse met betrekking tot de afdichtingsproblematiek blijkt dat hierdoor de veiligheidseis van het totale systeem niet (economisch) meer gehaald kan worden, kan het aantrekkelijk worden alleen aan de IJsselmeerzijde een grondkering toe te passen, zie schets. Aan de bekkenzijde kan dan de taludbekleding van de dijk doorlopen.



- In Amerika is gewapende grond toegepast in enkele stuwdammen. (zie Civil Engineering ASCE, oct. 1983).
Via "Terre Armée" worden zoveel mogelijk gegevens betreffende deze toepassingen verzameld.
- Volgens een recente prijsopgave is het voordelig om bij kistdammen in gewapende grond de wand aan bekkenzijde hellend te plaatsen in plaats van verticaal.



Hiermee wordt een besparing op verankeringsstrippen gerealiseerd. De besparingen liggen volgens opgave in de orde van 15% ten opzichte van een verticale wand.

- Ten behoeve van een project als het PAC-bekken kan het standaard gewapende grond-systeem uiteraard aangepast en geoptimaliseerd worden. Hierbij kan gedacht worden aan de toepassing van grotere panelen en speciale voegdetaileringen in verband met de afdichting.

Een nadere uitwerking ook voor de bekken 50/40 en 60/47.5 heeft inmiddels plaatsgevonden. Deze ontwikkeling is als bijlage 17 toegevoegd.

8.5 Voorkeursvarianten "type alternatieve constructies"

In tabel 8.4.1 "Alternatieve constructies" is een overzicht gegeven van de combinaties voorkeursvariant dijk - kruinelement.

Op grond van kostenvergelijkingen zijn uit deze tabel een aantal voorkeursvarianten geselecteerd, waarvan vervolgens een verdere beschrijving is gegeven. Hierin zijn tevens de voorkeursvarianten voor 50/40 en 60/47.5 m bekkens opgenomen. De uitwerking van deze varianten is te vinden in bijlage 17.

Op de navolgende bladzijden is per voorkeursvariant aangegeven:

- constructieschets met belangrijkste benamingen en maatvoering
- belangrijkste kenmerken van deze voorkeursvariant
- omschrijving van deze voorkeursvariant.

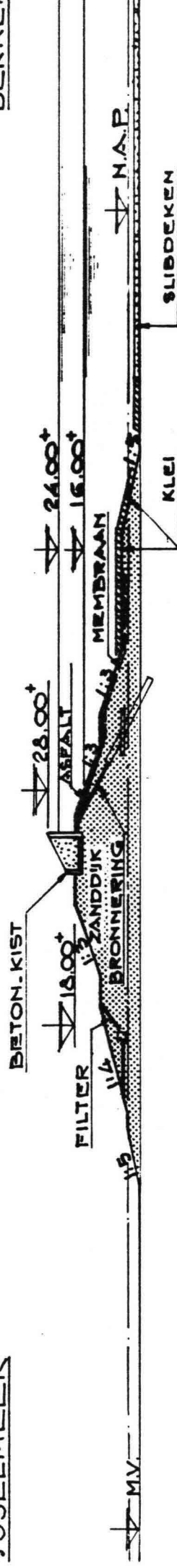
SECTOR	VARIANT HFD SUB	BEKKEN TYPE	BIJZONDERHEDEN	BALLAST OF BEMALEN	AANSLUITING DIJK MET BODEM	BODEM AFDICHTING	BIJLAGE NUMMER	TEKENING NUMMER
NOORD	E b	24/16	SLIBLAAG OVER 35 KM ² NODIG	BEMALEN	MEMBRAAN	SLIB		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 18.0	"	"	"	11	PAC2-T-222
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 14.0	"	"	"	11	PAC2-T-222
"	F d	40/26,5	DIEPWAND MOET OP KEILEEM AANSLUITEN	BEMALEN	DIEPWAND NAAR KEILEEM	KEILEEM		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"	10	PAC2-T-221
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"	10	PAC2-T-221
"	ALT 3	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	"	"	10	PAC2-T-221
"	ALT 4	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	CENTR. DIEPW. NAAR KEILEEM	"	10	PAC2-T-221
"		50/40	GEW. GROND-KIST OP DIJK + 30	BEMALEN	DIEPWAND	KEILEEM		
"		"	HALVE GEW. GROND-KIST OP DIJK + 30	"	"	"		
"		60/47,5	GEW. GROND-KIST OP DIJK + 35	BEMALEN	DIEPWAND	KEILEEM		
"		"	HALVE GEW. GROND-KIST OP DIJK + 35	"	"	"		
ZUID	K 2b	24/16	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBRAAN OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 18.0	"	"	"		
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 14.0	"	"	"		
"	H 2b	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	BEMALEN	MEMBRAAN HOR OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"		
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"		
"	ALT 3	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	"	"		
"	ALT 4	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	CENTR. DIEPW. NAAR EEMKLEI	EEMKLEI		
"		50/40	MET GROND- GEW. GRONDKIST VERBETERING OP DIJK + 30	"	MEMBRAAN HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN	15	PAC2-T-240
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 30	"	"	"		
"		"	" GEW. GROND-KIST OP DIJK + 30	"	DIEPWAND	EEMKLEI		
"		"	MET GROND- HALVE GEW. GROND- VERBETERING KIST OP DIJK + 30	BEMALEN	DIEPWAND	EEMKLEI		
"		60/47,5	" GEW. GROND- KIST OP DIJK + 35	"	MEMBRAAN HOR. ONDER HOLOCEEN	HOLOCEEN	15	PAC2-T-240
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 35	"	"	"		
"		"	" GEW. GROND-KIST OP DIJK + 35	"	DIEPWAND	EEMKLEI		
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 35	"	"	"		
EXTREEM ZUID	G 2b	40/26,5	MET GRONDVERBETERING	"	MEMBRAAN HOR. OP HOLOCEEN	HOLOCEEN		
"	ALT 1	"	BETON-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"		
"	ALT 2	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 30.0	"	"	"		
"	ALT 3	"	GEW. GROND-KIST OP DIJK DIJKHOOGTE + 20.0	"	"	"		
"		50/40	MET GROND- GEW. GROND- VERBETERING KIST OP DIJK + 30	"	MEMBRAAN HOR. ONDER HOLOCEEN	"	15	PAC2-T-240
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 30	"	"	"	16	PAC2-T-308
"		60/47,5	" GEW. GROND-KIST OP DIJK + 35	"	"	"	15	PAC2-T-240
"		"	" HALVE GEW. GROND- KIST OP DIJK + 35	"	"	"	16	PAC2-T-308

PAC. DIJK MIDDEN BEKKEN NOORD
ALTERNATIEF: KIST OP DIJK

IJSSELMEER

VARIANT E.B.
ALTERNATIEF: 1

BEKKEN



BESCHRIJVING VOORKEURSVARIANT Eb - alt 1

Kenmerken:

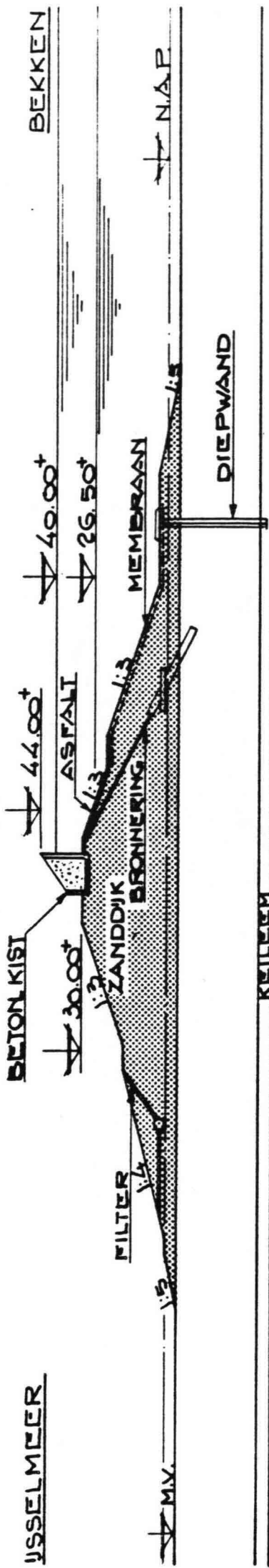
- Locatie : Noord
- Bekkentype : 24/16 m
- Kruinelement : betonkist h = 11.0 m
- Kwelbeperking bekkenbodem : slibdeken
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt, membraan en klei
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan en klei aange-sloten op slibdeken
- Aansluiting kruinelement - dijkbekleding : dubbel, asfaltmastiek plus membraan

Beschrijving:

De dijkopbouw is conform variant Eb; de kruinhoogte is echter 18.00 + NAP.
De betonkist (met zandvulling) is trapeziumvormig van doorsnede; hoogte bekkenzijde 11.5 m, breedte 11.0 m.

PAC. DIJK HOOG. BEKKEN. NOORD
ALTERNATIEF: KIST OP DIJK

VARIANT Fd
ALTERNATIEF. 1



BESCHRIJVING VOORKEURS-VARIANT Fd - 1

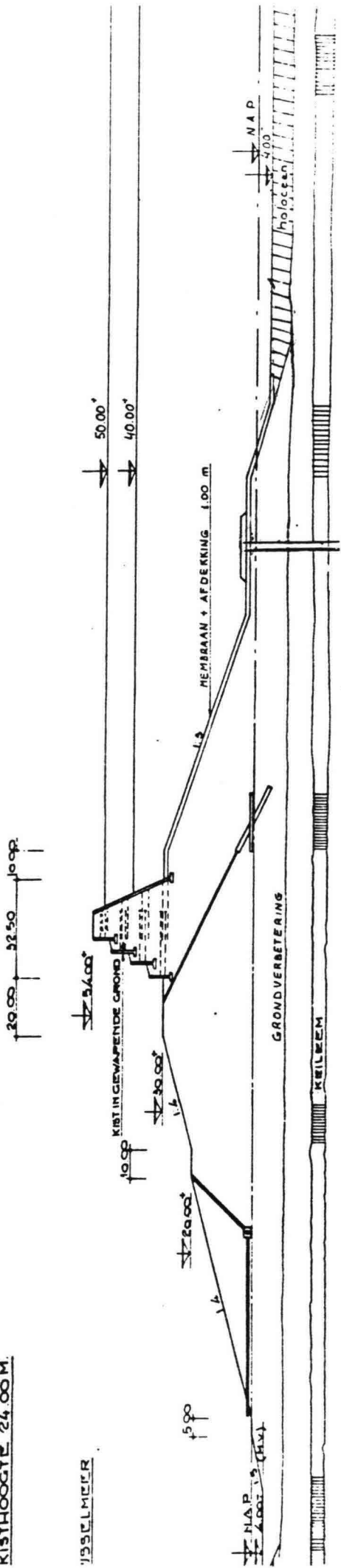
Kenmerken:

- Locatie : Noord
- Bekkentype : 40/26,5 m
- Kruinelement : 1 betonkist h = 15 m
- Kwelbeperking bekkenbodem : keileem
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemaafdichting : membraan van taludbekleding aangesloten op diepwand welke ingekast is in de keileem
- Aansluiting kruinelement dijkbekleding : dubbel asfaltmastiek plus membraan

Beschrijving:

De dijkbouw is conform variant Fd; de kruinhoogte is echter 30.0+ NAP. De betonkist (met zandvulling) is trapeziumvormig van doorsnede; hoogte bekenzijde 15.5 m, hoogte IJsselmeerzijde 8.0 m, breedte 15.0 m.

BEKKEN 30/40 M. ALTERNATIEF KIST OP DIJK NOORD
KISTHOOGTE 24.00 M.



BESCHRIJVING VOORKEURSARIANT

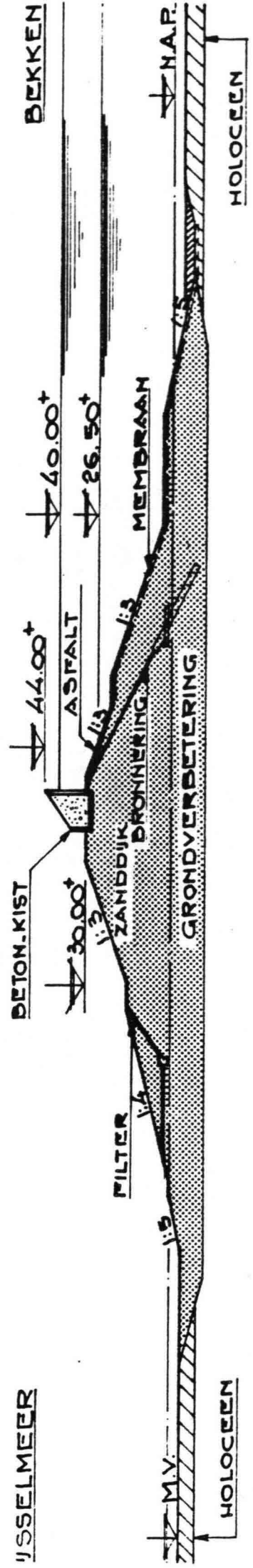
Kenmerken:

- Locatie : Noord
- Bekkentype : 50/40
- Kruinelement : gew. grond met kist
- Kwelbeperking bekkenbodem : keileem
- Kwelbeperking dijktalud : membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan van taludbekleding aangesloten op diep- wand welke ingekast is in keileem
- Aansluiting kruinelement- dijkbekleding : dubbel, asfaltmastiek plus membraan

Beschrijving:

De dijkbouw is conform variant Fd; de kruinhoogte is echter 30.0+ NAP.
 De hoogte van de gewapende grondkist is 24 m, de breedte 32,5 m.

PAC. DIJK HOOG BEKKEN, ZUID / EXTR. ZUID
ALTERNATIEF: KIST OP DIJK



BESCHRIJVING VOORKEURS-VARIANT G2b - alt. 1
H2b - alt. 1

Kenmerken:

- Locatie : Zuid/Extreem zuid
- Bekkentype : 40/26,5 m
- Kruinelement : 1 betonkist h = 15 m
- Kwelbeperking bekkenbodem : ongestoorde holoc-en
- Kwelbeperking dijktalud : asfalt en membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan van dijk doorzetten tot op holocéen
- Aansluiting kruinelement-dijkbekleding : dubbel, asfaltmastiëk plus membraan

Beschrijving:

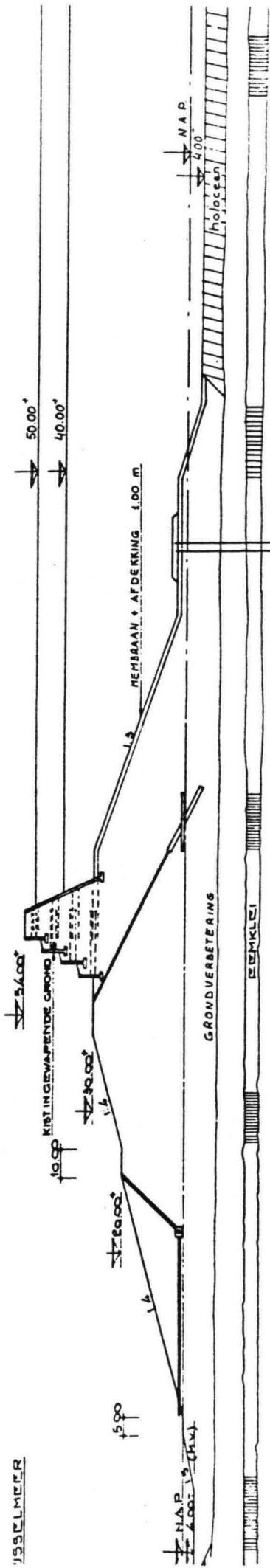
De dijkbouw is conform variant G2b; de kruinhoogte is echter 30.0+ NAP. De betonkist (met zandvulling) is trapeziumvormig van doorsnede; hoogte bekkenzijde 15.5 m, hoogte IJsselmeerzijde 8.0 m, breedte 15.0 m.

BEKKEN 50/40 M. ALTERNATIEF KISTOP DIJK ZUID

KISTHOOGTE 24.00 M.

10.00 32.50 10.00

ISSELMEER



BESCHRIJVING VOORKEURSARIANT

Kenmerken:

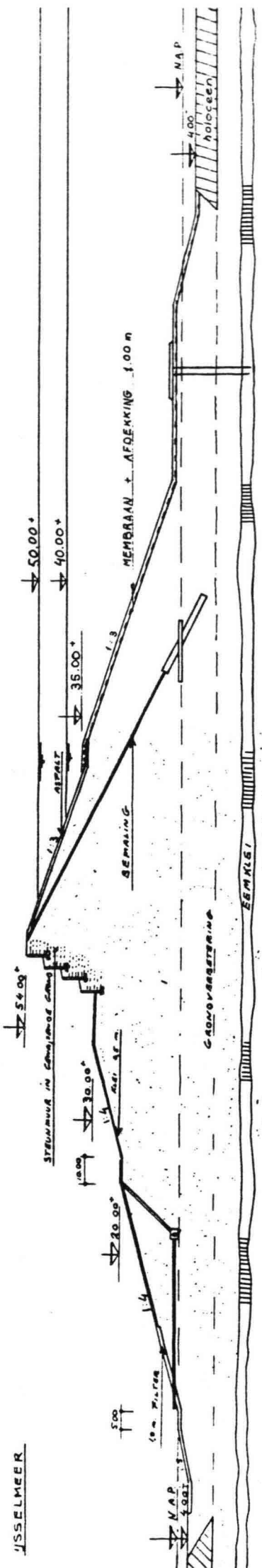
- Locatie : Zuid
- Bekkentype : 50/40
- Kruinelement : gew. grond kist
- Kwelbeperking bekkenbodem : ongestoord holoceen en Eemklei
- Kwelbeperking dijktalud : membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan van dijk aansluiten via diepwand op Eemklei.
- Aansluiting kruinelement dijkbekleding : dubbel, asfaltmastiek plus membraan

Beschrijving:

De dijkbouw is conform variant H2g; de kruinhoogte is echter 30.0 m+ NAP. De hoogte van de gewapende grondkist is 24 m, de breedte 32,5 m.

BEKKEN 50/40 ZUID
ALTERNATIEF STEUNMUUR

1:20.00 1/12 op 100m



BESCHRIJVING VOORKEURS-VARIANT

Kenmerken:

- Locatie : Zuid
- Bekkentype : 50/40
- Kruinelement : halve gewapende grondkist
- Kwelbeperking bekkenbodem : Eemklei
- Kwelbeperking dijktalud : Asphalt + membraan
- Voorziening om snelle lediging bekken mogelijk te maken : bemaling in dijk
- Aansluiting dijkbekleding aan bekkenbodemafdichting : membraan van dijk aansluiting op diepwand naar Eemklei

Beschrijving:

De dijk opbouw is conform variant H2g, echter is aan de IJsselmeer zijde een 24 m hoge steunmuur in gewapende grond aangebracht, ter reductie van de zandhoeveelheid.



9. Aanpassingswerken IJsselmeer

Globale omschrijving van aanpassingen als gevolg van peilfluctuaties op het IJsselmeer door aanleg van een pompaccumulatiecentrale.

9.1 Inleiding

In het kader van de haalbaarheidsstudie van een pomp-accumulatiecentrale in het IJsselmeergebied wordt in dit hoofdstuk globaal aangegeven welke aanpassingen in het IJsselmeer c.a. nodig zijn om de gevolgen van peilfluctuaties niet nadelig te doen zijn. Doel van dit hoofdstuk is om te komen tot een basis voor een kostenraming van bedoelde compenserende maatregelen.

Paragraaf 9.2 geeft de probleemstelling.

In paragraaf 9.3 wordt ingegaan op de gevolgde werkwijze.

In paragraaf 9.4 wordt een beschrijving gegeven van de aard van de aanpassingswerken.

In deelrapport "Kosten van deze rapportage komt de kostenraming aan de orde.

Van de later toegevoegde bekkens 50/40 en 60/47.5 m kan opgemerkt worden dat de peilfluctuaties ten gevolge daarvan dermate weinig verschillen dat hetzelfde kostennivo voor aanpassingswerken is aangehouden.

9.2 Probleemstelling

Indien een PAC in het IJsselmeer wordt aangelegd zal door het oppompen en het aflatens van water door de hydro-turbines een dagelijks getij op het IJsselmeer worden ingesteld. Het getij (de peilfluctuaties) zal gevolgen hebben voor de waterhuishouding en de natte infrastructuur. Voor zover deze gevolgen nadelig zijn ten opzichte van de huidige situatie zal een en ander aangepast moeten worden, hetgeen kosten met zich mee zal brengen.

Intern het PAC-bekken kunnen diverse cycli van peilfluctuaties optreden, afhankelijk van de grootte van het bekken.

Afhankelijk van de beschouwde variant zal op het IJsselmeer een peilfluctuatie optreden van ca 50 cm bij het 18/12 m, 35 cm bij het 26/16 en respectievelijk ongeveer 20 m bij de 40/26,5; 50/40 en 60/47.5 bekken.

9.3 Gevolgte werkwijze

In het verleden zijn - om waterhuishoudkundige redenen - studies verricht naar peilverhogingen op het IJsselmeer.

De resultaten van die studies zijn vastgelegd in de nota's:

- gevolgen peilverhoging IJsselmeer nota 294 RWS, directie Zuiderzeewerken (1980);
- inventarisatie gevolgen verhoging IJsselmeerpeil nota 304 RWS, directie Zuiderzeewerken (1980).

Voornoemde studies hadden betrekking op de statische effecten van een peilverhoging. In het PAC-project zullen voornamelijk dynamische aspecten een belangrijke rol spelen, zoals getij, translatiegold, e.d. Om de tijdszake is in onderhavige studie uitgegaan van de kostenramingen voor permanente peilverhogingen.

Allereerst zal de aard van de benodigde aanpassingen beschreven worden. In deelrapportage "Kosten" zal zeer globaal een raming van de te verwachten kosten worden opgesteld.

9.4 Beschrijving benodigde aanpassingen

De aspecten die in dit kader een rol spelen zijn:

- veiligheid van de waterkeringen;
- waterhuidshouding;
- landbouw;
- industrie;
- scheepvaart;
- beroepsvisserij;
- recreatie;
- natuur.

De kostensoorten die bij de kostenraming van belang zijn:

- aanpassing werken (investering)
- beheersmaatregelen;
- onderhoudskosten (exploitatie).

Onder het IJsselmeer wordt verstaan het water dat omgeven is door de kust van Friesland, Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland, de dijk Enkhuizen - Lelystad, de kust van Noord-Holland en de Afsluitdijk. Daarnaast mede het met het IJsselmeer in open verbinding staande Ketelmeer, Vossemeer en Zwartemeer. De open verbinding tussen Zwartemeer enerzijds en het Kadoelermeer en Vollenhovermeer anderzijds kan door de Kadoelerkeersluis gesloten worden. Hierna wordt kort aangegeven waarmee ten aanzien van de verschillende aspecten rekening is gehouden.

- Door peilfluctuaties neemt de veiligheid tegen overstroming in de gebieden langs het IJsselmeer af. Onderscheid dient gemaakt te worden tussen de gebieden beschermd door hoofdwaterkeringen en de buitendijkse gebieden, waaromheen al dan niet een kade is gelegd. Ten aanzien van de hoofdwaterkering is ervan uitgegaan dat de overschrijdingsfrequentie waarbij de hoofdwaterkering ten gevolge van opwaaiing en golfaanval bezwijkt, niet ongunstiger mag worden dan thans het geval is. Voor de buitendijkse gebieden omgeven door kaden geldt hetzelfde als voor de gebieden achter de hoofdwaterkeringen.
De bij aanpassing van de hoofdwaterkering behorende kosten zijn: dijkverhoging, extra onderhoud, aanpassing taludbekleding, verdediging voorlanden.
- De watervoorziening voor de landbouw en industrie mag geen nadelige invloeden ondergaan van de peilfluctuaties. Dit geldt zowel voor inname- als lozingspunten.
De kosten hierbij worden gevormd door het meer in gebruik zijn van gemalen. In enkele gevallen zal de gemaalcapaciteit vergroot moeten worden.
- De scheepvaart en beroepsvisserij mogen niet worden benadeeld of worden gehinderd door de peilfluctuaties. De kosten worden gevormd door aanpassing remmingwerken, vloedpalen, drijvende steigers, geleidedammen, kaden en loswallen.
- Ten aanzien van eventuele nadelige effecten op recreatie en natuur wordt verwezen naar de deelrapportage milieu en planologie.

Ten aanzien van de genoemde bedragen is op te merken dat daarbij de volgende posten niet meegenomen zijn.

- extra brandstofgebruik van gemalen door rendementsverliezen
- buitendijkse terreinen als:
 - stranden
 - rietkragen
 - begroeiingen
 - recreatiegebieden
- paaiplaatsen
- natuurgebieden
- inlaatwerken.

Daarbij zijn bepaalde waterloopkundige aspecten, als verhang en translatiegolf, niet bij de berekeningen betrokken.

In een normale bedrijfssituatie van het PAC zal het verhang nauwelijks aanleiding geven tot aanpassingen in het IJsselmeer. De translatiegolf, die optreedt door het abrupt stopzetten van turbines heeft nader studie. De translatiegolf kan beperkt worden door het treffen van adequate afregelingsmaatregelen.

