

Het verdiepen van het spaarbekken te Andijk





VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

Verdiepen van het spaarbekken
bij het drinkwaterproductiestation

te Andijk.

Door Martin de Weijs
mei 1988

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van de studie naar de problemen rond het verdiepen van het spaarbekken bij het drinkwaterproductiestation Andijk. Deze studie is verricht in het kader van een afstudeerproject van de sectie Constructieve Waterbouwkunde van de Technische Universiteit te Delft.

Het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland (het PWN) heeft het mogelijk gemaakt, om deze studie gedurende een stageplaats op het hoofdkantoor te Bloemendaal, te verrichten. Ik wil de directie van het PWN hiervoor bedanken.

Tevens wil ik de medewerkers van de bouwkundige afdeling onder leiding van ir. E. Nieuwenhuis, en de heer ir. B. Stakelbeek, voor de begeleiding en medewerking bedanken.

De begeleiding door de Technische Universiteit is verzorgd door de heren ir. R.H. Boekelman, ir. G.J. Flórián en ing. K.G. Bezuyen, welke ik op deze plaats wil bedanken voor de geboden begeleiding.

	pag.
Voorwoord	
inhoudsopgave	1
Inleiding.	4
Hoofdstuk 1 Algemene problematiek.	6
1 Het zuiveringsstation.	6
2 De problemen bij het gebruik van oppervlaktewater.	8
2.1 De biologie van oppervlaktewater.	8
2.2 De gevolgen van een hoog algengehalte voor de waterkwaliteit.	9
3 De problematiek rond het verdiepen van het spaarbekken.	11
3.1 De grondwaterstroming.	11
3.2 De dijkstabiliteit.	11
3.3 De waterinlaat.	11
4 De probleemstelling en de doelstelling.	12
Hoofdstuk 2 De grondwaterstroming.	14
inleiding.	14
1 De geologische situatie.	14
2 De geo-hydrologische situatie.	15
2.1 De watervoerende en scheidende lagen.	15
2.2 De vorige geohydrologische studies.	16
3 De berekeningsaanpak.	17
3.1 Algemeen.	17
3.2 De één-dimensionale berekening.	19
3.2.1 De basisvergelijkingen.	19
3.2.2 De randvoorwaarden en uitgangspunten.	20
3.2.3 De resultaten.	22
3.3 De twee-dimensionale berekening.	23
3.3.1 Het model	23
3.3.2 Het programma PWNDRIN	23
3.3.2.1 Het raster	23
3.3.2.2 Randvoorwaarden	24
3.3.3 De doorgerekende varianten.	25
3.3.4 De resultaten van de twee-dimensionale berekening.	26

3.3.4.1	De kalibratie.	26
3.3.4.2	Overweging m.b.t de weerstandsverandering t.g.v. het verdiepen.	27
3.3.4.3	Overweging m.b.t. de peilvariaties in gebruikstoestand.	29
3.3.5	conclusies.	31
4	De vergelijking van de twee-dimensionale met de één-dimensionale berekening.	32
	Hoofdstuk 3 De dijkproblematiek.	33
	inleiding.	33
	1 De dijkstabiliteit.	33
	Inleiding.	33
	1.1 De ontwerpgegevens.	35
1.1.1	Het bodemonderzoek.	35
1.1.2	De profielbeschrijving.	36
1.1.3	De waterstanden.	37
1.1.4	De methode van verdiepen.	37
1.1.5	De stabiliteitsbeschouwing.	39
	1.2 De berekening.	41
1.2.1	Het programma STABIL.	41
1.2.2	De bepaling van de mate van spaarbekkenpeilverlaging.	41
1.2.3	De gevolgen van de verlaging voor de waterspanning in de bodem.	42
1.2.4	De beschrijving van de varianten.	45
1.2.5	De resultaten.	49
1.2.6	De conclusies.	51
	2 De wateroverslag over de spaarbekkendam tijdens een calamiteit op het IJsselmeer.	53
	Inleiding	53
	2.1 De ontwerpgegevens.	54
2.1.1	De waterstanden.	54
2.1.2	De geometrie van de dijk.	54
2.1.3	De storm-gegevens.	55
	2.2 De berekening.	56
2.2.1	De opwaaiing.	56
2.2.2	De bepaling van het overslagdebiet.	56
	2.3 Conclusie.	60

Hoofdstuk 4 Het inlaatwerk.	61
Inleiding	61
1 De probleembeschrijving en probleemstelling.	61
2 Het opstellen van de alternatieven.	63
2.1 De procesanalyse.	63
2.2 De functiedragers.	64
2.3 Het programma van eisen en wensen.	65
2.4 De varianten.	66
3 De keuzecriteria.	69
4 De afweging en keuze	70
4.1 Een grove selectie.	70
4.2 De beschrijving van de voor-en nadelen van de mogelijke varianten.	74
4.3 De afweging en keuze.	79
5 Een grove dimensionering.	80
6 Conclusie	81
Hoofdstuk 5 Algehele conclusies en aanbevelingen	84
Bijlagen	
I kaarten en figuren t.b.v de algemene inleiding	
II kaarten en figuren bij Hoofdstuk grondwater stroming	
II.1 figuren bij geologie en geo-hydrologie	
II.2 één-dimensionale berekening	
II.3 twee-dimensionale berekening	
III Bij hoofdstuk stabiliteit	
IV bij hoofdstuk inlaatwerk	
Tekening 1 : spaarbekkendam	
Tekening 2 : ijsselmeerdijk	

Inleiding

Het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland levert in bijna geheel Noord-Holland drinkwater. Het water, afkomstig uit het IJsselmeer, wordt verzameld in het spaarbekken bij Andijk, alvorens het tot drinkwater wordt verwerkt. Het ijsselmeerwater wordt door een inlaatwerk het spaarbekken ingelaten. Dit inlaatwerk is eventueel af te sluiten, indien er vanwege bijvoorbeeld een vervuiling op het IJsselmeer, geen water in het spaarbekken gelaten mag worden. Het water wordt uit het spaarbekken het zuiveringsstation ingelaten, via een inlaatkanaal. Tussen het spaarbekken en het inlaatkanaal bevinden zich twee inlaten. (zie figuur 4 op pag.13).

In hoofdstuk 1 wordt beschreven, wat de problemen zijn rond het spaarbekken. In grote lijnen komt het erop neer, dat er in het water in het spaarbekken een te hoog algengehalte heerst. Een mogelijkheid om het algengehalte te verkleinen is het verdiepen van het spaarbekken tot een grotere waterdiepte dan 10 m. Het PWN heeft ervoor gekozen het spaarbekken te verdiepen tot N.A.P. -15 m.

De studie naar de effecten van het verdiepen van het spaarbekken bestaat uit een aantal punten:

- gevolgen van het verdiepen voor de grondwaterstroming.
- de voorwaarden waaraan voldaan moet worden wil de stabiliteit van de dijken gehandhaafd blijven.

Daarnaast is onderzocht hoe groot de voorraad van het verdiepte spaarbekken is. De onderzoekspunten in deze zijn:

- gevolgen van een peilverlaging voor de grondwaterstroming .
- gevolgen van een peilverlaging voor de dijkstabiliteit.

De gevolgen voor de grondwaterstroming van en naar het omliggende gebied zijn beschreven in hoofdstuk 2. Deze effecten zijn bepaald met behulp van het computerprogramma PWNDRIN, dat een twee-dimensionaal gebied met 2 slecht doorlatende lagen kan doorrekenen. Er is bekeken wat het effect van het afnemen van de hydraulische weerstand, als gevolg van het verdiepen van de bodem, op de grondwaterstroming is, alsmede wat de gevolgen voor de grondwaterstroming zijn, indien het spaarbekkenpeil verlaagd wordt. Om de uitkomsten van de twee-dimensionale berekeningen te kunnen controleren op hun juistheid is er ook een één-dimensionale handberekening uitgevoerd. De berekeningen zijn stationair uitgevoerd.

In hoofdstuk 3, paragraaf 1, zijn de voorwaarden bepaald waaraan voldaan moet worden, opdat dijken stabiel blijven na het verdiepen. Op basis van de aanwezige grondgegevens zijn de dijkprofielen opgesteld en is de stabiliteit bepaald met behulp van het computerprogramma STABIL geschreven door prof. dr. ir. A. Verruyt. Ook bij de stabiliteitsberekeningen is rekening gehouden met peilverlagingen in het spaarbekken. Er is bepaald wat de maximale toelaatbare peilver-

laging is, zonder dat de bodem van het spaarbekken opgedrukt wordt. Bij dat peil is ook de stabiliteit van de dijken onderzocht.

Wil het spaarbekken dienst doen als watervoorraad, dan is het van belang te weten, hoeveel ijsselmeerwater er over de dijk slaat en zodoende de waterkwaliteit van het spaarbekken zou kunnen beïnvloeden. Vooral in geval er geen ijsselmeerwater het spaarbekken ingelaten mag worden, is de hoeveelheid overslagwater van belang. In hoofdstuk 3, paragraaf 2, is uiteengezet wat de te verwachten hoeveelheid overslagwater is, op basis van een ontwerpstorm.

Een ander probleem is het bodemniveau van de inlaten tussen spaarbekken en inlaatkanaal. Het spaarbekkenpeil kan niet verder verlaagd worden dan N.A.P. -1.84 m. Het laatste onderzoekspunt van dit onderzoek is het aandragen van oplossing, die een grotere spaarbekkenpeilverlaging mogelijk maken. De bevindingen staan in hoofdstuk 4.

De uiteindelijke conclusies van deze studie staan vermeld in hoofdstuk 5. Hier staan ook de aanbevelingen voor verder onderzoek. De conclusies zijn kort samen te vatten in de volgende punten:

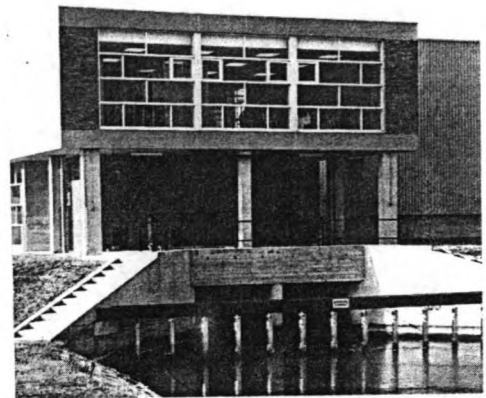
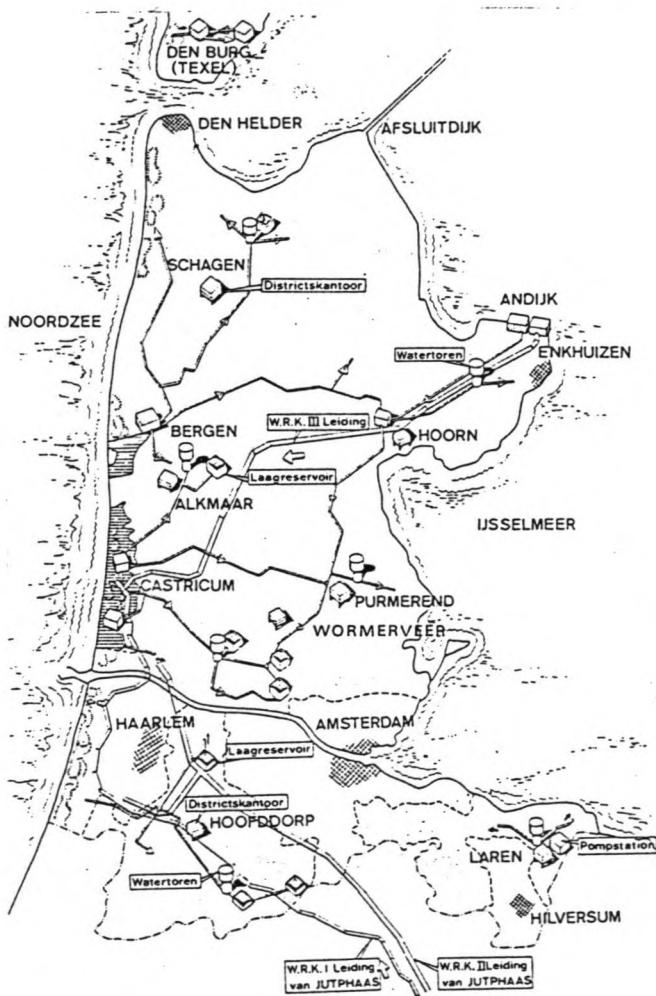
- de afstand van de dijkas van de spaarbekkendam tot de verlaagde bodem moet minimaal 50 m bedragen.
- de afstand van de dijkas van de ijsselmeerdijk tot aan de verlaagde bodem moet minimaal 61 m bedragen.
- bij een verlaging van het spaarbekkenpeil tot N.A.P. -2.74 m, is een aanpassing van de ijsselmeerdijk wenselijk, om de stabiliteit te waarborgen.
- in de huidige toestand is het spaarbekken niet goed te gebruiken als watervoorraad voor de productie van drinkwater.

Tot slot een opmerking over de opbouw van de rapportage. Elk van de onderzoekspunten grondwaterstroming, dijkproblematiek en inlaatwerk is ondergebracht in een hoofdstuk. De figuren en berekeningen behorende bij de diverse hoofdstukken staan vermeld in de bijlagen. De bijlagen hebben dezelfde nummering als de hoofdstukken in Romeinse cijfers. De figuurnummers bestaan uit een dubbel nummer. Het eerste nummer duidt de bijlage aan en het tweede nummer het figuurnummer. (fig. III.5 is figuur 5 van bijlage III)

Hoofdstuk 1 Algemene Problematiek

1 Het zuiveringsstation "Andijk"

Het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland levert drinkwater in geheel Noord-holland met uitzondering van Amsterdam en Haarlem en omgeving. Aanvankelijk werd drinkwater geproduceerd uit het grondwater onder de duinen. Toen in de vijftiger jaren de hoeveelheid grondwater niet meer toereikend was, werd via een leiding oppervlaktewater naar de duinen getransporteerd en via een kanalenstelsel in de duinen geïnfiltreerd. Dit had weinig of geen gevolgen voor het productieniveau van het drinkwater. In 1967 werd dit echter anders. In Andijk werd een drinkwaterproductiestation gebouwd, waar het ijsselmeerwater rechtstreeks werd gebruikt voor de productie van drinkwater.

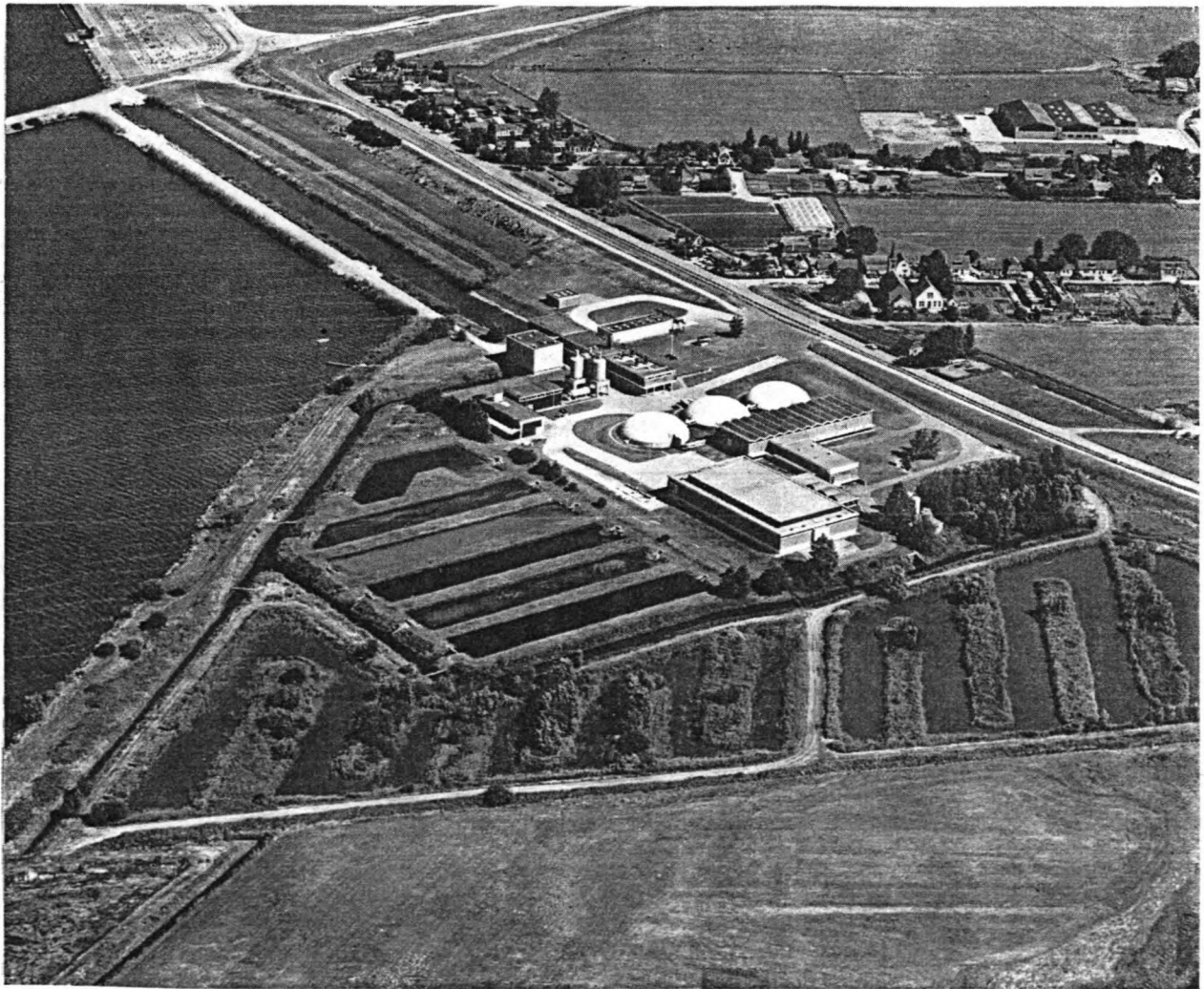


Figuur 2

figuur 1

Ten behoeve van de inname en de zuivering van het 'ruwe' ijsselmeerwater is in Andijk een zuiveringsstation gebouwd dat sinds 1967 in gebruik is. Het te zuiveren ijsselmeerwater wordt eerst verzameld in een spaarbekken. Het spaarbekken staat onder normale omstandigheden in open verbinding

met het IJsselmeer, via een inlaatwerk. De bodem van dit inlaatwerk ligt op N.A.P. -1.60 m. In gevallen, dat er, bijv. door een verontreiniging van het ijsselmeerwater, geen ijsselmeerwater ingenomen mag worden, kan het inlaatwerk gesloten worden. In dit spaarbekken van ca. 48 ha. groot en een laagste bodemniveau van N.A.P. -5.40 m, komt het water tot rust en bezinkt een deel van het aanwezige slib. Het water wordt het zuiveringsgebouw ingelaten middels een inlaatkanaal. De verbinding tussen het spaarbekken en het inlaatkanaal wordt gevormd door twee inlaatwerken van gelijke afmetingen. Het bodemniveau van de inlaten ligt op N.A.P. -1.84 m. (zie figuur 4) De diameter bedraagt 1250 mm. De diepte van het inlaatkanaal bedraagt N.A.P. -2.60 m. Bij de inlaatpompen van het zuiveringsgebouw is het inlaatkanaal bekleed met asfalt en heeft een bodemniveau van N.A.P. -3.80 m. De bovenkant van de zuigmond van de pompen bevindt zich op N.A.P. -2.75 m. Derhalve kan op basis van de pompen het peil verlaagd worden tot N.A.P. -2.75 m. (zie figuren 31 en 32 op pag. 82 en 83). Om te voorkomen dat er ook vissen het zuiveringsstation binnenkomen, is er een viswering aangebracht, zoals ook op de foto te zien is. (zie figuur 2)



Figuur 3 Luchtfoto van het zuiveringsstation.

2 Problemen bij het gebruik van oppervlaktewater.

Inleiding

Drinkwaterbedrijven die grondwater gebruiken om drinkwater te produceren, ondervinden daarmee in het algemeen weinig problemen met hun uitgangproduct. Dit geldt echter in steeds mindere mate voor die zuiveringsplaatsen, waar oppervlaktewater wordt gebruikt. Een van de problemen, die zich daarbij kunnen voordoen is het algenprobleem. In de volgende paragraaf wordt in het kort besproken, wat de oorzaak van algengroei is, en wat de gevolgen zijn.

2.1 De biologie van oppervlaktewater

In de natuur, dus ook zonder menselijke invloeden, bevat het water altijd verontreinigingen. Verontreinigingen van organische, maar ook van anorganische aard zoals stofwisselingsproducten en resten van dierlijk en plantaardige leven in en rond het water.

Voor de ontwikkeling van dierlijk leven is voedsel een van de vereisten. Het z.g. fytoplankton is een van deze voedingsstoffen.

Fytoplankton ontstaat onder invloed van het zonlicht, bij voldoende aanwezigheid van nitraat, fosfaat en kooldioxide. Dankzij bacteriën worden de afvalstoffen van plant en dier gemineraliseerd, indien voldoende zuurstof aanwezig. Bij deze mineralisatie worden de organische stoffen omgezet in o.a. nitraten, fosfaten en sulfaten. Bij deze reactie komt er onder meer kooldioxide vrij. Het proces houdt zichzelf in stand, mits er evenwicht is of er slechts een kleine verstoring optreedt. Belangrijk hierin is de hoeveelheid zuurstof, die in het water aanwezig is. Het zuurstofgehalte bepaald mede de hoeveelheid aeroob dierlijk leven dat mogelijk is in het water, en wordt op peil gehouden door natuurlijke beluchting. Een te grote evenwichtsverstoring veroorzaakt een aanzienlijke daling van het zuurstofgehalte en veroorzaakt daardoor een afsterving van de dieren in het water.

Voor het plantenleven is het voornamelijk van belang, dat er voldoende kooldioxide, nitraten en fosfaten aanwezig zijn. De kooldioxide is meestal wel in voldoende mate aanwezig. Fosfaten en de nitraten komen echter vrij bij de mineralisatie van de organische stoffen. Door de verontreiniging en de daarop volgende mineralisatie wordt het water dus voedselrijker. Dit proces wordt eutrofiëring genoemd (eutroof water=voedselrijk water). In eutroof water vindt, bij verder gunstige omstandigheden, zoals temperatuur en zonlicht, een rijke algengroei plaats. Voedselarm water komt in Nederland nog nauwelijks voor. Het IJsselmeer is zeker eutroof. Het spaarbekken bij zuiveringsstation Andijk bevat ijsselmeerwater en is dus ook eutroof en bevat derhalve veel algen.

2.2 De gevolgen van een hoog algengehalte voor de waterkwaliteit.

Daar het spaarbekken voornamelijk stilstaand water bevat, de bodem niet te diep ligt en er voldoende voedsel aanwezig is, zullen de algen ook aanwezig blijven. Het slib, dat op de bodem ligt is een belangrijke bron voor de fosfaat-en nitraatlevering. Vooral in de maand augustus worden veel fosfaten geleverd. Aangezien het zuiveringsstation water onttrekt aan het spaarbekken leveren de aanwezigheid van grote hoeveelheden algen een aantal problemen op :

- 1) Verstopping van de filters
- 2) Sommige algen zijn zo klein, dat ze de filters passeren en het water groen kleuren.
- 3) Blauwwieren, een van de aanwezige algen, zijn toxisch.
- 4) Afgestorven algen worden door het mineralisatieproces omgezet. Hiervoor is zuurstof nodig. Het zuurstofgehalte zal dus bij onvoldoende beluchting gaan dalen en het water zal dus gaan rotten.
- 5) Het bovengaande gaat gepaard met stank van het water.
- 6) Hoog fosfaat-en nitraatgehalte van het water.

Uit het voorafgaande blijkt de noodzaak het algengehalte van het in te nemen water zoveel mogelijk te beperken. Dit kan op de volgende manieren:

- 1) Beperking nitraat-en fosfaatgehalte.
- 2) Beperking instraling van het zonlicht.
- 3) Mechanische bestrijding.
- 4) Chemische bestrijding.

ad.1) Zoals gezegd, is het IJsselmeer water eutroof. Het water, dat uit het IJsselmeer wordt ingenomen bevat reeds een hoge algen concentratie. Men zal dus bij het inlaten de algen en/of de voedingsstoffen, de nitraten en fosfaten, moeten verwijderen.

ad.2) Aangezien de instraling van het zonlicht is tot slechts 10 meter onder de waterspiegel merkbaar is, kan de instraling beperkt worden door het spaarbekken uit te diepen tot een grotere diepte dan 10 meter.

ad.3) Het aanbrengen van een mechanische constructie bij de waterinlaat in het zuiveringsstation.

ad.4) Het toevoegen van chemicaliën, die het algengehalte, dan wel het fosfaat-en nitraatgehalte verlagen.

Het P.W.N. heeft gekozen voor het verdiepen van het spaarbekken in combinatie met een z.g. destratificateur (een luchtbellenscherm, dat het water in een verticale circulatie brengt). Door de stroming wordt ten eerste voorkomen, dat het water anaeroob wordt. Ten tweede neemt het algengehalte af, doordat de algen, die zich op een grotere diepte bevinden, afsterven bij gebrek aan zonlicht. Een tweede voordeel van de verdieping is, dat het slib op een grotere

diepte komt te liggen, waardoor het minder opgewoeld wordt tijdens een storm.

3 De problematiek rond het verdiepen van het spaarbekken.

Inleiding

Het verdiepen van het spaarbekken heeft zowel gevolgen voor de grondwaterstroming als de dijkstabiliteit. Er is echter ook een positief neveneffect nl. het bieden van een potentiële voorraadvergroting. In de navolgende paragrafen wordt het een en ander nader bekeken.

3.1 De grondwaterstroming.

De grondwaterstroming naar het achterliggende polderland via de watervoerende lagen is afhankelijk van de volgende factoren:

- 1) De geohydrologische toestand van de watervoerende lagen.
- 2) De weerstanden van de scheidende lagen.
- 3) De grondwaterstanden.

De toestand van de watervoerende lagen wordt nauwelijks of niet beïnvloed door het verdiepen van het spaarbekken. Het verdiepen van het spaarbekken verkleint de dikte van de eerste watervoerende laag in geringe mate. Het verdiepen is in het gehele stromingsbeeld ook maar plaatselijk. Er zal dus aangenomen worden, dat de transmissiviteit (KD-waarde) constant zal blijven. De weerstand van de bovenste scheidende laag zal, afhankelijk van de gehanteerde baggermethode, ter plaatse van het spaarbekken afnemen. In welke mate dit zal gebeuren is zeer moeilijk te bepalen.

Indien het verdiepen van het spaarbekken wordt gezien in relatie tot potentiële voorraadvergroting, dan is het mogelijk dat er water door het zuiveringsstation uit het spaarbekken ingenomen zal worden, zonder inname van ijsselmeerwater. Dit heeft een verlaging van het spaarbekkenpeil tot gevolg en daarmee een verandering in de grondwaterstroming.

3.2 De dijkstabiliteit.

De stabiliteit van de dijken wordt o.a. bepaald door:

- 1) Het maximale verhang over de dijk.
- 2) De afstand van de verlaging van de bodem tot de teen van de dijk
- 3) De geometrie van de dijk zelf.

Bij de stabiliteitsberekening van de dijken zal uitgegaan worden van maatgevende doorsneden in het dijktracé.

3.3 De waterinlaat.

De primaire reden tot het verdiepen van het spaarbekken is zoals gezegd, het hoge algengehalte in het spaarbekken en de daarmee samenhangende gevolgen voor de waterkwaliteit. Een positief neveneffect van het project is de potentiële

voorraadvergroting van ruw water, wegens de vergroting van de spaarbekkeninhoud. Naast de gevolgen voor de grondwaterstroming en de dijkstabiliteit, levert dit ook een secundair probleem nl. het inlaatwerk.

Op het ogenblik kan middels het inlaatwerk tot een spaarbekkenpeil van slechts N.A.P. -1.84 m. water in het inlaatkanaal ingelaten worden. Er moet dus een oplossing gevonden worden om de vergrootte voorraad ook daadwerkelijk te kunnen aanspreken.

Het spaarbekken dient alleen als watervoorraad, indien er geen ijsselmeerwater ingenomen kan worden. Indien er wel ijsselmeerwater in het spaarbekken gelaten wordt, zal het spaarbekkenpeil immers niet dalen. De waterinlaat in de spaarbekkendam (zie figuur 4) is in dit geval gesloten. Het is dan echter wel van belang te weten, hoeveel water er over de dijk heen slaat en daardoor de hoeveelheid en de kwaliteit van het spaarbekkenwater beïnvloedt.

4 De probleemstelling en de doelstelling.

De probleembeschrijving van de vorige paragrafen kan samengevat worden in de volgende probleemstelling:

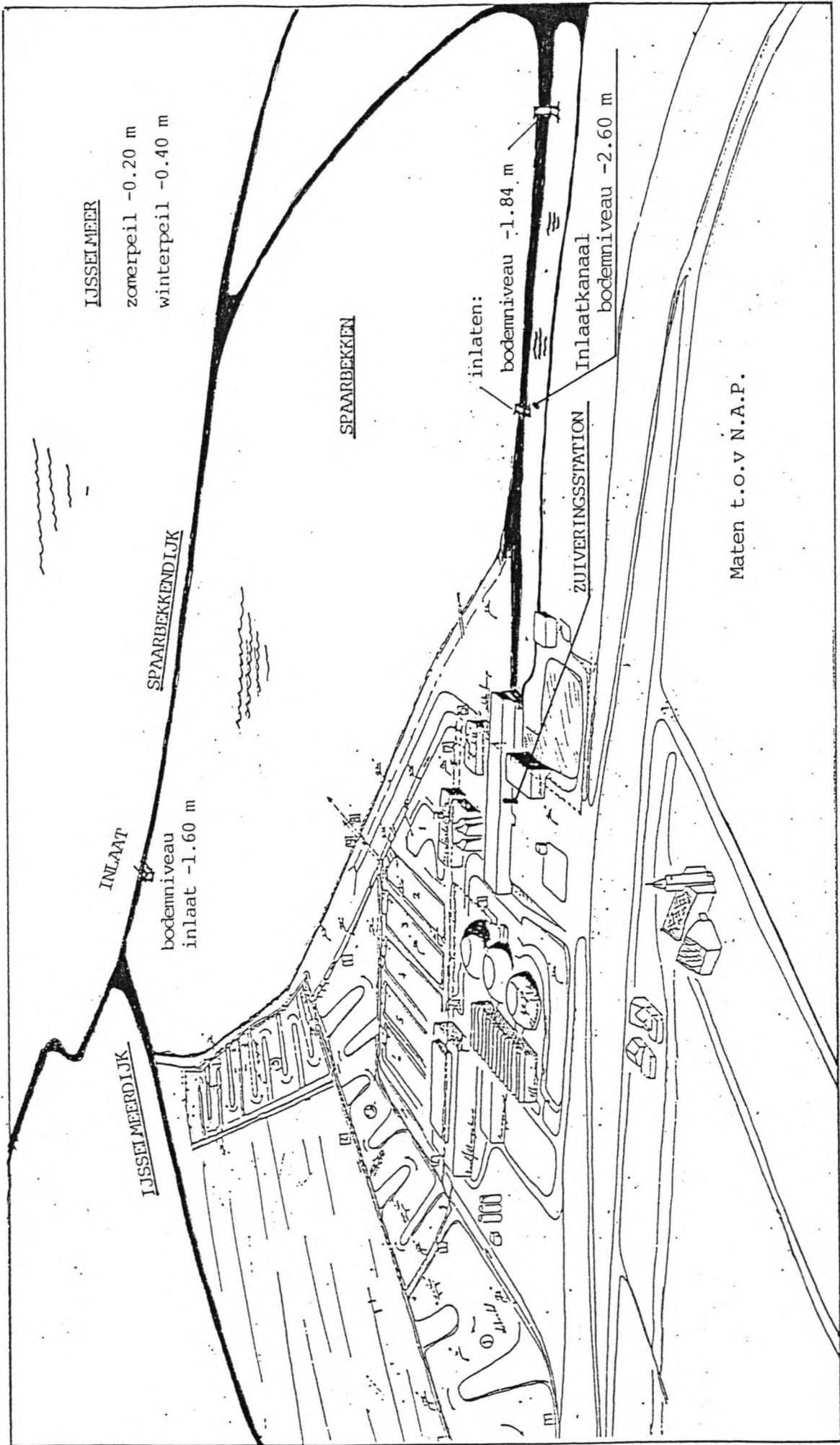
Primair: Het huidige algengehalte is te hoog en de door het P.W.N. gekozen oplossing voor dat probleem is het verdiepen van het spaarbekken. Hierbij rijzen de volgende problemen:

- 1) Mogelijke ontoelaatbare stijghoogte verandering in het achterliggende polderland "west-friesland".
- 2) Mogelijke instabiliteit van de dijken.

Secundair: In de huidige situatie is het inlaatwerk ongeschikt om de watervoorraad aan te spreken als het spaarbekkenpeil lager is dan N.A.P. -1.84. In verband met de watervoorraad staat de hoeveelheid water dat over de dijk heen slaat. Het water, dat over de dijk slaat beïnvloed zowel de hoeveelheid water, als de kwaliteit van het water in het spaarbekken.

Uitgaande van de probleemstelling is het doel van dit afstudeerwerk samen te vatten in de **doelstelling**, die bestaat uit de volgende punten:

- Het waarborgen van de dijkstabiliteit.
- Het vaststellen van de gevolgen voor de grondwaterstroming.
- Het aandragen van een oplossing voor het dieper dan 1.84 m. beneden N.A.P. innemen van ruw water.
- Het maken van een schatting van de te verwachten hoeveelheid overslagwater.



Figuur 4 Overzichtsschets van het spaarbekken te "Andijk"

Hoofdstuk 2 De grondwaterstroming.

Inleiding

Zoals reeds gesteld wil het P.W.N. het spaarbekken in Andijk verdiepen tot 15 meter beneden N.A.P. In dit hoofdstuk worden de te verwachten gevolgen voor de grondwaterstroming bepaald.

Het is van belang te weten in welke mate de stijghoogte, en daarmee de kwel, in het eerste watervoerende pakket beïnvloed wordt.

In dit hoofdstuk wordt verslag gedaan van de berekening en de resultaten bij verschillende uitgangssituaties. In de paragrafen 1 en 2 wordt verslag gedaan van de geologische en geohydrologische situatie. In paragraaf 3 wordt de berekeningsaanpak beschreven. In paragraaf 3.2 worden de één-dimensionale schematisatie ten behoeve van een indicatieve handberekening en de resultaten beschreven. Vervolgens in paragraaf 3.3 de twee-dimensionale schematisatie en de resultaten van de computersimulatie met het programma "PWDRIN".

Tenslotte volgt in paragraaf 4 de vergelijking tussen de resultaten van de één-dimensionale en de twee-dimensionale berekening.

1 De geologische situatie

Om de geohydrologische opbouw van de ondergrond van West-Friesland (zie figuur II.1) goed weer te geven volgt nu eerst een beperkte lithografische beschrijving van het gebied. De diverse formaties, waaruit de ondergrond is opgebouwd, worden genoemd van oud naar jong. (zie fig. II.2).

Formatie van Oosterhout.

Dit is een mariene afzetting, overwegend bestaand uit fijne zanden en kleilagen. De top van de laag bestaat uit een 40 meter dikke kleilaag. De totale dikte is ongeveer 150 meter en ligt op een diepte van ongeveer N.A.P. -350 m (zie fig. II.3)

Formatie van Maassluis.

Dit is eveneens een mariene afzetting. Deze formatie is opgebouwd uit overwegend slibhoudende fijne zanden met kleilagen. De totale dikte bedraagt ca. 70 meter en de top formatie ligt op een diepte van ca. N.A.P. -290 m (zie fig. II.4)

Formatie van Harderwijk.

Deze formatie bestaat overwegend uit fluviale afzettingen van noordduitse herkomst met verschillende korrelgrootten. De dikte bedraagt zo'n 140-170 meter. De top van de laag ligt op ca. N.A.P. -110 m.

Formatie van Enschede.

Deze formatie is eveneens een fluviale afzetting van noordduitse herkomst. Deze laag is opgebouwd uit matig tot grof zand en heeft een dikte van 10-50 meter. De top van de laag ligt op ca. N.A.P. -90 m.

Formatie van Urk/Sterksel.

Deze formatie is een afzetting van voornamelijk fluviatiel materiaal van de Rijn. De voornaamste bestanddelen zijn fijne slibhoudende en grove zanden. De dikte bedraagt zo'n 40 meter. De top van deze laag ligt op ca. N.A.P. -40 m.

Eemformatie.

De Eemformatie is weer een mariene afzetting, die ontstaan is toen de zee Nederland overspoelde, ten gevolge van de zeespiegelstijging. De laag bestaat veelal uit grove zanden en kleilagen en is 10-30 meter dik. De top ligt op zo'n N.A.P. -20 m.

Formatie van Twente.

De formatie van Twente is een aeolische afzetting bestaande uit veel zand met siltige en/of humeuze leemlagen. De laag is 5-20 meter dik. De top ligt op ca. N.A.P. -10 m.

Westland-Formatie.

De bovenste laag van de bodem is de Westland-Formatie en is een mariene, estuariëne en lagunaire afzetting en bevat derhalve veel klei en veen. De top laag is ongeveer 0-25 meter dik.

2 De geohydrologische situatie

2.1 De watervoerende en scheidende lagen

De ondergrond bestaat uit veel wisselende lagen. Dit komt omdat de verschillende afzettingen onder sterk verschillende omstandigheden gevormd zijn. Ter plaatse van het te onderzoeken gebied, rond het spaarbekken van het zuiveringsstation "Andijk", zijn drie watervoerende lagen en een top laag te onderscheiden. De watervoerende pakketten zijn onderling gescheiden door weerstandbiedende lagen met verschillende C-waarden. De basislaag, die als ondoorlatend wordt beschouwd, is opgebouwd uit de formaties van Oosterhout en Maassluis. De top van de basislaag ligt op ca. N.A.P. -300 m. (zie fig. II.5)

De top laag bestaat uit de Westland formatie en bevat derhalve basisveen en holocene kleien. De totale top laag kan beschouwd worden als de eerste slecht doorlatende laag met een C-waarde van 7500 dagen. Het maaiveld ligt op 1 à 2 meter beneden N.A.P.

De eerste watervoerende laag bestaat uit sedimenten afgezet na het Saaliën en uit voor een gedeelte uit de Westlandformatie.

De dikte is ca 70 meter.

De sedimenten zijn afkomstig uit de Eemformatie en de formatie van Twente. De KD-waarde van deze laag bedraagt 450 m/d

De tweede slecht doorlatende laag ligt op -90 m diepte ten op zichte van N.A.P. en bestaat uit kleien uit de Eemformatie.

De c-waarde van deze laag is 1000 dagen

De tweede watervoerende laag is dikker (ca. 60 meter) en bestaat uit sedimenten uit de formaties van Urk/Sterksel en Enschede. De doorlatendheid is derhalve een stuk groter dan de doorlatendheid van de eerste watervoerende laag. De KD-waarde is 2500 m/d.

De derde slecht doorlatende laag bevindt zich op een diepte van N.A.P. -110 meter en bestaat uit afzettingen uit de formatie van Enschede. De c-waarde is 1000 dagen.

De derde watervoerende laag ligt dieper dan 100 meter. De dikte van deze laag bedraagt 150 m en is een stuk groter dan de bovenste lagen. De sedimenten zijn afkomstig uit de formatie van Harderwijk. De KD-waarde is 5500 m/d.

Uit het Markerwaardonderzoek, verricht door IWACO, blijkt, dat de formaties van Oosterhout en Maassluis beschouwd kunnen worden als de ondoorlatende basis op een diepte . de top van deze basis wordt aangenomen op 300 meter diepte.

2.2 De vorige geohydrologische studies

De bodemparameters, de KD-waarden en C-waarden van de verschillende pakketten zijn overgenomen uit eerder gedaan onderzoek door IWACO. IWACO heeft in opdracht van het PWN, betreffende het de grondwaterstroming nabij het spaarbekken, een één-dimensionale berekening uitgevoerd. De KD-waarden en de C-waarden, die in deze berekening gehanteerd zijn, zijn overgenomen uit het Markerwaard-onderzoek, eveneens uitgevoerd door IWACO. De Waarden staan vermeld op pag. 2.7 van de bijlagen onder figuur II.6

3 De berekeningsaanpak

3.1 Algemeen

Zoals in de voorgaande paragraaf is uiteengezet, bestaat het gebied uit drie watervoerende pakketten. De pakketten zijn gescheiden door drie weerstandslagen. De ondoorlatende basis ligt op 300 meter beneden N.A.P.

Het onderzoeksgebied is te verdelen in vier gebieden (zie fig. II.6) te weten:

- het poldergebied
- Bergerveld
- het spaarbekken
- het IJsselmeer

Met behulp van de wet van Darcy en de continuïteitsvergelijkingen kunnen de volgende formules opgesteld worden.

Voor een laag geldt:

Darcy:

$$q_x = - k.D \frac{\delta\phi}{\delta x} \quad - 1 -$$

$$q_y = - k.D \frac{\delta\phi}{\delta y} \quad - 2 -$$

$$\text{met } k_x = k_y = k$$

q_x : debiet per meter in x-richting [m²/etm.]

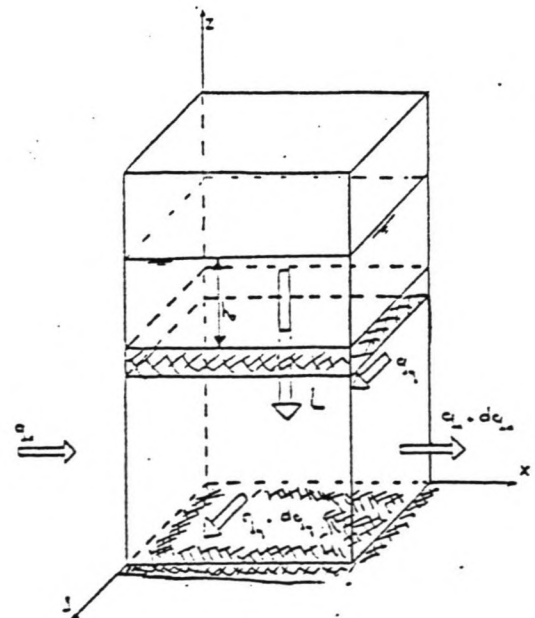
q_y : debiet per meter in y-richting [m²/etm.]

k : doorlatendheid in x-en y-richting [m/etm.]

ϕ : stijghoogte [m]

Continuïteit:

$$\frac{\delta[q_x]}{\delta x} + \frac{\delta[q_y]}{\delta y} - L = 0 \quad - 3 -$$



figuur 5

D : dikte van de watervoerende laag

L : kwel door de weerstandslaag

uit (1) (2) (3) volgt:

$$k.D. [\delta^2\phi/\delta x^2 + \delta^2\phi/\delta y^2] - L = 0$$

$$L = \frac{\phi - h_0}{c}$$

h_0 = de stijghoogte boven de slecht doorlatende laag

Voor de drie lagen betekent dit drie gekoppelde differentiaal vergelijkingen.

$$\frac{\delta^2\phi_1}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\phi_1}{\delta y^2} = \frac{\phi_1 - h_0}{k_1 D_{1c1}} + \frac{\phi_1 - \phi_2}{k_1 D_{1c2}} \quad - 6 -$$

$$\frac{\delta^2\phi_2}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\phi_2}{\delta y^2} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{k_2 D_{2c2}} + \frac{\phi_2 - \phi_3}{k_2 D_{2c3}} \quad - 7 -$$

$$\frac{\delta^2\phi_3}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\phi_3}{\delta y^2} = \frac{\phi_3 - \phi_2}{k_3 D_{3c3}} \quad - 8 -$$

Met ϕ_1 = de stijghoogte in de eerste laag
 ϕ_2 = de stijghoogte in de tweede laag
 ϕ_3 = de stijghoogte in de derde laag

Het oplossen van de bovenstaande vergelijkingen is een moeilijke en zeer tijdrovende zaak. Dergelijke problemen kunnen numeriek worden opgelost met behulp van een eindige elementen methode. De numerieke berekening wordt beschreven in paragraaf 3.3 van dit hoofdstuk.

3.2 De één-dimensionale handberekening

Om enig idee van de uitkomsten te krijgen worden de volgende vereenvoudigingen aangebracht ten behoeve van een één-dimensionale handberekening.

3.2.1 De basisvergelijkingen

In figuur II.7 is het isohypsenverloop weergegeven. Aangezien de isolijnen min of meer evenwijdig lopen lijkt het verantwoord een één-dimensionale raai aan te brengen loodrecht op de isohypsen. Hiermee wordt verondersteld, dat het stijghoogteverloop onafhankelijk van de y-coördinaat is. Dit is natuurlijk niet juist, maar indien de berekening uitgevoerd wordt in een raai zoveel mogelijk loodrecht op de isohypsen, is de stroming van het water in y-richting het geringst (fig. II.8). Het gevolg van deze aanname is, dat $\delta^2\phi/\delta y^2$ gelijk nul is. De stijghoogte is nu slechts afhankelijk van de x-waarde. (1-dimensionaal)

Er resten echter nog steeds drie gekoppelde differentiaalvergelijkingen, waarvan de oplossing niet zo eenvoudig is en derhalve ongeschikt is voor een handmatige berekening. Daarom wordt een ondoorlatende laag onder het eerste watervoerende pakket aangenomen.

Door de bovenstaande vereenvoudigingen blijft de volgende differentiaalvergelijking over.

$$\delta^2\phi/\delta x^2 - (\phi - h_0) / (k.D.c) = 0 \quad - 9 -$$

De algemene oplossing van deze eenvoudige eerste-graads differentiaalvergelijking is.

$$\phi(x) = h_0 + A \cdot \exp(x/\lambda) + B \cdot \exp(-x/\lambda) \quad - 10 -$$

$$q_x(x) = -kD \delta\phi / \delta x \quad - 11 -$$

met $\lambda = \sqrt{k.D.c}$

De differentiaalvergelijking moet per gebied (fig. II.6) opgesteld worden en de oplossing moet middels de overgangsvoorwaarden aan elkaar gekoppeld worden.

Zo moet gelden dat zowel de stijghoogte als het debiet links en rechts van een overgang aan elkaar gelijk zijn. Voor de 4 gebieden levert dit 6 vergelijkingen.

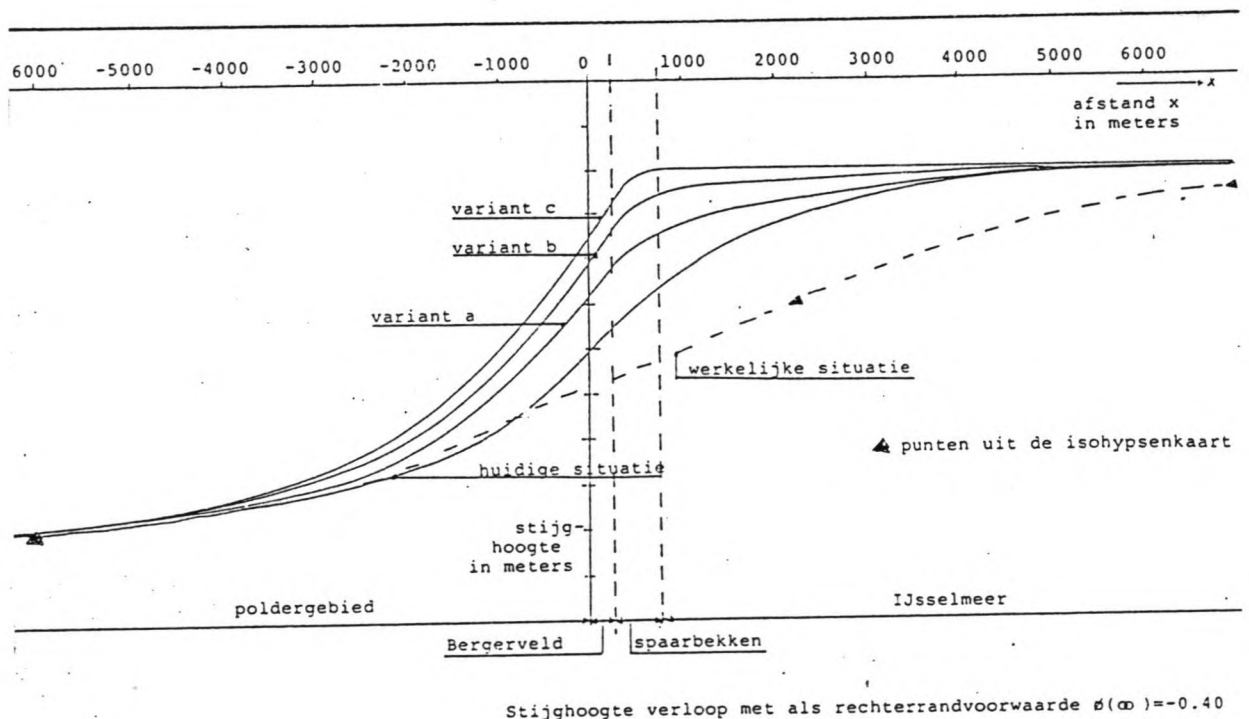
Beide randen worden oneindig ver weg genomen. Tezamen levert met de overgangsvergelijkingen levert dit 8 vergelijkingen. Per gebied levert de vergelijking -10- 2 onbekenden. Het probleem wordt dus opgelost middels een stelsel van 8 vergelijkingen met 8 onbekenden. (zie bijlage II pag. 2.10)

3.2.2 De randvoorwaarden en uitgangspunten

Het peil in het spaarbekken (h_{sb}) is meestal N.A.P. -0.40 m. Deze indicatieve berekening zal derhalve voor $h_{sb} = \text{N.A.P.} - 0.40 \text{ m}$ uitgevoerd worden. De peilen van het IJsselmeer en het Bergerveld zijn eveneens N.A.P. -0.40 m. Het polderpeil bevindt zich op N.A.P. -2.40 m.

De handberekening wordt uitgevoerd op basis van de formules 10 en 11. Voor de 4 gebieden t.w. de polder, het Bergerveld, het spaarbekken en het IJsselmeer worden in formule 10 respectievelijk h_{p0} , h_{bv} , h_{sb} , en h_{ij} gehanteerd i.p.v. h_0 .

De randen zijn oneindig ver weg genomen. De stijghoogte aan de polderrand bedraagt in eerste instantie $\phi(-\infty) = \text{N.A.P.} - 2.40 \text{ m}$. en aan de IJsselmeerrand $\phi(\infty) = \text{N.A.P.} - 0.40 \text{ m}$. Uit het isohypsenbeeld (fig. II.7) blijkt, dat op een afstand van 6 à 7 km van het spaarbekken de stijghoogte N.A.P. -2.00 m. bedraagt. Derhalve wordt voor de randvoorwaarde aan polderzijde N.A.P. -2.00 m. genomen



figuur 6

De resultaten zijn weergegeven in fig. II.9 de berekende stijghoogten kloppen echter nog niet met het werkelijke isohypsenbeeld zoals weergegeven in fig. II.7. Het werke-

lijke stijghoogteverloop t.p.v het IJsselmeer is geleidelijker dan uit de handberekening volgt. Om nu de werkelijkheid te benaderen wordt ook de randvoorwaarde aan ijsselmeerzijde aangepast. Als randvoorwaarde worden de volgende waarden genomen :

$$\phi(-\infty) = -2.00 \text{ m}$$

$$\phi(\infty) = -1.00 \text{ m}$$

Uit rekentechnisch oogpunt moet echter $\phi(-\infty)$ gelijk zijn aan h_{p0} , anders is vergelijking 10 niet oplosbaar.

De berekende huidige situatie vertoont nu nog enige afwijking in vergelijking tot de werkelijke situatie (zie fig 7). Aangezien deze handberekening slechts tot doel heeft de orde van grootte van de stijghoogteverandering te bepalen, kan op basis van dit één-dimensionale rekenmodel en de genoemde randvoorwaarden toch wel een uitspraak gedaan worden.

Het bovenstaande samenvattend levert dit de volgende randvoorwaarden voor de één-dimensionale berekening:

$$h_{p0} = -2.00 \text{ m}$$

$$h_{bv} = -0.40 \text{ m.}$$

$$h_{sb} = -0.40 \text{ m.}$$

$$h_{ij} = -1.00 \text{ m.}$$

$$\phi(-\infty) = -2.00 \text{ m.}$$

$$\phi(\infty) = -1.00 \text{ m.}$$

Op basis van de bovenstaande randvoorwaarden zijn de huidige toestand en drie varianten A,B en C doorgerekend. De huidige toestand is doorgerekend om te controleren in welke mate de stijghoogten van de werkelijke situatie afwijken. De varianten zijn:

Variant A : De C-waarde t.p.v. het spaarbekken bedraagt 1000 dagen

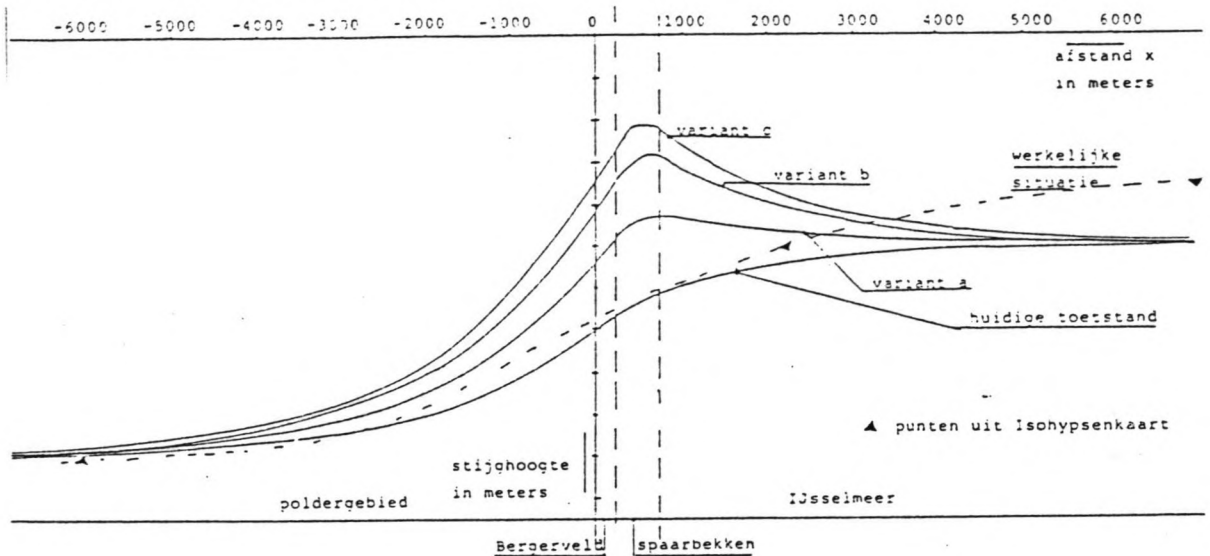
Variant B : De C-waarde t.p.v. het spaarbekken bedraagt 250 dagen

Variant C : De C-waarde t.p.v. het spaarbekken bedraagt 50 dagen

De vergelijkingen, die de debieten en stijghoogten beschrijven, alsmede de oplossingen staan vermeld in bijlage II.2

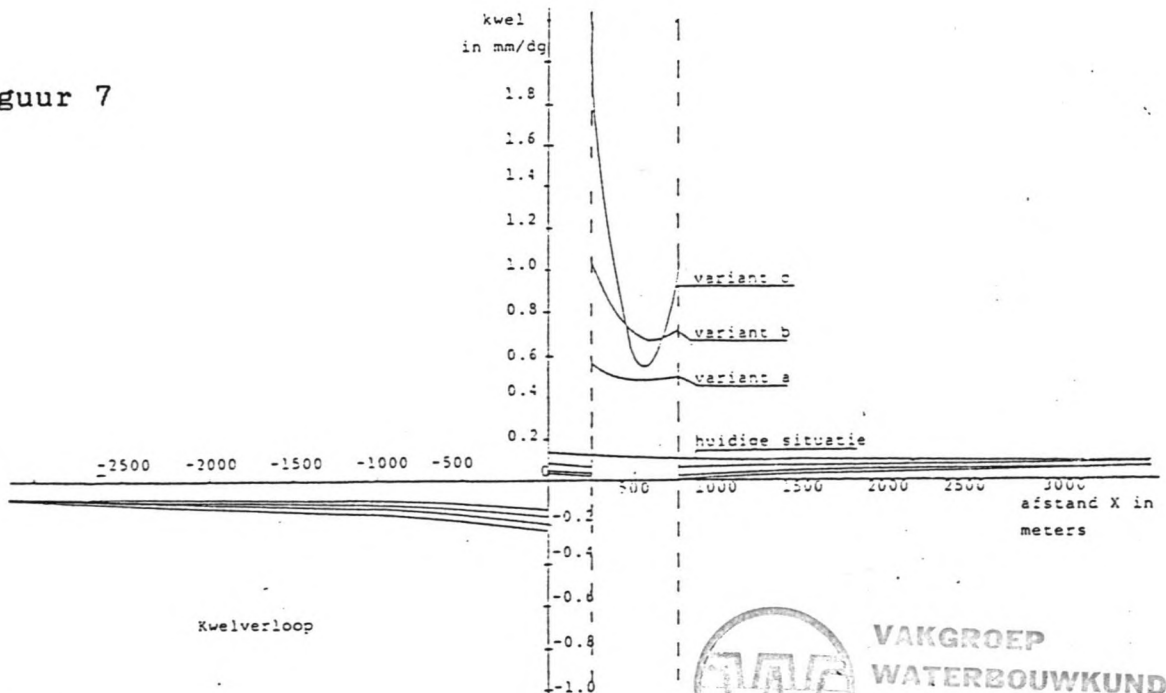
3.2.3 De resultaten

Hieronder volgen de resultaten in grafiek-vorm. Het blijkt, dat de stijghoogte ter plaatse van het spaarbekken vrij sterk verandert door de verandering van de weerstand van de bodem. De verstoring neemt echter vrij snel af naar mate de afstand tot het spaarbekken groter wordt. Door de grootte van de weerstand van de eerste weerstandslaag, zijn de gevolgen voor de kwel naar de polder miniem te noemen (zie figuur II.11) en figuur 8).



Stijghoogteverloop met als rechterrandoorwaarde $\phi(\infty) = -1.00$ m

figuur 7



figuur 8



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

3.3 De twee-dimensionale berekening

Bij de één-dimensionale handberekening zijn grote vereenvoudigingen aangebracht. Een beter resultaat mag dan ook verwacht worden van een twee-dimensionale berekening, waarbij meerdere lagen in rekening worden gebracht. Dit soort berekeningen zijn niet meer eenvoudig met de hand uit te werken, maar worden met behulp van een computer uitgevoerd. Het computer-programma PWNDRIN, geschreven door het PWN, is een programma dat een twee-dimensionale berekening met twee scheidende lagen kan uitvoeren.

3.3.1 Het model

Schematisatie van het gebied ten behoeve van dit programma houdt in, dat de derde weerstandslaag, waarvan de top op N.A.P. -110 m. ligt, als ondoorlatend wordt beschouwd. Het onderste watervoerende pakket wordt op deze manier verwaarloosd. Over het onderzoeksgebied (fig. II.12) wordt een raster gelegd, dat in paragraaf 3.3.3.1 beschreven wordt. Met het oog op de dimensies van de gebruikte variabelen in het programma PWNDRIN, is het aantal roosterpunten beperkt tot 300 punten. Uitbreiding zou wel mogelijk zijn, maar vereist programmatische veranderingen.

3.3.2 Het programma PWNDRIN

3.3.2.1 Het raster

PWNDRIN is gebaseerd op een eindige elementen-methode. Er wordt een raster over het gebied gelegd. Het gebied wordt nu vastgelegd door de diverse parameters toe te kennen aan de verkregen roosterpunten en elementen.

Het onderzoek richt zich op de veranderingen van de stijghoogten nabij het spaarbekken. De verstoring van de randen van het onderzoeksgebied op de resultaten zullen geringer zijn naarmate de randen verder weg gekozen worden. Met een beperkt aantal roosterpunten neemt dan echter de nauwkeurigheid af. Arbitrair is hier gekozen voor een raster van 18 X 14 roosterpunten met een maaswijdte van 500 meter. De stijghoogte aan de randen wordt constant verondersteld. Achteraf zal bekeken moeten worden in hoeverre de randen de uitkomsten beïnvloeden. op deze manier is een onderzoeksgebied verkregen van 8500 X 6500 meter .

3.3.2.2 De randvoorwaarden.

Aan de randen van het onderzoeksgebied dient een randvoorwaarde opgegeven te worden in de vorm van een vaste stijghoogte of een vast debiet. De randvoorwaarden volgen uit het isohypsenverloop (fig. II.7). In bijlage II.3 op pag. 2.23 staan de randvoorwaarden vermeld. Uit de grondwaterstudies van T.N.O. (lit.[8]) blijkt, dat de stijghoogte in het eerste en tweede watervoerende pakket gelijk zijn. De rooster punten zijn genummerd van onder naar boven en van links naar rechts (fig.II.7).

In de toplaag wordt een vaste stijghoogte aangenomen en wel als volgt:

	stijghoogte:
IJsselmeer	-0.40 m.
Spaarbekken	wisselend per variant zie pag. 25
Bergerveld	-0.40 m.
Polder	-2.40 m.

peilen t.o.v. N.A.P.

De weerstand van de bodem van het spaarbekken heeft in de gebruiksfase een vaste waarde. De weerstand van de bodem van het spaarbekken is opgebouwd uit twee partiële weerstanden

- De intreeweerstand t.g.v het slib op de bodem
- De weerstand van de laag zelf;dikte/doorlatendheid

Het verdiepen van het spaarbekken geschiedt zodanig, dat de huidige bodem zoveel mogelijk intact blijft. Met behulp van zandwinzuigers het zand onder de weerstandslaag vandaan gezogen wordt. Het aanwezige slib blijft op de bodem liggen, maar komt op een grotere diepte te liggen.

Door de gaten, die de cutterzuiger in de bodem maakt zal de weerstand van de laag tijdelijk sterk afnemen. Door de aanwezigheid van het slib zal de intreeweerstand zich vrij snel herstellen. Uit proeven, genomen door IWACO in de Markermeer is gebleken, deze weerstand zich in ongeveer 6 maanden weer zal herstellen tot enige honderden dagen. Aangezien de weerstand van de laag, voorafgaand aan het baggerwerk, 7500 dagen bedraagt en deze laag niet geheel verdwijnen zal, kan als acceptabele waarde voor de weerstand van de laag in gebruikstoestand, d.w.z na verdiepen van het spaarbekken, minimaal 1000 dagen aangenomen worden. Bij deze weerstand zal het effect van verschillende spaarbekkenpeilen op de grondwaterstand van de onderliggende pakketten in de polder bekeken worden.

3.3.3 De doorgerekende varianten

Er zijn twee soorten berekeningen uitgevoerd te weten :

- a) berekeningen ter bepaling van de gevolgen van het verlagen van de weerstand van de eerste weerstandslaag in het spaarbekken.
- b) berekeningen ter bepaling van de gevolgen van peilvariaties in het spaarbekken, bij een vaste weerstand van de eerste weerstandslaag.

Allereerst is, ter een kalibratie, de huidige toestand doorgerekend.

De huidige toestand:

huidige toestand: C=7500 dagen h_{eb}= N.A.P. -0.40 m.

De varianten:

variant 1	C=1000 dagen	h _{eb} = N.A.P. -0.40 m.
variant 2	C=250 dagen	h _{eb} = N.A.P. -0.40 m.
variant 3	C=50 dagen	h _{eb} = N.A.P. -0.40 m.
variant 4	C=1000 dagen	h _{eb} = N.A.P. -2.40 m.
variant 5	C=1000 dagen	h _{eb} = N.A.P. -5.40 m.
variant 6	C=1000 dagen	h _{eb} = N.A.P. -8.40 m.
variant 7	C=1000 dagen	h _{eb} = N.A.P. -10.40 m.

Tijdens de berekening kan de waterbalans gecontroleerd worden. Indien de waterbalans niet klopt kunnen extra iteraties uitgevoerd worden.

De resultaten van de berekening bestaan uit de stijghoogte per knooppunt in de volgende lagen:

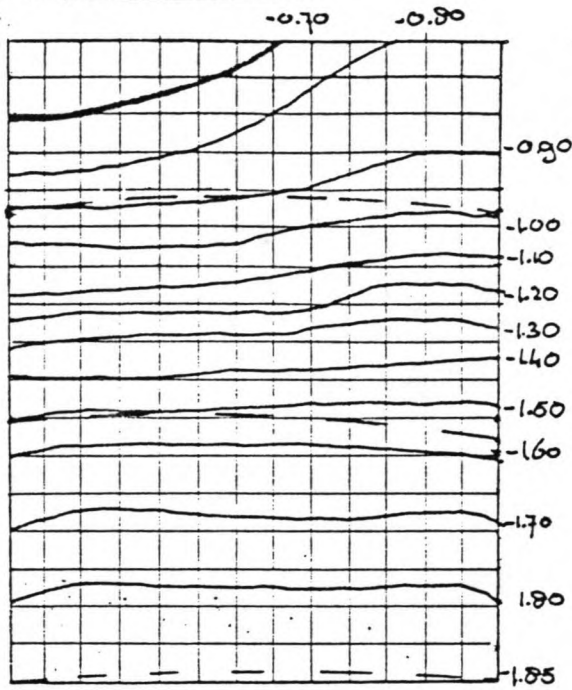
- 1) de top laag
- 2) de eerste watervoerende laag
- 3) de tweede watervoerende laag

3.3.4 De resultaten van de twee-dimensionale berekening

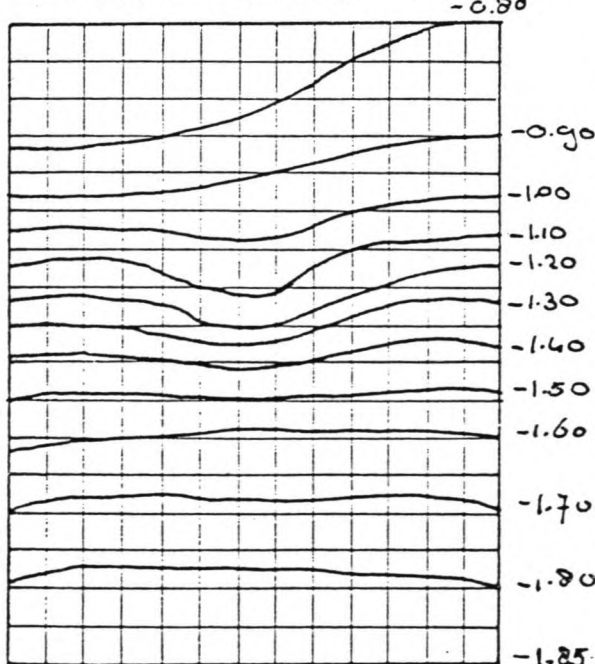
De resultaten zijn weergegeven in bijlage II. De getallen stellen de stijghoogten per pakket, in de knooppunten voor. Met behulp van deze resultaten zijn isohypsen op te stellen. (fig.II.13)

De figuren geven een beeld van de veranderingen. Voor kwantitatieve informatie betreffende een bepaalde plaats is het raadzamer de matrices van bijlage II.3 te gebruiken.

3.3.4.1 De kalibratie



figuur 9 huidige situatie



figuur 10 variant 1
peil -0.40 m c=1000 dagen

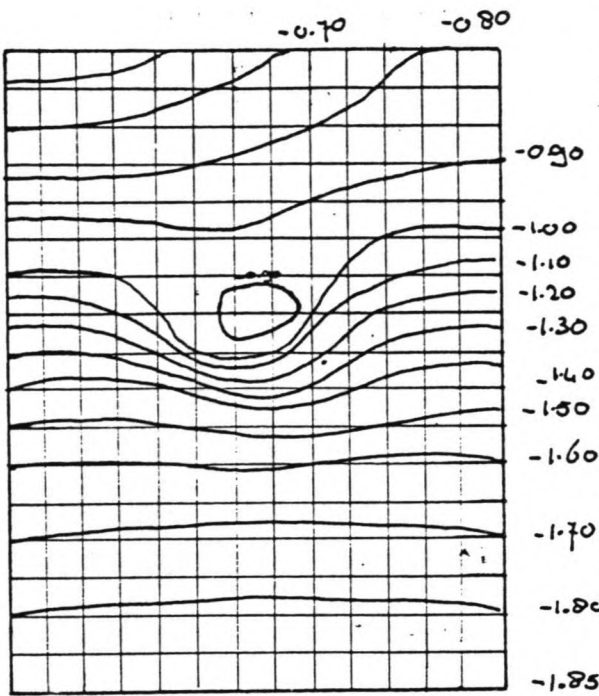
De berekening van de huidige situatie beschrijft de werkelijkheid redelijk. Er is wel enige afwijking met de werkelijke stijghoogten. Door de schematisatie van het gebied ontstaan afwijkingen t.o.v de werkelijke situatie (fig.II.13a). De kD-waarden en C-waarden zijn in werkelijkheid nooit constant over het beschouwde gebied. De isohypsen (fig. II.7), die bepaald zijn door TNO (lit.[8]), spreken elkaar ook tegen. Hoe het werkelijke stijghoogteverloop is, is dan ook niet geheel bekend.

Aangezien dit onderzoek het doel heeft, de optredende veranderingen ten gevolge van de genoemde ingrepen, te bepalen, zijn de uitkomsten voldoende bevredigend. Dit houdt in, dat met de gehanteerde randvoorwaarden en parameters de veranderingen bepaald kunnen worden.

opmerking: De randen beïnvloeden de resultaten enigszins. Dit blijkt uit de kromming van de isolijnen nabij de randen (fig. 9 t/m 16). Zoals reeds vermeld, zal aan de hand van een groter raster met een uitgebreider aantal knooppunten bepaald kunnen worden in hoeverre de resultaten beïnvloed worden door de randen. Het aantal knooppunten is echter in het huidige programma PWNDRIN beperkt.

----- De werkelijke situatie

3.3.4.2 Overweging m.b.t de weerstandsverandering t.g.v het verdiepen



Voor de bepaling van de stijghoogte veranderingen worden stijghoogten in knooppunt nummer 136 met elkaar vergeleken. (zie fig. II.14)

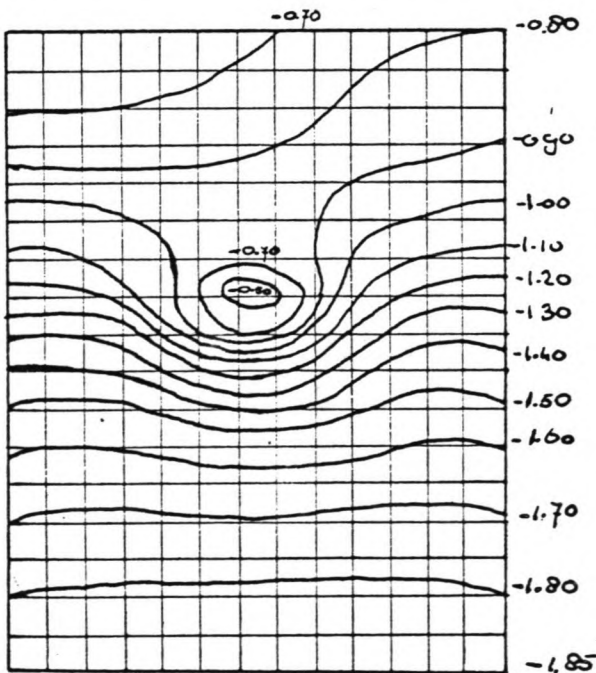
	stijghoogte ϕ
huidige toestand	-1.28 m
variant 1	-1.16 m
variant 2	-0.92 m
variant 3	-0.59 m

De grootste stijghoogteverandering juist buiten het spaarbekken bedraagt:

- 1.70 variant 1 ($\phi_I - \phi_0$).max = 0.12 m
- 1.80 variant 2 ($\phi_{II} - \phi_0$).max = 0.36 m
- 1.85 variant 3 ($\phi_{III} - \phi_0$).max = 0.69 m

-1.85 met ϕ_0 is de stijghoogte in de huidige situatie

figuur 11 normaal peil; C-waarde is 250 dagen variant 2



figuur 12 Normaal peil; C-waarde is 50 dagen variant 3

In het ongunstigste, maar tevens minst reële, geval van een C-waarde gelijk 50 dagen, is de grootte van de verstoring als functie van x, hieronder weergegeven. De beschouwde knooppunten zijn de punten 127 tot 144

x	ϕ_{III}	ϕ_0	$\phi_{III}-\phi_0$
0	-0.59	-1.28	0.69
500	-1.13	-1.41	0.28
1000	-1.39	-1.53	0.14
1500	-1.54	-1.61	0.07
2000	-1.63	-1.67	0.04
2500	-1.70	-1.73	0.03

De verstoring is nabij het spaarbekken goed merkbaar, maar op een afstand van 1.5 km. bedraagt de verandering nog slechts 7 cm. t.o.v. de huidige situatie.

De gevolgen voor de kwel zijn, door de grote waarde van de weerstand van de bovenste weerstandslaag in absolute zin niet zo groot. De maximale kwel direct achter de polderdijk bedraagt in het ongunstigste geval (de C-waarde t.p.v. het spaarbekken verlaagd tot 50 dagen):

$$\frac{2.40-0.59}{7500} = 0.25 \text{ mm/dag}$$

De kwel bedraagt in de huidige situatie:

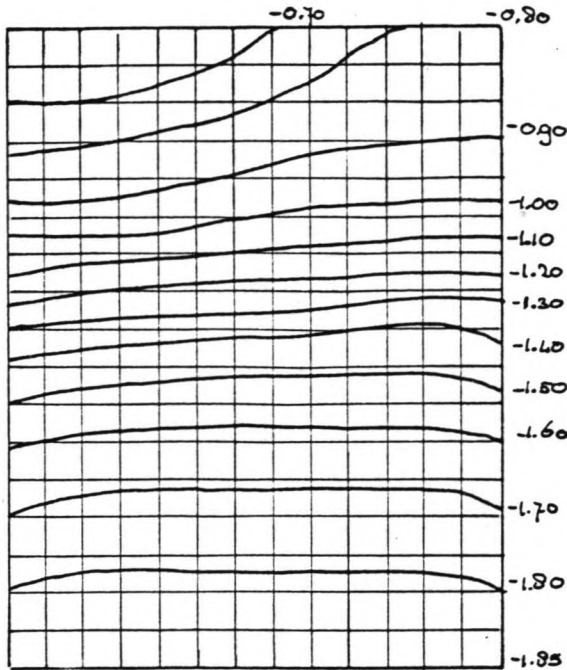
$$\frac{2.40-1.28}{7500} = 0.15 \text{ mm/dag}$$

De kwel neemt toe met 0.10 mm/dag. Het is echter de vraag of een C-waarde van 50 dagen reëel is.

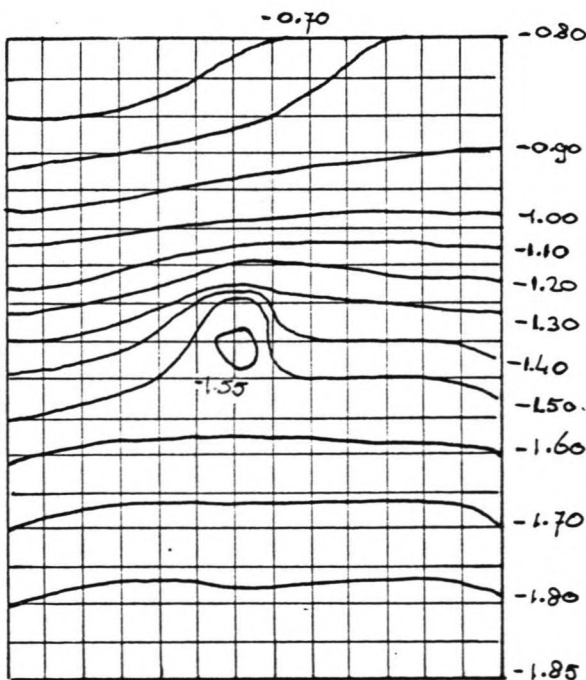
Ook de waarde van de kwel komen goed overeen met de waarde die volgen uit de handberekening.

3.3.4.3 Overweging m.b.t de peilvariatiies in de gebruikstoestand

In dit geval worden de veranderingen gerelateerd aan variant 1, spaarbekkenpeil bedraagt -0.40 m en $c = 1000$ dagen. Variant 1 is immers in de gebruiksfase de onverstoorde toestand.



figuur 13 variant 4
peil is -2.40 m C-waarde is
1000 dagen



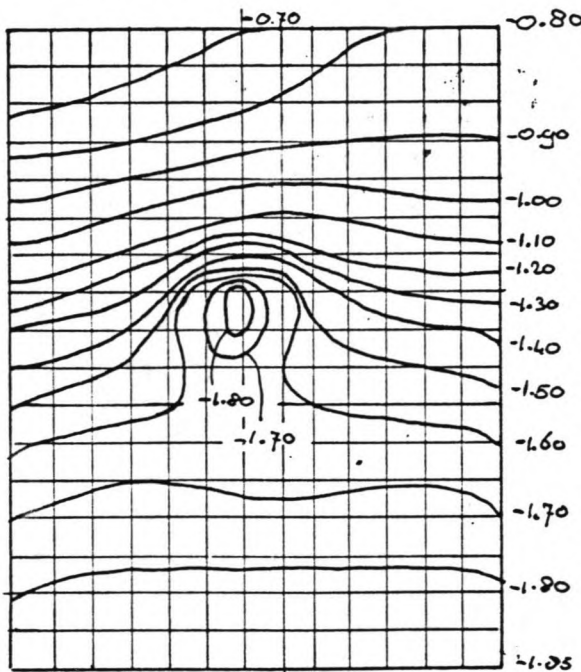
figuur 14 variant 5
peil is -5.40 m. C-waarde is
1000 dagen

Voor de bepaling van de verandering van de stijghoogte juiste buiten het spaarbekken worden de waarden van het knooppunt 136 van het eerste watervoerende pakket (zie

bijlage II.2) met die van variant 1 vergeleken.

Maximale stijghoogteverandering buiten het spaarbekken:

hoogte	stijghoogte	stijghoogte variant 1	verandering stijg-
variant 4	-1.32	-1.16	-0.16 m.
variant 5	-1.57	-1.16	-0.41 m.
variant 6	-1.81	-1.16	-0.65 m.
variant 7	-1.97	-1.16	-0.81 m.



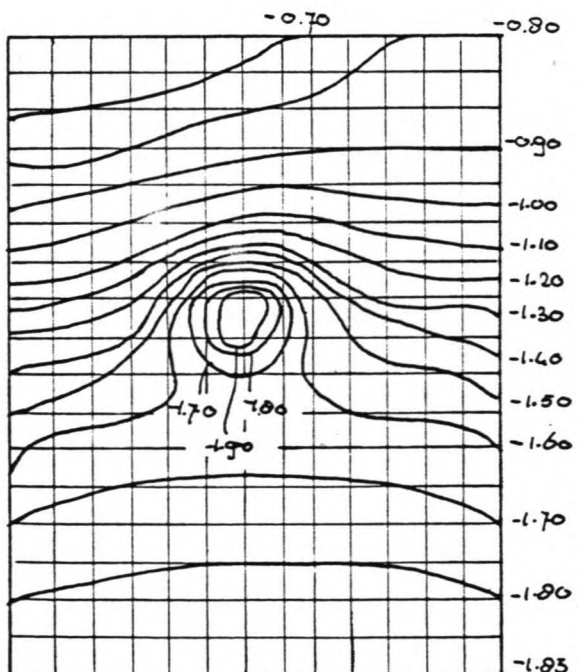
De stijghoogte daalt in variant 7 aanzienlijk, maar ook deze verstoring bedraagt op 2 km afstand nog slechts 5 cm. In geval van weerstandsverlaging was er een stijghoogte stijging te zien. spaarbekkenpeilverlaging leidt tot toestroming van het grondwater en geeft derhalve een daling van de stijghoogte te zien. Dit zou alleen in geval van waterschaarste een probleem een probleem kunnen zijn. De kwel in mm per vierkante meter bedraagt:

Huidige situatie
bekkenpeil :-0.40

$$\text{kwel} = \frac{2.40 - 1.16}{7500} = 0.17 \text{ mm/dag}$$

Verlaging van het spaarbekkenpeil tot N.A.P. -10.40 m

$$\text{kwel} = \frac{2.40 - 1.97}{7500} = 0.05 \text{ mm/dag}$$



bovenste figuur:

figuur 15 variant 6; C is 1000 dagen; bekkenpeil is N.A.P.-8.40 m

onderste figuur:

figuur 16 variant 7; C is 1000 dagen; het peil is N.A.P. -10.40 m

3.3.5 Conclusies

Op basis van de resultaten zijn de volgende conclusies te trekken:

- Het verdiepen van het spaarbekken heeft minieme wijziging van de huidige kwelsituatie tot gevolg.
- De stijghoogteverandering in de polder is het meest merkbaar direct achter de polderdijk en bedraagt 0.2 tot 0.8 meter, afhankelijk van de C-waarde van de bodem.
- Op 1.5 km afstand van het spaarbekken is er in het ongunstigste geval nog slechts 7 cm stijghoogte verandering te zien.
- Om de stroming naar de polder zoveel mogelijk te beperken, kan men gedurende de baggerwerkzaamheden het spaarbekkenpeil zo laag mogelijk houden.
- Het verlagen van het spaarbekkenpeil leidt, wat de grondwaterstroming betreft, niet tot een problematische situatie. De verstoring is op redelijk korte afstand uitgewerkt en door de hoge C-waarde van de eerste scheidingslaag blijft de kwel beperkt.
- Zoals te zien is aan de isohypsenkaartjes 9 t/m 16, verstoren de randvoorwaarden de resultaten. Het lijkt er echter op dat dit alleen bij de randen gebeurt. De grootte van de veranderingen van de stijghoogten nabij het spaarbekken zullen waarschijnlijk slechts in geringe mate beïnvloed worden. Om de mate van deze invloed te bepalen, zullen de berekeningen herhaald moeten worden met een groter raster.

4 De vergelijking van de resultaten van de twee-dimensionale berekening met de één-dimensionale berekening.

Om de handberekening en de computerberekening te kunnen vergelijken, wordt kolom 7 van het eerste watervoerende pakket van de berekening van de huidige situatie beschouwd. (zie pag. 2.26 van de bijlage)

x	ϕ_{1-d} (m)	$\Delta\phi/\Delta x$	ϕ_{2-d} (m)	$\Delta\phi/\Delta x$
-2000	-1.80	-	-1.67	-
-1000	-1.64	0.16	-1.53	0.17
-500	-1.54	0.10	-1.41	0.12
0	-1.40	0.14	-1.28	0.13
500	-1.28	0.12	-1.16	0.12
1000	-1.20	0.08	-1.06	0.10
1500	-1.15	0.05	-0.98	0.08
2000	-1.11	0.03	-0.90	0.08

Door de randvoorwaarde, die gehanteerd is in de één-dimensionale handberekening, die aan de IJsselmeerzijde toch wel afwijkt van de randvoorwaarde in de twee-dimensionale berekening, ligt lijn $\phi(x)_{1-d}$ lager dan de $\phi(x)_{2-d}$. De verandering van de stijghoogte als functie van de afstand komt echter wel vrij goed overeen. Vertrouwen in de resultaten van de computerberekening is derhalve gerechtvaardigd.

Hoofdstuk 3 De dijkproblematiek

Inleiding.

In dit hoofdstuk komt de dijkproblematiek aan de orde. Het hoofdstuk is gesplitst in twee delen te weten, de dijkstabiliteit in paragraaf 1 en de wateroverslag in paragraaf 2.

1 De dijkstabiliteit

Inleiding

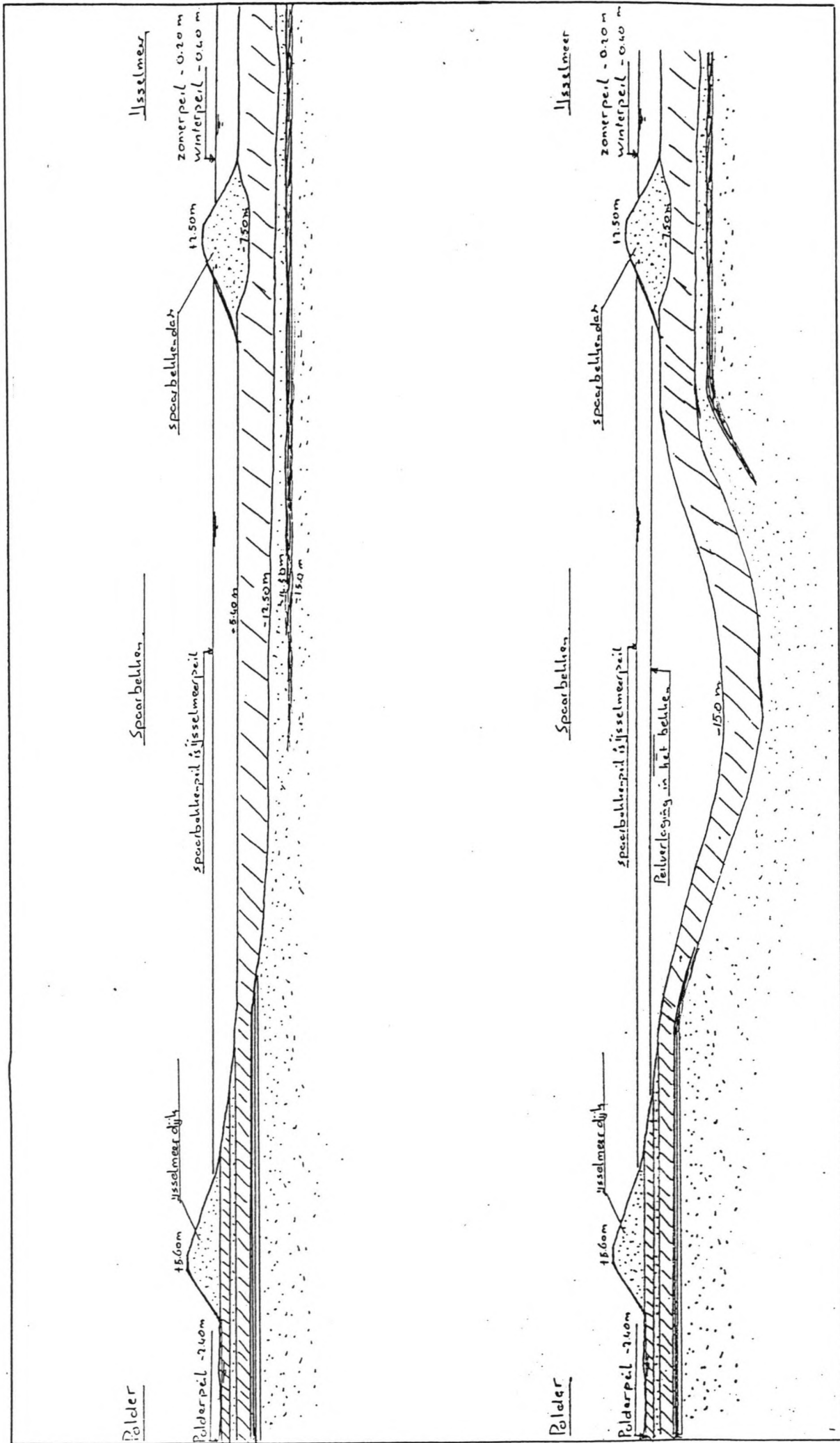
Het drinkwaterzuiveringsstation "Andijk" onttrekt water uit het spaarbekken om het te verwerken tot drinkwater. Het bodemniveau van het spaarbekken is op het diepste punt N.A.P. -5.40 m. Het spaarbekken wordt omsloten door twee dijken te weten, de oude ijsselmeerdijk en de spaarbekkendam (zie fig. III.1). Indien het spaarbekken verdiept wordt tot N.A.P. -15 m zou dit gevolgen voor de stabiliteit van de dijken kunnen hebben, indien de verlaging van de bodem te dicht bij de teen van de dijken zou beginnen. In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de voorwaarden zijn, zodat de stabiliteit van de dijken gewaarborgd blijft, na het verdiepen van het spaarbekken.

Een tweede oorzaak van stabiliteitsverlies zou het verlagen van het spaarbekkenpeil kunnen zijn. In de normale omstandigheden is de waterstand in het spaarbekken gelijk aan het peil op het IJsselmeer. Het zomerpeil van het IJsselmeer bedraagt N.A.P. -0.20 m en het winterpeil N.A.P. -0.40 m. Bij gesloten inlaat tussen het IJsselmeer en het spaarbekken zal bij onttrekking van water door het pompstation het spaarbekkenpeil dalen. In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de gevolgen voor de stabiliteit zijn, indien het spaarbekkenpeil verlaagd wordt.

Ook de combinatie van spaarbekkenpeilverlaging en het verdiepen van het spaarbekken is onderzocht.

In figuur 17 is in een schets de situatie weergegeven in de huidige toestand en na het verdiepen van het spaarbekken, eventueel in combinatie met een spaarbekkenpeilverlaging.

Om het behoud van stabiliteit aan te tonen zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor de maatgevende profielen van beide dijken. Er zijn een aantal varianten doorgerekend met behulp van het programma STABIL. Met dit programma was het mogelijk de stabiliteit te analyseren met behulp van de Modified Bishop Method.



Figuur 17 Situatie-schets van de huidige en de toekomstige situatie

1.1 De ontwerpgegevens

1.1.1 Het bodemonderzoek

Ten behoeve van de dijkstabiliteit van beide dijken, is het noodzakelijk de bodemgesteldheid te kennen. Tijdens de aanleg van het zuiveringsstation en het spaarbekken is er uitgebreid onderzoek gedaan naar de bodemgesteldheid. Van de voor dit onderzoek relevante boringen en sonderingen zijn in bijlage III de resultaten weergegeven. (figuren III.2 t/m III.13). Voor de nummering en de locaties van de boringen en sonderingen wordt verwezen naar figuur III.1.

Bodemopbouw van de ijsselmeerdijk

De opbouw van de ondergrond van de ijsselmeerdijk volgt uit de sonderingen 10 t/m 50 en 22 t/m 28. De ondergrond vertoont niet al te grote verschillen in de diepteligging en de dikte van de laag. De bovenste laag, tot ca 1.50 m beneden N.A.P., is een zandlaag. De zandlaag die op ca 5 meter diepte ligt, variëert zowel van diepte als van dikte. De onderste draagkrachtige zandlaag ligt over het hele dijktracé op N.A.P. -10 m. De tussenliggende slappere lagen bestaan, zoals te zien is in de boringen 02 en 03, uit veen en klei. Boring 28 ligt het dichtst bij de beschouwde doorsnede A-A en is de basis voor het gehanteerde bodemprofiel, op basis waarvan de stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd. Dit bodemprofiel staat weergegeven in figuur III.15. Dwars Heederik en Verhey (D.H.V.) heeft in eerder onderzoek op basis van de boor-en sondeergegevens de bodemconstanten bepaald, welke vermeld staan in dezelfde figuur.

Bodemopbouw van de spaarbekkendam

Voor de spaarbekkendam zijn de boringen en sonderingen 1 t/m 5 en 12 van belang. De boor-en sondeerresultaten staan weergegeven in de figuren III.2 t/m III.13. De resultaten geven een redelijk constant beeld van de ondergrond langs het dijktracé. Het bodemniveau ligt gemiddeld op 5.40 meter beneden N.A.P. Bij de aanleg van de dijk is een cunet gegraven tot N.A.P. -7.50 m. Het cunet is aangevuld met zand ($\phi=30$ $\gamma_d=18$ KN/m³) Het dijklichaam bestaat uit een zandlichaam van hetzelfde zand. Tot ca. N.A.P. -12.5 m bestaat de bodem uit relatief slappe klei en veen. Daaronder bevindt zich het draagkrachtige zandpakket. Het gemiddelde bodemprofiel is weergegeven in figuur III.15. De bodemconstanten volgen zoals reeds vermeld uit onderzoek verricht door D.H.V.

1.1.2 De profielbeschrijving

De spaarbekkendam

In 1967 is de spaarbekkendam gebouwd. Hierdoor werd een gedeelte van het IJsselmeer afgeschermd en ontstond het spaarbekken. De dam is opgebouwd uit voornamelijk zand en de hoogte na zetting zou N.A.P. +2.10 m moeten bedragen. Uit recente waterpasmetingen, uitgevoerd door DHV, blijkt de kruinhoogte te variëren van N.A.P.+2.50 m en N.A.P. +2.00 m. De verschillen in zetting, gedurende de afgelopen 20 jaar, zouden veroorzaakt kunnen zijn door verschillen in de bodemopbouw. Ter plaatse van een grotere zetting bevindt zich een minder draagkrachtige ondergrond. Bij het maken van eventuele dijkaanpassingen moet hier rekening mee gehouden worden.

Voor het stabiliteitsonderzoek is het maatgevende profiel van belang. Hoe hoger de dijk is, des te lager zal de stabiliteit zijn. De maatgevende kruinhoogte zal derhalve N.A.P. +2.50 m bedragen.

kruinhoogte	N.A.P. +2.50 m
binnentalud	
onderste gedeelte	1:4.5
bermbreedte	2.0 m
bovenste deel	1:2
kruinbreedte	3.0 m
buitentalud	
bovenste gedeelte	1:4.5
bermbreedte	2.67 m
bermhelling	1:20
onderste gedeelte	1:4.5

De dijk bestaat uit een zandlichaam, aan de ijsselmeerzijde afgedekt met een laag klei en slib van ongeveer 30 cm, om het zandlichaam te beschermen tegen golf- en stroomaanval. Tevens is er een grondverbetering toegepast tot N.A.P.-7.50 m. Voor de opbouw van de ondergrond en de bodemconstanten wordt verwezen naar fig. III.14.

De ijsselmeerdijk

De kruinhoogte	N.A.P. +5.60 m.
buitentalud (bekkenzijde)	
boven water	1:3
onder water	1:19/1:6
binnentalud (polderzijde)	ca. 1:2.2
maaiveld polder	N.A.P. -1.5 m.

De opbouw van de grond en de bodemconstanten volgen uit hetzelfde grondonderzoek als genoemd onder paragraaf 1.1.1 en staan weergegeven in fig. III.15.

De opbouw van de beide dijken en de ondergrond zijn weergegeven in de tekeningen 1 en 2.

1.1.3 De waterstanden.

Voor de hoogste waterstand van het IJsselmeer in rust, wordt het zomerpeil genomen, dat op N.A.P. -0.20 m. ligt. Dit peil is er niet gedurende het gehele jaar. Een groter verschil in waterstand binnen en buiten de dijk is nadeliger voor de stabiliteit. Daarnaast leiden hogere waterspanningen tot lagere korrelspanningen. Vanwege bovenstaande redenen is het zomerpeil maatgevend voor de stabiliteit. Onder normale omstandigheden staat de inlaat naar het IJsselmeer altijd open, waardoor het peil in het spaarbekken ook N.A.P. -0.20 m bedraagt.

Het peil van de polder bedraagt N.A.P. -2.40 m.

1.1.4 De methode van verdiepen.

Bij het verdiepen is het zaak de bodem zo min mogelijk te roeren, in verband met de drinkwaterkwaliteit en de hydraulische weerstand. De laag moet weerstand bieden tegen kwel van en naar de omgeving. Het verlagen van de bodem kan op 2 manieren plaatsvinden. Bij de eerste manier wordt het spaarbekken in verschillende gebieden verdeeld. Vervolgens wordt de kleilaag weggebaggerd en elders in het spaarbekken opgeslagen. Vervolgens wordt het zand weggezogen en als de bodem op voldoende diepte is, wordt de bodem weer afgedekt met de kleilaag.

Een tweede mogelijkheid is met een zandwinzuiger het zand onder de kleilaag weg te zuigen. Het zand, onder de 7.10 meter dikke kleilaag wordt dan weggezogen, door middel van een zuigbuis, die zich op ca. N.A.P. -20 m bevindt. Die kleilaag zou hierbij zijn dikte moeten behouden en omlaag zakken.

Bij de tweede werkwijze blijft de samenhang van de bodem en dus ook de hydraulische weerstand veel beter behouden. De bodem wordt bij de tweede werkwijze veel minder geroerd dan bij de eerste werkwijze. Het spaarbekkenwater zal minder vervuild raken met bodemmateriaal. De tweede werkwijze verdient dus, op basis van deze factoren, de voorkeur boven de eerste.

In principe gaat het verdiepen als volgt in het werk.

Een zandwinzuiger, als in bijgaand figuur (zie fig. 18) staat getekend, komt in het spaarbekken te liggen. Door de spuitpijp (3) wordt de grond losgespoten en met een zuigbuis (2) weggezogen. De buis (2) met zuigmond (8) zakt onder zijn eigen gewicht in de bodem. Door nu het zakken van de zuigmond te combineren met het opvaren van de zandwinzuiger, kan de zuigmond op de gewenste diepte gebracht worden. Er wordt nu zolang zand weggezogen tot de gewenste bodemdiepte bereikt is. Op deze wijze wordt op meerdere plaatsen in het spaarbekken het zand onder de bodemlaag weggezogen en in het gehele spaarbekken de bodem op de gewenste diepte gebracht. De enige verstoringen in de bodem zouden nu theoretisch de sleuven zijn, welke ontstaan door het dalen van de zuigbuis.

Bij de stabiliteitsbepalingen is, bij het opstellen van de invoergegevens van deze werkwijze uitgegaan.

Opvaren tijdens het zuigmond

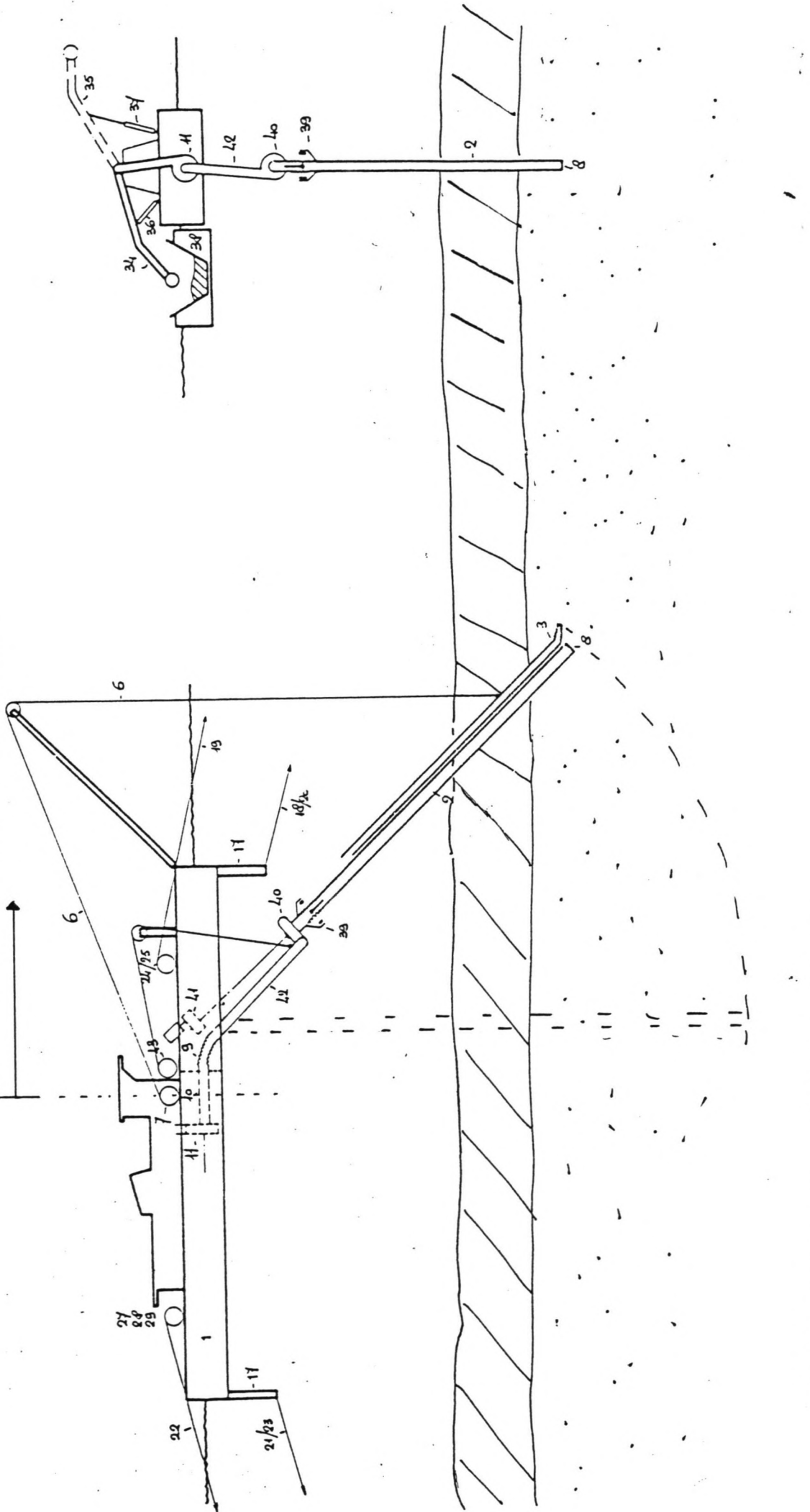


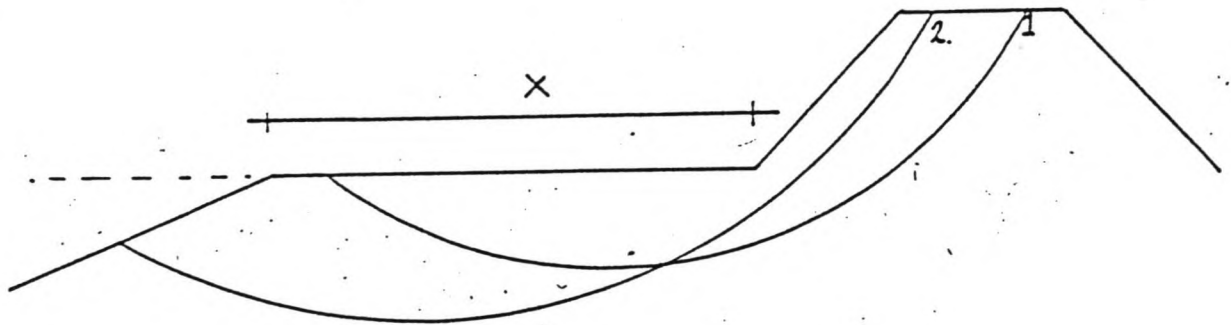
Fig 18. Schets van de methode van uitdiepen

1.1.5 De stabiliteitsbeschouwing.

Het verdiepen en de peilverlaging hebben, naast de gevolgen voor de grondwaterstroming, ook gevolgen voor de dijkstabiliteit. Er dient gecontroleerd te worden of de stabiliteit bij een normaal spaarbekkenpeil gewaarborgd blijft, na het verdiepen van het spaarbekken. Ook na verlagen van het spaarbekkenpeil moeten de dijken stabiel blijven.

De gevolgen van het verdiepen voor de dijkstabiliteit zijn afhankelijk van de afstand van de boveninsnijding van de verlaagde bodem tot de teen van de dijk (lengte X in figuur 19). Zowel bij een normaal spaarbekkenpeil als een verlaagd peil moet deze afstand voldoende blijven.

De plaats van de insnijding van de verdiepte bodem wordt bepaald op basis van het minst stabiele glijvlak 1 (fig. 3.1) in die situatie, dat het spaarbekken niet verdiept is. Vervolgens wordt het variant met een verlaagde bodem, waarbij de insnijding op afstand X van de dijk genomen wordt, doorgerekend. Hierbij wordt gecontroleerd of er cirkels zijn die de verlaagde bodem (1:6) snijden (glijvlak 2) en een lagere stabiliteit hebben. Indien dit niet het geval is, is de afstand X voldoende. Mochten er cirkels zijn, die de verlaagde bodem snijden een lagere stabiliteit hebben, dan moet er bekeken worden of de stabiliteit nog als voldoende beschouwd mag worden. In het algemeen worden voor dit soort dijken een stabiliteit van 1.3 als minimaal aangehouden.



figuur 19

Een tweede oorzaak van stabiliteitsverlies zou verlaging van het spaarbekkenpeil kunnen zijn. Ook deze gevallen dienen onderzocht te worden. Doordat het spaarbekkenpeil daalt, neemt de korrelspanning af en kan de bodem opgedrukt worden. Indien dit gebeurt, zal er veel grond en slib in het water komen, hetgeen nadelig is voor de stabiliteit en de verwerking van het spaarbekkenwater tot drinkwater. De mate van peilverlaging mag derhalve niet leiden tot opdrukken van de bodem.

Teneinde de stabiliteit van beide genoemde dijken en de minimale afstand X te bepalen, zijn een aantal varianten doorgerekend, die gebaseerd op de volgende twee hoofdpunten:

- 1) De huidige situatie -- bodem niveau N.A.P. -5.40 m
-- bodem niveau N.A.P. -15 m

- 2) De situatie bij een verlaagd spaarbekkenpeil
-- bodem niveau N.A.P. -5.40 m
-- bodem niveau N.A.P. -15 m

In de volgende twee paragrafen wordt een aanname gedaan voor de mate van peilverlaging en de gevolgen hiervan. De doorgerekende varianten staan vermeld in paragraaf 3.4.

Voor de spaarbekkendam en de ijsselmeerdijk zijn vier varianten opgesteld t.w.:

- 1) de huidige situatie

Varianten op basis van :

- 2) peilverlaging
- 3) verdiepen
- 4) peilverlaging en verdiepen

In totaal levert dit voor de beide waterkeringen acht varianten op, voor het bepalen van de stabiliteit.

1.2 De berekening.

In deze paragraaf wordt uiteengezet hoe de stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd. De resultaten staan vermeld in paragraaf 3.5 en de conclusies zijn te vinden in paragraaf 3.6

1.2.1 Het programma STABIL.

De stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met het programma STABIL. Het programma is geschreven door prof. dr. ir. A. Verruyt en is bedoeld voor studiedoeleinden. De stabiliteit wordt geanalyseerd door de stabiliteit van cirkelvormige glijvlakken te bepalen met de "Modified Bishop Method".

De verschillende profielen worden ingevoerd door de coördinaten van de diverse laagscheidingen op te geven. Per laag kan de grondgesteldheid en de waterspanning opgegeven worden. Het programma bepaalt op basis van een raster van 25 middelpunten en maximaal 10 cirkels per middelpunt de minst stabiele cirkel. Door het raster van middelpunten stapsgewijs te verplaatsen en te verfijnen kan de minst stabiele cirkel bepaald worden. De onderzochte cirkels worden vastgelegd door het opgeven van coördinaten van punten, die op de cirkel liggen.

Voor de coördinaten wordt verwezen naar de tekeningen 1 en 2 in de bijlage.

De werking van het programma is getoetst middels eenvoudige gevallen welke staan vermeld in het studie diktaat "numerieke grondmechanica". Ook voor verdere informatie betreffende de werking van het programma wordt verwezen naar dit diktaat.

1.2.2 De bepaling van de mate van spaarbekkenpeilverlaging.

Indien gedurende een bepaalde tijd er geen ijsselmeerwater ingenomen kan worden, bijvoorbeeld als gevolg van een calamiteit, kan het spaarbekken als voorraad dienen. Het verlagen van de waterstand heeft echter gevolgen voor de waterspanningen en derhalve voor de korrelspanningen. Afname van de korrelspanning zijn nadelig voor de dijkstabiliteit. Het evenwicht van een glijvlak wordt immers bepaald door de maximale schuifspanning. De schuifspanning is afhankelijk van de korrelspanning. Een lagere korrelspanning geeft ook een lagere maximale schuifspanning. De stabiliteit wordt dus door de peilverlaging beïnvloed. De mate van verlaging mag ook niet leiden tot opdrukken van bodem. Dit is ook nadelig voor de stabiliteit. Naast de gevolgen voor de stabiliteit is het opdrukken van de bodem nadelig voor de waterkwaliteit en de kwel naar de polder.

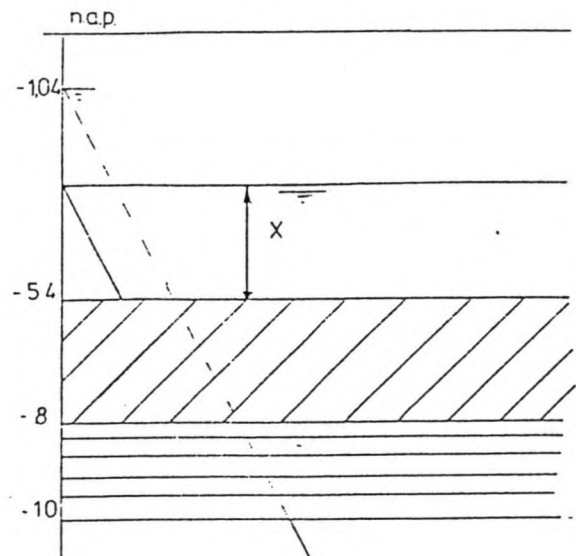
In hoofdstuk 2 is aangenomen, dat de hydraulische weerstand (C-waarde) van de bodem, na het verdiepen van het spaarbekken nog 1000 dagen bedraagt. Uit de berekening van de grond-

waterstroming blijkt, dat bij een C-waarde van 1000 dagen de stijghoogte in het bovenste watervoerende pakket in gebruikstoestand N.A.P. -1.04 m bedraagt.

De bodem van het spaarbekken wordt opgedrukt, indien het verticale gewicht van de grond en het water samen kleiner is dan de opwaartse waterdruk. De bodem nabij de ijsselmeerdijk is dunner en lichter, dan de bodem nabij de spaarbekkendam. De bodem nabij de ijsselmeerdijk is dus maatgevend.

De bodem bij de ijsselmeerdijk bestaat uit 2.60 m klei en 2.00 m veen. Het neerwaartse gewicht moet evenwicht maken met de opwaartse druk. (zie fig. 20). Op deze wijze kan bepaald worden tot welk niveau het water minimaal in het spaarbekken moet blijven.

$$10 * (10 - 1.04) < 2.60 * 15 + 2 * 12 + 10 * X$$



figuur 20

$$\Rightarrow X > 2.66 \text{ m.}$$

Een daling van het spaarbekkenpeil tot N.A.P. -2.74 m op basis van dit criterium is mogelijk. Dit is echter precies de grenstoestand. Het is de vraag of verlagings tot -2.74 m niet tot problemen leidt. De stabiliteitsberekeningen worden verder op basis van deze grenstoestand, een spaarbekkenpeilverlagings tot de genoemde N.A.P. -2.74 m, uitgevoerd.

1.2.3 De gevolgen van de spaarbekkenpeilverlagings voor de waterspanning in de bodem.

Een tweede aspect van de verlagings van het spaarbekkenpeil is het reageren van de waterspanningen in de dijk en in de bodem als functie van de tijd. Om hier een uitspraak over te doen moet eerst de tijdsduur bepaald worden waarin de verlagings bereikt wordt. De tijdsduur is afhankelijk van de productie van het zuiveringsstation "Andijk" en de inhoud van het spaarbekken.

Bedrijfsvoering van het zuiveringsstation ANDIJK:

Jaarlijkse productie 15.486.640 m³
per etmaal

minimaal	32420 m ³
maximaal	56320 m ³
gemiddeld	42429 m ³

oppervlakte van het spaarbekken ca 48 ha
Zomerpeil N.A.P. -0.20 m
Huidige maximale afmaling : -1.84 m
Huidige voorraad : 1.000.000 m³

Verlaging van het spaarbekkenpeil tot -2.74 zou dan ruwweg een voorraad van $(2.74-0.20)/(1.84-0.20) * 1.000.000 \text{ m}^3 = 1.500.000 \text{ m}^3$ bieden. Uitgaande van de gemiddelde drinkwaterproductie (onttrekking uit het spaarbekken) biedt het spaarbekken een watervoorraad van ongeveer 35 dagen. De voorraadvergroting bedraagt ongeveer 50 %. Het moge duidelijk zijn dat de genoemde 35 dagen voorraad sterk afhankelijk is van de bedrijfsvoering van het zuiveringsstation "Andijk". Het is ook moeilijk de productiviteit van het pompstation in geval van een calamiteit te voorspellen. Voor de bepaling van de waterspanningen in de grondlagen na verlaging van het spaarbekkenpeil, is het echter van belang een orde van grootte te hebben wat het de duur van de afmaling betreft.

De waterspiegel daalt bij een maximale bemaling met een snelheid van $56320/480000 = 0.12$ meter per etmaal. De gemiddelde daling bedraagt 0.09 meter per etmaal. Aangezien beide dijklichamen voornamelijk uit zand bestaan en de daling zo langzaam geschiedt, is het gerechtvaardigd aan te nemen, dat er geen overdrukken in de dijklichamen ontstaan ten gevolge van de verlaging en dat de freatische lijn zich direct instelt. Aangezien de dijklichamen voornamelijk uit zand bestaan, wordt de freatische lijn als een rechte lijn geschematiseerd.

Met de waterspanningen in de klei-en veenlagen ligt het anders. Indien er evenwicht is, zal de waterspanning hydrostatisch zijn. Doordat het water in het spaarbekken daalt zal de waterspanning in de kleilaag ook dalen. Na verloop van tijd zal de waterspanning in de klei-en veenlaag dus verlopen van, de waterspanning die aan bovenzijde geldt naar, de waterspanning die aan de benedenzijde geldt. (zie figuur 20). De waterspanning zal dus in de klei-en veenlaag niet hydrostatisch verlopen. De waterspanning aan de bovenzijde wordt bepaald door de waterstand in het spaarbekken. De waterspanning aan de onderzijde wordt bepaald door de stijghoogte, die in de watervoerende laag geldt. De waterspanning in de watervoerende laag onder de klei-en veenlaag zal zich echter veel langzamer aanpassen en derhalve in de stabiliteitsberekening als constant N.A.P.-1.04 m (zie hoofdstuk 2) aangenomen worden. In hoeverre de waterspanning zich in de genoemde 35 dagen aan kan passen aan de gewijzigde situatie, kan bepaald worden met een

eenvoudige formule (lit [13]). Met deze formule is te bepalen hoever de waterspanningsverandering in een laag is doorgedrongen na $t - t_0$ dagen.

$$L = 4 \sqrt{C_v * (t - t_0)}$$

met C_v = Consolidatiecoëfficiënt
= voor klei $20 * 10^{-4}$ cm²/s
= voor veen $80 * 10^{-4}$ cm²/s

De spaarbekkendam

Onder de kleilaag, die tot N.A.P. -12.5 m loopt is de stijghoogte -1.04 m.

$$t - t_0 = 35 * 24 * 3600 \text{ seconden}$$
$$C_v = 20 * 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$$

De indringingslengte van onder af gemeten bedraagt :

$$L = 4 \sqrt{20 * 10^{-4} * 35 * 24 * 3600} = 311 \text{ cm}$$

L is kleiner dan de laagdikte. De waterspanning in de kleilaag heeft zich dus nog niet geheel aangepast. Het stijghoogteverloop als functie van de diepte in de huidige situatie is weergegeven in fig. III.16. De situatie na verlaging van het spaarbekkenpeil is weergegeven in figuur III.17.

De ijsselmeerdijk

De bodem is opgebouwd uit een veenlaag en een kleilaag. Er wordt bepaald na hoeveel dagen de gehele veenlaag beïnvloed is.

$$L = 4 \sqrt{C_v * (t - t_0)} \implies t - t_0 = [L / 4]^2 * 1/C_v$$

$$t - t_0 = 50^2 * 1/(80 * 10^{-4}) = 3.6 \text{ dagen}$$

Dit blijkt na 3.6 dagen het geval te zijn. Na $35 - 3.6 = 31.4$ dagen is de verandering 2.95 m doorgedrongen in de kleilaag.

$$L = 4 \sqrt{20 * 10^{-4} * 31.4 * 24 * 3600} = 295 \text{ cm}$$

De indringingslengte bedraagt in totaal dus meer dan de dikte van beide lagen. Derhalve wordt aangenomen dat na 35 dagen de waterspanning zich in de gehele bodemlaag aangepast heeft aan de veranderde toestand. Het stijghoogteverloop als functie van de diepte in de huidige situatie staat in figuur III.18. Het stijghoogteverloop na peilverlaging staat weergegeven in figuur III.19.

1.2.4 De beschrijving van de varianten.

Hieronder worden de varianten besproken, die doorgerekend zijn met het programma "Stabil". Voor de genoemde coördinaten wordt verwezen naar de tekeningen nummers 1 en 2. In de bijlagen staan ook de invoerfiles vermeld. (pag.3.31 t/m 3.51 van de bijlagen)

De spaarbekkendam

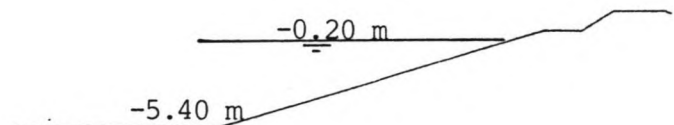
variant 1

Variant 1 betreft de spaarbekkendam in de huidige situatie bij een huidige spaarbekkenpeil van N.A.P. -0.20 m. De cirkels, die onderzocht zijn lopen door de coördinaten, die hieronder vermeld staan.

Samenvattend:

- huidige situatie
- spaarbekkenpeil is -0.20 m
- onderzochte cirkels lopen door :

[5 , -0.2]
[7.5, -0.2]
[10, -0.2]
[12.5, -0.2]
[15, -0.2]
[17.5, -0.2]
[20, -0.2]
[22.5, -0.2]
[25, -0.2]



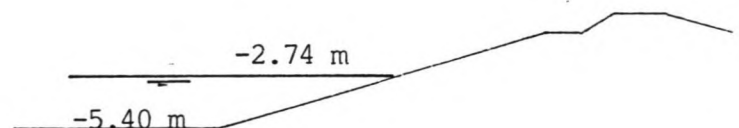
variant 2

Variant 2 betreft de spaarbekkendam bij een verlaagd spaarbekkenpeil tot N.A.P. -2.74 m. De onderzochte cirkels zijn dezelfde als bij variant 1 en de coördinaten staan hieronder vermeld

Samenvattend:

- huidige situatie
- spaarbekkenpeil is -2.74 m
- onderzochte cirkels

[5 , -0.2]
[7.5, -0.2]
[10, -0.2]
[12.5, -0.2]
[15, -0.2]
[17.5, -0.2]
[20, -0.2]
[22.5, -0.2]
[25, -0.2]



variant 3

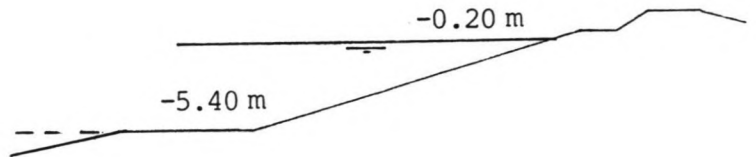
Variant 3 betreft ook de spaarbekkendam bij een spaarbekkenpeil van N.A.P. -0.20 m maar nu met een verlaagde bodem. Na varianten 1 en 2 te hebben doorgerekend kon de afstand

bepaald worden van de dijk tot aan de boveninsnijding van de verlaagde bodem. Het minst stabiele glijvlak van variant 2 was bepalend voor de afstand X. De onderzochte cirkels lopen door de punten, waarvan de coördinaten hieronder staan vermeld.

Samenvattend:

- spaarbekken verdiept onder een helling 1:6 tot N.A.P. -15 m
- insnijding op 15 meter van de teen van het talud
- spaarbekkenpeil is -0.20 meter
- onderzochte cirkels lopen door:

- [-5 , -5.4]
- [-2.5 , -5.4]
- [0 , -5.4]
- [2.5 , -5.4]
- [5 , -5.4]



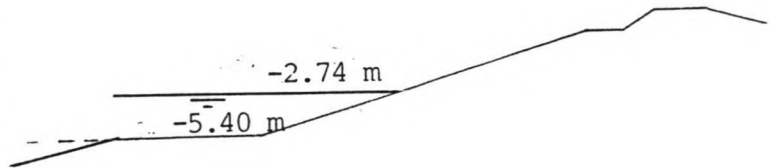
variant 4

Variant 4 is in wezen hetzelfde als variant 3 maar dan met een verlaagd spaarbekkenpeil.

Samenvattend:

- spaarbekken verdiept onder een helling 1:6 tot N.A.P. -15 m
- insnijding op 15 meter van de teen van het talud
- spaarbekkenpeil is -2.74 meter
- onderzochte cirkels lopen door:
- onderzochte cirkels lopen door:

- [-5 , -5.4]
- [-2.5 , -5.4]
- [0 , -5.4]
- [2.5 , -5.4]
- [5 , -5.4]



De ijsselmeerdijk

variant 5

Variant 5 betreft de ijsselmeerdijk in de huidige situatie bij een spaarbekkenpeil van N.A.P. -0.20 m. De stabiliteitsfactor is in twee stappen bepaald. Eerst door de stabiliteit te onderzoeken van de cirkels die door het bovenste deel van het talud lopen. Daarna is het onderste gedeelte van het talud onderzocht

Samenvattend:

-huidige situatie

-spaarbekkenpeil is -0.20 m

bovenste deel talud:

-onderzochte cirkels lopen door:

[35, -0.2]

[40, -0.2]

[45, -0.2]

[50, -0.2]

[55, -0.2]

onderste deel talud

-cirkels lopen door :

[5 , -0.2]

[7.5, -0.2]

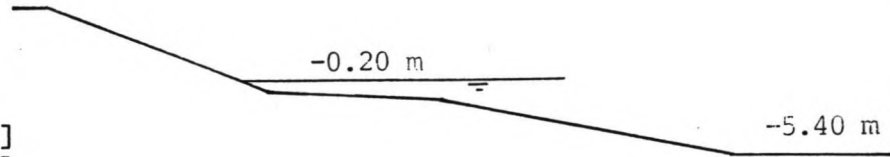
[10, -0.2]

[12.5, -0.2]

[15, -0.2]

[17.5, -0.2]

[20, -0.2]



variant 6

Voor variant 6 geldt hetzelfde als voor variant 5 met dit verschil, dat het spaarbekkenpeil N.A.P. -2.74 m bedraagt.

Samenvattend:

-huidige situatie

-spaarbekkenpeil is -2.74 m

Bovenste deel van het talud:

-onderzochte cirkels lopen door:

[20, -2.74]

[25, -2.74]

[30, -2.74]

[35, -2.74]

[40, -2.74]

[45, -2.74]

[50, -2.74]

[55, -2.74]



Onderste deel van het talud

-onderzochte cirkels lopen door:

[5, -2.74]

[7.5, -2.74]

[10, -2.74]

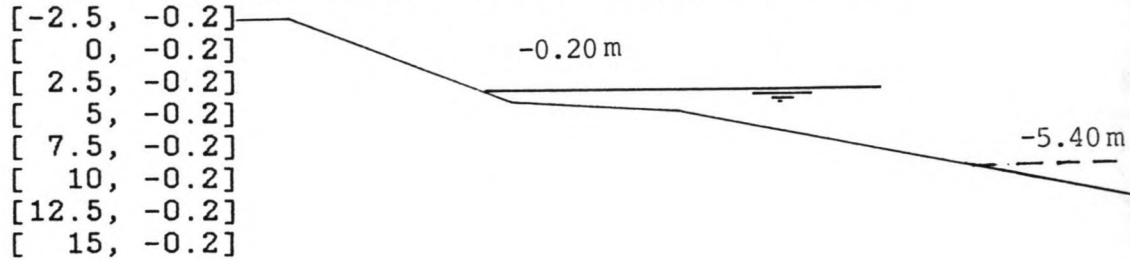
[12.5, -2.74]
 [15, -2.74]
 [17.5, -2.74]
 [20, -2.74]

variant 7

In dit variant loopt de bodem in het verlengde van het huidige onderwatertalud 1:6 door tot de N.A.P. -15 m. Het spaarbekkenpeil is normaal d.w.z N.A.P. -0.20 m

Samenvattend:

- spaarbekken verdiept onder een helling 1:6 tot N.A.P. -15 m
- het talud na het verdiepen loopt in het verlengde van het reeds aanwezige onderwatertalud
- spaarbekkenpeil is -0.20 meter
- onderzochte cirkels lopen door de volgende punten:

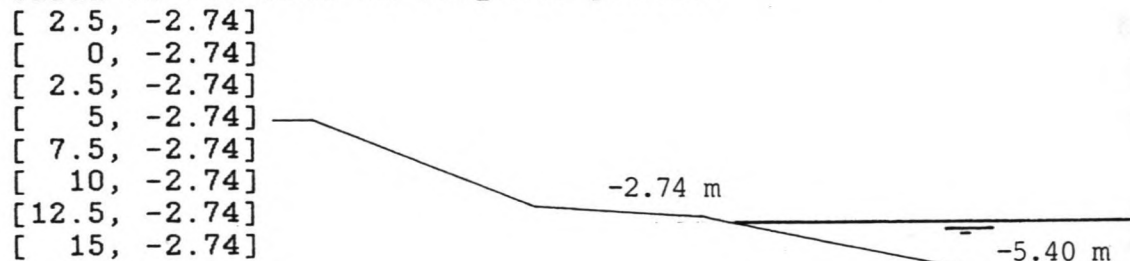


variant 8

Variant 8 is gelijk aan variant 7 met dit verschil, dat het spaarbekkenpeil N.A.P. -2.74 m bedraagt.

Samenvattend:

- spaarbekken verdiept onder een helling 1:6 tot N.A.P. -15 m.
- talud loopt na het verdiepen in het verlengde van het reeds aanwezige onderwatertalud
- spaarbekkenpeil is N.A.P. -2.74 m
- onderzochte cirkels lopen door onderste gedeelte van het talud en wel door de volgende punten:



1.2.5 De resultaten.

De resultaten van de computerberekening, waarvan in de bijlagen de afdrucken van de maatgevende cirkels te vinden zijn, worden per variant beschreven.

variant 1

De stabiliteitsfactor van de spaarbekkendam bedraagt 1.79. De maatgevende cirkel loopt door het punt (10 -0.20). Het middelpunt van de maatgevende cirkel is (32.5 15).

variant 2

Door het spaarbekkenpeil te verlagen tot N.A.P. -2.74 daalt de stabiliteitsfactor tot 1.35. Dit mag nog als voldoende geacht worden. De maatgevende cirkel heeft als middelpunt (31.25 16.25) en loopt door (9.81 -2.74).

Variant 3

Het onderzoeken van de cirkels, die de verlaagde bodem snijden, levert een stabiliteitsfactor gelijk 1.9 en is dus niet lager de stabiliteitsfactor van variant 1. De minst stabiele cirkel loopt door (-1.16 -0.2).

Variant 4

Ook bij een verlaagde waterstand in het spaarbekken zijn de cirkels door de verlaagde bodem niet minder stabiel dan in variant 2 het geval was. De stabiliteitsfactor van de minst stabiele cirkel bedraagt namelijk 1.37. Deze cirkel loopt door het punt (2.71 -2.74).

Variant 5

Bij de ijsselmeerdijk is in de huidige situatie het bovenste deel van het talud maatgevende voor de stabiliteit. De stabiliteit van het bovenste deel van het talud is 1.36. Deze cirkel loopt door het punt (40 -0.20). Het onderste deel heeft een stabiliteitsfactor van 2.86.

Variant 6

Bij verlaging van het spaarbekkenpeil daalt de stabiliteit van het bovenste deel van het talud tot 1.27. Van het onderste deel van het talud bedraagt de stabiliteitsfactor 1.52. Het bovenste deel is dus nog steeds maatgevend. De maatgevende cirkel loopt door het punt (25 -2.74)

Variant 7

Bij het verdiepen van het spaarbekken komt de bodem in het verlengde van onderste deel van het talud te liggen (helling 1:6). Dit heeft geen invloed op de stabiliteit van het bovenste deel van het talud. Voor het onderste deel van het talud daalt de stabiliteit tot 2.81 en verschilt nauwelijks

ten opzichte van variant 5.

variant 8

Indien in het verdiepte spaarbekken het peil verlaagd wordt tot N.A.P. -2.74 m, levert dit geen andere waarde voor de stabiliteitsfactor van het bovenste deel van het talud dan de waarde $F=1.27$ gevonden bij variant 6. Voor het onderste deel van het talud daalt de stabiliteitsfactor echter tot 1.30. Dit is echter nog hoger dan de genoemde stabiliteitsfactor $F=1.27$. Het bovenste deel van het talud is dus maatgevend.

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen zijn samengevat in de onderstaande tabel. Voor de coördinaten wordt verwezen naar de tekeningen 1 en 2 van de bijlage.

nr	F	middelpunt	cirkel door:		figuur
1	1.79	(32.50 15)	(10 -0.2)		III.20
2	1.35	(31.25 16.25)	(9.81 -2.74)		III.21
3	1.90	(27.50 27.50)	(-1.16 -0.2)		III.22
4	1.37	(27.50 16.25)	(2.71 -2.74)		III.23
5	1.36	(57.50 16.25)	(40.0 -0.2)	boven ¹	III.24
	2.88	niet maatgevend		onder	III.25
6	1.27	(47.50 28.75)	(25 -2.74)	boven	III.26
	1.52	niet maatgevend		onder	III.27
7	1.36	(57.50 16.25)	(40.0 -0.2)	boven	III.24
	2.81	niet maatgevend		onder	III.28
8	1.27	(47.50 28.75)	(25 -2.74)	boven	III.26
	1.30	niet maatgevend		onder	III.29

De computer-plots van de minst stabiele glijvlakken van de varianten staan in bijlage III (pag. 3.21 t/m 3.30)

Opmerking: De stabiliteitsfactoren van het bovenste deel van het talud van de ijsselmeerdijk, in verdiepte toestand van het spaarbekken, zijn niet berekend daar deze hetzelfde zijn als de factoren bij de huidige bodemdpte.

¹Met boven c.q. onder wordt aangegeven of het bovenste deel van het talud dan wel het onderste deel wordt bedoeld.

1.2.6 De conclusies.

De spaarbekkendam

De stabiliteitsfactor van de spaarbekkendam in de bestaande situatie blijkt 1.79 te bedragen. Bij verlaging van het spaarbekkenpeil tot -2.74 m. zakt de stabiliteitsfactor tot 1.35. Verlaging van het spaarbekkenpeil leidt dus niet tot bezwijken van de dam, al is de stabiliteitsfactor aan de lage kant. Het minst stabiele glijvlak loopt door het punt (9.81, -2.74). Indien de boveninsnijding van het verdiepen op 15 meter van de teen van de dijk ligt, zijn er geen glijvlakken, die de verlaagde bodem snijden, en een lagere stabiliteitsfactor dan de genoemde 1.35 opleveren. De laagste stabiliteitsfactor van de genoemde glijvlakken bedraagt 1.37 en treedt op bij een spaarbekkenpeil van -2.74 m.

De ijsselmeerdijk

De ijsselmeerdijk bestaat aan de spaarbekkenzijde uit twee gedeelten. In de bestaande toestand blijkt het boventalud de laagste stabiliteitsfactor op te leveren nl. 1.36. Het onderste deel van het talud heeft een veel hogere stabiliteitsfactor te weten 2.88. Bij verlaging van de waterstand in het spaarbekken blijkt de stabiliteitsfactor sterk te dalen tot 1.52. Dit is nog ruim voldoende om de stabiliteit van dit taludgedeelte te waarborgen. De stabiliteitsfactor van het bovenste gedeelte van het talud blijkt te dalen tot 1.27. De minimale stabiliteitsfactor voor dit soort dijken is $F=1.3$. In absolute zin is een waarde $F=1.27$ dus te laag, al is bezwijken van de dijk niet bewezen. Indien echter de daling gezien wordt in relatie tot de bestaande toestand ($F=1.36$) is het slechts een daling van ca. 7%. Wil men een peilverlaging toepassen in het spaarbekken tot een niveau van N.A.P. -2.74 m, dan is het wenselijk de ijsselmeerdijk aan te passen.

Na het verdiepen van het spaarbekken leveren de glijvlakken door de verlaagde bodem geen maatgevende stabiliteitsfactoren op. Variant 8 levert een factor $F=1.30$, maar dit is hoger dan variant 6 en dus niet maatgevend.

Samenvattend kan gesteld worden:

De verlaging van het spaarbekkenpeil tot 2.74 meter beneden N.A.P. levert in principe geen problemen. Het meest kritieke punt is het boventalud van de oude ijsselmeerdijk. Bij het verdiepen is het wel zaak, dat de verlaagde bodem niet steiler dan een helling van 1:6 komt te liggen. De afstand van de insnijding tot de teen van de spaarbekkendam moet minimaal 15 meter bedragen. Dit komt neer op een afstand van 50 meter uit de as van de spaarbekkendam. In de buurt van de ijsselmeerdijk moet er voor gezorgd worden, dat de helling van het bestaande onderste deel van het talud niet steiler wordt.

De boveninsnijding moet minimaal op 61 meter (60.75) uit de as van de ijsselmeerdijk komen te liggen (zie tekening 2).

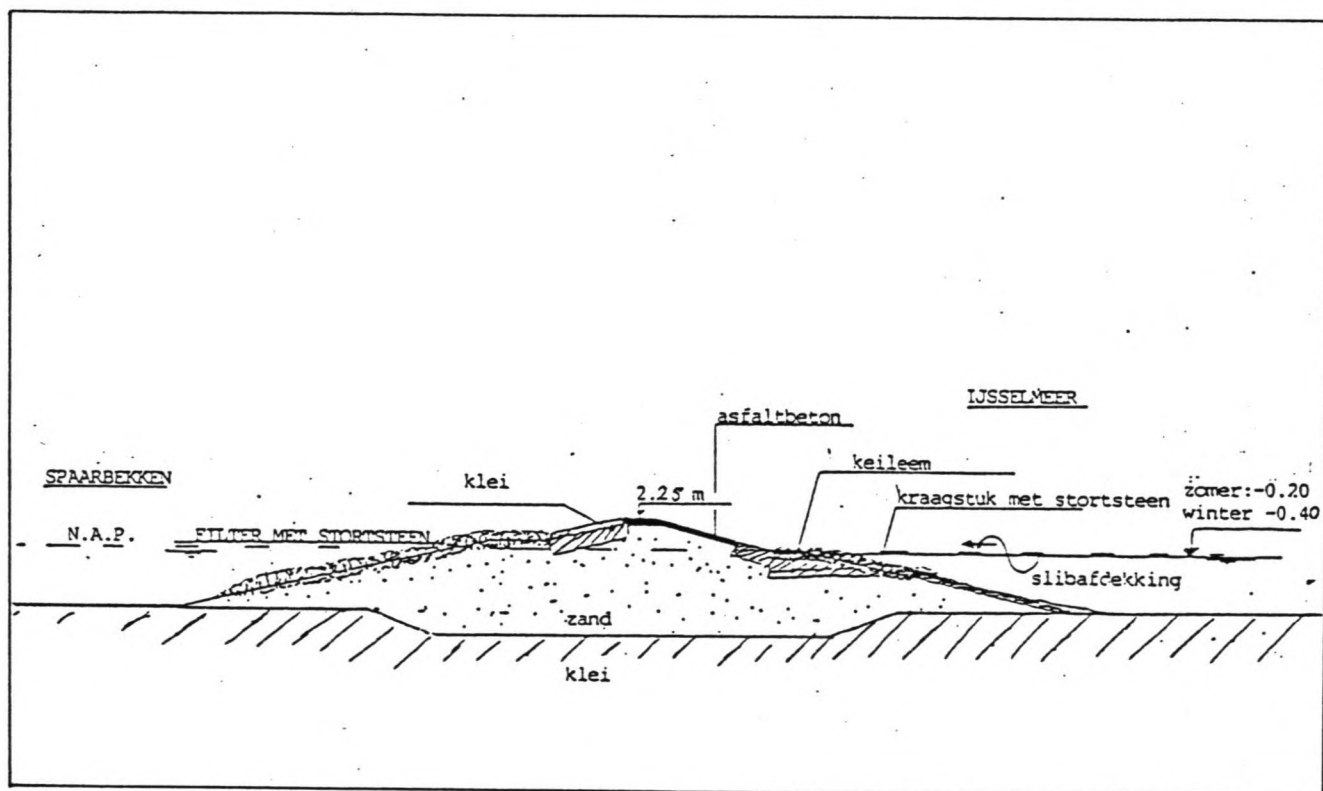
2.1 De Ontwerpgegevens.

2.1.1 De waterstanden.

Het waterpeil van het IJsselmeer in rust variëert tussen het zomerpeil N.A.P. -0.20 m en het winterpeil N.A.P. -0.40 m. Voor de berekening van de hoeveelheid ijsselmeerwater, dat over de dijk slaat is uitgegaan van N.A.P. -0.20 m. De bodem van het IJsselmeer ligt op N.A.P. -5.40 m, waardoor de waterdiepte 5.20 m bedraagt.

2.1.2 De geometrie van de dijk.

De spaarbekkendijk is destijds aangelegd met een overhoogte, zodat na zetting de kruinhoogte N.A.P. +2.10 zou bedragen. De huidige kruinhoogte blijkt te variëren van 2.00 m tot N.A.P. +2.50 m. Ten behoeve van deze berekening wordt een gemiddelde dijkhoogte van N.A.P. +2.25 m aangehouden. Aan de IJsselmeerzijde ligt op de waterlijn een berm van 2.67 m breed. De berm is bekleed met stortsteen. Het bovenwatertalud bestaat voor een deel uit gezette steen en voor het bovenste deel uit asfalt-beton. De lengte van het dijkgedeelte, dat door de golven aangevallen wordt, bedraagt ca. 800 m. De helling is 1:4,5



maten in meters t.o.v. N.A.P

Figuur 21 Schets van de spaarbekkendam

2.1.3 De storm-gegevens.

Op basis van meetgegevens van stormen tussen 1922 en 1962 is figuren III.30 en III.31 opgesteld door het WL. De gemeten stormen waaien uit een richting tussen NNW en NNO. Figuur III.30 stelt de relatie voor tussen de windsnelheid en de frequentie van optreden van één bepaalde storm, afhankelijk van de duur. Bij een bepaalde windsnelheid zijn ook de golflengte en de golfperiode en de significante golfhoogte bekend. De berekening is bedoeld om zoals gezegd enig inzicht te krijgen in de hoeveelheid overslagwater en is niet bedoeld om nauwkeurig te bepalen hoeveel water er gedurende een storm over de dijk heen het spaarbekken inkomt.

De storm op basis waarvan gerekend wordt, is verondersteld opgebouwd te zijn uit 9 storm fasen met de volgende windsnelheden en de bijbehorende duren.

snelheid (m/s)	overschrijdingsduur (uren)	duur v/e snelheid (uren)
21	1	1
18,5	5	4
17	10	5
16	15	5
14,5	25	10
13,5	35	10
12,8	40	10
11,8	50	10
10,5	60	10

Uit tabel III.32 kunnen de bijbehorende golfgegevens gehaald worden.

2.2 De berekening.

2.2.1 De opwaaiing.

Door de invloed van de wind gaat de waterspiegel onder een evenwichtsverhang staan. Dit verhang is te bepalen met de volgende formule:

$$i = c * V^2 / (g * d)$$

met V = de windsnelheid

d = de waterdiepte

c = een constante met de waarde $4 * 10^{-8}$

Indien nu L de afstand van de plaats waar geen opwaaiing aanwezig is (opwaaiingscentrum), bedraagt de opwaaiing Z_{opw}

$$Z_{opw} = L * i = c/g * L * V^2/d$$

$L = 12$ km (bepaald door WL in 1963)

De resultaten per stormfase staan weergegeven in tabel weergegeven in figuur III.34

2.2.2 De bepaling van het overslagdebiet.

Door het Waterloopkundig Laboratorium zijn overslagdebietmetingen uitgevoerd op basis van een glad talud zonder berm met een helling van 1:4. De resultaten staan weergegeven in een grafiek (figuur III.33). Het overslagdebiet Q_s is uit de factor h/H_{50} te bepalen.

H_{50} wordt als volgt bepaald:

De kans dat de golfhoogte H groter is dan H_{50} bedraagt

$$P(H > H_{50}) = 50\% = \exp [-2 * (H_{50}/H_s)]$$

$$\implies H_s = 1,69 * H_{50}$$

Op deze manier kan per stormfase, H_{50} is per stormfase immers verschillend, de hoeveelheid overslagwater bepaald worden.

Van de bedoelde grafiek is hier een verkleinde versie gegeven.

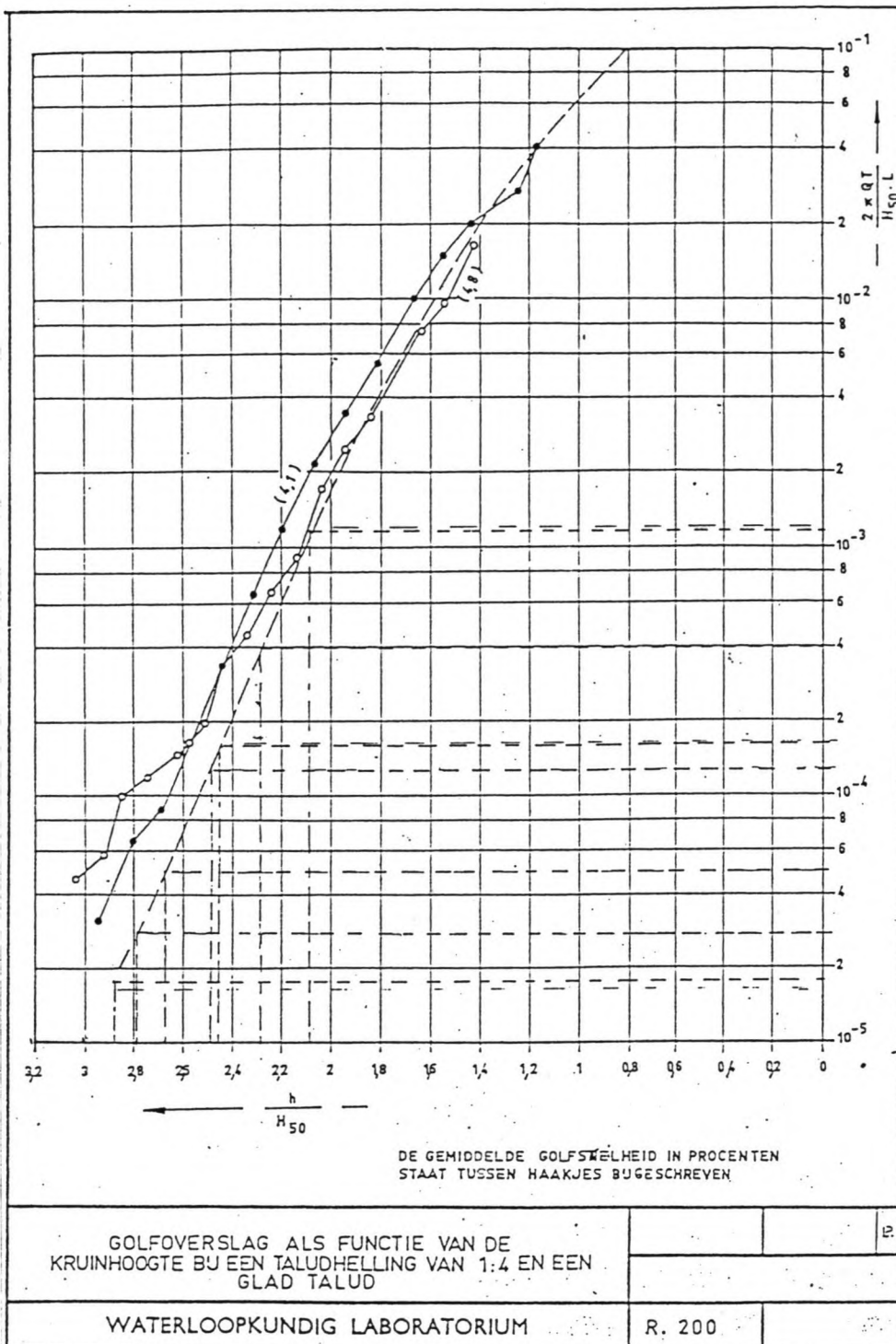
h = de hoogte van de kruin ten opzichte van de waterspiegel

H_{50} = De golfhoogte, die door 50% van de golven overschreden wordt

Q = overslagdebiet in $m^3/s.m'$

T = golfperiode in seconden

L = golflengte in meters



Figuur 22

Vanwege het feit dat er geen rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van een berm en met de ruwheid van het talud en een afwijkende taludhelling, zal het aldus bepaalde overslagdebiet te hoog uitvallen. In het navolgende zal dit verrekend worden door in beide gevallen, het gladde talud (1:4) en het talud (1:4.5) met ruwheid f en berm B , de golfoploop te bepalen met de formule van d'Angremont en van Oorschot. De golfoverslag is immers afhankelijk van de mate van golfoploop. Door de berm en de ruwheid van het talud zal er energie geabsorbeerd worden en zal derhalve de golfoploop lager zijn. De golfoverslag zal dan ook minder zijn. Door de uitkomsten van beide berekeningen op elkaar te delen, kan een correctiefactor bepaald worden. Per stormfase wordt deze

correctiefactor bepaald en aldus kan het uiteindelijke overslagdebiet bepaald worden.

De formule van d'Angremont en van Oorschot luidt:

$$Z_{opl} = 0.5 * f * T \sqrt{[g * H_s]} \tan \alpha \cos \beta * [1 - B/L]$$

met:

f = ruwheidsfactor van het talud

α = taludhelling

β = hoek tussen golfrichting en lijn loodrecht op het talud

B = bermbreedte in meters

L = golflengte in meters

T = golfperiode in meters

Bij de bepaling van de golfoploop moet de talud ruwheid f bekend zijn. Voor f gelden de volgende waarden:

asfalt	1,15 à 1,2
gezette steen	0,80 à 0,90
stortsteen	0,55 à 0,70

Het talud van de spaarbekkendijk bestaat uit stortsteen en gezette steen. De meeste energie zal vernietigd worden door de stortstenen berm. De waarde van f zal liggen tussen de 0,55 en 0,9. Aangezien er een relatief gering stuk stortsteen is, zal f eerder 0,8 à 0,9 dan 0,55 à 0,7 bedragen. In de verdere berekeningen wordt arbitrair een waarde van 0,8 gehanteerd

De berekening verloopt als volgt :

$$V = 21 \text{ m/s}$$

$$L = 12000 \text{ m}$$

$$d = 5,20 \text{ m}$$

$$\implies Z_{opw} = 0.41 \text{ m}$$

$$h_o = \text{N.A.P.} + 2.25 \text{ m.}$$

$$\text{S.W.L.} = \text{N.A.P.} - 0.20 \text{ m}$$

$$h = 2.25 + 0.20 - 0.41 = 2.04 \text{ m}$$

$$H_s = 1.65 \text{ m}$$

$$T = 4.5 \text{ s}$$

$$L = 27.4 \text{ m}$$

$$\implies H_{s0} = 0.98 \text{ m}$$

$$h/H_{s0} = 2.09$$

$$2\pi \cdot Q \cdot T / (H_{s0} \cdot L) = 0.0013$$

$$Q = 0.00123 \text{ m}^3/\text{s.m}'$$

$$Q * \text{duur} = 4.43 \text{ m}^3/\text{m}'$$

duur = 1 uur

$$\text{onderzoekstalud } Z_{opl} = 2.72 \text{ m}$$

$$\text{spaarbekkentalud } Z_{opl} = 1.45 \text{ m}$$

$$\implies \text{reductie factor: } \frac{2.72}{1.45} = 1.87$$

$$\text{overslag} = 4.43/1.87 = 2.368 \text{ m}^3/\text{storm.m}'$$

Bovenstaande berekening wordt voor alle fasen van de ontwerpstorm uitgevoerd. De resultaten staan vermeld in

fig.III.35. De dijk lengte, die aangevallen wordt door de golven bedraagt 800 m. De hoeveelheid overslagwater komt op 7351 m³/storm. De maximale debiet dat per seconde over de dijk stroomt treedt op bij een windsnelheid van 21 m/s. Het debiet bedraagt dan 0.66 l/s.m'.

2.3 Conclusie.

De berekende waarde is slechts een indicatieve waarde. Er zijn geen gegevens om de resultaten aan te relateren en te controleren op de juistheid ervan. Om de berekeningen te kunnen uitvoeren is een aantal aannamen gedaan, te weten:

- Gebruik gemiddelde kruinhoogte
- Gebruik gemiddelde bodemligging
- Gemiddelde invalshoek van de windgolven loodrecht op de dijk
- Van de ruwheid van het talud is een schatting gemaakt.
- Afwijking in de taludhelling

Een van de voornaamste zaken is echter, dat de steilheid van de golven op het ijsselmeer aanzienlijk hoger is dan die van de golven in de proef van WL. Dit heeft tot gevolg dat de golven op het IJsselmeer eerder breken dan in de proef het geval was. De golfoploop zal dan ook minder zijn en derhalve zal de bepaalde overslaghoeveelheid eerder aan de hoge dan aan de lage kant zijn.

De hoeveelheid van zo'n 7351 m³ overslagwater per storm van 60 uur lijkt niet veel. Het is echter afhankelijk van de soort vervuiling en de toelaatbare concentratie van de vervuiling in het drinkwater in hoeverre maatregelen noodzakelijk zijn. Ook de menging tussen het vervuilde overslagwater en het al aanwezige spaarbekkenwater, de verblijftijd in het spaarbekken en de natuurlijke afbraak zijn in deze van belang. Mocht de hoeveelheid overslagwater ontoelaatbaar blijken te zijn, dan kan door de volgende aanpassingen aan de ijsselmeerzijde spaarbekkendam de hoeveelheid overslagwater beperkt worden:

- verbreding van de berm (grotere waarde voor B)
- ruwer maken van het talud (lagere factor f)
- verhogen kruinhoogte

De bekleding met klei en gras aan de binnenzijde van de kruin van het talud loopt geen gevaar. Een goede bekleding van klei en goede grasbegroeiing mag toegepast worden tot een gemiddelde wateroverslagdebiet van 10 l/s.m' bij een maximale helling van 1:2.5 .

Hoofdstuk 4 Het inlaatwerk

inleiding

Indien het spaarbekken als voorraad moet dienen, zal er een aanpassing van de wijze van wateronttrekking uit het spaarbekken moeten komen. In dit hoofdstuk worden de mogelijke oplossingen bepaald en de voor- en nadelen tegen elkaar afgewogen. Van de meest geschikte oplossing is een ruwe dimensionering uitgevoerd.

1 De probleembeschrijving en de probleemstelling

Gegeven het verdiepen van het spaarbekken te Andijk, ligt het voor de hand te denken aan een ruw water voorraad. Het zuiveringsstation neemt namelijk ruw water in, uit het spaarbekken. Het spaarbekken staat middels een afsluitbaar inlaatwerk in verbinding met het IJsselmeer. Dit inlaatwerk staat normaal gesproken open, waardoor het peil in het spaarbekken gelijk blijft aan het ijsselmeerpeil.

Indien nu vanwege een calamiteit, bijv. een watervervuiling op het IJsselmeer, het inlaatwerk gesloten dient te worden, kan het zuiveringsstation toch enige tijd in productie blijven, door water in te blijven nemen uit het spaarbekken. Hierdoor zal het spaarbekkenpeil dalen. De mate waarin dit kan, is afhankelijk van, de gevolgen voor de grondwaterstroming (hoofdstuk 2) en de dijkstabiliteit (hoofdstuk 3), en van de manier van water innemen.

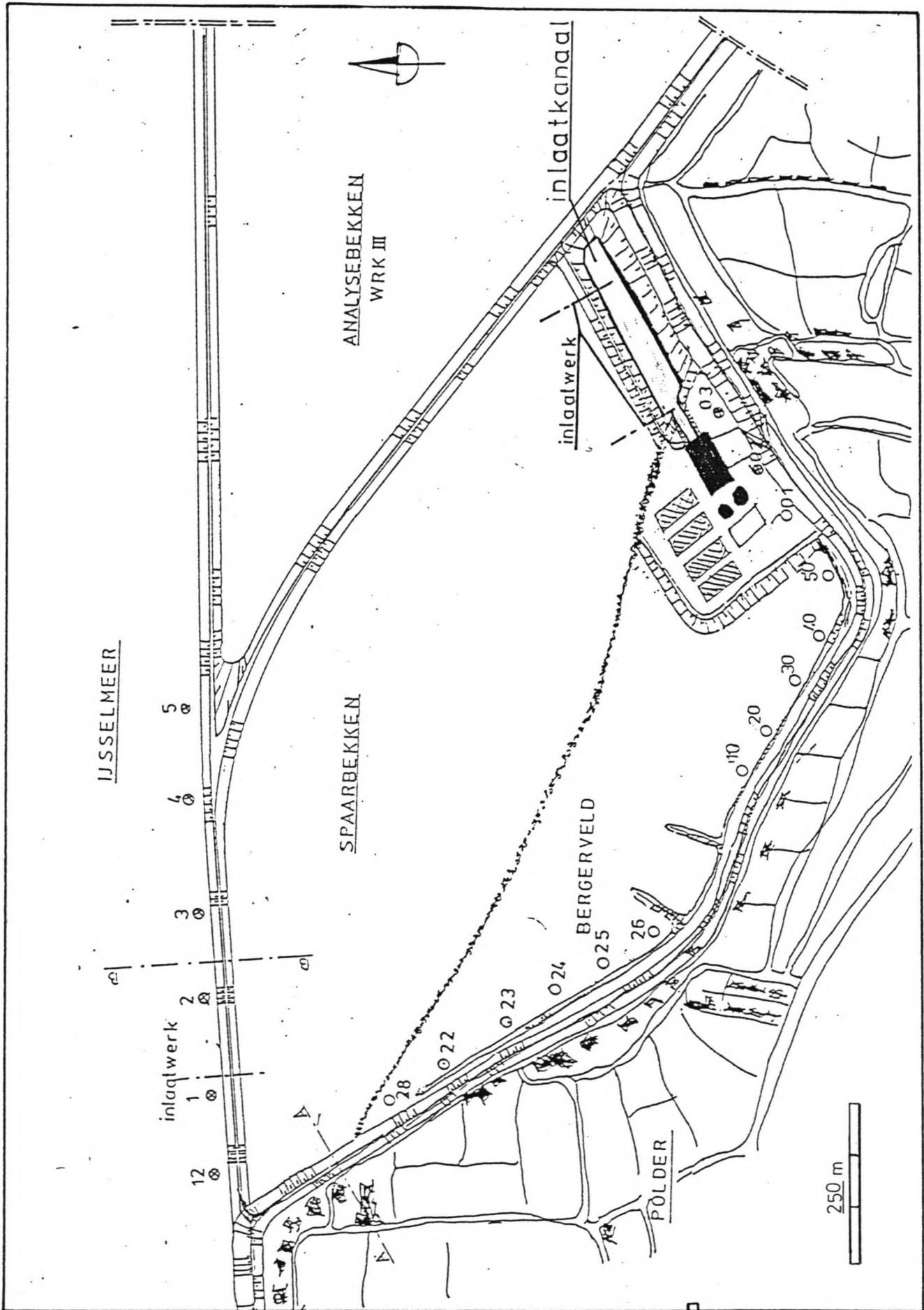
Bij de huidige methode van waterinname wordt gebruik gemaakt van inlaatwerken, waardoor het water onder vrij verval naar een inlaatkanaal stroomt. Het zuiveringsstation pompt het water uit dit inlaatkanaal. (zie figuur 23). De bodem van het inlaatwerk ligt op N.A.P. -1.84 m. en de bodem van het inlaatkanaal op ca. N.A.P. -2.60 m. Om voldoende capaciteit te blijven behouden, kan echter niet tot op de bodem van het inlaatkanaal verlaagd worden.

Indien het spaarbekken verdiept wordt tot N.A.P. -15 m, biedt het een redelijk grote voorraad. Om deze voorraad aan te kunnen spreken moet er ook water ingenomen kunnen worden bij een spaarbekkenpeil lager dan N.A.P. -1.84 m. Uit het oogpunt van dijkstabiliteit en grondwaterstroming is een peilverlaging tot N.A.P. -15 m. niet reëel. Bij het onderzoek naar de stabiliteit van de dijken is uitgegaan van een peilverlaging tot N.A.P. -2.74 m. Uitgaande van dit uitgangspunt moet er een oplossing gevonden worden om water in te kunnen nemen bij een lager spaarbekkenpeil dan N.A.P. -1.84 m.

Het bovenstaande samenvattend leidt tot de volgende probleemstelling:

De vormgeving van het huidige inlaatwerk en inlaatkanaal maakt het niet mogelijk water in te nemen bij een spaarbekkenpeil lager dan -1.84 m

Het doel van dit gedeelte van het onderzoek is het aandragen van mogelijke oplossingen, die het mogelijk maken water in te nemen bij een verlaagd spaarbekkenpeil.



Figuur 23 Overzichtsschets spaarbekken te "Andijk"

2 Het opstellen van de alternatieven.

Om alle mogelijkheden te kunnen bekijken is het zaak de alternatieven systematisch op te zetten, zodat zo min mogelijk over het hoofd gezien wordt. Daartoe wordt eerst het proces van waterinname beschreven aan de hand van een procesanalyse. Vervolgens worden per fase van dit proces diverse functiedragers opgesteld. Door de verschillende functiedragers met elkaar te combineren worden diverse alternatieven verkregen. Door in den beginne niet te letten op de realiseerbaarheid van de oplossingen, is de kans dat bepaalde alternatieven over het hoofd gezien worden zo klein mogelijk. Nadat alle alternatieven bepaald zijn, worden ze getoetst aan diverse criteria.

2.1 De procesanalyse

Het innemen van water uit het spaarbekken bestaat uit de volgende fasen:

- 1) De inname in het spaarbekken.
- 2) Het transport van het water.
- 3) De overwinning van het verval.
- 4) Het eindpunt in het zuiveringsstation.

1) Bij het innamepunt vindt de eigenlijke inname plaats. De constructie aldaar moet zorgen dat er slechts water ingenomen wordt en dat vuil en ijs e.d. geweerd worden. Het water moet zodanig ingenomen worden, dat het stromende water geen schade toebrengt aan de constructie en/of de bodem.

2,3) Om het water te kunnen transporteren moeten het verval en de leidingweerstand overwonnen worden. Bij het transport kan al of niet gebruik gemaakt worden van het aanwezige kanaal. Bij het overwinnen van de weerstand en het verval kan gebruik gemaakt worden van de pompcapaciteit van het zuiveringsstation. Er moet 2.54 meter verval extra overwonnen worden. Het spaarbekkenpeil daalt immers van N.A.P. - 0.20 m naar N.A.P. - 2.74 m. In hoeverre de pompen van het pompstation gebruikt kunnen worden moet nog bekeken worden.

4) Het water zal uiteindelijk bij het zuiveringsstation om verder verwerkt te kunnen worden tot drinkwater.

Doordat het spaarbekken slechts tot N.A.P. - 2.74 m te verlagen is (zie hiervoor hoofdstuk 3), is de aan te spreken voorraad niet erg groot. Er kan een globale schatting gemaakt worden van de tijdsduur dat het zuiveringsstation water uit het spaarbekken kan blijven onttrekken bij een gesloten verbinding tussen IJsselmeer en spaarbekken.

schatting:

huidige voorraad 1.000.000 m³
gemiddelde productie : ongeveer 43000 m³/etmaal
voorraad voor 23 dagen

Bij een peil verlaging tot -2.74 m bedraagt de voorraad

ruwweg 1.500.000 m³. Bij een gemiddelde productie zou dit 35 dagen voorraad bedragen. De nieuwe voorziening wordt dus slechts gedurende 12 dagen gebruikt. Het moge duidelijk zijn dat het een en ander afhangt van de bedrijfsvoering van het zuiveringsstation "Andijk". (gem. productie ca. 1750 m³/uur) Tevens komt het zelden voor, dat er geen water uit het IJsselmeer het spaarbekken ingelaten mag worden.

Randvoorwaarden en uitgangspunten

Randvoorwaarden:

zuiveringsgebouw	pompen niet lager dan N.A.P. -2.75 m
Kanaal	Bodem op N.A.P. -2.60 m lage waterspiegel, lage capaciteit op de bodem ligt slib
inlaat	niveau op N.A.P. -1.84 m vrij verval vooroever gem. N.A.P. -3.04 m verloop naar N.A.P. -5.40 m

Uitgangspunten

- Nieuwe inlaatmogelijkheid is een calamiteitenvoorziening
- Grootschalige en dus dure oplossingen niet beschouwen
- Eenvoudige oplossingen verdienen de voorkeur

2.2 De functiedragers

Voor de boven de 4 fasen genoemd in de procesanalyse kunnen functiedragers opgesteld worden. In deze paragraaf worden deze functiedrager genoemd en met elkaar gecombineerd tot alternatieven.

In eerste instantie kan er een ruwe tweedeling gemaakt worden in de wijze van transport.

- I Transport onder vrij verval naar het zuiveringsstation
- II Transport onder toevoeging van energie

In geval I is er slechts sprake van de fasen 1 en 2 en 4. De wijze waarop het verval overwonnen wordt, ligt reeds vast. Het verval wordt namelijk door de zwaartekracht overwonnen.

De functiedragers bij fase 1 in beide gevallen

- 1) Soort inlaattoren met openingen op diverse plaatsen
- 2) Buiseinde op een vaste niveau
- 3) Buiseinde op een verstelbaar niveau
- 4) Gooteinde

De functiedragers bij fase 2 in beide gevallen.

- 1) Buistransport naar zuiveringsgebouw
- 2) Buistransport naar inlaatkanaal
- 3) Goottransport naar inlaatkanaal

opm. bij gebruikmaking van het inlaatkanaal kan al of niet

gebruik gemaakt worden van de huidige inlaatwerken

De functiedragers bij fase 3 in geval II

- 1) Pompen door middel van zuigen
- 2) Pompen door middel van persen
- 3) Vijzel
- 4) Schoepen

De functiedragers bij fase 4

- 1) Direct aansluiten op het pompstation
- 2) Water verzamelen in de put

2.3 Het programma van eisen en wensen.

Op basis van de procesanalyse kunnen de eisen en wensen opgesteld worden, waaraan de diverse functiedragers voor de verschillende facetten van het proces aan moeten voldoen. Deze eisen en wensen zijn samengevat in een programma van eisen en wensen. Op basis van het programma van eisen en wensen kunnen dan de varianten opgesteld worden. In de paragraaf 4 van dit hoofdstuk keuze en afweging wordt bekeken in hoeverre de varianten aan deze eisen en wensen voldoen.

Het inlaatpunt ter plaatse van het spaarbekken.

In de eerste plaats moet het niveau van het inlaatpunt zich op een dusdanige hoogte bevinden, dat het spaarbekken tot N.A.P. -2.74 m verlaagd kan worden. Er moet ook voor gezorgd worden, dat er zo min mogelijk vuil in de leiding komt. De mate waarin vuil als nadelig ervaren wordt, is afhankelijk van het feit op welke manier het verval overwonnen wordt.

De transportleiding

De transportleiding moet dusdanige afmetingen hebben, dat er een debiet van 1750 m³ per uur (dit is de gemiddelde productie van het pompstation) getransporteerd kan worden. Tevens moet de leiding zodanig gedimensioneerd worden, dat zij drukbestendig is en er geen lekkage optreedt. In de leiding moet een afsluitklep opgenomen worden, zodat onder normale omstandigheden alleen de bestaande inlaatvoorziening (inlaatwerk en inlaatkanaal) gebruikt wordt. Indien de nieuwe leiding in het kanaal uitmondt, moet er een verdedigingsconstructie komen die de bodem en het talud van het inlaatkanaal beschermt tegen de stromingsaanval van het instromende water.

De pompfaciliteiten.

De pompfaciliteiten moeten een opvoerhoogte van minimaal 2.54 meter hebben. Bij deze opvoerhoogte moet een capaciteit van 1750 m³ per uur aanwezig zijn.

De aansluiting op het zuiveringsstation

Bij de aansluiting van de leiding op het zuiveringsstation is het gewenst, het zuiveringsstation zo min mogelijk te hoeven veranderen.

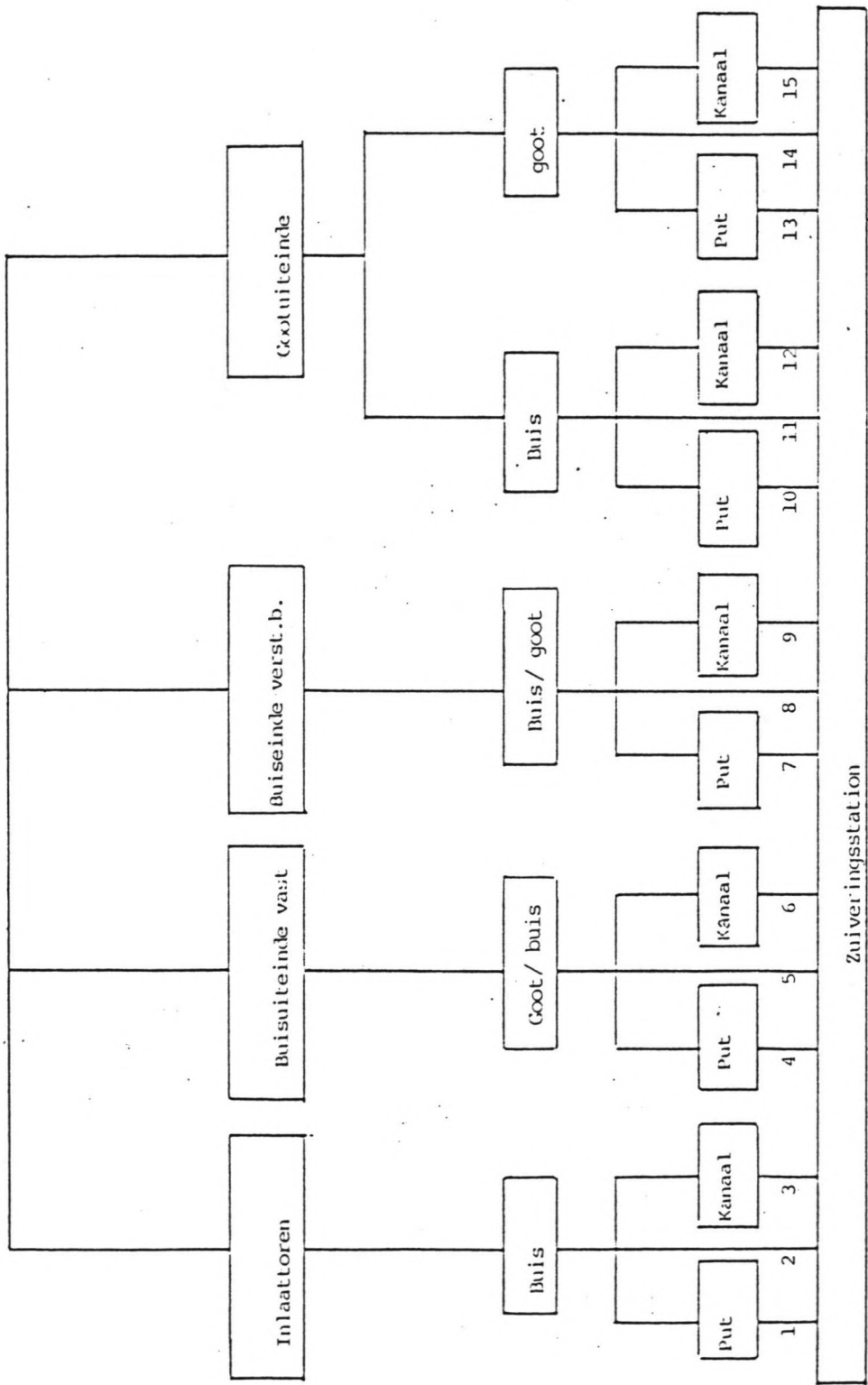
Als laatste wordt vermeld, dat er gestreefd moet worden naar zo min mogelijke extra voorzieningen.

2.4 De varianten.

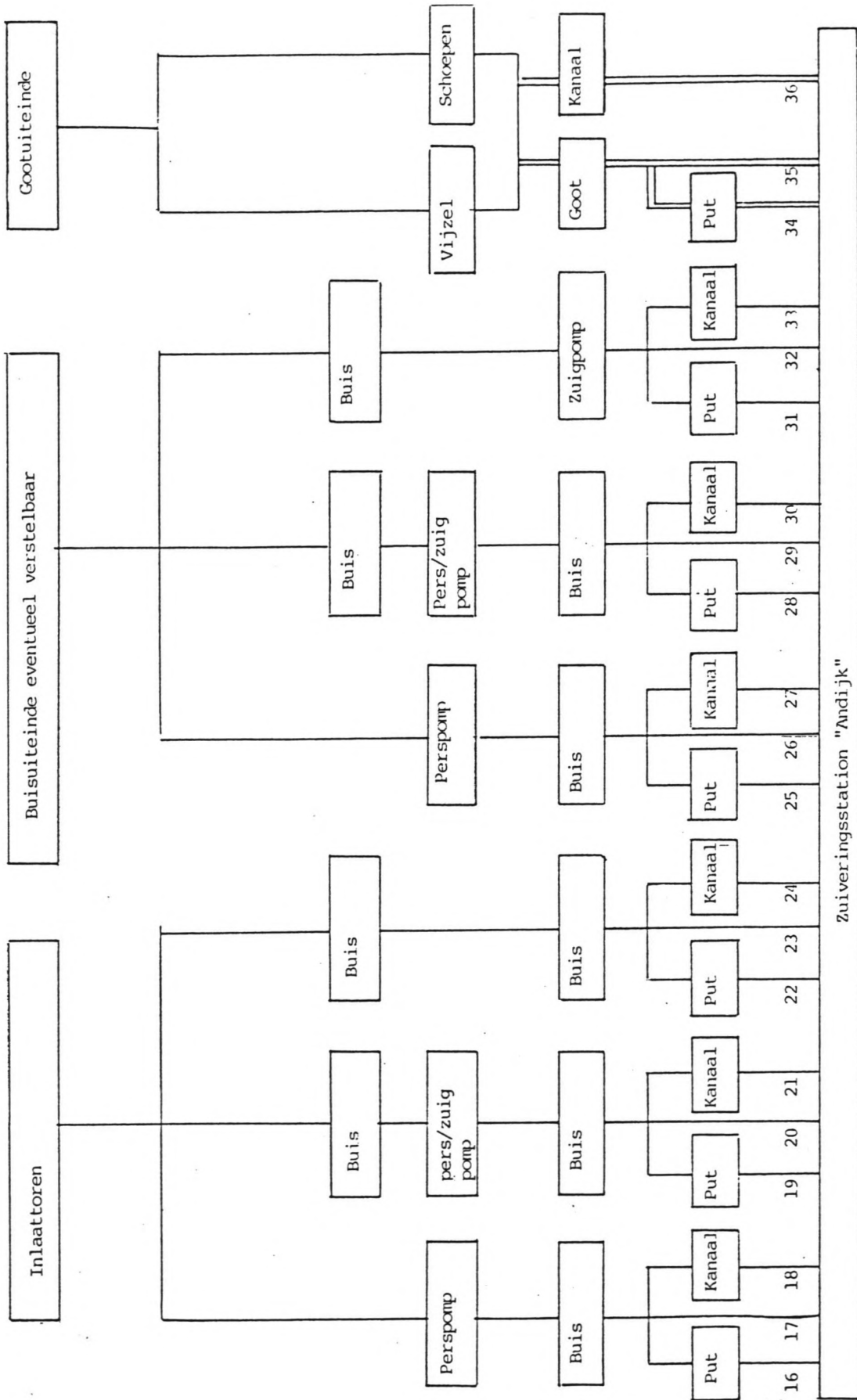
Op basis van de bovenstaande functiedragers en het programma van eisen en wensen, kan er een ontwerpboom opgesteld worden, waarin de functiedragers gecombineerd worden tot varianten. Iedere route door de ontwerpboom stelt een variant voor. De ontwerpboom is gesplitst in twee delen.

- 1) Transport onder vrij verval naar het zuiveringsstation
- 2) Transport onder toevoeging van energie

Alle alternatieven staan opgesomd in de ontwerpboomen (de figuren 24 en 25)



Figuur 24 Ontwerpboom Alternatieven "transport onder vrij verval"



Figuur 25 Ontwerpboom Alternatieven "transport onder toevoeging van energie"

3 De keuze criteria.

Uit de varianten genoemd in paragraaf 2.3 moet een keuze gemaakt worden welke van de varianten het meest geschikt is voor de beoogde doeleinden, die vermeld staan in het programma van eisen en wensen. Hiertoe worden criteria opgesteld op basis waarvan de keuze wordt gemaakt.

de criteria:

Inpasbaarheid

- Kruisen van de dijk tussen spaarbekken en inlaatkanaal
- Voorzieningen te treffen aan bodem en talud inlaatkanaal
- Aanpassing van de dijk
- Mobiliteit

Onderhoud en reparatie

- Betreffende de pompen
- Betreffende vuilwering

Grondwerk

- Bouwen in de grond t.b.v de pompen
- Aanleg leidingen; lengte
- Aanleg leidingen; diepte

aanleg extra voorzieningen

- Vuilwering
- Aanpassing zuiveringsstation
- Aanleg energievoorziening

Bedrijfszekerheid

- Robuustheid
- t.g.v ijsvorming en vuil

4 De afweging en keuze.

4.1 Een eerste grove selectie.

Voor een eerste grove selectie wordt er voornamelijk gekeken naar de realiseerbaarheid. Er wordt ook bekeken of een oplossing niet extreem duur is in relatie tot de anderen. Hierbij moet goed in acht genomen worden, dat het gaat om een voorziening te realiseren, die slechts zelden en dan gedurende een korte tijd gebruikt wordt. Hierdoor moet de oplossing gezocht worden in simpele constructies wil de kosten-baten verhouding reëel blijven

Vormgeving inlaatpunt ter plaatse van het spaarbekken.

De inlaattoren.

In principe is een inlaattoren een goede constructie om water in te nemen. Middels diverse afsluitbare openingen op diverse hoogten, kan water op verschillende niveau's ingenomen worden. De inlaattoren is echter een grote constructie en derhalve zal deze constructie duur uitvallen in vergelijking tot de andere oplossingen. De inlaattoren komt dus te vervallen en hiermee de alternatieven 1 t/m 3 en 16 t/m 24 .

Een vereenvoudigde vorm van een inlaattoren is bijvoorbeeld een in hoogte verstelbare inlaatbuis.

Opmerking: Indien de gehele methode van waterinname van het zuiveringsstation "Andijk" herzien wordt, is de inlaattoren misschien het overwegen waard.

I De alternatieven , die berusten op een vrij verval leiding tot aan het zuiveringsstation

Deze alternatieven zijn in wezen een bijzondere vorm van de alternatieven, die berusten op een energietoevoer. De energie om het water te transporteren van het spaarbekken naar het zuiveringsstation wordt immers geleverd door de zwaartekracht.

Een gooteinde

Bij een vrij verval leiding is het inlaatkanaal niet te gebruiken wegens een te geringe diepte. Hierdoor blijft in de eerste plaats het benodigde verval over de inlaat tussen spaarbekken en inlaatkanaal niet aanwezig, tot een spaarbekkenpeil van -2.74 m. Bij gelijkblijvende bodemdiepte van het inlaatkanaal, is het echter de vraag, of er wel voldoende verval in het inlaatkanaal op kan treden om de gewenste capaciteit te verkrijgen. Stel dat er wel voldoende verval in het inlaatkanaal aanwezig is, zal bij verlaagd peil in het kanaal, bij gelijk blijvende capaciteit, de watersnelheid toe moeten nemen en zodoende bodemmateriaal, zoals slib, naar het zuiveringsstation transporteren. Dit is natuurlijk nadelig voor de waterkwaliteit. Een mogelijkheid is natuurlijk het verdiepen van het

inlaatkanaal, maar dit is nogal een ingrijpende oplossing. De kosten hiervan zullen ook hoog zijn. Een dergelijke oplossing is dan ook niet reëel. De alternatieven waar als transportmiddel het inlaatkanaal wordt genoemd vallen af

Als transportmiddel kan dan gekozen worden uit een goot of een buis. Uitvoeringstechnisch is het leggen van een buis eenvoudiger dan een het maken van een goot. De keuze tussen een goot of een buis valt dus op de buis. Hiermee vallen de alternatieven, die gebruik maken van een goot af. Tevens is het onzinnig om als inlaatpunt in het spaarbekken een goot te gebruiken terwijl het water middels een buis naar het zuiveringsstation wordt gevoerd. De alternatieven onder "gooteinde" vallen dus ook af (10 t/m 15)

Het overgebleven alternatief, dat het water onder vrij verval transporteert is (alt. 4 en 7)

Buiseinde(eventueel verstelbaar) => buis => put => zuivering

Om het water van het spaarbekken door de buis naar de put te laten stromen, moet het zuiveringsstation het water uit de verzamelput onttrekken. Het peil in de put bij het zuiveringsstation moet zodanig verlaagd kunnen worden, dat het spaarbekkenpeil tot N.A.P. -2.74 m verlaagd kan worden. Een debiet van 1750 m³ per uur moet hierbij mogelijk blijven.

II Afweging alternatieven die gebruik maken van energietoevoer.

Keuze tussen vijzel en schoepenrad.

Het schoepenrad is een verouderde vorm van de vijzel. Het rendement van een vijzel is hoger en de capaciteit is hoger. De vergelijking tussen deze twee zal in het voordeel uitvallen van de vijzel. Hiermee komen de alternatieven, die gebruik maken van een schoepenrad te vervallen.

Indien gebruik gemaakt zal worden van een vijzel is de keuze tussen een apart aan te leggen leiding en gebruikmaken van het inlaatkanaal niet moeilijk. Het aanleggen van een aparte leiding leidt tot extra kosten. Alternatieven 34 en 35 komen dus te vervallen.

Het gebruik van pompen.

Indien een perspomp, dan wel een zuig-perspomp wordt toegepast, kan het water in het inlaatkanaal gepompt worden. Het is ook mogelijk het water direct naar het zuiveringsstation te pompen. Indien het water direct naar het zuiveringsstation wordt gepompt kan het direct verwerkt worden. Het heeft geen zin het water eerst weer te verzamelen in een put. Hiermee vallen de alternatieven 25 en 28 af.

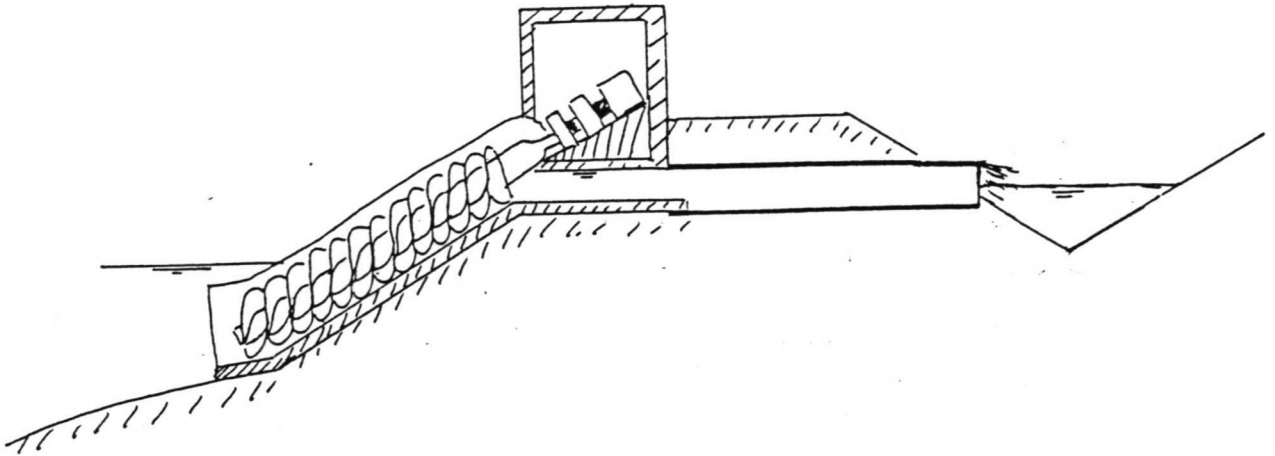
Indien gebruik gemaakt wordt van een zuigpomp, kan het water zowel het kanaal ingepompt worden, als direct naar het zuiveringsstation. In het laatste geval geldt ook weer dat verzamelen in een put overbodig is. Het is echter ook

mogelijk, het water middels vrij verval door een buis naar een verzamelput te laten stromen en het aldaar het zuiveringsstation in te pompen. De maximale opvoerhoogte voor zuigpompen is ongeveer 6 à 7 meter . Dit is in dit geval dus geen probleem.

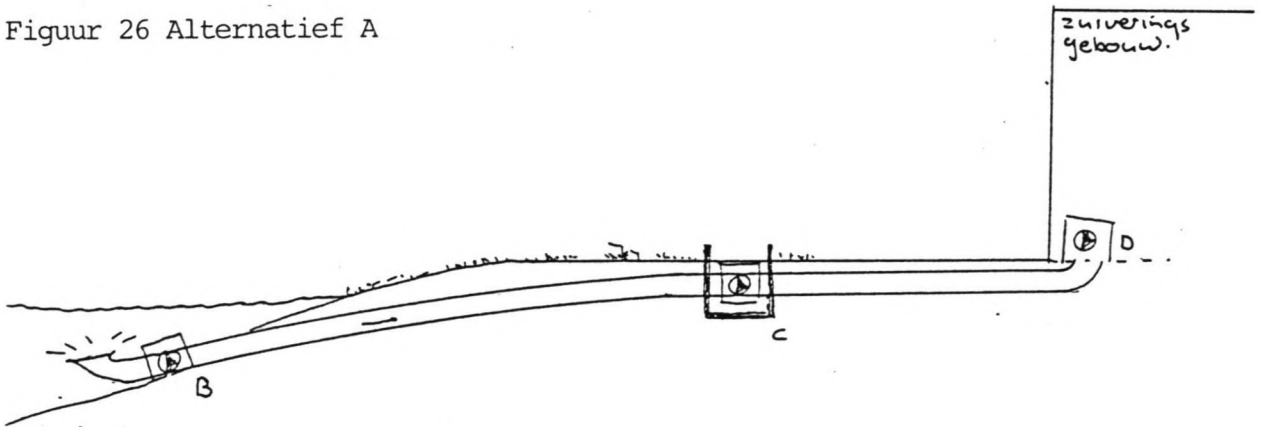
In wezen is dit een oplossing, die al eerder genoemd is (alternatief 4 en 7). De bovengenoemde alternatieven zijn nummers 31,32 en 33

Na deze grove selectie blijven de volgende alternatieven over ,die nader beken zullen worden

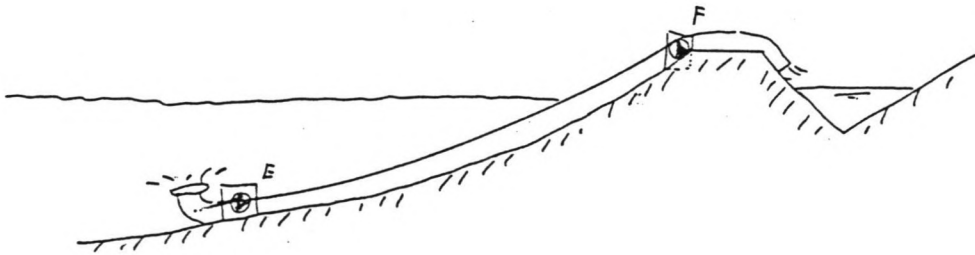
Buiseinde	==> perspomp	==> buis	==> zuivering
event. verst		==> kanaal	==> zuivering
	==> buis => zuig/perspomp		==> zuivering
	==> kanaal		==> zuivering
	==> buis	==> zuigpomp	==> zuivering
		==> kanaal	==> zuivering
		==> put	==> zuivering
gooteinde	==> vijzel	==> kanaal	==> zuivering



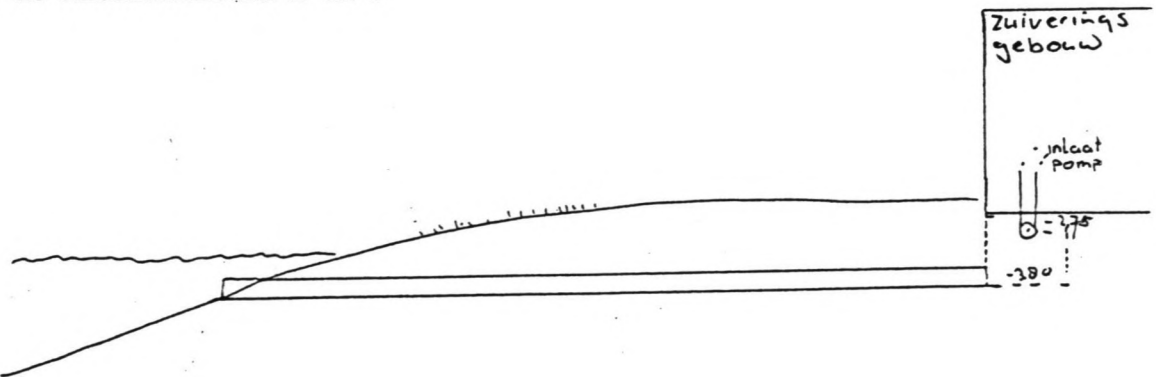
Figuur 26 Alternatief A



Figuur 27 Alternatieven B, C en D



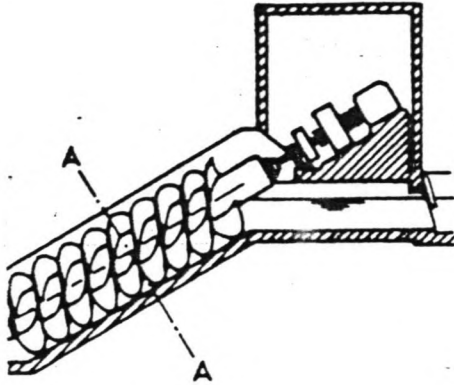
Figuur 28 Alternatieven E en F



Figuur 29 Alternatief G

4.2 De beschrijving van de voor-en nadelen van de mogelijke varianten.

In het navolgende worden de alternatieven opnieuw genummerd
 alternatief A Vijzel ==> Inlaatkanaal



De vijzel pompt het water uit het spaarbekken over de dijk in het inlaatkanaal. Een vijzel met een diameter van 1.3 à 1.4 meter heeft voldoende capaciteit om de gemiddelde productie van drinkwater te garanderen.

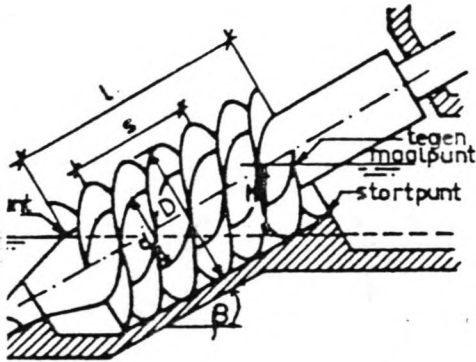
Bepaling van de capaciteit

Een praktijkformule voor maken van een schatting van de capaciteit van vijzels staat vermeld in lit [15]

$$Q = 1.1 * A * n * D^3$$

waarin :

- Q : capaciteit in m³ per min.
- n : maximaal aantal omwentelingen per minuut; $50/D^{2/3}$
- A : een constante
- D : Buitendiameter



- h = statische opvoerhoogte
- beta = opstellingshoek (22-38°)

Met hoek van de vijzel beta = 22 met een spoed van S = D
 A = 0.304

figuur 30 De vijzel

	beta = 22°		beta = 26°			beta = 30°	
S	1,0 D	1,2 D	0,8 D	1,0 D	1,2 D	0,8 D	1,0 D
A	0,394	0,329	0,248	0,276	0,281	0,228	0,236

figuur 31 Tabel met waarden voor de empirische constante A

D	Q m3/uur
1	1003
1.1	1253
1.2	1535
1.3	1830 ==> Deze capaciteit is voldoende bij gemiddelde productie.
1.4	2200
1.5	2584

De vijzel is een robuuste constructie die weinig onderhoud nodig heeft en geschikt is voor transport van vuil water. Het nadeel is, dat het een grote constructie is, die een behoorlijke fundering vereist. De vijzel wordt geplaatst op het talud van de dijk. Ook aan de binnenzijde van het kanaal dienen bodem en talud beschermd te worden tegen stromend water. De effectiviteit van een vijzel is echter niet zo hoog.

Samenvattend

- redelijk grote constructie
- aanpassing aan de dijk zelf is noodzakelijk
- bescherming talud en bodem van het inlaatkanaal nodig
- eventueel bijkomend voorziening om water bij verlaagd spaarbekkenpeil tot aan de vijzel te laten stromen.
- robuust en weinig onderhoud noodzakelijk
- constructie is niet mobiel en moeilijk aan te passen aan veranderingen
- energievoorziening moet gelegd worden

Bij de volgende alternatieven wordt gebruik gemaakt van een leiding. Hieronder volgt een schatting van de te gebruiken diameter.

Voor de snelheid in leidingen wordt door het PWN 1 m/s als normaal aangehouden.

$$u = 1 \text{ m/s}$$

Uitgaande van een gemiddelde drinkwaterproductie van 42000 m³/etm., geeft dit een vereiste capaciteit van 1750 m³/uur (0.5 m³/s).

$$Q/u = A = 0.5 / 1 = 0.25 * \pi * D^2$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow D &= 0.74 \text{ m.} \Rightarrow \text{buis } \varnothing 800 \text{ mm} \\ A &= 0.503 \\ Q &= 1809 \text{ m}^3/\text{uur} \end{aligned}$$

opmerking. Leidingen die water transporteren zullen een kleinere binnendiameter krijgen door afzettingen. In dit geval gaat het echter om een leiding, die alleen gebruikt wordt in geval van een calamiteit. Onder normale omstandigheden staat het water stil. Er is dan ook minder aangroei te verwachten. Een diameter van 800 mm, die al 60 mm ruimer is dan strikt noodzakelijk, zal dan ook voldoende zijn.

Alternatief B

Een perspomp vanuit spaarbekken direct naar zuiveringsstation.

Het water wordt middels een pomp naar het zuiveringsstation geperst. De leiding wordt direct aangesloten in het zuiveringsstation. De pomp moet beschermd worden tegen vuil dat

meegezogen wordt. Derhalve is een vuilrooster noodzakelijk. Zowel pomp als rooster dienen onderhouden te worden. Met oog op ijsvorming en het aanzuigen van lucht, moet de inlaat van de pomp zich ruim onder het minimale waterpeil bevinden.

Samenvattend:

- pomp aanbrengen onder water
- relatief lange leiding
- relatief ondiep ingegraven leiding
- vuilwering noodzakelijk
- onderhoud noodzakelijk
- geen verzamelput
- energievoorziening moet gelegd worden

alternatief C

Een zuigpomp aan de oever met een zuigleiding in het spaarbekken en een persleiding naar het zuiveringsstation.

Bij dit alternatief staat er een pompinstallatie aan de oever van het spaarbekken die het water uit het spaarbekken zuigt en naar het zuiveringsstation verpompt. Ook hier is het noodzakelijk dat er in de zuigmond een vuilrooster aangebracht wordt. Aan de wal moet een voorziening getroffen worden om de pompinstallatie in onder te brengen. In principe kan de pompinstallatie demontabel zijn, hetgeen bij alternatief B minder eenvoudig is. De leidingen zijn ook hier relatief lang en hoeven niet ver ingegraven te worden.

Samenvattend

- voorziening t.b.v pompinstallatie noodzakelijk
- directe aansluiting op station
- relatief lange leiding
- ondiep ingegraven
- mobiele pomp mogelijk
- vuilrooster noodzakelijk
- onderhoud en reparatie relatief eenvoudig
- energievoorziening moet gelegd worden

alternatief D

Een zuigpomp in het zuiveringsstation, die het water in een keer uit het spaarbekken onttrekt. Het voordeel hiervan is dat er geen extra voorzieningen getroffen dienen te worden om de pompinstallatie te plaatsen buiten het station. Het grondwerk betreffende de leiding is hetzelfde als bij alternatieven B en C. Ook hier zijn onderhoud en eventuele reparaties eenvoudig. Het vuilrooster is noodzakelijk om de pomp voor schade te behoeden. Ook in dit geval kan de pomp demontabel zijn, zodat de pomp alleen geplaatst hoeft te worden in geval van een calamiteit.

Samenvattend

- geen voorziening buiten het station
- geringe diepte van de leiding
- relatief lange leiding
- directe aansluiting op station
- mobiliteit eenvoudig

-energie voorziening reeds aanwezig

De volgende twee alternatieven betreffen een pompinstallatie onder water en een pompinstallatie op de dijk. De combinatie zuig/perspomp is buiten beschouwing gelaten, daar het geen zin heeft de pomp ergens halverwege in het water te plaatsen.

Alternatief E

Het water wordt middels een onderwaterpomp over de dijk gepompt. Hierbij kruist de leiding de weg waarop verkeer van het PWN op rijdt. De leiding zal dus of hoog over de weg heen moeten of er onder door. In beide gevallen zijn extra voorzieningen nodig, om dit alternatief te realiseren. De buislengte is echter korter dan in de alternatieven B,C en D. Qua onderhoud, mobiliteit, vuilrooster energievoorziening geldt hetzelfde als voor alternatief B. Er moeten wel voorzieningen getroffen worden, om de binnenzijde van het kanaal te beschermen tegen het water dat uit de buis stroomt.

Samenvattend:

- voorzieningen onder water plaatsen van pompen noodzakelijk
- verdediging binnenzijde inlaatkanaal noodzakelijk
- korte leiding
- kruisen van de weg
- vuilrooster noodzakelijk
- reparatie en onderhoud noodzakelijk en relatief lastig
- aanleg energievoorziening
- mobiele pomp lastig

Alternatief F

Het enige verschil met het voorgaande alternatief is dat de pomp nu op de dijk staat en het water uit het spaarbekken zuigt. Hierdoor zijn reparatie en onderhoud eenvoudiger. Er moet nu echter een voorziening voor de pompinstallatie gebouwd worden op de dijk.

Samenvattend:

- voorziening op de dijk
- eenvoudiger onderhoud
- mobiele pomp mogelijk

alternatief G

In dit geval gaat het om een vrij verval leiding van het spaarbekken naar het inlaatpunt van het zuiveringsstation. De diepte daar bedraagt N.A.P. -3.80 m. Deze diepte bevindt zich echter achter de vis-en vuilwering. Voor de vis-en vuilwering is diepte slechts N.A.P. -3.00 m.(zie fig.32) Er moet daarom een viswering en een vuilwering komen. Waarschijnlijk kan een redelijk fijnmazig rooster bij het inlaatpunt ter plaatse van het spaarbekken beide functies vervullen. De bovenkant van de al aanwezige zuigmond bevindt zich op N.A.P. -2.75 m. Om het peil voor de inlaat zodanig te verlagen, dat het peil in het spaarbekken daalt tot -2.74

moet er een aanpassing van de zuigmond van de inlaatpompen komen. De aan te leggen leiding moet op een diepte komen te liggen, zodat het water onder vrij verval naar het zuiveringsstation stroomt. Er is geen pompinstallatie nodig. Een afsluiter op de leiding voorkomt, dat het water altijd via de vrij-verval-leiding toestroomt.

Samenvattend:

- geen voorziening voor pompinstallatie
- eventuele aanpassing pomp bij inlaat in zuiveringsstation
- relatieve lange leiding
- relatieve diepe ligging
- geen onderhoud
- wel een vuil-en viswering

Voor de afweging van de diverse alternatieven is een scorekaart opgesteld waar voor de diverse alternatieven per criterium een waardering is gegeven

In principe is bij ieder alternatief het inlaatpunt in het spaarbekken in hoogte verstelbaar te maken. Dit leidt echter tot hogere aanlegkosten. Aangezien een verstelbare inlaat bewegende delen bevat, zal ook aan de onderhoud aandacht besteed moeten worden.

In het navolgende zal in principe uitgegaan worden van een inlaatpunt met een vaste hoogte.

4.3 De afweging en keuze.

Op basis van de beschrijving van de alternatieven in paragraaf 5.2 zijn de voor-en nadelen van de verschillende alternatieven met elkaar vergeleken en afgewogen. De resultaten staan in de onderstaande scorekaart.

	A	B	C	D	E	F	G
Inpasbaarheid							
- Kruisen van de dijk	+	+	+	+	-	-	+
- Aanpassing kanaal	-	+	+	+	-	-	+
- Aanpassing dijk	-	+	+	+	+	-	+
- Mobiele pomp	-	-	+	+	-	+	0
Onderhoud							
- Pompen	0	-	-	-	-	-	+
- Vuilwering	0	-	-	-	-	-	+
Grondwerk							
- Bouwen van pompvoorz.	0	-	0	+	-	+	+
- Leidinglengte	+	-	-	-	+	+	-
- Leidingdiepte	+	0	0	0	+	+	-
Aanleg extra voorz.							
- Vuilwering	+	-	-	-	-	-	-
- Aanpassing P.S.A	+	+	+	-	+	+	-
- Energievoorziening	-	-	0	0	-	-	+
Bedrijfszekerheid							
- Robuustheid	+	0	0	0	0	0	+
- t.g.v ijsvorming	-	+	+	+	+	+	+

Uit deze scorekaart volgt dat de vrij-verval-leiding het best scoort. Bij deze oplossing is het grote voordeel dat er slechts aanlegkosten zijn. Als de leiding er eenmaal ligt hoeft er bijna niet meer naar omgekeken te worden. Af en toe kan gecontroleerd worden of de leiding niet verstopt zit door de afsluiter open te zetten. De oplossing is eenvoudig en vereist weinig bijkomende werken. In het navolgende wordt de vrij verval leiding nader bekeken.

5 Een grove dimensionering.

Uitgaande van een toelaatbare snelheid in de vrij-verval-leiding kan bepaald worden wat het minimale verval moet zijn, wil deze stroomsnelheid optreden. Een snelheid van 1 m/s wordt als normaal aangenomen.

Van het spaarbekken zijn dieptepeilingen beschikbaar. Een diepte van ruim 4 meter onder N.A.P. wordt bereikt op 250 meter vanaf het zuiveringsgebouw. Derhalve wordt de voor een ruwe dimensionering een lengte van 250 meter aangenomen.

lengte L = 250 m
Snelheid u = 1m/s

Het totale verval is gelijk aan de sommatie van de leidingweerstand, de intreeweerstand en het verlies aan snelheids-hoogte. De snelheid aan het eind van de leiding in de verzamelput wordt gelijk nul genomen.

$$H = H_w + H_{int} + u^2/2g$$

Verlies door intreeweerstand:
 $H_{int} = (1/\mu - 1)^2 u^2/2g$

Verlies door wrijving in de buis:
 $H_w = L.u / C^2.R$

L : leidinglengte is 250 meter
C : Ruwheidsfactor
R : Hydraulische straal 0.25.D
 δ : Viskeuze sublaag

$C = 18 \log 12.R/(k+\delta/3.5)$
Stel k = 2 mm
R = 0.2 m

eerste schatting C: $C = 18 \log 12*0.2/0.002$
 $C = 55.4 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$

$$\delta = 11.6 * \nu \sqrt{g/C} = 2.05 * 10^{-4} \text{ m}$$

$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
C = 55.2 m^{1/2}/s

$H_w = 250/(55.2^2*0.2) = 0.41 \text{ m}$
 $H_{int} = 6.3 * 10^{-4} \text{ m}$

$$H = 0.41 + 6.3 * 10^{-4} + 1/2g = 0.47 \text{ m}$$

Met een waterpeil van N.A.P. -2.74 m en een overdruk van 0.47 m en een buisdiameter van 0.8 m, zou de onderzijde van de buis op N.A.P. -4.0 m komen te liggen. Dit is echter te laag. Een goede aansluiting op het zuiveringsgebouw is niet eenvoudig meer. (zie figuren 31 en 32). Indien er 2 leidingen \varnothing 800 komen te liggen, is de capaciteit en dus de stroomsnelheid per leiding lager. De weerstand zal lager zijn en

zal het minimaal benodigde verval over de leiding lager zijn

$$2 \text{ } \varnothing \text{ } 800 \implies u = 0.5 \text{ m/s}$$

$$C = 55.4 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$\delta = 4.1 * 10^{-4} \text{ m} \implies C = 55 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$H_w = 0.207 \text{ m}$$

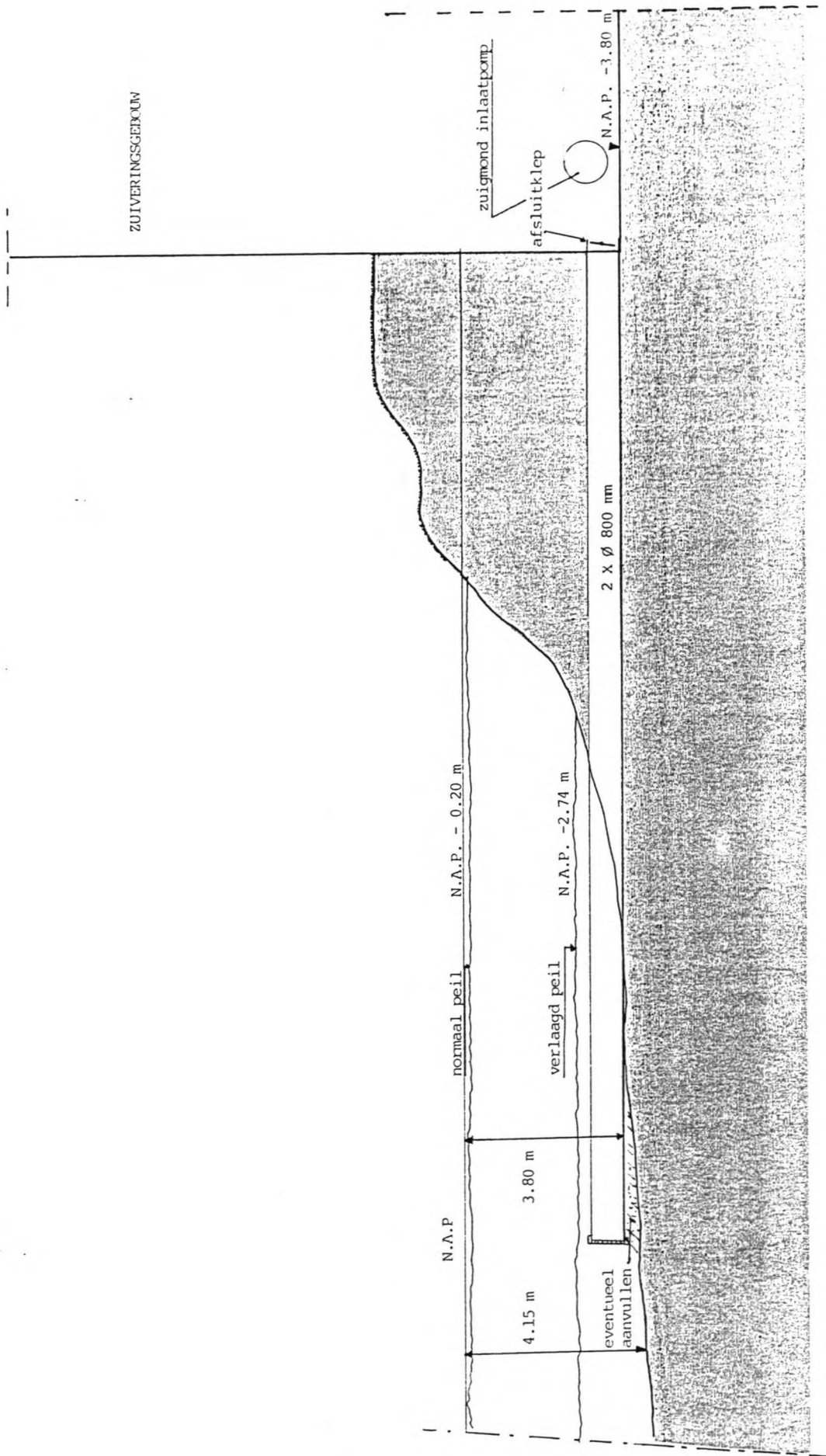
$$H_{int} = 1.6 * 10^{-4} \text{ m}$$

$$H = 0.206 + 1.6 * 10^{-4} + 0.5^2 / (2 * 9.81) = 0.22 \text{ m}$$

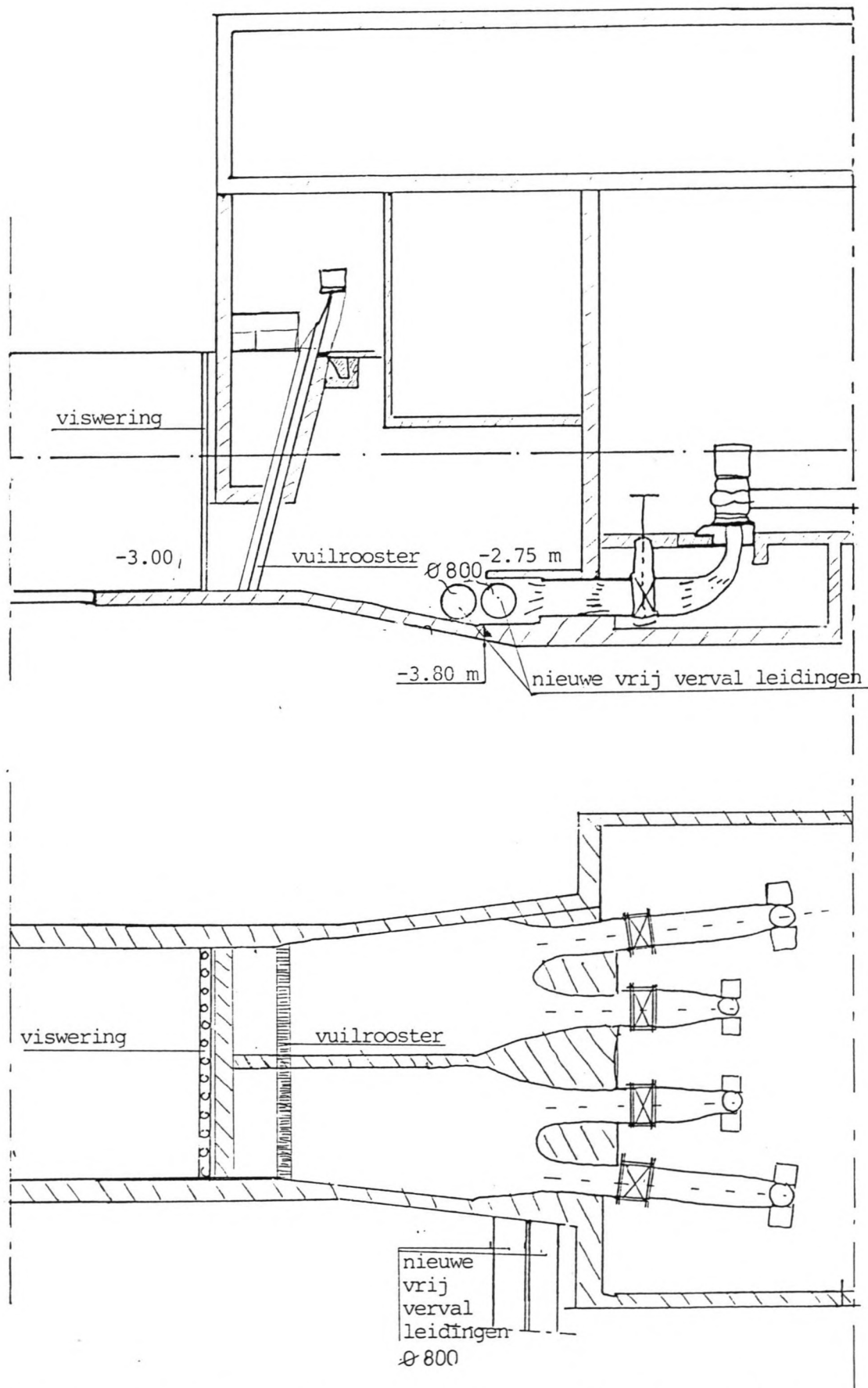
Indien het peil in het spaarbekken N.A.P. -2.74 m bedraagt moet het peil bij de inlaatpompen van het zuiveringsgebouw -2.74 - 0.22 = N.A.P. -2.96 m. De bovenzijde van de vrijverval-leiding bevindt zich op N.A.P. -3.00 m. In figuren 31 en 32 is te zien hoe de leiding komt te liggen en waar de leiding aangesloten is op het zuiveringsgebouw.

6 Conclusie.

Een leiding, waardoor het water onder vrij verval naar het zuiveringsgebouw stroomt, behoort zeker tot de mogelijkheden. De kosten ontstaan voornamelijk in de aanlegfase. De onderhoudskosten zijn laag. De bedrijfszekerheid is hoog, daar er weinig onderdelen zijn, die defect kunnen raken. Er moet wel onderzocht worden of de huidige inlaatpompen van het zuiveringsgebouw de extra opvoerhoogte aankunnen en ook voldoende capaciteit behouden .



Figuur 31 Schets van de vrij-verval-leiding van het spaarbekken naar het zuiveringsstation



Figuur 32 Dwarsdoorsnede en bovenaanzicht van de inlaat in het zuiveringsgebouw

Hoofdstuk 5 Algehele conclusies en aanbevelingen.

In dit hoofdstuk worden de conclusies en aanbevelingen weergegeven, gebaseerd op het verrichte onderzoek, zoals in dit rapport beschreven staat.

De conclusies

Het verdiepen

Verdiepen van het spaarbekken leidt niet tot problemen betreffende de grondwaterstroming. Zelfs bij een sterke daling van de hydraulische weerstand van de bodem van het spaarbekken, zijn de veranderingen van de stijghoogten acceptabel.

Ook het verdiepen op zich heeft voor de stabiliteit van de dijken geen gevolgen mits

- de afstand van de boveninsnijding van de verdiepte bodem 61 meter of meer uit de as van de ijsselmeerdijk komt te liggen.
- de afstand van de boveninsnijding van de verdiepte bodem tot de spaarbekkendam 50 meter of meer bedraagt.
- de onderwatertaluds een helling van 1:6 hebben
- bij de ijsselmeerdijk de verlaagde bodem in het verlengd komt te liggen van het reeds aanwezige talud 1:6

De spaarbekkenpeilverlaging

Voor de grondwaterstroming heeft een peilverlaging geringe gevolgen. De verstoring is redelijk snel uitgewerkt. Daarnaast zijn de gevolgen voor de kwel niet erg groot, daar de weerstandbiedende laag een grote weerstand heeft. Voor de stabiliteit van de bodem is het echter noodzakelijk, dat het water in het spaarbekken niet lager dan N.A.P. -2.74 m komt te staan. Bij dit spaarbekkenpeil zijn de dijken nog stabiel. De stabiliteitsfactor $F=1.27$ van variant 3 (ijsselmeerdijk bij verlaagd spaarbekkenpeil) is echter te laag ($1.27 < 1.3$). Een kleine aanpassing van de ijsselmeerdijk is dan ook wenselijk wil men een spaarbekkenpeilverlaging tot N.A.P. -2.74 m toepassen.

De voorraadvergroting

Het spaarbekken leent zich in de huidige toestand niet echt goed voor voorraadvergroting. Een maximale verlaging van het peil tot N.A.P. -2.74 m, terwijl de bodem van het spaarbekken op N.A.P. -15 m komt te liggen is niet veel. De problemen ontstaan voornamelijk door het instabiel worden van de bodem en de dijken. Daarnaast is het niet mogelijk met de huidige methode van wateronttrekking aan het spaarbekken, middels inlaatwerken en inlaatkanaal, het spaarbekkenpeil ver te verlagen.

Aanbevelingen betreffende het grondwaterstromingsonderzoek

Het ingestelde onderzoek naar de gevolgen voor de grondwaterstroming is een stationaire berekening. Een inzicht van het tijdsafhankelijke effect kan verkregen worden, middels een niet-stationaire berekening. De grootte van de invloed van de randvoorwaarden op de resultaten kunnen bepaald worden door de berekening te herhalen met een groter raster en de verschillen met de in dit rapport gepresenteerde resultaten te bekijken. Een verfijning van het raster nabij het spaarbekken zal de nauwkeurigheid ten goede komen.

Aanbevelingen betreffende het stabiliteitsonderzoek.

De stabiliteit van de waterinlaten kan bij verlaging van het spaarbekkenpeil in het geding komen. Het is raadzaam dit te onderzoeken. Ook het verdiepen kan gevolgen hebben voor de stabiliteit van de inlaat. Het zou kunnen zijn, dat er grond weggebaggerd wordt, die weerstand tegen verplaatsingen van de inlaat moet bieden.

Om het peil te kunnen verlagen tot N.A.P. -2.74 m., is het wenselijk de ijsselmeerdijk aan te passen. Dit is mogelijk door op de vooroever een ballastlaag aan te brengen. Er moet dan bekeken worden hoe zwaar de laag moet zijn en onder welke helling deze laag moet lopen. Er zou gebruik gemaakt kunnen worden van het door het verdiepen van het spaarbekken vrijkomende zand. Om grotere spaarbekkenpeilverlagingen dan de in dit rapport onderzochte verlaging tot N.A.P. -2.74 m. mogelijk te maken moet de stabiliteit van bodem en dijken zeker verbeterd worden. Ook dan bestaat de mogelijkheid om een deel van het te winnen zand als ballastlaag op de bodem en vooroevers van de dijken aan te brengen. Een onderzoek naar stabiliteitsverhogende effect van het belasten van de vooroevers van de dijken en van de bodem van het spaarbekken geeft uitsluitsel of dit reëel is.

Als laatste wordt vermeld dat de kans op een besmetting van het ijsselmeerwater en de gevolgen hiervan voor de kan drinkwaterlevering het onderzoeken waard zijn, al staan ze niet direct in verband met de verdiepingsproblematiek.

