



Baggerspeciedepot IJsseloog

Kwelproblematiek ringdijk





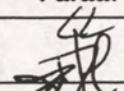
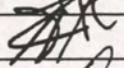

BIBLIOTHEEK
Bouwdienst Rijkswaterstaat
Postbus 20.000
3502 LA Utrecht

①
ALLEEN BINNEN V&W UITLEZEN!
BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NR. C7209 BDU

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE IJSSELMEERGEBIED

Baggerspeciedepot IJsseloog

Kwelproblematiek ringdijk

WAU	Naam	Paraaf	Datum
Opgesteld door	ir. L.P.M. Linssen ir. D. Heineke		30/5 31/5
Getoetst door	ing. A. Fase		31/5/00
Geautoriseerd door	ir. H.P. Laboyrie		31/5
Status	definitief , Versie 3		
Documentnr.	WAU.ADY-3-00043		

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1. Inleiding	11
1.1 Algemeen kader	11
1.2 Situatie en aanleiding onderzoek	11
1.3 Leeswijzer	12
2. Onderzoeksprogramma	15
3. Terreinonderzoeken	17
3.1 Algemene constatering	17
3.2 Waarnemingen 'bestaande' peilbuizen en depotpeil	18
3.2.1 Algemeen overzicht van beschikbare metingen	18
3.2.2 Niveaumetingen in het depot	18
3.2.3 Bestaande peilbuizen in de kruin van de ringdijk en op het voorzieningenterrein	19
3.2.4 Peilbuizen oost en west van het depot	23
3.3 Nieuwe peilbuizen (geplaatst eind oktober 1999)	25
3.3.1 Algemeen	25
3.3.2 Overzicht van nieuw geplaatste peilbuizen	26
3.3.3 Waarnemingsresultaten	27
3.4 Locaties met beschadiging van teen binnentalud	32
3.5 Echometingen bodemdiepte depot	33
4. Geohydrologische situatie	35
4.1 Overzicht van onderwerpen	35
4.2 Freatisch grondwaterniveau	35
4.3 Stijghoogte in pleistoceen	39
4.4 Optimaal depotpeil	40
5. Stabiliteitsonderzoeken	41
5.1 Beschouwde faalmechanismen	41
5.2 Grondparameters	41
5.3 Opdrukken binnenteen	41
5.4 Piping	42
5.5 Micro-stabiliteit	42
5.6 Macro-stabiliteit	43
5.7 Doorlatendheid filterdoek	44
5.8 Oorzaken instabiliteiten	45
5.9 Noodzakelijke maatregelen	45
6. Mogelijke maatregelen en oplossingen	47
6.1 Korte termijn maatregelen	47
6.2 Mogelijke semi-definitieve en definitieve maatregelen	47
6.2.1 Algemene aspecten	47
6.2.2 Aan de buitenkant van de ringdijk of aan de binnenzijde	48
6.2.3 Overzicht van mogelijke maatregelen	49
6.3 Uitvoeringsaspecten	54
7. Conclusies, aanbevelingen en advies	55
7.1 Samenvattende conclusies	55
7.2 In aanmerking komende oplossingen	56
7.3 Aanbevelingen en advies	56
Literatuur en achtergrondinformatie	59
Bijlagen	61

Bijlagen

Figurenbijlage 'MSEEP' EN 'MSTAB'

- Bijlage 1a: Locaties, gegevens en waarnemingen van de peilbuizen
- Bijlage 1b: Waarnemingsresultaten peilbuizen en depotpeil (grafisch)
- Bijlage 2: Notitie "Analyse stijghoogtes en debieten"
- Bijlage 3: Visuele inspectie binnentalud: beschrijving en foto's
- Bijlage 4: Echometingen van de puttaluds
- Bijlage 5: Micro-stabiliteitsberekeningen DWW
- Bijlage 6: Eisen en specificaties filterdoek
- Bijlage 7: Energiekosten uitpompen kwelwater
- Bijlage 8: Kosten diverse herstelmaatregelen

Samenvatting

Situatie en aanpak

In september 1999 zijn instabiliteiten / verzakkingen geconstateerd in de onderste 2 meter van het binnentalud van de ringdijk. Tevens is geconstateerd dat door kwelstroom zand werd meegevoerd tot op de "-6" berm tussen het talud en de insteek van de put. Directie IJsselmeergebied [RDIJ] heeft als beheerder van het depot aan WAU het verzoek gedaan een onderzoek naar de oorzaken in te stellen en aanbevelingen te doen voor de oplossing van dit probleem, daarbij nadrukkelijk rekening houdend met de toekomstige voorzieningen die bij stijging van het baggerspeciepeil in het depot moeten worden aangebracht, namelijk een kwelscherm.

In oktober 1999 is het onderzoeksvoorstel van WAU door RDIJ goedgekeurd. Het onderzoek is getrokken door WAU en bijdragen zijn geleverd door RDIJ, de directie UAV van het bestek BDW5067 ('aanleg IJsseloog'), de Bouwdienst en DWW.

Tijdens het onderzoek is geconstateerd dat water op een hoogte van circa 1,50 m boven het depotpeil uit het talud treedt en dat het zandtalud onder de bekleding – een geotextiel + lichte steenbestorting – over een hoogte van circa 2 m boven het depotpeil inzakt. In januari 2000 is bij nader onderzoek vastgesteld dat het geotextiel door een chemische reactie in het kwelwater (oxidatie van metaalionen) met een slijmachting materiaal dichtgeslibd raakt, waardoor er geen sprake is vrije uitstroming van het kwelwater. Verder bleek bij het onderzoek dat het inzakken van het zandtalud zich in het najaar van 1999 voortzette en dat deze ontwikkeling tijdens de winter en het voorjaar van 2000 enigszins vertraagd is doorgedaan. De locaties waar schade optreedt, komen langs de gehele ringdijk voor met aan de noord- en westzijde een iets grotere schade. Er zijn geen specifieke zones aan te wijzen waar geen schade is opgetreden, met uitzondering van de strook langs de uit damwanden bestaande retourwatertoevoerzone aan de zuidwest kant van het depot.

In het kader van het onderzoek zijn in het binnentalud van de ringdijk in een 5-tal dwarsdoorsneden peilbuizen geplaatst. De filters van de peilbuizen staan boven en onder de slecht-doorlatende Holocene laag (klei/veen). Hierdoor is het verloop van het freatische grondwaterniveau in de ringdijk en de stijghoogte in de zandondergrond onder het Holocene bekend. De gegevens van de bestaande peilbuizen met filters in de zandondergrond – in de as van de ringdijk en ten oosten en ten westen van het depot – zijn bij het analyseren van de geohydrologische situatie betrokken.

Voor een groot aantal situaties zijn berekeningen uitgevoerd om het verloop van de grondwaterstanden in en onder de dijk te bepalen en het uittreeverhang vast te stellen; de berekeningen zijn uitgevoerd met een normaal Ketelmeerpeil en met het hogere ontwerppeil van NAP +2,25 m. Voor het depotpeil zijn waterstanden aangehouden van NAP -4,50 m (ontwerppeil) en NAP -5,20 m (huidig peil). Vervolgens zijn de micro- en macro-stabiliteit van het binnentalud bepaald.

Analyseresultaten

Op grond van de uitgevoerde onderzoeken gelden de volgende constatering en conclusies:

- De erosie in de teen van de ringdijk is niet tot rust gekomen, alhoewel de voortschrijding ervan in het voorjaar 2000 minder sterk bleek dan aanvankelijk verondersteld werd.
- Het uittreeverhang van het uitstromende grondwater boven het depotpeil is groter dan het kritische verhang. Dit betekent dat de micro-stabiliteit van een zandtalud van 1:4 zonder bekleding net niet voldoende is volgens de vigerende normen en leidraden en dat zandkorrels met het water kunnen uitstromen [overigens geldt dat een zandtalud van 1:5 wel voldoende stabiel is].
- Een filterdoek met steenbestorting zou dit wegstromen van zand onder normale omstandigheden (d.w.z. als het doek echt goed doorlatend zou zijn) hebben kunnen voorkomen. Geconstateerd is overigens dat het gedeelte van het talud dat nog niet met filterdoek + steen was afgedekt (naast de pompput, waar juist sprake is van een hogere freatische lijn en uittree-niveau door concentratie van de kwelstroom) niet onderhevig is geweest aan verzakkingen of erosie; wel een onveilige situatie met 'drijfzand'. Het optreden van problemen op plaatsen waar filterdoek op het talud ligt en tegelijkertijd de aandrijvende kracht lager is (lager freatische grondwaterspiegel en uittree-niveau) wees op een additioneel probleem.

- Door een verstopping van het filterdoek met een kleverige substantie als gevolg van chemische reacties in het kwelwater, is het positieve effect van de (open) bekleding verloren gegaan. Het dichtgeslagen filterdoek heeft thans een negatief effect: het uitreepunt van de freatisch lijn wordt hoger en water met zand treedt onder het filterdoek uit, met als gevolg het inzakken van de binnenteen over een hoogte van circa 2 meter.
- Bovenstaand effect treedt volgens de berekeningen alleen op indien in de teen van het binnentalud de bovenzijde van het holocene hoger ligt dan circa 0,50 meter beneden het depotpeil; dus boven NAP -5,7 m in dit geval. Er vormt zich hierdoor een drempel waarover het uittredende kwelwater moet uitstromen. Deze drempel is aanwezig voor de situatie waarbij de cunetdiepte bij aanleg van de ringdijk minder diep was dan NAP -5,70 m. Dit is in feite overal het geval, met uitzondering van een klein deel in het noorden: ter plaatse van vak C; zie figuur 1.2 (na de Inleiding). Een vergelijkbare ongunstige situatie treedt op als lokaal het cunet t.b.v. de grondverbetering onder de ringdijk iets te krap is ontgraven. Zekerheid hierover is niet aanwezig doch deze situatie kan niet worden uitgesloten.
- De problemen treden op bij zowel een depotpeil van NAP -4,50 m (ontwerppeil) als bij een peil van NAP -5,20 m (huidige situatie). In de laatste situatie is echter het probleem van uitspoeling, erosie en verzakkingen nadrukkelijker aanwezig.
- Indien de doorlatendheid van het zand een factor 2 tot 3 hoger is dan de doorlatendheid zoals bij de ontwerpberekeningen is aangehouden, stijgt de freatische lijn slechts een fractie ($< 0,10$ m). De kwelproblemen veranderen hierdoor niet wezenlijk.
- Bij afwezigheid van een holocene drempel (als het cunet dieper en ruimer is ontgraven) is een natuurlijk zandfilter aanwezig. Hierdoor stroomt geen grondwater uit het bovenwatertalud mits het filterdoek op het binnentalud open blijft, d.w.z. voldoende doorlatend. In dat geval treedt geen micro-instabiliteit op.
- Bij een normale waterstand van het Ketelmeer van circa NAP -0,30 m is de erosie thans nog relatief beperkt: niet overal verzakkingen en nog geen 'echte' afschuivingen; bij een hoger peil en zonder het treffen van maatregelen zal deze echter sterk kunnen toenemen.
- De macro-stabiliteit is bij het ontwerp-Ketelmeerpeil voldoende hoog (1,17); de micro-stabiliteit is echter zoals reeds opgemerkt is, onvoldoende. Dit is ook het geval bij een normaal Ketelmeerpeil. In de afgelopen 5 maanden is geconstateerd dat de micro-instabiliteit niet is gestopt maar zich ook niet sterk voortzet. Dit is met name het geval voor het grootste deel van de oostelijke helft van de ringdijk waar het intreepunt van het water naar buiten is verplaatst door de sloot die in open verbinding stond met het Ketelmeer, af te dammen. Hierdoor is de freatische lijn in de ringdijk gezakt en de erosie door kwel verminderd.
- Bij een hoger Ketelmeerpeil overstroomt het voorland van de ringdijk aan de oostzijde. Deze situatie is daarom maatgevend. De micro-instabiliteit neemt hierdoor toe en hierdoor de kans op macro-instabiliteit. De stabiliteitsfactor neemt af van 1,17 [voor de situatie zonder erosie en bij geringe erosie in de teen van het binnentalud] tot minder dan 1, indien over een afstand van 8 meter het zand in de binnenteen is verdwenen door voortschrijdende erosie ten gevolge van micro-instabiliteit.
- Niet is aan te geven hoe snel een dergelijke erosie optreedt. Wel is zeker dat een hoge waterstand in het Ketelmeer tot een dergelijke ongunstige situatie kan leiden. Maatregelen om dit te voorkomen zijn daarom noodzakelijk; deze zijn dan ook nader uitgewerkt.
- Het depotpeil mag niet dalen onder het niveau van NAP -5,20 m omdat anders gevaar bestaat voor opdrukken en piping

Gezien deze situatie is begin november 1999 een voorlopige rapportage met aanbevelingen opgesteld en in februari 2000 een samenvatting met de belangrijkste conclusies. De aanbevelingen in beide stukken hielden in dat snel maatregelen nodig waren om verder inzakken van het binnentalud te voorkomen en een verdere, snelle dramatische uitbreiding van de schade uit te sluiten: peilopzet en kwelscherm in de binnenring. Deze aanbevelingen zijn niet direct door RDIJ overgenomen. Na bespreking en overleg heeft RDIJ aan WAU verzocht om een nadere onderbouwing van de bevindingen en aanbevelingen teneinde een meer overwogen beslissing over de maatregelen te kunnen nemen. Thans blijkt dat de voortgaande erosie van het binnentalud is vertraagd en uitstel van de noodzakelijk geachte maatregelen niet heeft geleid tot ernstige, ontoelaatbare schade. Wel wordt met klem geadviseerd om voor de komende winterperiode maatregelen te nemen, omdat juist dan hoge buitenwaterstanden kunnen voorkomen, waardoor extra kwel en micro-instabiliteit niet is uit te sluiten.

Korte termijn maatregelen

In principe geeft een verhoging van het depotpeil tot circa NAP -2,50 m een aanzienlijke tijdelijke verbetering, maar een dergelijke oplossing is vergunningtechnisch niet mogelijk en daarom verder niet uitgewerkt. Deze maatregel blijft als noodmaatregel wel degelijk hoog op de lijst van korte termijn maatregelen staan. Als zich op enig moment een noodsituatie qua stabiliteit van de ringdijk voordoet en het inzetten van andere noodmaatregelen zoals bijvoorbeeld bronbemaling, onverhoopt toch te veel tijd vergt, is het opzetten van het peil de beste maatregel om ernstige doorgaande schade te voorkomen. Een beperkte peilverhoging tot NAP -4,75 m, zoals tijdelijk van begin december 1999 tot medio januari 2000 is aangebracht, blijkt onvoldoende te zijn voor het oplossen van het kwelprobleem. De tijdelijke maatregel van het afdammen van de sloot langs de buitenzijde van de oostelijke helft van de ringdijk is vooralsnog wel voldoende gebleken om doorgaande erosie en verzakkingen aldaar te beperken. Als structurele oplossing voor dat gedeelte van de ringdijk is deze maatregel echter nog niet voldoende; de kwelstroom gaat door en bij een hogere waterstand waarbij het voorland overstroomt, is er wederom een kritische situatie.

Structurele oplossingen

De te treffen maatregelen zouden aan de buitenzijde van de (kruin van de) ringdijk gerealiseerd kunnen worden of aan de binnenzijde. Om diverse praktische en kostentechnische redenen is gekozen voor de binnenzijde als locatie:

- de totale lengte waarover de voorzieningen nodig zijn is aan de binnenzijde aanzienlijk kleiner en daarmee dus goedkoper dan aan de buitenzijde; bovendien fungeren de damwanden van de retourwatertoevoerzone al als kwelscherm;
- een voorziening aan de buitenzijde kan niet gecombineerd worden met het later noodzakelijke kwelscherm aan de binnenzijde van de ringdijk;
- een voorziening aan de buitenzijde geeft vooral op het werkterrein veel extra uitvoeringstechnische problemen, aangezien daar vele kabels en leidingen gekruist moeten worden; dit houdt dus ook extra kosten in.

De drie belangrijkste (semi-) definitieve opties die in aanmerking komen voor de uiteindelijke evaluatie en implementatie, zijn de volgende drie:

1. grindfilter onderaan het talud

Dit betreft het aanbrengen van een filterconstructie van zand en grind in de binnenteeën en het afdekken van dit materiaal met een natuurlijk filter (grof grind) zonder toepassing van een geotextiel. Het aanwezige filterdoek + steenbestorting beneden het niveau van NAP -3 m wordt hierbij verwijderd.

De stabiliteitsfactor bij een depotpeil van NAP -5,20 m en ontwerp-buitenwaterstand van NAP +2,25 m neemt toe tot circa 1,30.

De kosten van een dergelijke tijdelijke oplossing bedragen circa f 1,4 miljoen plus de jaarlijkse kosten van circa f 75.000 om het kwelwater uit het depot te pompen;

2. horizontale (diep) drainage

Dit houdt het plaatsen in van een horizontale drain op circa NAP -5,5 m in het binnentalud ter plaatse van de tussenberm op NAP +1 m. De drain ligt net in of net boven het Holoceen en permanent onder water waardoor de kans op verstopping van de drain door chemische processen zoals bij het geotextiel op het talud, sterk wordt gereduceerd. De freatische lijn wordt door deze maatregel sterk verlaagd en het kwelwater treedt dan niet meer langs het bovenwatertalud uit. De stabiliteitsfactor neemt voor een depotpeil van NAP -5,20 m en ontwerp-buitenwaterstand toe tot 1,37.

De kosten van een dergelijke tijdelijke oplossing bedragen circa f 0,6 miljoen plus de extra kosten van f 75.000 per jaar om het kwelwater uit het depot te pompen;

3. cement-bentoniet wand + folie

Dit betreft het plaatsen van een verticaal scherm van cement-bentoniet met hierin HDPE kunststofpanelen tot in de holocene laag, gemiddeld tot NAP -7 m, ter plaatse van de tussenberm op NAP +1 m langs het binnentalud. Een dergelijk scherm is in het depotontwerp reeds voorzien voor de vulfase van het depot.

De stabiliteitsfactor qua macro-stabiliteit bij ontwerp-buitenwaterstand en depotpeil van NAP -5,20 m neemt toe tot 1,40.

De kosten van deze technisch zeer goede definitieve oplossing bedragen circa f 8,0 miljoen.

Aan optie 3 [cement-bentonietwand met HDPE folie] wordt technisch gezien de voorkeur gegeven, omdat deze robuust is, over 10 tot 20 jaar naar verwachting technisch nog *up to date* is en later in de vulfase toch noodzakelijk is. Bij de andere twee opties moet een dergelijk scherm later alsnog worden aangebracht. Daarom is in de bovenstaande beschrijvingen van deze twee opties het woord 'tijdelijk' toegevoegd. Dit tijdelijke of semi-definitieve karakter is een nadeel van de opties 1 en 2, omdat de voorzieningen ervan als extra investeringen moeten worden beschouwd. Een voordeel van de opties 1 en 2 is echter dat de dure investering van optie 3 in de tijd niet naar voren gehaald hoeft te worden. Wordt de voorkeur gegeven aan een uitstel van de hogere investeringen en wordt gekozen voor een relatief goedkope tijdelijke oplossing, dan wordt de tweede optie geadviseerd [horizontale diepdrainage], omdat de eerste optie [grindfilter onderaan het talud] uitvoeringstechnisch complex is en daardoor relatief duur.

Voor deze voorkeur-optie [horizontale diepdrainage] geldt wel dat monitoring van de effectiviteit van de drains vereist is; het risico bestaat immers dat de drains dichtslaan (net als het filterdoek op het onderste deel van het binnentalud). Regelmatig zullen de drains moeten worden doorgespoeld.

Kostenvergelijking

Bij de vergelijking van de kosten van de drie meest kansrijke oplossingen is geen rekening gehouden met renteverliezen door maatregelen eerder of later uit te voeren. Om de kosten van de alternatieven beter te kunnen vergelijken is een netto contante waarde [NCW] berekening uitgevoerd. Omdat nog niet bekend is wanneer het verticale scherm in de tussenberm van het binnentalud geplaatst moet gaan worden – dit is afhankelijk van de snelheid waarmee het depot wordt gevuld en het tijdstip waarop de kritische hoogte van circa NAP -8,50 m wordt bereikt – zijn voor deze NCW-berekeningen drie (fictieve) periodes aangehouden van respectievelijk 5, 10 en 15 jaar, de in onderstaande tabel aangegeven vulscenario's.

Alternatief	Netto Contante Waarde in Mfl		
	5 jaars vulscenario	10-jaars vulscenario	15 jaars vulscenario
[1] filterconstructie op talud (+ pompen) en [3] cement-bentonietwand + HDPE-folie	8,48	7,61	6,90
[2] horizontale drainage ((+ pompen) en [3] cement-bentonietwand + HDPE-folie	7,68	6,81	6,09
[3] cement-bentonietwand + HDPE-folie	8,04	8,04	8,04

Uit bovenstaande tabel blijkt dat, onafhankelijk van het vulscenario, een combinatie van optie 2 en 3 qua kosten het meest aantrekkelijk is: nu horizontale drainage aanleggen en later het cement/bentoniet scherm met folie.

Bij dit alternatief (met twee opties) worden meer (uitvoerings) risico's genomen; dit is hierin niet meegenomen. Voor het 5-jarige vulscenario zijn de kosten voor de 3 alternatieven nagenoeg aan elkaar gelijk, zeker gezien de nauwkeurigheid (+/- 20 %) die in acht dient te worden genomen.

Fasering

De maatregelen behoeven niet per se langs de gehele ring van de dijk getroffen te worden. Het talud langs de retourwatertoeverzorgzone is reeds in voldoende mate 'verankerd' door de aanwezigheid van damwanden; daar zijn dus geen maatregelen nodig.

Bij een keuze voor optie 1 (filterconstructie) zou overwogen kunnen worden om één en ander gefaseerd uit te voeren: in eerste instantie alle 'slechte' stukken en dan later als daartoe aanleiding is de resterende gedeeltes. Dit werkt wel kostenverhogend door extra (mobilisatie en demobilisatie)kosten voor uitvoering en fasering. Behalve het belangrijke feit dat hier risico's aan verbonden zijn – vrij plotseling verslechteren van de situatie bij hoge buitenwaterstanden met kans op macro-instabiliteit – gelden de volgende voorwaarden: (i) zeer regelmatig inspecteren, meten en monitoren; en (ii) bronbemaalingsinstallatie dient *stand-by* te staan. Ook dit brengt kosten met zich mee. Gezien de risico's wordt deze aanpak evenwel niet geadviseerd.

Bij een keuze voor optie 2 (horizontale diepdrainage) is een gefaseerde aanpak niet aan de orde, c.q. aanbevelenswaardig, aangezien de mobilisatiekosten de grootste kostenpost vormen en de huidige probleemlocaties niet goed zullen passen bij het voorziene stramien van de diepdrainage.

Eindconclusie en advies

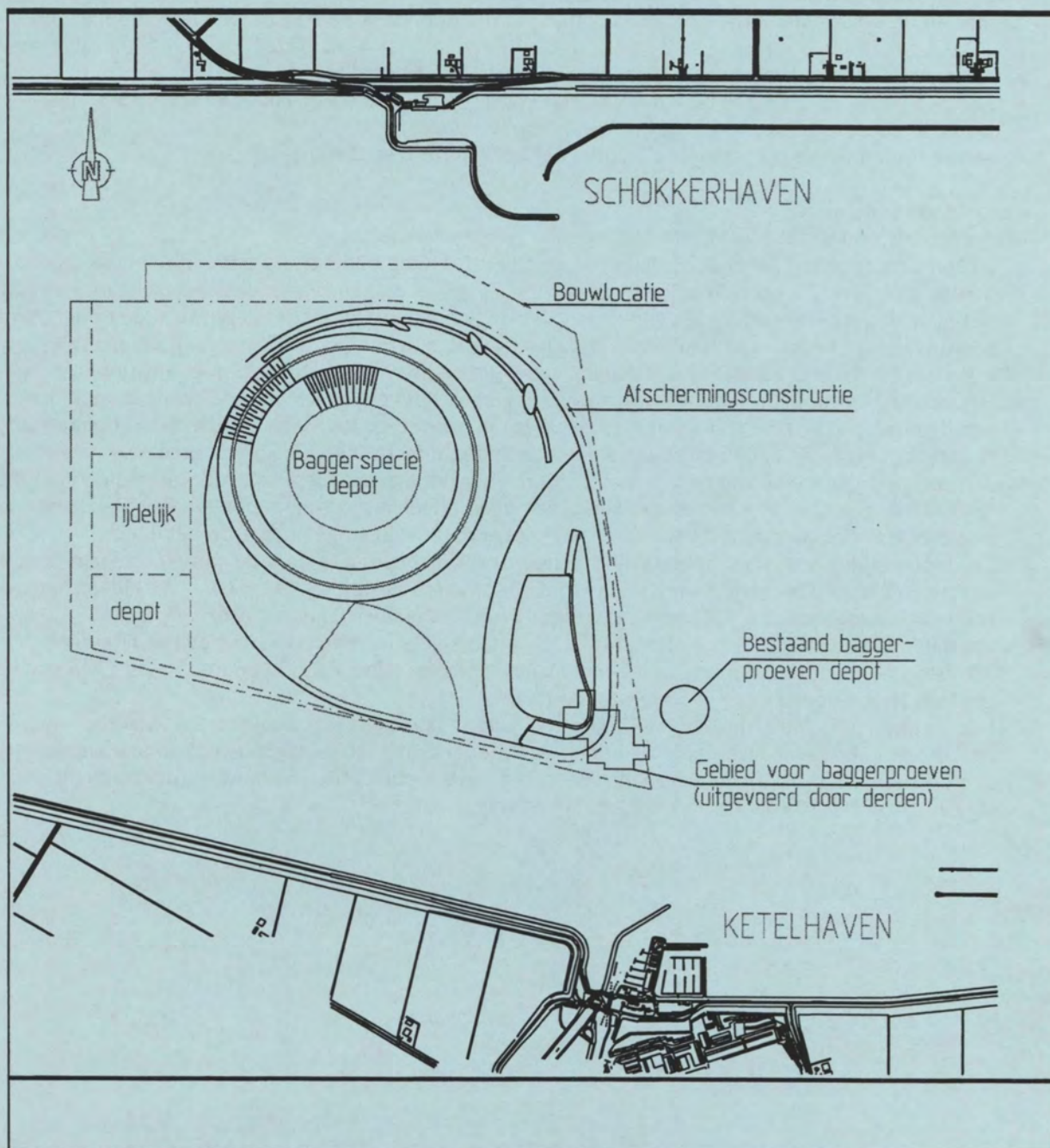
Aangezien de opgetreden erosie en verzakkingen in het onderste deel van het binnentalud niet van tijdelijke aard zijn en een niet te accepteren risico inhouden voor de stabiliteit van de ringdijk als geheel, zijn structurele maatregelen aan de binnenzijde van de ringdijk nodig:

- een definitieve oplossing in de vorm van een kwelscherm in de vorm van een cement-bentoniet-wand + folie, zoals voorzien in het ontwerp van het depot; of
- een semi-definitieve oplossing in de vorm van een horizontale diepdrainage.

Bijkomende conclusies

Uit het gehele onderzoek zijn verder de volgende punten van belang:

- Bij een depotpeil van NAP -5,25 m zijn de stijghoogtes in de ondergrond onder de ringdijk alle hoger dan dit peil, terwijl bij een depotpeil van NAP -4,75 m deze stijghoogtes alle iets lager zijn. Het zgn. optimale depotpeil waarbij geen sprake is van inzijging van water uit het depot naar de ondergrond, zou dus op een niveau van NAP -5,10 m liggen; verhoging van het peilbeheersingsniveau (nu ingesteld op NAP -5,25 m) is aantrekkelijk vanwege de hoeveelheid uit te pompen water.
- Het verwachte geohydrologische 'lek' ten gevolge van het verwijderen van de Holocene laag onder een deel van het werkterrein heeft niet geleid tot hogere stijghoogtes ter plaatse van dit gebied en de directe omgeving ervan; blijkbaar is de ondergrond direct al weer 'dichtgeslagen' (t.g.v. het aanwezige drukverschil van circa 5 meter). Ook voor het tijdelijke depot 'S9 noord' met een put tot NAP -15 m geldt dat van het leegmaken ervan geen effecten zijn waargenomen; de stijghoogte in de peilbuis in het voorzieningenterrein is zelfs lager dan die in enige andere op het depot.
- De doorlatendheid van het ophoogzand in de ringdijk lijkt eerder in de orde van grootte van circa 20 m/dag ($= 2 \text{ à } 3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) te liggen dan in de orde van 8 m/dag ($= 10^{-4} \text{ m/s}$), zoals tijdens het ontwerp is aangehouden. De kwel is daardoor groter dan initieel gedacht. Deze grotere doorlatendheid van het ophoogzand heeft geen nadelige effecten op het toegepaste filterdoek, aangezien in de ontwerpnormen met een veiligheidsfactor rekening gehouden is en de k-waarde van het toegepaste doek circa $7 \times 10^{-4} \text{ [m/s]}$ bedraagt.
- Het toepassen van filterdoek aan de 'benedenstroomse' kant van een zandlichaam waardoor water kan stromen, is alleen acceptabel als het zeker is dat er zich geen metaalionen of andere elementen in dit ophoogzand bevinden die bij blootstelling aan de lucht kunnen leiden tot oxidatiereacties met slijmvorming en dichtslaan van filterdoek als gevolg.



1. Inleiding

1.1 Algemeen kader

Het baggerspeciedepot IJsseloog in het Ketelmeer (zie Figuur 1-2 na dit hoofdstuk), bestaat in essentie uit een 45 meter diepe put met daaromheen een ringdijk met kruin op NAP +10 m. Gezien de algemene geohydrologische situatie in het Ketelmeergebied – met een stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket die circa 5 meter lager is dan het Ketelmeerpeil, onder andere ten gevolge van de slechtdoorlatende laag Holocene materiaal boven het pleistocene zand – wordt als isolatiemaatregel peilbeheersing toegepast. Isolatie van de geborgen verontreinigde baggerspecie tegen advectief transport van verontreinigingen naar het omgevende watervoerende pakket wordt gerealiseerd door ook reeds in de initiële vulfase het waterpeil in het depot lager of hooguit gelijk te laten zijn aan de stijghoogte in het omgevende watervoerende pakket: peilbeheersing.

Nadat medio 1998 de ringdijk gesloten is, is het waterpeil in het depot stapsgewijs gedurende enkele maanden verlaagd tot uiteindelijk NAP -5,2 m. Opgemerkt wordt dat het peilbeheersingsniveau gedurende de ontwerpfase op NAP -4,5 m gesteld was, op basis van 'oude' gegevens uit modelberekeningen gecalibreerd op waarnemingen van peilbuizen ter plaatse van de polderdijken. Een nadere analyse van de stijghoogtes in de omgeving van het depot – nu op basis van waarnemingen van extra peilbuizen ten oosten en westen van het depot – gaf aan dat het in te stellen peil in het depot circa NAP -5 m diende te zijn om het advectieve transport naar de omgeving tegen te gaan.

Als het baggerspeciepeil een niveau heeft bereikt van circa NAP -8,5 m moet volgens het ontwerp-rapport uit 1995 het waterpeil in het depot worden verhoogd tot circa NAP -1,0 m of iets hoger om opdrukken van de binnentoe te voorkomen. Het betreft het resultaat van indicatieve berekeningen die mede afhankelijk zijn van constructieve maatregelen die dan in de dijk uitgevoerd gaan worden. Deze maatregelen betreffen de situatie met een hoog depotpeil, waarbij als eis gesteld is dat er geen water door de ringdijk naar het omringende oppervlaktewater en naar het watervoerende pakket mag stromen. In 1995 is voorlopig gekozen voor een verticaal scherm tot in de holocene laag in het binnentalud van de ringdijk ter plaatse van de tussenberm op een niveau van NAP +1 m en een kleibekleding van het binnentalud boven het niveau van NAP +1 m. Tegen de tijd dat het specieniveau een niveau van circa NAP -15 m tot NAP -10 m bereikt, zal een definitief besluit genomen moeten worden welke constructieve maatregel genomen gaat worden en zal deze nader omschreven moeten gaan worden. Vooralsnog wordt uitgegaan van het gekozen ontwerp uit 1995.

Bij een verdere stijging van het speciedepot zal steeds tenminste een 1,5 m dikke waterschijf boven de specie gehandhaafd moeten blijven. Na de vulperiode zal het speciepeil ten gevolge van consolidatie weer zakken. Na verloop van naar verwachting enkele tientallen jaren zal het qua isolatie gewenste depotpeil weer ingesteld c.q. gehandhaafd kunnen worden op het gewenste peil (van circa NAP -5 m).

In de huidige situatie is er dus sprake van een peilverschil tussen het buitenwater en het depot van circa 5 meter. Aangezien de ringdijk opgebouwd is uit zand zonder verdere kwelbeperkende dan wel kwelvoorkomende maatregelen, is er dus sprake van grondwaterstroming door de ringdijk naar het depot.

1.2 Situatie en aanleiding onderzoek

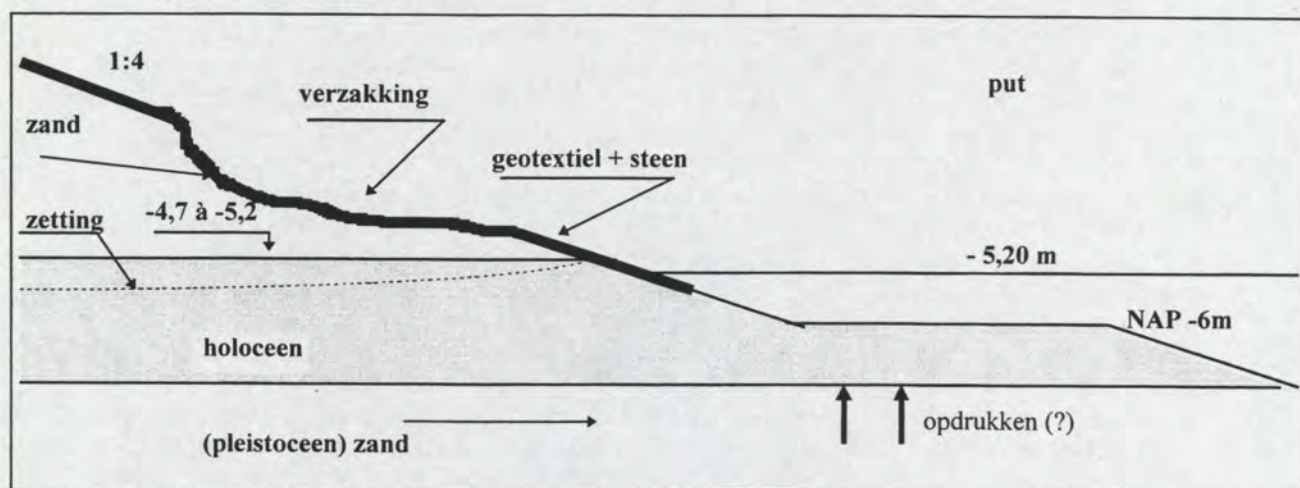
In september 1999 is door RWS-directie IJsselmeergebied (RDIJ) geconstateerd dat kwelwater in de binnentoe van de ringdijk uittreedt, op diverse plaatsen langs de ring verzakkingen optreden en dat met het kwelwater zandtransport plaatsvindt (uitstroom van zand tot op de tussenberm op NAP -6 m). Dit vormde de aanleiding om WAU te verzoeken een onderzoek in te stellen. Naar aanleiding van een eerste locatiebezoek op 23 september 1999 is door RDIJ het verzoek tot advisering aan WAU gedaan.

Tijdens een tweede locatieonderzoek, begin oktober, met vertegenwoordigers van WAU, de directie UAV van bestek BDW 5067, Bouwdienst, DWW en RDIJ is het volgende geconstateerd:

- er is sprake van uitredend water in het onderste deel van het binnentalud van de ringdijk, zowel boven de depotwaterstand van NAP -5,20 m als er onder;
- onder het waterpeil wordt zand meegevoerd door uittredend water;
- boven het depotwaterniveau is er sprake van verzakkingen (onder het filterdoek, zie figuur 1.1);
- de hoeveelheid water die het depot binnenkomt is aanzienlijk en bedraagt op basis van de gegevens van de pompen circa 15.000 m³ per dag;

Als belangrijkste fenomeen in verband met het optreden van de instabiliteiten aan het binnentalud is door de betrokkenen de 'normale' dijke kwel aangegeven.

Daarnaast is aangegeven dat het gewenst is onderzoek te doen naar de ter plaatse van de binnenteen optredende effecten van de grondwaterstroming onder de holocene tussenlaag – grofweg gelegen tussen NAP -5 m en NAP -7,5 m – naar het depot. Aan de hand van de resultaten daarvan moet beoordeeld worden of er gevaar bestaat voor het opdrukken van de holocene overgangsberm (bovenzijde op NAP -6 m) tussen de binnenteen van de ringdijk en de insteek van de put; zie figuur 1.1. Dit opdrukken kan namelijk instabiliteit van de ringdijk tot gevolg hebben. Bovendien moet dan beoordeeld worden of er gevaar voor *piping*¹ aanwezig is.



Figuur 1-1: Doorsnede benedenzijde binnentalud ringdijk

Geconcludeerd is dat de kwel door de ringdijk zodanig is dat het onderste deel van het binnentalud (vanaf niveau NAP +1 m tot vlak boven de tussenberm op NAP -6 m voorzien van filterdoek + steen; zie figuur 1.1), in sterke mate 'zweet'; dit wil zeggen dat aldaar relatief veel water uittreedt.

Deze op zich niet ongebruikelijke situatie behoeft niet per se problemen te geven, maar de actuele situatie met verzakkingen in het onderste deel van het talud gaf reden tot zorg en onderzoeksacties.

1.3 Leeswijzer

In dit rapport zijn de resultaten van de onderzoeken in het kader van de opgetreden kwelproblematiek weergegeven. Vooruitlopend op dit eindrapport is op 2 november 1999 een 'tussen-rapportage' uitgebracht [doc. nr. WAU.ADY-3-99145] en is op 7 februari 2000 een memo opgeleverd [doc. nr. WAU.ADY-3-00017] met in het kort de bevindingen, de belangrijkste conclusies en de aanbevelingen. In hoofdstuk 2 - Onderzoeksprogramma - wordt beschreven wat er na het initiële terreinbezoek en het overleg tussen alle betrokken partijen afgesproken is te gaan onderzoeken.

¹ het ten gevolge van een drukverschil ontstaan van zandmeevoerende wellen waarbij een terugschrijdende erosie ontstaat tot onder de dijk waardoor deze wordt ondermijnd.

Hoofdstuk 3 is gewijd aan alle ter plaatse uitgevoerde onderzoeken en inspecties, alsmede een eerste analyse van de resultaten van met name de diverse peilbuiswaarnemingen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 een nadere analyse gegeven van de geohydrologische aspecten die bepalend zijn voor de diverse stabiliteitsbeschouwingen; deze aspecten betreffen niet alleen de grondwaterstanden (stijghoogtes) in het watervoerende pakket, maar ook het verloop van de freatische lijn in de ringdijk. De nadere analyse van de stijghoogtes leidt tevens tot een conclusie betreffende het optimale depotpeil. De diverse stabiliteitsonderzoeken - met name de macro-stabiliteit en de micro-stabiliteit van het binnentalud - worden in hoofdstuk 5 beschreven. Daarin komt tevens het punt van de doorlatendheid van het filterdoek aan de orde. De mogelijke opties om de kwelproblematiek op te lossen (inclusief ramingen van kosten) worden in hoofdstuk 6 beschreven. Hierin wordt tevens aandacht geschonken aan enkele uitvoeringsaspecten en de mogelijkheden om een en ander gefaseerd uit te voeren. Aansluitend daarop volgen in hoofdstuk 7 de samenvattende conclusies en de aanbevelingen om de gerezen problemen het hoofd te bieden. Daarbij worden tevens de kostenramingen gegeven, alsmede een kostenvergelijking tussen de meest kansrijke en in aanmerking komende opties.

(figuur apart gehouden i.v.m. omvang)

Figuur 1-2: *Situatie depot IJsseloog met daarin aangegeven de 'geotechnische' vakaanduidingen*

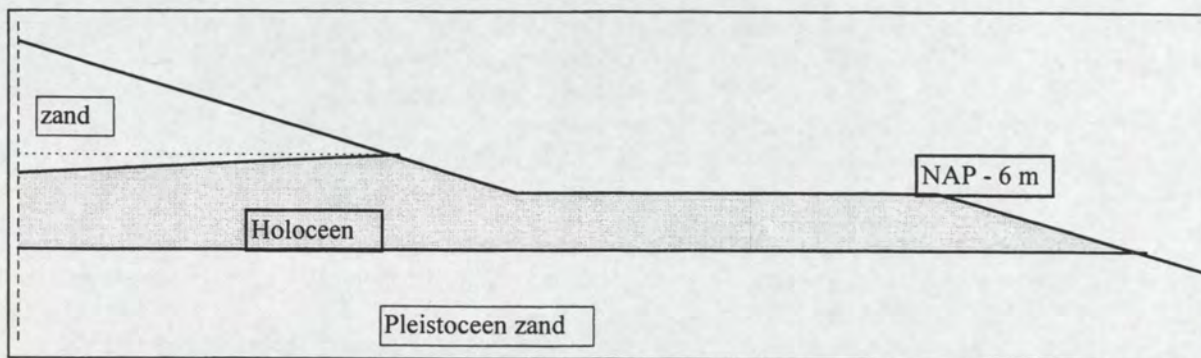
2. Onderzoeksprogramma

Naar aanleiding van het terreinbezoek in begin oktober 1999 is een onderzoeksvoorstel opgesteld, met het kenmerk WAU.ADY-1-99121; dit voorstel is medio oktober 1999 door RDIJ goedgekeurd.

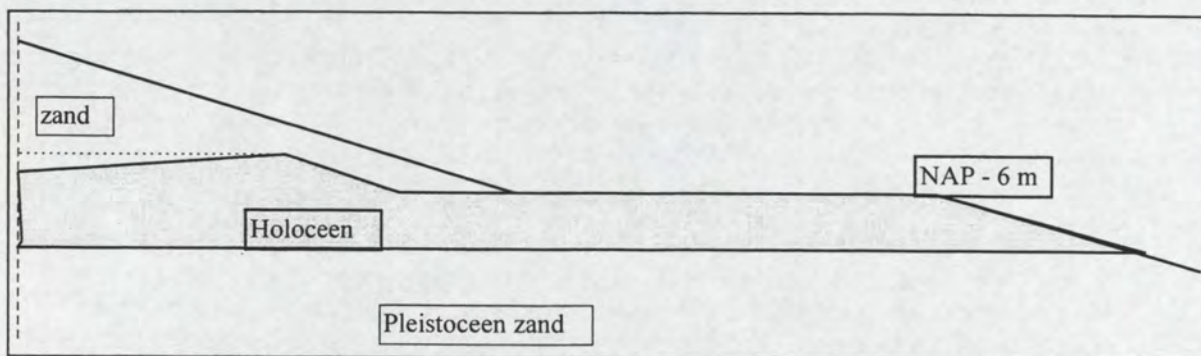
De belangrijkste onderzoeksactiviteiten zijn de volgende:

1. Het vaststellen van de situatie wat de volgende aspecten betreft:
 - de stijghoogte onder het holocene op basis van bestaande peilbuiswaarnemingen bij een depotwaterpeil van NAP -5,20 m;
 - de freatische lijn in de ringdijk op basis van bestaande gegevens;
 - het lokaliseren van de plaatsen waar instabiliteit is opgetreden (op basis van waarnemingen door dir. UAV aan te leveren);
 - de feitelijke hoogte van de berm met een aanlegniveau van NAP -6 m (peilingen uit te voeren door dir. UAV);
2. Het uitvoeren van controle-berekeningen van de micro-stabiliteit door RWS-DWW;
3. Het plaatsen van extra peilbuizen (onder supervisie / via RDIJ);
4. Het aflezen van de waterstanden in de peilbuizen (door RDIJ);
5. Het analyseren van het stijghoogteverloop en het freatisch grondwaterniveau gedurende de periode van de verlaging van het depotpeil. Dit betreft de periode van circa september 1998 tot oktober 1999; voorgesteld is dit te doen met behulp van de bestaande waarnemingen van de reeds aanwezige peilbuizen en waterspanningsmeters, de open waterpeilen van het Ketelmeer en het depot en tenslotte door interpretatie van in het verleden uitgevoerde geo-hydrologische modelberekeningen. Doel van deze analyse is:
 - na te gaan of bij een hoger waterpeil in het depot nog een kritische kwelsituatie aanwezig is;
 - snel een indruk te verkrijgen over de stijghoogte en freatische lijn in de ringdijk;
 - deze te toetsen aan de waarden die bij de diverse (ontwerp)berekeningen zijn gehanteerd;
 - snel oplossingen voor het kwelprobleem te kunnen generen vooruitlopende op de nieuwe peilbuisgegevens.
6. Het bepalen, door middel van geotechnische berekeningen, van de stabiliteitsfactor voor drie typische teenconstructies (situaties) van de ringdijk voor twee geotechnische profielen. De bedoelde drie situaties qua teengeometrie staan in de Figuren 2-1 t/m 2-3 aangegeven. Opgemerkt wordt dat deze 'teenconstructies' slechts beschouwd moeten worden als geschematiseerde situaties teneinde de optredende fenomenen te kunnen analyseren. De twee geotechnische profielen zijn geselecteerd uit de PLAXIS berekeningen die in het kader van de uitvoeringsbegeleiding in de periode 1997 en 1998 zijn uitgevoerd. De nieuwe, in het kader van dit onderzoek uitgevoerde berekeningen zijn gedaan voor een waterpeil in het depot van zowel NAP -4,50 m (ontwerppeil) als NAP -5,20 m (huidig waterpeil). De berekeningsresultaten zijn gebruikt als referentie voor de beoordeling van de effectiviteit van de diverse opties voor de oplossing van de gerezen problemen.
7. Het beslissen over een mogelijke (tijdelijke) waterpeilverhoging in het depot, op grond van informatie uit de hierboven omschreven punten 2), 4) en 5) en na overleg van RDIJ met de provincie Flevoland inzake de vergunning.
8. Het maken van voorstellen voor principe-oplossingen en selectie van de meest kansrijke maatregelen c.q. oplossing(en).
9. Het beoordelen van de effectiviteit van de principe-oplossing(en) door middel van berekeningen voor:
 - de situatie met een depotpeil van NAP -5,20 m en een Ketelmeerpeil van NAP -0,30 m;
 - de situatie bij een maatgevende buitenwaterstand van NAP +2,25 m (zoals ook in de ontwerpfase is beschouwd);
 - de toekomstige vulfase waarbij de bovenzijde van de baggerspecie een niveau van circa NAP -9 m bereikt (hierbij wordt het bovenste deel van het pleistocene zandtalud van de put nog juist niet met baggerspecie bedekt);
 - de vervolgvulfase met een hogere depotwaterstand.
10. De interpretatie van de nieuwe peilbuisgegevens en voorspellingen van toekomstige waterstanden.

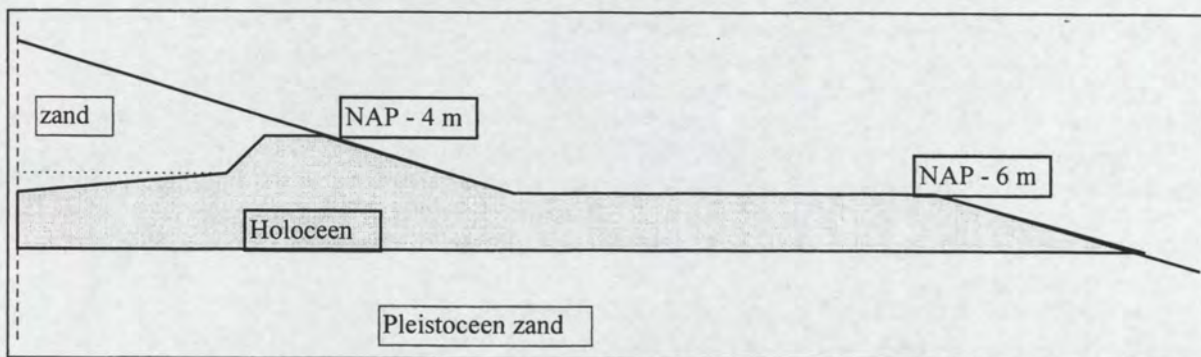
11. Het uitvoeren van geotechnische verificatieberekeningen met de geactualiseerde grondwaterstand gegevens.
12. Selectie van de twee meest veelbelovende oplossingen en het maken van globale kostenramingen.



Figuur 2-1: Volgens het ontwerp (na zetting van het holoceen onder de ringdijk)



Figuur 2-2: Volgens het ontwerp, maar inclusief 'te veel opschonen' in de teen.



Figuur 2-3: Volgens ontwerp, maar nu met te smal ontgraven cunet

Afgesproken is een eerste rapportage eind oktober 1999 uit te brengen op basis van geschatte waarden voor de stijghoogte en de freatische waterstand en daarna met de gemeten waarden als uitgangspunt. Het eerste tussenrapport is uitgebracht op 2 november 1999 [doc. nr. WAU.ADY-3-99145]. Daarna is op 7 februari 2000 een memo [doc. nr. WAU.ADY-3-00017] uitgebracht met de belangrijkste definitieve conclusies van het onderzoek vooruitlopende op het onderliggende definitieve rapport. In dit laatste rapport zijn in verband met de leesbaarheid alleen de belangrijkste berekeningsresultaten opgenomen. Het resultaat van alle uitgevoerde berekeningen is beschikbaar bij WAU.

Opgemerkt wordt dat in aanvulling op de bovengenoemde onderzoeksactiviteiten, tevens aandacht geschonken is aan o.a.: de doorlatendheid van het filterdoek; pompdebieten; en het optimale depotpeil.

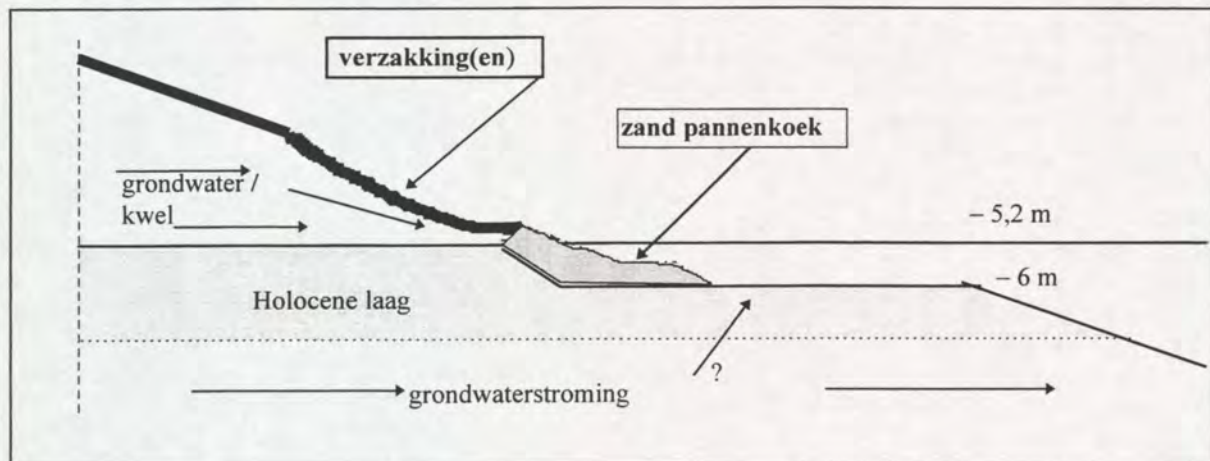
3. Terreinonderzoeken

De belangrijkste terreinonderzoeken betroffen visuele inspecties, analyse van waarnemingen van bestaande en nieuw geplaatste peilbuizen (zowel in de ringdijk als tot in het pleistocene zandpakket), analyse van het depotpeilverloop, opnemingen van de situatie d.m.v. peilingen en het in kaart brengen ervan, alsmede enkele nadere inspecties ter plaatse (met name het filterdoek betreffende).

3.1 Algemene constatering

In het najaar van 1999 zijn op diverse plaatsen langs de ring van de depotdijk verzakkingen geconstateerd. In eerste instantie met name aan de noordwest kant en de zuidoost kant; aldaar waren vrij grote verzakkingen te zien in het onderste deel van het binnentalud. Bovendien kon in de overgang tussen het onderste deel van het talud en de tussenberm (op NAP -6 m) een 'pannenkoek' van zand worden waargenomen. Tevens was het duidelijk dat lokaal relatief grote hoeveelheden kwelwater uittraden tot circa 1,5 meter boven het waterpeil in het depot.

De situatie aan de binnenteen van de ringdijk kan daarmee schematisch worden beschreven volgens de schets in Figuur 3-1.



Figuur 3-1: Geconstateerde situatie aan de onderzijde van het binnentalud

Het feit dat zich een 'pannenkoek' van zand had gevormd in de overgang tussen de onderzijde van het talud en tussenberm (op NAP -6 m) leek erop te wijzen dat het kwelwater zand uit het onderste deel van het talud als het ware 'meeneemt' onder het filterdoek langs. Het kwelwater zou evenwel door het filterdoek moeten kunnen afstromen, als het filterdoek tenminste voldoende waterdoorlatend zou zijn.

Bij navraag is een bijkomend punt naar voren gekomen:

Het filterdoek (ter bescherming van het zandtalud tegen erosie door golven en wind) was ontworpen te worden aangebracht tot aan de overgang naar de "- 6 berm". Omdat met overhoogte bij het aanbrengen van het zand rekening gehouden moest worden en de hoeveelheid filterdoek en steen [gebaseerd op de uiteindelijke situatie] geaccordeerd was, is de taludbescherming met doek + steen aangebracht vanaf de tussenberm (op een ten tijde van de uitvoering iets hoger niveau dan de uiteindelijke hoogte van NAP +1m). Dit heeft dus geresulteerd in de situatie dat het filterdoek niet overal geheel is doorgezet tot op het theoretische niveau van NAP -6 m; dit is tevens aangegeven in de schets in Figuur 3-1.

De actuele situatie kan vooralsnog – zonder exacte gegevens ter beschikking te hebben – samengevat als volgt geschetst worden:

- niet overal zal het filterdoek + steen doorlopen tot op de holocene berm (op NAP -6 m)
- niet overal zal er sprake zijn van een doorgaande holocene laag zonder zand tussen holocene en de onderrand van het filterdoek

Voor een nadere beschrijving wordt verwezen naar paragraaf 3.4 en Bijlage 3.

3.2 Waarnemingen 'bestaande' peilbuizen en depotpeil

Niet alleen de waarnemingen van de reeds in het najaar van 1999 bestaande peilbuizen worden hierna behandeld, maar ook die van de additioneel geplaatste peilbuizen in de ringdijk (voornamelijk ten behoeve van de vaststelling van het freatisch vlak in de ringdijk); deze worden in § 3.3 beschreven. Daarnaast is het van belang te weten hoe het verloop van het depotpeil is geweest, aangezien dit peil mede van invloed is op de stijghoogtes in het watervoerend pakket rondom de put; en wellicht is er een relatie tussen dit depotpeil en de opgetreden problemen aan de binnenteeën.

3.2.1 Algemeen overzicht van beschikbare metingen

Het is noodzakelijk een goed inzicht te verkrijgen in de stijghoogte in het watervoerend pakket direct onder het holocene met name nabij de binnenteeën van de ringdijk. Daartoe zijn in eerste instantie de bestaande peilbuisgegevens geïnterpreteerd en in aanvulling hierop zijn nieuwe peilbuizen geplaatst. In het hiernavolgende worden eerst de waarnemingen van de periode voor het najaar van 1999 gerapporteerd; en aansluitend die van de periode november 1999 - maart 2000, zijnde de periode van onderzoek naar de kwelproblematiek.

In het verleden zijn op diverse plaatsen op en rondom het depot IJsseloog peilbuizen en overige meters geplaatst. Dit betreft ondermeer:

- waterspanningsmeters in de top van het pleistoceen;
- niveaumetingen in het depot, § 3.2.2;
- peilbuizen in de kruin van de ringdijk tot in het pleistoceen [nrs. Pb10 t/m Pb17], § 3.2.3;
- een peilbuis op het voorzieningenterrein [Pb 18], § 3.2.3;
- peilbuizen tot in het diepe pleistoceen ten westen (FL15 / Ket6) en ten oosten (FL14 / Ket7) van het depot, § 3.2.4.

Waterspanningsmeters

Ten behoeve van de uitvoering (aanleg ringdijk) zijn elektrische waterspanningsmeters geplaatst in het pleistoceen en in het holocene pakket onder de ringdijk teneinde de water(over)spanning in deze tussenlaag te kunnen monitoren. De opvolgende ophoogslagen waren qua wachttijd mede afhankelijk van het verloop van deze waterspanningen. Deze elektrische waterspanningsmeters waren vanaf midden 1998 niet meer beschikbaar. Voor de analyse van de situatie in 1999 kan derhalve geen gebruik gemaakt worden van deze meters.

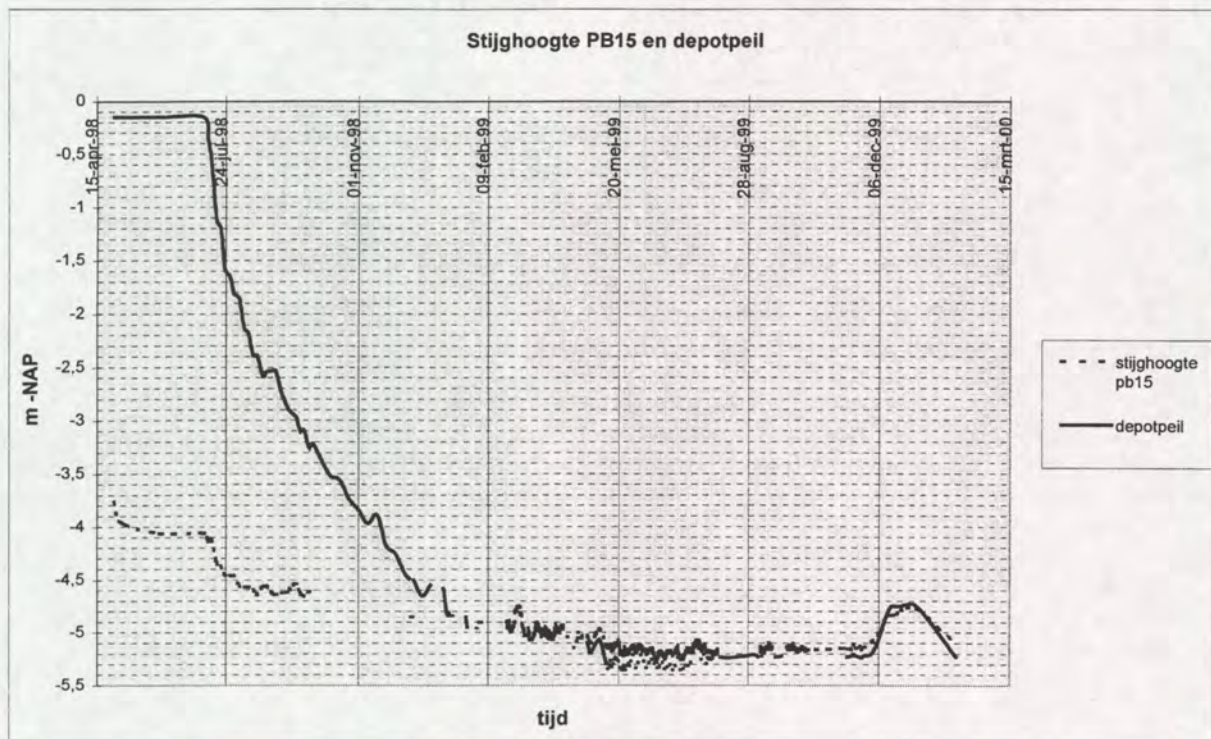
3.2.2 Niveaumetingen in het depot

Vanaf enkele maanden voordat in juli 1998 de ringdijk is gesloten, zijn niveaumetingen in de put van het depot verricht. In eerste instantie waren deze metingen noodzakelijk om het peil stapsgewijs en voldoende langzaam te laten zakken (in verband met de stabiliteit van de ringdijk). Vervolgens is het nodig om het peil in het depot op een bepaald niveau te handhaven teneinde het verschil tussen depotpeil en de stijghoogte in het onder- en omliggende watervoerende pakket zodanig te laten zijn dat er geen sprake is van inzijging vanuit het depot naar de ondergrond ["peilbeheersing"]. Deze niveaumetingen zijn tevens de sturing voor het door middel van pompen op niveau houden van het peil in het depot.

Het was uit het verleden en de aanlegperiode reeds bekend dat het doorgraven van de holocene tussenlaag zou leiden tot grondwaterstandsverhogingen in de omgeving. Fluctuaties dan wel verlagingen van het depotpeil nadat de ringdijk gesloten was, zouden derhalve ook kunnen leiden tot fluctuaties in de stijghoogtes in de peilbuizen op en rond het depot. Met andere woorden: het één beïnvloedt het ander.

In het hiernavolgende wordt regelmatig een relatie gelegd met het depotpeil. Het is immers van belang na te gaan of en in hoeverre het in de loop van 1999 ingestelde depotpeil (NAP -5,25 m) aanpassing naar boven behoeft. Hoe lager het depotpeil is (beneden een zeker 'evenwichtspeil'), hoe meer toestroming er plaatsvindt vanuit de omgeving naar het depot en hoe meer water er weer uitgepompt moet worden (= exploitatiekosten). Een depotpeil juist boven dat zgn. 'evenwichtspeil' houdt in dat er sprake is van inzijging naar het watervoerende pakket, hetgeen onacceptabel is volgens de vigerende vergunning.

In bijgaande Figuur 3-2 staat het verloop weergegeven van het depotpeil sinds het voorjaar van 1998; daarin staat tevens ter illustratie de stijghoogte in één der peilbuizen in de ringdijk weergegeven.



Figuur 3-2: Verloop van het depotpeil vanaf medio april 1998

Na het sluiten van ringdijk (medio 1998) is het peil langzaam verlaagd tot NAP -2,50 m en na enige wachttijd verder tot NAP -4,0 m, waarna een verdere verlaging is doorgevoerd: eerst tot NAP -4,50 m en later tot NAP -5,25 m. In december 1999 is het depotpeil tijdelijk opgezet; voor nadere informatie hierover zie de (sub) paragrafen hierna. Het huidige peilbeheersingsniveau is NAP -5,25 m. Duidelijk is waar te nemen (zie Figuur 3-2) dat de stijghoogte onder de ringdijk (ter 'hoogte' van de kruin in dit geval) direct het peil in het depot volgt.

Verdere informatie over de geohydrologische situatie rondom het depot staat opgenomen in Bijlage 2.

3.2.3 Bestaande peilbuizen in de kruin van de ringdijk en op het voorzieningenterrein

De meet- en waarnemingsgegevens uit deze peilbuizen in de kruin van de ringdijk en één op het voorzieningenterrein zijn voor zover aanwezig door RDIJ verzameld en aan WAU ter beschikking gesteld.

De locaties en de filterdieptes met verdere informatie van deze peilbuizen Pb10 t/m Pb18 staan weergegeven in bijlage 1: *Locaties, gegevens en waarnemingen van de peilbuizen*.

De waarnemingen van deze peilbuizen Pb10 t/m Pb18 voor de periode december 1998 - april 1999 zijn in Tabel 3-1 opgenomen. Opgemerkt wordt dat dit een uittreksel is van alle waarnemingsresultaten; voor het volledige overzicht wordt verwezen naar Figuur 3-3 (ook in de figurenset van bijlage 1b opgenomen)².

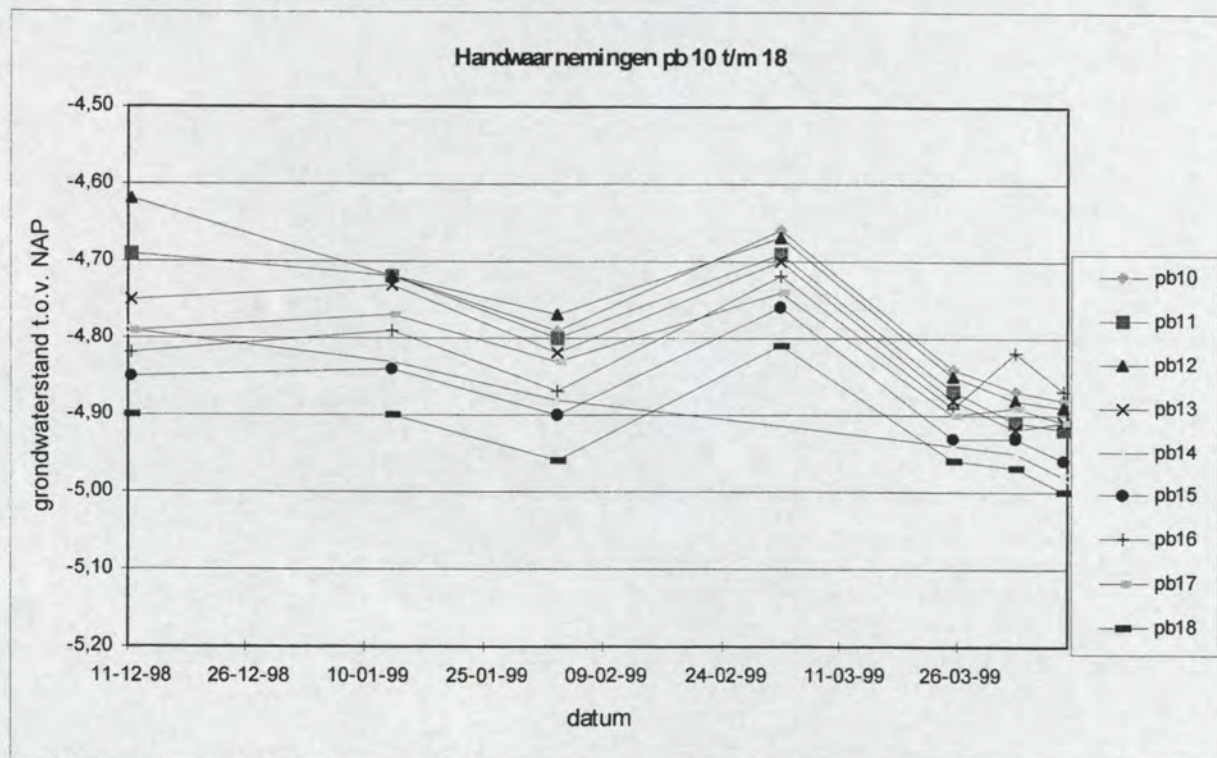
² In bijlage 1 (1a en 1b) staan naast de basisgegevens van de diverse peilbuizen en de waarnemingen in tabelvorm ook de waarnemingsresultaten in grafische vorm opgenomen. Het gaat hierbij niet alleen om de peilbuisgegevens, maar ook om het verloop van het depotpeil en de metingen in de sloot aan de oostkant van het depot.

Tabel 3-1: Waarnemingen van de diepe filters in de bestaande peilbuizen in de ringdijk en het werkterrein [m tov NAP]; dec. '98 tot april '99)

Peilbuis	Datum dec 98	Datum jan 99	Datum febr 99	Datum maart 99	Datum april 99
pb 10	-4,69	-4,72	-4,79	-4,84	-4,88
pb 11	-4,69	-4,72	-4,80	-4,87	-4,92
pb 12	-4,62	-4,72	-4,77	-4,85	-4,89
pb 13	-4,75	-4,73	-4,82	-4,88	-4,91
pb 14	-4,79	-4,83	-4,88	-4,94	-4,98
pb 15	-4,85	-4,84	-4,90	-4,93	-4,96
pb 16	-4,82	-4,79	-4,87	-4,89	-4,87
pb 17	-4,79	-4,77	-4,83	-4,90	-4,91
pb 18	-4,90	-4,90	-4,96	-4,96	-5,00
Depotpeil	-4,50	-4,80	-5,0	-5,0	-5,10

De stijghoogtes onder het holocene pakket onder de ringdijk zijn in deze periode op alle plaatsen lager geworden. Wat wel opvalt (zie Figuur 3-3) is het feit dat de onderlinge verschillen langs de ring in deze periode kleiner zijn geworden: het grootste verschil bedroeg in december 1998 circa 0,30 m; dit is in april 1999 afgenomen tot circa 15 cm.

Afhankelijk van de locatie varieert de verlaging van de stijghoogte van circa 0,10 m (Pb18 op het voorzieningenterrein) tot maximaal circa 0,30 m (Pb12 , oostkant depot); zie Figuur 3-3. Dit is in belangrijke mate het gevolg van de opgelegde verlaging van het depotpeil. Dit peil verliep van circa NAP -4,50 m (december '98) tot circa NAP -5,10 m (april '99); zie Figuur 3-2 .



Figuur 3-3: Verloop van de stijghoogtes in de peilbuizen in ringdijk en voorzieningenterrein (Pb18)

Opmerkingen:

- Enkele maanden later (in augustus '99) is het depotpeil ingesteld op circa NAP -5,20 m (zie ook Figuur 3-2 en Figuur 3-4), mede op basis van de gemeten stijghoogtes in de peilbuizen rondom het depot en in de kruin van de ringdijk tot in het pleistocene zandpakket.
- Opvallend is dat de stijghoogte in Pb18 (in het werkterrein) lager is dan die in alle andere peilbuizen; zie Figuur 3-3 . Dit was niet direct te verwachten, aangezien de holocene tussenlaag onder een groot gedeelte van het haventerrein is verwijderd ('kortsluiting' dus). Bovendien was enig effect te

verwachten van het ten westen van het depot gelegen tijdelijke depot ['S9 noord'] met een diepte tot NAP -15 m. Ook tijdens en na het leegmaken (en overpompen naar het eigenlijke depot) hiervan zou een verhoging van de stijghoogte in de omgeving te zien moeten zijn geweest, was de verwachting. Dit is evenwel niet geconstateerd, hetgeen erop wijst dat de bodem en de taluds van dit tijdelijke depot dermate 'goed' zijn dichtgeslibd gebleven ten gevolge van het circa 5 meter grote peil- c.q. drukverschil dat er nauwelijks spake is geweest van beïnvloeding van de omgeving; zie verder Bijlage 2.

In de periode vanaf oktober 1999 zijn deze peilbuizen wederom zeer regelmatig 'opgenomen'. De resultaten hiervan staan in bijgaande Tabel 3-2 opgenomen.

De hierin opgenomen waarnemingsresultaten zijn een uittreksel uit de gehele reeks van waarnemingen; in Bijlage 1 staat het volledige overzicht van alle waarnemingsresultaten opgenomen.

Ter oriëntatie van de locatie van deze peilbuizen het volgende: Pb10 staat aan de noordzijde; Pb12 aan oostzijde; Pb14 aan zuidzijde; en Pb16 aan de westkant.

Tabel 3-2: Waarnemingen van de diepe filters in de peilbuizen Pb10 t/m 17 (in de ringdijk) en Pb18 (in het werkterrein) voor de periode november 1999 tot maart 2000 [in m tov NAP]

Peilbuis	Datum 11-11-99	Datum 25-11-99	Datum *) 08-12-99	Datum *) 23-12-99	Datum 04-02-00	Datum 21-02-00	Datum 03-03-00	Datum 29-03-00
pb 10	-5,08	-5,06	-4,88	-4,69	-5,04	-5,05	-4,93	-5,02
pb 11	-5,12	-5,11	-4,91	-4,73	-5,09	-5,10	-4,96	-5,06
pb 12	-5,10	-5,09	-4,89	-4,70	-5,07	-5,08	-4,94	-5,04
pb 13	-5,11	-5,09	-4,89	-4,71	-5,08	-5,09	-4,96	-5,06
pb 14	-5,15	-5,19	-4,95	-4,76	-5,12	-5,14	-5,02	-5,13
pb 15	-5,15	-5,14	-4,97	-4,77	-5,11	-5,14	-5,01	-5,11
pb 16	-5,13	-5,11	-4,94	-4,74	-5,09	-5,12	-4,97	-5,08
pb 17	-5,11	-5,10	-4,93	-4,71	-5,08	-5,09	-4,96	-5,06
pb 18	-5,22	-5,21	-5,03	-4,86	-5,18	-5,21	-5,04	-5,16
depotpeil	-5,23	-5,22	-5,00	-4,75	-5,24	-5,24	-5,24	-5,24

*) Begin december 1999 is het depotpeil opgezet tot het niveau van NAP - 4,75 m (i.p.v. NAP -5,25 m) om de eventuele effecten ervan op de freatische lijn in de ringdijk te kunnen vaststellen en om te kunnen vaststellen of en in hoeverre dit positieve effecten zou hebben op de kwelproblemen (= de verzakkingen onderaan het binnentalud). Begin januari 2000 is het peil weer verlaagd tot NAP -5,25 m.

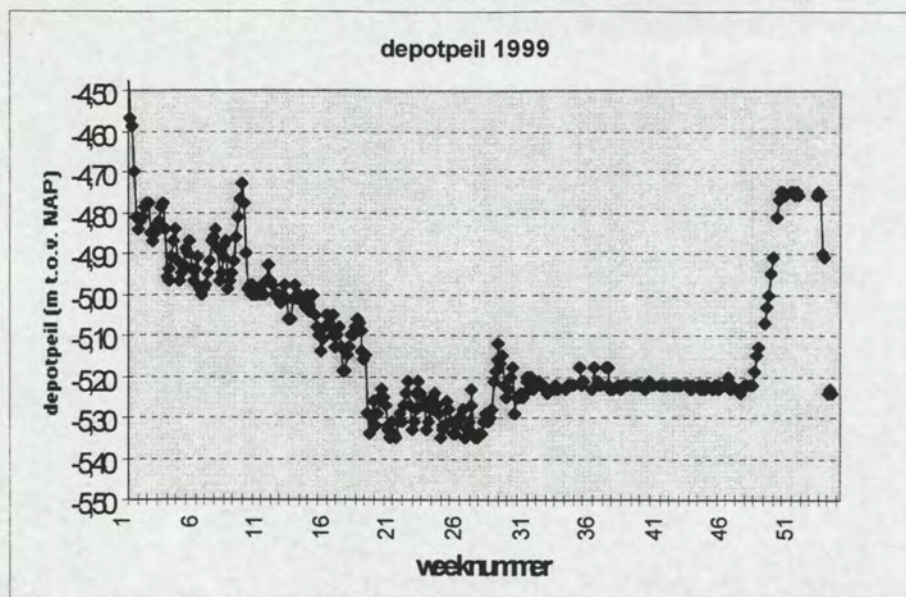
De fluctuaties in de stijghoogte onder het holocene pakket onder de ringdijk zijn in deze periode beperkt geweest tot circa 10 cm; uitzondering in deze vormde de periode december 1999 tot begin januari 2000, toen het depotpeil tijdelijk is opgezet tot NAP -4,75 m. In bijgaande Figuur 3-4 is het verloop van het depotpeil gedurende het jaar 1999 en het begin van 2000 (januari) weergegeven.

Zoals uit de gegevens van Tabel 3-2 blijkt, heeft een dergelijke peilopzet direct invloed op de stijghoogtes onder de kruin van de ringdijk:

- Een verschil in depotpeil van circa 0,5 m resulteert in een stijghoogtetoeename van circa 0,3 meter;
- Een volledig synchroon 'meestijgen' van de stijghoogtes ter hoogte van de kruin van de ringdijk is niet te verwachten, aangezien de verdere omgeving nog steeds onderhevig blijft aan de 'natuurlijke' / regionale geohydrologische situatie; deze zijn: NAP - 5,2 m ten westen van het depot en NAP -4,8 m ten oosten van het depot; zie bijvoorbeeld ook Figuur 3-7 en Tabel 3-3.

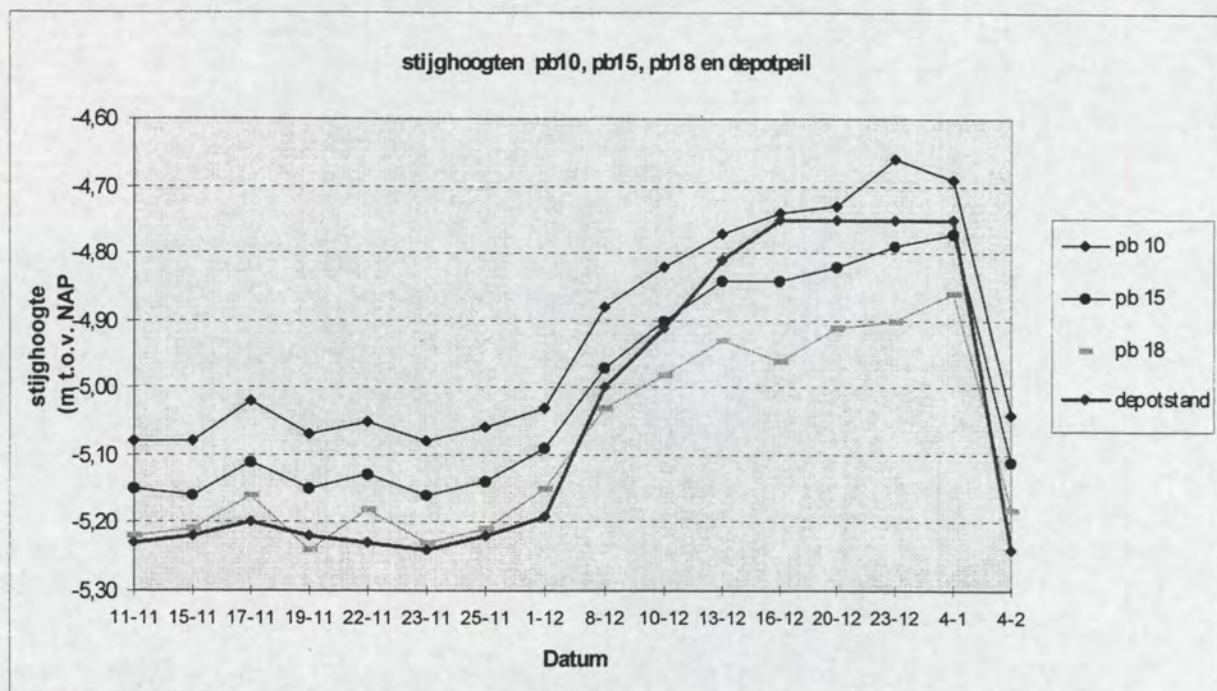
Het waterpeil in het depot is van januari 1999 tot september 1999 langzaam verder verlaagd van circa NAP -4,80 m tot circa NAP -5,20 m; zie Tabel 3-1 en Figuur 3-4.

Er is derhalve naast fluctuaties van buitenaf (die trouwens in andere periodes ook spelen) sprake van een beïnvloeding van de omgeving door de waterstand in het depot. In extreme mate was daar tijdens de aanleg ook sprake van, maar zelfs een verschil van enkele tientallen centimeters tussen een gemiddeld 'evenwichtspeil' qua stijghoogte in de omgeving en het depotpeil is dus merkbaar. Een voorbeeld hiervan is de periode van begin december 1999 tot begin december 2000, toen het depotpeil tijdelijk is opgezet tot NAP -4,75 m; zie bijgaande Figuur 3-5.



Figuur 3-4: Verloop van het depotpeil in 1999 en begin januari 2000

Voor enkele van de peilbuizen in de ringdijk en voor Pb18 (in het werkterrein) staat het verloop van de stijghoogtes in de periode november 1999 - februari 2000 tevens aangegeven in Figuur 3-5, met daarin ook het depotpeil.



Figuur 3-5: Verloop van stijghoogtes in de diepe filters onder de ringdijk en het depotpeil; Pb10 = 'noord'; Pb15 = zuidwest en Pb18 = op voorzieningenterrein

De stijghoogtes in het pleistocene zandpakket onder de ringdijk en onder het werkterrein volgen vrijwel direct het peil in het depot, zoals uit Figuur 3-5 blijkt.

Voor een verdere analyse van de geohydrologie van het Ketelmeergebied inclusief de effecten van de aanleg van het depot wordt verwezen naar Bijlage 2: "Analyse stijghoogtes Ketelmeer 1995 - 1999; debieten door de dijk".

3.2.4 Peilbuizen oost en west van het depot

Enkele karakteristieke waarden van het stijghoogteverloop in de omgeving, met name ter plaatse van de peilbuizen FL14 en FL15 (zie Figuur 3-6) zijn in Tabel 3-3 vermeld. Voor een groot gedeelte van het jaar 1999 is het verloop van de stijghoogtes ter plaatse van deze twee peilbuizen weergegeven in Figuur 3-7. Verdere informatie betreffende de geohydrologische situatie en het verloop van de stijghoogtes nabij het depot als functie van de tijd is opgenomen in bijlage 2.

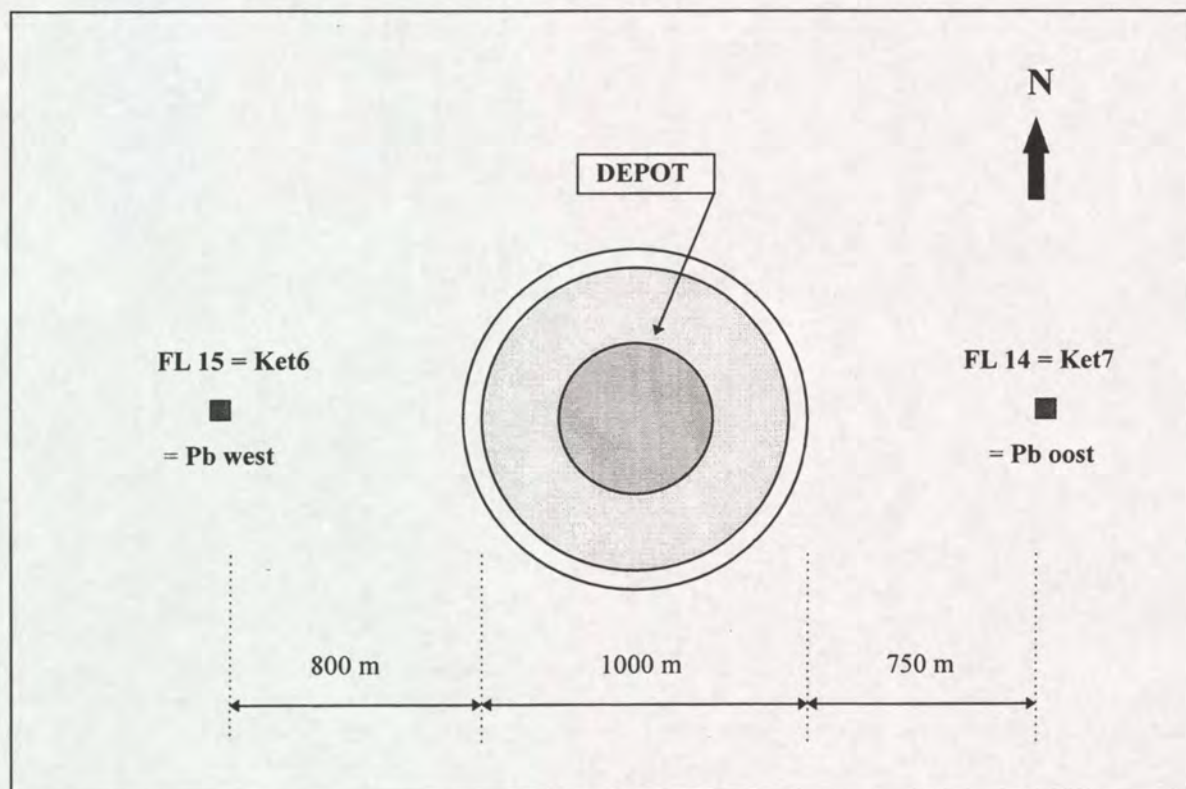
Tabel 3-3: Gemiddelde stijghoogtes in de ondergrond van het Ketelmeer [in m t.o.v. NAP]

Locatie	Peilbuis:		mrt 95 okt 95	nov 95- mrt 96	juli 1996	juli 1997	april 1998	mei 1998	jan 1999	sept 1999
Ketelmeer	ket6 (west)	FL15	-5,3		-5,1	-3,6	-3,6	-4,6	-5,0	-5,15
Ketelmeer	ket7 (oost)	FL14	-4,4	-4,6	-4,4	-3,2	-3,3	-4,2	-4,6	-4,8
Depotpeil:			nvt	nvt	- 0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-4,5	5,2

Aangezien in diverse rapporten verschillende aanduidingen gehanteerd worden voor de twee peilbuizen aan weerszijden van het depot worden hier voor het overzicht alle aanduidingen gegeven:

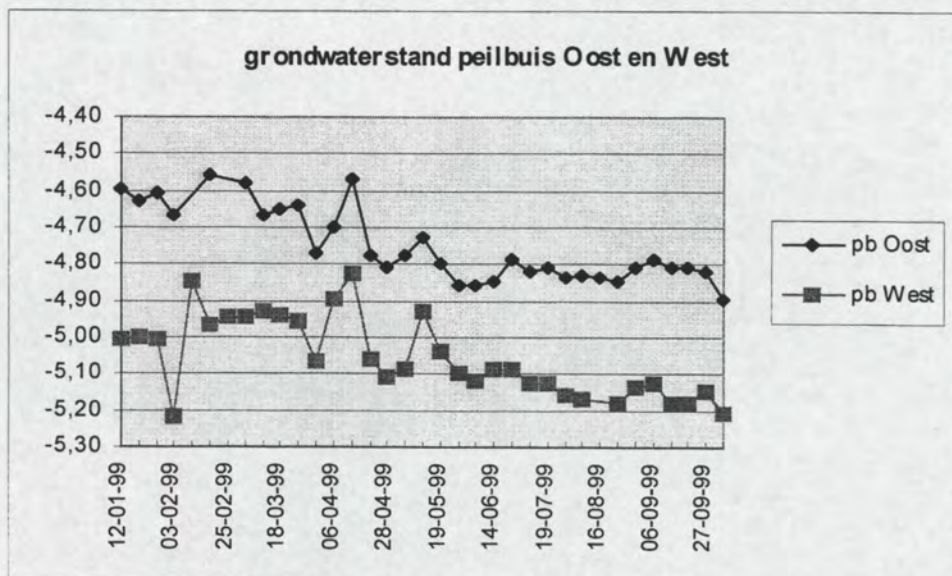
- ten oosten: FL14, = ket7, = Pb Oost
- ten westen: FL15, = ket6, = Pb West

De effecten van het doorgraven van de slecht doorlatende holocene tussenlaag in 1996/1997 voor de aanleg van de put is duidelijk waar te nemen in deze twee peilbuizen; zie Tabel 3-3. Voordat de ringdijk weer gesloten werd (medio 1998) waren de stijghoogtes alweer lager geworden dan in de daaraan voorafgaande periode; zie gegevens "mei 1998" in Tabel 3-3. Blijkbaar zijn de taluds en de bodem van de gegraven put dan al enigszins onderhevig aan het 'dichtslaan' met fijne slibdeeltjes. Dit wordt veroorzaakt doordat er in die periode een stijghoogteverschil (= 'positief' drukverschil) bestond tussen het depot en de ondergrond.

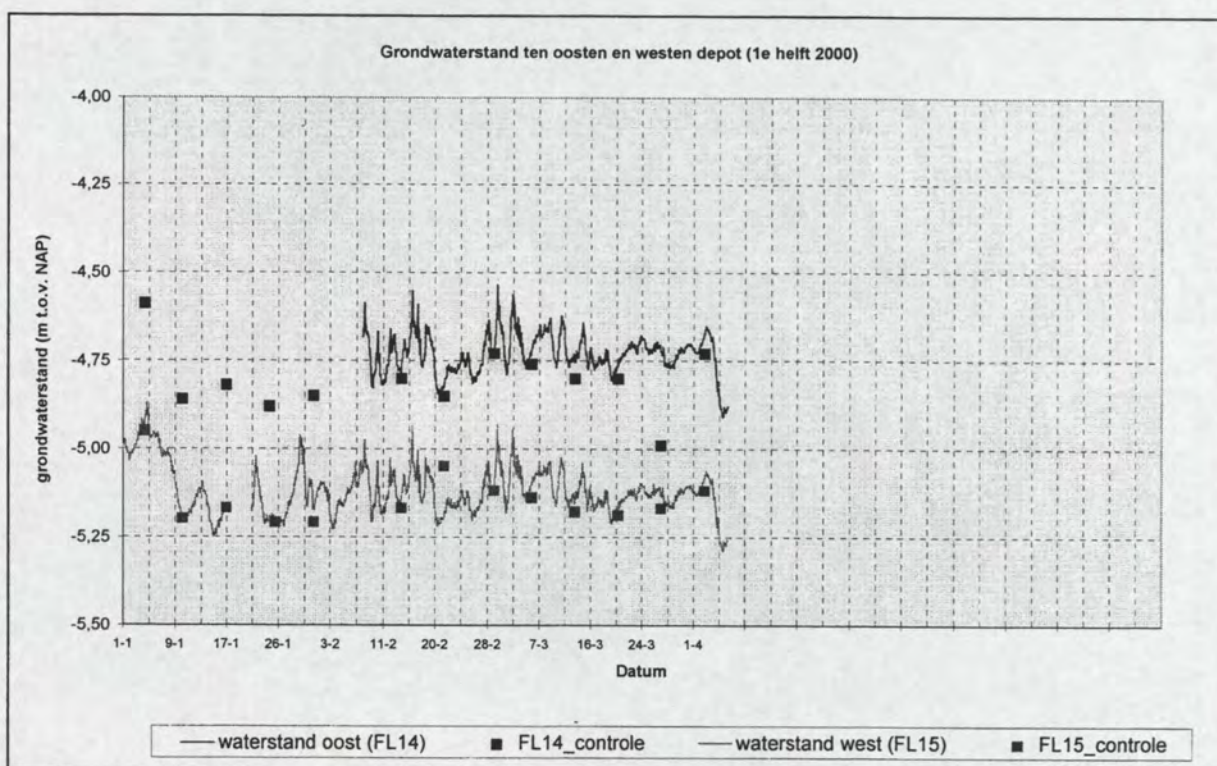


Figuur 3-6: Locatie peilbuizen aan oost- en westzijde depotlocatie

Het verloop van de stijghoogtes in de twee peilbuizen aan weerszijden van het depot voor de eerste helft van 1999 staat in bijgaande Figuur 3-7 aangegeven; dit betreft de periode juist voor het constateren van de onderhavige kwelproblematiek. Het verloop van deze stijghoogtes in geheel 1999 staat opgenomen in bijlage 2. In Figuur 3-8 is het verloop weergegeven gedurende de eerste maanden van 2000.



Figuur 3-7: Stijghoogteverloop zandondergrond in de peilbuizen ten oosten en westen van het depot



Figuur 3-8: Verloop stijghoogtes in peilbuizen oost en west van depot in begin 2000

Uit bovenstaande Figuur 3-8 blijkt duidelijk dat er sprake is van fluctuaties ter grootte van enkele tientallen centimeters.

3.3 Nieuwe peilbuizen (geplaatst eind oktober 1999)

3.3.1 Algemeen

Ten tijde van het onderzoeksvoorstel, in oktober 1999, was onduidelijk of van bovenstaande waarnemingspunten voldoende gegevens beschikbaar waren en welke peilbuizen nog aanwezig waren. In het onderzoeksvoorstel is er daarom van uitgegaan dat deze gegevens niet beschikbaar waren of dat de waarnemingspunten op een dusdanige plaats staan dat deze onvoldoende relevante waarde hebben voor het onderhavige probleem. Daarnaast was het van uitermate groot belang om meetgegevens ter beschikking te hebben van het verloop van het freatisch niveau, dat wil zeggen de grondwaterstanden in de ringdijk boven de holocene laag. Er werd immers reeds in de initiële onderzoeksfase aangenomen dat het grootste deel van de optredende problemen veroorzaakt zouden worden door de kwelstroom door de ringdijk.

Het voorstel hield het volgende in:

1. de plaatsing van peilbuizen in vijf doorsneden, de raaien 1 t/m 5, met het filter onder het holocene om de stijghoogte in het onderliggende pleistocene zandpakket beter te kunnen bepalen.
2. plaatsing van peilbuizen in de dijk met het filter boven het holocene om de freatische lijn in de dijk te kunnen vaststellen.
3. de plaatsing van vier peilbuizen in het haventerrein (filter tot op NAP -12 m).

Ad 1) Stijghoogte onder holocene (diepe peilbuizen)

In 4 dwarsdoorsneden – raaien 1 t/m 4 – plaatsing van vier (4) peilbuizen met de bovenzijde van het 2 meter lange filter op NAP -10 m (circa 2 m beneden de onderzijde van het holocene). De locaties in de raaien zijn als volgt:

- de kruin, aan de buitenzijde op NAP + 9 m (op NAP +2,5 m t.p.v. de coupure in de ringdijk;
- de tussenberm op NAP +1 m;
- het binnentalud op NAP -1 m;
- het binnentalud op NAP -3 m;

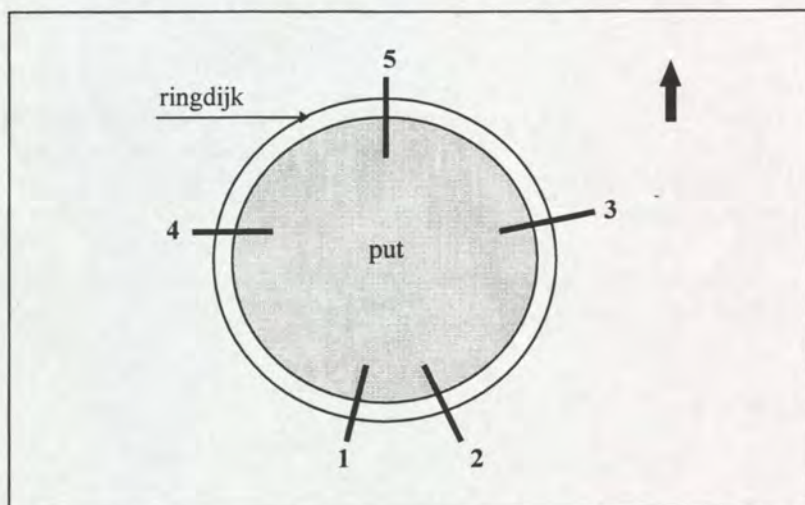
De raaien zijn weergegeven in Figuur 3-9 en liggen ter plaatse van:

- de coupure (raai 1);
- vak J, direct aan de oostzijde van het gebied met een geconstateerde instabiliteit (raai 2);
- vak F, ongeveer oost-west aan de oostzijde van het depot (raai 3);
- vak N2, pal oost - west, aan de westkant van het depot (raai 4);

Eén en ander staat bovendien schematisch in onderstaande schets (Figuur 3-9) aangegeven. De locatie in de raai wordt als volgt aangeduid (zie ook Figuur 3-10):

'A' = ter plaatse van de kruin; 'B' = ter plaatse van de +1 m-tussenberm;

'C' = op binnentalud op NAP -1 m; en 'D' = op binnentalud op NAP -3 m.



Figuur 3-9: Locatie van de raaien van de nieuw geplaatste peilbuizen (oktober 1999)

1 = 'zuid'; 2 = 'zuidoost'; 3 = 'oost'; 4 = 'west'; 5 = 'noord'

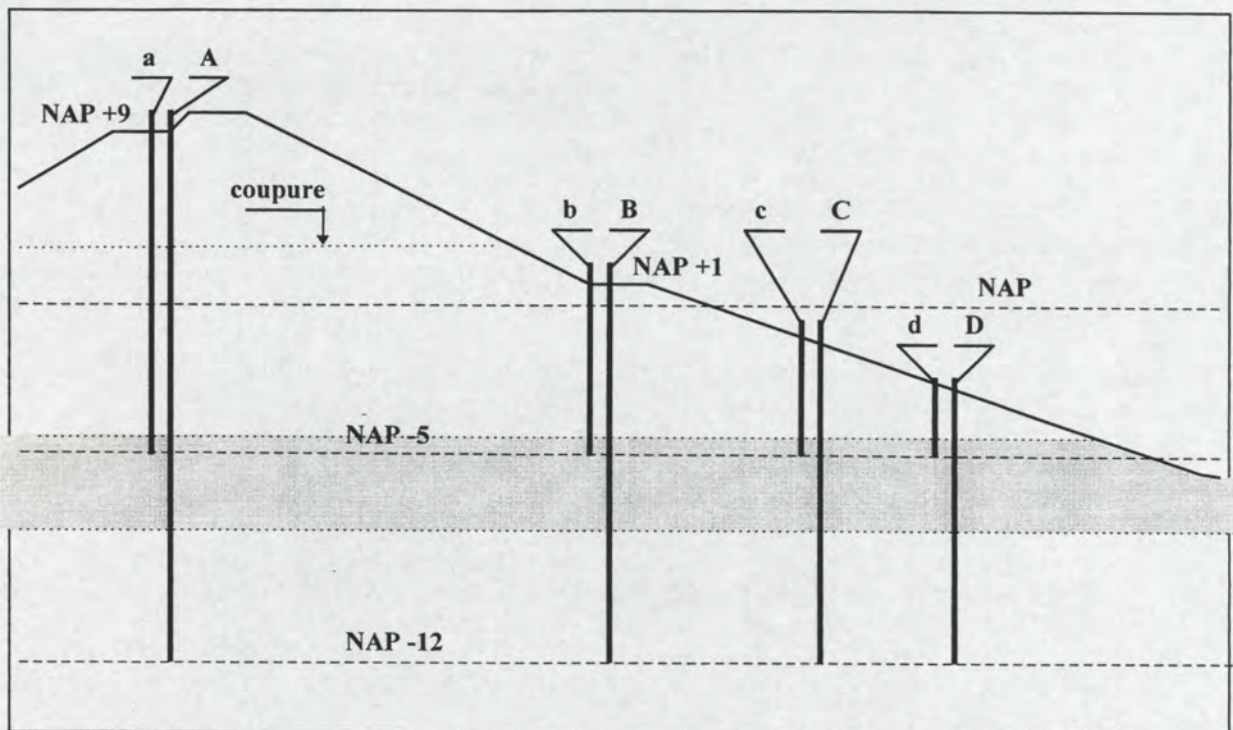
Ad 2) Freatische grondwaterniveau in de dijk (ondiepe peilbuizen)

In 5 dwarsdoorsneden, de raaien 1 t/m 5, plaatsing van 4 peilbuizen met de onderzijde van het 3 m lange filter op NAP -5 m. De doorsneden liggen op circa 10 meter afstand van de doorsneden waar de diepere peilbuizen zijn geplaatst. De vijfde raai [nr. 5] ligt in vak A (pal Noord); zie Figuur 3-9.

De peilbuizen staan op dezelfde plaats in de dwarsdoorsnede als de hierboven genoemde 'diepe' peilbuizen.

De locatie in de raai is (voorzover de peilbuizen daadwerkelijk aanwezig zijn, zie hierna) als volgt aangeduid (zie ook Figuur 3-10):

- 'a' = de kruin
- 'b' = de +1 m-tussenberm
- 'c' = binnentalud op NAP -1 m
- 'd' = binnentalud op NAP -3 m



Figuur 3-10: Locaties van de additionele peilbuizen in dwarsdoorsnede ringdijk (oktober 1999) (niet op schaal)

C) Peilbuizen in haven- en voorzieningenterrein

Onder een groot deel van het haven- en voorzieningenterrein is de holocene laag verwijderd. Hetzelfde geldt ook voor een deel van het voorzieningenterrein. Dit betreft de 'vakken' [M] en [J], zoals aangegeven staat in Figuur 1-2. Hierdoor is op deze plaatsen een hydrologische kortsluiting tussen het freatisch grondwaterniveau en het diepere grondwater. Ofschoon deze peilbuizen niet strikt noodzakelijk waren voor het onderzoek is toch tot het plaatsen van in totaal 4 peilbuizen in dit gebied besloten om een beter inzicht te verkrijgen in het verloop van de stijghoogte richting depot als gevolg van de optredende kortsluiting. In de rapportage en de figuren worden deze aangeduid als: 'VA', 'VB', 'VC' en 'VD'.

3.3.2 Overzicht van nieuw geplaatste peilbuizen**(Locaties) niet geplaatste peilbuizen**

Een aantal van de additioneel gewenste peilbuizen is niet geplaatst omdat de omstandigheden in het terrein dit niet mogelijk maakte. Het betreft in de raaien 2 (zuidoost), 3 (oost) en 4 (west) de diepe peilfilters op het binnentalud op een niveau van NAP -1 en -3 m, dus het dichtst bij de teen van de

ringdijk aan de depotzijde gelegen. Dit geldt ook voor de ondiepe filters maar dan alleen voor raai 3 (oost) en raai 5 (noord).

Dus in totaal zijn 10 peilbuizen + filters niet geplaatst, namelijk:

- de nummers: 2C, 2D, 3C, 3D, 4C, 4D (diepe filters) en
- de nummers: 3c, 3d, 5c en 5d (ondiepe filters).

Voor het overzicht zie tevens Tabel 3-4 en Tabel 3-6; voor de nummering zie tevens Figuur 3-10.

Opmerkingen:

1. Van het in totaal voorgestelde aantal peilbuizen met diepe filters (16 stuks, 4 in elk van de raaien 1 t/m 4) zijn er 6 stuks dus niet geplaatst.
2. Van het in totaal voorgestelde aantal peilbuizen met ondiepe filters (20 stuks, d.w.z. 4 in elk van de raaien 1 t/m 5) zijn er dus 4 stuks niet geplaatst.
3. Ondanks dit feit c.q. een minder volledig overzicht van de situatie in en onder de ringdijk, zijn er achteraf gezien wel juist voldoende gegevens beschikbaar gekomen om tot een voldoende onderbouwde conclusie te kunnen komen³. Ten tijde van het voorstel (najaar '99) bestond nog geen goed beeld van de waarnemingsresultaten van de diepe filters en was niet bekend of deze filters nog intact waren t.b.v. verdere waarnemingen. Dit laatste bleek wel het geval te zijn.

Overzicht geplaatste peilbuizen

De gegevens over de nieuw geplaatste peilbuizen in de ringdijk en het voorzieningenterrein staan opgenomen in bijlage 1. Daarin staan tevens de gegevens qua locatie en lokale hoogtes van de peilbuizen Pb10 t/m Pb18 opgenomen. De gegevens van de nieuw geplaatste filterbuizen betreffen niet alleen de ondiepe filters, maar ook de diepe filters tot juist beneden de holoceenlaag.

3.3.3 Waarnemingsresultaten

In de hiernavolgende tabellen zijn enkele van de waarnemingen van de nieuw geplaatste peilbuizen in de raaien 1 t/m 5, zoals die door RDII zijn gemeten, weergegeven.

- De in Tabel 3-4 opgenomen gegevens betreffen de waarnemingen uit de zogenaamde ondiepe peilbuizen, dat wil zeggen die tot boven het holoceen; deze zijn bedoeld voor de bepaling van de freatische lijn in de ringdijk.
- De in Tabel 3-6 opgenomen gegevens betreffen de waarnemingen van de 'diepe' filters, dat wil zeggen die tot in het onderliggende pleistocene zandpakket. Deze zijn bedoeld voor de verificatie van de effecten van peilwijzigingen in het depot, alsmede voor een controle op de aangehouden stijghoogtes in de MSEP modellen; zie hoofdstuk 4.

Deze gegevens zijn enkele van de gehele serie waarnemingen uit de periode november 1999 - maart 2000; het volledige overzicht van alle waarnemingsresultaten staat in bijlage 1 opgenomen:

- bijlage 1a geeft de resultaten in tabelvorm; en
- bijlage 1b geeft e.e.a. in grafische vorm (het verloop van grondwaterstanden in de tijd).

Mede naar aanleiding van de eerste onderzoeksresultaten is geadviseerd om het depotpeil op te zetten. Dit had een tweeledig doel, namelijk:

1. een hoger depotpeil betekent dat het peilverschil met het Ketelmeer kleiner waardoor de kwelstroom afneemt, c.q. het optredende probleem zou reduceren [afnemen van de aandrijvende kracht];
2. metingen van de situatie voor en ten tijde van het opzetten van het peil, alsmede na het wederom verlagen van het peil zouden zeer bruikbare additionele informatie opleveren voor de nadere analyse van de situatie.

³ Deze conclusie is mede gebaseerd op het feit dat een zeer belangrijk aspect in deze gehele kwelproblematiek, namelijk het onderdeel 'filterdoek' op het binnentalud, naar later bleek, van wezenlijke invloed is (geweest) op de stabiliteit van het onderste deel van het binnentalud; zie ook hoofdstuk 5 hierna.

Ondiepe filters

Het effect van het verhogen van het depotpeil (met 50 cm tot NAP -4,75 m) in december 1999 heeft een sterk variërend effect gehad op de hoogte van het freatisch vlak in de ringdijk. Deze wordt (mits er geen toestroom door de holocene tussenlaag plaatsvindt) weliswaar voornamelijk bepaald door het peilverschil buiten - binnen, maar toch is er wel sprake van beïnvloeding.

Enkele opvallende zaken van de periode december 1999 zijn als volgt:

- in raai 5 (Noord) is de grondwaterstand in de dijk ter plaatse van de kruin in die periode 30 cm hoger en ter plaatse van de +1-berm circa 25 cm hoger;
- in raai 4 (west) is de grondwaterstand ter hoogte van de kruin zelfs 45 cm hoger dan in de periode ervoor en ter plaatse van de +1-berm circa 30 cm;
- in raai 3 (oost) is zelfs (volgens de waarnemingen) sprake van een grotere verhoging dan die van het depotpeil; dit lijkt niet betrouwbaar;

Tabel 3-4: Peilbuiswaarnemingen van de 'ondiepe' filters (boven het holoceen) in de nieuw geplaatste peilbuizen in de ringdijk voor de periode november 1999 tot maart 2000 in m tov NAP

Peilbuis	Datum 11-11-99	Datum 25-11-99	Datum *) 08-12-99	Datum *) 23-12-99	Datum 04-02-00	Datum 21-02-00	Datum 03-03-00	Datum 29-03-00
Raai 1(Z):			*)	*)		**)	**))	
a (kruin):	-2,29	-2,32	-2,31	-2,19	-2,30	-2,38	-2,35	-2,17
b (+1-berm):	-2,79	-2,81	-2,81	-2,72	-2,79	-3,11	-2,99	-2,69
c (talud -1):	-3,17	-3,18	-3,18	-3,13	-3,17	-3,81	-3,56	-3,08
d (talud -3):	-3,40	-3,42	-3,42	-3,39	-3,41	-4,26	-3,92	-3,32
Raai 2 (ZO):								
a:	-2,55	-2,63	-2,61	-2,49	-2,66	-2,64	-2,64	-2,48
b:	-3,27	-3,30	-3,29	-3,17	-3,34	-3,39	-3,36	-3,24
c:	-3,54		-3,55	-3,43	-3,57	-3,66	-3,62	-3,52
d:	-3,83		-3,84	-3,75	-3,87	-3,93	-3,89	-3,82
Raai 3 (O):								
a:	-3,28	-3,39	-3,25	-2,60	-3,62	-3,29	-3,42	-3,03
b:	-3,77	-3,81	-3,77	-3,41	-3,70	-3,81	-3,89	-3,63
c:	hier geen filter geplaatst							
d:	hier geen filter geplaatst							
Raai 4 (W):								
a:	-3,18	-3,31	-3,15	-2,69	-2,97	-2,68	-2,70	-2,83
b:	-3,89	-3,94	-3,86	-3,56	-3,75	-3,58	-3,60	-3,64
c:	-4,21	-4,25	-4,17	-3,93	-4,10	-3,99	-3,99	-4,02
d:	-4,43	-4,45	-4,38	-4,20	-4,35	-4,28	-4,28	-4,28
Raai 5 (N):								
a:	-3,06	-3,14	-3,05	-2,74	-3,10	-2,84	-2,86	-2,87
b:	-3,70	-3,74	-3,69	-3,46	-3,74	-3,59	-3,60	-3,60
c:	hier geen filter geplaatst							
d:	hier geen filter geplaatst							
depotpeil:	-5,23	-5,22	-5,00	-4,75	-5,24	-5,24	-5,24	-5,24

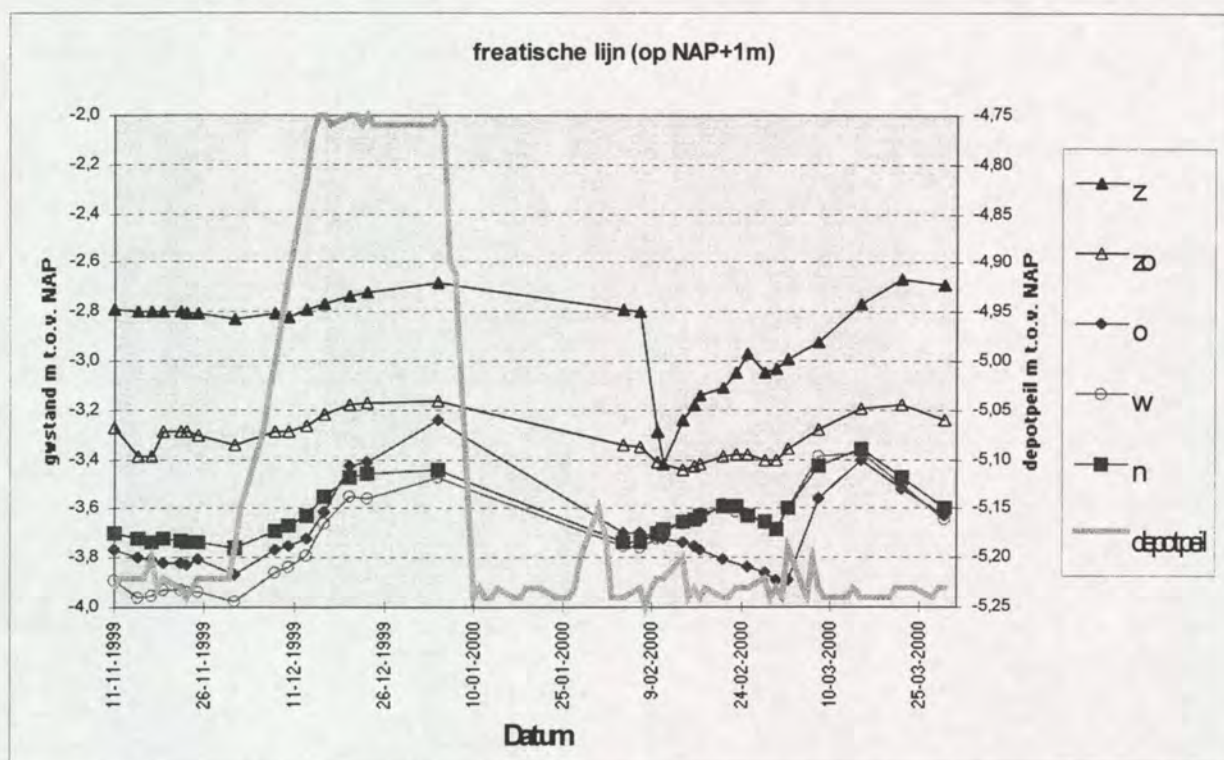
*) Tussen begin december 1999 en begin januari 2000 is het depotpeil gehandhaafd op een niveau van NAP -4,75 m (i.p.v. NAP -5,25 m)

) In februari 2000 is naast de pompput tijdelijk bronbemaling toegepast voor de installatie van leidingen; de stijghoogte in raai 1 - met name die op het talud t.h.v. NAP -1 [c] en NAP -3 [d] - zijn daardoor tijdelijk beïnvloed; dit zijn de **vet-gedrukte waardes

Voor één plaats in de diverse raaien (namelijk ter plaatse van de +1-berm) staat het verloop van het freatisch niveau – de grondwaterstand – in de ringdijk aangegeven in Figuur 3-11. Deze en andere figuren betreffende het verloop van het freatisch niveau in de ringdijk staan tevens opgenomen in Bijlage 1b.

Enkele opvallende zaken op basis van Tabel 3-4 en Figuur 3-11 zijn de volgende:

- Het verloop van de grondwaterstand in raai 1 = 'zuid' (t.p.v. de coupure) is enigszins afwijkend van dat in de andere raaien: in februari 2000 zakt het freatisch niveau vrij plotseling om vervolgens weer langzaam te stijgen. De verklaring hiervoor is dat toen bronbemaling is toepast ten behoeve van de aanleg van een onderdeel van de exploitatievoorzieningen aan de binnenzijde van de ringdijk. Het werd niet verantwoord geacht om daar met zwaar materieel te werken, wetende dat de geotechnische situatie (met bijna drijfzand onderaan het talud) onvoldoende veilig was.
- Over het algemeen valt op dat het grondwaterniveau in de ringdijk ter plaatse van de coupure hoger is dan elders. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door het feit dat zich een damwandscherm en pompput met damwanden aan de noordwestzijde van de coupure bevinden; deze verhinderen de vrije grondwaterstroming en dwingen het kwelwater als het ware naar die plaatsen waar het wel vrij kan uitstromen; dit is dus aan beide zijanten van dit damwandscherm, dus onder andere ter plaatse van de coupure.



Figuur 3-11: Verloop freatisch niveau in de ringdijk ter hoogte van de +1 tussenberm

- Het freatisch niveau in raai 3 = 'oost' is in februari 2000 lager geweest dan dat in de raaien 4 en 5 (resp. 'west' en 'noord'), terwijl daarvan geen sprake was in de periodes ervoor en erna. In die periode is de sloot aan de buitenzijde van de ringdijk langs het oostelijke deel afgedamd geweest, met als gevolg dat het intree-niveau van het kwelwater aldaar circa 60 cm lager is geworden, omdat het water in die sloot niet langer in open verbinding stond met het Ketelmeer. Begin maart zijn één of meer van deze dammen doorgebroken, hetgeen direct te zien is aan de grondwaterstand in de ringdijk; zie ook Figuur 3-11. Een paar weken later is de situatie hersteld, hetgeen wederom leidde tot een verlaging van het freatisch niveau. Deze maatregel blijkt dus effectief te zijn om het grondwaterpeil in de dijk naar beneden te brengen, hetgeen gunstig is voor de geotechnische situatie qua stabiliteit. In de andere peilbuizen is het hogere Ketelmeerpeil van begin maart 2000 ook zichtbaar, doch minder uitgesproken in vergelijking met de peilbuizen bij de sloot. Blijkbaar reageert het freatisch grondwaterniveau tamelijk snel op veranderingen in het Ketelmeerpeil.

Diepe filters

Naast de waarnemingen van de zgn. ondiepe filters in de ringdijk, zijn ook waarnemingen van de diepe filters in de nieuw geplaatste peilbuizen beschikbaar. Achteraf gezien zijn deze peilbuiswaarnemingen deels 'overlappend' met die uit de diepe filters van de 'oude' peilbuizen Pb10 t/m/ Pb17 in de kruin van de ringdijk. Voor een deel ook weer niet, omdat de nieuw-geplaatste peilbuizen ook op andere plaatsen in de dwarsdoorsnede van de ringdijk zijn geplaatst dan alleen ter plaatse van de kruin. Zo is ook een indicatie verkregen van het verloop van de stijghoogte in radiale richting.

Tabel 3-5: Radiale verloop van de stijghoogte onder het holocene (november 1999)

Locatie: Raai	kruin	+ 1 berm	op talud t.h.v. -1	depotpeil
1 (zuid); Pb 14	- 5,15 - 5,15	- 5,20	- 5,20	- 5, 25
3 (oost); Pb 12	- 5,15 - 5,10	- 5,18	-	- 5,25

Het radiale verloop is beperkt tot circa 10 cm (over een afstand van circa 75 m tussen depot en kruin).

Het overzicht van de waarnemingen van de diepe filters in de nieuw-geplaatste peilbuizen staat voor enkele data weergegeven in Tabel 3-6. Het gehele overzicht staat opgenomen in Bijlage 1 (tabellen en figuren).

Tabel 3-6: Peilbuiswaarnemingen van de 'diepe' filters (tot in het pleistocene zandpakket) in de nieuw geplaatste peilbuizen in de ringdijk voor de periode november 1999 tot maart 2000

Peilbuis	Datum 11-11-99	Datum 25-11-99	Datum *) 08-12-99	Datum *) 23-12-99	Datum 04-02-00	Datum 21-02-00	Datum 03-03-00	Datum 29-03-00
Raai 1 (Z):			*)	*)		**)	**))	
A:	-5,19	-5,16	-4,97	-4,81	-5,15	-5,18	-5,05	-5,15
B:	-5,21	-5,16	-4,98	-4,81	-5,16	-5,19	-5,08	-5,16
C:	-5,21	-5,18	-4,99	-4,82	-5,17	-5,20	-5,09	-5,18
D:	-5,19	-5,16	-4,98	-4,82	-5,16	-5,19	-5,08	-5,17
Raai 2 (ZO):								
A:	-5,20	-5,18	-4,99	-4,81	-5,16	-5,18	-5,06	-5,15
B:	-5,23	-5,19	-5,01	-4,85	-5,20	-5,22	-5,10	-5,20
C:	geen diep filter hier geplaatst							
D:	geen diep filter hier geplaatst							
Raai 3 (O):								
A:	-5,13	-5,11	-4,99	-4,74	-5,09	-5,09	-4,95	-5,05
B:	-5,16	-5,14	-5,01	-4,75	-5,12	-5,13	-5,01	-5,10
C:	geen diep filter hier-							
D:	geen diep filter hier-							
Raai 4 (W):								
A:	-5,21	-5,20	-5,03	-4,83	-5,19	-5,20	-5,06	-5,17
B:	-5,20	-5,19	-5,00	-4,86	-5,16	-5,20	-5,08	-5,19
C:	geen diepe filter hier geplaatst							
D:	geen diepe filter hier geplaatst							
Raai 5 (N):	geen diepe filters geplaatst							
depotpeil:	-5,23	-5,22	-5,00	-4,75	-5,24	-5,24	-5,24	-5,24

*) Tussen begin december 1999 en begin januari 2000 is het depotpeil gehandhaafd op een niveau van NAP - 4,75 m (i.p.v. NAP -5,25 m)

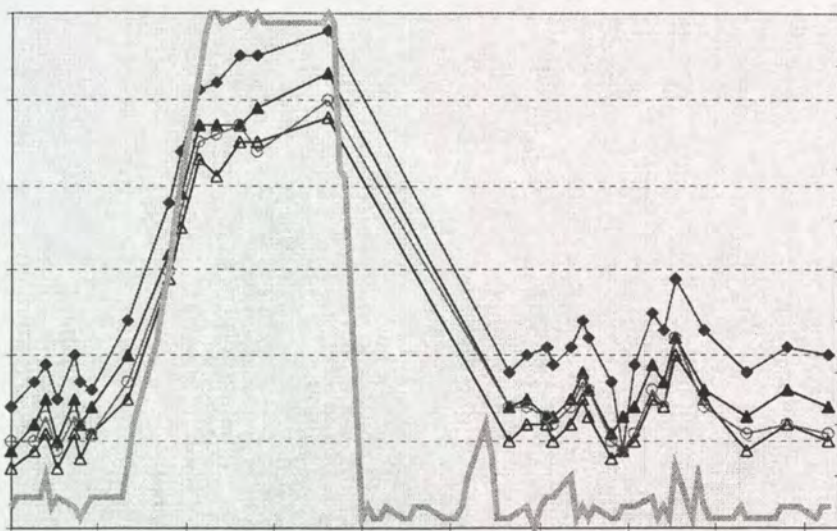
**) In februari is naast de pompput tijdelijk bronbemaling toegepast voor de installatie van leidingen; de effecten hiervan op de stijghoogtes in raai 1 zijn nauwelijks merkbaar, ook niet in de diepe filters [C] en [D].

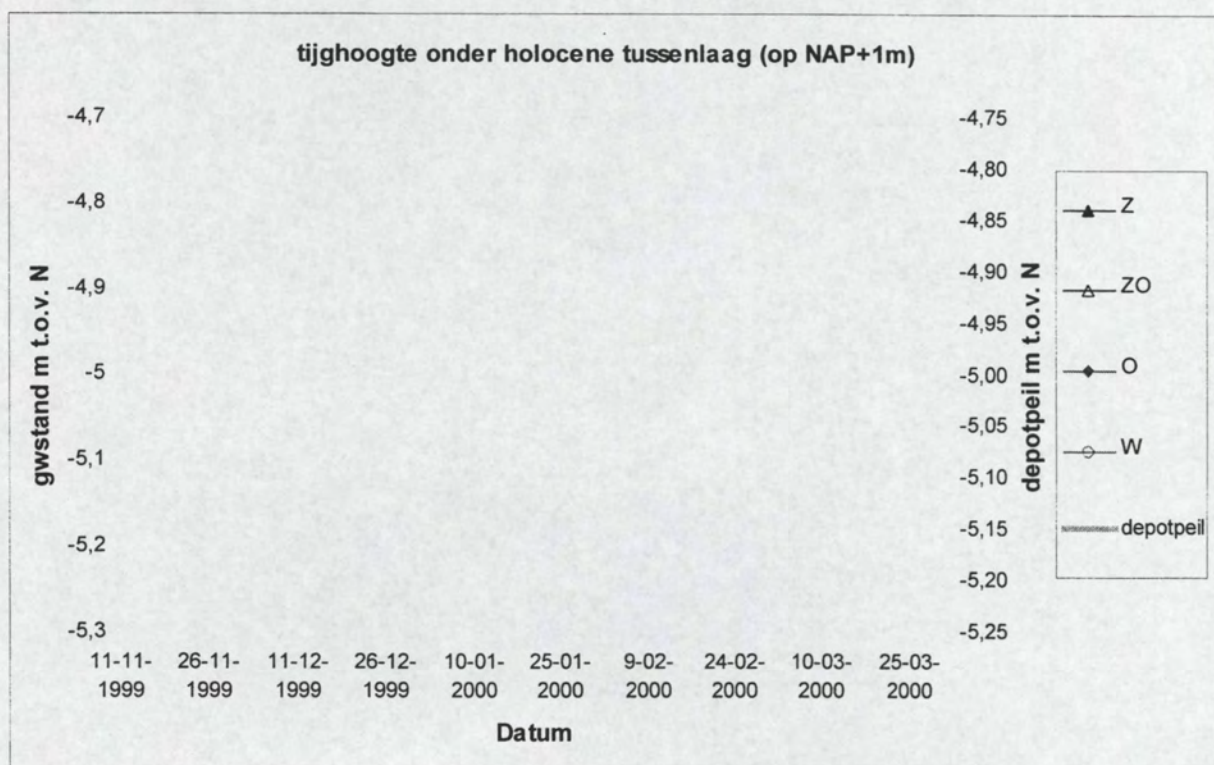
De effecten van het verhogen van het depotpeil - in december 1999 - zijn duidelijk waarneembaar in de peilbuizen in het watervoerend pakket. Een halve meter verhoging van het depotpeil leidde in die periode (december 1999 - januari 2000) tot een verhoging van circa 40 à 50 cm, afhankelijk van de locatie langs de ringdijk.

Voor één plaats in de dwarsdoorsnede van de ringdijk staat het verloop van de stijghoogte in Figuur 3-12 aangegeven. Voor andere locaties in de diverse raaien staan de desbetreffende figuren (naast de hier gepresenteerde figuur) opgenomen in Bijlage 1b.

Conform andere waarnemingsresultaten (zoals die van de peilbuizen Pb10 t/m 18) gelden bovendien de volgende zaken:

- de stijghoogte onder de ringdijk is aan de oostkant iets minder dan ter plaatse van andere raaien; de stijghoogtes in de omgeving beïnvloeden die onder de ringdijk ook [stijghoogte ten oosten van depot is hoger dan die aan de westkant];
- in februari 2000 zakt de stijghoogte aan de oostkant relatief sterk: het effect van het afdammen van de sloot aan de oostkant is blijkbaar ook in de ondergrond enigszins merkbaar (in maart weer een tijdelijke stijging toen de dammen zijn doorgebroken);
- een depotpeil van circa NAP -5,25 m (zoals in november 1999 en na begin januari 2000) geeft stijghoogtes onder de ringdijk die alle boven dit peil (-beheersingsniveau) liggen; voor een depotpeil van circa NAP -4,75 m (zoals ingesteld in december 1999) geldt het tegenovergestelde; aangezien het er bij peilbeheersing om gaat ervoor te zorgen dat er geen inzijging plaatsvindt vanuit het depot naar het omliggende watervoerende pakket, is het van belang om na te gaan wat een zo optimaal mogelijk depotpeil zou zijn; dit wordt in het hiernavolgende hoofdstuk 4 beschreven.





Figuur 3-12: Verloop van de stijghoogte onder het holocene pakket onder de ringdijk (bij +1 berm)

3.4 Locaties met beschadiging van teen binnentalud

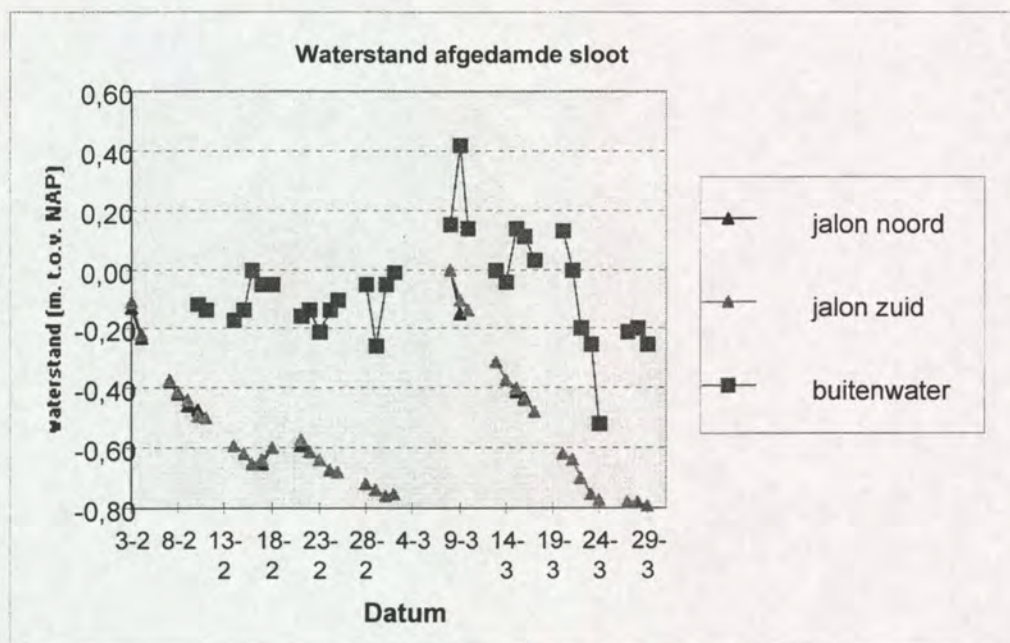
Algemeen

Door de directie UAV bestek BDW 5067 (aanleg IJsseloog) zijn in november 1999 de locaties geïnventariseerd waar de teen van het binnentalud is beschadigd. Na deze eerste inventarisatie is e.e.a. in januari 2000 herhaald. De resultaten van deze inspecties en inventarisaties zijn verzameld in bijlage 3. Hieruit blijkt dat de aantasting van de binnenteen op diverse plaatsen langs de omtrek van de ringdijk aanwezig is. Specifiek kan wel geconstateerd worden dat aan de noord- en de noordwest kant van het depot de beschadigingen (in de vorm van verzakkingen) relatief in grotere mate voorkomen dan aan de zuidwest kant en de oostkant.

Daarenboven is een visuele inspectie uitgevoerd om de beschadigde locaties te beschrijven; deze staat in Bijlage 3 opgenomen.

Verschillen tussen de diverse locaties

- Voor de zuidwestkant is dit niet gelijkmatige 'gedrag' te verklaren doordat zich daar de retourwatertoevoerzone bevindt, voorzien van damwandschermen; deze 'verankeren' als het ware het binnentalud.
- Voor de noord- en noordwest kant geldt dat daar feitelijk geen voorland aan de buitenzijde van de ringdijk aanwezig is die voor een grotere weerstand zorgt.
- Voor de oostkant geldt dit in feite ook tot januari 2000, aangezien daar een scheidingssloot aanwezig is tussen de buitenzijde van de ringdijk en het natuurgebied (grotendeels opgebouwd met holoceen materiaal). De sloot stond tot februari 2000 in open verbinding met het Ketelmeer en is daarna afgedamd. De directe effecten van dit afdammen zijn te zien in Figuur 3-13: vrijwel direct na dit afdammen zakt de waterstand circa 70 cm; een tijdelijke verhoging is opgetreden in begin maart toen ten gevolge van hoge buitenwaterstand en golven één of meer dammen zijn doorgebroken geweest. De andere effecten (namelijk op de freatische lijn in de ringdijk) zijn hiervoor reeds aangegeven.



Figuur 3-13: Verloop van waterstande in de sloot aan oostkant depot

Uit recente inspecties en vergelijkingen met voorgaande inspecties is gebleken dat de verzakkingen niet van eenmalige aard waren: op diverse plaatsen is er sprake van een doorgaand proces.

3.5 Echometingen bodemdiepte depot

Op 11 en 13 oktober 1999 zijn echometingen uitgevoerd in raaien loodrecht op de ringdijk ter plaatse van de verzakkingen van de dijk. Aan de oostzijde zijn in een 12 tal doorsneden de bodemhoogten bepaald en aan de westzijde op een 13-tal locaties. De resultaten zijn opgenomen in Bijlage 4: "*Echometingen van de puttaluds*".

Uit de metingen volgt dat de tussenberm van 12 m breed (op enkele plaatsen is deze 7,3 m) en een ontwerppeil van NAP -6 m, nog steeds aanwezig is. Over de gemeten afstand van 8 m vanaf de insteek van de put ligt de berm nog steeds op nagenoeg het ontwerppeil. Het talud beneden de tussenberm van NAP -6 m is onbeschadigd.

Meer richting talud van de ringdijk zijn geen waarnemingen gedaan omdat daar niet gevaren kon worden.

Uit het beperkt aantal waarnemingen dat van deze strook beschikbaar is, blijkt dat de berm nabij de teen van de ringdijk plaatselijk hoger ligt door uitgespoeld zand afkomstig uit de teen van de dijk. Uit visuele waarnemingen blijkt dat dit op een groot aantal plaatsen elders ook het geval is met een maximale hoogte van circa 0,80 m tot een niveau van NAP -5,20 m, het huidige waterpeil in het depot. Het betreft hier over het algemeen locaties waar de teen van de dijk is ingezakt.

4. Geohydrologische situatie

Voor de diverse geotechnische berekeningen (MSEEP en MSTAB) alsmede voor de algehele analyse van de geohydrologische situatie ter plaatse van het depot is het van belang om zowel het verloop in de tijd en de plaats (radiaal) van de stijghoogtes in het watervoerend pakket te kennen als dat van het freatisch grondwaterniveau in de ringdijk. Bovendien kan dan een uitspraak worden gedaan over het optimale depotpeil met als uitgangspunt dat het peil niet moet leiden tot inzijging.

4.1 Overzicht van onderwerpen

In dit hoofdstuk worden het freatisch grondwater in de ringdijk en de stijghoogte van het grondwater in de zandondergrond behandeld. Achtereenvolgens worden de volgende aspecten besproken:

- de gemeten waarden;
- de resultaten van de berekende freatische lijn en de stijghoogten met het programma MSEEP;
- de verschillen tussen metingen en berekeningsresultaten;
- de waarden die voor de berekening van de stabiliteit van de dijk zijn aangehouden; en
- het optimale depotpeil.

4.2 Freatisch grondwaterniveau

Meetwaarden

Uit de metingen van de peilbuizen volgt dat de freatische lijn ter plaatse van de raaien 2 (zuidoost), 1 (zuid) en 4 (west) in de ringdijk de in Tabel 4-1 weergegeven waarden hebben.

Tabel 4-1: Ligging freatische lijnen in de raaien 1, 2 en 4 (peildatum 29-03-00)

Locatie peilbuis	Freatische waterstand in m tov NAP		
	Raai 1	Raai 2	Raai 4
kruin ringdijk	- 2,17	- 2,48	- 2,83
+1 berm	- 2,69	- 3,24	- 3,64
talud -1	- 3,08	- 3,52	- 4,02
talud -3	- 3,32	- 3,82	- 4,28

Gegevens raai 2 maatgevend

De freatische lijn ter plaatse van raai 1 (zuid) is 0,30 m (t.p.v. kruin) tot 0,55 m (t.p.v. +1 berm) hoger dan de gemeten waarden in raai2 (zuidoost), omdat ter plaatse de invloed merkbaar is van het nabij gelegen hogere waterpeil tussen het binnentalud en een damwand van de inlaatvoorzieningen; deze damwand en die van de pompput stuwt het kwelwater op en dit kwelwater stroomt zijdelings af, onder andere juist naast de pompput waar raai 1 is gesitueerd. Verder is ter plaatse zand in het voorland aanwezig (het haventerrein) waardoor de intreeweerstand ter plaatse in vergelijking met de andere locaties geringer is. De meetwaarden van raai 1 zijn daarom niet representatief voor het grootste deel van de ringdijk en zijn derhalve niet gebruikt voor de MSEEP berekeningen.

Ter plaatse van de raaien 3, 4 en 5 is per peildatum van 29 maart 2000 het freatisch niveau 0,40 à 0,50 m lager in vergelijking met raai 2 (zuidoost). Voor raai 3 (= Oost) geldt dat deze niet representatief is omdat de sloot aan de buitenzijde van de dijk afgedamd is waardoor het freatisch niveau in de dijk lager is dan voorheen en dan elders. Voor raai 5 (= noord) geldt dat er geen peilgegevens zijn voor de locaties langs het talud. Voor raai 4 (= west) geldt tenslotte dat de meetwaardes een veel sterkere fluctuatie hebben vertoond dan die in raai 2 (zuidoost) en bovendien een in de tijd afnemend verloop hebben laten zien; zie Tabel 3-4 en Figuur 3-11.

Concluderend kan derhalve gesteld worden dat Raai 2 als conservatief representatief en maatgevend voor de (berekeningen van de) freatische lijn beschouwd kan worden. De waarden in Tabel 4-1 gelden voor een depotpeil van NAP -5,25 m en een normaal Ketelmeerpeil van NAP -0,30 m.

Berekende freatische lijn met MSEEP

Uit de PLAXIS berekeningen die in het kader van de uitvoeringsbegeleiding waren uitgevoerd bleek dat de meest kritische situatie voor de stabiliteit aanwezig was in de vakken F en P; voor de locatie van deze vakken, zie Figuur 1-2. In deze vakken ligt de onderzijde van het holocene op een niveau van circa NAP -7 m en bestond het holocene uit voornamelijk veen en sterk humeuze klei.

Voor deze grondopbouw zijn in een drietal stappen berekeningen met het programma MSEEP uitgevoerd om de grondwaterstanden in en onder de dijk te bepalen.

1. De eerste serie betreft oriënterende berekeningen die uitgevoerd zijn in oktober 1999 op grond waarvan de eerste rapportage heeft plaatsgevonden (WAU.ADY-3-99145);
2. Bij de tweede serie berekeningen zijn de nieuwe peilbuiswaarnemingen gebruikt en zijn de geohydrologische randvoorwaarden aangepast aan deze gegevens;
3. In de derde serie berekeningen zijn een aantal parameters gevarieerd teneinde de gevoeligheid op de resultaten, de ligging van de freatische lijn en de stijghoogte te kunnen aangeven.

Ad 1) Basisberekeningen

Bij de eerste serie berekeningen zijn de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden gekozen:

- | | |
|---|---------------------------------|
| • onderzijde holocene | NAP -7,0 m |
| • bovenzijde holocene onder dijklichaam | NAP -4,7 m |
| • holocene, bovenzijde binnenberm | NAP -6,0 m |
| • doorlaatfactor holocene (Ksh) "onbelast" tot 20 m binnen dijkprofiel | $7,5 \cdot 10^{-10}$ m/s |
| • doorlaatfactor holocene (Ksh) "belast" onder dijk | $1,9 \cdot 10^{-10}$ m/s |
| • doorlaatfactor holocene (veen) "onbelast" tot 20 m binnen dijkprofiel | $2,1 \cdot 10^{-9}$ m/s |
| • doorlaatfactor holocene (veen) "belast" tot 20 m binnen dijkprofiel | $3,65 \cdot 10^{-10}$ m/s |
| • doorlatendheid zand in dijk en ondergrond | $1 \cdot 10^{-4}$ m/s (8,6 m/d) |
| • waterstand in depot | NAP -5,20 m of
NAP -4,50 m |
| • freatisch grondwaterstand in de as van ringdijk ⁴ | NAP |
| • stijghoogte in zandondergrond onder as van ringdijk | NAP -5,0 m |
| • nuttige neerslag op het dijklichaam | 300 mm/jaar |

De doorlaatfactoren zijn gelijk aan de waarden die bij de ontwerpberekeningen in 1995 zijn aangehouden.

Opmerking:

De figuren behorende bij de berekeningsresultaten zijn in een aparte 'Figurenbijlage' achter in dit rapport opgenomen. Met een referentieaanduiding 'IJssel x' wordt dan steeds naar de desbetreffende figuur verwezen.

Uit de berekeningen volgt dat de freatische lijn langs het talud uittreedt op een hoogte van circa 0,70 tot 1,25 m boven het depotpeil van respectievelijk NAP -4,50 en NAP -5,20 m. Verder blijkt dat de freatische lijn ter plaatse van de binnenberm van NAP +1,0 m op circa NAP -0,50 m ligt. In de Figurenbijlage (berekeningen IJssel 2 en IJssel 4) zijn de resultaten van de berekeningen bij een depotpeil van respectievelijk NAP -5,20 m en NAP -4,50 m weergegeven. Tevens is in deze oriënterende berekeningsserie het positieve effect van een drainage en een scherm ter plaatse van de tussenberm van NAP +1 m, aangetoond. De resultaten van deze laatste twee berekeningen zijn niet in deze rapportage opgenomen.

Ad 2) Aangepaste berekeningen

Bij de tweede serie berekeningen zijn de eerste aanvullende peilbuiswaarnemingen gebruikt en zijn aan de hand hiervan een aantal parameters en randvoorwaarden aangepast. Een van de belangrijkste veranderingen is dat de gehele geometrie van de ringdijk, dus inclusief het buitentalud, is gemodelleerd. Aan de buitenzijde van de ringdijk is voor de bovenzijde van het holocene NAP -4,0 m aangehouden.

⁴ bij deze basisberekeningen is alleen het binnenste deel van de dijk beschouwd en daarmee is in de as van de dijk de potentiaal als een randvoorwaarde opgelegd. Dit is een conservatieve aanname.

Tevens is de randpotentiaal van de stijghoogte ter plaatse van de buitenteen van de ringdijk aangepast en vastgesteld op een niveau van NAP -5,00 m, dus 0,20 m hoger dan het depotpeil. Zie ook de volgende paragraaf.

Uit de berekeningen volgt dat de freatische lijn in de dijk lager ligt ten opzichte van de eerste serie berekeningen, namelijk in de as op NAP -1,25 m en ter plaatse van de tussenberm van NAP +1,0 m op een niveau van NAP -2,4 m. Voor het depotpeil is een waarde van NAP -5,20 m aangehouden. Het freatisch water treedt op ongeveer 1,10 m boven het depotpeil uit; zie Figurenbijlage en tabel 4-2 (referentie berekening IJSSEL9).

Indien de bovenzijde van het holocene aan de Ketelmeerzijde zich niet op NAP -4,0 m bevindt maar op NAP +1 m (zoals aan de oostzijde van de ringdijk) dan ligt de freatische lijn in de dijk op nagenoeg hetzelfde niveau. Het verschil is minder dan 1 centimeter. Hierbij is aangenomen dat het freatisch grondwatervniveau in het holocene voorland zich op een vast niveau van NAP -0,30 m bevindt. Dit is het geval in regenrijke perioden. In droge periode zal in het voorland het freatisch niveau kunnen dalen en de intreeweerstand toenemen. Wordt hiermede rekening gehouden dan daalt de freatische lijn in de ringdijk. In de hierna uitgevoerde gevoeligheidsanalyse (ad 3) is dit onderzocht.

Verder blijkt onder de aanname waarbij het holocene in de binnenteen van het talud over een horizontale afstand van 8 m tot NAP -6,0 m door zand is vervangen (conform Figuur 2-2), dat het freatisch grondwater niet meer uit het talud treedt; zie Figurenbijlage en tabel 4-2 (berekening IJSSEL14).

Ad 3) Berekeningen met gevoeligheidsanalyse

In de derde serie berekeningen is de invloed op de ligging van de freatische lijn bepaald bij wijziging van:

- de nuttige neerslag,
- de doorlatendheid van het zand in de dijk en de ondergrond,
- de doorlatendheid van het holocene,
- het depotpeil,
- de hoogte van het holocene voorland aan de Ketelmeerzijde,
- de aanwezigheid sloot in voorland en
- het Ketelmeerpeil.

Uit deze berekeningen kan het volgende worden afgeleid:

- Verhoging van de nuttige neerslag op de ligging van de freatische lijn heeft weinig invloed.
- Verhoging van de doorlaatfactor van het holocene met een factor 10 heeft slechts een geringe invloed op de ligging van de freatische lijn, namelijk <0,10 m ter plaatse van de teen; zie IJSSEL11 ten opzichte van referentieberekening IJSSEL 9 in Figurenbijlage en Tabel 4-2.
- Verhoging van de doorlaatfactor van het zand van de ringdijk en de ondergrond van 8,6 tot 17 m/d heeft nauwelijks een stijging van de freatische lijn tot gevolg. Wel neemt het kweldebiet toe van 7.000 m³/dag tot 14.000 m³/dag en komt hiermede beter overeen met de werkelijkheid ten opzichte van de referentie; Zie IJSSEL 10 in Figurenbijlage en Tabel 4-2.
- Bij de referentieberekening, IJSSEL 9 (zie Figurenbijlage en Tabel 4-2), is voor de bovenzijde van het holocene aan de Ketelmeerzijde een niveau aangehouden NAP -4 m. Is dit 5,5 m hoger, zoals aan de oostzijde van het depot, dan zal de freatische lijn in het midden van de ringdijk niet veranderen. Dit geldt ook voor de freatische lijn in de binnenteen van de ringdijk. Hierbij is aangenomen is dat het freatisch grondwatervniveau in het opgebrachte holocene gelijk is aan het Ketelmeerpeil van NAP -0,30 m. Deze situatie geldt voor natte perioden en voor de ringsloot in de buitenteen van de oostelijke ringdijk die tot januari 2000 in open verbinding stond met het Ketelmeer.
- Is in het holocene voorland een lager freatisch niveau aanwezig, bijvoorbeeld gedurende een droge periode, dan zal de freatische lijn in de dijk dalen. Nabij de teen zal deze daling 0,10 m tot 0,20 m kunnen zijn afhankelijk van de daling van het freatisch niveau in het voorland en in het midden van de dijk kan dit nog meer zijn. Bij hevige neerslag zal echter het freatisch niveau in het holocene voorland weer kunnen stijgen en vervolgens de freatische lijn.
- Bij stijging van het Ketelmeerpeil tot het ontwerppeil van NAP +2,25 m wordt het holocene voorland van circa NAP +1,50 m overstroomd, is de freatische lijn in de as van de ringdijk circa 1,10 m hoger en treedt het freatisch grondwater circa 0,60 m hoger uit het talud ten opzichte van de referentieberekening dus op circa NAP -3,25 m (bij een depotpeil van NAP -5,20 m).

De hoogteligging van het holoceen en het al of niet aanwezig zijn van een sloot aan de buitenzijde van de ringdijk heeft bij deze hoge waterstand in het Ketelmeerpeil dus weinig invloed op ligging van de freatische lijn. Zie Figurenbijlage en Tabel 4-2 (IJssel 13). Deze situatie moet dan ook als maatgevend worden beschouwd.

Opgemerkt wordt dat alle geohydrologische berekeningen een stationaire situatie betreffen. Dit is een conservatief uitgangspunt.

In Tabel 4-2 zijn de belangrijkste berekeningsresultaten samengevat weergegeven.

Tabel 4-2: Met MSeep berekende freatische niveau in ringdijk voor aantal varianten

Variant	berekenings-nummer	freatisch grondwaterniveau [in m tov NAP]			uittredepunt freatisch water [in m boven depotpeil]
		as ringdijk	berm +1	talud -1	
Referentie: depotpeil = NAP -5,20 m	IJSSEL 9	-1,25	-2,40	-2,80	-3,75
doorlaatfactor zand twee maal ref	IJSSEL 10	-1,30	-2,50	-2,90	-3,90
doorlaatfactor Holoceen x10	IJSSEL 11	-1,25	-2,45	-2,95	-3,95
Ontwerp: depotpeil = NAP -4,50 m	IJSSEL 12	-1,25	-2,40	-2,95	-3,90
Ketelmeerpeil NAP +2,25 m	IJSSEL 13	0,90	-1,15	-1,95	-3,25
8 m zand in binnenteen ringdijk	IJSSEL 14	-1,25	-2,50	-3,10	-5,10

Verschillen gemeten en berekende freatische lijn

De gemeten en berekende freatische lijn zijn vergeleken voor een Ketelmeerpeil van circa NAP. Op grond hiervan kan het volgende worden geconcludeerd:

- De gemeten freatische lijn ligt voor een groot deel van de dijk circa 0,50 tot 0,80 m lager dan de berekende waarden;
- Deze lagere ligging kan veroorzaakt zijn doordat het intreepunt van Ketelmeerwater meer naar buiten ligt als aangenomen bij de modelberekeningen;
- Wat het niveau van uit treden aan het binnentalud betreft en de ligging van de freatische lijn over de 'laatste' 10 tot 15 m, is er echter géén sprake van grote verschillen tussen model en werkelijkheid. Het uit treeniveau ligt grosso modo zo'n 1 tot 1,5 m boven het depotpeil van NAP -5 à -5,2 m.
- Bij een depotpeil van NAP -4,50 m ligt volgens de modelberekeningen de freatische lijn enkele decimeters hoger dan bij depotpeil van NAP -5,2 m en is het verschil tussen depotpeil en uit treeniveau kleiner. Dit blijkt ook uit de metingen.
- De gelijke of hogere ligging van de freatische lijn over de laatste 10 tot 15 m is in tegenspraak met de rest van de dijk waar een lager freatisch niveau wordt gemeten. Vermoedelijk wordt de stuwende werking veroorzaakt door de slecht tot ondoorlatende geotextiel op het onderste deel van de binnenteen van de ringdijk; zie paragraaf 5.7.

Volledigheidshalve wordt er op gewezen dat geen peilbuiswaarnemingen beschikbaar zijn bij een maatgevende stand van het Ketelmeerpeil van NAP +2,25 m; een vergelijking met de berekende waarden is daarom niet mogelijk. In dat geval, dus bij een peil van NAP +2,25 m, zal op veel plaatsen het voorland overstromen en zal de freatische grondwaterlijn in de dijk stijgen omdat het intreepunt ter plaatse van de buitenteen van de ringdijk ligt.

Rekenwaarden voor de stabiliteitsberekeningen

- Voor de stabiliteitsberekeningen bij een normaal Ketelmeerpeil is de ligging van de freatische lijn aangehouden zoals berekend is met het referentiemodel IJSSEL 9; zie Figurenbijlage. In vergelijking met de peilbuiswaarnemingen is dit een nagenoeg juiste aanname voor het uit tredeniveau van het freatisch water uit het binnentalud en een conservatieve aanname voor de ligging de freatische lijn in de as van de dijk.
- Voor de stabiliteitsberekeningen bij een maatgevend Ketelmeerpeil van NAP +2,25 m is de freatische lijn volgens model IJSSEL13 (zie Figurenbijlage) aangehouden.

4.3 Stijghoogte in pleistoceen

Meetwaarden

Uit de metingen van de peilbuizen volgt dat de stijghoogte ter plaatse van raai 1 (zuid) de in Tabel 4-3 weergegeven waarden heeft.

Tabel 4-3: Ligging stijghoogte ter plaatse van raai 1 in m tov NAP
(peildatum 29-03-00)

Locatie peilbuis	Stijghoogte in pleistoceen [in m tov NAP]
kruin ringdijk	- 5,15
+1 berm	- 5,16
talud -1	- 5,18
talud -3	- 5,17

De stijghoogte in de oostelijke zijde, raai 3 is ter plaatse van "talud -3" circa 0,10 m hoger en in het westen, raai 4, een fractie (0,02 m) lager. Het depotpeil bedroeg NAP -5,25 m.

Uit de peilbuiswaarnemingen blijkt dat de stijghoogte onder het holoceen nabij de binnenteen van de ringdijk gemiddeld tussen circa 0,05 tot 0,10 m hoger ligt dan het depotpeil. Dit is zowel het geval bij een depotpeil van NAP -5,20 m als bij een peil van NAP -4,75 m met uitzondering van raai 3 waar het verschil voor de laatste situatie ongeveer nul is. Er is een duidelijk verschil tussen het oostelijk en westelijk deel van de ringdijk. Ter plaatse van de binnenberm van NAP +1 m van het oostelijk deel van de ringdijk is de stijghoogte circa 0,15 m hoger dan het depotpeil en bij het westelijk deel is dit ongeveer 0,07 m. Bij een depotpeil van NAP -4,75 m is dit respectievelijk 0,06 tot 0 m. Het verschil tussen oost en west is te verklaren uit de regionale geohydrologische situatie waarbij de stijghoogte in westelijke richting afneemt.

Berekende stijghoogte lijn met MSEEP

Aanvankelijk, voordat de peilbuisgegevens beschikbaar waren, is de stijghoogte aan de onderzijde van het holoceen berekend, waarbij ter hoogte van de as van de ringdijk een stijghoogte is aangehouden van 0,20 m hoger dan het depotpeil. Uit de MSEEP berekeningen volgt dan dat ter plaatse van de binnenteen de stijghoogte 0,05 m hoger is dan het depotpeil. Voor de verschillende varianten die zijn doorgerekend, is het verschil in de berekende stijghoogte ter plaatse van de binnenteen niet meer dan een paar cm ten opzichte van de genoemde waarde van 0,05 m.

Verschillen gemeten en berekende stijghoogte

Uit de peilbuiswaarnemingen bij een depotpeil van NAP -5,20 m blijkt dat de stijghoogte onder het holoceen ter plaatse van de binnenteen van NAP +1,0 m van de oostelijk ringdijk circa 0,05 tot 0,10 m hoger is dan het depotpeil en bij de westelijke ringdijk ongeveer 0,0 m is. Het verschil is te verklaren uit het regionale geohydrologische situatie waarbij de stijghoogte in westelijke richting afneemt.

De berekende waarden met het programma MSEEP komen tamelijk goed overeen met de waarnemingen. Bij de MSEEP berekeningen is geen rekening gehouden met het verschil tussen de oostelijke en westelijke ringdijk; steeds is de ongunstigste situatie, namelijk het oostelijk deel van de ringdijk met de hoogste stijghoogte als maatgevend aangehouden.

Rekenwaarden voor de stabiliteitsberekeningen

Voor de verdere berekeningen is een stijghoogte onder de buitenteen van NAP -5,00 m aangehouden, 0,20 m hoger dan het depotpeil van NAP -5,20 m. Dit komt ongeveer overeen met een stijghoogte van NAP -5,10 m in de as van de ringdijk en komt goed overeen met de gemeten waarden. Bij een depotpeil van NAP -4,50 m is eenzelfde verschil aangehouden. Dit is voor de westelijke ringdijk iets te conservatief.

4.4 Optimaal depotpeil

Het peil in het depot dient zodanig te zijn dat er geen sprake is van inzijging van depotwater naar het onderliggende watervoerende pakket.

Op basis van vroegere peilbuisbuiswaarnemingen uit de omgeving en modelberekeningen was vastgesteld dat de stijghoogte ter plaatse van het depot circa NAP -4,50 zou zijn. Daarmee is qua ontwerp rekening gehouden; inclusief een extra veiligheidsmarge van 25 cm.

Vanaf 1995/1996 zijn extra peilbuizen met meetfilters beschikbaar ten westen en oosten van het depot; respectievelijk FL15 en FL14. Deze geven aan dat de stijghoogtes lager zijn dan die NAP -4,50 m en ook onderling verschillen (orde 0,30 m); zie Figuur 3-7. Mede op basis van deze recente gegevens is in de loop van 1999 het depotpeil ingesteld op een niveau dat niet hoger is dan de stijghoogte van de peilbuis aan de westkant van depot. Dit om er zeker van te zijn (ook rekening houdend met fluctuaties in de stijghoogtes ten gevolge van externe oorzaken) dat er geen inzijging zal plaatsvinden vanuit het depot.

Voor enkele typische situaties staan de diverse peilen (stijghoogtes en depotpeilen) in de onderstaande tabel weergegeven. Het doel ervan is om na te gaan of en in hoeverre het depotpeil op een hoger niveau gehandhaafd kan worden dan nu (namelijk NAP -5,25 m).

Tabel 4-4: Overzicht stijghoogtes en depotpeilen [in m t.o.v. NAP]

Locatie:	FL15 = Pbwest	ringdijk west Pb15/16	depotpeil	ringdijk oost Pb12	FL14 = Pboost
Datum					
jan 1999	- 4,90	- 4,85	- 4,50	- 4,70	- 4,50
april 1999	- 5,0	- 4,95	- 5,00	- 4,90	- 4,75
sept 1999	- 5,15	?	- 5,20	?	- 4,80
nov 1999	- 5,20	- 5,15	- 5,20	- 5,10	- 4,90
dec 1999	- 4,95	- 4,80	- 4,75	- 4,75	- 4,65
maart 2000	- 5,20	- 5,10	- 5,25	- 5,05	- 4,80

- Weliswaar ontbreken er enige waarnemingsgegevens (namelijk die van september '99), maar wel kan het volgende geconcludeerd worden:
- bij een depotpeil van NAP -4,50 m (begin 1999) zijn de stijghoogtes in alle peilbuizen oost en west van het depot (verder weg en onder de ringdijk) lager dan het depotpeil: er treedt inzijging op;
 - bij een depotpeil van NAP -5,20 m (september / november 1999) zijn de stijghoogtes onder de ringdijk hoger dan dit depotpeil: er treedt toestroming op;
 - bij een depotpeil van NAP -4,75 m (december 1999) zijn de stijghoogtes onder de ringdijk wederom iets lager dan het depotpeil: er treedt wederom inzijging op;
 - bij het recentelijk weer lager ingestelde depotpeil van NAP -5,25 m (vanaf medio januari 2000), zijn de stijghoogtes onder de ringdijk wederom hoger dan het peil in het depot: er treedt weer toestroming van water uit de ondergrond op.

De conclusie lijkt gerechtvaardigd om het peil in het depot in te stellen op een niveau van NAP -5,00 m tot -5,10 m. Zie ook Tabel 3-2, Figuur 3-5 en Figuur 3-12.

Opgemerkt wordt dat er wel gemeten dient te worden of en in hoeverre de stijghoogtes in de omgeving (ook FL14 en FL15) niet een lager niveau aangeven.

5. Stabiliteitsonderzoeken

Ten behoeve van het kwelonderzoek zijn diverse faalmechanismen van de ringdijk nader bekeken: opdrukken van de binnenteen, piping, micro-stabiliteit (tevens door DWW beschouwd) en macro-stabiliteit. Daarnaast is de doorlatendheid van het filterdoek nader beschouwd, ook visueel. Dit laatste bleek niet alleen nodig, maar daaruit kwam naar voren dat een niet bedacht fenomeen - oxidatie van metaalionen - heeft kunnen leiden tot de ontstane situatie met wateroverdrukken in het onderste deel van het binnentalud.

5.1 Beschouwde faalmechanismen

In het kader van het kwelonderzoek zijn de volgende faalmechanismen van de ringdijk beschouwd:

- opdrukken binnenteen van ringdijk
- piping
- micro-stabiliteit
- macro-stabiliteit

De micro-stabiliteit is zowel door WAU als door RWS-DWW beoordeeld. Daartoe zijn onafhankelijk van elkaar MSEEP berekeningen door zowel WAU als DWW uitgevoerd.

De diverse faalmechanismen worden in de paragrafen 5.3 e.v. - na het overzicht van de gehanteerde grondparameters - besproken.

5.2 Grondparameters

In onderstaande Tabel 5-1 zijn de geotechnische rekenparameters weergegeven. Deze zijn gelijk aan de waarden die bij de ontwerpberoekeningen en herberekeningen zijn gebruikt.

Tabel 5-1: Geotechnische rekenparameters

Parameter:	Grondsoort:	pleistocene ondergrond	ophoogzand	humeuze siltige klei	veen
volumiek gewicht nat (kN/m ³)		20	20	12,2	10,9
volumiek gewicht droog (kN/m ³)		nvt	18	nvt	nvt
cohesie c' (kPa)		1	1	2,3	4,6
hoek van inwendige wrijving ϕ (°)		32	27,3	20,5	15,9

5.3 Opdrukken binnenteen

Uit de geohydrologische berekeningen en peilbuiswaarnemingen volgt dat het stijghoogteverschil tussen de binnenberm van NAP +1,0 m en het zandtalud van de put, over een afstand van minimaal 35 m maximaal 0,05 m is. Dit betekent dat ter plaatse van de binnenberm op NAP -6 m de stijghoogte 0,01 tot 0,02 m hoger is dan het depotpeil. Het holoceen op de binnenberm op NAP -6,0 m is minimaal 1 m dik in de vakken N1, N2, R en F (zie Figuur 1-2). Verder is het niet uitgesloten dat dit materiaal plaatselijk volledig uit veen bestaat. Uitgaande van een volumiek gewicht van 1000 tot 1020 kg/m³ voor veen is er een veiligheid tegen opdrukken van 1000/1020; iets minder dan 1. Niet uitgesloten is dat plaatselijk het veen wordt opgedrukt. Dit opdrukken zal beperkt blijven tot een hoogte van enige decimeters en onmiddellijk zal hierna bij scheurvorming het drukverschil verdwijnen; er vindt geen verder opdrukken plaats en er zal een (labiel) evenwicht ontstaan.

Er dient voor gewaakt te worden dat het depotpeil niet verder daalt dan NAP -5,20 m omdat dan het stijghoogteverschil groter wordt en daarmee het gevaar toeneemt voor plaatselijk opdrukken van de binnenberm van NAP -6 m indien deze volledig uit veen bestaat. Omdat opdrukken op plaatsen met veen niet geheel is uit te sluiten dient voor die situatie tevens te worden nagegaan of *piping* kan optreden (zie § 5.4 hierna).

Op de meeste plaatsen bestaat het holocene niet volledig uit veen maar is tevens humeuze, siltige klei aanwezig (Ksh). Dit materiaal is zwaarder en op deze plaatsen bestaat er geen gevaar voor opdrukken.

Uit de geohydrologische berekeningen volgt dat bij een depotpeil van NAP -4,50 m, het ontwerppeil, de stijghoogte nergens hoger is dan het depotpeil. In deze situatie is nergens gevaar voor opdrukken aanwezig.

5.4 Piping

Onder *piping* wordt verstaan het onder een drukverschil ontstaan van zandmeevoerende wellen waarbij een terugschrijdende erosie ontstaat tot onder de dijk waardoor deze wordt ondermijnd.

Een veilige aanname is dat geen *piping* optreedt indien de kwelweglengte onder de dijk tenminste 15 maal het waterstandsverschil is. Bij een depotpeil van NAP -4,50 m en een Ketelmeerpeil van NAP -0,30 m is dit 4,20 m. De vereiste kwellengte om *piping* te voorkomen is dan 4,20 maal 15 is 63 m. Uit de tekeningen van de ringdijk blijkt dat de dijkvoet 114 meter breed is, uitgaande van een niveau van de teen aan de buitenzijde van NAP -4 m en dat hierbuiten geen holocene aanwezig is. In feite is dit alleen het geval nabij het haventerrein en het noordwestelijk deel van de ringdijk ten noorden van de aansluiting van de SCHERMDIJK. Zelfs voor deze situatie bestaat er dus geen gevaar voor *piping*. Dit geldt ook voor het ontwerp Ketelmeerpeil van NAP +2,25 m. De benodigde kwellengte voor depotpeil van NAP -4,50 m is dan 15 maal 6,75 m is 101 m. Is het peil in het depot NAP -5,20 m, dan is voor deze situatie de benodigde kwelweglengte 112 m. De minimaal aanwezige kwellengte (114 m) is dus overal aanwezig, zelfs voor het noordwestelijk deel van de ringdijk ten noorden van de aansluiting van de SCHERMDIJK.

Uit het bovenstaande volgt dat een lager depotpeil dan NAP -5,20 m dus ontoelaatbaar is.

Uit het bovenstaande volgt dat het opdrukken, zoals in paragraaf 5.3 is weergegeven, niet leidt tot *piping* en daarmee voor verder gevaar voor instabiliteit.

5.5 Micro-stabiliteit

Onder micro-stabiliteit wordt verstaan de stabiliteit van (de zandkorrels in) de oppervlaktelagen

De micro-stabiliteit is onderzocht aan de hand van de volgende leidraden:

- de Leidraad 'toetsing' [1999] en
- de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken [1985].

- *Leidraad Toetsing* [1999]

Voor de ringdijk van IJsseloog is voor een onbedekt zandtalud met een helling van 1:4 waarbij het grondwater boven het binnen-waterpeil uittreedt of evenwijdig langs het talud stroomt, de 'stabiliteitsfactor' voor micro-instabiliteit: $f = 0,95$; dit wil zeggen: net niet veilig; de vereiste aangegeven stabiliteitsfactor bedraagt in verband met onzekerheden: $f = 1,4$. Er bestaat derhalve de kans dat er sprake is van micro-instabiliteit: de korrels verliezen hun korrelspanning en kunnen worden meegevoerd door het afstromende water. Dit wordt op vele plaatsen ook geconstateerd ondanks het feit dat het talud is afgedekt met een geotextiel en (dunne laag) stortsteen; ook drijfzand is een situatie die valt onder 'micro-instabiliteit'.

Voor de duidelijkheid: er is geen sprake van micro-instabiliteit indien geen water uit het talud uittreedt, bijvoorbeeld bij toepassing van een filterconstructie in de teen van de dijk; zie Figurenbijlage, IJSSEL14.

Naast de pompput is een strook met een hogere freatische lijn en iets hoger uittredend water. Op deze locatie is duidelijk sprake van drijfzand en volgens de *Toetsingsleidraad* dus sprake van micro-instabiliteit. Dit wil niet direct zeggen dat het zand 'wegloopt', maar er is wel sprake van een risico.

- *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken* [1985]

Ook volgens deze (andere) toetsingswijze wordt op basis van het 'kritische verhang' geconcludeerd dat het onderste deel van het binnentalud onderhevig is aan micro-instabiliteit. De waarde van het kritische verhang ($i = 0,12$ volgens berekeningen van DWW; zie ook bijlage 5) is kleiner dan het optredende verhang zoals dat berekend is met behulp van het model MSEEP, namelijk $i = 0,2$ tot $0,25$ voor de diverse varianten waarbij de doorlaatfactor en voor het holoceen en het zand in de dijk zijn gevarieerd. Deze waarden zijn door zowel WAU als DWW berekend. Volgens deze richtlijn is de micro-stabiliteit niet voldoende. In de Figurenbijlage is als voorbeeld voor de referentieberekening IJSSEL9 het verhang weergegeven voor de situatie waarbij het depotpeil NAP -5,20 m is en het Ketelmeerpeil NAP -0,30 m en het intreeniveau nabij de buitenteen van de ringdijk ligt en de bovenzijde van de holocene laag op een niveau van NAP -4 m bevindt. Dit zijn zoals reeds is opgemerkt conservatieve aannamen. Ook bij een depotpeil van NAP -4,50 m is het verhang i circa $0,20$ en dus hoger dan het kritisch verhang.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat volgens de *Leidraad* [1985] en de *Toetsing* [1999] een onbedekt zandtalud net niet stabiel is. Deze net kritische situatie wordt normaliter voorkomen door het aanbrengen van een 'grindkist' of filterconstructie in de teen van de dijk of een taludbekleding, maar de situatie wordt thans juist verergerd door het filterdoek dat door ondermeer ijzerafzettingen slecht doorlatend is geworden. Zie paragraaf 5.7.

Voor de volledigheid wordt er nog op gewezen dat volgens de richtlijnen een onbedekt zandtalud met een helling van 1:5 of flauwer voldoende micro-stabiliteit heeft.

5.6 Macro-stabiliteit

De macro-stabiliteit van het binnentalud is voor diverse gevallen geanalyseerd zonder rekening te houden met een bekleding van een filterdoek + stenen. De stabiliteitsfactor varieert van circa 1,3 voor 'normale' situaties qua waterstandsverschillen en doorlatendheden van het zand en van de laag holoceen onder de ringdijk [IJssel 9, 10, 11 en 12] tot iets minder dan 1,17 voor extreem hoge buitenwaterstanden van NAP +2,25 m [IJssel 13]. Theoretisch is er dus geen sprake van een problematische situatie qua macro-stabiliteit, mits de micro-stabiliteit voldoende is. Zie ook hierna. Het intredepunt van het water aan de Ketelmeerszijde is ter plaatse van het buitentalud van de ringdijk aangenomen. Dit is voor een 'normaal' peil van het Ketelmeer een conservatieve aanname gezien het feit dat zich voor een groot deel van de ringdijk een voorland bevindt. Voor situaties met maatgevend hogere Ketelmeerpeilen is de aanname echter realistisch.

In Tabel 5-2 zijn de stabiliteitsfactoren van de belangrijkste varianten weergegeven.

Naast de hierboven beschreven 'normale' situaties qua waterstanden en doorlatendheden zijn ook enkele andere situaties doorgerekend:

- IJSSEL 14: zand in het onderste deel van het talud met extreme buitenwaterstand
- IJSSEL 19: situatie met opgetreden micro-instabiliteit / verzakking en extreme buitenwaterstand; dit is een kritieke situatie!
- IJSSEL 21: situatie met een drain op NAP -5,5 m ter plaatse van de +1 m berm
- IJSSEL 22: situatie met een kwelscherm bestaande uit bijvoorbeeld cement-bentoniet met folie erin of een damwand.

Deze laatste twee alsmede nr. IJSSEL 14 zijn tevens bedoeld om de effectiviteit van een bepaalde maatregel te controleren c.q. aan te tonen. Deze worden in de hiernavolgende hoofdstukken nader besproken.

Tabel 5-2: Stabiliteitsfactor voor verschillende varianten

Variant	Aspect: berekening	freatisch grondwater in m tov NAP			uittredepunt freatisch water in m boven depotpeil	micro stabiliteit	macro stabiliteit
		as ringdijk	berm +1	talud -1		uitree- verhang	stabiliteits- factor
referentie Ketelmeer -0,30 m depotpeil -5,20 m	IJSSEL 9	-1,25	-2,40	-2,80	-3,75	0,22	1,29
referentie + doorlaatfactor zand x10	IJSSEL 10	-1,30	-2,50	-2,90	-3,90	0,23	1,28
referentie + doorlaatfactor Holocene x10	IJSSEL 11	-1,25	-2,45	-2,95	-3,95	0,21	1,28
referentie + depotpeil NAP -4,50 m	IJSSEL 12	-1,25	-2,40	-2,95	-3,90	0,20	1,30
referentie + Ketelmeer +2,25 m	IJSSEL 13	0,90	-1,15	-1,95	-3,15	0,20	1,17
referentie + 3 m zand in binnenteen ringdijk Ketelmeer +2,25 m	IJSSEL 14	-1,25	-2,50	-3,10	-5,10	nvt	1,48
referentie + 8 m teen weg Ketelmeer +2,25 m	IJSSEL 19	0,80	-1,60	-2,90	-4,50	0,23	<1,0
referentie + damwandscherm Ketelmeer +2,25 m	IJSSEL 22	1,70	1,00	-4,60	-4,90	0,22	1,40
referentie + drain in binnenteen Ketelmeer +2,25 m	IJSSEL 21	0,40	-3,90	-4,10	-4,90	0,21	1,38

5.7 Doorlatendheid filterdoek

Het op het binnentalud van de ringdijk toegepaste filterdoek voldoet aan de eraan gestelde eisen qua doorlatendheid. Op basis van de tijdens het ontwerp aangehouden doorlatendheid van het ophoogzand voor de ringdijk ($k = 10^{-4}$ m/s) is volgens de vigerende ontwerpnorm [$k_{\text{filterdoek}} > 5 \times k_{\text{zand}}$] als eis gesteld dat de doorlatendheid van het toe te passen doek groter diende te zijn dan 5×10^{-4} m/s. Het toegepaste filterdoek voldeed hieraan: $k_{\text{doek}} = \text{circa } 7 \times 10^{-4}$ m/s; voor verdere informatie wordt verwezen naar bijlage 6.

Zoals uit het nadere geohydrologische onderzoek [zie bijlage 2] alsmede uit de MSEP berekeningen naar voren is gekomen, is het waarschijnlijk dat de doorlatendheid van het ophoogzand een grotere waarde heeft dan $k = 10^{-4}$ m/s (= circa 8 m/dag), zoals tijdens het ontwerp [1995] in rekening is gebracht.. Veeleer zal met een circa 2 à 3 maal zo grote doorlatendheid rekening gehouden moeten worden. Ook in dat geval geldt nog steeds dat de theoretische doorlatendheid van het doek groter is dan dat van het onderliggende zandpakket ⁵. Wel is reeds tijdens de veldbezoeken naar voren gekomen dat aan de buitenzijde sprake is van de aanwezigheid van veel fijn zand tussen de steen en van mosgroei [dit laatste duidt op vocht = het kwelwater].

⁵ In dat geval voldoet het filterdoek niet meer aan de norm: $k_{\text{doek}} > 5 \times k_{\text{zand}}$. Deze ontwerpnorm wordt toegepast voorsituaties met weinig slibdeeltjes in het zandpakket. In de actuele situatie is geconstateerd dat er zich geen fijne slibdeeltjes in het zand bevinden, waardoor dit aspect niet tot opstuwings onder het filterdoek heeft geleid.

Tijdens een extra veldonderzoek ter plaatse is echter gebleken dat op veel plaatsen het uittredende water een bruine kleur had en dat het vrij veel slijmstoffen bevatte. Dit leek te duiden op chemische reacties van stoffen uit het kwelwater zodra dat water uit kon treden; op een hoger niveau, waar geen uittredend kwelwater (maar wel regenwater aanwezig kon zijn) aanwezig was en is, deden zich dergelijke situaties met bruin water en slijm niet voor. Bij nadere inspectie bleek dat zich op vele plaatsen een dun laagje had afgezet aan de onderkant van het doek, vanaf het niveau van NAP -3,5 m en lager.

De conclusie was toen:

Het kwelwater voert metaalionen met zich mee uit het ophoogzand en zodra deze aan de lucht worden blootgesteld, ontstaan oxidatiereacties; deze leiden tot bijvoorbeeld ijzeroxides e.d. welke onder tegen het filterdoek een dunne maar waterdichte laag vormen. Dit leidt ertoe dat het doek vanaf het uittree-niveau van het water (circa NAP -3,5 m) dichtgeslagen is, waardoor het water dat wil uittreden, wordt opgestuwd. Het gevolg is dat dit water onder het doek langs een weg zoekt naar beneden in min of meer geconcentreerde stroompjes, en daarmee ook zand meeneemt.

De hoofdoorzaak van de ontstane verzakkingen leek hiermee gevonden te zijn. Hierbij dient wel aangetekend te worden dat e.e.a. wel samengaat met het feit dat de microstabiliteit tevens kritisch is, hetgeen hiervoor reeds besproken is.

5.8 Oorzaken instabiliteiten

Het kwelwater kan niet vrij uittreden door het filterdoek omdat dit dichtgeslagen is door oxidatiereacties van metaalionen en zuurstof. Het gevolg hiervan is tweeledig:

- (i) het water wordt hoger opgestuwd in het zand van de dijk; en
- (ii) het water zoekt een weg onder het doek door naar beneden en daar waar het zand niet echt goed stabiel is, ontstaat erosie.

Onder aan het talud stroomt dit water met zand uit op de tussenberm (NAP - 6 m) waar zich een pannenkoek van zand is gaan vormen. Aangezien het fenomeen van doorgaande aard is, treedt terugschrijdende erosie van het zandtalud op onder het filterdoek; m.a.w. lokaal treden geconstateerde verzakkingen op. Dit proces zal doorgaan zolang het water uit het talud treedt en het dichtgeslagen filterdoek vanaf niveau NAP -3,5 m op het talud ligt. Bovendien geldt dat ook zonder doek op het onderste deel van het talud sprake is van een niet stabiele situatie in de zin van micro-stabiliteit. Het zand kan lokaal drijfzand worden en dan gaan uitzakken, met mogelijke gevaarlijke situaties door de terugschrijdende erosie door micro-instabiliteit waardoor vervolgens de macro-stabiliteit van de ringdijk in gevaar komt.

Uit enkele berekeningen blijkt dat bij een maatgevende waterstand in het Ketelmeer van NAP +2,25 m en een opgetreden terugschrijdende erosie over bijvoorbeeld een horizontale afstand van 8 meter de stabiliteitsfactor reeds vermindert van 1,17 tot minder dan 1; zie ref. nr. IJSSEL 19 in de Figurenbijlage. Dit wil zeggen dat dan gevaar bestaat voor instabiliteit langs grote glijvlakken. De stabiliteit van het gehele dijklichaam komt hiermede in gevaar.

5.9 Noodzakelijke maatregelen

In de notities van november 1999 en februari 2000 is op grond van bovenstaande berekeningen geadviseerd zo spoedig mogelijk maatregelen te nemen, teneinde de stabiliteit van de ringdijk te garanderen.

De aanbevelingen in beide stukken hielden in dat snel maatregelen nodig waren om verder inzakken van het binnentalud te voorkomen om een verdere, snelle dramatische uitbreiding van de schade uit te sluiten. Deze aanbevelingen zijn niet overgenomen en gekozen is voor een nadere onderbouwing van de bevindingen en aanbevelingen teneinde een meer overwogen beslissing over de te nemen maatregelen te kunnen nemen.

Thans blijkt dat de voortgaande erosie van het binnentalud is vertraagd en uitstel van de noodzakelijk geachte maatregelen niet heeft geleid tot ernstige, ontoelaatbare schade. Dit betekent dat iets meer tijd aanwezig is om de goede maatregelen voor te bereiden. Immers bij hoge Ketelmeerstanden kan de micro-instabiliteit ernstiger vormen aannemen. Hoe snel deze instabiliteit optreedt is onbekend.

Verder is ook niet bekend wanneer hogere waterstanden optreden, wel dat de kans op optreden groter is in het najaar en de winter. Hoge waterstanden kunnen met name in deze periodes van het jaar optreden. Structurele maatregelen blijven evenwel nodig.

Geadviseerd wordt maatregelen voor de komende winterperiode te nemen omdat de kans op een hoge waterstand in het Ketelmeer en hierdoor extra kwel en de risico's van micro-instabiliteit, juist in deze periode, niet is uit te sluiten.

In de hierna volgende hoofdstukken worden eerst de mogelijke oplossingen beschreven (inclusief de daaraan verbonden kosten), waarna de aanbevolen maatregelen worden behandeld.

6. Mogelijke maatregelen en oplossingen

Naast de maatregelen die op korte termijn nodig zijn om de gerezen problemen binnen de perken te houden, gaat het om structurele maatregelen om de effecten van de kwelstroming door de dijk tezamen met het zeer slecht doorlatende filterdoek drastisch te beperken dan wel volledig tegen te gaan. Daarbij komen, naast de plaats waar de maatregelen het beste geïmplementeerd kunnen worden, zowel semi-definitieve maatregelen aan de orde als definitieve. Dit verschil is gelegen in het feit dat de gerezen problemen opgelost kunnen worden door het aanbrengen van een later toch nodig zijnd kwelscherm (een definitieve oplossing) of door het treffen van tijdelijke (of semi-definitieve) maatregelen.

6.1 Korte termijn maatregelen

De kwelstroom door de dijk en het uitreden van grondwater uit het binnentalud dient drastisch beperkt te worden. Een goede methode is (tijdelijk) de waterstand in het depot meters te verhogen; het peil zou op NAP -2,75 m ingesteld moeten worden om enerzijds de risico's van instabiliteit te beperken en anderzijds om de kade en pompput + bijkomende werken zoals leidingen voldoende ver boven water te houden. Een andere methode is een tijdelijke bemaling van het onderste deel van het binnentalud te realiseren waardoor geen grondwater boven het depotpeil uit het talud treedt. Mede gezien het feit dat begin 2000 bleek dat de mate van voortschrijding van de verzakkingen niet zodanig alarmerend was als in eerste instantie was voorzien, kunnen deze tijdelijke maatregelen achterwege blijven, mits:

- de ontwikkelingen aan het binnentalud regelmatig gevolgd worden met behulp van visuele inspecties (waarbij markeringen op het talud ter plaatse van de randen van de verzakkingen een goed hulpmiddel zijn);
- snel en adequaat tijdelijke maatregelen genomen kunnen worden, bijvoorbeeld het mobiliseren van bronbemalingsapparatuur;
- structurele maatregelen worden getroffen voor de aanstaande winterperiode.

Daarnaast geldt dat het afdammen van de sloot langs de buitenzijde van het depot aan de oostkant ook als een tijdelijke maatregel gezien kan worden die echter alleen effectief is bij normale Ketelmeerpeilen. De effecten hiervan zijn zichtbaar: het freatisch niveau in de dijk is lager dan voorheen; dit is in hoofdstuk 3 en 4 reeds beschreven. Deze maatregel dient uiteraard doorgezet te worden, totdat de gekozen definitieve dan wel semi-definitieve oplossing geïmplementeerd is.

6.2 Mogelijke semi-definitieve en definitieve maatregelen

6.2.1 Algemene aspecten

Het blijft van belang om de benodigde structurele maatregelen op niet al te lange termijn (voor de winterperiode 2000/2001) te nemen. Deze maatregelen kunnen een semi-permanent karakter hebben dan wel een permanent karakter. Het typische verschil tussen deze twee soorten maatregelen is gelegen in het feit dat er bij een semi-definitieve oplossing geen rekening wordt gehouden met de toekomstige situatie met een hoger depotpeil (met een kwelscherm o.i.d. in de dijk ter voorkoming van kwel van binnen naar buiten); en dat er bij een definitieve oplossing wel met deze toekomstige situatie rekening wordt gehouden, dat wil zeggen: nu reeds de in de toekomst benodigde voorziening aanbrengen.

Voor een structurele oplossing van het kwelprobleem zijn diverse opties mogelijk, zowel qua principe als qua locatie. De principe-oplossingen variëren van het voorkomen van kwel door de dijk (als geheel of door het gedeelte van de dijk aan de depotzijde van de tussenberm op NAP +1 m) tot het lokaal oplossen van het probleem (ontwerpwijzigingen doorvoeren voor het onderste deel van het talud). Het probleem kan bij de bron (daar waar het kwelwater de ringdijk binnentreedt, = de buitenzijde) worden aangepakt, ter plaatse van het probleemgebied (onderaan het binnentalud), dan wel ergens tussen de bron en het probleemgebied (op enige plaats in de dwarsdoorsnede van de ringdijk).

Op één optie na zijn alle oplossingen gericht op het blijvend drastisch verlagen van de freatische lijn in het onderste deel van het binnentalud van de ringdijk. Bedoelde uitzondering betreft het vervangen van het slecht-doorlatende filterdoek langs onderste deel van het talud en aldaar een laag grind (fijn + grof) aanbrengen. Het dan nog steeds relatief hoog uittredende kwelwater kan dan zonder weerstand vrij uit- en afstromen richting depot(peil). Dit is feitelijk een variatie op de optie: "grindkoffer onder aan het binnentalud" (hierna tevens beschreven), met als typisch verschil dat bij deze laatste ook de freatische lijn in het onderste deel van het talud drastisch verlaagd wordt; het kwelwater treedt niet langs het talud uit, maar stroomt door de grindkoffer af naar het depot (waterpeil).

Aangezien er principiële verschillen bestaan tussen maatregelen treffen aan de binnenzijde en aan de buitenzijde, wordt dit aspect hierna eerst behandeld. Daarna volgt de beschrijving van de diverse mogelijke oplossingen.

6.2.2 Aan de buitenkant van de ringdijk of aan de binnenzijde

Algemeen

In principe is het mogelijk om maatregelen te treffen in de buitenteen dan wel op enige plaats aan de buitenzijde van de ringdijk. Als algemeen punt dient vermeld te worden dat het treffen van maatregelen aan de buitenzijde niet gecombineerd kan worden met in de toekomst te nemen maatregelen ter voorkoming van kwel van binnen naar buiten (kwelscherm in de binnenring van de dijk). Het depotwater kan bij hoog depotpeil de ringdijk binnendringen als de toekomstige kwelvoorkomende maatregel zou bestaan uit een scherm aan de buitenzijde tezamen met overige voorzieningen boven de nu te installeren voorzieningen. Dit zal niet alleen op uitvoeringstechnische problemen stuiten, maar zeer waarschijnlijk ook op bezwaren van de vergunningverlenende instantie.

Mogelijkheden

In principe zou een kwelscherm kunnen worden geplaatst in de werkweg op het niveau van circa NAP +2,25 m aan buitenzijde (dit is de zgn. 'stormberm'); qua niveau is dit een goede mogelijkheid gezien het ontwerppeil van het buitenwater (NAP +2,25 m; met een overschrijdingskans van gemiddeld eens per 1.000 jaar). Dit houdt in, dat er over een grotere lengte dan in de binnenring voorzieningen dienen te komen en dat er sprake is van kruisingen met de ringdijk/schermdijk aan de westkant en met vele kabels en leidingen op het werkterrein.

Het buitentalud beneden het niveau van NAP +2,25 m voorzien van een kleilaag ter beperking van het intreden van kwelwater zou in principe ook mogelijk zijn, maar dat kleimateriaal zal door golfwerking aan uitspoeling onderhevig zijn. Dit wordt dan ook verder niet in de beschouwing meegenomen. Een kleischerm aan de buitenzijde aanbrengen zou eventueel ook kunnen, bijvoorbeeld aan de depotzijde van de 'stormberm'/werkweg op NAP +2,25 m. Dit houdt zeer veel grondverzet (graafwerkzaamheden, afvoer van grond, enz.) in, alsmede de aanvoer en verwerking van een grote hoeveelheid klei van hoge kwaliteit. Op het werkterrein dienen dan vele kabels en leidingen gekruist te worden, hetgeen een grote extra kostenpost betekent.

Ook het plaatsen van damwanden zou aan de buitenzijde kunnen plaatsvinden, maar heeft ook als nadeel dat dan aan de westkant de hoge ringdijk gekruist moet worden (zoals hiervoor ook voor een andere vorm van een kwelscherm is aangegeven) en op het werkterrein vele kabels en leidingen.

Samenvatting

Om de volgende redenen wordt samenvattend derhalve gekozen voor het binnentalud als locatie voor de implemantatie van de te nemen maatregelen:

- aldaar is de lengte van de te treffen maatregelen en voorzieningen korter (circa 10 %) en daarmee dus goedkoper dan aan de buitenzijde; bovendien fungeren de damwanden van de retourwatertoevoerzone reeds als kwelscherm;
- een voorziening aan de binnenzijde kan gecombineerd worden met de in de toekomst noodzakelijke voorziening ter voorkoming van kwel van binnen naar buiten;
- de oplossingen voor het opgetreden probleem liggen dan dichtbij het probleemgebied;
- het effect is aldaar direct te beoordelen; en
- aan de buitenzijde van de kruin van de ringdijk maatregelen treffen levert vooral ter plaatse van het voorzieningen- en haventerrein veel extra uitvoeringstechnische problemen op, aangezien aldaar

vele kruisingen gerealiseerd moeten worden met kabels, leidingen en werkwegen; met name het grote aantal transportleidingen zal zeker leiden tot een aanzienlijke extra kostenpost.

De oplossing bij de bron, het buitentalud, is vermoedelijk minder effectief omdat de afstand tot het probleemgebied tamelijk groot is, circa 100 m. Tenslotte geldt als belangrijke overweging (zoals hierboven ook reeds genoemd is) dat het kwelscherm later toch in het binnentalud moet worden geplaatst volgens het depotontwerp. Het heeft dan geen zin eerst een dergelijk scherm of een vergelijkbare kwelbeperkende maatregel in het buitentalud te plaatsen.

Opmerking:

Voor de oostelijke gedeelte van het depot geldt wel dat maatregelen aan de buitenzijde tijdelijk wel effectief kunnen zijn. Aldaar is de sloot langs de buitenzijde van de ringdijk afgedamd, hetgeen geresulteerd heeft in een verlaging van het freatisch niveau in de ringdijk. Daardoor is het risico van het (versneld) doorgaan van het optredende kwelprobleem in dat gedeelte reeds enigszins 'ingedamd'. Een verdere uitbouw van maatregelen aan de buitenzijde in dat gebied blijft toch wel nodig (i.v.m. gevaar voor overstroming van het gebied en de afdammingen), als er eventueel voor gekozen zou worden om in dat gedeelte nog geen structurele maatregelen aan de binnenzijde te treffen. Een afdichtende kleilaag zou dan bijvoorbeeld eventueel wel kunnen; dan wel aan te brengen vanaf het ontwerppeil (NAP +2,25 m) tot circa NAP -5 m (bovenzijde holocene tussenlaag na sanering). Mede omdat deze maatregel langs dit deel van de ringdijk behoorlijk ingrijpend is (veel ontgravingswerk en het aanbrengen van minimaal 15.000 m³ klei van goede kwaliteit), wordt deze deeloplossing niet nader uitgewerkt.

6.2.3 Overzicht van mogelijke maatregelen

Om deze instabiliteit tegen te gaan en de ermee gerelateerde kwelproblematiek op te lossen komt een aantal opties in aanmerking, namelijk:

1. *het aanbrengen van een damwand;*

Bij deze optie wordt uitgegaan van hergebruik van damwand (PU8). Deze wordt nabij het depot getrokken en getransporteerd naar het depot. De damwanden worden op lengte gebrand en daarna geheild (inclusief slotafdichting). Dit damwandscherm wordt aangebracht in de tussenberm op NAP +1 m tot het niveau van NAP -6 m (tot juist in de Holocene laag). Een inventarisatie van de in de afgelopen winter nog voorradige hoeveelheden damwand leverde op dat er juist voldoende zou zijn om langs de gehele omtrek met her te gebruiken damwandplanken een kwelscherm te maken. Hierbij dient langs de gehele ring van de dijk bronbemaling toepast te worden teneinde instabiliteiten tijdens de uitvoering te voorkomen.

2. *het aanbrengen van een cement-/bentonietwand;*

Bij deze optie wordt een cement-/bentonietwand met een dikte van 50 cm aangebracht in de tussenberm op NAP +1 m tot het niveau van NAP -6 m (tot juist in de Holocene laag). Deze optie komt overeen met hetgeen in de ontwerpfase (1995) reeds voorzien is als noodzakelijke maatregel tijdens de vulfase als het depotpeil wordt opgezet (zodra het peil van de gestorte baggerspecie het niveau van NAP -8,5 m bereikt). Ook hierbij dient langs de gehele ring van de dijk bronbemaling toepast te worden teneinde instabiliteiten tijdens de uitvoering te voorkomen.

3. *het aanbrengen van een kunststof damwand in een cement-/bentonietwand;*

Deze optie is bijna gelijk aan optie 2; in de cement-bentonietwand wordt nu echter een kunststof damwand aangebracht (exclusief slotafdichting). Ook dit scherm wordt aangebracht in de tussenberm op NAP +1 m tot het niveau van NAP -6 m (tot juist in de Holocene laag). Deze optie is feitelijk een combinatie van opties 1 en 2, met als verschil dat in deze optie 3 een kunststof damwand wordt toegepast.

Ook hierbij dient langs de gehele ring van de dijk bronbemaling toepast te worden teneinde instabiliteiten tijdens de uitvoering te voorkomen.

4. *het aanbrengen van een HDPE-folie in een cement-/bentonietwand; zie figuur 6-4*

Bij deze optie wordt een cement-/bentonietwand met een dikte van 20 cm aangebracht. In deze wand wordt een HDPE-folie ($d=2\text{mm}$) gehangen. Ook dit kwelscherm wordt aangebracht in de tussenberm op NAP +1 m tot het niveau van NAP -6 m (tot juist in de Holocene laag). Ook hierbij dient langs de gehele ring van de dijk bronbemaling toepast te worden teneinde instabiliteiten tijdens de uitvoering te voorkomen.

5. *het aanbrengen van een horizontale drainage; zie figuren 6-2 en 6-3*

Bij deze optie wordt met een zgn. draineermachine, onder de tussenberm van NAP +1 m, een horizontale drainage op een niveau van NAP -5,5 m aangebracht (rond 200 mm, met een kokosomhulling). De drains met een zijafvoer h.o.h. 200 m hebben elk een lengte van circa 230 meter. Om de drains uit te laten komen in het depot worden aan de einden zijsleuven ontgraven. Het principe van deze optie staat schetsmatig in figuur 6-3 aangegeven. Bij het terugbrengen van het zand wordt ter plaatse van de drainsleuf op de onderste 12 m van het talud (van NAP -3 tot -6 m; taludhelling 1:4) i.p.v. filterdoek en breuksteen een filterconstructie aangebracht van fijn en grof grind (totale dikte 30 cm).

Hierbij dient (slechts) ter hoogte van de 'slechtste' plaatsen in het talud bronbemaling toepast te worden teneinde instabiliteiten tijdens de uitvoering te voorkomen. Ook ter plaatse van deze zijsleuven wordt bemaling toegepast.

6. *het vervangen van het filterdoek door een filterconstructie;*

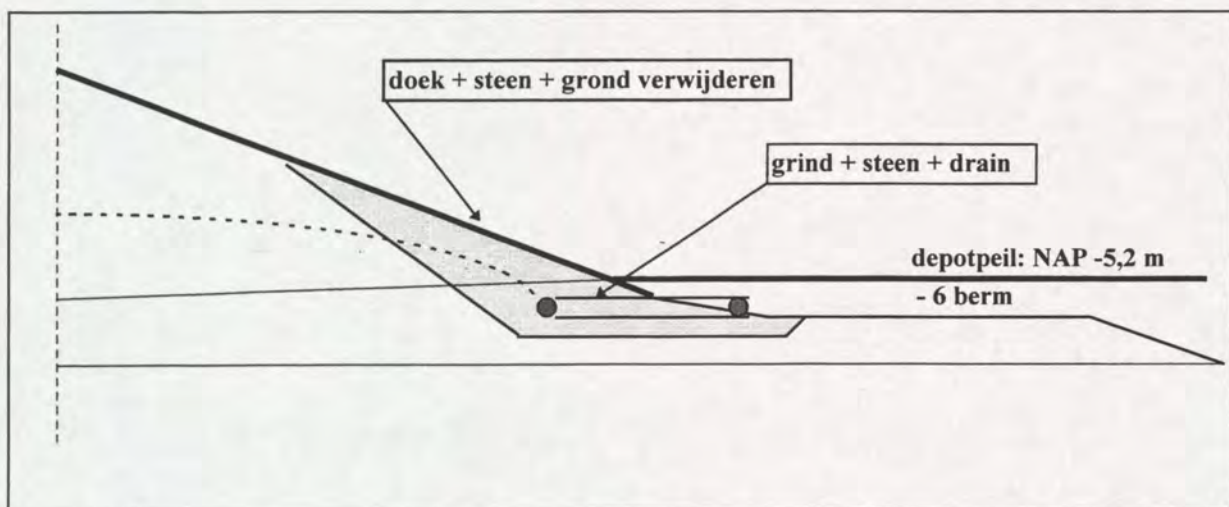
Bij deze optie wordt op de onderste 12 m van het talud de aanwezige breuksteen en het filterdoek verwijderd (van NAP -3 m tot de "-6" tussenberm). Het talud wordt geprofileerd, waarna een tweelaagse filterconstructie met grind (fijn en grof) wordt aangebracht. De vrijkomende breuksteen wordt op het onderste deel van het talud (op de waterlijn op NAP -5 m) hergebruikt. Alle werkzaamheden worden vanaf de ringdijk uitgevoerd.

Hierbij dient langs de gehele ring van de dijk bronbemaling toepast te worden teneinde instabiliteiten tijdens de uitvoering te voorkomen.

7. *het vervangen van het filterdoek + steen door een grindkist + drain naar depot; zie figuur 6-1*

Bij deze optie wordt het dichtgeslagen filterdoek + steenbestorting verwijderd van het onderste deel van het talud. In het onderste deel wordt extra zand ontgraven en vervangen door grind met daarin een korte horizontale drain h.o.h. circa 5 m. Daarop wordt een laag grof grind aangebracht en de vrijgekomen breuksteen wordt op het onderste deel van het talud (op de waterlijn op NAP -5 m) hergebruikt.

Ook hierbij dient langs de gehele ring van de dijk bronbemaling toepast te worden teneinde instabiliteiten tijdens de uitvoering te voorkomen.

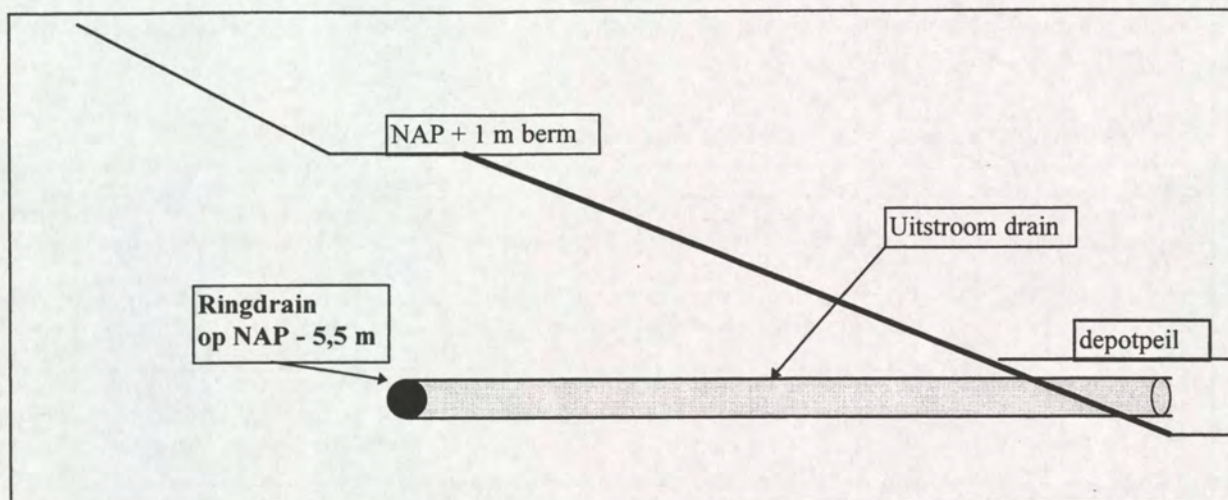


and

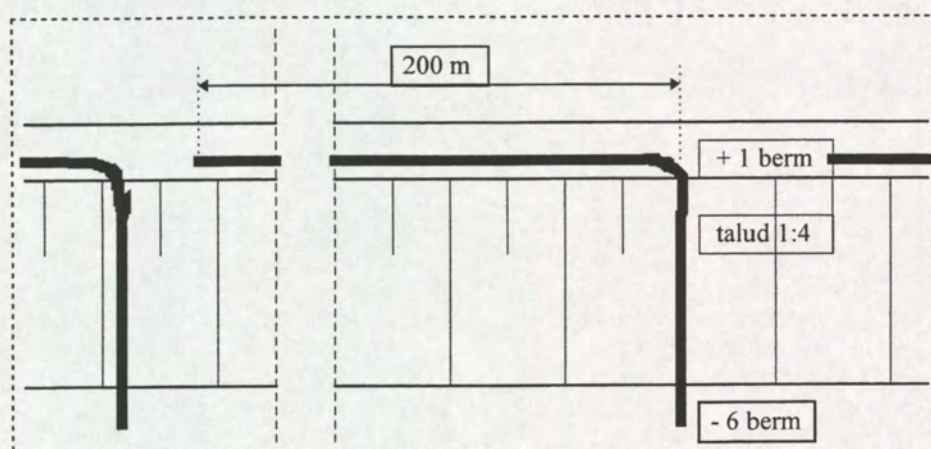
Holoceen laag

Pleistoceen zand

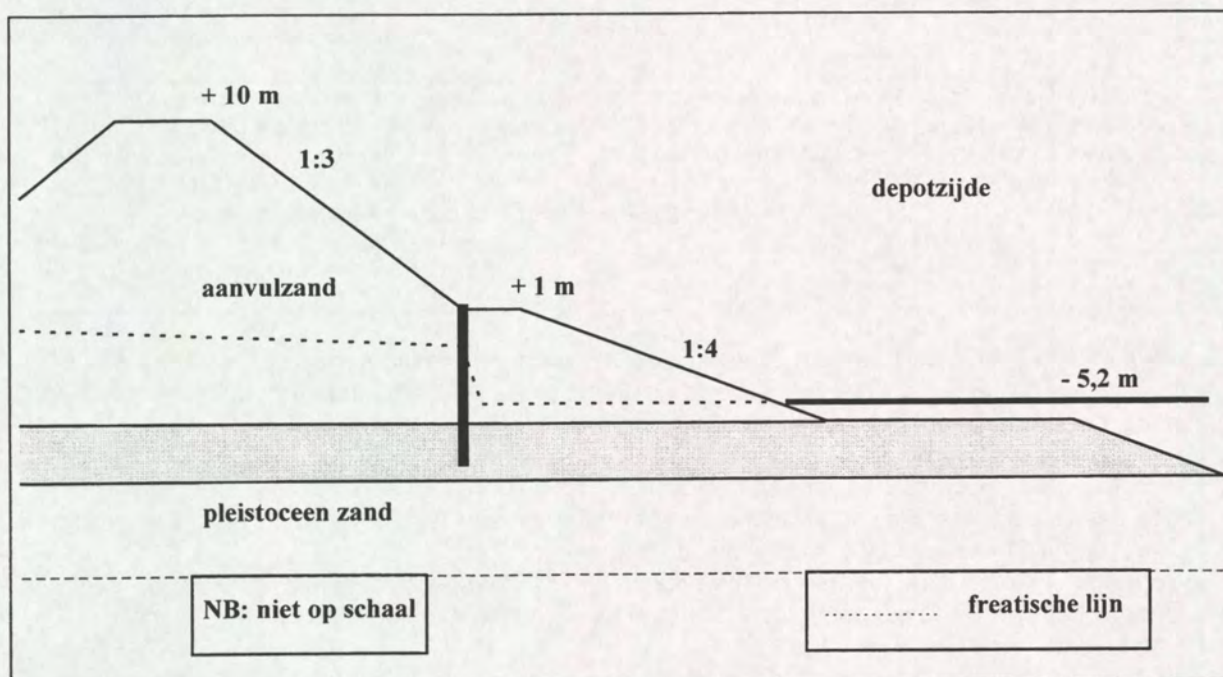
Figuur 6-1: *Grindkist in onderste deel van het talud*



Figuur 6-2: A: Langsdrain onder de tussenberm met om de 200 m een uitstroomdrain



Figuur 6-3: B: Langsdrain onder de tussenberm met om de 200 m een uitstroomdrain



Figuur 6-4: Cement-bentonietwand met folie erin ter plaatse van de tussenberm (op NAP +1m)

De evaluatie van deze mogelijke maatregelen wordt in bijgaande Tabel 6-1 gegeven in de vorm van een overzicht van voor- en nadelen.

Tabel 6-1: Evaluatie van de mogelijke maatregelen aan binnenzijde ringdijk

Optie:	Voordelen:	Nadelen:
1. het aanbrengen van een damwand;	<ul style="list-style-type: none"> • het is een snelle methode • damwanden behoeven niet gekocht te worden • wellicht met enige extra maatregelen (grouten) ook later geschikt 	<ul style="list-style-type: none"> • waterdichtheid is niet gegarandeerd • het is de vraag of deze maatregel later ook nog geschikt is • de verzakkingen dienen nog als extra werk hersteld te worden
2. het aanbrengen van een cement-/bentonietwand;	<ul style="list-style-type: none"> • het is een bewezen techniek • het is geschikt voor latere situatie 	<ul style="list-style-type: none"> • het is een relatief dure oplossing • de verzakkingen dienen nog als extra werk hersteld te worden
3. het aanbrengen van een damwand in een cement-/bentonietwand;	<ul style="list-style-type: none"> • het is een bewezen techniek • het is gegarandeerd waterdicht • het is ook voor later geschikt 	<ul style="list-style-type: none"> • het is een dure oplossing • een combinatie van twee opties • de verzakkingen dienen nog als extra werk hersteld te worden
4. het aanbrengen van een HDPE-folie in een cement-/bentonietwand;	<ul style="list-style-type: none"> • het is een vrij nieuwe maar bewezen techniek • het is gegarandeerd waterdicht • het is zeer goed toepasbaar voor later in de vulfase 	<ul style="list-style-type: none"> • het is een dure oplossing • de verzakkingen dienen nog als extra werk hersteld te worden
5. het aanbrengen van een horizontale drainage	<ul style="list-style-type: none"> • het is een goedkope oplossing • het is een snel aan te brengen maatregel • het vereist niet overal bronbemaling • het is een bewezen techniek 	<ul style="list-style-type: none"> • de verzakkingen dienen nog als extra werk hersteld te worden • regelmatig doorspoelen is nodig • het is een tijdelijke oplossing (later alsnog een kwelscherm nodig)
6. het vervangen van het filterdoek door een filterconstructie	<ul style="list-style-type: none"> • het is methode waarbij tegelijkertijd de verzakkingen worden hersteld; geen extra kosten hiervoor • het is een vrij goedkope oplossing 	<ul style="list-style-type: none"> • het vereist bronbemaling • er kleven wel uitvoeringstechnische bezwaren aan: veel aanvoer van materiaal; niet 100% betrouwbaar; • monitoring nodig • het is een tijdelijke oplossing (later alsnog een kwelscherm nodig)
7. het vervangen van het filterdoek + steen door een grindkist + drain naar depot	<ul style="list-style-type: none"> • het is methode waarbij tegelijkertijd de verzakkingen worden hersteld; geen extra kosten hiervoor • het is een bewezen techniek • het is een relatief goedkope oplossing 	<ul style="list-style-type: none"> • het vereist bronbemaling • er kleven wel uitvoeringstechnische bezwaren aan: veel aanvoer van materiaal; • monitoring nodig • het is een tijdelijke oplossing (later alsnog een kwelscherm nodig)

Voor de raming van de kosten van de diverse opties wordt verwezen naar bijlage 8; daarin is voor enkele opties tevens het aspect meegenomen dat er exploitatiekosten gemaakt moeten worden voor het weer uitpomp van het toestromende kwelwater.

Van enkele opties kan vrij snel aangegeven worden dat deze niet zo aantrekkelijk zijn, omdat die feitelijk een combinatie zijn van andere opties of omdat de betrouwbaarheid niet erg groot genoemd kan worden. Het gaat daarbij om de volgende opties:

- optie nr. 3 (cement/bentonietwand met damwand erin); dit is een combinatie van opties 1 en 2, hoewel de damwand een kunststof damwand kan zijn terwijl optie 1 bestaat uit een stalen damwand
- optie nr 7 (grindkist onderaan het talud); dit minder betrouwbaar dan een pure filterconstructie en vereist monitoring en het doorspoelen van de drains

De resultaten van deze eerste evaluatie en inperking van het aantal mogelijke oplossingen zijn samengevat als volgt:

- Omdat het erom gaat uiteindelijk een onderbouwde keuze te kunnen maken uit een beperkt aantal kansrijke opties, kan uit deze eerste evaluatie reeds geconcludeerd worden dat de hierboven genoemde opties 3 en 7 verder niet meegenomen worden.
- Optie 2 (cement/bentonietwand) heeft ten opzichte van de meest betrouwbare optie met cement/bentoniet (optie nr. 4 - met een HDPE folie erin) enkele nadelen: er kan scheurvorming optreden als deze oplossing nu wordt toegepast; in principe is de ringdijk nog (in beperkte mate) onderhevig aan restzettingen, die bovendien ongelijkmatig kunnen zijn. Bij toepassing van een 'versterkend' folie erin is het risico van scheurvorming zeer gering. De voorkeur gaat dan ook uit naar een cement/bentoniet wand met folie erin als er een keus gemaakt wordt tussen de diverse wanden met cement/bentoniet. Dit houdt derhalve in dat ook optie 2 verder niet wordt meegenomen.
- Aangezien de betrouwbaarheid van een stalen damwandscherm qua waterdichtheid duidelijk minder is dan die van een wand met cement/bentoniet, wordt ook optie 1 niet nader beschouwd.

Op basis van bovenstaande resulteert het overzicht van alle mogelijke maatregelen tot drie mogelijke en kansrijke opties. Aangezien voor de verdere beschouwingen en afwegingen de tot hier gehanteerde nummering niet langer zinvol en relevant is wordt die nummering niet langer toegepast. Het overzicht van de drie meest kansrijke opties staat in Tabel 6-2 opgenomen met daarin tevens de nieuwe nummering van de alternatieven.

Tabel 6-2: Overzicht van de drie meest kansrijke oplossingen

	Maatregel:	Opmerkingen:	Kosten [Mf] *)
1	een vervanging van het onderste deel van de taludbekleding (van NAP -3 m tot NAP -6 m) door een natuurlijk filter van fijn en grof grind	<ul style="list-style-type: none"> • er wordt vanaf de dijk in den droge gewerkt • er is bronbemaling nodig • een tijdelijke oplossing 	1,4 + **) 0,07 / jaar
2	een diepdrainage ter hoogte van de binnenberm van NAP +1 m op niveau van circa NAP -5,5 m	<ul style="list-style-type: none"> • uitvoeringstechnisch in principe een haalbare optie • relatief goedkoop • op de slechte plekken bronbemaling nodig 	0,6 + **) 0,07 / jaar
3	een verticaal kwelscherm met HDPE folie vanaf binnenberm van NAP +1 m tot juist in de holoceenlaag	<ul style="list-style-type: none"> • een definitieve oplossing • zeer betrouwbaar 	8,0

*) onder de kosten worden hier de totale projectkosten verstaan: directe en indirecte uitvoeringskosten, bijkomende kosten, BTW; zie tevens bijlage 8

**) deze extra kosten per jaar zijn ten behoeve van uitpompen van het toestromende kwelwater; voor de onderbouwing hiervan wordt verwezen naar de bijlagen 7 en 8.

In de figuren IJssel 14, 21 en 22 van de Figurenbijlage, telkens in twee bladen, is de effectiviteit van de bovengenoemde maatregelen weergegeven. Dit betreft zowel de geohydrologische gevolgen als het effect op de stabiliteit

In het hiernavolgende hoofdstuk 7 worden deze meest kansrijke oplossingen aan een nadere beschouwing onderworpen. Daarbij wordt tevens aandacht geschonken aan de kosten en een kostenvergelijking tussen de oplossingsvarianten; dit laatste is van belang omdat voor twee opties geldt dat deze een 'tijdelijk' karakter hebben (later alsnog een kwelscherm nodig).

Voor optie nr. 3 geldt dit uiteraard niet, maar hiervoor geldt weer dat de toekomstige investering in de tijd naar voren gehaald moet worden.

Hierna komen eerst enkele uitvoeringsaspecten aan de orde, zoals fasering en het feit dat niet langs de volledige ring de maatregelen nodig zijn.

6.3 Uitvoeringsaspecten

Verticaal scherm

Plaatsing van het verticale scherm is niet mogelijk bij het huidige depotpeil in verband met de thans optredende micro-stabiliteit en de mogelijke instabiliteit die ontstaat door trillingen tijdens de uitvoering. Daarom dienen voorafgaande aan de plaatsing maatregelen genomen te worden om instabiliteit te voorkomen. Dit kan het meest eenvoudig door in het depot de waterstand tijdelijk op een peil van NAP -2,75 m in te stellen. Als alternatief kan eenzelfde effect worden bereikt of zelfs beter door een tijdelijke bemaling te installeren die het freatisch grondwaterniveau ter plaatse van de uit te voeren werkzaamheden onder het binnentalud van de ringdijk verlaagt tot NAP -5,0 m. Deze vacuüm bemaling kan bestaan uit verticale bronnen die op de berm van NAP +1 m worden geïnstalleerd. Na plaatsing van het verticale scherm kan de bemaling worden verwijderd.

Diepdrainage

Om de diepdrainage te kunnen installeren is eveneens verlaging van het freatisch grondwaterniveau door middel van een tijdelijke bronnering nodig om instabiliteit tijdens de uitvoering te voorkomen. Dit zal echter beperkt kunnen blijven tot de delen waar thans reeds een instabiliteit is geconstateerd. Voor de overige trajecten dient de tijdelijke bemaling stand-by te staan om in geval van nood alsnog te kunnen worden geplaatst. Een monitoring van de deformaties van de binnentoe van de ringdijk is dan tijdens de installatie noodzakelijk. Zijn de vervormingen te groot ($>0,15$ m) dan dient de installatie van de diepdrainage tijdelijk te worden gestopt en alsnog de tijdelijke bemaling te worden geïnstalleerd. Pas daarna mag met plaatsing van de diepdrainage verder gegaan worden.

Gefaseerde uitvoering

Uit de opgetreden micro-instabiliteit en de analyse van de peilbuizen blijkt dat het probleem zich over de gehele lengte van de ringdijk voordoet. Er blijken geen significante verschillen op te treden tussen de waterstanden in de peilbuizen in de diverse dwarsdoorsneden. Een uitzondering vormt de circa 300 meter lange strook ter plaatse van de retourwatertoevoerzone, die voorzien is van damwanden. Deze verhinderen de vrije grondwaterstroming en daar zijn dus vooralsnog geen maatregelen nodig. Speciale aandacht is wel vereist voor overgangen tussen deze damwandstrook en de aangrenzende gebieden: juist daar is sprake van relatief veel kwelstroom. Voor een vertikaal scherm geldt dat de aansluiting goed dient te zijn (lekvrij) en voor de diepdrainage geldt dat deze ook over een zekere lengte achter dit damwandenscherm aangelegd dient te worden.

Voor een groot gedeelte van het oostelijk deel van de ringdijk geldt dat de sloot die in verbinding stond met het Ketelmeer, afgedamd is waardoor het freatisch niveau in de dijk is verlaagd. Dit is een goede maatregel gebleken om tijdelijk de stabiliteit te verbeteren. Met nadruk wordt opgemerkt dat dit alleen geldt voor zogenaamde normale Ketelmeerpeilen. Voor waterstanden hoger dan circa NAP +1 m overstroomt het voorland reeds, waardoor het intredepunt zich (weer) naar de buitenteen van de dijk verplaatst, hetgeen tot kritieke situaties aanleiding kan geven. Met andere woorden: ook de oostelijke helft van de ringdijk dient voor de komende winterperiode voorzien te worden van structurele maatregelen.

7. Conclusies, aanbevelingen en advies

De conclusies qua stabiliteit van het binnentalud geven tezamen met het feit dat het dichtgeslagen filterdoek de situatie heeft verergerd, aan dat structurele maatregelen noodzakelijk zijn om het kwelprobleem op te lossen. Van de reeks mogelijke oplossingen worden de meest kansrijke opties nader geëvalueerd. Omdat de kansrijke oplossingen bestaan uit tijdelijke opties ['nu iets doen en later toch een kwelscherm'] en een definitieve optie ['nu direct het later toch benodigde kwelscherm'] wordt een kostenvergelijking gegeven met de NCW methode.

7.1 Samenvattende conclusies

Uit alle onderzoeken die in de vorige hoofdstukken zijn gerapporteerd, blijkt met name wat de stabiliteit van het binnentalud van de ringdijk betreft, het volgende:

- verzakkingen door micro-instabiliteit zijn opgetreden in het onderste deel van het binnentalud. Deze micro-instabiliteit wordt mede veroorzaakt door het dichtslippen van het geotextiel op het talud;
- de micro-instabiliteit heeft zich tot in het voorjaar van 2000 doorgezet, maar in minder sterke mate dan in de periode september/oktober 1999;
- de micro-instabiliteit treedt plaatselijk op langs de gehele binnenomtrek van de ringdijk, vermoedelijk door lokale variatie in bodemopbouw. Er zijn echter geen trajecten aan te wijzen waar geen instabiliteit optreedt met uitzondering van een deel in het zuidwesten ter plaatse van de circa 300 meter lange retourwatertoevoerzone, die voorzien is van damwanden. Deze verhinderen de vrije grondwaterstroming en dwingen het kwelwater als het ware naar die plaatsen waar het wel vrij kan uitstromen; dit is dus aan beide zijanten van dit damwandscherm. In deze strook is de situatie wezenlijk anders en veel minder kritisch dan langs het overige deel van de ringdijk;
- de sloot in de buitenteen van de oostelijke helft van de ringdijk stond tot januari 2000 in open verbinding met het Ketelmeer. Na afsluiting is het peil in deze sloot meer dan een halve meter gezakt en dit blijkt een gunstig effect te hebben op de micro-instabiliteit doordat de freatische lijn in de ringdijk daalt door een buitenwaartse verplaatsing van het intredepunt van het 'buitenwater'. Dit gunstige effect blijft echter beperkt tot de perioden met een normaal peil in het Ketelmeer. Bij een stijging van het waterpeil tot een niveau waarbij het voorland overstroomt, circa NAP +1,50 m, gaat het gunstige effect verloren en ligt het intredeniveau toch weer tegen de buitenzijde van de dijk. Het ontwerppeil van de ringdijk is NAP +2,25 m, dus nog aanzienlijk hoger. Dit betekent dat bij de beschouwing over de maatregelen om instabiliteit van het binnentalud te voorkomen hier rekening mee gehouden moet worden;
- de huidige waterstand in het depot van NAP -5,20 m ten opzichte van het ontwerppeil van NAP -4,50 m beïnvloedt de stabiliteit van het binnentalud ongunstig. Dit wordt mede veroorzaakt door de combinatie van een door oxidatiereacties dichtgeslagen geotextiel met de aanwezigheid van een "lokale drempel" van holoceen in de teen van het talud;
- bij een depotwaterstand van NAP -4,50 m zou de instabiliteit minder ernstig zijn geweest, maar de opgetreden problemen zouden ook dan door de genoemde combinatie van oorzaken niet te voorkomen zijn geweest;
- de micro-instabiliteit kan zich weer versnellen bij een Ketelmeerspeil hoger dan NAP +1,50 m; dit laatste geldt met name langs de oostelijke helft van de ringdijk, waar de sloot is afgedamd;
- macro-instabiliteit van de dijk treedt op bij een sterke erosie van de binnenteen door micro-instabiliteit. Zodra hierdoor over een horizontale afstand van 8 m het zand in de binnenteen is verdwenen, dan neemt voor de situatie van extreme buitenwaterstanden (het ontwerppeil van het Ketelmeer) de stabiliteitsfactor af van 1,17 tot beneden 1, een onaanvaardbaar laag niveau;
- de snelheid van het voortgaan van de verzakkingen t.g.v. lokale erosie en micro-instabiliteit tijdens een relatief hoge buitenwaterstand is niet te voorspellen. Monitoren en afwachten tot het tijdstip waarop grote schade optreedt en dan direct proberen deze schade te herstellen is een optie die te veel risico's inhoudt en dus niet in aanmerking komt;
- maatregelen dienen dan ook thans, voor de komende winterperiode met een verhoogde kans op hoge waterstanden in het Ketelmeer, genomen te worden.

Gezien deze situatie is begin november 1999 een voorlopige aanbeveling opgesteld en in februari 2000 een samenvatting van de belangrijkste conclusies. De aanbevelingen in beide stukken hielden in dat snel maatregelen nodig waren om verder inzakken van het binnentalud te voorkomen en een verdere, snelle dramatische uitbreiding van de schade uit te sluiten. Deze aanbevelingen zijn niet direct overgenomen en gekozen is voor een nadere onderbouwing van de bevindingen en aanbevelingen teneinde een meer overwogen beslissing over de te nemen maatregelen te kunnen nemen. Deze zijn in dit rapport opgenomen. Thans blijkt zoals reeds is opgemerkt dat de voortgaande erosie van het binnentalud is vertraagd en uitstel van de noodzakelijk geachte maatregelen niet heeft geleid tot ernstige, ontoelaatbare schade. Desalniettemin met nadruk geadviseerd om voor de komende winterperiode maatregelen te nemen, zoals eerder is gemotiveerd. Ondertussen blijft het ook noodzakelijk de situatie te monitoren.

7.2 In aanmerking komende oplossingen

In principe zijn er drie kansrijke oplossingen mogelijk om de stabiliteit van het binnentalud in voldoende mate en op voldoende betrouwbare wijze te verbeteren. Deze drie opties die na de evaluatie van de mogelijke oplossingen (in hoofdstuk 6), voor een nadere afweging in aanmerking komen, zijn de volgende:

1. het aanbrengen van een filterconstructie van zand en grind in de binnenteen en het afdekken van dit materiaal met een natuurlijk filter zonder toepassing van een geotextiel. De stabiliteitsfactor bij een depotpeil van NAP -5,20 m neemt toe tot circa 1,30. De kosten van een dergelijke oplossing bedragen circa f 1,4 miljoen plus de jaarlijkse kosten van f 78.000 om het kwelwater uit het depot te pompen; zie tevens Tabel 7-1
2. het plaatsen van een horizontale drain op NAP -6 m in de binnenteen ter plaatse van de binnenberm van NAP +1 m. De freatische lijn wordt hierdoor sterk verlaagd en het kwelwater treedt niet meer langs het bovenwatertalud uit. De stabiliteitsfactor neemt voor en depotpeil van NAP -5,20 m toe tot 1,37. De kosten van een dergelijke oplossing bedragen circa f 0,6 miljoen plus de extra pompkosten ten bedrage van f 78.000/jaar; zie ook Tabel 7-1
3. het plaatsen van een verticaal scherm van cement-bentoniet met hierin kunststofpanelen tot in de holocene laag, gemiddeld tot NAP -7 m, ter plaatse van het binnentalud op de tussenberm op NAP +1 m. De stabiliteitsfactor neemt toe tot 1,40. Een dergelijk scherm is reeds voorzien in de vervolgfase bij verdere vulling van het depot. De totale kosten van deze technisch zeer goede en definitieve oplossing bedragen circa f 8,0 miljoen (zie Tabel 7-1 en Bijlage 8).

7.3 Aanbevelingen en advies

Algemeen

- Aan optie 3 [*een kwelscherm van cement-bentoniet met daarin een folie*] wordt technisch gezien de voorkeur gegeven omdat deze robuust is, over 10 tot 20 jaar naar verwachting technisch nog steeds een up to date is en later toch moet worden aangebracht. Bij de andere twee opties moet een dergelijk scherm later ook nog worden aangebracht. Dit is een nadeel van de opties 1 en 2 omdat de voorzieningen ervan als extra investeringen moeten worden beschouwd. Een voordeel van de opties 1 en 2 is echter dat de dure investering van optie 3 in de tijd niet naar voren gehaald hoeft te worden.
- Wordt de voorkeur gegeven aan een uitstel van de hoge investeringen en gekozen voor een relatief goedkope, tijdelijke oplossing dan wordt de tweede optie geadviseerd [*'diepdrainage'*] omdat de eerste oplossing uitvoeringstechnisch complex is en daardoor relatief duur.

Kostenoverzicht

Voor de drie in aanmerking komende opties worden de totale projectkosten in Tabel 7-1 aangegeven. Voor een nadere onderbouwing van deze kosten wordt verwezen naar bijlage 8.

Tabel 7-1: Totale kosten van de drie meest kansrijke oplossingen

Optie	Definitieve of tijdelijke optie	Totale kosten (Mfl.)
1. filterconstructie op talud (+ jaarlijks pompen)	tijdelijk	1,4 (+ fl. 78.000/jr)
2. horizontale drainage (+ jaarlijks pompen)	tijdelijk	0,6 (+ fl. 78.000/jr)
3. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	definitief	8,0

Opmerkingen:

- De hier gegeven kostenramingen betreffen de totale 'project' kosten; in eerdere rapportages werden ter onderlinge vergelijking alleen de zgn. directe uitvoeringskosten vermeld;
- Voor alle opties is gerekend met een totale aanleglengte van 3.000 meter (= de gehele ring). Langs de retourwatertoevoerzone – met damwanden – zal het niet nodig zijn om maatregelen te nemen; de kwelstroom wordt daar al tegenhouden. Dit scheelt 10% op het totaal (de lengte toevoerzone is circa 300 m); gezien de onzekere factoren, is deze 'optimalisatie' niet in de ramingen verdisconteerd.
- De jaarlijkse pompkosten zijn enigszins afwijkend van hetgeen reeds eerder in het kader van dit project berekend is; nu is een zelfstandige berekening (opnieuw) uitgevoerd. De afwijkingen zijn evenwel verwaarloosbaar klein: circa f 68.000 per jaar op basis van de pompegevens (zie bijlage 7) t.o.v. f 78.000 per jaar op basis van huidige berekening.

Kostenvergelijking met NCW methode

Bij de vergelijking van de kosten van de drie meest kansrijke oplossingen is geen rekening gehouden met renteverliezen door maatregelen eerder of later uit te voeren. Om de kosten van de alternatieven beter te kunnen vergelijken is een netto contante waarde berekening uitgevoerd. Omdat nog niet bekend is wanneer het verticale scherm in de tussenberm van het binnentalud geplaatst moet gaan worden, dit is afhankelijk van de snelheid waarmee het depot wordt gevuld c.q. het tijdstip waarop het kritische vulniveau van circa NAP -8,5 m wordt bereikt, zijn hiervoor fictieve tijdsperiodes aangehouden van respectievelijk 5, 10 en 15 jaar. In Tabel 7-2 zijn de resultaten van de berekening weergegeven. Voor nadere informatie hierover wordt verwezen naar bijlage 8: 'Kostenvergelijkingen'.

Tabel 7-2: Netto contante waarde voor de drie oplossingsalternatieven

nr.	alternatief	netto contante waarde in Mfl		
		5-jaars vulscenario	10-jaars vulscenario	15-jaars vulscenario
1 en 3	filterconstructie op talud (+ uitpompen) en cement-bentonietwand + HDPE-folie	8,48	7,61	6,90
2 en 3	horizontale drainage (+ uitpompen) en cement-bentonietwand + HDPE-folie	7,68	6,81	6,09
3	cement-bentonietwand + HDPE-folie	8,04	8,04	8,04

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat, onafhankelijk van het vulscenario, een combinatie van optie 2 en 3 qua kosten het meest aantrekkelijk is:

nu horizontale drainage aanleggen (optie 2) en later het cement/bentoniet scherm met folie (optie 3).

Het feit dat bij dit alternatief, bestaande uit twee opties, meer (uitvoerings) risico's worden genomen, is hierin niet meegenomen. Bij het 5-jarige vulscenario zijn de kosten voor de 3 alternatieven nagenoeg aan elkaar gelijk zeker gezien de nauwkeurigheid (+/- 20 %) van deze vergelijkende kostenberekeningen. Het betreft nog geen detailberekening op ontwerpniveau.

Uitvoeringsaspecten

Om instabiliteit tijdens de uitvoering met zware machines op het binnentalud te voorkomen, wordt geadviseerd een tijdelijke uitvoeringsbemaling te installeren waarbij de grondwaterstand in de binnenteen wordt verlaagd.

- Bij de aanleg van een horizontale diepdrainage (optie 2) is deze tijdelijke bemaling slechts nodig op de 'slechtste' locaties, geschat op circa een kwart van de totale omtrek. Hiertoe is een nadere inventarisatie van de situatie voordat met de installatie wordt begonnen, noodzakelijk. Bovendien is monitoring tijdens de uitvoering noodzakelijk teneinde gevaarlijke situaties (verzakkingen tijdens de uitvoering) tijdig te identificeren. Dit aspect behoeft nadere aandacht voordat het installatiewerk definitief wordt aanbesteed, gezien de risico's die kleven aan de toepassing van deze 'lokale' uitvoeringsbemaling.
- Bij de installatie van het verticale kwelscherm (optie 3) is deze tijdelijke bemaling over de gehele omtrek nodig omdat met zwaarder en trager voortschrijdend materieel wordt gewerkt (en gedurende een langere periode) dan bij de installatie van de horizontale diepdrainage (optie 2). Deze tijdelijke bemaling kan gefaseerd worden aangebracht, gezien de werksnelheid van het materieel voor de aanleg van een dergelijk vertikaal scherm. Deze uitvoeringsbemaling kan bijvoorbeeld in stukken van een kwart gedeelte van de totale omtrek stapsgewijs geïnstalleerd worden. Eén en ander behoeft ook in dit geval een nadere detaillering als ervoor gekozen wordt deze optie te realiseren.
- Ook voor optie 1 (filterconstructie op het onderste deel van het talud) geldt hetzelfde als voor de installatie van optie 3: tijdelijke bemaling is nodig, maar deze kan gefaseerd worden geïnstalleerd, gezien de werksnelheid van het materieel voor deze werkzaamheden.

Tenslotte wordt opgemerkt dat ook voor het herstel van de verzakkingen aan de onderzijde van het talud (eventueel te overwegen als voor optie 2 of 3 gekozen wordt) een tijdelijke bronbemaling noodzakelijk is teneinde de uitvoeringsrisico's zoveel mogelijk te beperken.

Literatuur en achtergrondinformatie

- 1 Projectbureau Depotbouw, Rijkswaterstaat Bouwdienst/DEPOTC v.o.f.
Baggerspeciedepot Ketelmeer; geotechnische randvoorwaarden,
Leusden, februari 1995, document nr PDB.PKE-4-95066.
- 2 Projectbureau Depotbouw, Rijkswaterstaat Bouwdienst/DEPOTC v.o.f.
Baggerspeciedepot Ketelmeer; geotechnische ontwerpberekeningen,
Leusden, februari 1995, document nr PDB.PKE-4-95079.
- 3 Projectbureau Depotbouw, Rijkswaterstaat Bouwdienst/DEPOTC v.o.f.
Baggerspeciedepot Ketelmeer; aanvullende geotechnische ontwerpberekeningen,
Leusden, mei 1995, document nr PDB.PKE-4-95279.
- 4 Projectbureau Depotbouw, Rijkswaterstaat Bouwdienst/DEPOTC v.o.f.
Baggerspeciedepot Ketelmeer; depotontwerp,
Leusden, augustus 1995, document nr PDB.PKE-4-95073.
- 5 Projectbureau Depotbouw, Rijkswaterstaat Bouwdienst/DEPOTC v.o.f.
Baggerspeciedepot Ketelmeer; stabiliteit talud slibdepot Ketelmeer,
Leusden, februari 1995, document nr PDB.PKE-4-96016.
- 6 Projectbureau Depotbouw, Rijkswaterstaat Bouwdienst/DEPOTC v.o.f.
Baggerspeciedepot Ketelmeer; herberekening uitvoeringsstabiliteit dijken en dammen,
Utrecht, juni 1997, document nr PDB.POUK-4-97037.
- 7 Projectbureau Waterbodems Advies en Uitvoering, Rijkswaterstaat / DEPOTC v.o.f.
Instabiliteit binnentalud ringdijk, onderzoeksvoorstel,
Utrecht, oktober 1999, document nr WAU.ADY-1-99121.
- 8 Projectbureau Waterbodems Advies en Uitvoering, Rijkswaterstaat / DEPOTC v.o.f.
Advisering depot IJsseloog, Instabiliteit binnentalud ringdijk;
Utrecht, 2 november 1999, document nr WAU.ADY-3-99145.
- 9 Projectbureau Waterbodems Advies en Uitvoering, Rijkswaterstaat / DEPOTC v.o.f.
Advisering depot IJsseloog; kwelproblematiek ringdijk,
Utrecht, 7 februari 2000, document nr WAU.ADY-3-00017.
- 10 Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW)
Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken; Deel 1 – Bovenrivierengebied
's Gravenhage - Staatsuitgeverij september 1985, ISBN 90-12-05169-X
- 11 Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW)
Leidraad Toetsen op veiligheid
augustus 1999

Bijlagen

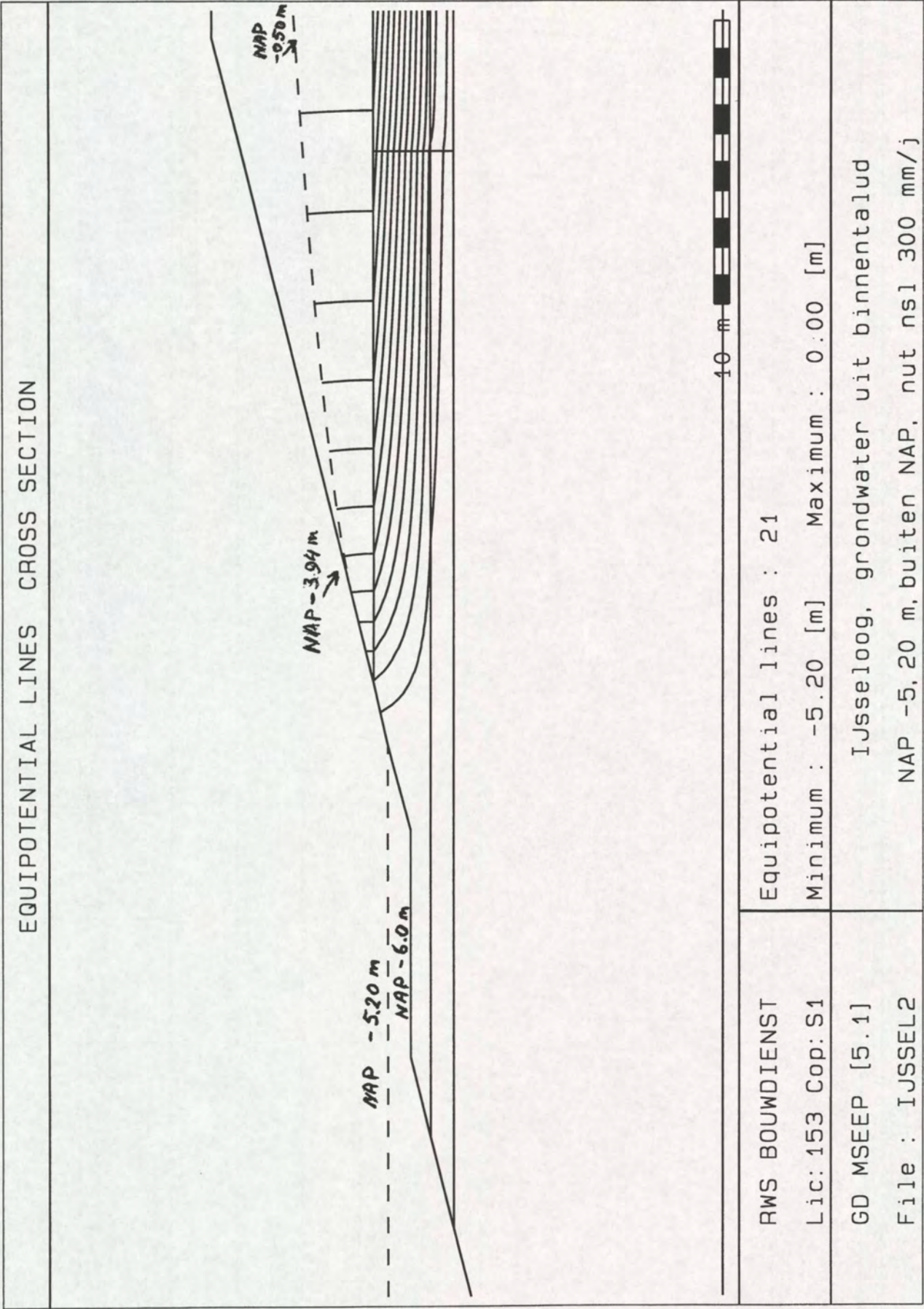
Figurenbijlage 'MSEEP' EN 'MSTAB'

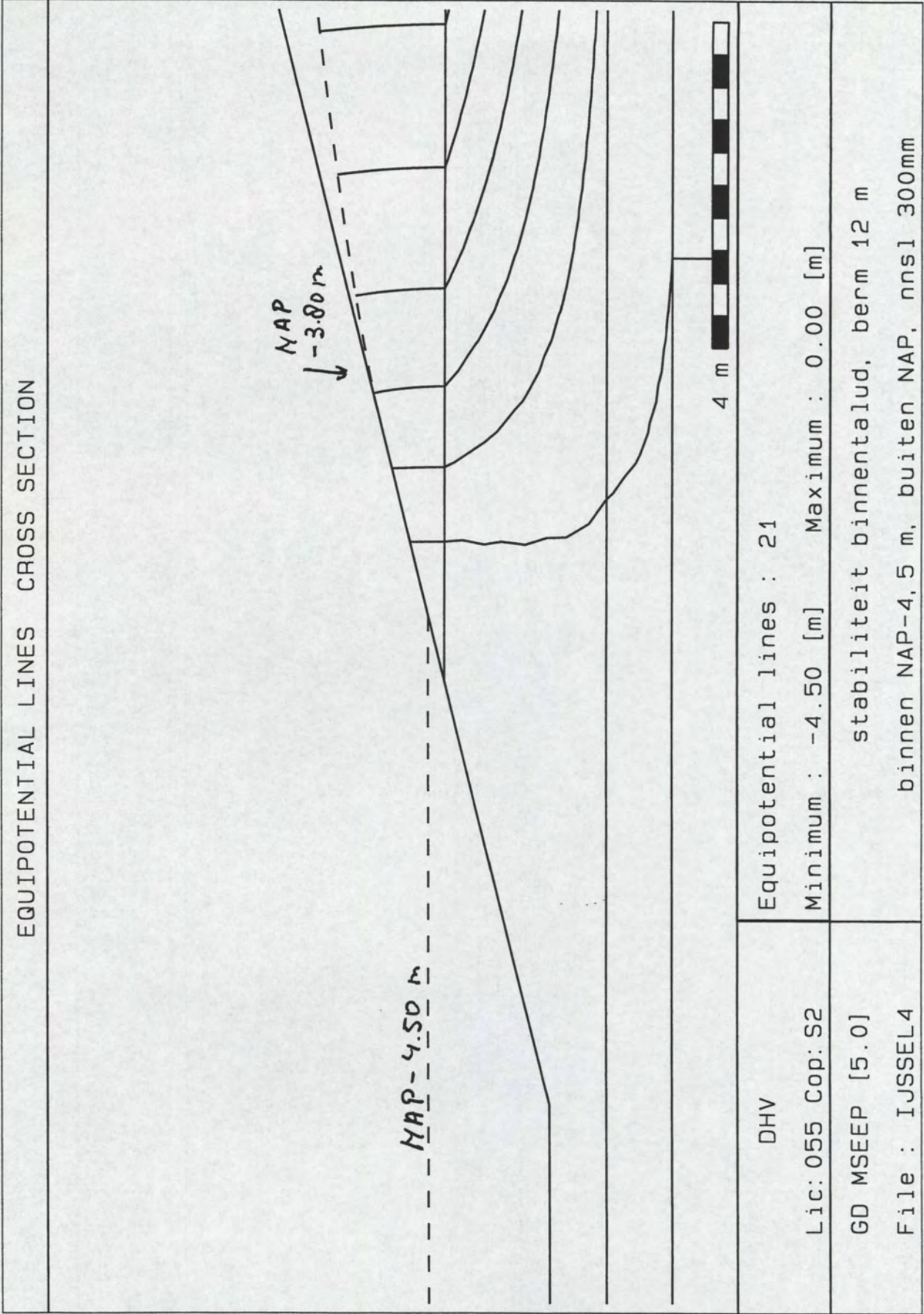
Bijlage 1a:	Locaties, gegevens en waarnemingen van de peilbuizen
Bijlage 1b:	Waarnemingsresultaten peilbuizen en depotpeil (grafisch)
Bijlage 2:	Notitie "Analyse stijghoogtes en debieten"
Bijlage 3:	Visuele inspectie binnentalud: beschrijving en foto's
Bijlage 4:	Echometingen van de puttaluds
Bijlage 5:	Micro-stabiliteitsberekeningen DWW
Bijlage 6:	Eisen en specificaties filterdoek
Bijlage 7:	Energiekosten uitpompen kwelwater
Bijlage 8:	Kosten diverse herstelmaatregelen

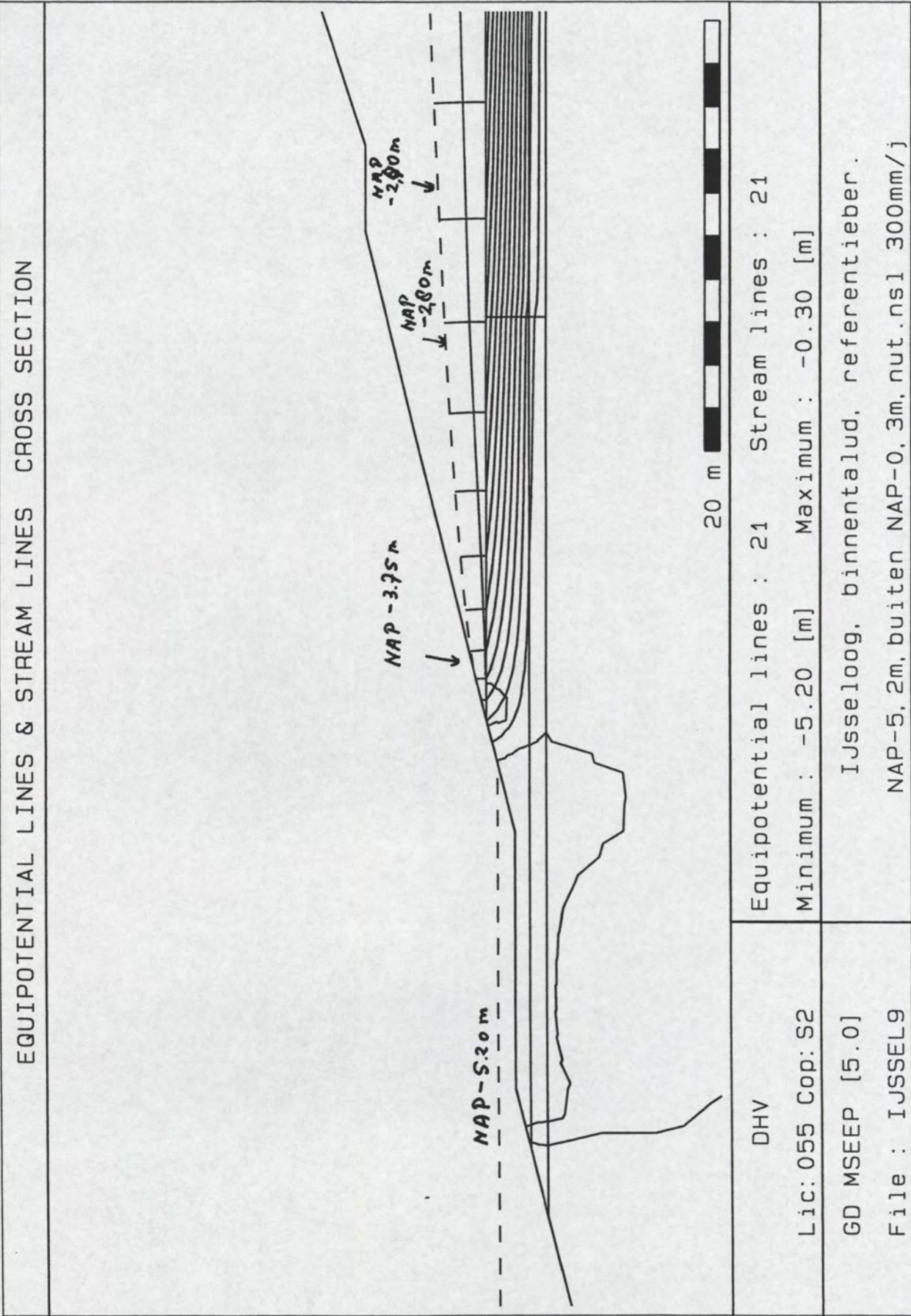
Figurenbijlage 'MSEEP' EN 'MSTAB'

IJSSEL2	Freatische lijn in ringdijk, oriënterende berekening depotpeil NAP -5,20 m
IJSSEL4	Freatische lijn in ringdijk, oriënterende berekening depotpeil NAP -4,50 m
IJSSEL9	Referentieberekeningen <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -5,20 m, Ketelmeerpeil: NAP -0,30 m; • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 1,29
IJSSEL 10	Berekeningen met $k = 16$ m/dag (doorlatendheid zand) <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -5,20 m, Ketelmeerpeil: NAP; • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 1,28
IJSSEL 11	Berekeningen met $k_{\text{zand}} = 8$ m/dag (= ref); $K_{\text{hol}} = 10 \cdot \text{ref}$ <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -5,20 m, Ketelmeerpeil: NAP; • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 1,28
IJSSEL 12	Berekeningen met $k_{\text{zand}} = 8$ m/dag (= ref); $K_{\text{hol}} = \text{ref}$ <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -4,50 m, Ketelmeerpeil: NAP; • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 1,30
IJSSEL 13	Berekeningen met $k_{\text{zand}} = 8$ m/dag (= ref); $K_{\text{hol}} = \text{ref}$ <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -4,50 m, Ketelmeerpeil: NAP + 2,25 m (extreem); • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 1,17
IJSSEL14	Berekeningen met zand ipv holocene in de teen; water treedt niet uit talud uit; <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -5,20 m; Ketelmeerpeil NAP -0,30 m; • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 1,48
IJSSEL19	Berekeningen voor situatie waarbij microstabiliteit is opgetreden (onderste deel talud weggezakt); <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -5,20 m; Ketelmeerpeil NAP +2,25 m (extreem); • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 0,92
IJSSEL21	Berekeningen voor situatie met drain (op NAP -5,5 m) in de tussenberm; <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -5,20 m; Ketelmeerpeil NAP +2,25 m (extreem); • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 1,38
IJSSEL22	Berekeningen voor situatie met vertikaal scherm in tussenberm tot in holocene; <ul style="list-style-type: none"> • Freatische lijn in ringdijk (MSEEP), depotpeil NAP -5,20 m; Ketelmeerpeil NAP +2,25 m (extreem); • Stabiliteitsberekening MSTAB; stabiliteitsfactor SF 1,40

[20 bladzijden met figuren]

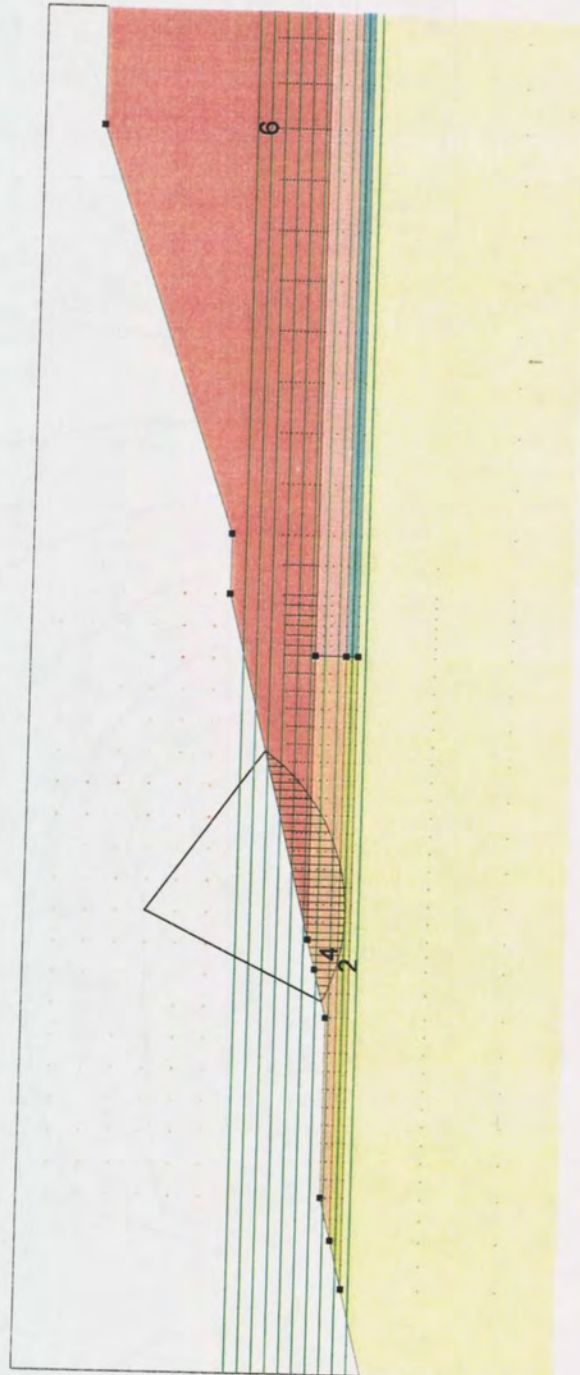
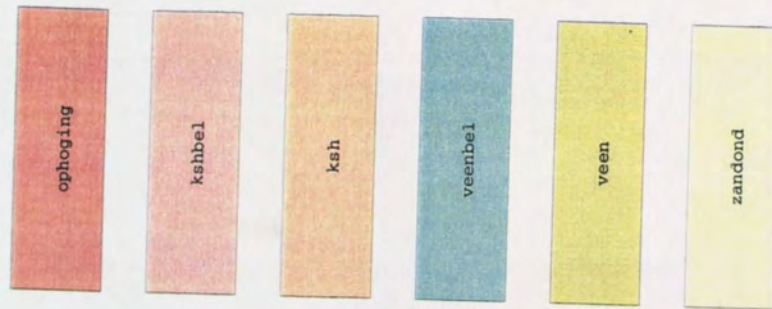






Critical Circle Bishop

LEGEND OF LAYERS



Xm : 58947,00 [mm] Radius : 13111,00 [mm]
Ym : 6000,00 [mm] Safety : 1,290

DHV M&I

Postbus 1076
3800 BB Amersfoort

Phone 033-4683380
Fax 033-4682801

date

19-05-2000

drw.

-

Stabiliteit IJsseloog, mseep ijssel9
depotpeil -5,20 m; ketelmeer -0,30 m; k = 8,6 m/d

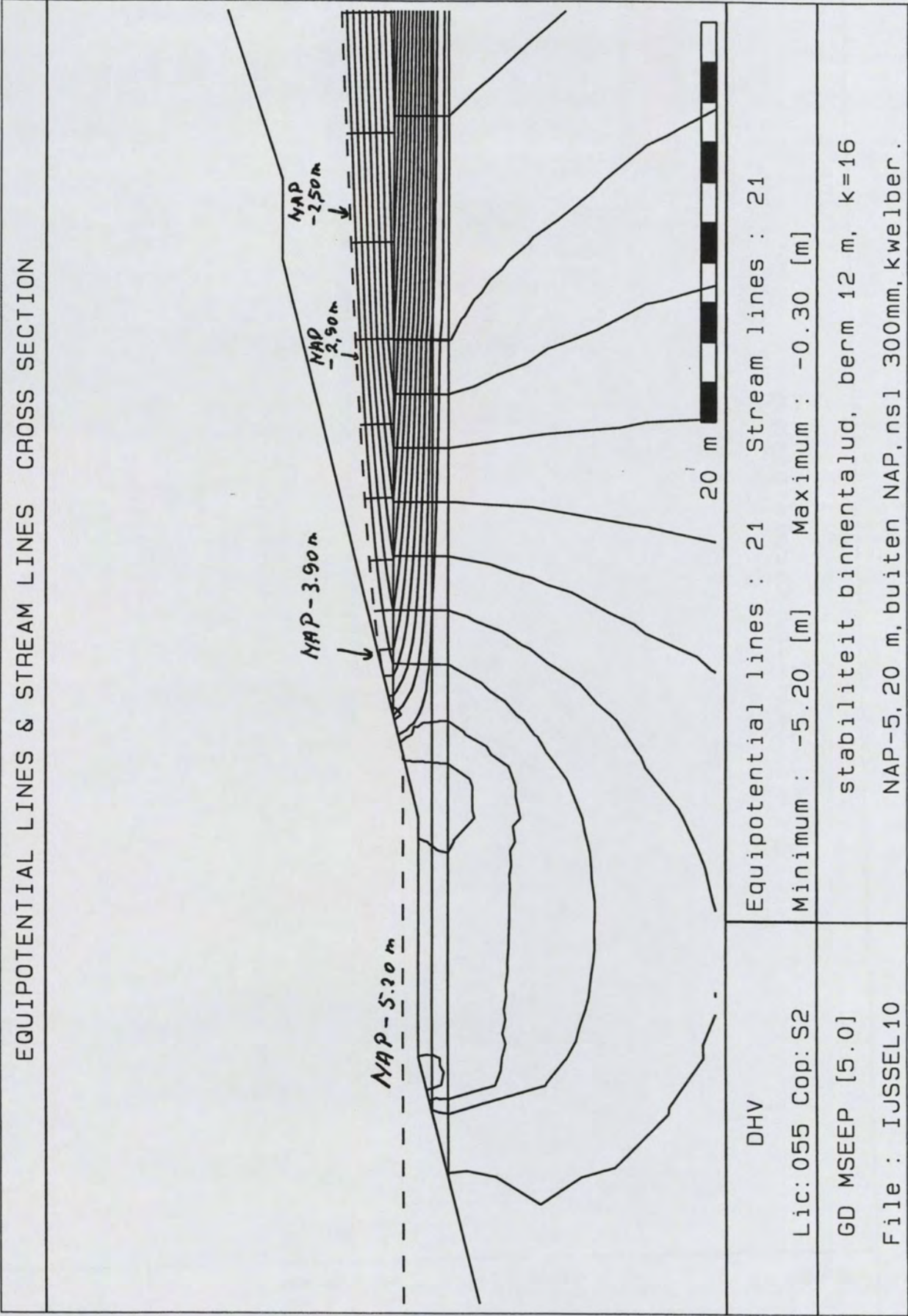
MStab 8.1 : IJssel9 stabiliteit.sti

ctr.

Annex -

form.

A4



LEGEND OF LAYERS

ophoging

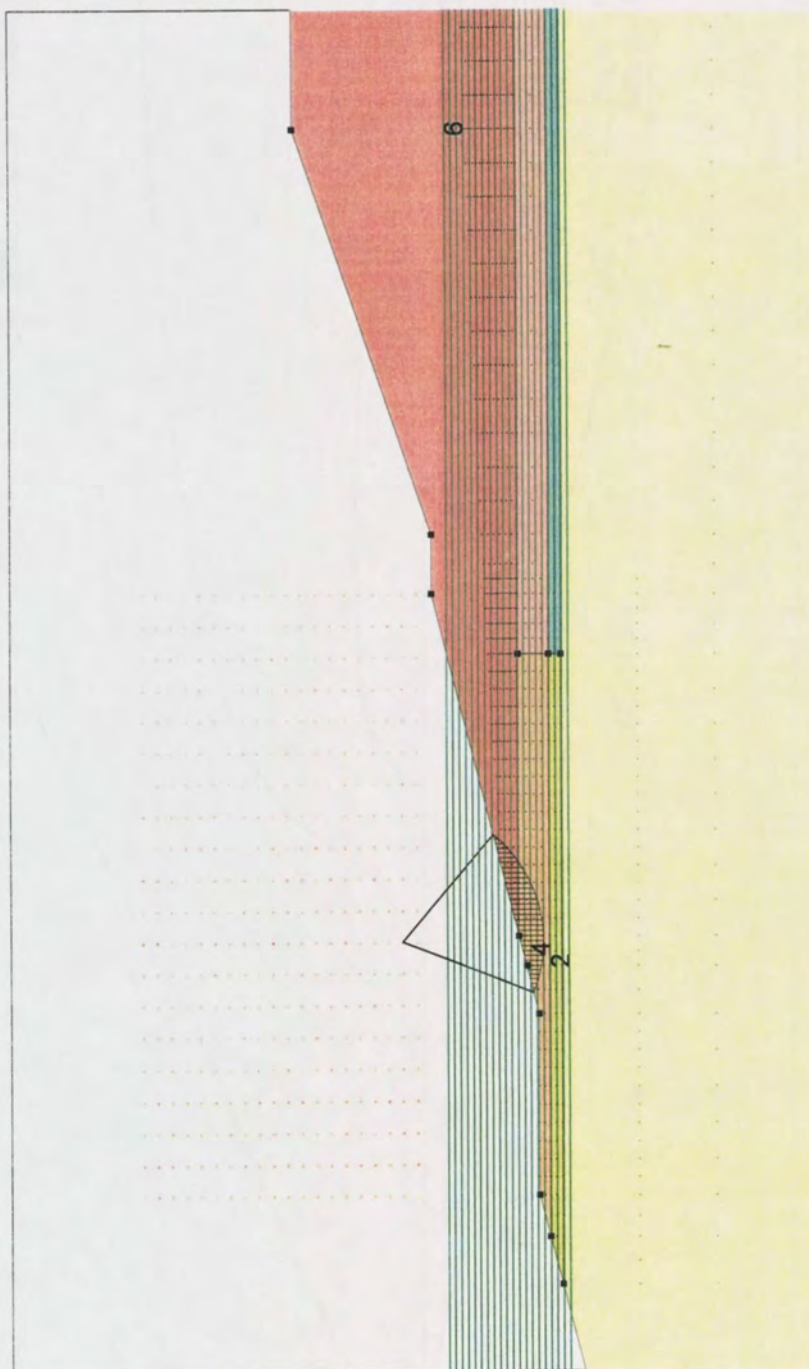
kshbel

ksh

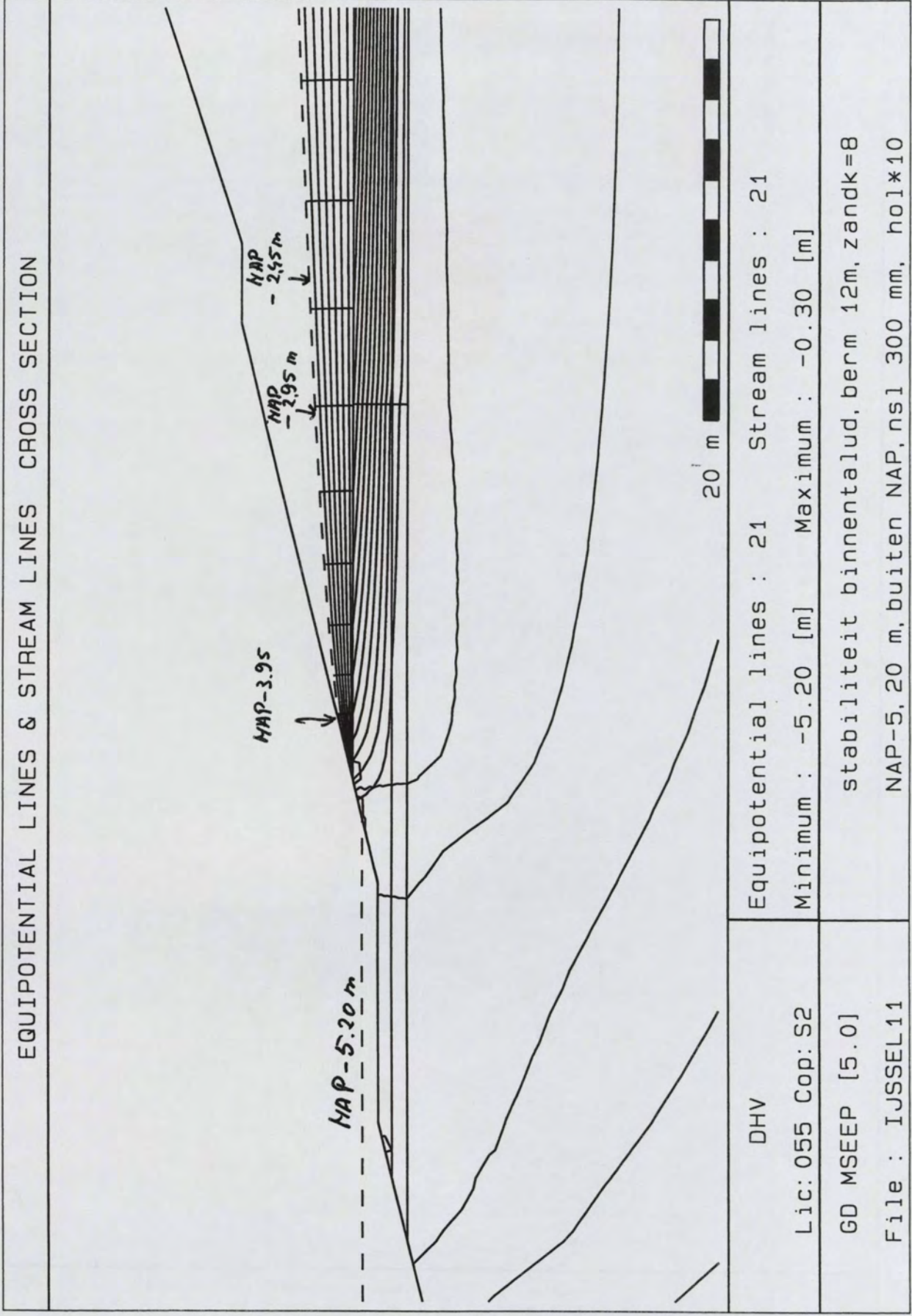
veenbel

ween

zandond



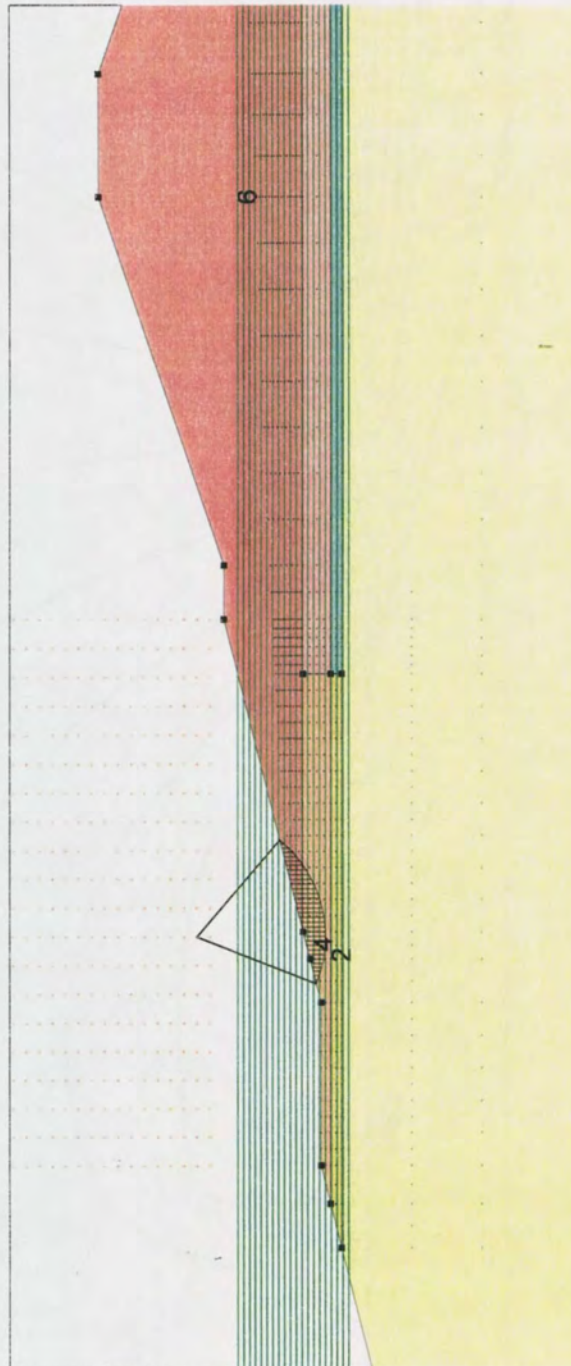
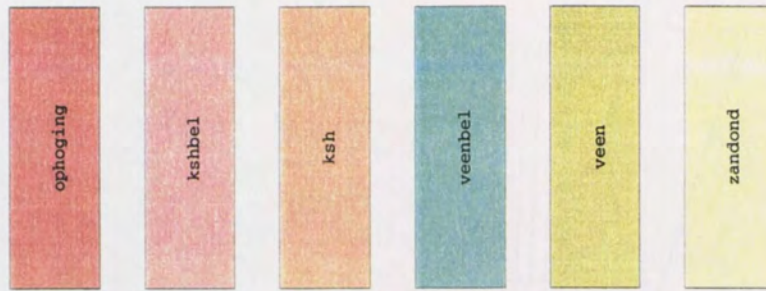
Xm : 56842,00 [mm] Radius : 9263,00 [mm]
Ym : 2947,00 [mm] Safety : 1,278



DHV	Equipotential lines : 21	Stream lines : 21
Lic: 055 Cop: S2	Minimum : -5.20 [m]	Maximum : -0.30 [m]
GD MSEEP [5.0]	stabiliteit binntalud, berm 12m, zandk=8	
File : IJSSEL11	NAP-5,20 m, buiten NAP, nsl 300 mm, hol*10	

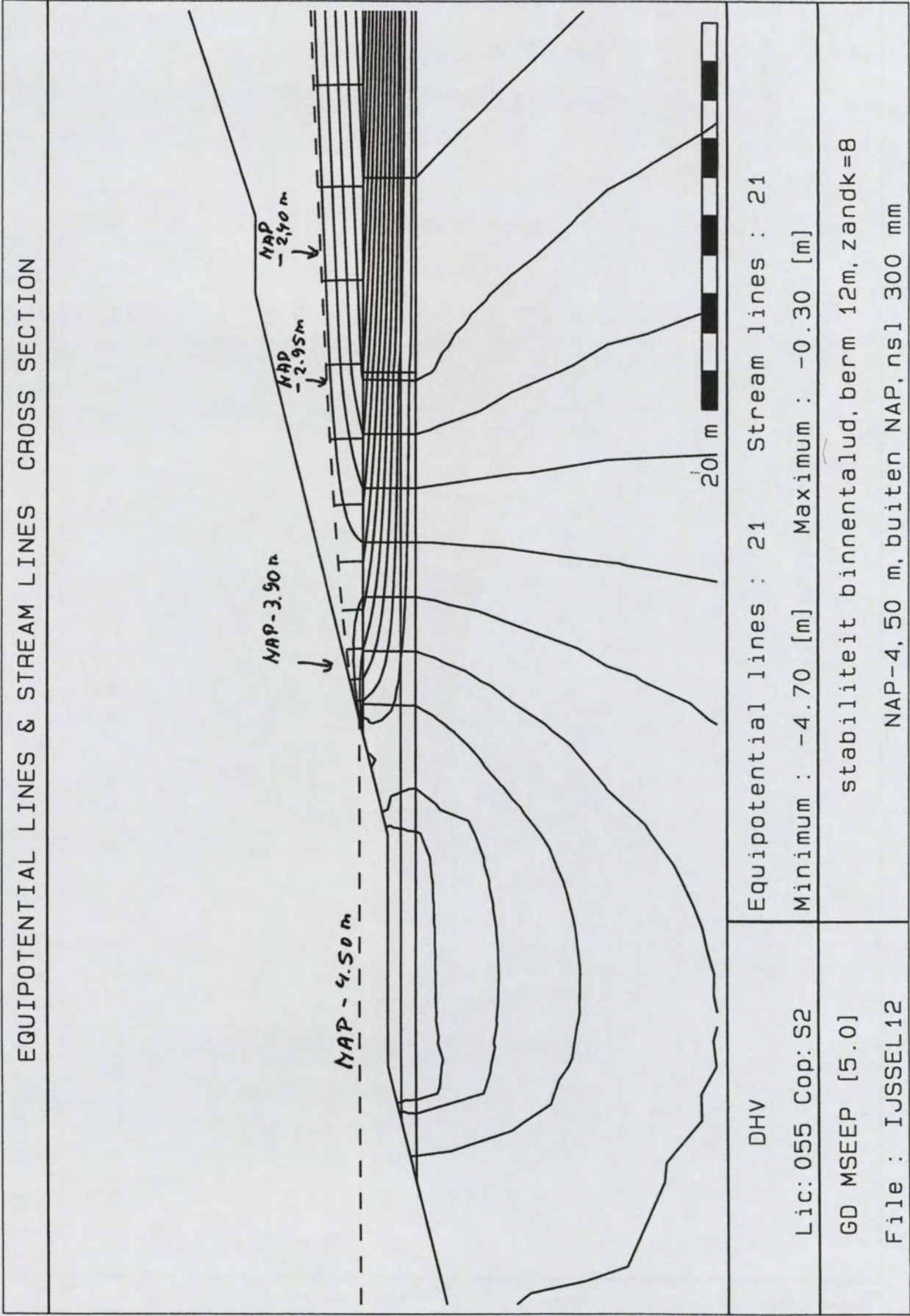
Critical Circle Bishop

LEGEND OF LAYERS



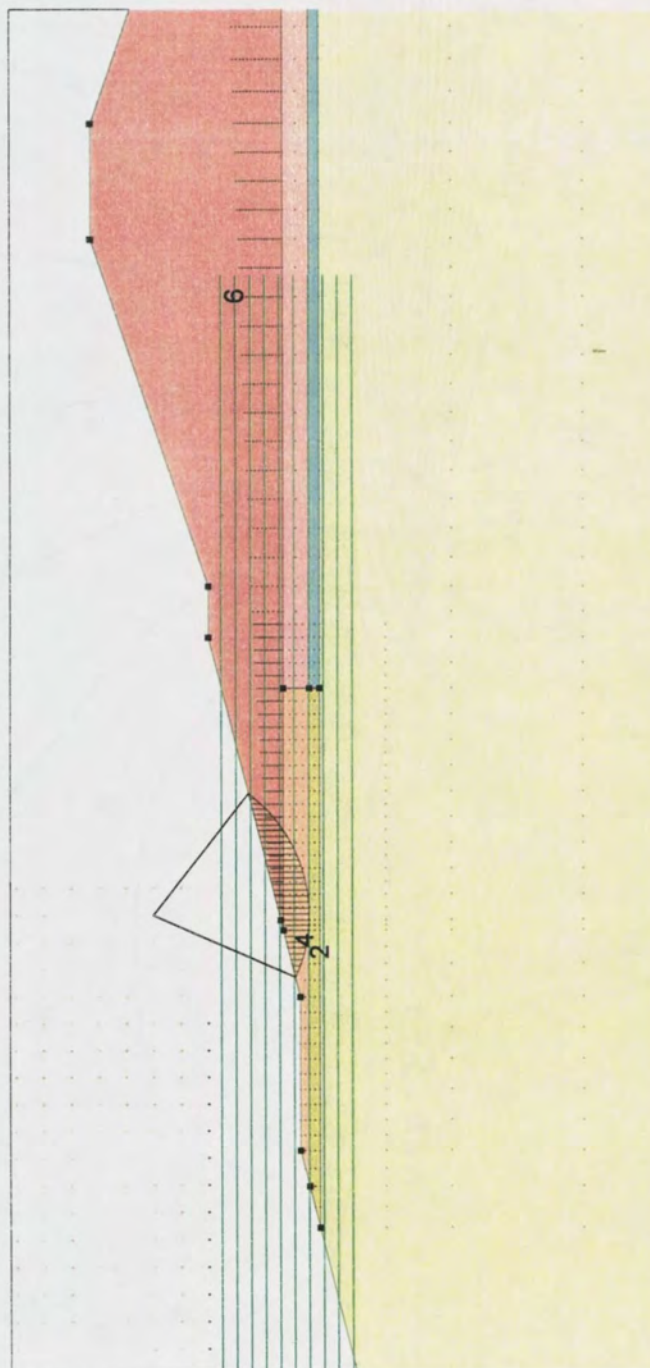
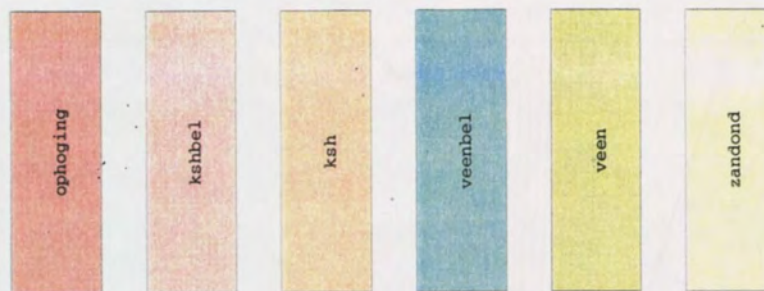
Xm : 56,84 [m]
Ym : 2,95 [m]
Radius : 9,26 [m]
Safety : 1,277

DHV M&I Postbus 1076 3800 BB Amersfoort Phone 033-4683380 Fax 033-4682801	date	drw.
	19-05-2000	-
		ctr.
Depot IJsseloog, mseep ijssel11 holocéen x 10 binnenteen depot -5,20 m, Ketelmeer -0,30 m k=8,6 MStab 8.1 : IJssel11 stabiliteit.sti		form.
	Annex -	A4



Critical Circle Bishop

LEGEND OF LAYERS



Xm : 58,42 [m] Radius : 11,89 [m]
 Ym : 5,22 [m] Safety : 1,297

DHV M&I

Postbus 1076
 3800 BB Amersfoort

Phone 033-4683380
 Fax 033-4682801

date
 23-05-2000

drw.

-

Stabiliteit binnentalud, berm 12 m, zand 8 m/d
 Ketelmeer NAP -0,30 m,depot NAP -4,50 m,nsi 300mm

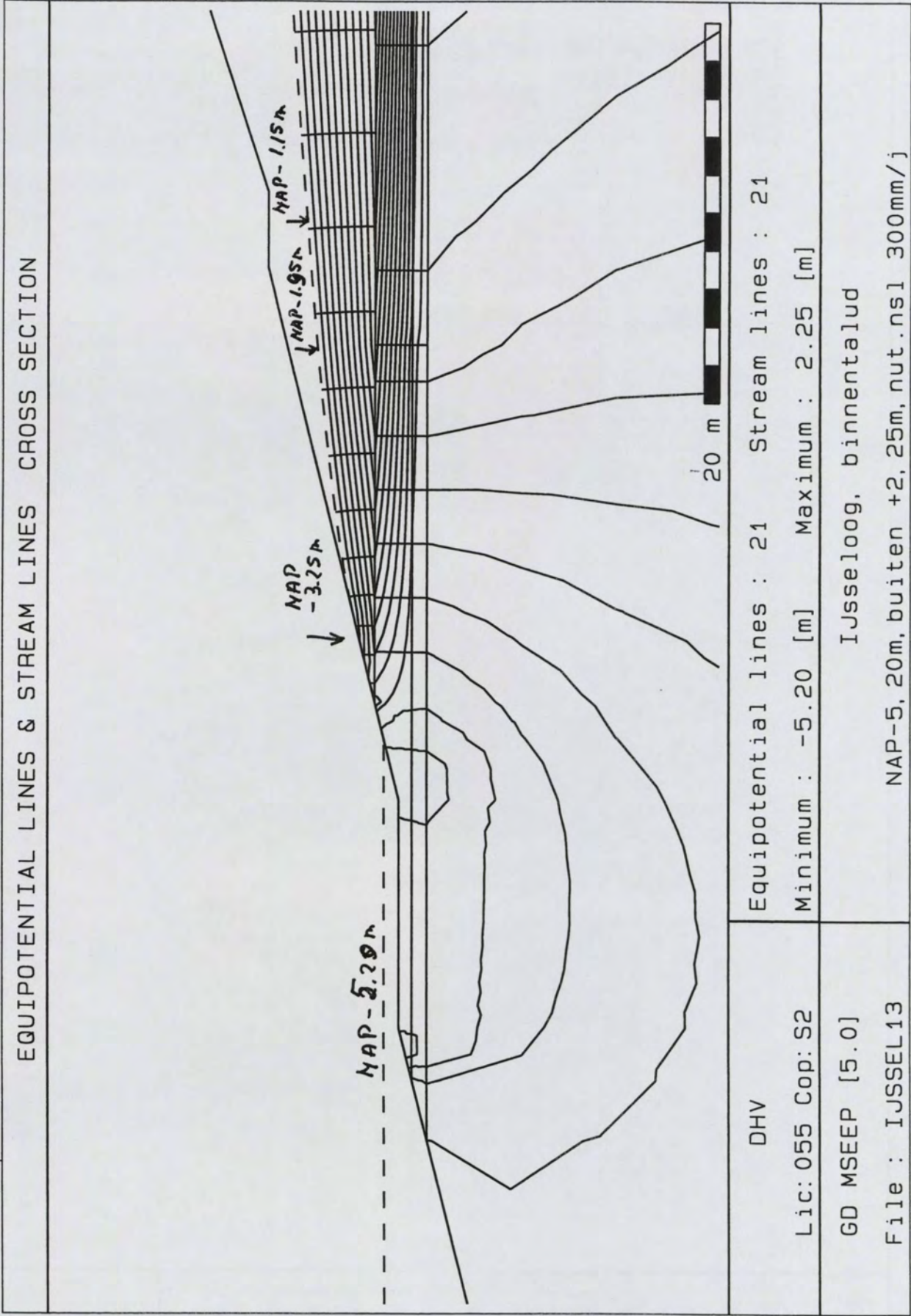
ctr.

form.

MStab 8.1 : IJssel12 stabiliteit.sti

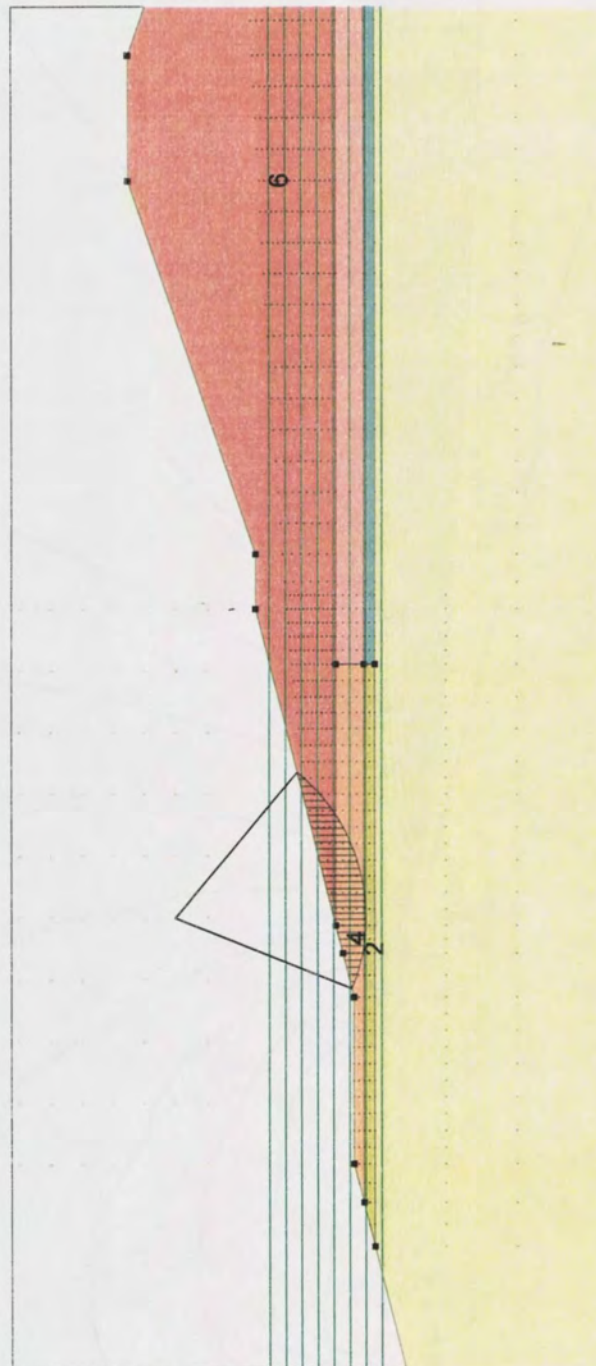
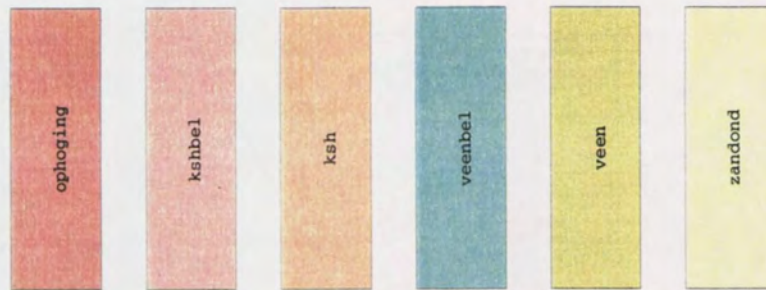
Annex -

A4



Critical Circle Bishop

LEGEND OF LAYERS



Xm : 57,78 [m] Radius : 13,52 [m]
Ym : 6,67 [m] Safety : 1,174

DHV M&I

Postbus 1076
3800 BB Amersfoort

Phone 033-4683380
Fax 033-4682801

date
19-05-2000

drw.

-

Stabiliteit IJsseloog, mseep ijssel13
depotpeil -5,20 m; ketelmeer +2,25 m; k = 8,6 m/d

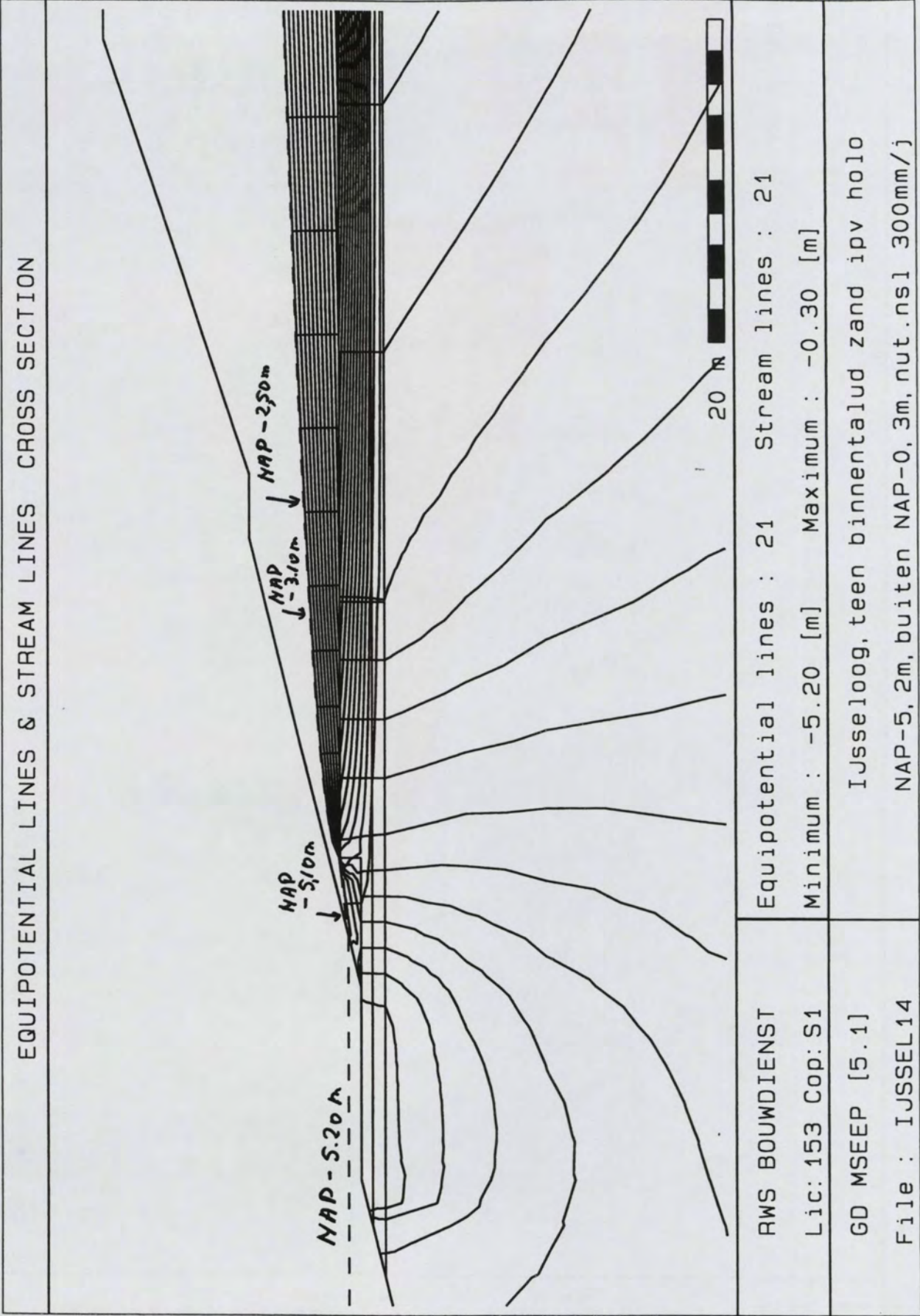
MStab 8.1 : IJssel13 stabiliteit.sti

Annex -

ctr.

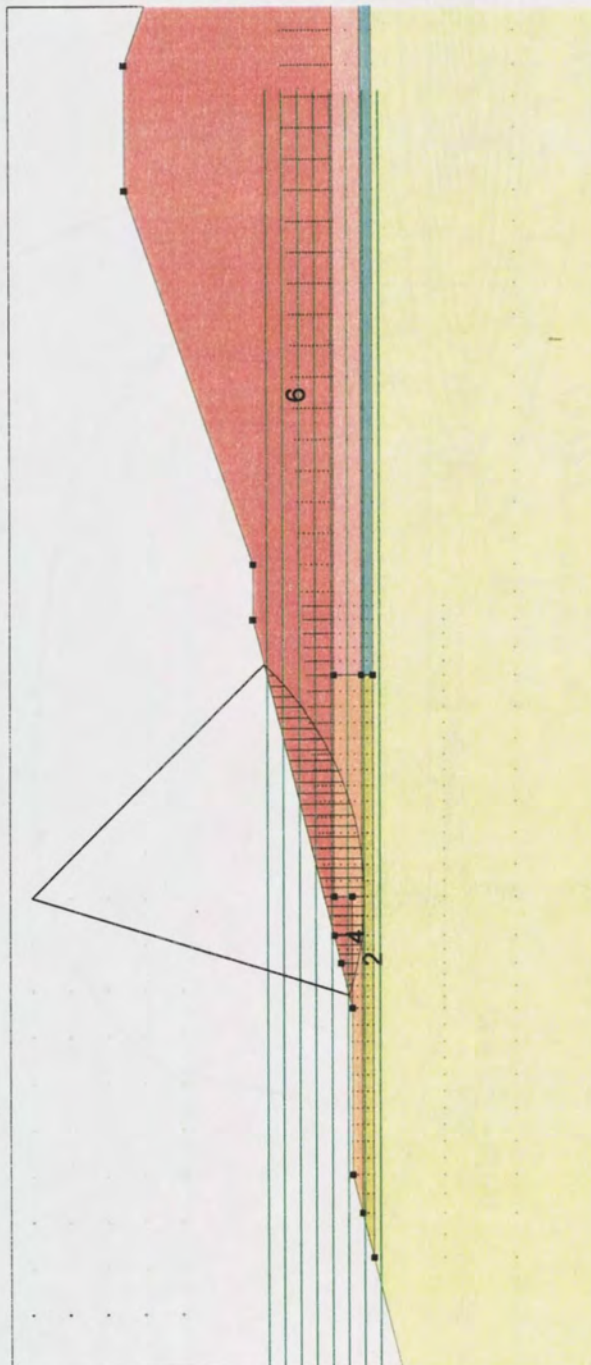
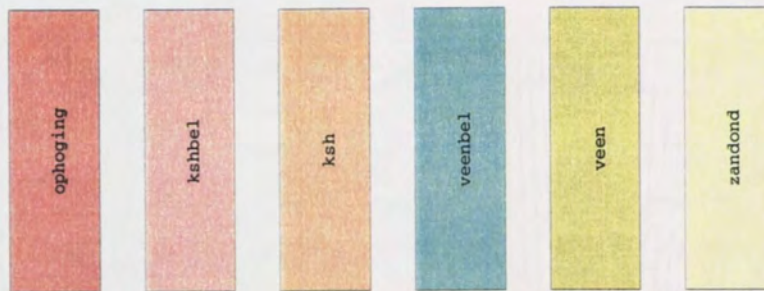
form.

A4



Critical Circle Bishop

LEGEND OF LAYERS



Xm : 60,00 [m]
 Ym : 16,67 [m]
 Radius : 23,52 [m]
 Safety : 1,482

DHV M&I

Postbus 1076
 3800 BB Amersfoort

Phone 033-4683380
 Fax 033-4682801

date
 19-05-2000

drw.

-

IJsseloog, teen binnentalud zand ipv holocéen
 NAP-5,2 m, buiten NAP-0,3 m, nut neerslag 300mm/j

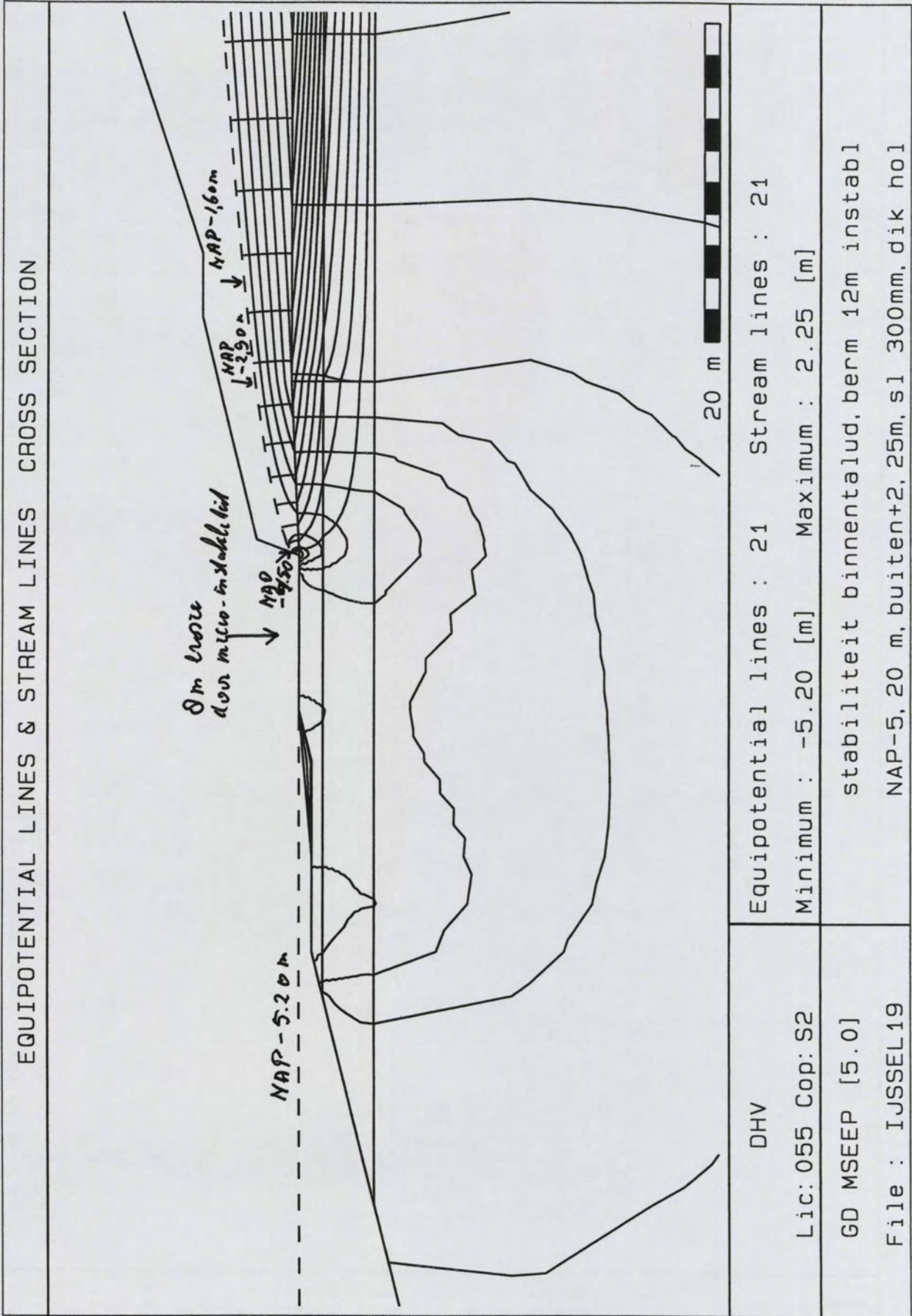
MStab 8.1 : IJssel14 stabiliteit.sti

Annex -

ctr.

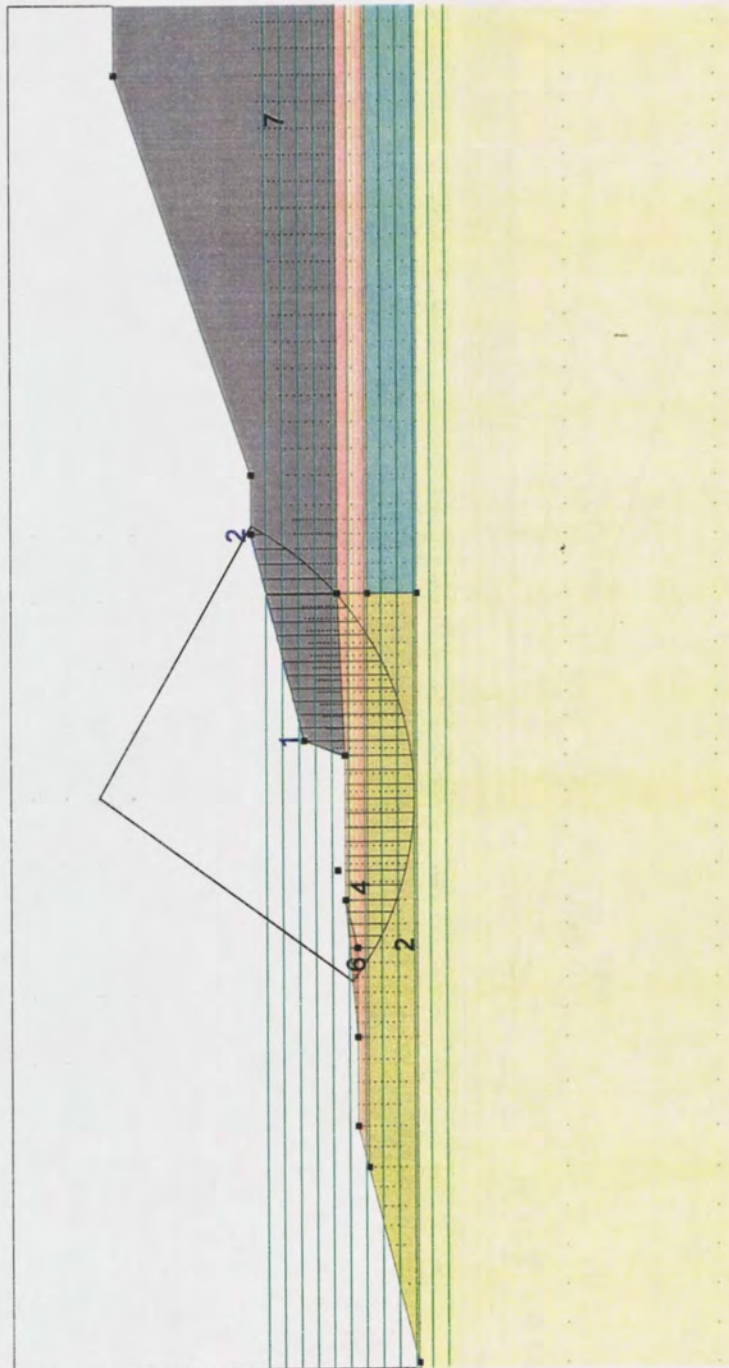
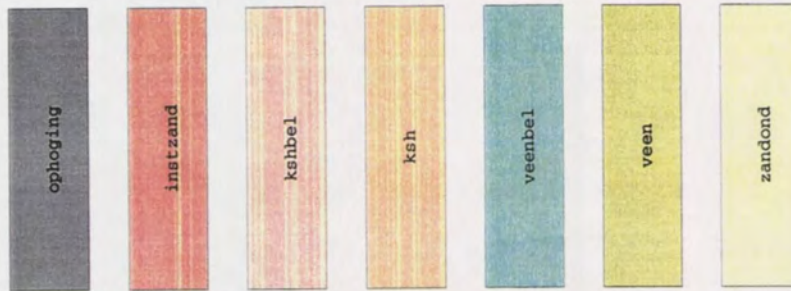
form.

A4



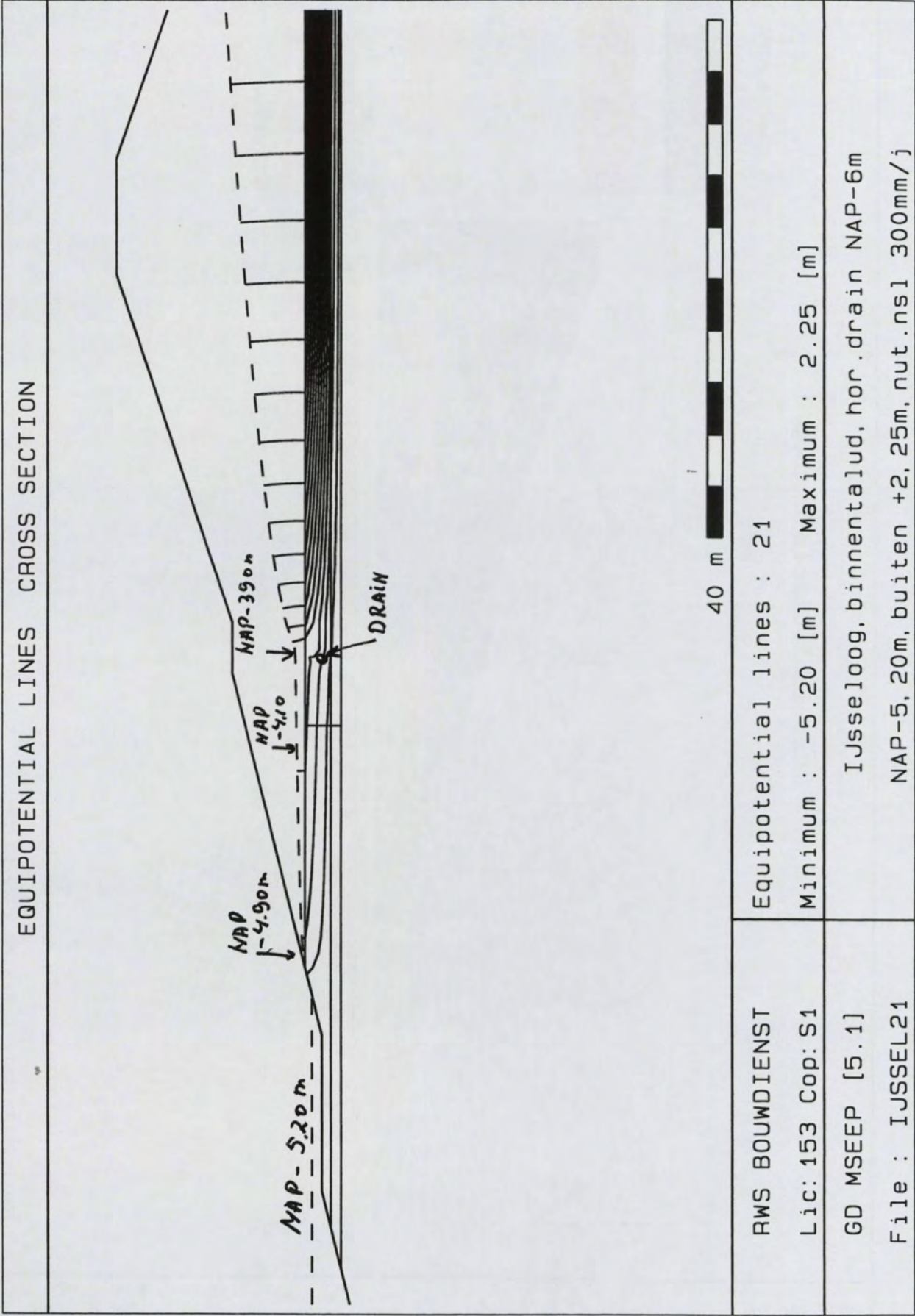
Critical Circle Bishop

LEGEND OF LAYERS



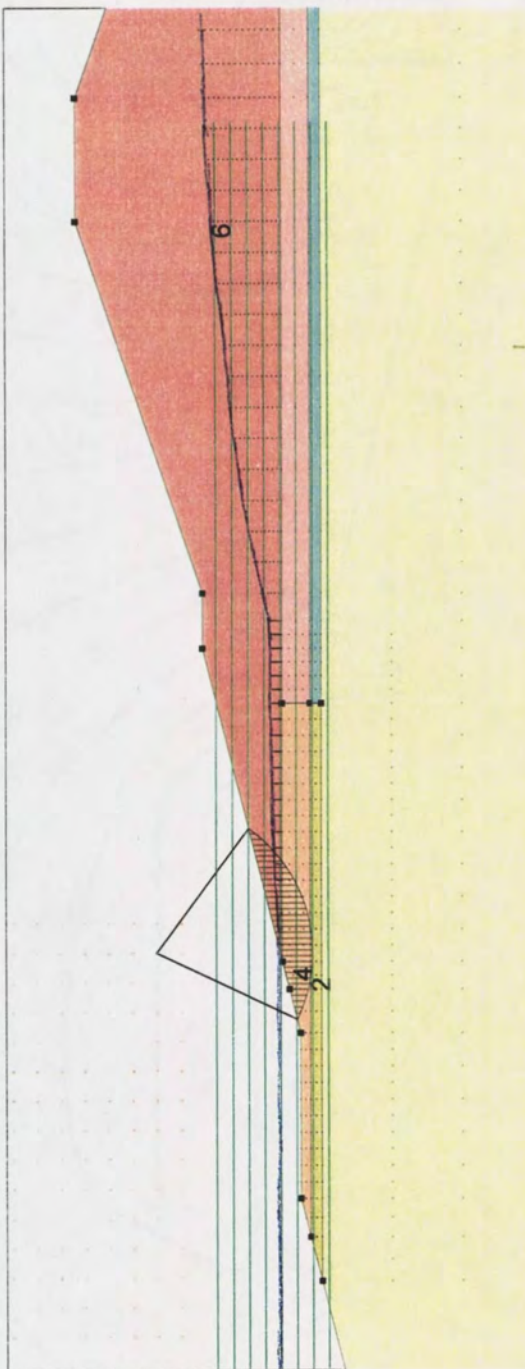
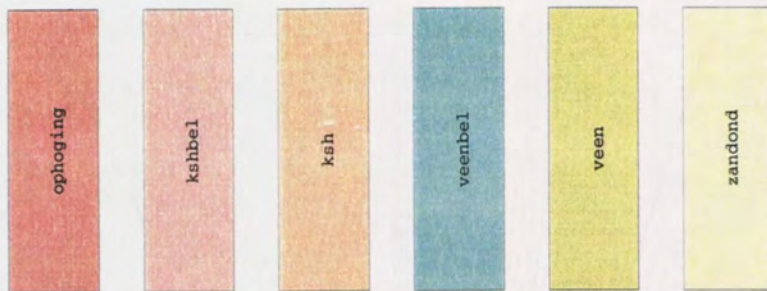
Xm : 62,22 [m] Radius : 20,93 [m]
Ym : 11,11 [m] Safety : 0,916

<div data-bbox="186 1968 355 2000" data-label="Text"> <p>DHV M&I</p> </div>	<div data-bbox="565 1960 699 2007" data-label="Text"> <p>Postbus 1076 3800 BB Amersfoort</p> </div>	<div data-bbox="816 1957 991 2004" data-label="Text"> <p>Phone 033-4683380 Fax 033-4682801</p> </div>	<div data-bbox="1181 1937 1327 2007" data-label="Text"> <p>date 23-05-2000</p> </div>	<div data-bbox="1412 1937 1458 1960" data-label="Text"> <p>drw.</p> </div>
<p>Stabiliteit binnentalud na micro-instabiliteit depot -5,2 m; ketelmeer 2,25 m; berm 12 m; hol dik</p>	<p>MStab 8.1 : IJssel19 stabiliteit.sti</p>	<p>Annex -</p>	<p>ctr.</p>	<p>form. A4</p>



Critical Circle Bishop

LEGEND OF LAYERS



Xm : 57,86 [m] Radius : 11,14 [m]
 Ym : 4,29 [m] Safety : 1,376

DHV M&I

Postbus 1076
 3800 BB Amersfoort

Phone 033-4683380
 Fax 033-4682801

date

19-05-2000

drw.

-

ctr.

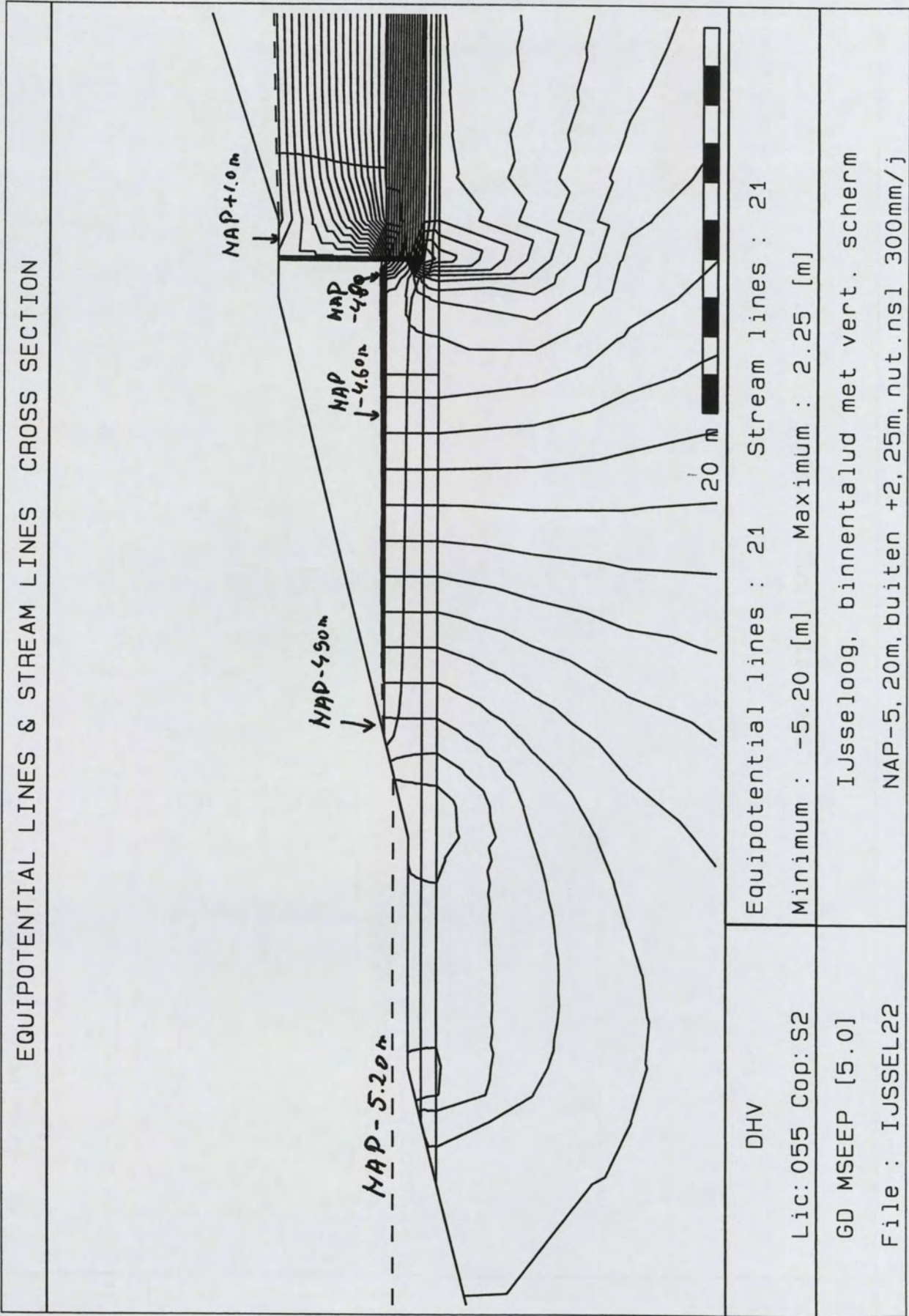
IJsseloog, binnentalud, hor drain NAP -6 m
 NAP-5,20 m, buiten +2,25 m, nuttige nsl 300 mm/j

MStab 8.1 : IJssel21 stabiliteit.sti

Annex -

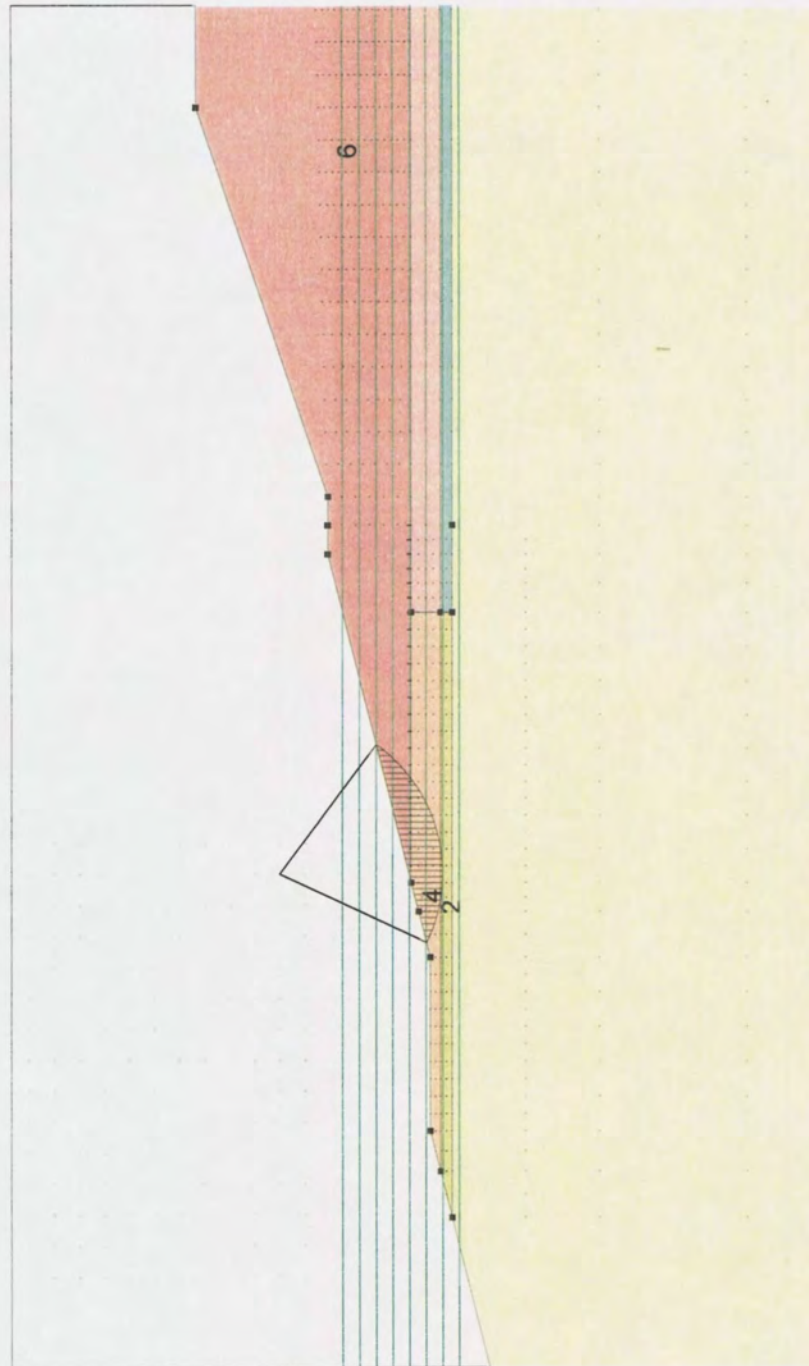
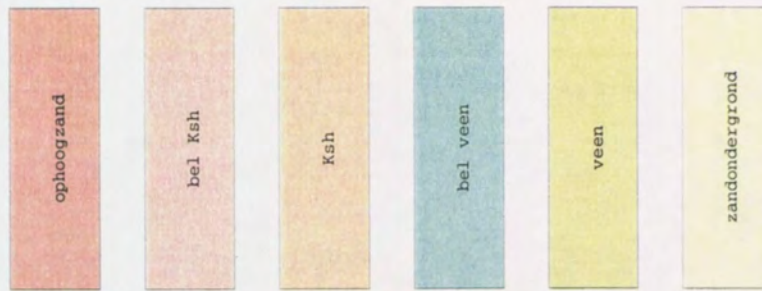
form.

A4



Critical Circle Bishop

LEGEND OF LAYERS



Xm : 57857,00 [mm] Radius : 11143,00 [mm]
Ym : 4286,00 [mm] Safety : 1.404

DHV M&I

Postbus 1076
3800 BB Amersfoort

Phone 033-4683380
Fax 033-4682801

date

19-05-2000

drw.

-

ctr.

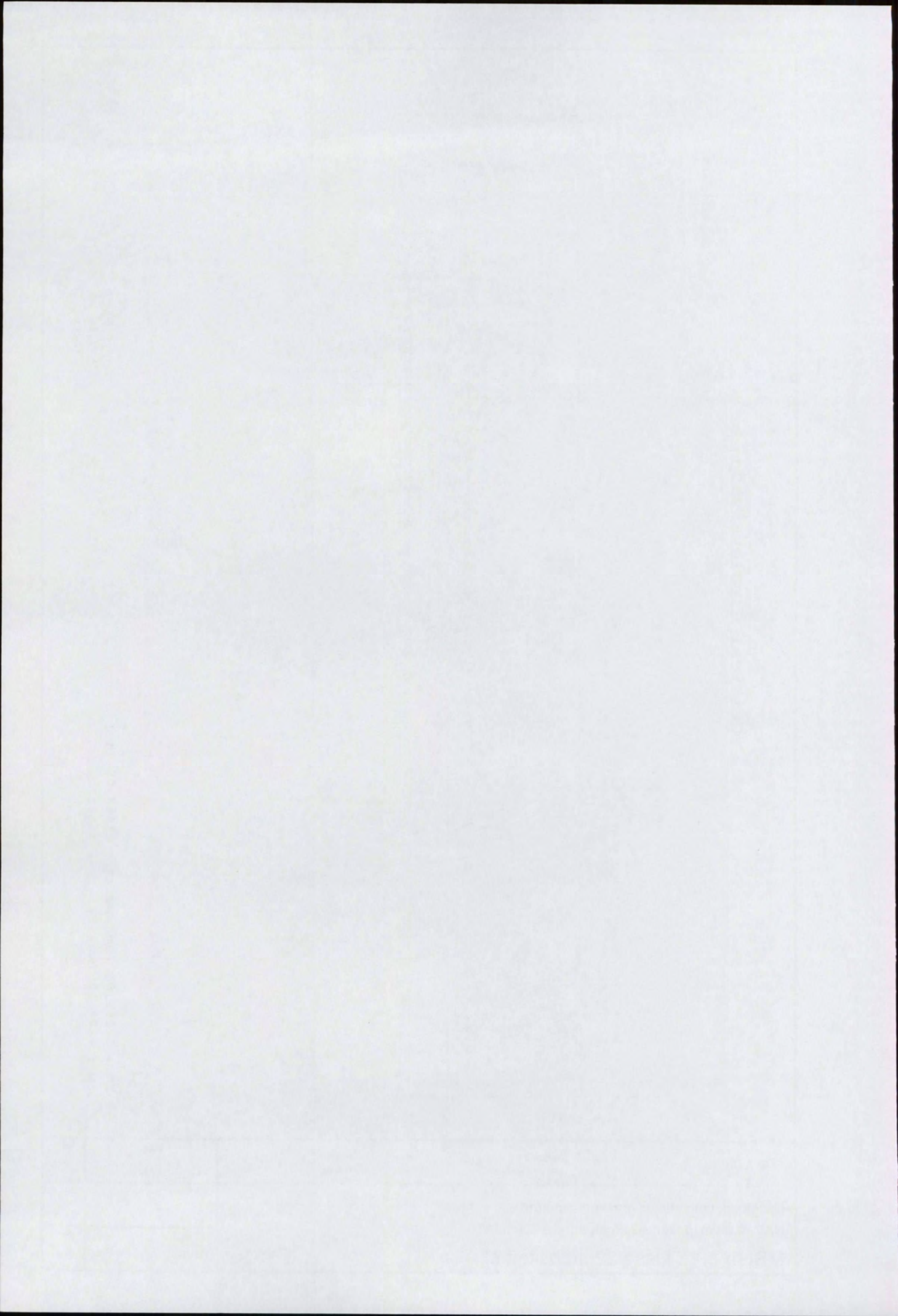
IJsseloog, binnentalud met vert. scherm
NAP -5,20 m, buiten +2,25 m, nut nsl 300 mm³/j

MStab 8.1 : IJssel22 stabiliteit.sti

Annex -

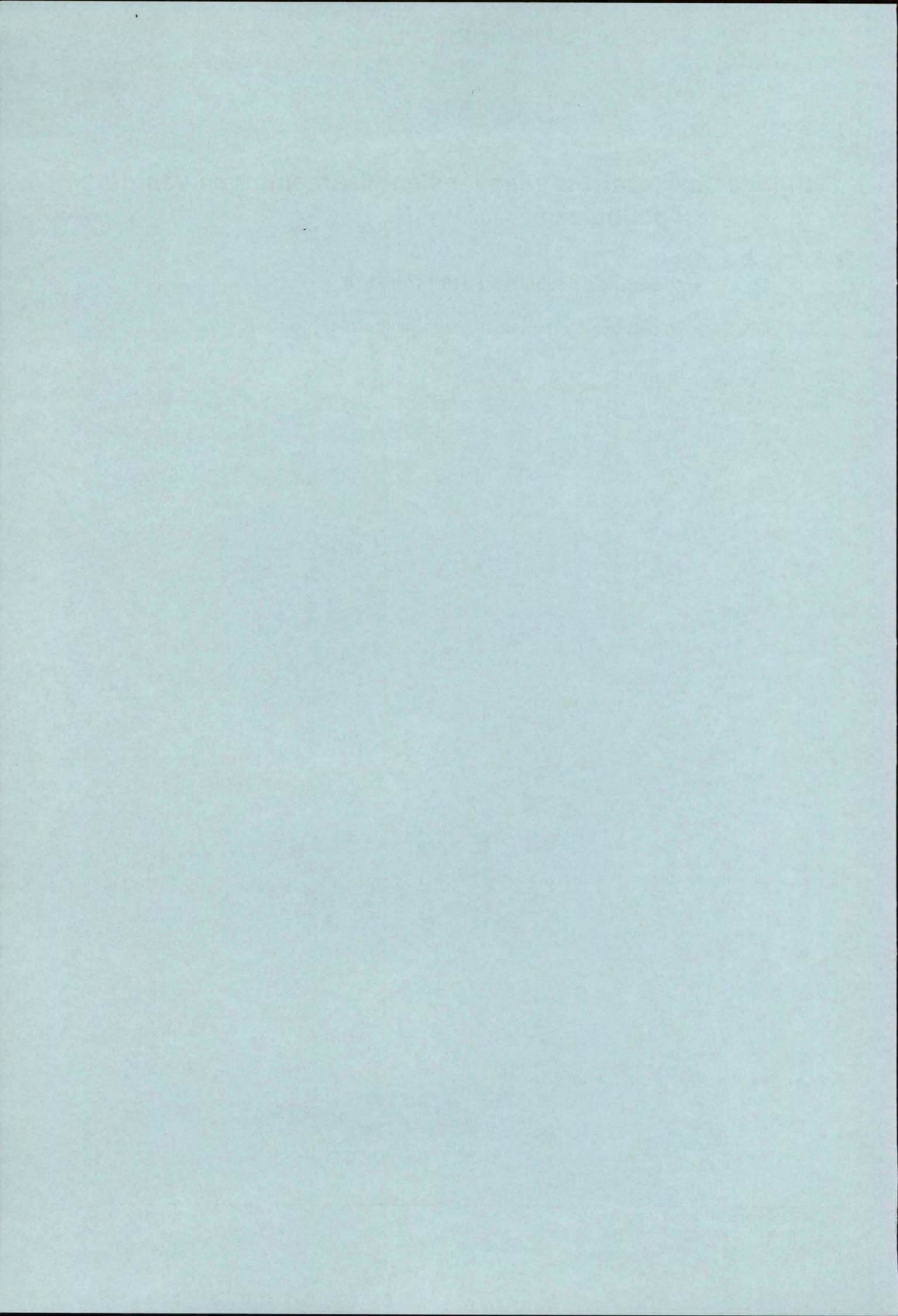
form.

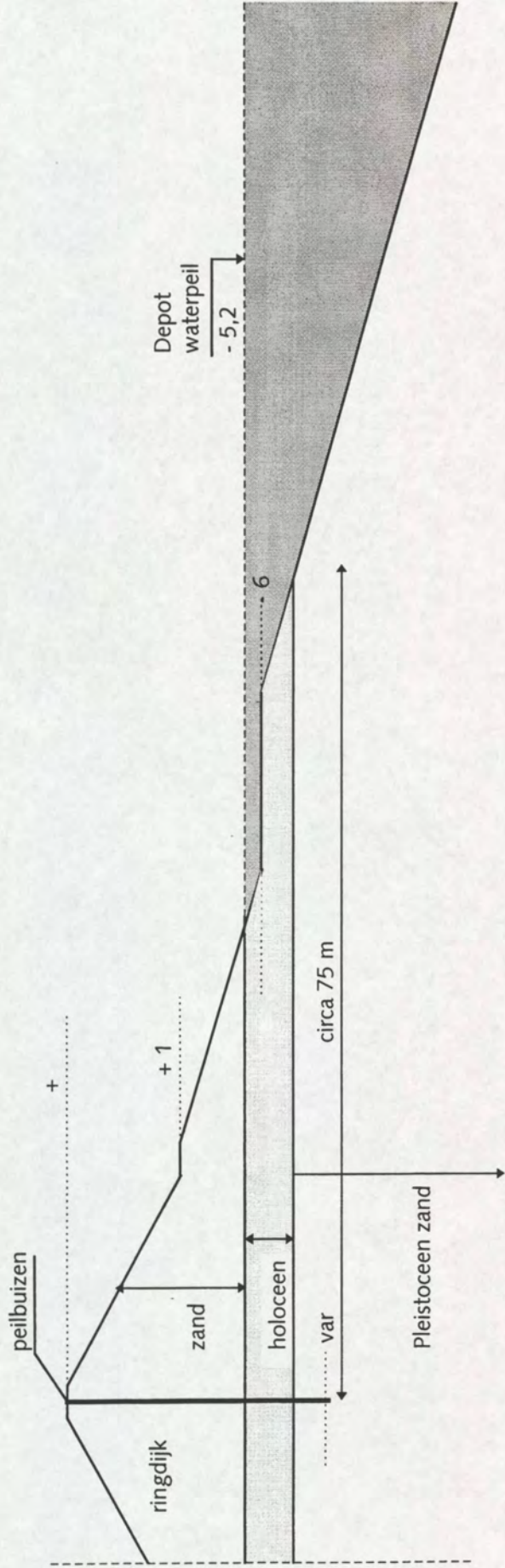
A4



Bijlage 1a: Locaties, gegevens en waarnemingen van de peilbuizen

- 'Bestaande' peilbuizen Pb10 / t/m Pb18
- In oktober '99 geplaatste extra peilbuizen



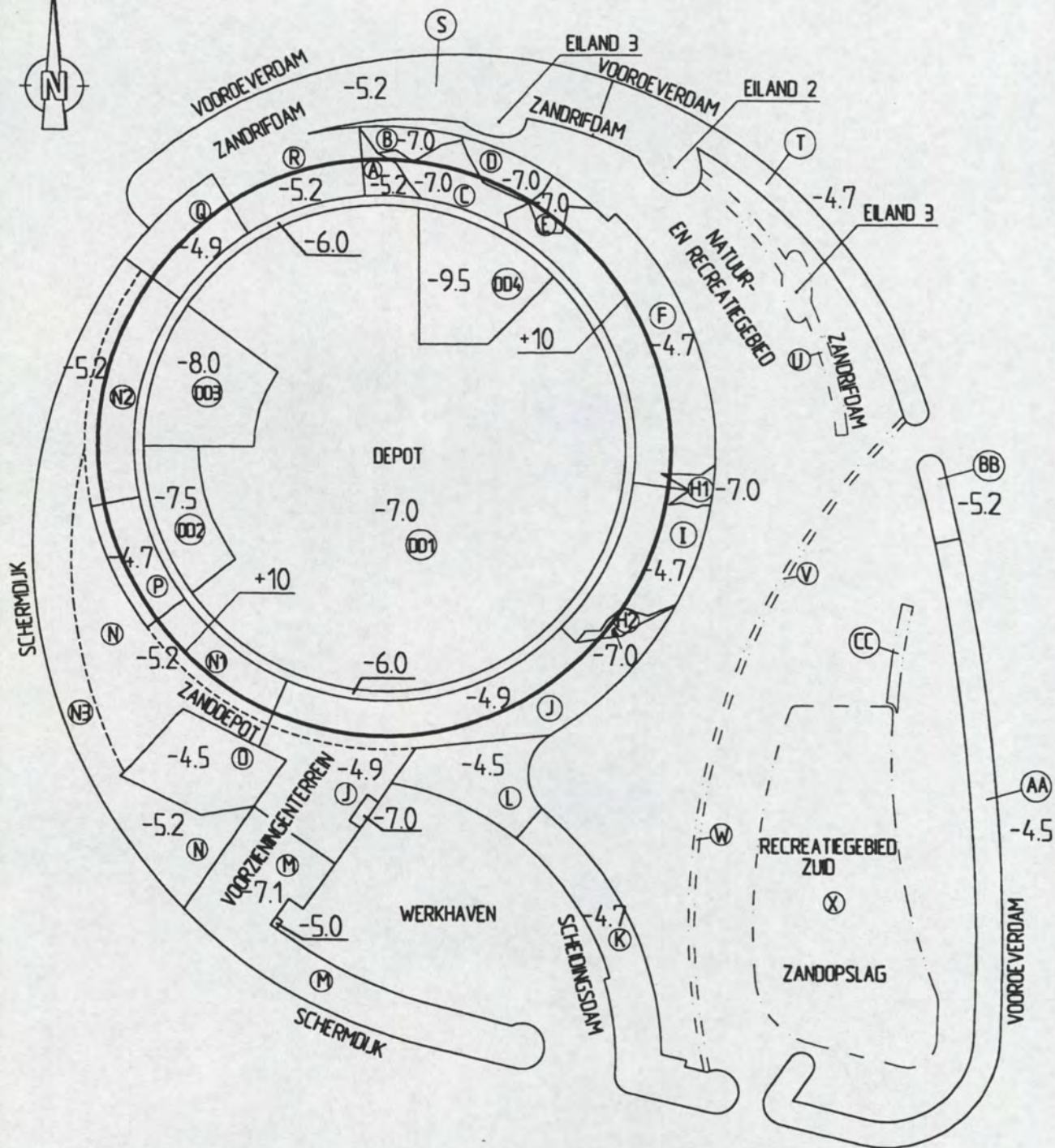


Peilbuizen in de ringdijk

Dieptes variëren van NAP - 9,75 m tot NAP - 13,0 m

Peilbuis	Filterdiepte (m -NAP)
pb 10 (noord)	10,70-11,70
pb 11 (noord-oost)	9,90-10,90
pb 12 (oost)	10,50-11,50
pb 13 (zuid-oost)	12,00-13,00
pb 14 (zuid)	8,75-9,75
pb 15 (zuid-west)	9,60-10,60
pb 16 (west)	9,90-10,90
pb 17 (noord-west)	9,70-10,70
pb 18 (voorzieningenterrein)	8,90-9,90

N.B. ter plaatse van de geulen aan de noord/oost zijde ligt de onderkant van 't holocene lager dan in deze schets staat aangegeven !



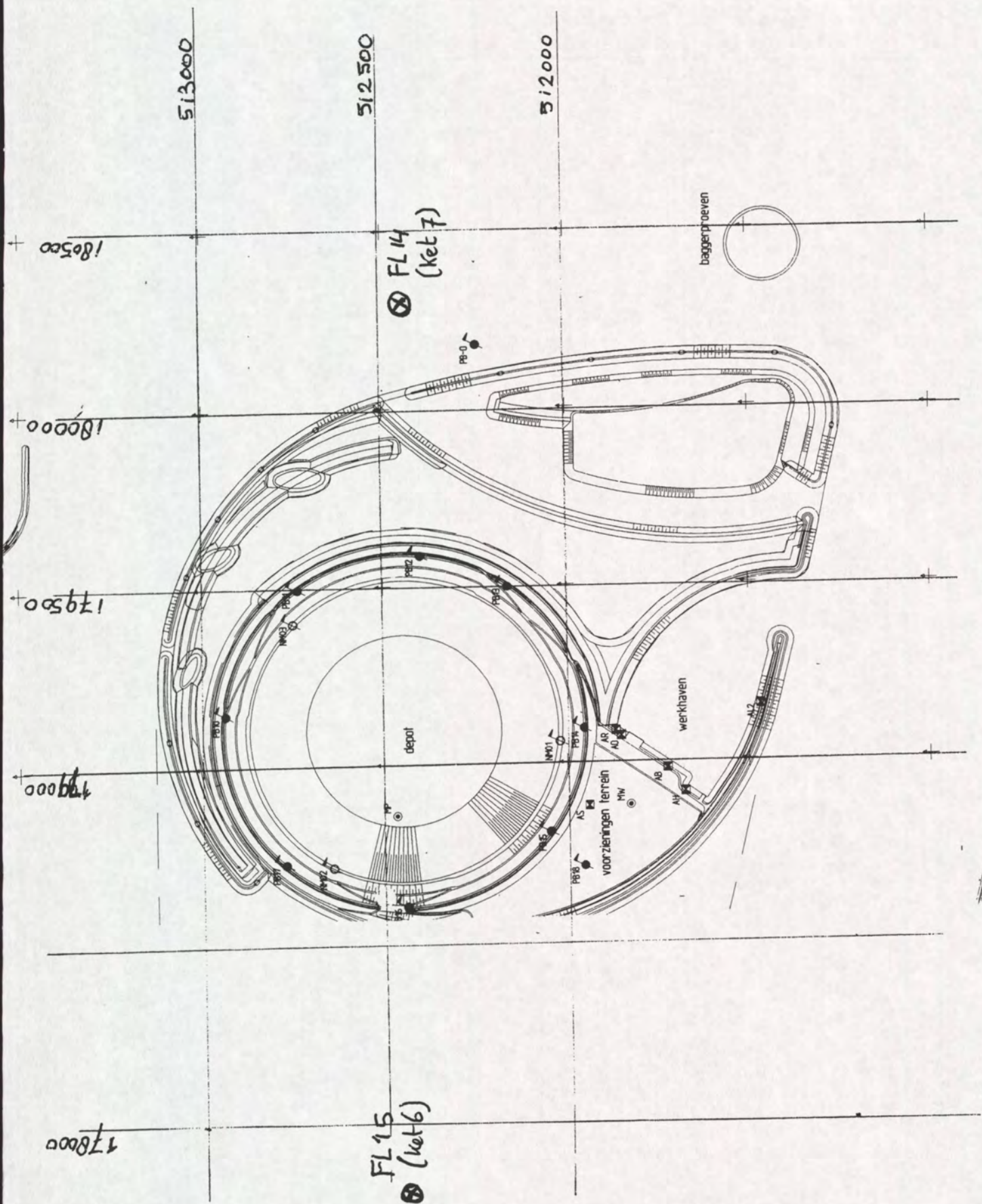
VERKLARING:

(M) -7.1

CUNETAANDUIDING MET BIJBEHORENDE DIEPTE T.O.V. NAP

NAP +10m KRUINLIJN RINGDIJK

0 125 250 500m



Ingemeten coördinaten en hoogtes (tov NAP)

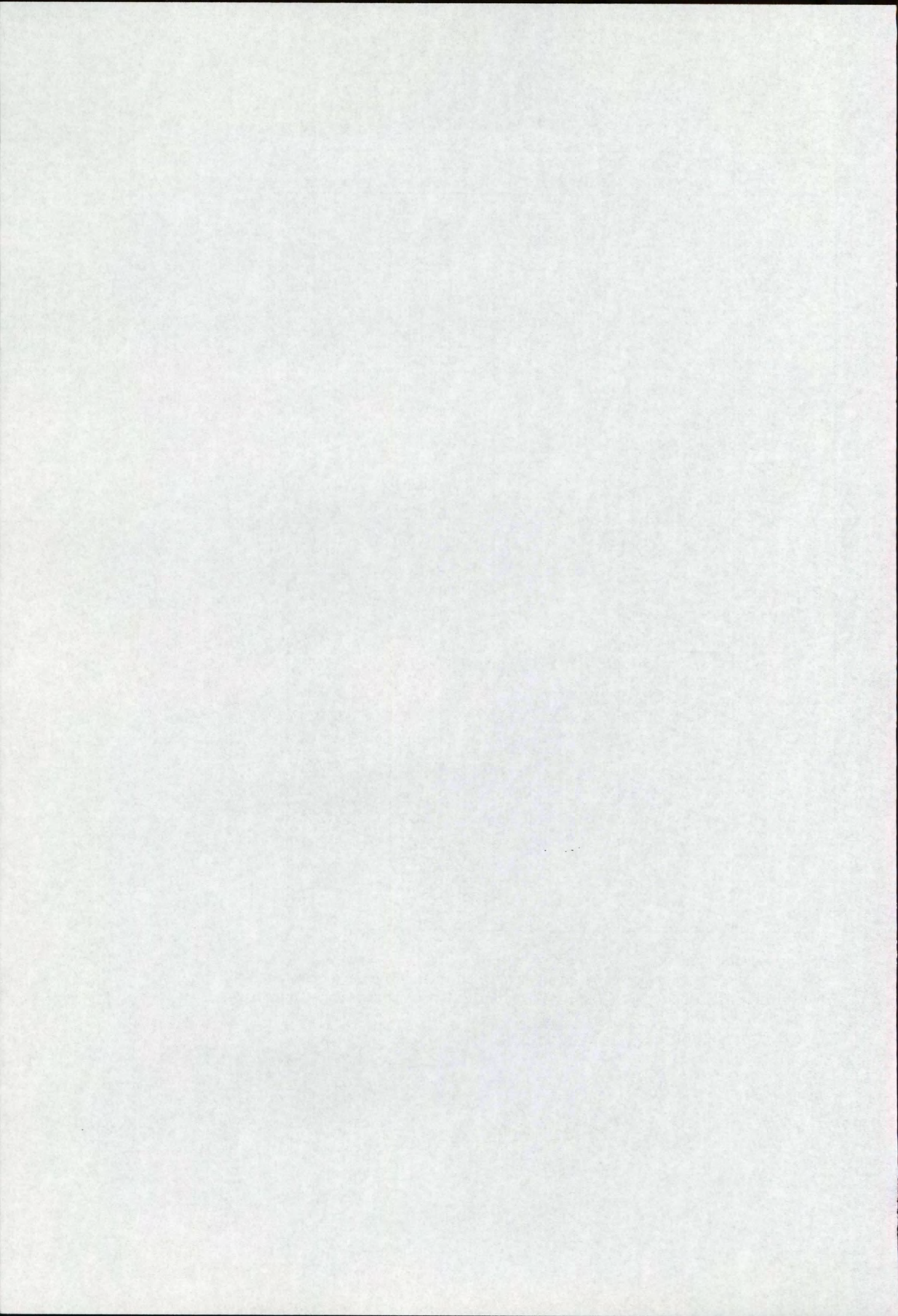
Peilbuis	bovenkant pb t.o.v. NAP	bovenkant mv t.o.v. NAP	X coördinaat	Y coördinaat	
raai 1:	1A	3,28	2,85	179049	511947
	1B	0,77	0,50	179054	511983
	1C	-0,87	-1,24	179060	511997
	1D	-1,98	-2,28	179063	512003
	1a	3,23	2,92	179045	511948
	1b	0,48	0,20	179051	511984
	1c	-0,83	-1,17	179056	511997
	1d	-2,15	-2,25	179060	512002
	1e	-2,78	-4,38	179084	512016
	raai 2:	2A	10,97	9,91	179142
2B		1,39	1,39	179139	511984
2C					
2D					
2a		10,22	9,86	179128	511949
2b		1,27	1,32	179129	511984
2c		0,11	-0,84	179129	511993
2d		-1,85	-2,71	179127	512001
raai 3:		3A	10,98	9,94	179593
	3B	1,23	1,31	179559	512446
	3C				
	3D				
	3a	10,26	9,89	179593	512455
	3b	1,25	1,30	179558	512456
	3c				
	3d				
	raai 4:	4A	10,30	9,95	178659
4B		1,29	1,34	178688	512664
4C					
4D					
4a		10,29	9,92	178664	512689
4b		1,34	1,36	178693	512673
4c		-0,37	-0,69	178700	512667
4d		-2,15	-2,93	178707	512662
raai 5:		5a	10,28	9,94	179106
	5b	1,06	1,11	179106	512909

algemeen: peilbuizen zijn genummerd van boven (a) naar beneden (d)

Peilbuis	bovenkant pb t.o.v. NAP	bovenkant mv t.o.v. NAP	X coördinaat	Y coördinaat
V A	2,96	2,69	178989	511925
V B	2,71	2,58	178953	511881
V C	2,97	2,62	178994	511852
V D	3,37	3,01	179024	511897
pb 10	11,16	*	179145	512935
pb 11	11,60	*	179494	512735
pb 12	11,08	*	179586	512396
pb 13	11,44	*	179496	512158
pb 14	4,67	*	179094	511953
pb 15	11,66	*	178806	512047
pb 16	11,56	*	178604	512440
pb 17	11,23	*	178727	512772
pb 18	4,34	*	178709	511955
Diepe filters:				
14-1	2,74	2,70	179091	511954
14-2	2,76	2,70	179091	511954
14-3	2,79	2,70	179091	511954
15-1	10,74	9,97	178803	512048
15-2	10,80	9,97	178803	512048
15-3	10,86	9,97	178803	512048
16-1	11,43	10,73	178605	512441
16-2	11,50	10,73	178605	512441
16-3	11,55	10,73	178605	512441
17-1	10,68	9,93	178727	512776
17-2	10,70	9,93	178727	512776
17-3	10,73	9,93	178727	512776

V: voorzieningen terrein

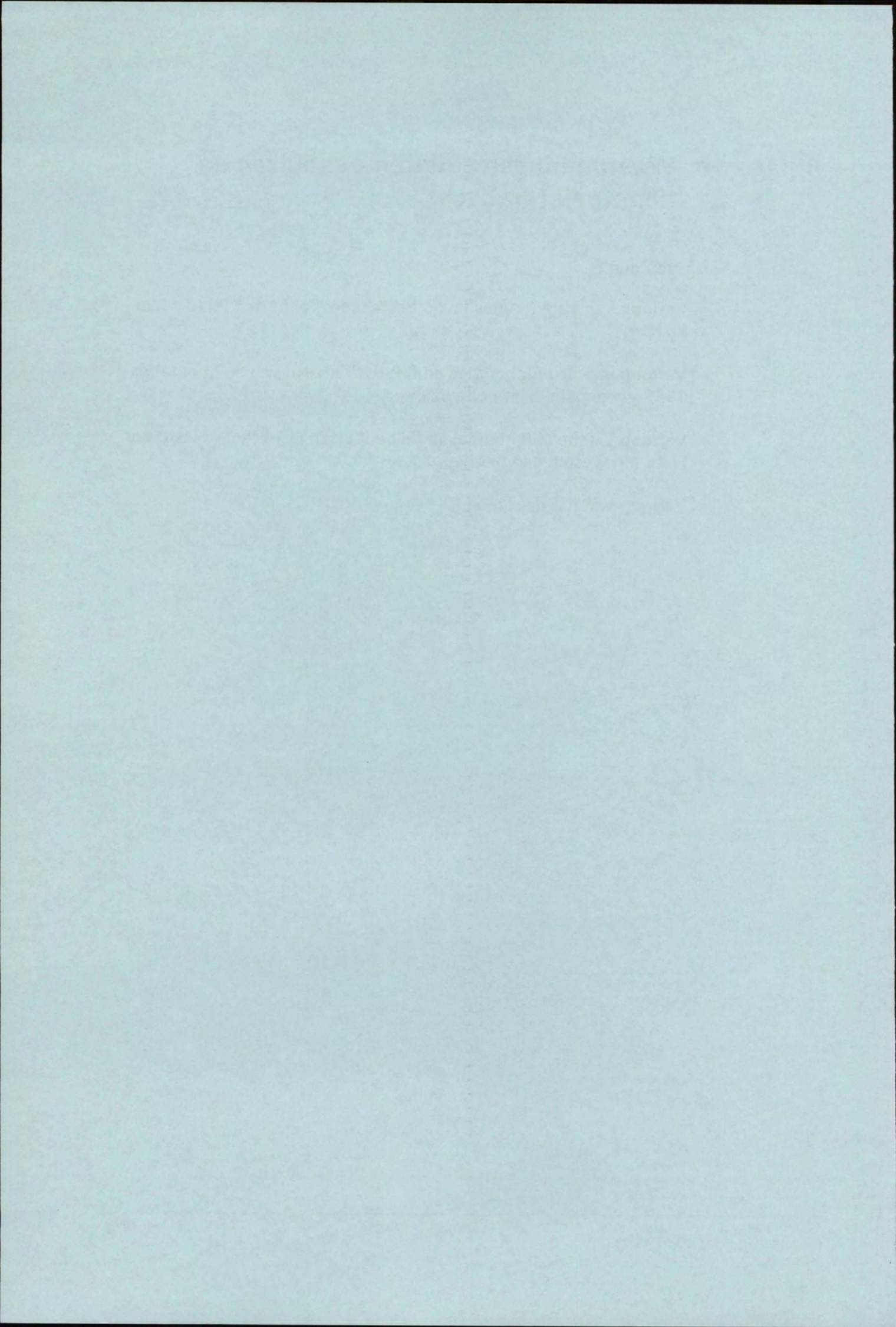
* : maaiveld hoogte niet bekend. Pb-en staan, muv pb 14 en 18, in de hoogste punt van de kruin
pb 14 staat in de coupure (bij 14-1 t/m 14-3) en pb 18 staat op voorzieningen terrein



Bijlage 1b: Waarnemingsresultaten peilbuizen en depotpeil (grafisch)

Figuren met::

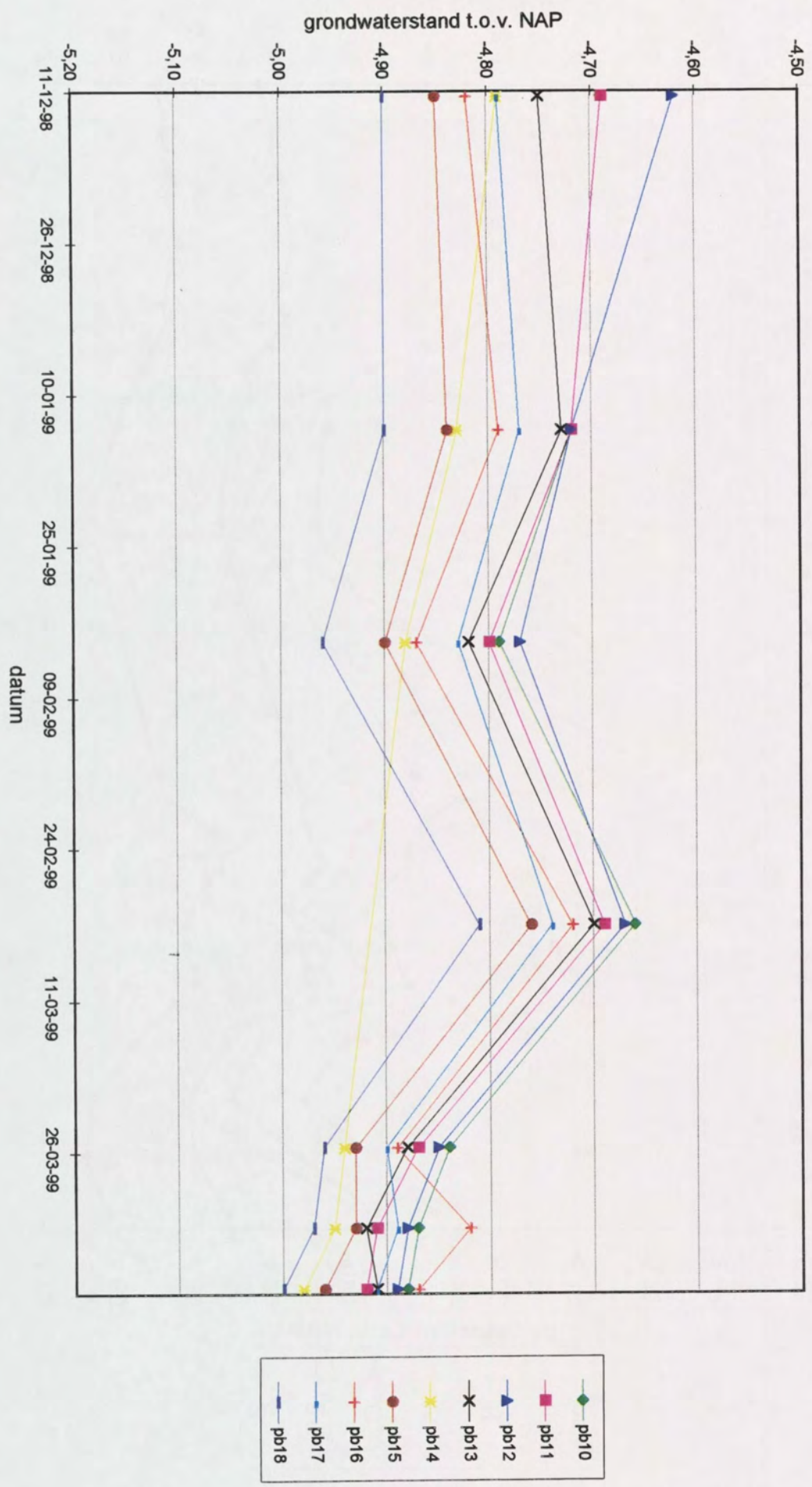
- Verloop van stijghoogtes in de 'bestaande' peilbuizen Pb10 / t/m Pb18
- Verloop van de stijghoogtes en freatisch niveau van de in oktober 1999 geplaatste extra peilbuizen
- Verloop van de stijghoogtes in de peilbuizen FL14 (ten oosten) en FL15 ten westen van het depot
- Verloop van het depotpeil

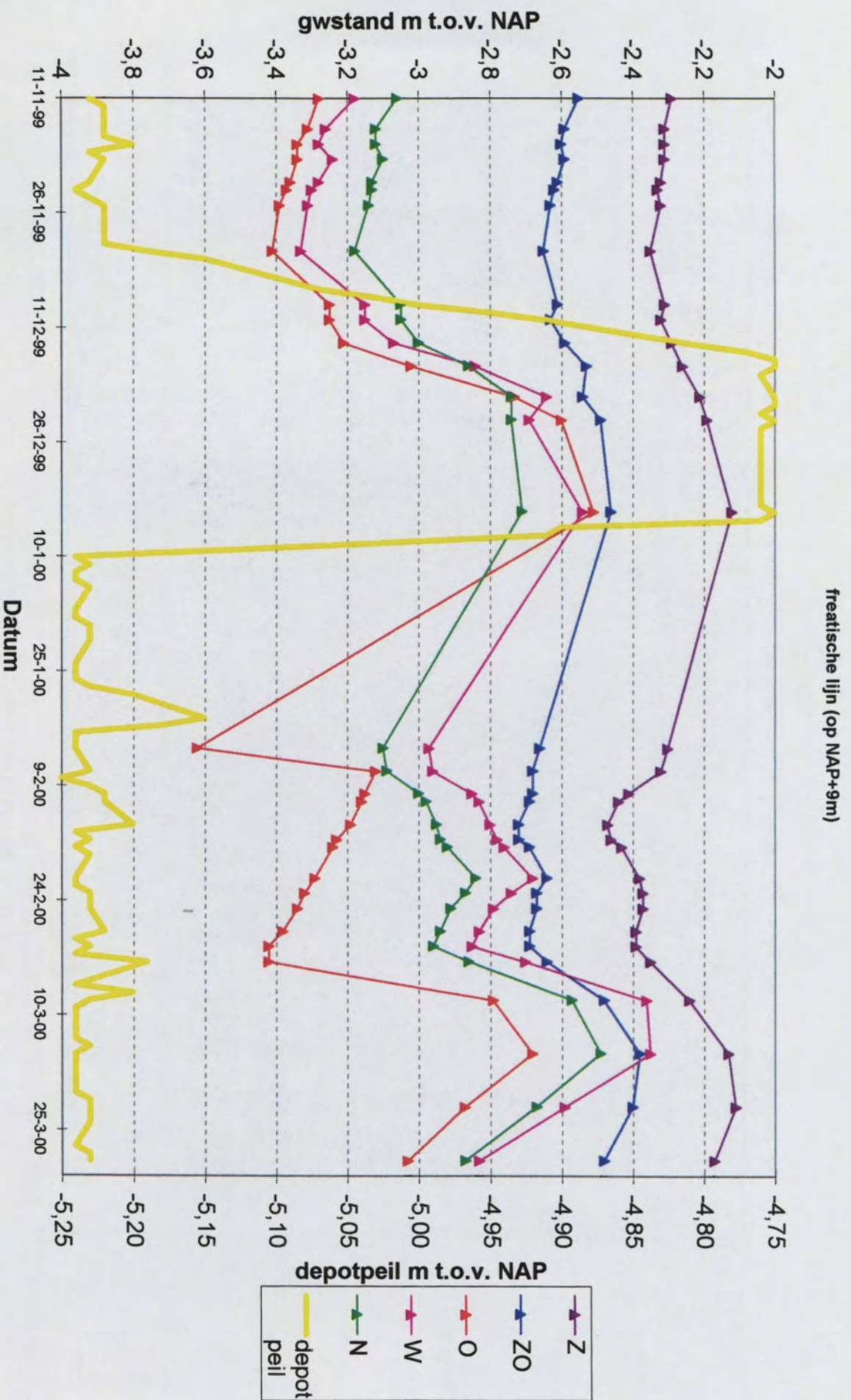


Grondwaterstand peilbuisen depot in m. t.o.v. NAP

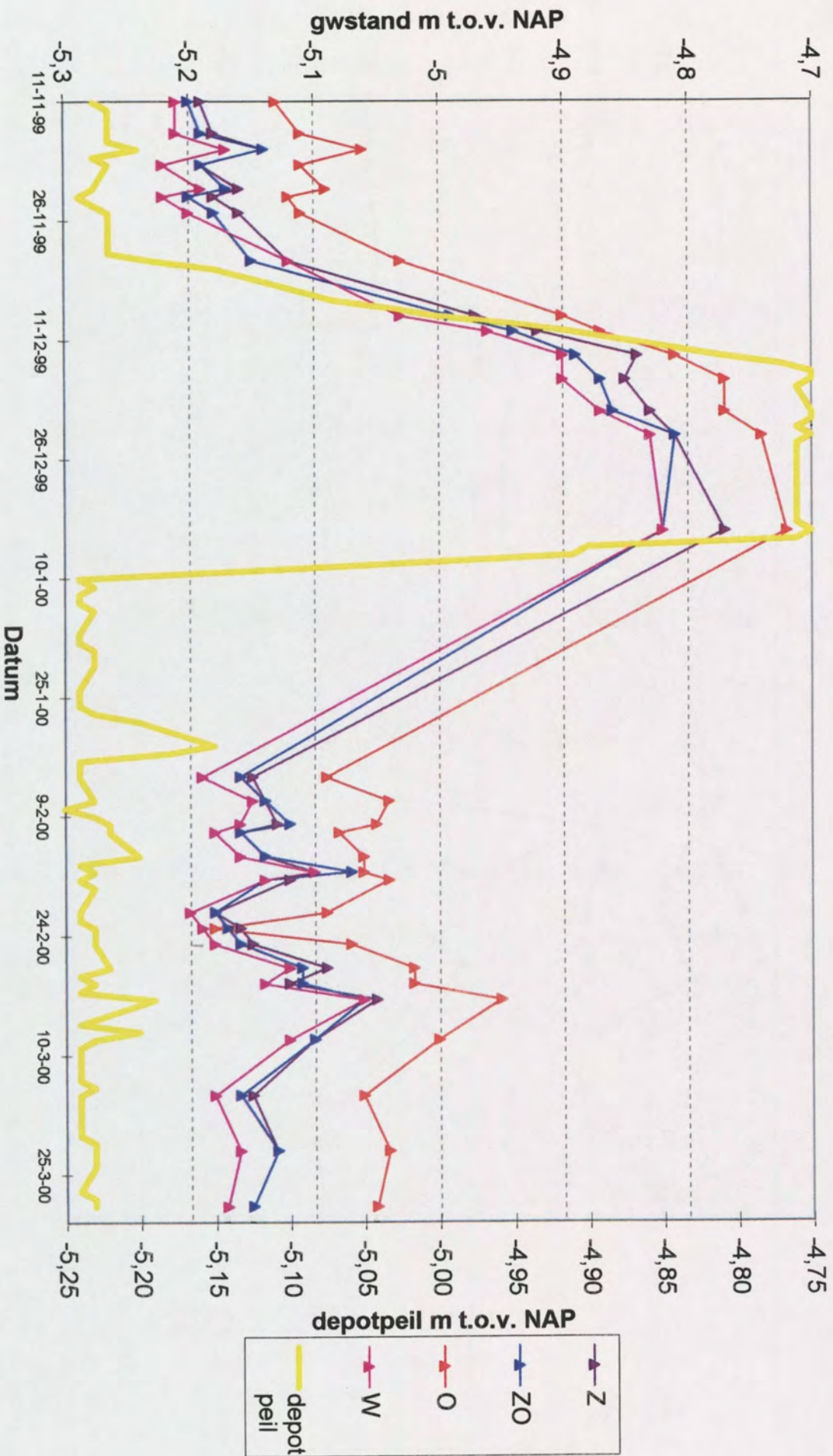
[illegible][illegible]

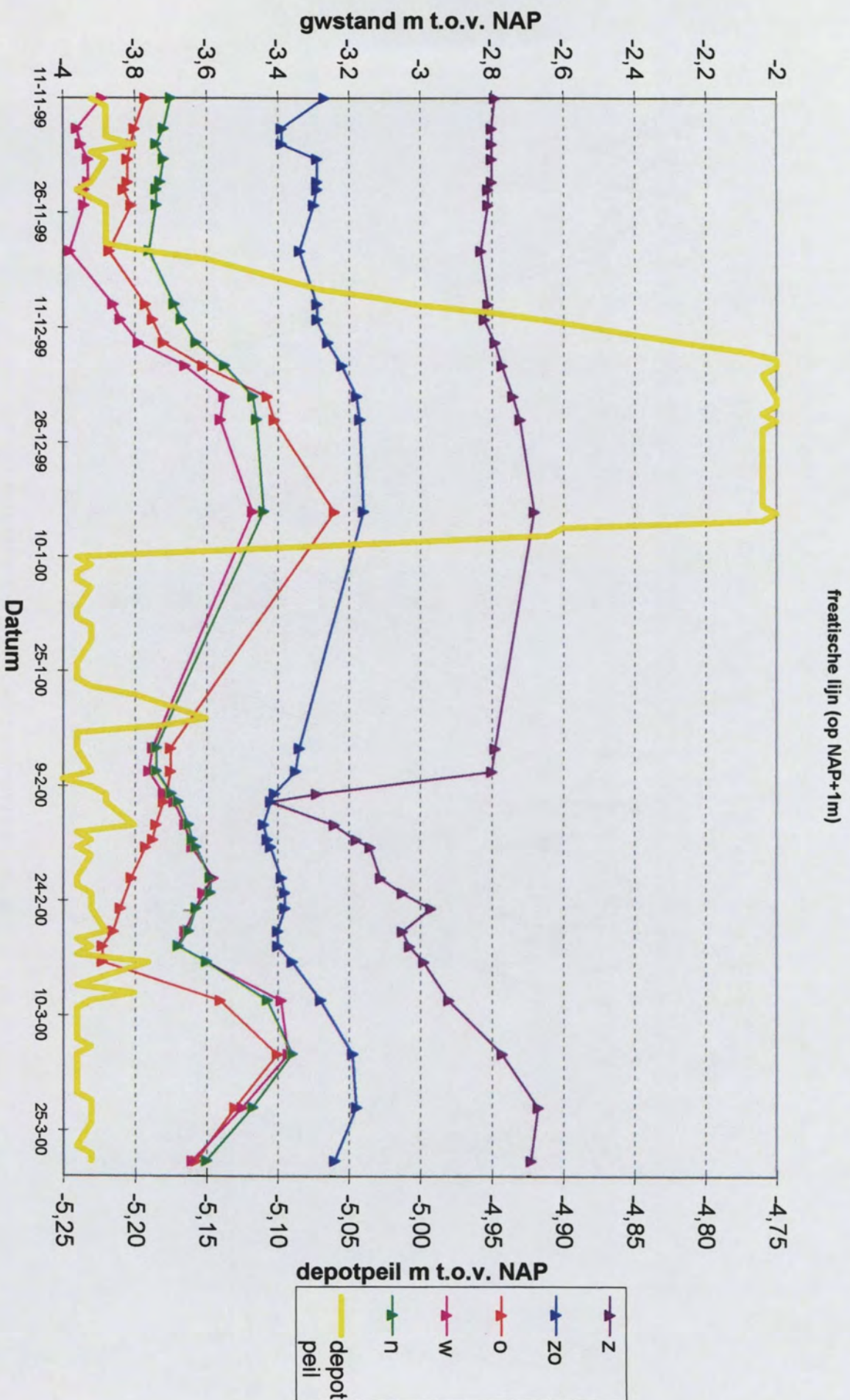
Handwaarnemingen pb 10 t/m 18



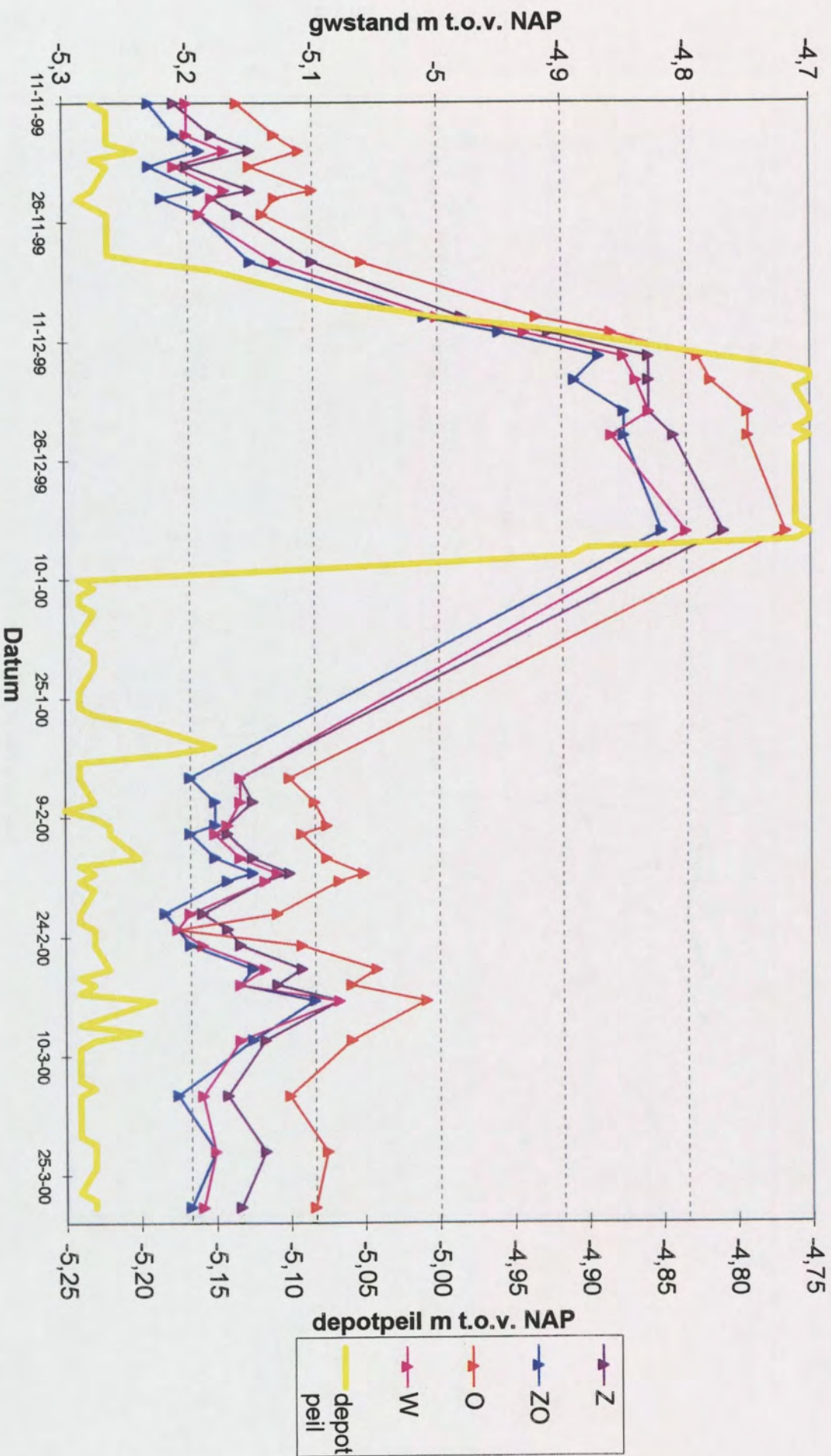


stijghoogte onder holocene tussenlaag (op NAP+9m)

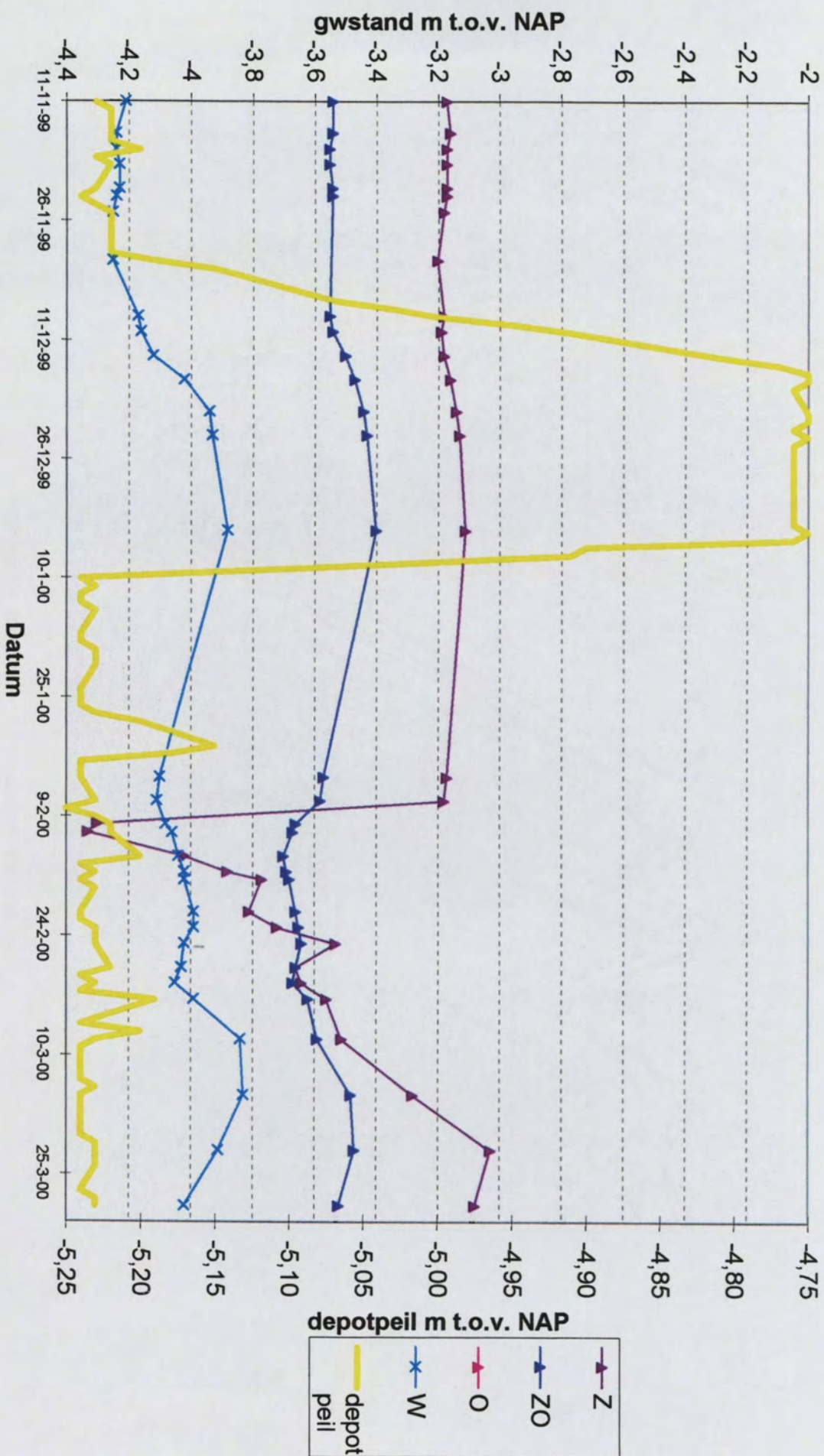




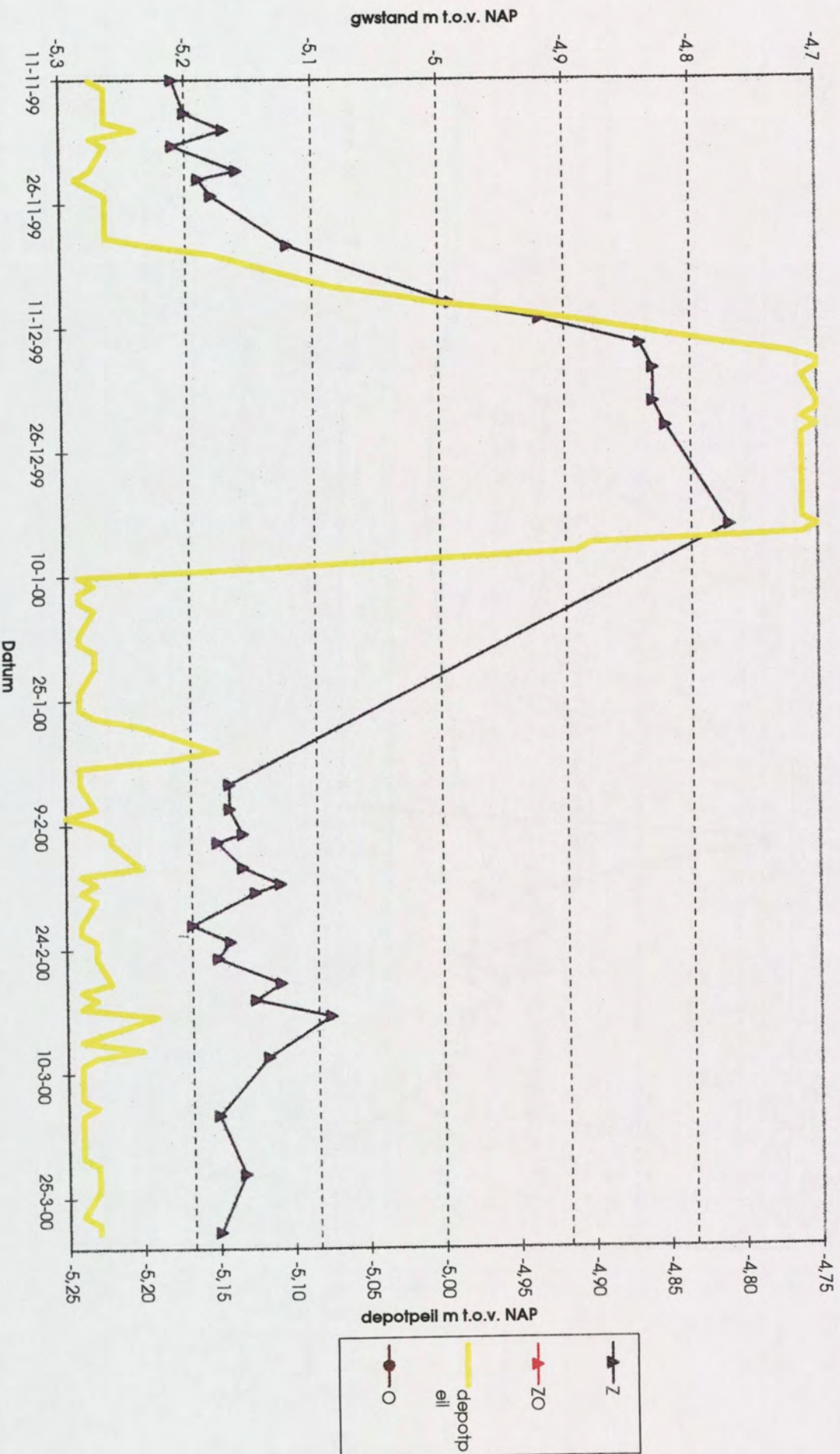
stijghoogte onder holocene tussenlaag (op NAP+1m)



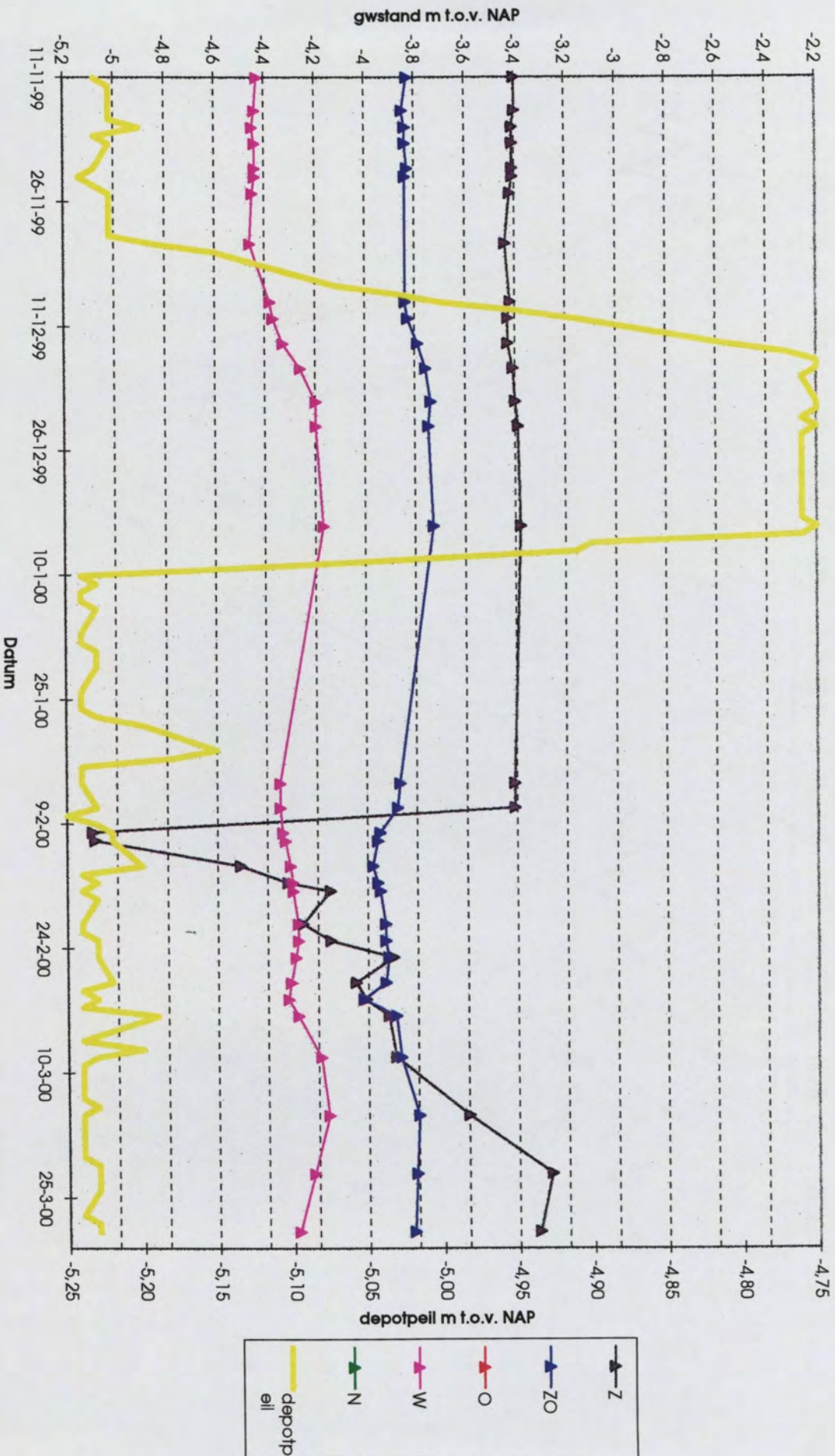
freatische lijn (op NAP-1m)



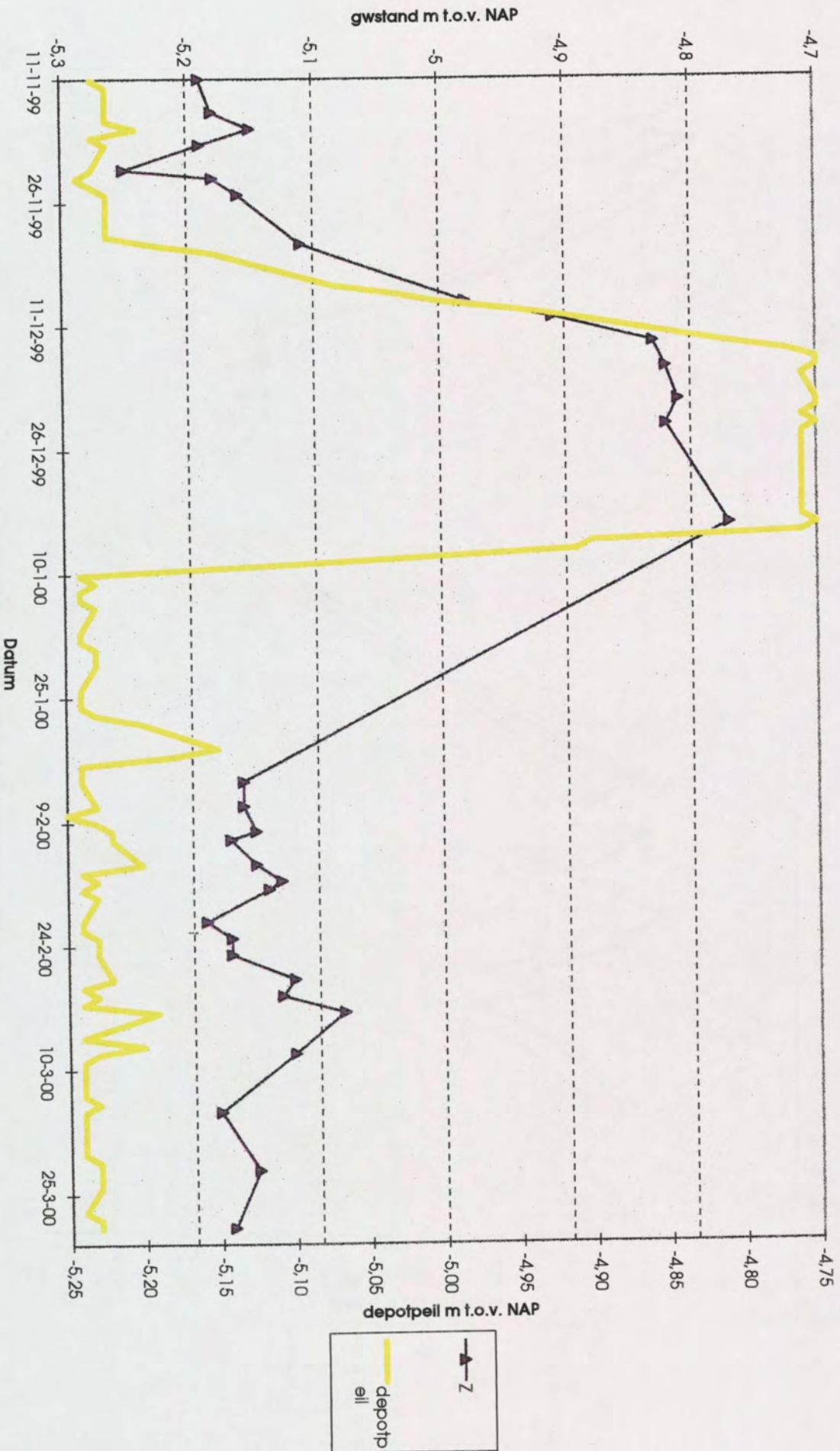
stijghoogte onder holocene tussenvlaag (op NAP-1m)



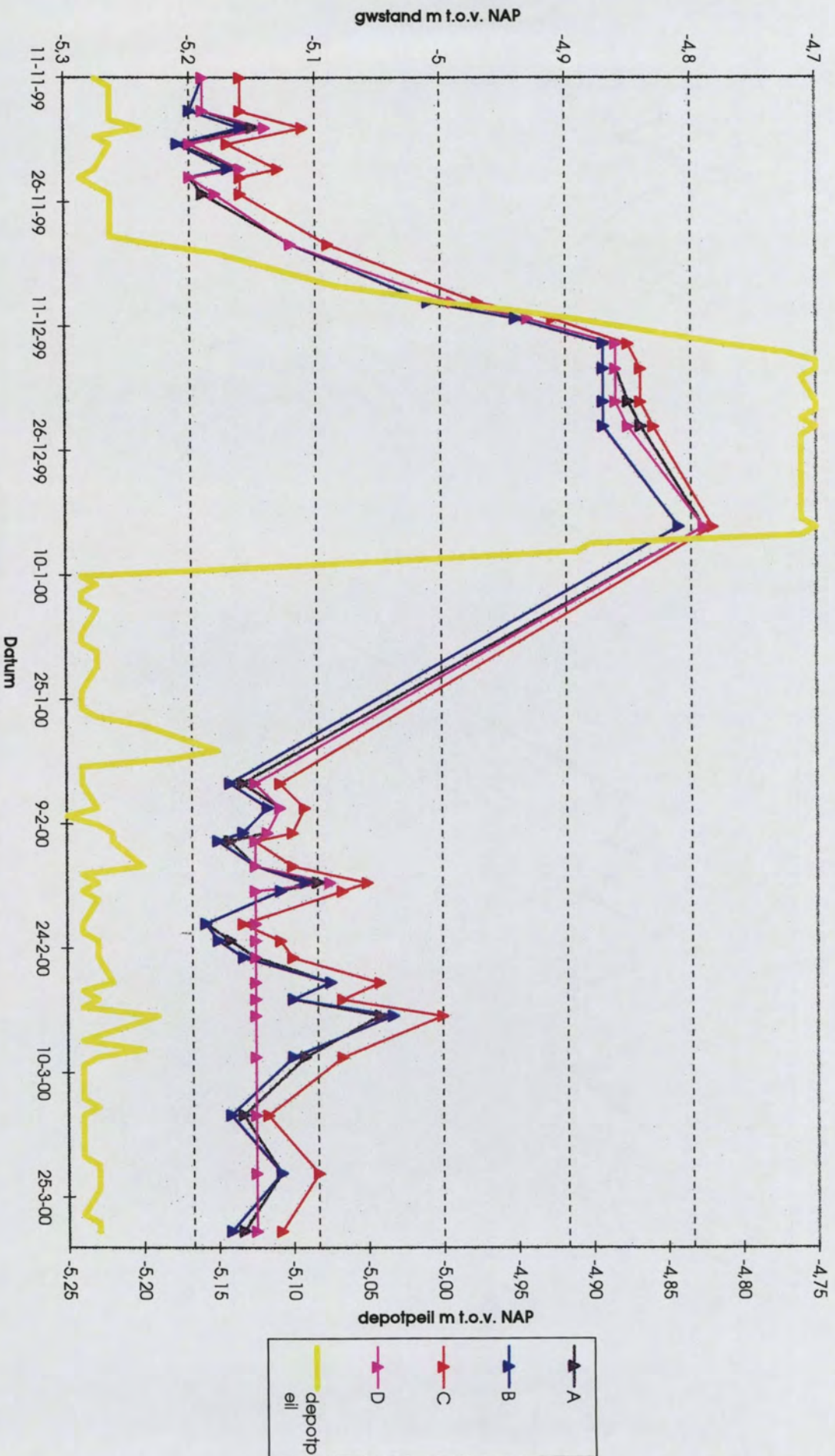
treddische lijn (op NAP-3m)



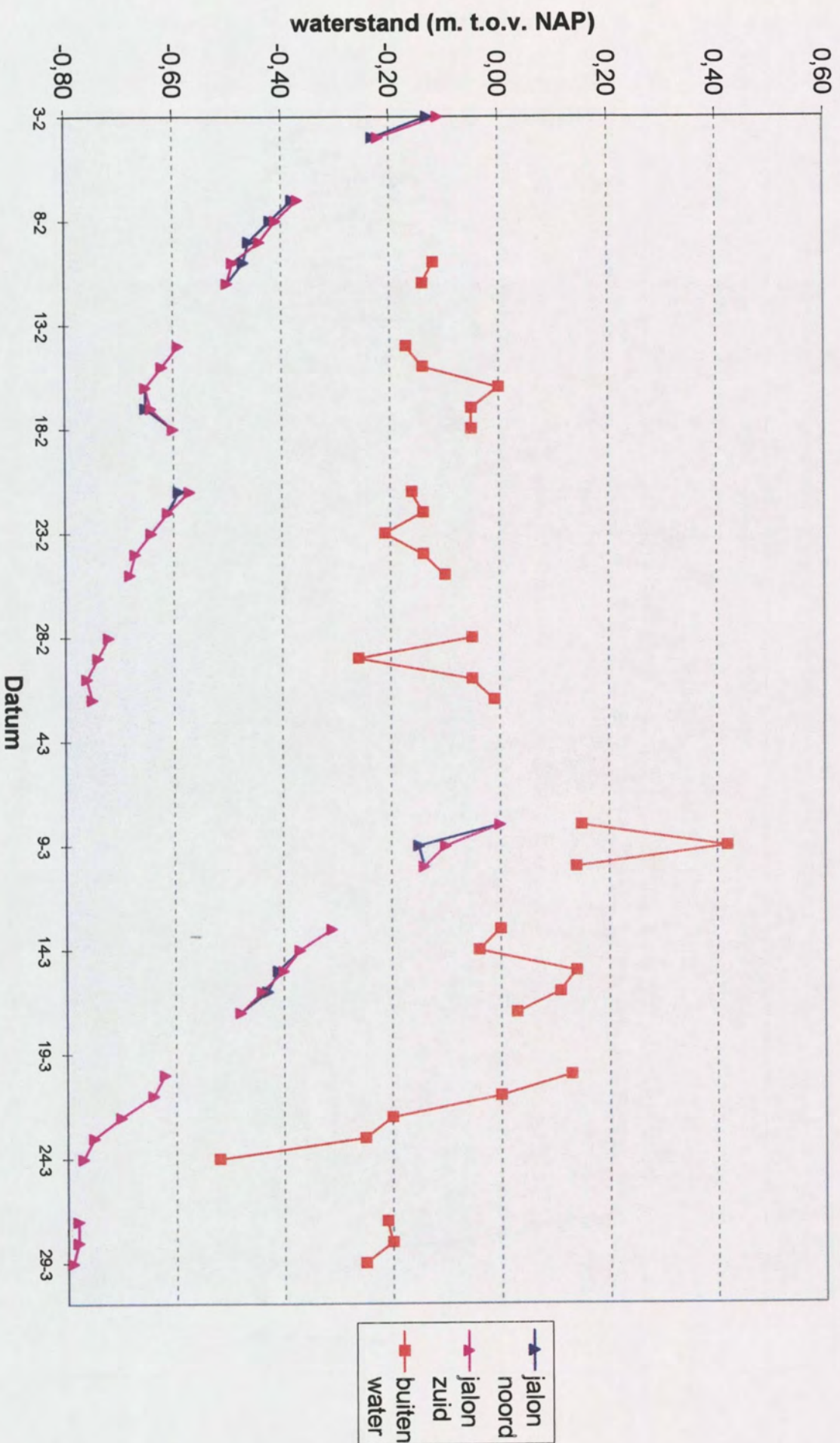
stijlhoogte onder holocene tussenlaag (op NAP-3m)



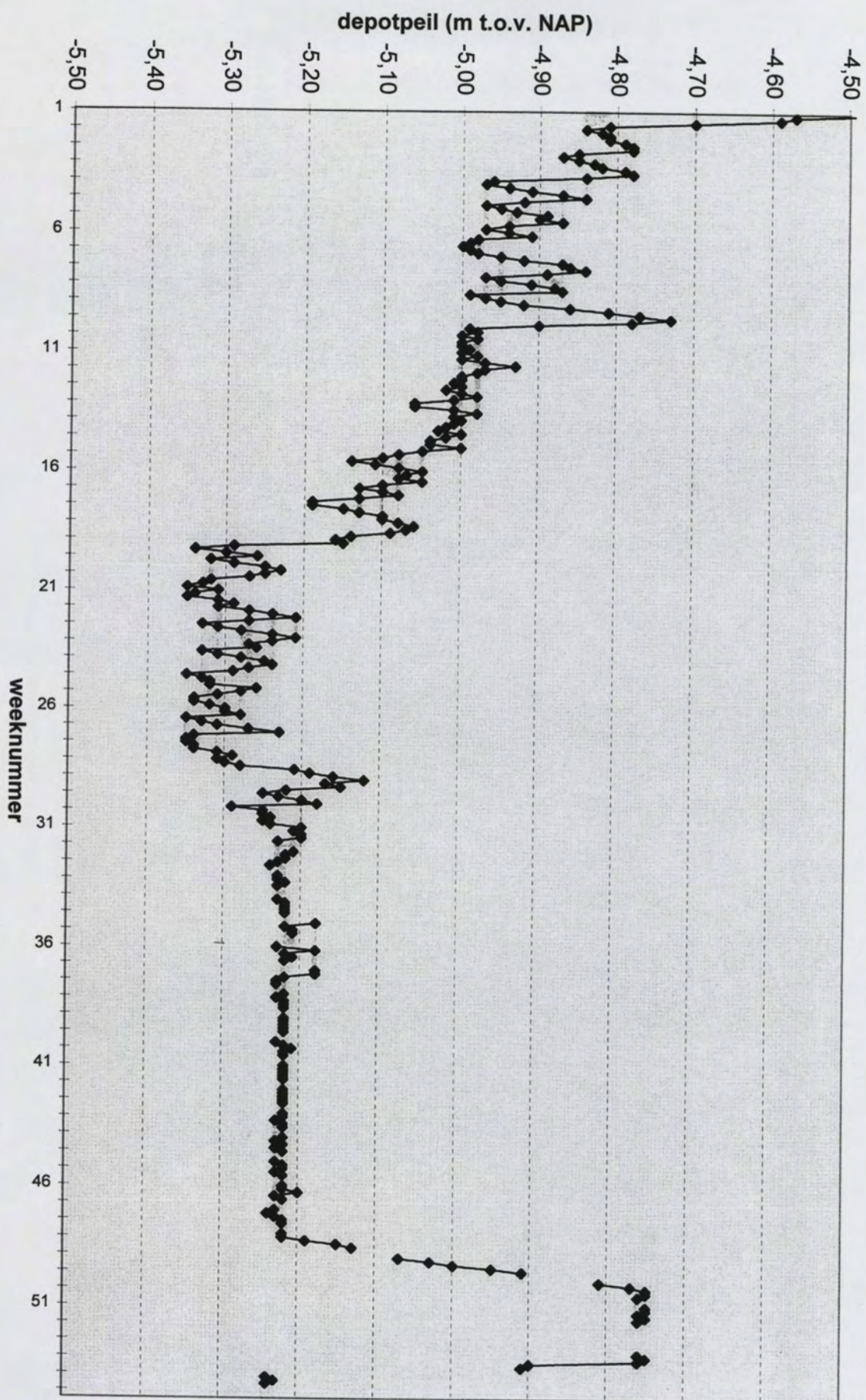
stijlhoogte onder holocene tusselaag (voorzieningen terrein)



Waterstand afgedamde sloot



depotpeil t.o.v. NAP




Bijlage 2: Notitie "Analyse stijghoogtes en debieten"

- Doc. nr. WAU.ADY-3-00150 dd maart 2000

[20 bladzijden]



Notitie

Aan : RWS dir. IJsselmeergebied
Van : A. Biesheuvel / D. Heineke
Kopie : Adri Fase, Laurent Linssen; archief
Datum : 22 maart 2000
Onderwerp : **Analyse stijghoogtes Ketelmeer, 1995- 1999, debieten door de dijk**
Project : Advisering Depot IJsseloog
Documentnr. : WAU.ADY-3-99150
Status, versie : definitief , versie 4
Vrijgave : 

Doorkiesnummer:
030 - 219 20 28

1. Inleiding

In het kader van de kwelproblematiek aan de binnenzijde van de ringdijk van het depot IJsseloog is een analyse gemaakt van de stijghoogtes nabij het depot en onder de ringdijk alsmede van het verloop ervan in de tijd. Het doel hiervan was om inzicht te verkrijgen in het verloop van de stijghoogtes op de diverse plaatsen in de ringdijk en de omgeving van het depot teneinde de te hanteren invoergegevens voor de stabiliteitsberekeningen (met PLAXIS - zie hoofdrapport).

Bovendien is een analyse uitgevoerd van de waterbalans rondom het depot teneinde de hoeveelheid kwel te kunnen schatten en de relatie tussen deze hoeveelheid en de doorlatendheid van het zand in de ringdijk. Dit laatste mede in verband met de uitgevoerde stabiliteitsberekeningen (zowel macro- als micro).

2. Analyse stijghoogtes

2.1 Metingen

Vanaf 1994 zijn peilbuizen geplaatst in en rond het Ketelmeer om grondwaterstanden en stijghoogtes gedurende de aanleg van het depot te kunnen volgen.

In het Ketelmeer betreft dit de peilbuizen 'ket7' (FL14) en 'ket6' (FL15), respectievelijk oostelijk en westelijk van het depot. In de Noordoostpolder betreft het de meetpunten 'ket4' en 'ket5' en 21A42. In Oostelijk Flevoland 'ket1' en 21C106.

In mei 1998 zijn acht peilbuizen in de ringdijk van het depot geplaatst en één buis ten zuiden van de ringdijk, op het voorzieningenterrein; dit zijn de peilbuizen Pb10 t/m Pb18.

Na het sluiten van de ringdijk wordt het waterpeil in het depot regelmatig gemeten.

In onderstaande tabel 1 zijn de gemiddelde stijghoogtes in de regio weergegeven. In Bijlage I is de ligging van deze peilbuizen aangegeven.

Tabel 1. Gemiddelde stijghoogtes Ketelmeer [in m t.o.v. NAP]

Locatie	Peilbuis:		mrt 1995 okt 1995	nov 95- mrt 96	juli 1996	juli 1997	april 1998	mei 1998	jan 1999	sep 1999
Flevoland	ket1	L16	-5,35	-5,45	-5,4	-4,5	-4,6	-5,1	-5,3	-5,5
Flevoland	ket2	21c106	-5,2	-5,3	-5,2	-4,6	-4,6	-5,0	-5,1	-5,15
NOP	ket4	E118	-5,1	-5,1	-5,1	-4,1	-4,0	-4,7	-4,9	-5,2
NOP	21a42		-4,3	-4,5	-4,4	-3,7	-3,8	-4,1	-4,15	-4,4
Ketelmeer	ket6 (west)	FL15	-5,3		-5,1	-3,6	-3,6	-4,6	-4,9	-5,1
Ketelmeer	ket7 (oost)	FL14	-4,4	-4,6	-4,4	-3,2	-3,3	-4,2	-4,5	-4,8

2.2 Analyse

Algemeen

Vanaf medio 1996 (ontgraven van de put van het depot) stijgen de stijghoogtes fors. Na april/mei 1998 dalen de stijghoogtes weer (sluiten ringdijk); zie ook tabel 1. Van de peilbuizen met filters onder de ringdijk worden in de peilbuizen ('Pb')15 (zuidwest) en Pb14 (zuid) de laagste stijghoogtes gemeten. In peilbuis 16 (west) is het peil enkele cm's hoger dan bij Pb15. De stijghoogte in de peilbuizen met de hoogste standen (Pb12, oost en Pb10, noord) ligt circa 10 cm boven die van Pb15. De stijghoogte in Pb18 (op het voorzieningenterrein) is lager dan die in Pb15. Voor de locaties van deze peilbuizen, zie bijlage I.

Dat de stijghoogte in Pb18 iets lager is dan die in de andere in de ringdijk, is ten dele onverwacht. Aldaar was beïnvloeding verwacht van het verwijderen van de holoceen tussenlaag van het gebied onder het haventerrein, alsmede van het tijdelijk depot (S9 noord). Deze doorgraving van de slecht doorlatende laag zou naar verwachting moeten leiden tot een relatief hoge stijghoogte in Pb 18 in vergelijking met de andere peilbuizen in de ringdijk en met die ten westen en oosten van het depot (resp. FL15 en FL14). Blijkbaar is tijdens het ontgraven sprake geweest van morsen/of het niet 100% verwijderen van het holoceen, hetgeen op zich technisch geen probleem is. Dit heeft tezamen met het aanwezige drukverschil geleid heeft tot het dichtslaan van deze bodemgedeeltes.

Stijghoogteverloop aan noordkant ringdijk

In bijlage II is het verloop van het depotpeil en de stijghoogte in Pb15 aangegeven.

Bij een depotpeil van NAP -4,5 m is een stijghoogte van NAP-4,85 m gemeten in Pb15. Bij een depot peil van NAP - 5,2 m is de laagste stijghoogte onder de ringdijk ongeveer NAP -5,15 m. Bij het laagste depotpeil (NAP -5,35 m) is een stijghoogte van NAP - 5,25 m gemeten in Pb15. Vanaf begin december 1999 is tijdelijk een hoger depotpeil ingesteld, waardoor de stijghoogte in Pb15 weer onder het depotpeil zakt. Vanaf medio januari 2000 is weer een depotpeil van circa NAP -5,20 m ingesteld. In deze Pb15 is een stijghoogte van NAP -5,11 m gemeten.

Details van verloop stijghoogtes onder ringdijk

In bijlage III is voor de periode november 1999 - februari 2000 het verloop van de peilbuizen Pb10 (noord), Pb15 (zuidwest) en Pb18 (werkterrein) meer in detail weergegeven; in die grafiek staat tevens het verloop van het depotpeil weergegeven.

Duidelijk is te zien dat bij een depotpeil van NAP -5,20 de stijghoogtes in Pb10 en Pb15 hoger zijn, terwijl bij een depotpeil van boven de NAP 4,90 m de stijghoogte in Pb15 lager is, hetgeen betekent dat er wegzijging uit het depot plaatsvindt richting Pb15. De stijghoogte aan de noordkant (Pb10) en oostkant is nog wel hoger, zodat van deze zijde er wel toestroming is naar het depot.

Ook duidelijk is te zien dat de stijghoogte in de peilbuis op het werkterrein (Pb18) lager is dan die van de andere.

Details van verloop stijghoogte rondom het depot

- De stijghoogtemetingen van de buizen "oost" (FL14) en "west"(FL15) over 1999; deze staan aangegeven in Bijlage IV.
Uit de figuren blijkt dat rond mei 1999 de stijghoogte sterk daalt, met name ter plaatse van peilbuis "oost" (FL14). Begin december treedt een stijging op. De stijghoogte in de peilbuizen volgen hiermee (enigszins) het depotpeil. Vergeleken met de oorspronkelijke stijghoogte bij "oost" (juli 1996: circa. NAP -4,4m) en west (juli 1996: circa. NAP -5,1m) valt op dat "oost" meer wordt beïnvloed dan "west": tussen mei en november 1999 schommelt de stijghoogte van "oost" rond NAP -4,90 m en die van "west" rond NAP 5,15 m. Dit is conform de verwachting: aan de oostzijde wordt de stijghoogte 'naar beneden' getrokken, terwijl aan de westzijde (bij een depotpeil van NAP -5,20 m) de situatie weinig verschilt van de uitgangssituatie, d.w.z. de situatie voordat het depot wer aangelegd.
- Het regionale beeld is weergegeven In bijlage V:
het stijghoogtepatroon bovenin het watervoerend pakket, rondom het depot, bij een depotpeil van NAP -5,20 m - met een interval van 0,05 m. Wat opvalt is de sterke gradiënt aan de oostzijde (d.w.z. dicht bij het depot), en een vrijwel niet beïnvloed patroon aan de westzijde.

- Beïnvloeding omgeving door laag depotpeil.
In bijlage VI is een dwarsdoorsnede gemaakt met daarin de stijghoogte voor aanleg van het depot, en bij een depot met een peil van NAP -5,20m. Ook hier is te zien dat aan de westzijde de beïnvloeding gering is, terwijl aan de oostzijde verlagings opgetreden. Uit de figuur blijkt tevens dat bij peilen hoger dan NAP -5,20m er geen toestroming vanuit de westelijke zijde zal plaatsvinden.

2.3 Conclusies t.a.v. de stijghoogtes

- verhoogde infiltratie door het werkterrein of via het (voormalig) tijdelijk depot (zoals bij eerdere berekeningen is verondersteld, vanwege het doorgraven van de deklaag) is niet aan de orde: de peilbuis op het werkterrein (Pb18) laat altijd de laagste waarde (van de Pb-buizen) zien. Vermoedelijk is tijdens het graven het zwevend stof snel neergeslagen en is er een significante weerstand tegen stroming opgebouwd.
- bij een depotpeil van NAP -5,20 m zijn de stijghoogte onder de ringdijk hoger, zodat toestroming van grondwater is gegarandeerd.
- bij een depotpeil van NAP -4,5 m is de stijghoogte onder de ringdijk nog lager dan het depotpeil: NAP -4,85 bij Pb15.
- het in stellen depotpeil is hiermee lager dan verwacht. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat aangenomen is dat doorgraving van de deklaag (en mogelijk het weghalen van het tijdelijk depot) tot verhoogde infiltratie zou leiden. Uit de metingen blijkt dat dit geenszins het geval is.
- De eerdere 'nulflux'-berekeningen zijn uitgevoerd met een model, waarin de hogere doorlatendheid ter plekke van het werkterrein en/of tijdelijk depot zijn ingevoerd. Die berekeningen geven dan ook een hoger depotpeil aan, waarbij een 'nulflux' optreedt.
- zolang het specieniveau niet al te hoog is en een depotpeil van circa. NAP -5,20 m wordt gehandhaafd zal aan de oostzijde een lagere stijghoogte optreden dan voor aanleg van het depot (circa 0,5 meter lager). Aan de westzijde komt de stijghoogte (globaal) overeen met die in de uitgangssituatie.

3. Analyse waterbalans

3.1 Berekeningen toestroming door de dijk (kwel)

Analytische kwelberekening

De toestroming van kwelwater door de dijk is voor verschillende doorlaatfactoren (k) met de volgende formule berekend:

$$Q = k / 2L * (h_1^2 - h_0^2) * \text{dijklengte } l \quad [m^3 / d]$$

waarbij:

k = doorlatendheid [m/d]

L = doorstroomde afstand [m]

h_1 = doorstroomde hoogte aan buitenzijde dijk [m]

h_0 = doorstroomde hoogte binnenzijde dijk [m]

Van belang is de breedte van de dijk, oftewel de afstand waarover het verschil tussen binnen- en buitenwaterstand heerst; dit is 'L' in bovenstaande formule. Op basis van de profielen is geschat dat de halve omtrek een breedte van circa 125 meter heeft, terwijl voor de andere helft een breedte van circa 250 meter zou moeten worden aangehouden. Dit zou een redelijk goede aanname zijn als aan de oostzijde van het depot het natuurgebied direct zou aansluiten aan het dijkprofiel (volgens ontwerp). De werkelijke situatie aldaar is evenwel anders: er is aldaar een (scheidings) sloot aangelegd die in open verbinding staat met het Ketelmeer. Dit betekent dat ook voor de oostzijde een 'standaard' profiel met een L-waarde van circa 125 m geldt. Voor het deel ter hoogte van het voorzieningenterrein geldt dat aldaar een in breedte variërend voorland (van zand) aanwezig is. Dit houdt het volgende in: voor circa $\frac{3}{4}$ van de omtrek wordt een breedte L aangehouden van circa 125 m; en voor het resterende $\frac{1}{4}$ gedeelte een breedte L van circa 200 m.

Berekeningen zijn uitgevoerd voor k-waarden van de zanddijk van 8, 16 en 32 m/d.

Bij deze gehanteerde analytische benadering is het debiet evenredig met de k-waarde.

Voor de bepaling van het totale debiet en de diverse variabelen in bovenstaande formule zijn de volgende basisgegevens van belang:

- omtrek = $2 \cdot \pi \cdot r$ = circa 3200 m (l = circa 2400 m met een breedte L van 125 m en l = circa 800 m met een breedte L van 250 m)
- 'ondoorlatende bodem' van het dijkprofiel (Holoceen tussenlaag) op NAP - 4,70 m à NAP -5,2 m (afhankelijk van de locatie / doorsnede); aangehouden is NAP - 4,9 m
- buitenwaterpeil: NAP - 0,2 m
- hoogte uittreepunt aan de binnenzijde ringdijk: deze varieert van circa NAP - 3,5 m tot circa NAP -4 m (afhankelijk van de locatie / doorsnede); aangehouden is NAP - 3,8 m

Daarmee volgen als waarden voor de variabele 'h' (de 'doorstroomhoogte'):

$h_1 = 4,7$ m; en $h_0 = 1,1$ m.

Voor het debiet geldt dan:

$$Q = k / (2 \cdot 125) \cdot (22 - 1) \cdot 2.400 + k / (2 \cdot 200) \cdot (22 - 1) \cdot 800 \quad [\text{m}^3 / \text{dag}].$$

Voor de verschillende waarden van de doorlatendheid k staan de analytisch bepaalde kweldebieten door de ringdijk in onderstaande tabel 2 weergegeven.

Tabel 2. Doorlatendheid en kweldebiet

k-waarde zand [m/d]	Debiet Q door dijk [m ³ /d]
8	1.975
16	3.950
32	7.900

Kwelberekening met MSEEP model

De geotechnische stabiliteitsberekeningen - zie hoofdrapport - zijn mede gebaseerd op de resultaten van modelberekeningen met MSEEP (ten behoeve van bepaling van de freatische lijn in de dijk). Een bijkomend resultaat van deze MSEEP sommen is de hoeveelheid kwelwater door de dijk.

Voor de verschillende waarden van de doorlatendheid k [m/dag] zijn deze theoretische kweldebieten zoals in onderstaande tabel 3 staan aangegeven.

Tabel 3. Kweldebieten volgens MSEEP

k-waarde zand [m/d]	Debiet Q door dijk [m ³ /d]
8	6.900
16	13.700

Opmerking:

De aannames in deze berekeningen zijn enigszins afwijkend van die in het bovenstaande analytische model: voor het gehele omtrek is ter hoogte van de stroming door de dijk een breedte aangehouden van circa 110 m (overeenkomend met het ontwerpprofiel). Hierdoor zijn de berekende debieten met MSEEP te groot; immers, voor het gedeelte van de dijk langs het voorzieningsterrein en in de zuid-oost hoek geldt feitelijk een veel grotere breedte, hetgeen zou resulteren in kleinere debieten voor dat gedeelte.

Als in het analytische model dezelfde aannames worden toegepast, worden de kweldebieten als volgt:

$$Q = k / (2 \cdot 110) \cdot (22 - 1) \cdot 3.200 \quad [\text{m}^3 / \text{dag}]$$

Voor $k = 8$ m/dag geldt dan: $Q = \text{circa } 2.500 \text{ m}^3 / \text{dag}$; dat wil zeggen circa 500 m³ per dag meer dan initieel berekend is (zie tabel 2).

Voor andere k -waardes geldt, omdat het debiet recht evenredig is met de doorlatendheid:

$$Q = \text{circa } 300 \cdot k.$$

Het blijft wel een feit dat de twee gehanteerde modellen vrij grote grote verschillen qua resultaat te zien geven; een goede dan wel plausibele verklaring voor dit verschil (een factor 2 à 2,5) is eigenlijk niet te geven.

3.2 Overige toestroming

Instroming vanuit het watervoerend pakket.

Deze instroming is zowel met het MODFLOW model bepaald als m.b.v. MSEEP.

- Met behulp van het MODFLOW-model is een inschatting gemaakt van het debiet dat uit het onderliggend pakket naar het depot toestroomt. Hiertoe is, uitgaand van eerdere modelberekeningen, de weerstanden van de 'deklaag' bij het tijdelijk depot en bij het werkterrein weer sterk verhoogd (in plaats van de gehanteerde waarden van 10 of 300 dagen). Vervolgens is een depotpeil van NAP - 5,20 m ingevoerd. Berekende stijghoogtes op de locaties van Pb10 t/m Pb18 zijn vergeleken met die van de modelberekeningen. Gemiddeld geeft het model een iets hogere stijghoogte op deze locaties (enkele cm's). Het debiet dat toestroomt uit het onderliggende watervoerendepakket, bedraagt circa 1.800 m³/dag.
- Uit de MSEEP resultaten is gedestilleerd dat de toestroming vanuit de ondergrond circa 1.000 m³ / dag bedraagt. Het verschil tussen de resultaten van de twee modellen is niet eenduidig aan te geven. Wel blijkt eruit dat de orde van grootte goed is.

Aanvulling met hemelwater

In de periode januari 1999 tot en met mei 1999 zijn de neerslag en verdamping bekend op dagbasis. Op basis hiervan is de gemiddelde aanvulling berekend over deze periode. Dit betekent een aanvulling van circa 85 m³/dag.

3.3 Totale toestroming (theoretisch)

Op basis van de analytische berekeningen van de dijkse kwel, de MODFLOW berekeningen (instroming vanuit de ondergrond) en de netto neerslag, bedraagt de dagelijkse toestroming van water (het depot in) dus in totaal:

bij k = 8 m/dag:	Q = circa 4.000 m ³ / dag	[of circa 4.500 bij andere aanname]
bij k = 16 m/dag	Q = circa 6.000 m ³ / dag	[of circa 7.000 bij andere aanname]
bij k = 32 m/dag:	Q = circa 10.000 m ³ / dag	[of circa 12.000 bij andere aanname]

Op basis van de MSEEP berekeningen bedraagt de dagelijkse toestroming van water (het depot in) in totaal:

bij k = 8 m/dag:	Q = circa 8.000 m ³ / dag
bij k = 16 m/dag:	Q = circa 15.000 m ³ / dag

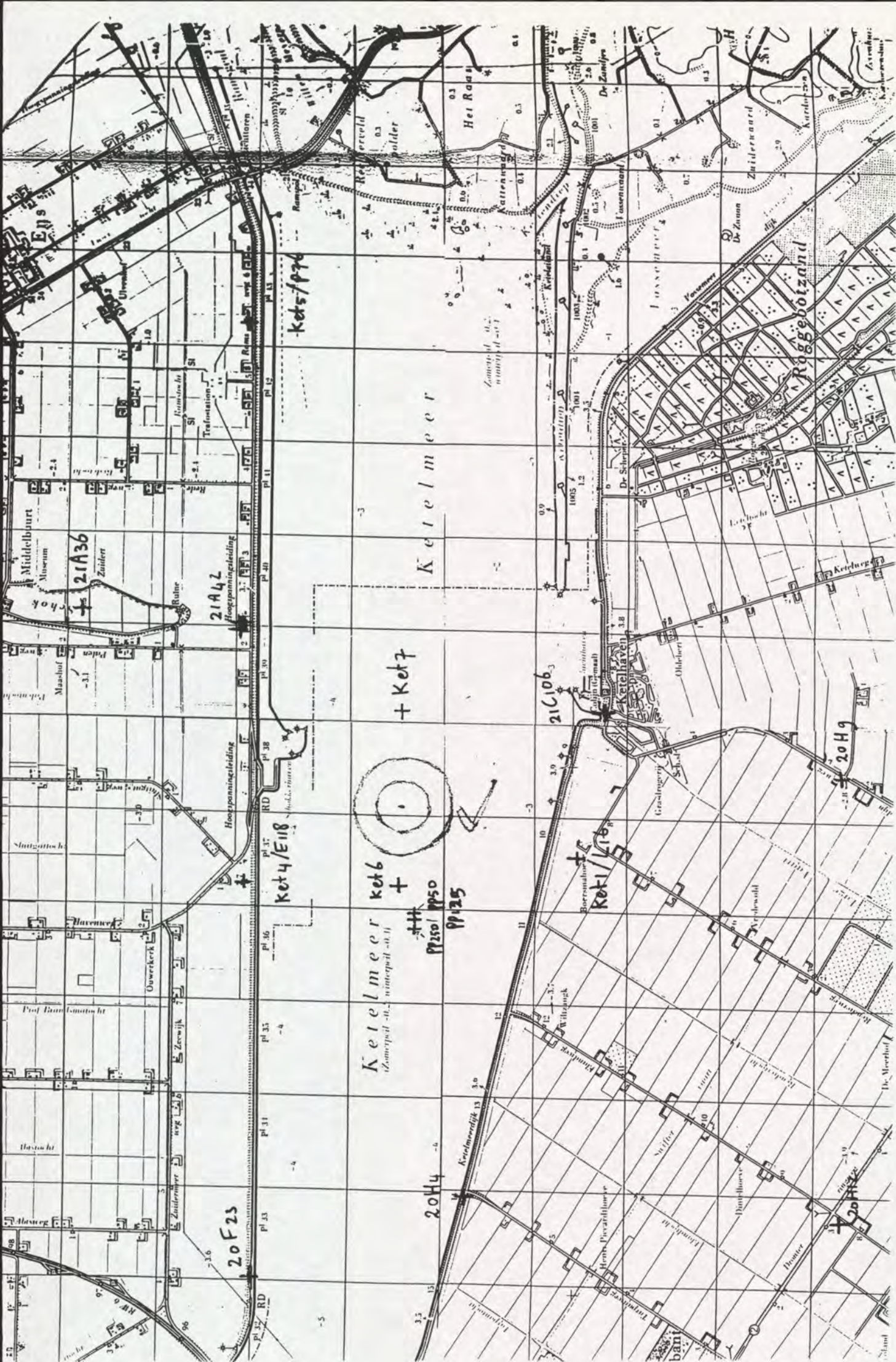
3.4 Vergelijking gemeten en berekende debieten

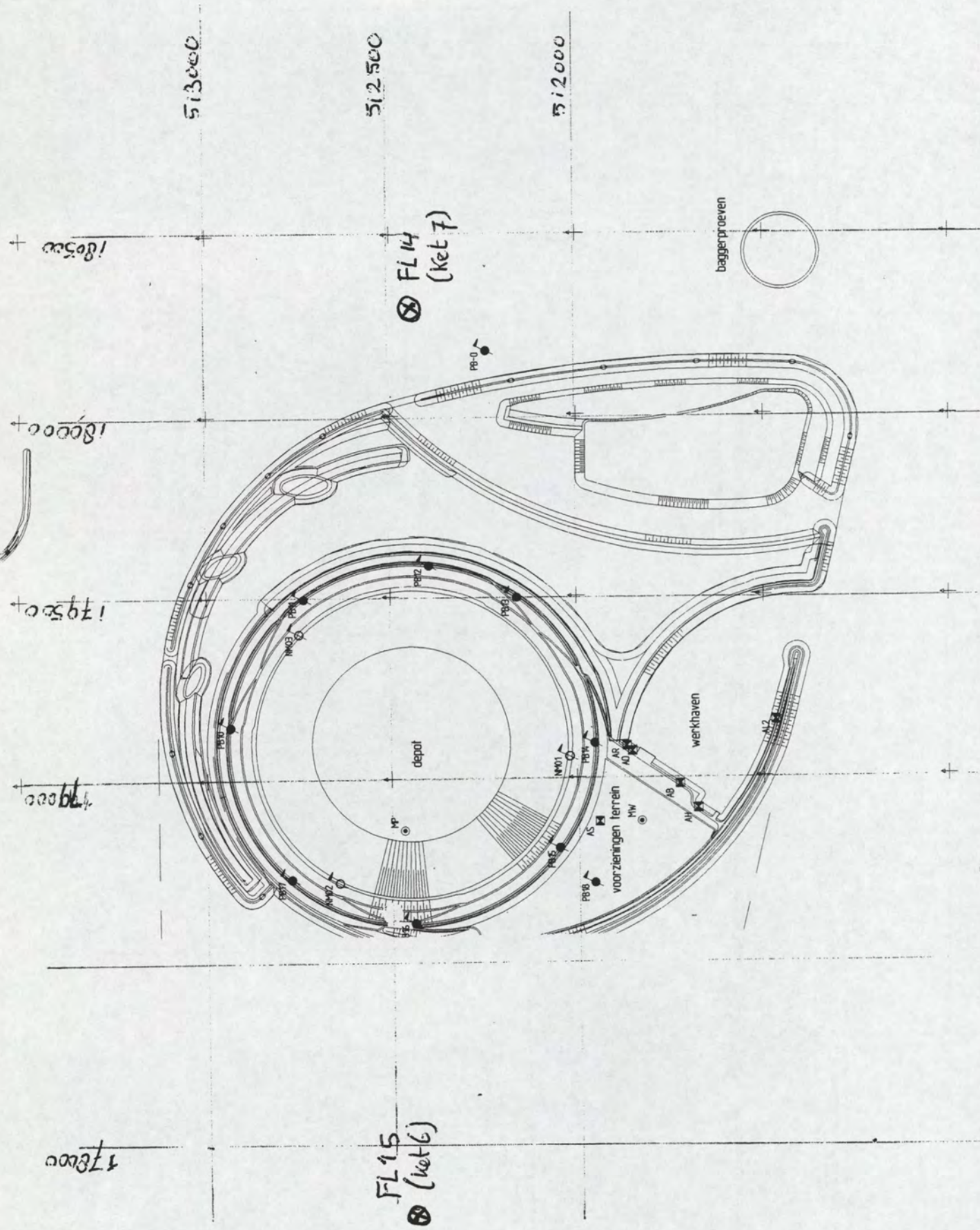
In de periode augustus/september 1999 is gemiddeld circa 15 à 16.000 m³ retourwater per dag geloosd; zie voor gegevens en achtergronden Bijlage xy van het hoofdrapport. Rekening houdend met een correctiefactor van 0,8 à 0,85 (zie doc. nr. WAU.ADY-3-99156, d.d. 11 november 1999: "Controleberekeningen debietmeters"), ligt de werkelijk uitgeslagen hoeveelheid water in de orde van grootte van 12 à 14.000 m³ per dag.

Uit de vergelijking tussen deze hoeveelheid geloosd retourwater en de hierboven beschreven (indicatieve) berekeningsresultaten van de aanvulling door toestroming door de dijk, aanvulling met hemelwater en toestroming door de dijk, blijkt dat bij een k-waarde voor het zand in de ringdijk van 8 m/d de toestroming te laag is. Dit betekent dat de doorlatendheid van het aanvulzand van de ringdijk hoger is, namelijk 16 à 32 m/dag.

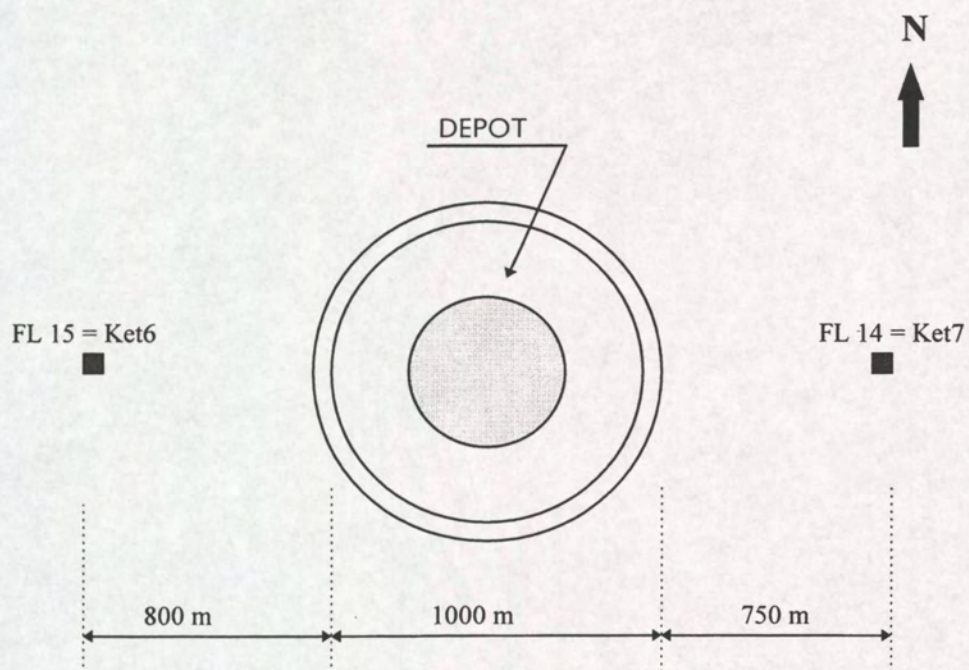
Opmerking:

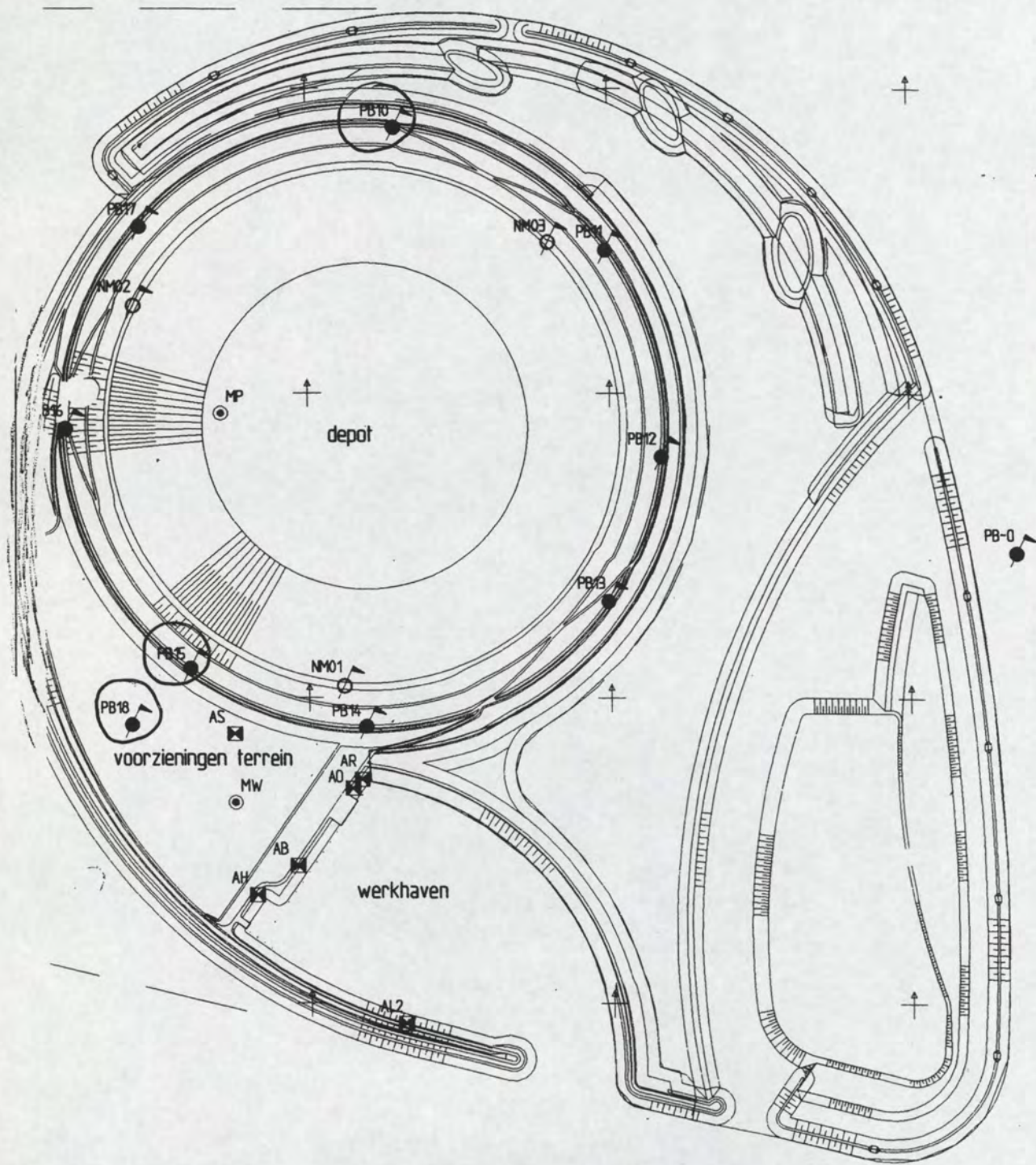
Een dergelijke doorlatendheid is op basis van vroeger uitgevoerde regionale geohydrologische berekeningen ook aangegeven voor het pleistocene zand in het watervoerende pakket; daar waar zich zeer grove zanden bevinden, is voor de k-waarde circa 32 m/d aangegeven en voor de hoger liggende lagen met minder grof zand een k-waarde van 16 m/dag.

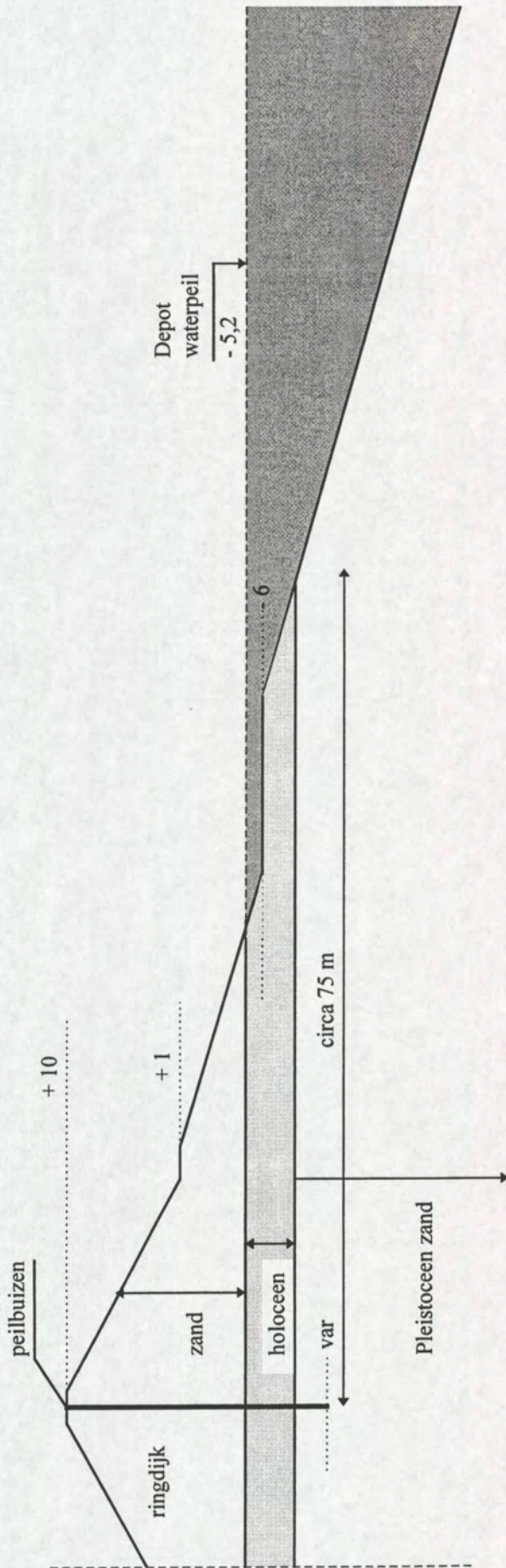




Locatie peilbuizen bij depot IJsseloog







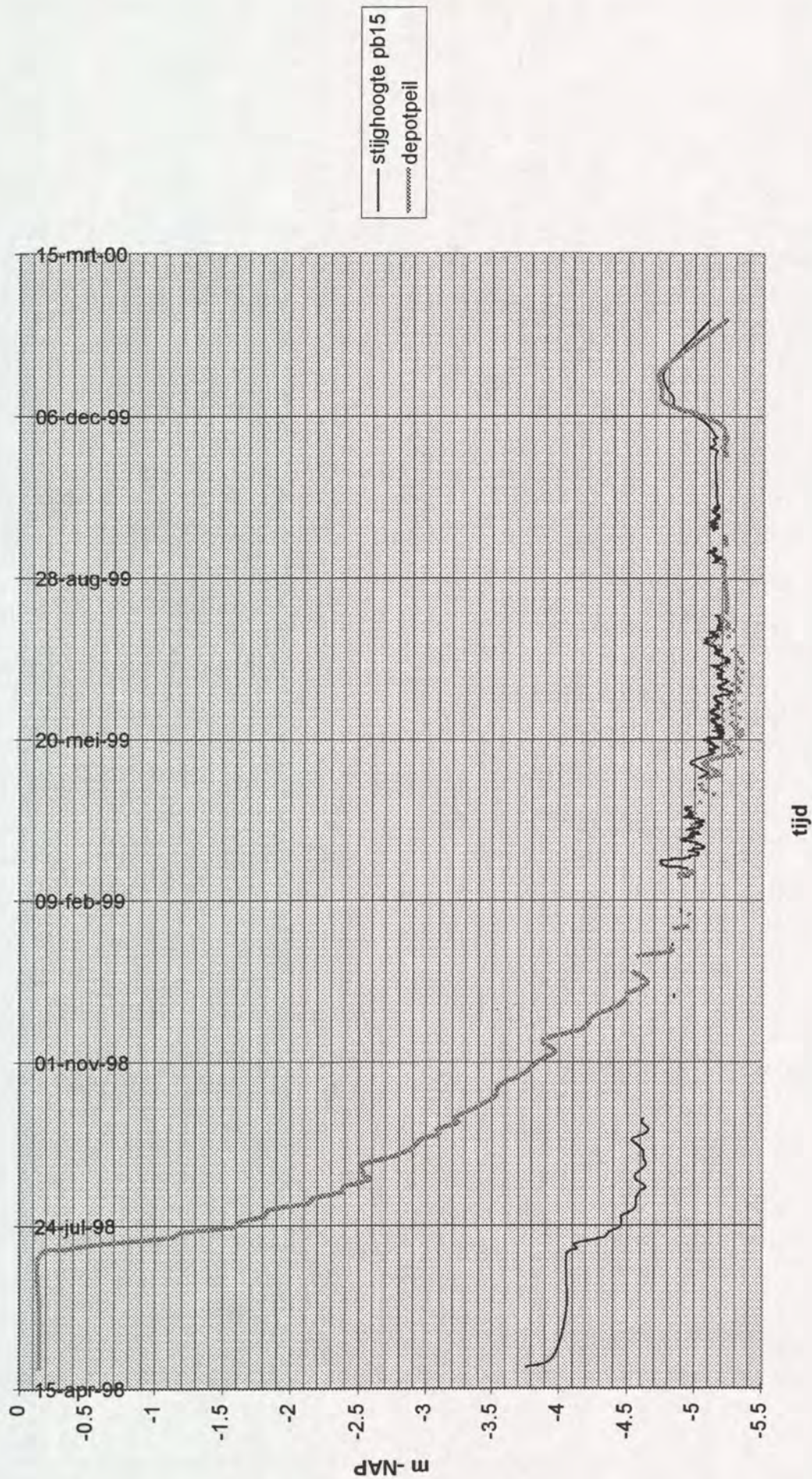
Peilbuizen in de ringdijk

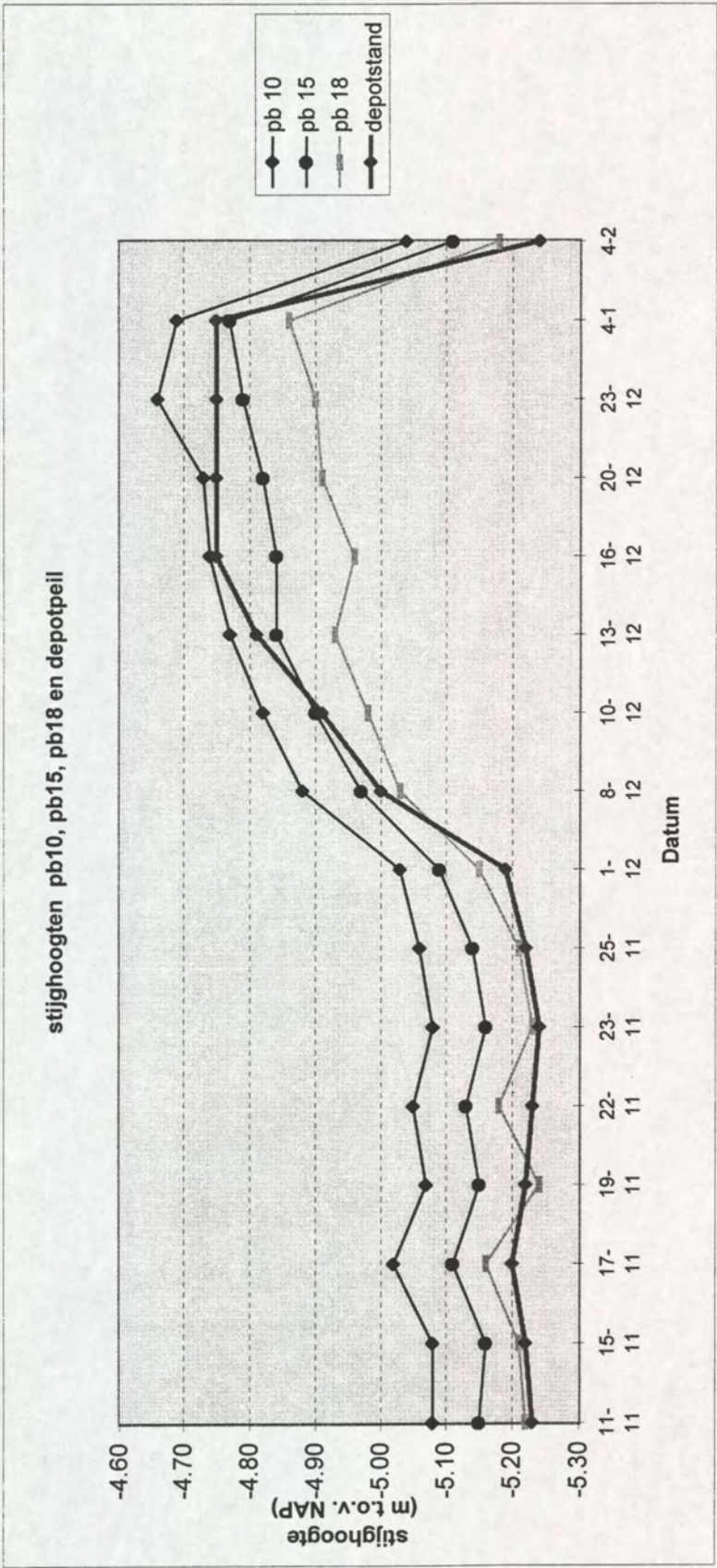
Dieptes variëren van NAP - 9,75 m tot NAP - 13,0 m

Peilbuis	Filterdiepte (m -NAP)
pb 10 (noord)	10,70-11,70
pb 11 (noord-oost)	9,90-10,90
pb 12 (oost)	10,50-11,50
pb 13 (zuid-oost)	12,00-13,00
pb 14 (zuid)	8,75-9,75
pb 15 (zuid-west)	9,60-10,60
pb 16 (west)	9,90-10,90
pb 17 (noord-west)	9,70-10,70
pb 18 (voorzieningenterrein)	8,90-9,90

N.B. ter plaatse van de geulen aan de noord/oost zijde ligt de onderkant van 't holocene lager dan in deze schets staat aangegeven !

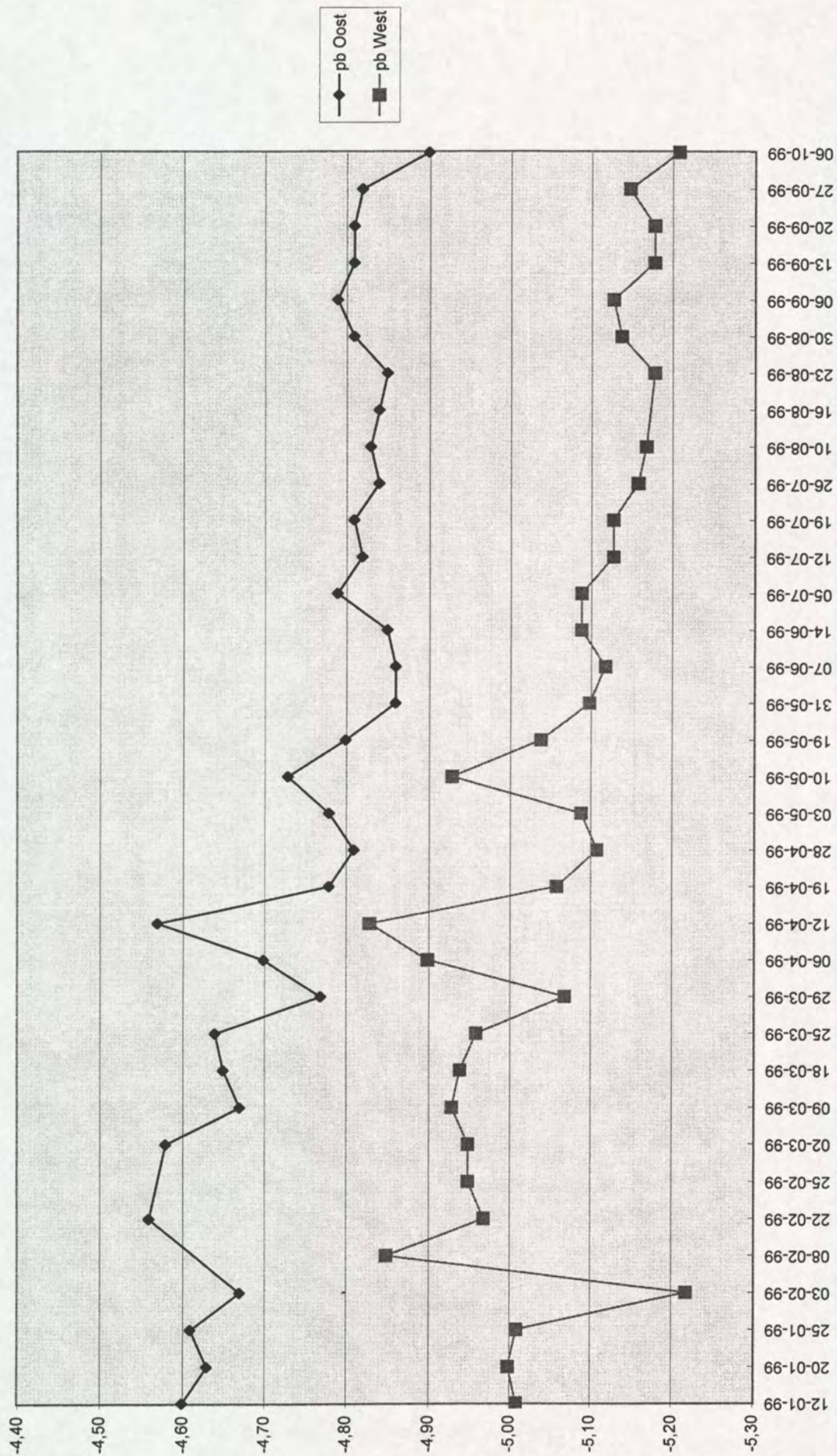
Stijghoogte PB15 en depotpeil



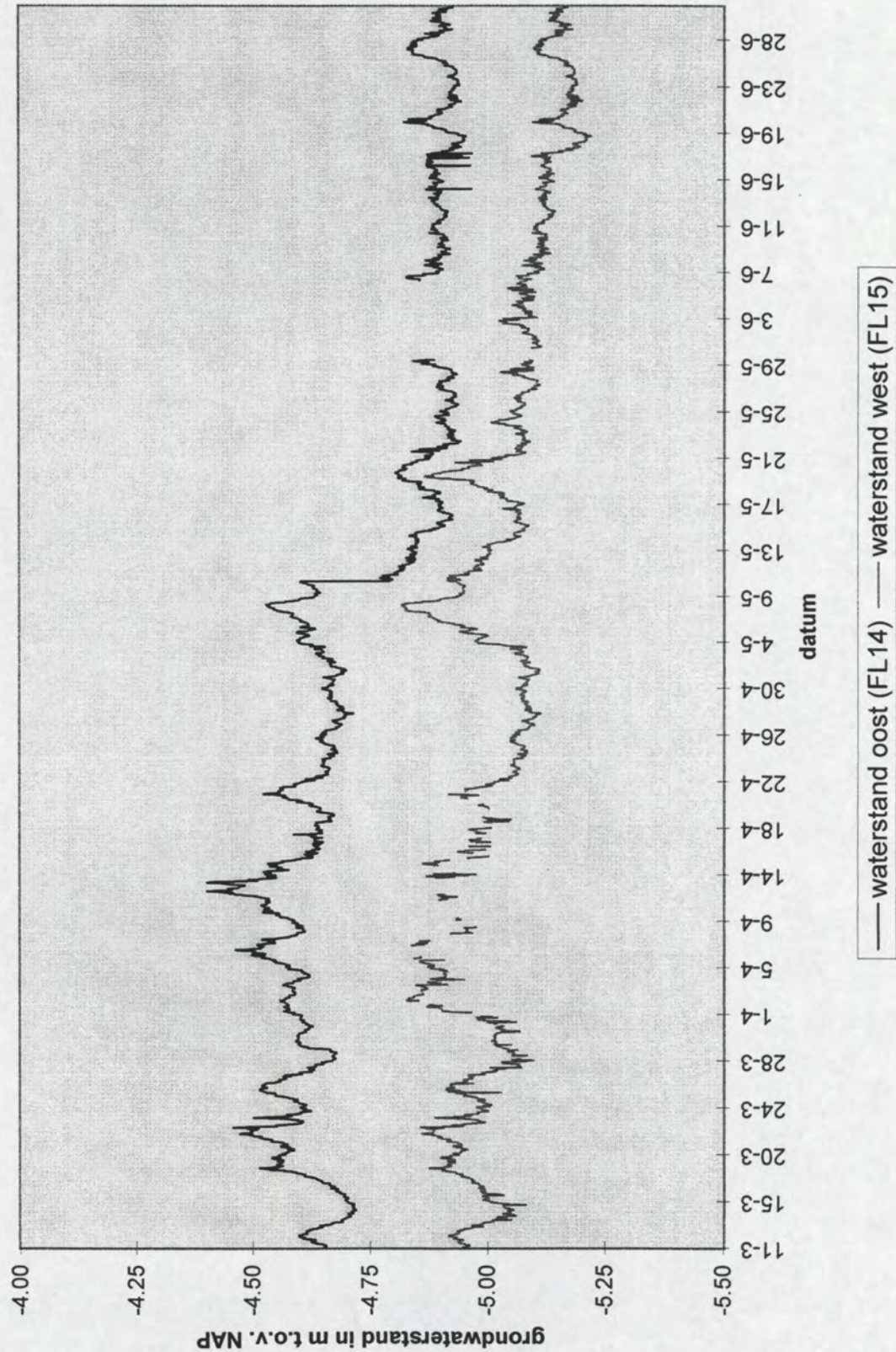


Bijlage IV: Stijghoogte metingen peilbuizen Oost (FL14) en West (FL15)

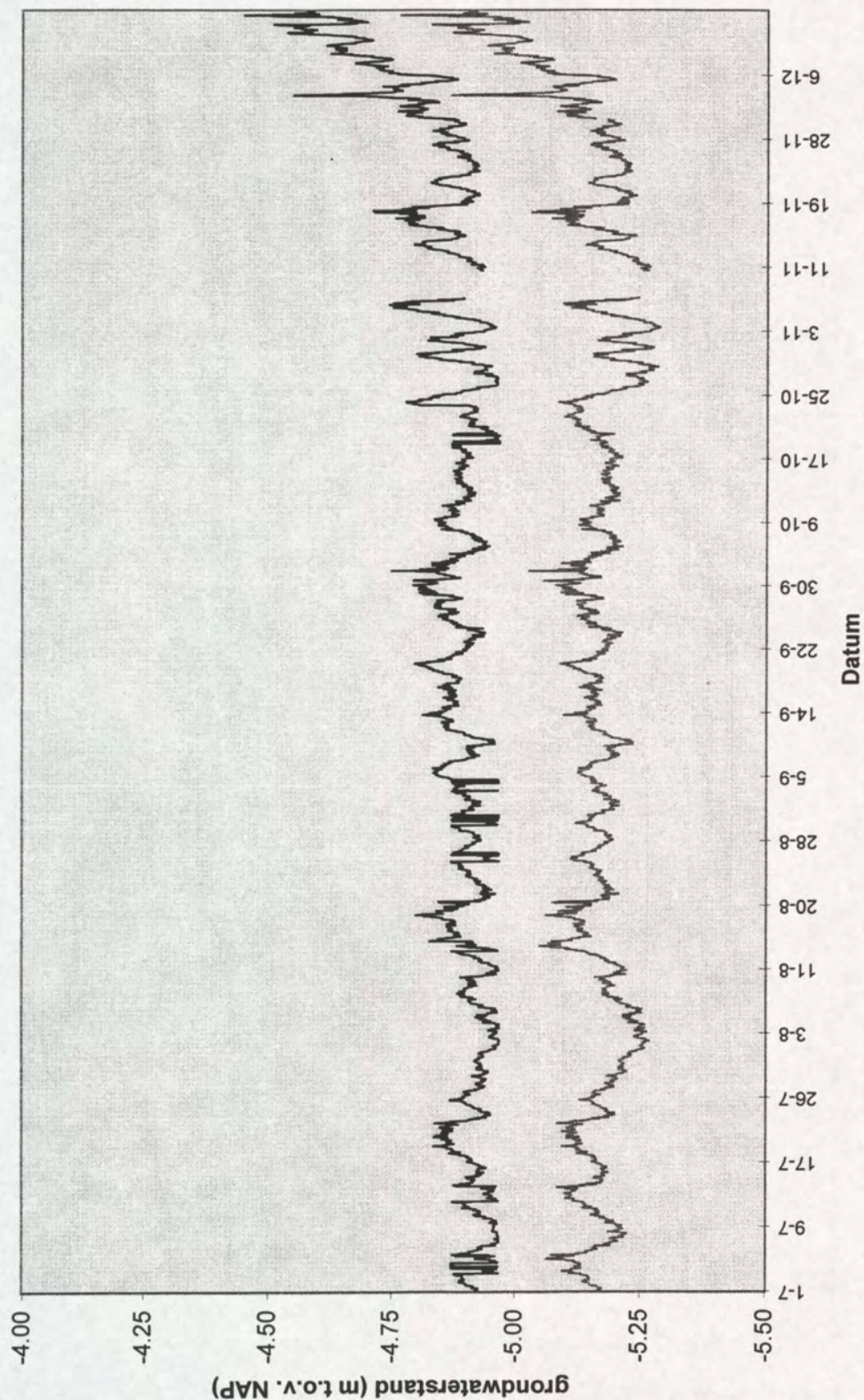
grondwaterstand peilbuis Oost en West



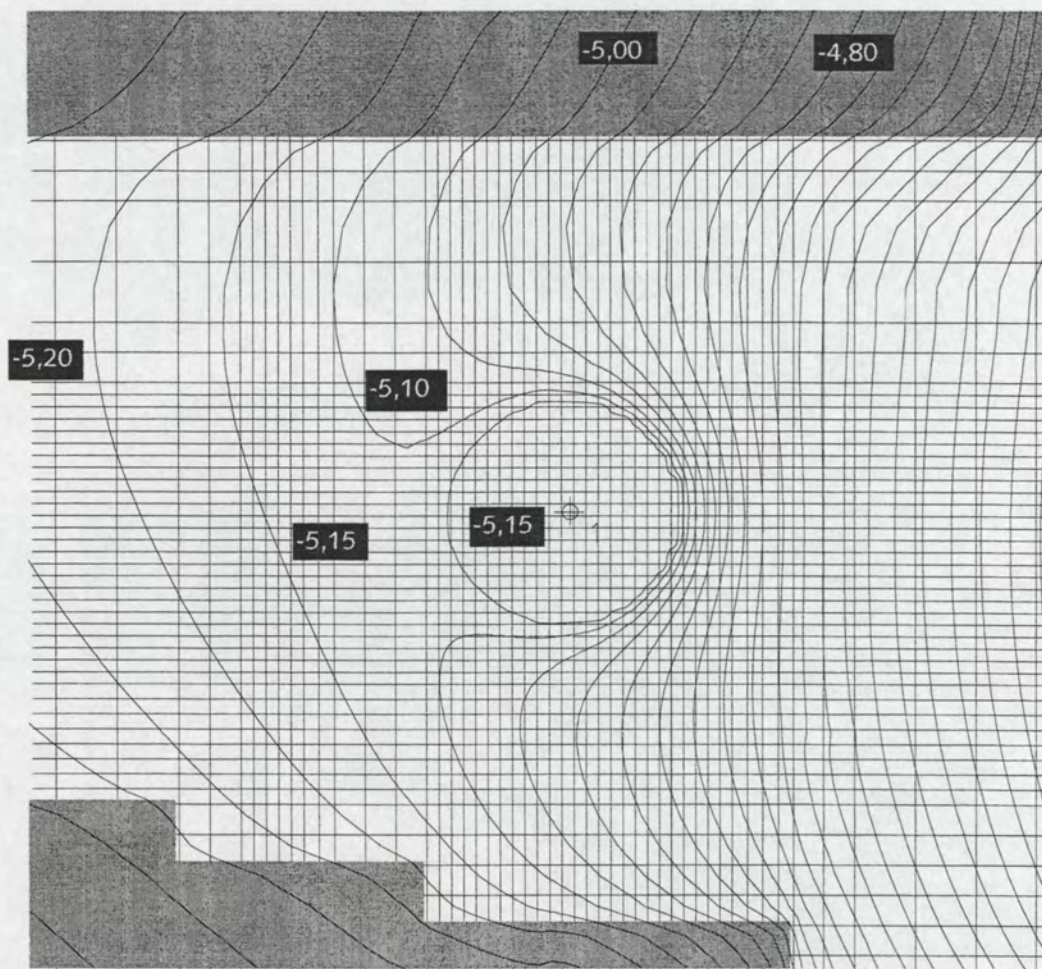
Grondwaterstand ten oosten en westen depot (1e helft 1999)



Grondwaterstand ten oosten en westen depot (2e helft 1999)

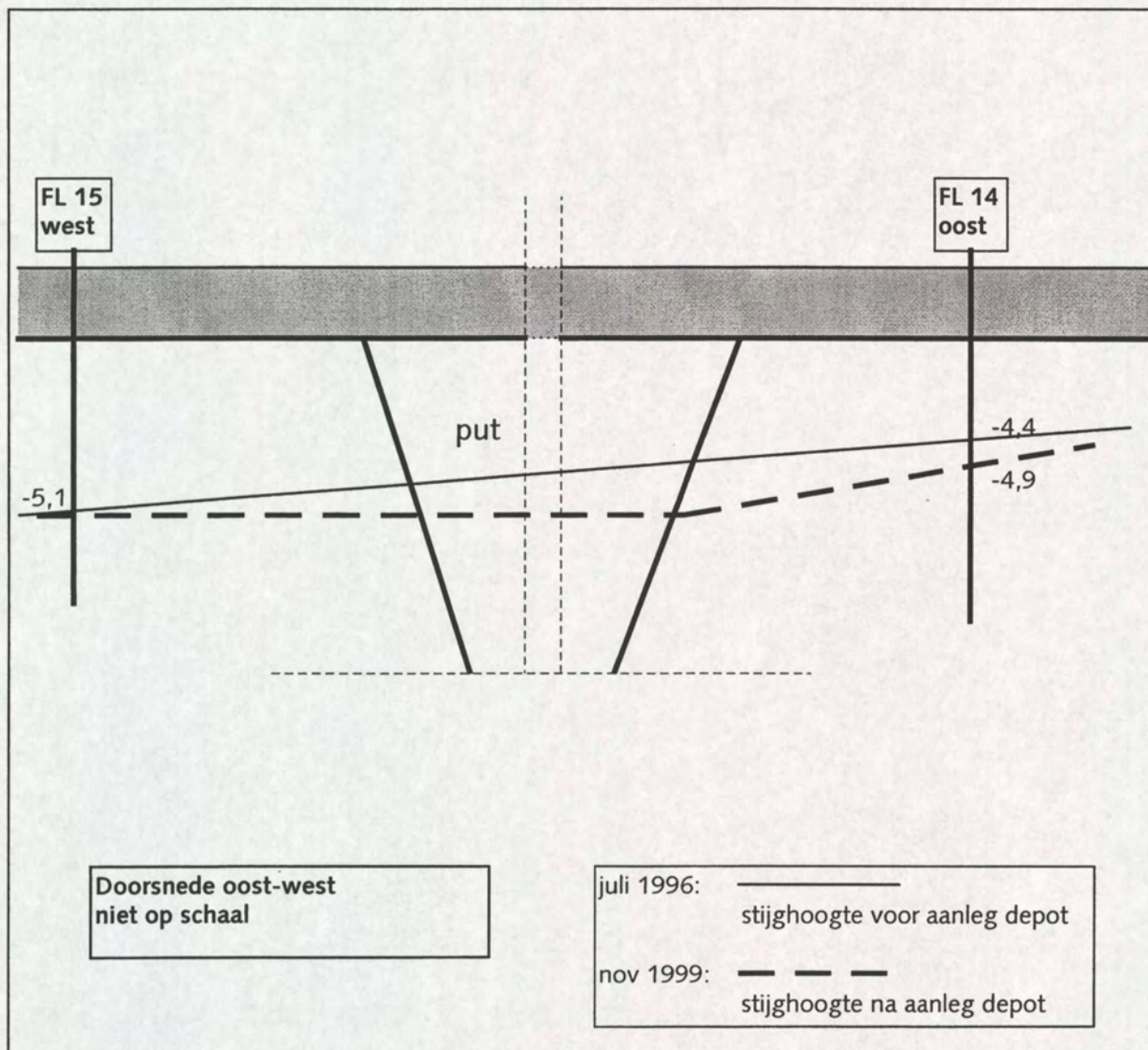


Bijlage V: Stijghoogtepatroon rond depot.



**Afbeelding V.1 Stijghoogtenpatroon rondom het depot, bij een depotpeil van NAP -5,20 m.
(stijghoogte in m ten opzichte van NAP, interval 0,05 m)**

Bijlage VI: Stijghoogtes in dwarsdoorsnede (oost - west), zonder en met depot



Bijlage 3: Visuele inspectie binnentalud: beschrijving en foto's

- Overzicht en beschrijving van de verzakkingen
- Inspecties van het filterdoek (onderzijde)
- Foto's

BIJLAGE

Visuele waarneming van het geotextiel ter plaatse van de onderzochte lokaties. De nummers corresponderen met de nummers zoals weergegeven op bijlage A

Nr	Conditie geotextiel (onderzijde)	Bijzonderheden
<u>Lokatie A: direct aan de oostzijde van de coupure</u>		
1	schoon	geel zand
2	bruine aanslag	veel uittredend water
3	schoon	geel zand
<u>Lokatie B: tussen ankerpaal 1 en 2</u>		
4	schoon	
5	bruine aanslag	geen water
6	veel bruine aanslag	uittredend water
7	lichte aanslag	geen water
<u>Lokatie C: tussen ankerpaal 2 en 3</u>		
8	schoon	
9	schoon	
10	schoon	nat
<u>Lokatie D: tussen ankerpaal 3 en 4</u>		
11	schoon	op lokatie 11 t/m 14 veel mos op bovenzijde
12	lichte aanslag	
13	lichte aanslag	
14	lichte aanslag	
Opmerking: Visueel duidelijk waarneembaar dat het talud op ca NAP-3,50 m vervormt over een grote lengte (in beide richtingen vanaf het meetpunt)		
<u>Lokatie E: vlakbij ankerpaal 5</u>		
15	schoon	
16	schoon	veel mos op bovenzijde
17	bruine aanslag	veel uittredend water
Opmerking: Onder water, bij de teen van het talud, is het geotextiel aan de onderzijde vrij van aanslag. Wel veel uittredend water met bruine deeltjes. Zeker na porren in het zand.		
<u>Lokatie F: tussen ankerpaal/meetpaal 6 en ankerpaal 7</u>		
18	schoon	
19	schoon	holle ruimte onder het geotextiel, diep 0,3 m
20	lichte aanslag	
Opmerking: In beide richtingen vanaf het meetpunt ligt het talud er "strak" bij.		
<u>Lokatie G: tussen ankerpaal 7 en 8</u>		
21	schoon	
22	schoon	
23	lichte aanslag	onderaan het talud veel bruin uittredend water
Opmerking: Over een grote lengte langs het talud zijn veel "gaten/verzakkingen" opgetreden.		
<u>Lokatie H: tussen ankerpaal 8 en 9</u>		
24	schoon	
25	schoon	holle ruimte onder het geotextiel, diep 0,15 m
26	lichte aanslag	na insteken (wateroppervlak depot) borrelt veel bruin water met deeltjes op.
Opmerking: Over een grote lengte langs het talud zijn veel "gaten/verzakkingen" opgetreden.		

Lokatie I: vlakbij anker / meetpaal 11

27 schoon

28 schoon

Opmerking: Nr 28 is hetzelfde gat waar vorige week na insteken een "spuiter" ontstond met erg veel bruin water. Nu is er ter plaatse een flinke wel. Bij porren in de wel treden er veel bruine deeltjes uit. Geotextiel is aan de onderzijde schoongespoeld. Omgeving is verslechtert.

29 schoon

30 schoon

Lokatie J: tussen ankerpaal 12 en 13

31 bruine aanslag

32 bruine aanslag

dichtgegroeid met mos

33 veel bruine aanslag

Lokatie K: tussen ankerpaal 13 en 14

34 schoon

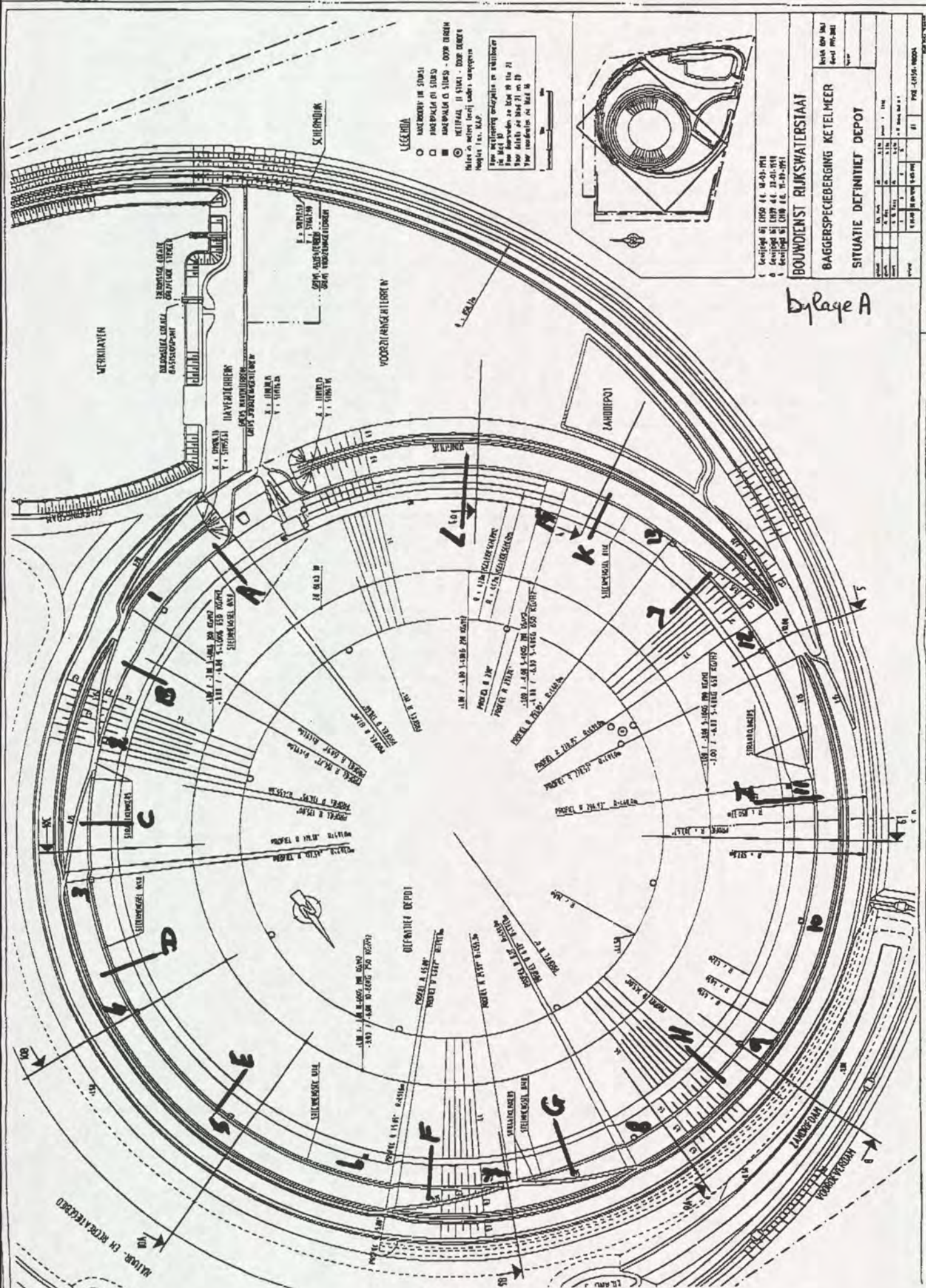
35 lichte aanslag

36 bruine aanslag

Lokatie L: achter damwand retourwaterzonde

37 schoon

Opmerking: Op het oppervlakte water achter de damwand drijft veel bruine aanslag. Porren op de waterlijn in de ondergrond levert geen bijzonderheden op. Hier is dus sprake van aanslag aan de oppervlakte.

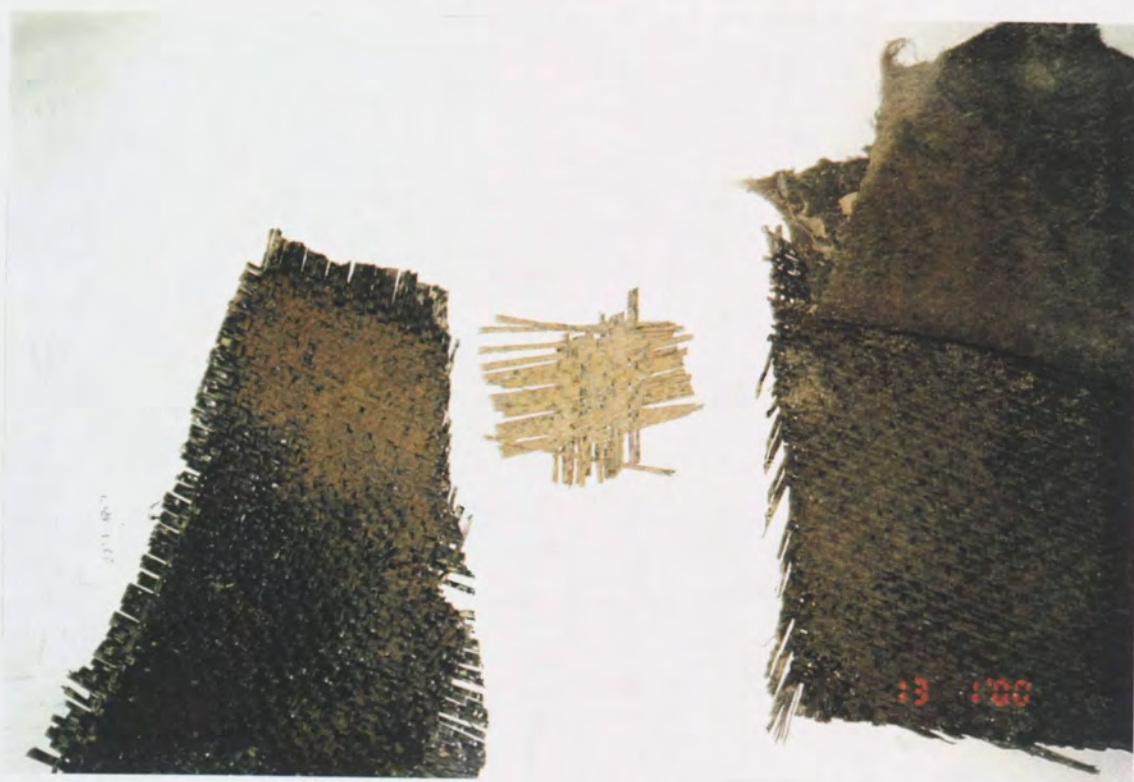


	nr	gemeten waarde ^{lengte} over ^{talud}	PEIL tov NAP *
A	1	9	-1,18
	2	22	-4,34
	3	10,7	-1,60
B	4	5,5	-0,33
	5	18	-3,37
	6	25	-5,06
	7	22,4	-4,43
C	8	12,2	-1,96
	9	18,7	-3,54
	10	22,5	-4,46
D	11	12	-1,91
	12	21	-4,09
	13	23,5	-4,70
	14	13,3	-2,23
E	15	14	-2,40
	16	19,5	-3,73
	17	24,9	-5,04
F	18	13,2	-2,20
	19	20	-3,85
	20	21,9	-4,31
G	21	14,5	-2,52
	22	20	-3,85
	23	21	-4,09
H	24	19,5	-3,73
	25	25,6	-5,21
	26	26,8	-5,50
I	27	17,6	-3,27
	28	20	-3,85
	29	17,9	-3,34
	30	25,5	-5,18
J	31 31	18	-3,37
	32 32	22,7	-4,51
	33 33	23	-4,58
K	34 34	12,5	-2,03
	35 35	18	-3,37
	36 36	25	-5,06
L	37	17	-3,12

* uitgaand van weg binnenkant ringdijk op NAP +1,00 en talud 1 : 4

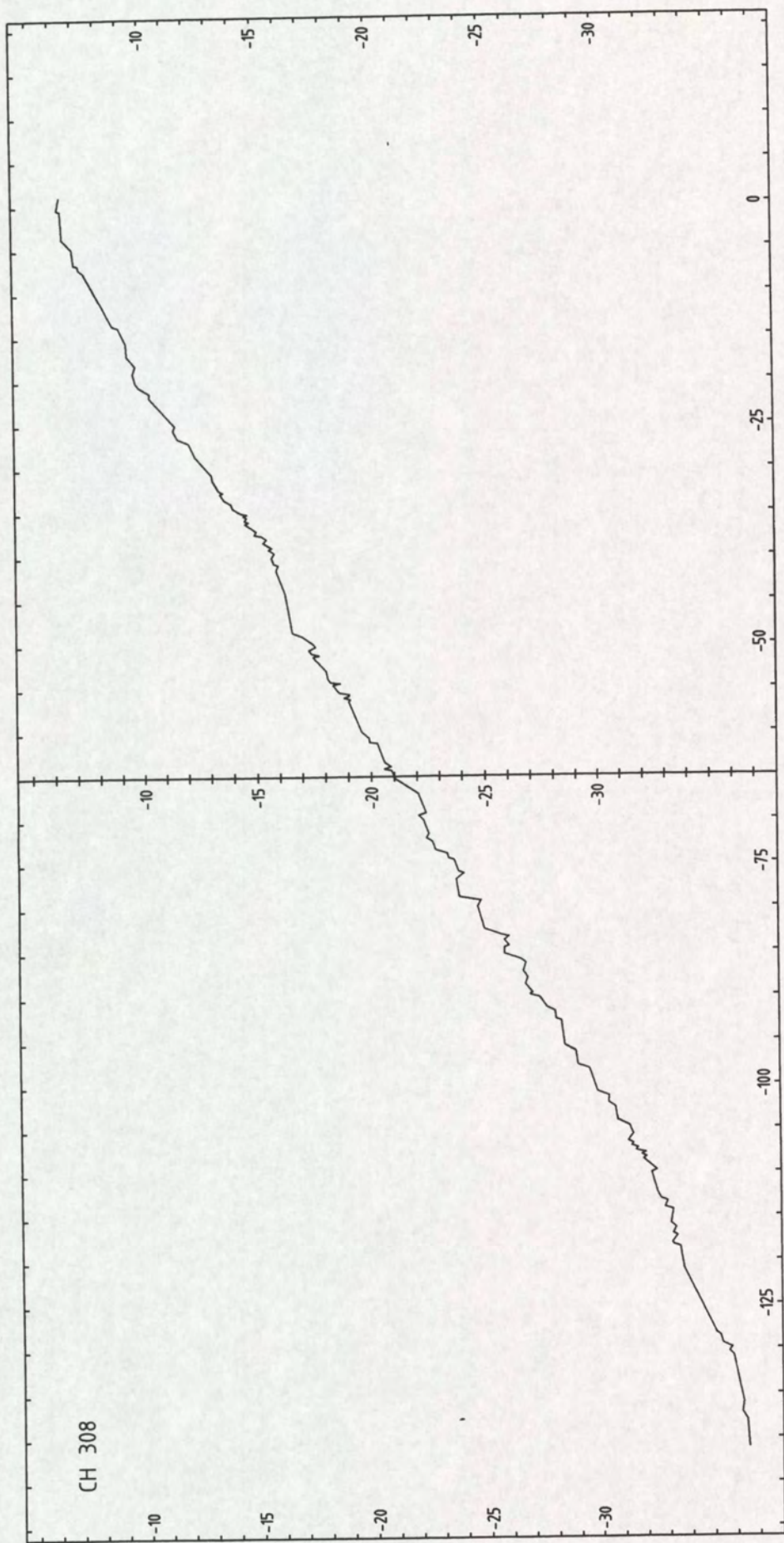






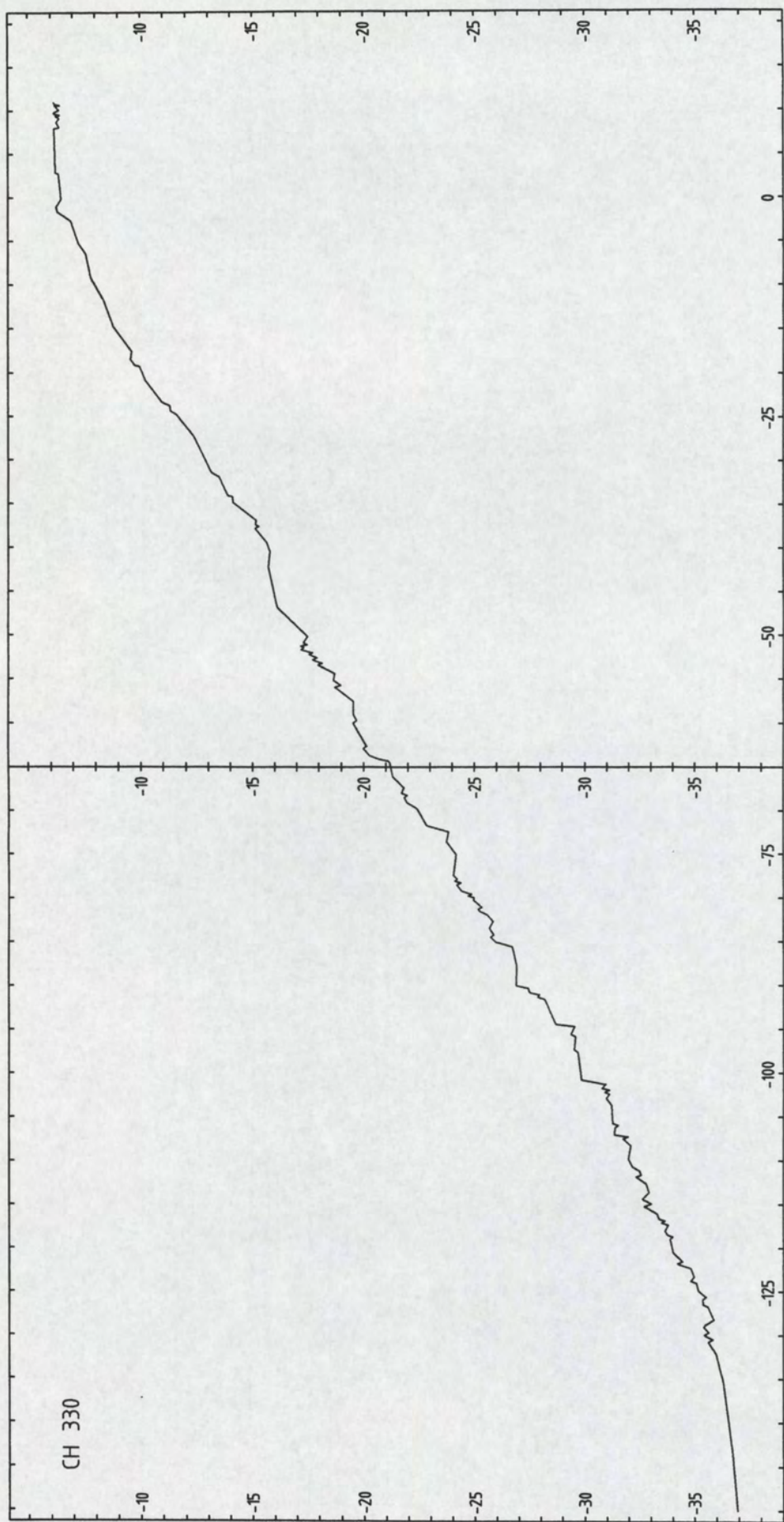
Bijlage 4: Echometingen van de puttaluds

- Overzichtstekening van de survey
- Profielen (12 stuks); 11 bladen



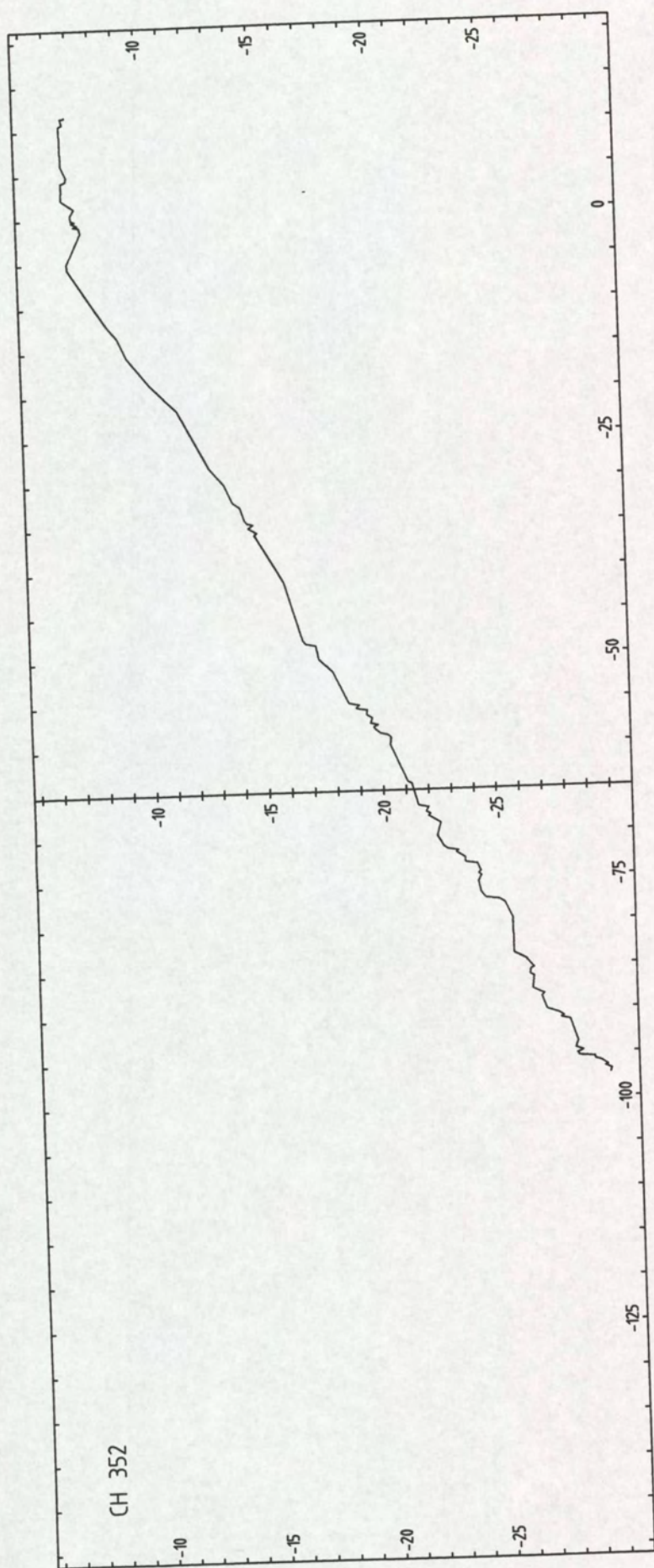
DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA



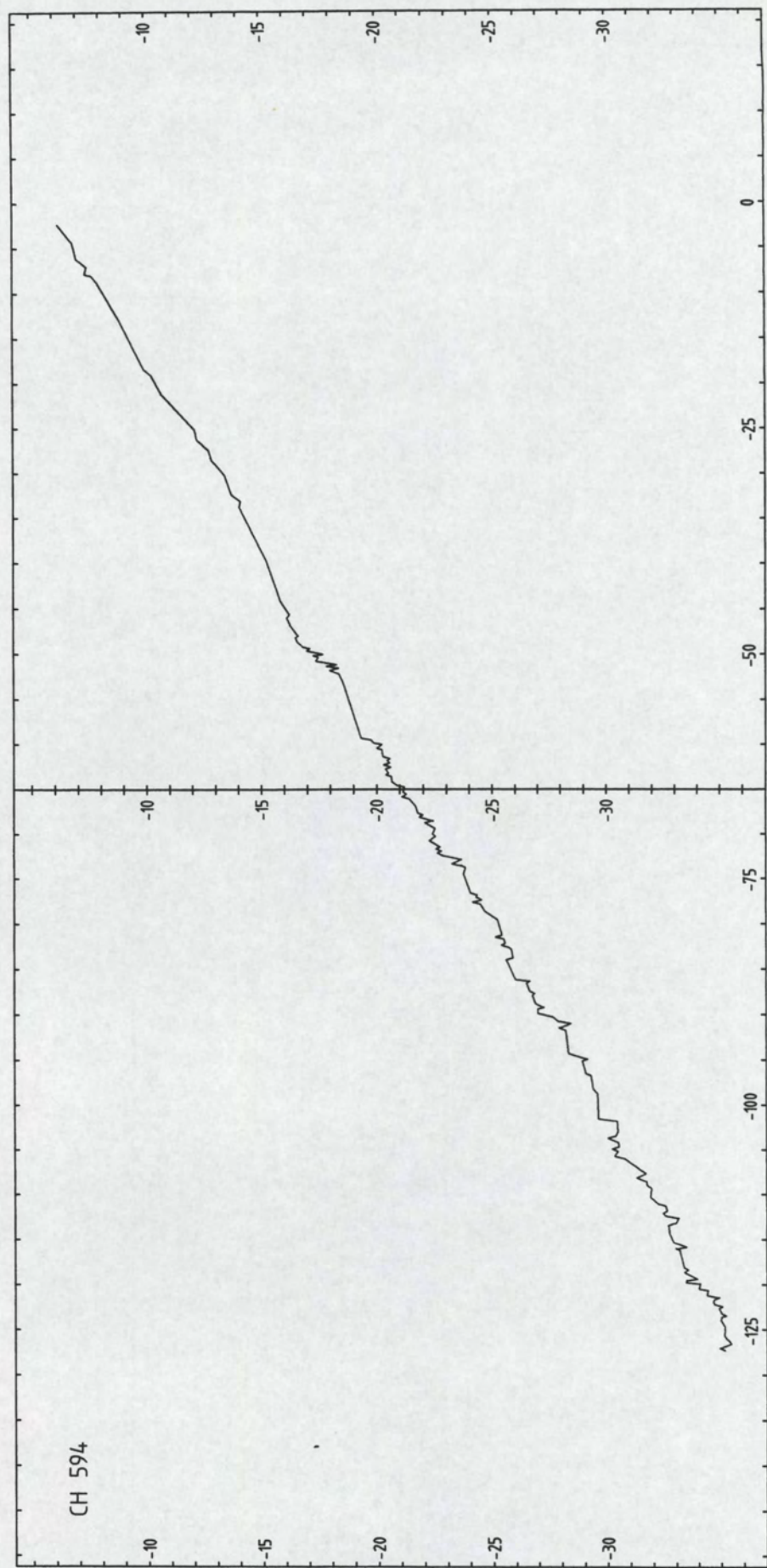
DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

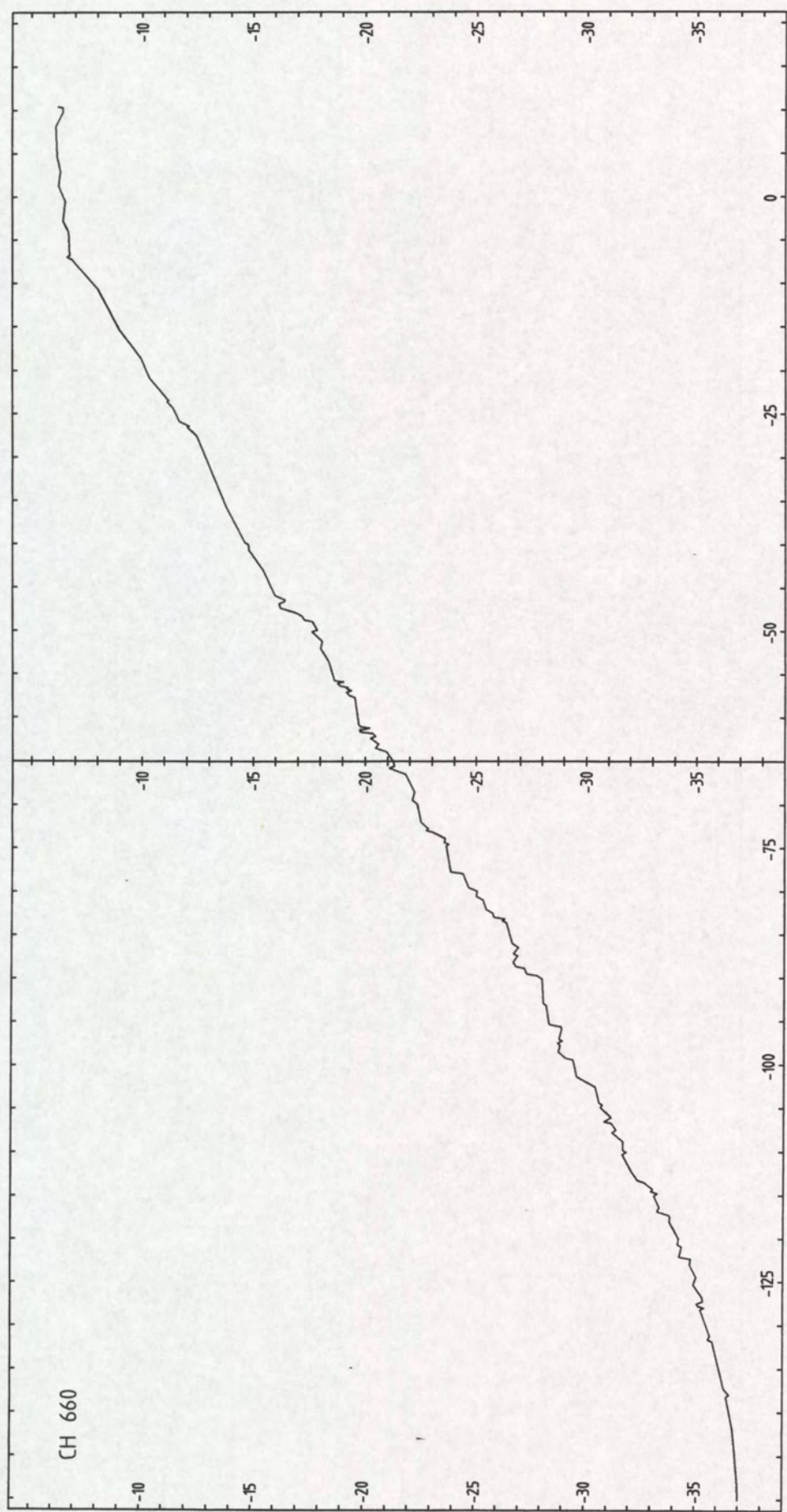
Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA



DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

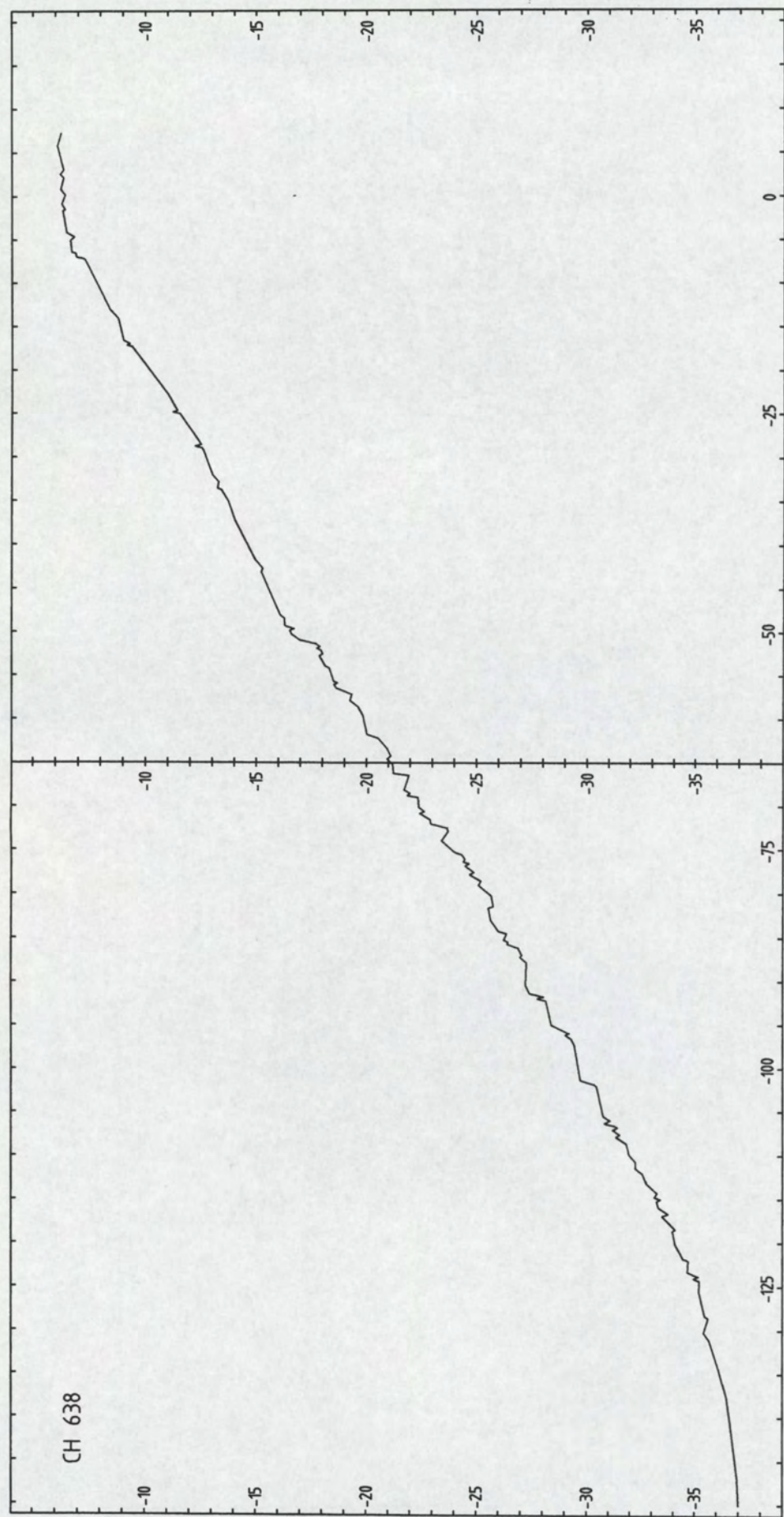
Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA





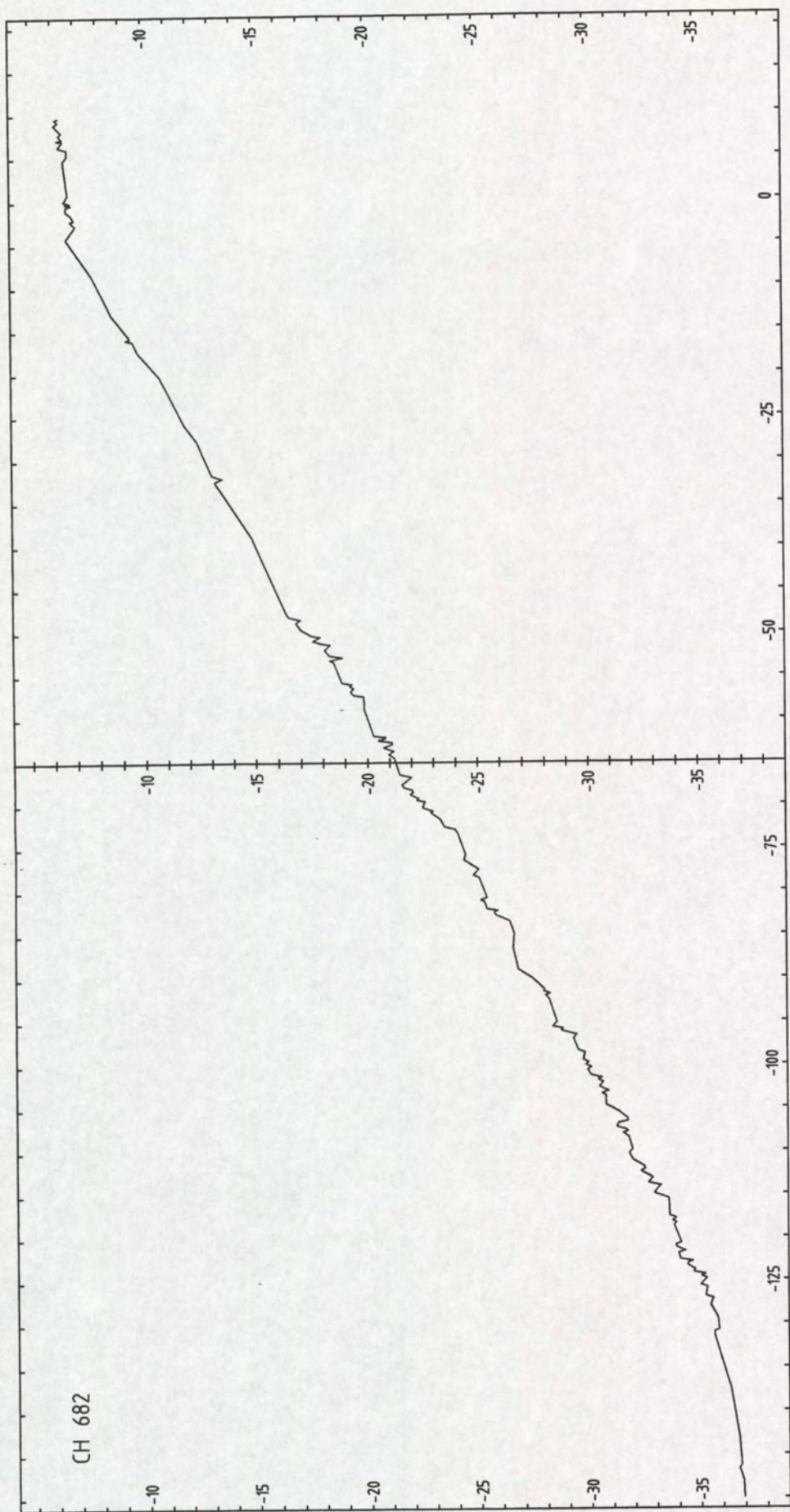
DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA



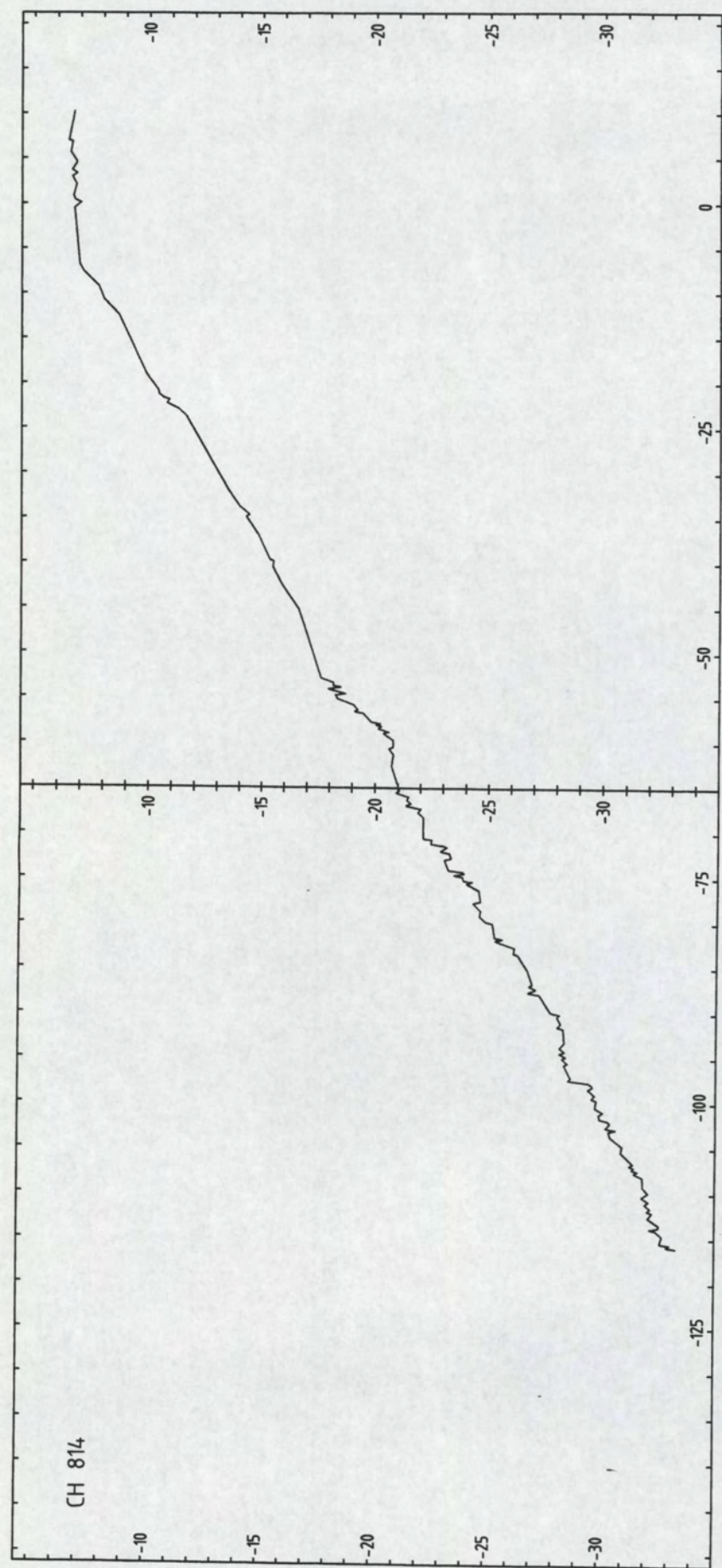
DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA



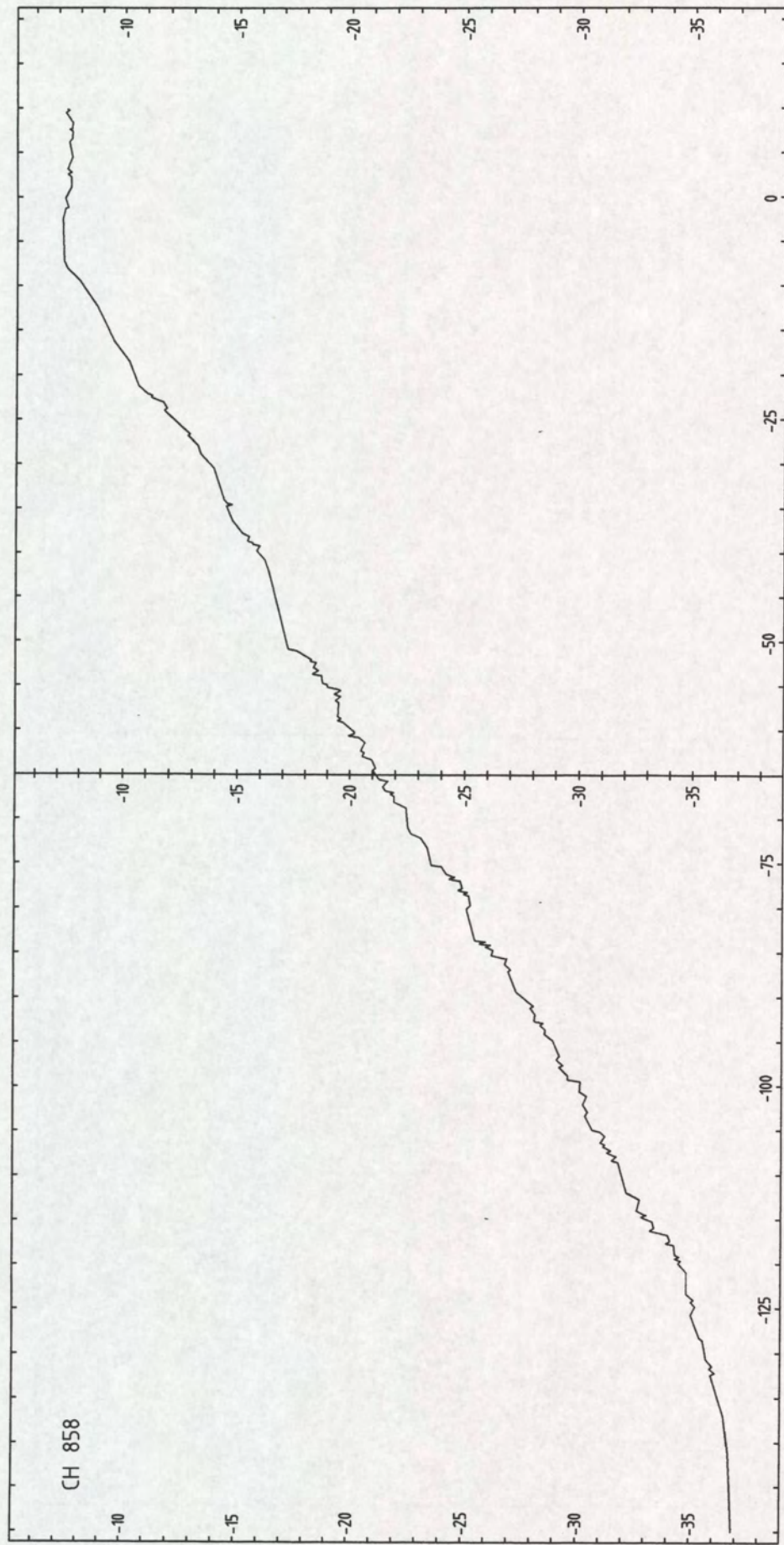
DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA

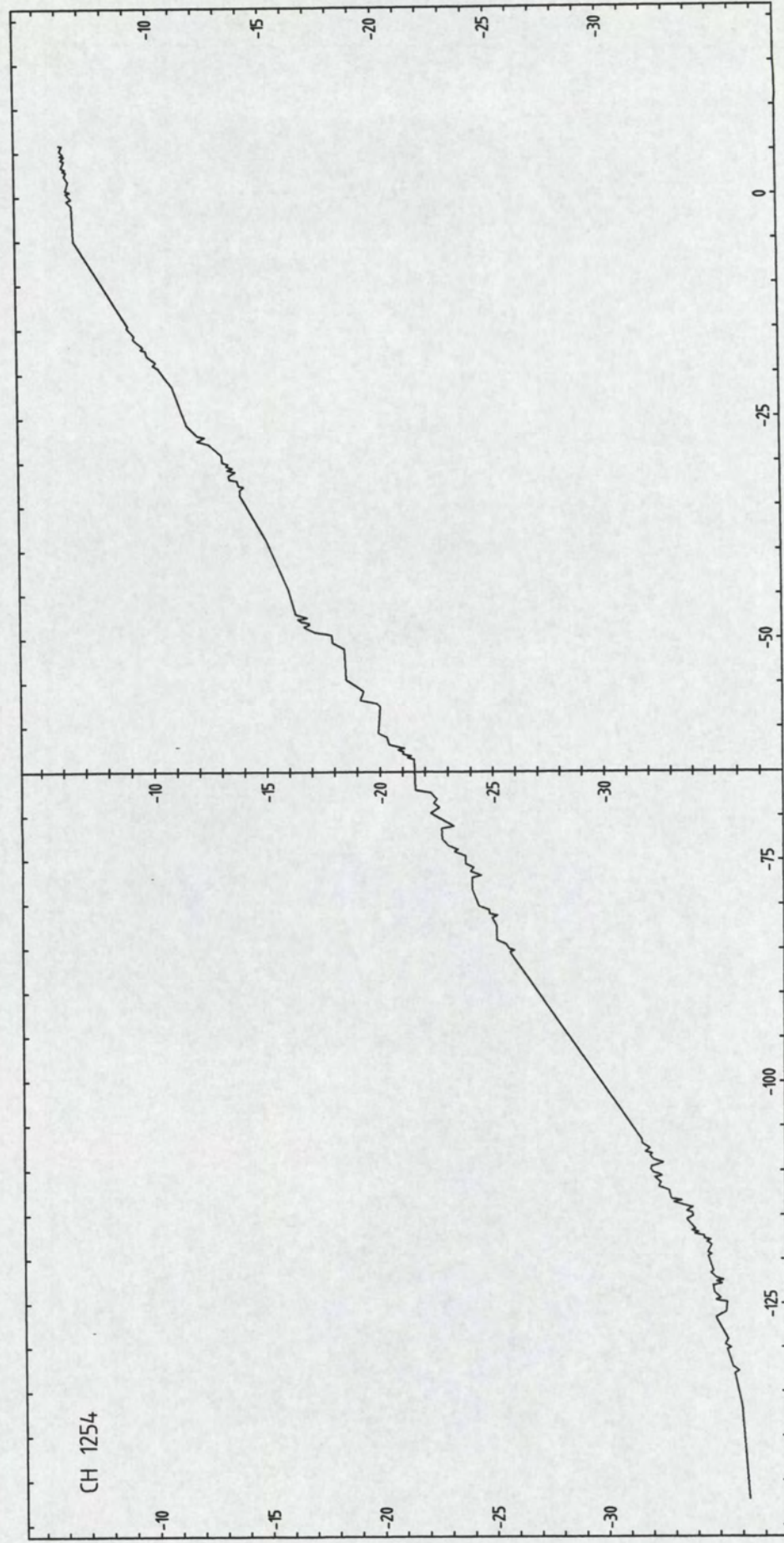


DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA

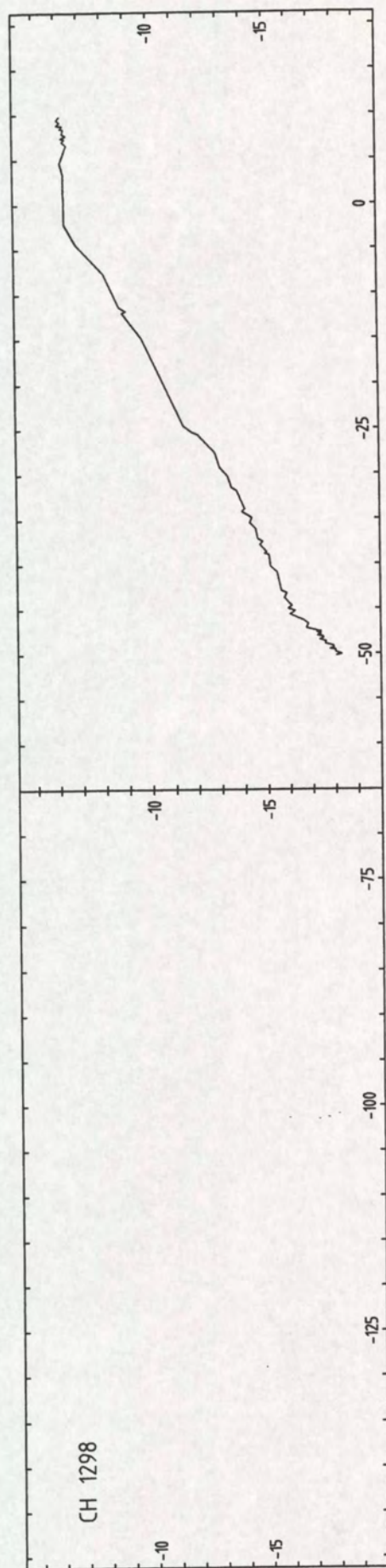
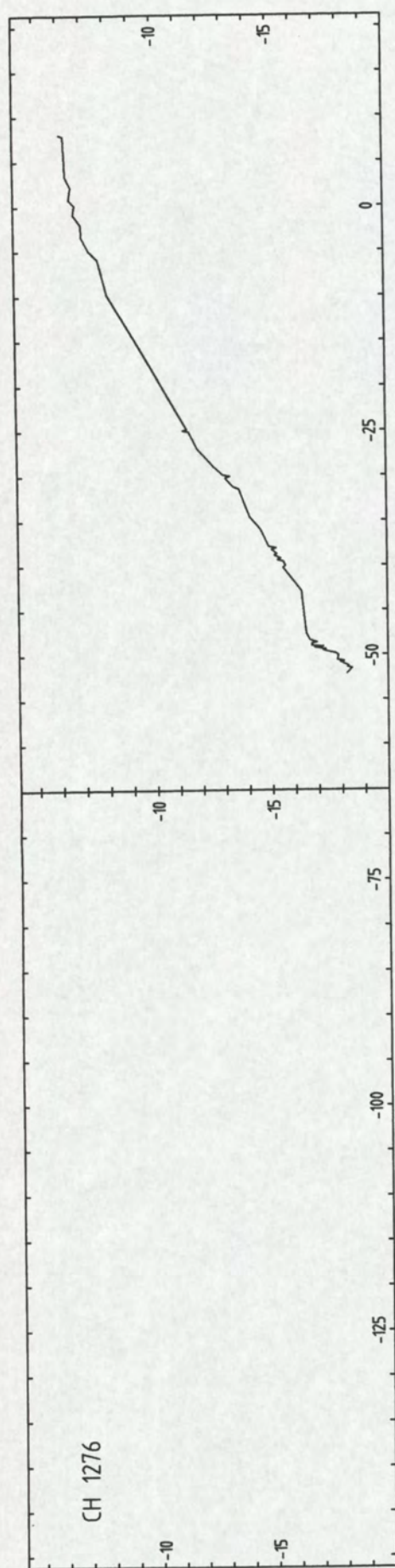


DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA



Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA

DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

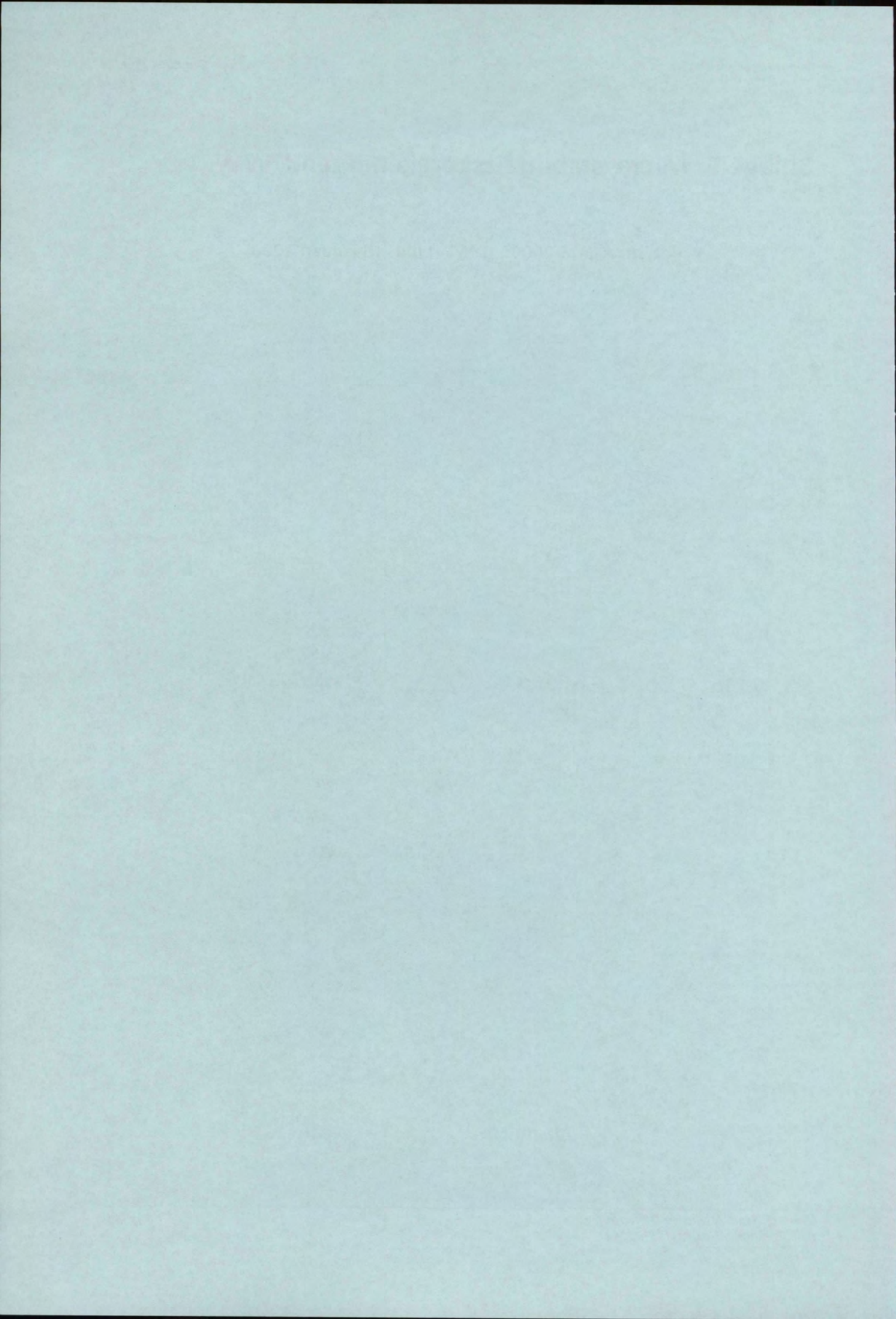


DDP ter plaatse van 'gaten' in ringdijk

Schaal HOR 1:500 VER 1:200 13-10-99 REQ 2124 JKA

Bijlage 5: Micro-stabiliteitsberekeningen DWW

- doc. nr. AG-13 20005 [DWW] d.d. 18 januari 2000





Aan
Rijkswaterstaat Bouwdienst
t.a.v. ir. D. Heineke
A. van Ostadelaan 140
3583 AM Utrecht

Contactpersoon
ir. J. Lindenberg
Datum
18 januari 2000
Ons kenmerk
AG-13 20005
Onderwerp
schade ringdijk depot IJsseloog

Doorkiesnummer
015-2518401
Bijlage(n)
4 floppy's met rekenresultaten
Uw kenmerk
-

Geachte ,

In aanvulling op onze eerste notitie van 28 oktober 1999 treft u hierbij de resultaten van de aanvullende grondwaterstromingberekeningen, zoals afgesproken in ons overleg van 26 november jl.

In onderstaand overzicht zijn alle varianten op een rij gezet. Er is gevarieerd met de ligging van het holocene en het cunet, de waterstand zowel binnen als buiten het depot en de aanwezigheid van een drempel aan de benedenzijde van het talud aan de depotzijde. De hoeveelheid regen op het talud aan de depotzijde is niet meer gevarieerd, gelet op de uitkomsten van de berekende verhangen. In de laatste rij zijn de berekende verhangen opgenomen. De berekeningen zijn met het grondwaterstromingspakket MSEEP uitgevoerd. De buitenwaterstand aan de ketelmeerzijde van 0 m NAP komt overeen met een gemiddelde buitenwaterstand en is voor alle varianten hetzelfde gehouden. Voor de doorlatendheden in het holocene onder en naast de dijk zijn de doorlatendheden genomen zoals deze uit de samendrukkingsproeven zijn bepaald.



VARIANT	BASIS	1	2	3	4	5	6A	6B
filenaam	ktmbasis	ktmvar1	ktmvar2	ktmvar3	ktmvar4	ktmvar5	ktmvar6A	ktmvar6B
kenmerk				met zanddrempel in holoceen	kleidrem pel	bovenkant holoceen ketelmee r/depot	2*k _{zand ringdijk}	4* k _{zand ringdijk} 2*k _{zand pleist}
waterstand Ketelmeer [m NAP]	0	0	0	0	0	0	0	0
stijghoogte pleistoceen ketelmeerzij de [m NAP]	-5,00	-4,70	-4,70	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
stijghoogte pleistoceen depotzijde [m NAP]	-5,20	-4,50	-4,50	-5,20	-5,20	-5,20	-5,20	-5,20
regen [mm/jaar]	300	300	300	300	300	300	300	300
doorlatendh eid holoceen	k	k	k*10	k	k	k	k	k
bovenkant holoceen	-4,70	-4,70	-4,70	-4,70	-4,70	-4,70/- 5,20	-4,70	-4,70
bovenkant cunet	-5,40	-5,40	-5,40	-5,40	-5,40	-5,40	-5,40	-5,40
berekende verhang	0,240	0,246	0,273	0,246	0,256	0,250	0,231	0,246

De verhangen zijn bepaald uit de plaatjes met de stroomlijnen. De maximaal haalbare nauwkeurigheid bleek 10 % te zijn. Dit verklaart het verschil tussen de basisvariant en variant 6A.

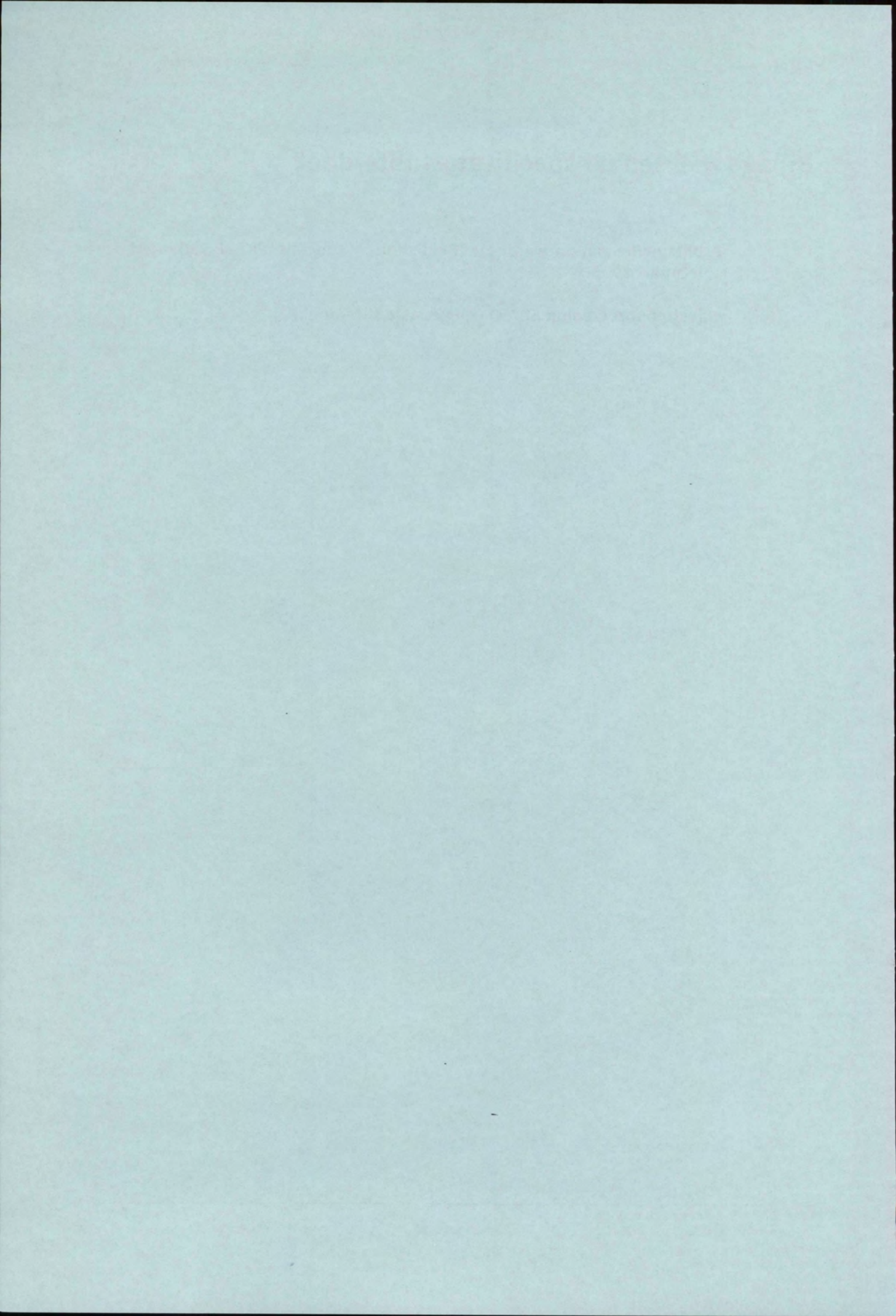
Over het algemeen kan worden gesteld dat de verhangen kunnen variëren tussen 0,21 en 0,29. Uit eerdere berekeningen bleek het maximaal toelaatbare verhang 0,12 te zijn. Bij de berekening van dit verhang zijn de formules voor de weerstandbiedende en aandrijvende kracht uit de leidraad deel 1 Bovenrivieren (blz 131) gebruikt. Uit deze analyse volgt dat microstabiliteit een mogelijke oorzaak van de schade aan de ringdijk zou kunnen zijn. Hierbij is de invloed van een afdekkend geotextiel met een steenbestorting niet in de beschouwing betrokken. Gezien de uitkomsten zie ik geen directe noodzaak hier extra aandacht aan te schenken.

Met vriendelijke groet,

ir. J. Lindenberg

Bijlage 6: Eisen en specificaties filterdoek

- bijlage IIIe van ontwerpnota 'Bekledingen' [doc. nr. PKE-4-95074], d.d. februari 1995
- testrapport Geolon 60/60 (toegepaste filterdoek)



BIJLAGE IIIe: BEREKENINGSMETHODIEK FILTERS

Om erosie van het dijklichaam tegen te gaan wordt een kunststoffilterdoek aangebracht op het lichaam. De belangrijkste eis die aan het filterdoek wordt gesteld betreft de zanddichtheid. Deze wordt bepaald door de verhouding van de openingsgrootte in het filter (O_{90}) en de korrelafmetingen van het onderliggend materiaal (d_{90}). Aan de volgende eis moet worden voldaan:

$$O_{90} < d_{90}$$

waarin,

O_{90} : de afmeting van de porie van het filter die correspondeert met de gemiddelde diameter van een zandfractie waarvan 90% op en in het filter achterblijft bij (natte) zeving

d_{90} : de zeefmaat van de theoretische zeef met vierkante openingen waar 90% van de korrels van een fractie van het basismateriaal doorheen gaat

De d_{90} van het materiaal waarvan het dijklichaam wordt opgebouwd bedraagt gemiddeld $842 \cdot 10^{-6}$ m. Van slechts 5 % van de onderzochte zeefmonsters wordt voor de d_{90} de waarde van $596 \cdot 10^{-6}$ m onderschreden, zodat het doek moet voldoen aan de eis:

$$O_{90} < 596 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Bij een veiligheidsfactor 2 dient de O_{90} niet groter dan $300 \cdot 10^{-6}$ m gekozen te worden.

De waterdoorlatendheid k_g van het kunststoffilterdoek moet groter zijn, dan die van het onderliggende materiaal k_b . Als er gevaar bestaat voor dichtslibben of dichtslaan van het filterdoek, moet $k_g > 10 k_b$ zijn. Als dit gevaar niet aanwezig is, kan volstaan worden met $k_g > 2 \text{ à } 3 k_b$. Omdat het zand, waarmee de ringdijk wordt opgebouwd relatief grof is, wordt geen dichtslaan of dichtslibbing verwacht. Omdat een grotere waterdoorlatendheid ten koste gaat van de grond-dichtheid wordt volstaan met $k_g > 5 k_b$.

De gemiddelde waterdoorlatendheid van het te gebruiken zand is $k = 10^{-4}$ m/sec, zodat voor de waterdoorlatendheid van het filterdoek geldt:

$$k_g > 5 \cdot 10^{-4}$$

besteleis: $\Delta R_s \leq 120 \text{ mm}$ bij $v_p = 10 \text{ mm/s}$ [NEN 5167]
[dik toegepast doek $\approx 15 \text{ à } 20 \text{ mm}$]



Ten Cate Nicolon

Ad Bylage II

notitie WAK. RDY-3-9915

13/1

Testreport

sample number	B831
production number	R360091001
product name	Geolon 60/60
research number	1774
test date	19-Nov-96
production date	13-Nov-96
operator	JR

groups	average	values	standard deviation	values	values	values	values	values	values
width	510.4	cm		510.4					Nicolon
warp count/10cm	41.0	-		41.0					Din 53853
weft count/10cm	58.0	-		58.0					Din 53853
weight	330.3	g/m ²	8.7	315.4	332.9	328.3	333.2	341.9	NEN-EN965
thickness (th)	0.94	mm	0.03	0.92	0.97	0.91	0.98	0.93	Nicolon
tensile strength warp	60.67	kN/m	1.83	61.26	57.18	61.53	60.82	62.32	ISO 5081
tensile strength weft	72.40	kN/m	3.94	75.06	71.48	76.02	74.32	65.12	ISO 5081
extension at failure warp	14.1	%	0.8	13.6	12.7	14.9	14.7	14.6	ISO 5081
extension at failure weft	10.8	%	0.8	10.7	10.2	12.1	11.3	9.8	ISO 5081
waterpermeability 100mm-head	30.0	l/m ² /s	3.7	33.05	27.42	35.30	29.12	25.18	NEN 5167
Ψ at waterpermeability	0.63	/s	0.16	0.85	0.57	0.90	0.62	0.49	NEN 5167
ΔH at permeability 10mm/s	15.5	mm	3.5	11.8	17.7	11.2	16.3	20.5	NEN 5167
K_g [g/h] waterperm.coefficient	0.84	mm/s	0.14	0.78	0.55	0.82	0.60	0.45	NEN 5167
sieve analysis O90	188	μ	18	191	179	219	163	187	NEN 5168

remarks

speed

laboratory

All rights strictly reserved. Reproduction or issue to third parties in any form whatever is not permitted without written authority from the proprietors.

These test results are valid for this specific sample.



Ten Cate Nicolon

Sluiskade N° 14 / P.O. Box 236
7600 AE Almelo
The Netherlands
Tel. +31 546 544453
Fax +31 546 544456

Bijlage 7: Energiekosten uitpompen kwelwater

Op de hierna toegevoegde rekenbladen worden de energiekosten berekend die per jaar uitgegeven moeten worden voor het uitpompen van het kwelwater dat door de dijk het depot binnenkomt.

Uitgangspunten:

- De waterslagvoorzieningen (be- en ontluichters) zijn aangebracht op de watertransportleidingen en werken volgens verwachting; dit in verband met het feit dat de metingen van de hoeveelheden lozingswater in de tweede helft van 1999 alsmede de analyse daarvan (zie ook bijlage X) angaven dat de werking van de debietmeters niet optimaal was.
- De in de periode van week 31 t/m week 35 1999 geregistreerde debieten zijn met een factor 0,85 gecorrigeerd (zie ook bijlage X); bovendien zijn deze geëxtrapoleerd naar een jaarlijkse hoeveelheid teneinde de jaarlijkse kosten te kunnen bepalen.
- Er is vanuit gegaan dat één pomp in bedrijf is voor het uitpompen van deze kwel (bij frequentie van 50 Hz) bij een depotwaterstand van NAP -5,20 m en bij een waterstand in de werkhaven van NAP.
- Qua leidingkarakteristiek is uitgegaan van hetgeen eerder is aangehouden (zie bijvoorbeeld doc. nr. WAU.EXY-3-99045: 'Waterslaganalyse watertransportleidingen'), gecorrigeerd qua statische opvoerhoogte naar 5,2 mWk.
- Een energieprijz van f 0,25 per kWh wordt aangehouden

Berekeningen en resultaten

- Onder de gegeven condities wordt met een debiet van circa 2.900 m³ per uur geloosd.
- Het uit het net opgenomen vermogen bedraagt bij deze condities circa 125 kW.
- Het specifiek energieverbruik komt hiermee op 43 kWh per 1.000 m³ lozingswater.
- Bij een kWh prijs van 25 ct bedragen de specifieke energiekosten dus circa f 11 per 1.000 m³ lozingswater.
- Uit de geregistreerde debieten in de genoemde periode volgt na correctie met factor 0,85 en extrapolatie naar een jaar een energiebehoefte van circa 275 MWh.
- De kosten komen daarmee uit op: $275.000 \times f 0,25 = \text{circa } f 69.000$ per jaar.

Annex: rekenbladen

Energieverbruik in het kader van kwel

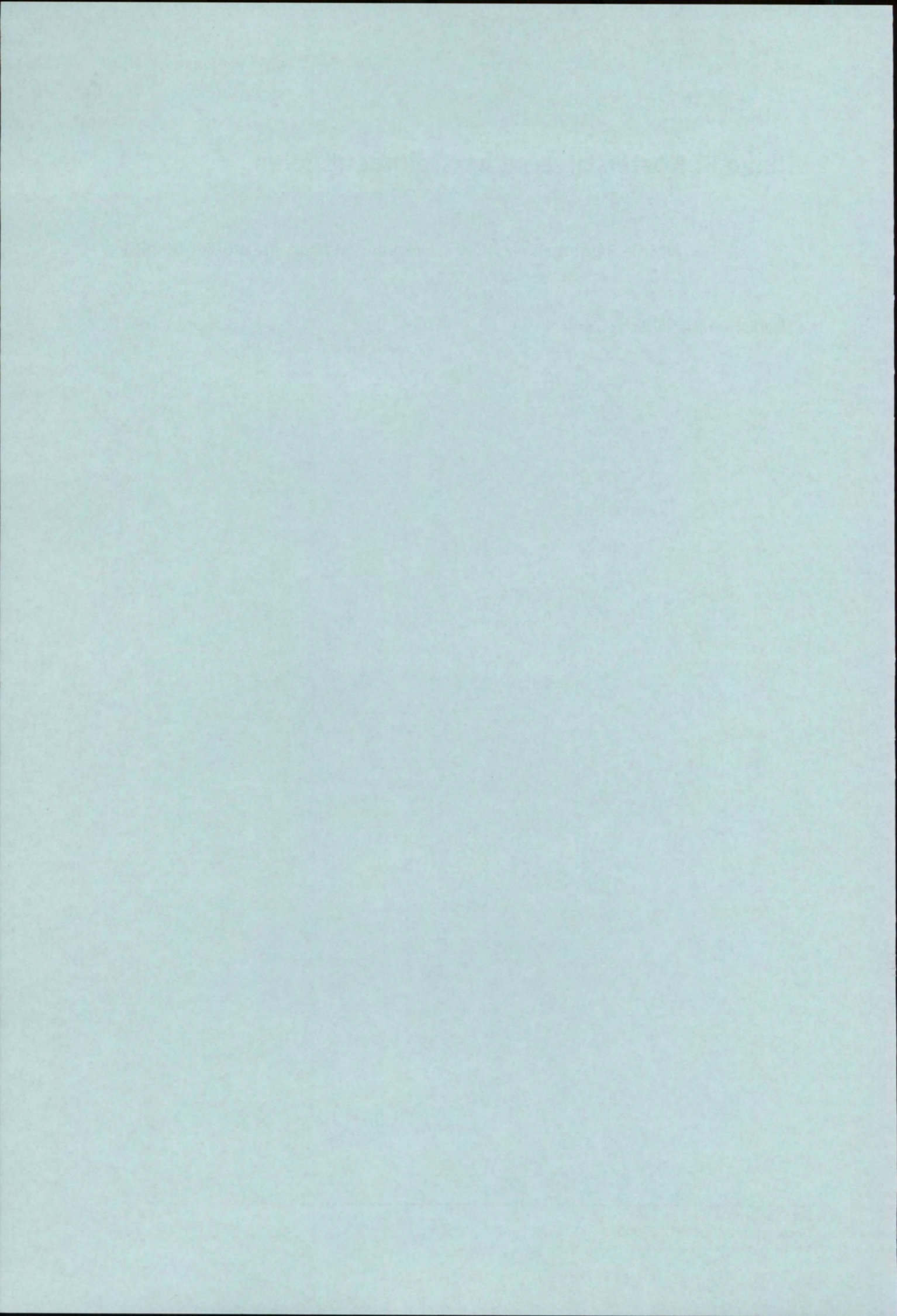
Invoergegevens		Correctiewaarde	
Correctie Hstat 4,85 mWk		0,35 mWk	
Bepaling leidingkarakteristiek conform WAU-EXY-3-99045			
	48	0	
	112	3020	
Bepaling leidingkarakteristiek gecorrigeerd			
Hman	Qleiding		
[kPa]	[m^3/uur]		
	51,4335	0	
	115,4335	3020	
Bepaling pompkarakteristiek			
Hpomp	Qpomp		
[kPa]	[m^3/uur]		
	235	720	
	93	3240	
Uitgangsfrequentie		50 Hz	
aanstuurfrequentie		50 Hz	
Bepaling pompkarakteristiek aangepaste frequentie			
Hpomp	Qpomp		
[kPa]	[m^3/uur]		
	235	720	
	93	3240	
Bepaling constanten			
K1	51,4335 kPa		
C1	7,01724E-06 kPa h^2/m^6		
K2	275,5714286 kPa		
C2	-0,056349206 kPa h/m^3		
Bepaling pompdebiet			
Q	=	2917,60 m^3/uur	
Q^2-C3/C2*Q+(K1-K2)/C2	=	0,00	
Controle berekening			
Hman	=	111,167 kPa	
Hpomp	=	111,167 kPa	
Qpomp	=	2917,6 m^3/uur	
Berekening hydraulisch vermogen			
Phydr	=	90,09466 kW	
Elektr, rendement	=	93%	
Motorrendement	=	91%	
Pomprendement	=	85%	
Pelektrisch	=	125,2437 kW	
Totaal rendement	=	72%	

Week	Draaiuren Pomp2	draaiuren pomp3	Totaal draaiuren	Verpompt debiet m³	Gem debiet m³/uur	Energieverbruik kWh	Rel. energ. Verbr. kWh/uur	Rel. energ. Verbr. kWh/m³
wk33, dag 17 t/m 23	26	90	116	161200,00	1389,66	5790,00	49,9137931	0,035918114
wk34, dag 24 t/m 30	20	57	77	109100	1416,88	4110,00	53,37662338	0,037671861
wk35, dag 31 t/m 6	110	0	110	160353	1457,75	6330,00	57,54545455	0,039475407
Wk36, dag 7 t/m 10	44	0	44	70611	1604,80	3030,00	68,86363636	0,042911161
gemiddelde over de weken 33, 34 en 35								
Wk 33 t/m 35 dag 17 t/m 6	156	147	303	430653,00	1421,29703	16230,00	53,56435644	0,037886954
Gemiddeld totaal			347	501284,00	1444,564841	19260,00	55,50432277	0,038422867
Gem. debiet per dag Wk33 t/m 35								
Aantal dagen	430653 m³	21 dagen						
Gemiddeld debiet per dag	20507,28571 m³/dag							
Correctie	0,85							
Gemiddeld gecorrigeerd debiet	17431,19286 m³/dag							
Geextrapoleerd debiet (365 dagen/jaar)	6362385,393 m³/jaar							
Specifiek energieverbruik	43 kWh/1000m³							
Energieverbruik per jaar	274 MWh							
Energieprijs	€ 0,25 /kWh							
Energiekosten	€ 68.395,64 /jaar							

Bijlage 8: Kosten diverse herstelmaatregelen

- Notitie Ramingen en NCW berekeningen [Doc. nr. WBB-R-00268]

[4 bladzijden notitie + 7 bijlage bladen]





Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Bouwdienst

Aan	:	Daan Heineke
Van	:	S.R. Prins
Kopie	:	Archief
Datum	:	27-04-2000
Onderwerp	:	Kosten kwelvoorkomende maatregelen depot IJsseloog
Registratienr.	:	WBB-R-00268
Bijlage(n)	:	Ramingen en NCW-berekeningen
Vrijgave	:	S.R.P.
Bestand	:	WBB-R-00268v2.doc
Status	:	Versie-02, definitief

1. Inleiding en opdrachtomschrijving

Op enkele plaatsen in het depot IJsseloog wordt het binnentalud van de dijk ondermijnd; door kwel van buiten naar binnen slibt het filterdoek dicht waardoor delen van het talud instabiel ('drijfzand-effect') worden.

Om deze instabiliteit tegen te gaan en de ermee gerelateerde kwelproblematiek op te lossen komt een aantal opties in aanmerking, namelijk:

1. het aanbrengen van een damwand;
2. het aanbrengen van een cement-/bentonietwand;
3. het aanbrengen van een damwand in een cement-/bentonietwand;
4. het aanbrengen van een HDPE-folie in een cement-/bentonietwand;
5. het aanbrengen van een horizontale drainage (incl. jaarlijks pompen);
6. het vervangen van het filterdoek door een filterconstructie (incl. jaarlijks pompen).

In deze notitie wordt per optie een schatting van de totale kosten gegeven. Onder totale kosten wordt hier verstaan: de som van de directe kosten, indirecte kosten, bijkomende kosten, diversen, onvoorzien en B.T.W.¹

2. Uitgangspunten en aannamen

Hieronder worden per optie de uitgangspunten en aannamen t.b.v. kostenramingen benoemd.

Algemeen.

- De maatregelen worden uitgevoerd over een lengte van 3.000 m en een diepte van 7,5 m.
- Tijdens de werkzaamheden wordt bij optie 5 een bronbemaling toegepast. Een vacuumbemaling is gezien de diepte net niet mogelijk; deze vorm van bemaling kan maximaal tot circa 6 m diepte. Er wordt aangenomen dat in totaal over een lengte van 750 m bemaling benodigd is (dit is dus inderdaad minder dan 3.000 m, omdat ervan wordt uitgegaan dat bij deze optie lichter materieel met een hogere verplaatsingssnelheid en met minder trillingen wordt ingezet dan bij de overige opties; bovendien geldt dat bij deze optie dan dus slechts op de zgn. slechtste plaatsen (waar de verzakkingen zijn opgetreden cq mogelijkerwijs optreden) bronbemaling dient te worden toegepast.
- Tijdens de werkzaamheden wordt bij de opties 1, 2, 3, 4 en 6 een bronbemaling over de gehele omterk van het depot toegepast. De bemaling wordt evenwel in stappen van steeds 750 m langs de ring van de dijk (met totale lengte van 3.000 m) aangebracht; dus 1* aanvoer/afvoer op depot en 4* installeren, in stand houden en verplaatsen: dus 4 * 750 m.

¹ In een eerdere notitie betreffende ramingen van kosten van enkele opties zijn alleen de directe kosten gegeven; dit was toen bedoeld om een 'snelle' onderlinge vergelijking te kunnen maken.

Uitgangspunten en aannamen per optie

Optie 1: Het aanbrengen van een damwand.

- Bij deze optie wordt uitgegaan van hergebruik van damwand (PU8). Deze wordt nabij het depot getrokken en getransporteerd naar het depot. De damwand wordt op lengte gebrand en daarna geheid (inclusief slotafdichting).

Optie 2: Het aanbrengen van een cement-/bentonietwand;

- Bij deze optie wordt een cement-/bentonietwand met dikte van 50 cm aangebracht.

Optie 3: Het aanbrengen van een damwand in een cement-/bentonietwand;

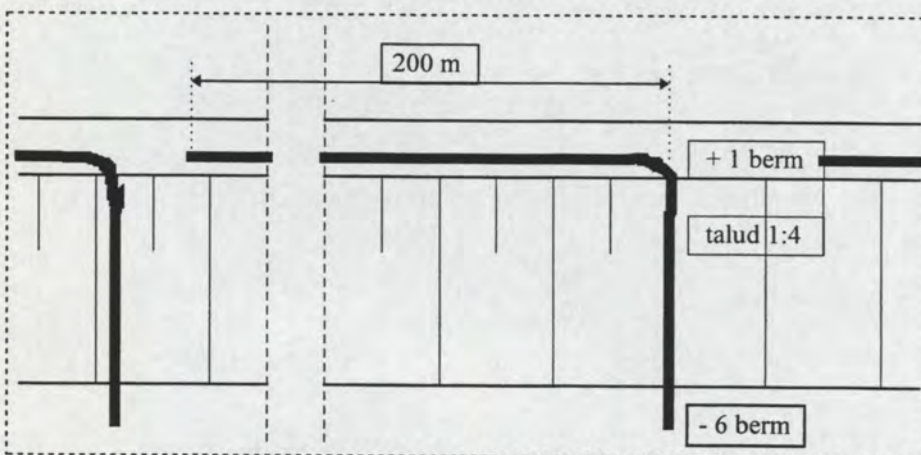
- Deze optie is bijna gelijk aan optie 2; in de wand wordt nu echter een kunststof damwand aangebracht (exclusief slotafdichting).

Optie 4: Het aanbrengen van een HDPE-folie in een cement-/bentonietwand;

- Bij deze optie wordt een cement-/bentonietwand met een dikte van 20 cm aangebracht. In deze wand wordt een HDPE-folie ($d=2\text{mm}$) gehangen. De prijs voor de totale wand is geschat op c.a. fl. 175,-/m² (bron: DHV \Rightarrow LARECO).

Optie 5: Het aanbrengen van een horizontale drainage (incl. jaarlijks pompen);

- Bij deze optie wordt met een zgn. draineermachine, onder de tussenberm van NAP +1 m, een horizontale drainage aangebracht (rond 200 mm, met een kokosomhulsel). De drains worden h.o.h. 200 m gelegd en hebben elk een lengte van circa 230 meter. Om de drains uit te laten komen in het depot worden zijsleuven ontgraven. Het principe van deze optie staat schetsmatig in bijgaande figuur 1 aangegeven. Ook ter plaatse van deze zijsleuven wordt bemaling toegepast. Bij het terugbrengen van het zand wordt op de onderste 12 m van het talud (van NAP -3 tot -6; taludhelling 1:4) i.p.v. filterdoek en breuksteen een filterconstructie aangebracht van fijn en grof grind (totale dikte 30 cm).



Figuur 1: Principe van horizontale drain onder +1 berm op diepte NAP - 6

Optie 6: Het vervangen van het filterdoek door een filterconstructie (+ jaarlijks pompen).

- Bij deze optie wordt, over 3.000 m, op de onderste 12 m van het talud de aanwezige breuksteen en het filterdoek verwijderd. Het talud wordt geprofileerd, waarna een tweelaagse filterconstructie met grind (fijn en grof) wordt aangebracht. De vrijkomende breuksteen wordt op het onderste deel van het talud (op de waterlijn op NAP -5 m) hergebruikt. Alle werkzaamheden worden vanaf de ringdijk uitgevoerd. Hierbij dient bronbemaling toegepast te worden teneinde instabiliteiten tijdens de uitvoering te voorkomen.

3. Raming van de kosten per optie

In de bijlagen 1 t/m 6 is per optie een raming opgenomen. Het prijspeil bedraagt 01-01-2000. In onderstaande tabel zijn de ramingen samengevat (de geschatte nauwkeurigheid bedraagt +/- 20 %):

Optie	Definitieve of tijdelijke optie	Totale kosten (Mfl.)
1. damwand	definitief	5,3
2. cement-/bentonietwand	definitief	7,6
3. cement-/bentonietwand + kunststof damwand	definitief	9,0
4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	definitief	8,0
5. horizontale drainage (+ jaarlijks pompen)	tijdelijk	0,6 (+ fl. 78.000/jr)
6. filterconstructie op talud (+ jaarlijks pompen)	tijdelijk	1,4 (+ fl. 78.000/jr)

Opmerkingen:

- Zoals in de inleiding reeds is vermeld zijn de hier gegeven kostenramingen de ramingen van de totale 'project' kosten. In een eerdere notitie zijn ter vergelijking van de opties alleen de zgn. directe kosten opgenomen.
- Optie nr. 3 is alleen voor de volledigheid meegenomen; dit is mede gezien de kosten een optie die niet nader in de beschouwing van mogelijke opties wordt meegenomen; optie 4 is goedkoper en zekerder.
- Voor alle opties is gerekend met een totale aanleglengte van 3.000 meter, d.w.z. langs de gehele ring van dijk aan de binnenzijde. In de praktijk zal het evenwel niet nodig blijken om langs de volledige ring maatregelen te nemen: ter plaatse van de retourwatertoevoerzone bevinden zich reeds damwanden in het binnentalud die de kwelstroom volledig tegenhouden. Dit scheelt op het totaal circa 10% (de lengte toevoerzone is circa 300 m); gezien de onzekere factoren, is deze 'optimalisatie' niet in de kostenramingen verdisconteerd. Overige aspecten in deze (alleen daar maatregelen treffen waar zich nu de echte problemen voordoen) zijn niet verdisconteerd; dat is onderwerp van een separate discussie.
- De jaarlijkse pompkosten zijn enigszins afwijkend van hetgeen reeds eerder in het kader van dit project berekend is; nu is een zelfstandige berekening (opnieuw) uitgevoerd. De afwijkingen zijn evenwel verwaarloosbaar klein: circa f 68.000 per jaar op basis van de pompegevens (zie bijlage in hoofdrapport) t.o.v. f 78.000 per jaar op basis van huidige berekening.

4. Netto Contante Waarde berekeningen

Algemeen

Op dit moment is het waterpeil in het depot lager dan het peil in het Ketelmeer. Over een aantal jaren (5, 10 of 15jaar; dit is nog onduidelijk, omdat dat voornamelijk afhangt van het actuele vulscenario dat op zich weer in sterke mate bepaald wordt door de ter beschikking te stellen budgetten voor de relatief grote saneringswerkzaamheden) zal dit niet meer het geval zijn. Het depot is dan dusdanig gevuld, dat het waterpeil in het depot hoger is dan dat van het Ketelmeer. M.a.w. over een aantal jaren zal de kwel andersom plaatsvinden. Dit was reeds voorzien; wat concreet inhoudt dat op termijn al rekening werd gehouden met de aanleg van een kwelvoorkomende voorziening. Door deze voorziene maatregel in de tijd naar voren te halen kan ook het huidige probleem tegengegaan worden. Met dit in het achterhoofd zijn de genoemde opties 1 t/m 4 definitieve opties. De opties 5 en 6 zijn tijdelijk en dienen op termijn aangevuld te worden met één van de eerste vier opties.

Om tot een juiste kostenafweging te komen zijn de kosten in de tijd uitgezet.

Daarbij zijn de meest kansrijke varianten uitgewerkt, namelijk:

1. Het aanbrengen van een HDPE-folie in een cement-/bentonietwand (in jaar 0);
2. Het aanbrengen van een horizontale drainage (in jaar 0, incl. jaarlijks pompen) tezamen met het aanbrengen van een HDPE-folie in een cement-/bentonietwand (over 5, 10 of 15 jaar);
3. Het vervangen van het filterdoek + breuksteen door een filterconstructie bestaande uit grind (in jaar 0, inclusief jaarlijks pompen) tezamen met het aanbrengen van een HDPE-folie in een cement-/bentonietwand (over 5, 10 of 15 jaar);

De NCW-berekeningen zijn in bijlage 7 opgenomen. Hierbij zijn de volgende aannamen gedaan:

- een jaarlijkse inflatie van 2%; en
- een discontovoet van 6%.

Berekeningsresultaten en conclusies

Onderstaande conclusies hebben alleen betrekking op de kosten en niet op de technische haalbaarheid en uitvoerbaarheid van de verschillende opties.

Voor de drie scenario's (peil omhoog na 5, 10, dan wel 15 jaar) staan de berekeningsresultaten in de hiernavolgende tabellen.

Indien wordt uitgegaan van het '5-jarige vulscenario' dan geldt het volgende:

Variant	NCW (Mfl.)
4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	8,04
5. horizontale drainage (+ jaarlijks pompen) en 4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	7,68
6. filterconstructie op talud (+ jaarlijks pompen) en 4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	8,48

Indien wordt uitgegaan van het '10-jarige vulscenario' dan geldt het volgende:

Variant	NCW (Mfl.)
4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	8,04
5. horizontale drainage (+ jaarlijks pompen) en 4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	6,81
6. filterconstructie op talud (+ jaarlijks pompen) en 4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	7,61

Indien wordt uitgegaan van het '15-jarige vulscenario' dan geldt het volgende:

Variant	NCW (Mfl.)
4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	8,04
5. horizontale drainage (+ jaarlijks pompen) en 4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	6,09
6. filterconstructie op talud (+ jaarlijks pompen) en 4. cement-/bentonietwand + HDPE-folie	6,90

Conclusies

- Uit bovenstaande tabellen blijkt dat, onafhankelijk van het vulscenario, een combinatie van optie 4 en 5 qua kosten het meest aantrekkelijk is: nu horizontale drainage aanleggen en later de cement/bentoniet wand met folie. Het feit dat je bij een variant bestaande uit twee opties meer (uitvoerings) risico's loopt is hierin niet meegenomen.
- Als het 5-jarige vulscenario in werking treedt liggen de kosten vrij dicht bij elkaar, zeker gezien de nauwkeurigheid (+/- 20%) die in acht dient te worden genomen.

D-10	/	OPTIE 1 : DAMWAND PU8 HERGEBRUIK	1	GLD		
S-1010	/	trekken damwand PU8	22.500	m2	46,62	1.049.005
S-1010A	/	transport damwand PU8	22.500	m2	12,77	287.357
S-1011	/	lossen damwand PU8	22.500	m2	2,12	47.594
S-1012	/	branden damwand PU8 van 11 naar 7m	22.500	m2	4,08	91.800
S-1012A	/	laden damwand PU8 op palenwagen	22.500	m2	2,12	47.594
S-1012B	/	transport+heien damwand PU8 incl. slo	22.500	m2	42,56	957.628
S-B10000	/	installeren bronbemaling	4	gld	77.026,56	308.106
S-B1010B	/	instandhouden bronbemaling	4	gld	17.824,59	71.298
S-B10020	/	verwijderen bronbemaling	4	gld	3.570,68	14.283
F-10	/	DIRECTE KOSTEN	1	GLD		2.874.665
F-10	/EK	- EENNALIGE KOSTEN (6%)	2.874.665	GLD	0,06	172.480
F-	/UK	- UITVOERINGSKOSTEN (15%)	3.047.145	GLD	0,15	457.072
F-	/AK	- ALGEMENE KOSTEN (6%)	3.504.216	GLD	0,06	210.253
F-	/WR	- WINST EN RISICO (8%)	3.714.469	GLD	0,08	297.158
F-	/ENG	- ENGINEERINGSKOSTEN (5%)	4.011.627	GLD	0,05	200.581
F-	/OND	- ONDERZOEKSKOSTEN (0%)	4.212.208	GLD	-	-
F-	/DIV	- DIVERSEN (2%)	4.212.208	GLD	0,02	84.244
F-	/ONV	- ONVOORZIEN (5%)	4.296.452	GLD	0,05	214.823
F-	/BTW	- B.T.W. (17,5%)	4.511.275	GLD	0,18	789.473
D-10	/	OPTIE 1 : DAMWAND PU8 HERGEBRUIK	1	GLD		5.300.748

D-20	/	OPTIE 2 : CEMENT/BENTONIETWAND D=	1	GLD		
S-2020	/	lev.+aanbr. cement/bentonietwand	22.500	m2	162,79	3.662.665
S-B10000.	/	installeren bronbemaling	4	gld	77.026,56	308.106
S-B1020B.	/	instandhouden bronbemaling	4	gld	40.654,26	162.617
S-B10020.	/	verwijderen bronbemaling	4	gld	3.570,68	14.283
<hr/>						
F-20	/	DIRECTE KOSTEN	1	GLD		4.147.671
F-20	/EK	- EENNALIGE KOSTEN (6%)	4.147.671	GLD	0,06	248.860
F-	/UK	- UITVOERINGSKOSTEN (15%)	4.396.532	GLD	0,15	659.480
F-	/AK	- ALGEMENE KOSTEN (6%)	5.056.012	GLD	0,06	303.361
F-	/WR	- WINST EN RISICO (8%)	5.359.372	GLD	0,08	428.750
F-	/ENG	- ENGINEERINGSKOSTEN (5%)	5.788.122	GLD	0,05	289.406
F-	/OND	- ONDERZOEKSKOSTEN (0%)	6.077.528	GLD	-	-
F-	/DIV	DIVERSEN (2%)	6.077.528	GLD	0,02	121.551
F-	/ONV	ONVOORZIEN (5%)	6.199.079	GLD	0,05	309.954
F-	/BTW	B.T.W. (17,5%)	6.509.033	GLD	0,18	1.139.081
<hr/>						
D-20	/	OPTIE 2 : CEMENT/BENTONIETWAND D=	1	GLD		7.648.113

D-30 . A /	OPTIE 3 : CEM./BENT. D=50 CM + KUNSTSTOF DAMWAN	1	GLD		
S-2020 .A /	lev.+aanbr. cement/bentonietwand	22.500	m2	162,79	3.662.663
S-1011 .A /130	lossen damwand kunststof	22.500	m2	2,12	47.588
S-1012B .A /130	transport+plaatsen damwand kunststof	22.500	m2	10,22	229.950
S-1113 .A /130	leveren damwand PU6	22.500	m2	20,91	470.453
S-B10000.A /	installeren bronbemaling	4	gld	77.026,56	308.106
S-B1030B.A /	instandhouden bronbemaling	4	gld	40.654,26	162.617
S-B10020.A /	verwijderen bronbemaling	4	gld	3.570,68	14.283
<hr/>					
F-30 .A /	DIRECTE KOSTEN	1	GLD		4.895.659
F-30 .A /EK	- EENNALIGE KOSTEN (6%)	4.895.659	GLD	0,06	293.740
F- . /UK	- UITVOERINGSKOSTEN (15%)	5.189.398	GLD	0,15	778.410
F- . /AK	- ALGEMENE KOSTEN (6%)	5.967.808	GLD	0,06	358.069
F- . /WR	- WINST EN RISICO (8%)	6.325.877	GLD	0,08	506.070
F- . /ENG	- ENGINEERINGSKOSTEN (5%)	6.831.947	GLD	0,05	341.597
F- . /OND	- ONDERZOEKSKOSTEN (0%)	7.173.544	GLD	-	-
F- . /DIV	DIVERSEN (2%)	7.173.544	GLD	0,02	143.471
F- . /ONV	ONVOORZIEN (5%)	7.317.015	GLD	0,05	365.851
F- . /BTW	B.T.W. (17,5%)	7.682.866	GLD	0,18	1.344.502
<hr/>					
D-30 . A /	OPTIE 3 : CEM./BENT. D=50 CM + KUNSTSTOF DAMWAN	1	GLD		9.027.369

D-40	/	OPTIE 4 : CEM./BENT.+HDPEFOLIE D=20	1	GLD		
S-4020	/	lev.+aanbr. cement/bentonietwand	22.500	m2	100,82	2.268.535
S-4040	/	lev.+aanbr. hdpe folie 2 mm incl. slo	22.500	m2	75,00	1.687.500
S-B10000.	/	installeren bronbemaling	4	gld	77.026,56	308.106
S-B1040B.	/	instandhouden bronbemaling	4	gld	21.085,97	84.344
S-B10020.	/	verwijderen bronbemaling	4	gld	3.570,68	14.283
<hr/>						
F-40	/	DIRECTE KOSTEN	1	GLD		4.362.768
F-40	/EK	- EENNALIGE KOSTEN (6%)	4.362.768	GLD	0,06	261.766
F-	/UK	- UITVOERINGSKOSTEN (15%)	4.624.534	GLD	0,15	693.680
F-	/AK	- ALGEMENE KOSTEN (6%)	5.318.214	GLD	0,06	319.093
F-	/WR	- WINST EN RISICO (8%)	5.637.307	GLD	0,08	450.985
F-	/ENG	- ENGINEERINGSKOSTEN (5%)	6.088.291	GLD	0,05	304.415
F-	/OND	- ONDERZOEKSKOSTEN (0%)	6.392.706	GLD	-	-
F-	/DIV	- DIVERSEN (2%)	6.392.706	GLD	0,02	127.854
F-	/ONV	- ONVOORZIEN (5%)	6.520.560	GLD	0,05	326.028
F-	/BTW	- B.T.W. (17,5%)	6.846.588	GLD	0,18	1.198.153
<hr/>						
D-40	/	OPTIE 4 : CEM./BENT.+HDPEFOLIE D=20	1	GLD		8.044.741

D-50	/	OPTIE 5 : HORIZONTALE DRAINAGE+AFVOE	1	GLD		
S-5005	/	opnem.+opzij zetten verharding	3.600	m3	1,40	5.020
S-5010	/	lev.+aanbr. hor. drainage (*1,1 voor	3.300	m1	25,90	85.468
S-5015	/	opnem.+aanbr. verharding	3.600	m3	1,86	6.694
S-5050	/	opnem.+opzijzetten breuksteen	450	ton	2,54	1.141
S-5055	/	ontgr.+opzijzetten zand zijsleuf	15.120	m3	2,36	35.704
S-5060	/	lev.+aanbr. hor. drainage	480	m1	20,96	10.062
S-5065	/	opnem.+aanbr. zand	15.120	m3	1,89	28.564
S-5070	/	opnem.+aanbr. breuksteen	450	ton	2,79	1.255
S-5075	/	lev.+aanbr. grind 07/20mm d=0,1m	255	ton	18,74	4.778
S-5080	/	lev.+aanbr. breukst. 40/200mm d=0,2m	510	ton	33,70	17.189
S-B10000.	/	installeren bronbemaling	1,2	gld	77.026,56	92.432
S-B1050B.	/	instandhouden bronbemaling	1,2	gld	34.131,50	40.958
S-B10020.	/	verwijderen bronbemaling	1,2	gld	3.570,68	4.285
<hr/>						
F-50	/	DIRECTE KOSTEN	1	GLD		333.549
F-50	/EK	- EENNALIGE KOSTEN (6%)	333.549	GLD	0,06	20.013
F-	/UK	- UITVOERINGSKOSTEN (15%)	353.562	GLD	0,15	53.034
F-	/AK	- ALGEMENE KOSTEN (6%)	406.597	GLD	0,06	24.396
F-	/WR	- WINST EN RISICO (8%)	430.993	GLD	0,08	34.479
F-	/ENG	- ENGINEERINGSKOSTEN (5%)	465.472	GLD	0,05	23.274
F-	/OND	- ONDERZOEKSKOSTEN (0%)	488.746	GLD	-	-
F-	/DIV	- DIVERSEN (2%)	488.746	GLD	0,02	9.775
F-	/ONV	- ONVOORZIEN (5%)	498.521	GLD	0,05	24.926
F-	/BTW	- B.T.W. (17,5%)	523.447	GLD	0,18	91.603
<hr/>						
D-50	/	OPTIE 5 : HORIZONTALE DRAINAGE+AFVOE	1	GLD		615.050

D-60	/	OPTIE 6 : GRIND IN/OP TALUD D=30 C	1	GLD		
S-6050	/	opnem.+opzijzetten breuksteen	18.690	ton	2,54	47.388
S-6060	/	profileren talud	37.080	m2	0,93	34.473
S-6070	/	opnem.+aanbr. breuksteen	18.690	ton	2,79	52.127
S-6075	/	lev.+aanbr. grind 07/20mm d=0,1m	6.510	ton	18,74	121.986
S-6080	/	lev.+aanbr. breukst. 40/200mm d=0,2m	12.450	ton	33,70	419.610
S-B10000.	/	installeren bronbemaling	1	gld	77.026,56	77.027
S-B1050B.	/	instandhouden bronbemaling	1	gld	34.131,50	34.131
S-B10020.	/	verwijderen bronbemaling	1	gld	3.570,68	3.571
<hr/>						
F-60	/	DIRECTE KOSTEN	1	GLD		790.313
F-60	/EK	- EENNALIGE KOSTEN (3%)	790.313	GLD	0,03	23.709
F-	/UK	- UITVOERINGSKOSTEN (15%)	814.022	GLD	0,15	122.103
F-	/AK	- ALGEMENE KOSTEN (6%)	936.126	GLD	0,06	56.168
F-	/WR	- WINST EN RISICO (8%)	992.293	GLD	0,08	79.383
F-	/ENG	- ENGINEERINGSKOSTEN (5%)	1.071.677	GLD	0,05	53.584
F-	/OND	- ONDERZOEKSKOSTEN (0%)	1.125.260	GLD	-	-
F-	/DIV	- DIVERSEN (2%)	1.125.260	GLD	0,02	22.505
F-	/ONV	- ONVOORZIEN (5%)	1.147.766	GLD	0,05	57.388
F-	/BTW	- B.T.W. (17,5%)	1.205.154	GLD	0,18	210.902
<hr/>						
D-60	/	OPTIE 6 : GRIND IN/OP TALUD D=30 C	1	GLD		1.416.056

			Jaar	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Inflatie	2%																		
Discontovoet	6%																		
Startjaar	2000																		
Contantewaarde-factor				1,00	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50	0,47	0,44	0,42
Inflatie-factor				1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,13	1,15	1,17	1,20	1,22	1,24	1,27	1,29	1,32	1,35
Cement/bentonietwand inclusief HDPE-folie	8.044.741	[fl.]		8,04															
-	-	[fl.]		-															
-	-	[fl.]		-															
Kasritme	8,045	[Mfl.]		8,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kasritme geïndexeerd	8,045	[Mfl.]		8,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contante Waarde				8,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Netto Contante Waarde (Optie 4)	8,04	[Mfl.]																	
Horizontale drainage	615.050	[fl.]		0,62	0,62														
Pompen	78.984	[fl.]		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08									
Cement/bentonietwand inclusief HDPE-folie	8.044.741	[fl.]		8,04						8,04									
Kasritme	9.134	[Mfl.]		0,69	0,08	0,08	0,08	0,08	8,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kasritme geïndexeerd	9.995	[Mfl.]		0,69	0,08	0,08	0,08	0,09	8,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contante Waarde				0,69	0,08	0,07	0,07	0,07	6,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Netto Contante Waarde (Optie 4 + 5)	7,68	[Mfl.]																	
Horizontale drainage	615.050	[fl.]		0,62	0,62														
Pompen	78.984	[fl.]		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08					
Cement/bentonietwand inclusief HDPE-folie	8.044.741	[fl.]		8,04															
Kasritme	9.529	[Mfl.]		0,69	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	8,12	-	-	-	-	-
Kasritme geïndexeerd	11.383	[Mfl.]		0,69	0,08	0,08	0,08	0,09	8,97	-	-	-	-	9,90	-	-	-	-	-
Contante Waarde				0,69	0,08	0,07	0,07	0,07	6,70	-	-	-	-	5,53	-	-	-	-	-
Netto Contante Waarde (Optie 4 + 5)	6,81	[Mfl.]																	
Horizontale drainage	615.050	[fl.]		0,62	0,62														
Pompen	78.984	[fl.]		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Cement/bentonietwand inclusief HDPE-folie	8.044.741	[fl.]		8,04															8,04
Kasritme	9.924	[Mfl.]		0,69	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	8,12
Kasritme geïndexeerd	12.914	[Mfl.]		0,69	0,08	0,08	0,08	0,09	8,97	-	-	-	-	9,90	0,10	0,10	0,10	0,10	10,93
Contante Waarde				0,69	0,08	0,07	0,07	0,07	6,70	-	-	-	-	5,53	0,05	0,05	0,05	0,05	4,56
Netto Contante Waarde (Optie 4 + 5)	6,09	[Mfl.]																	
Grindfilter	1.416.056	[fl.]		1,42	1,42														
Pompen	78.984	[fl.]		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08				
Cement/bentonietwand inclusief HDPE-folie	8.044.741	[fl.]		8,04															
Kasritme	9.935	[Mfl.]		1,50	0,08	0,08	0,08	0,08	8,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kasritme geïndexeerd	10.796	[Mfl.]		1,50	0,08	0,08	0,08	0,09	8,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Contante Waarde				1,50	0,08	0,07	0,07	0,07	6,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Netto Contante Waarde (Optie 4 + 6)	8,48	[Mfl.]																	
Grindfilter	1.416.056	[fl.]		1,42	1,42														
Pompen	78.984	[fl.]		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08				
Cement/bentonietwand inclusief HDPE-folie	8.044.741	[fl.]		8,04															
Kasritme	10.330	[Mfl.]		1,50	0,08	0,08	0,08	0,08	8,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kasritme geïndexeerd	12.184	[Mfl.]		1,50	0,08	0,08	0,08	0,09	8,97	-	-	-	-	9,90	-	-	-	-	-
Contante Waarde				1,50	0,08	0,07	0,07	0,07	6,70	-	-	-	-	5,53	-	-	-	-	-
Netto Contante Waarde (Optie 4 + 6)	7,81	[Mfl.]																	
Grindfilter	1.416.056	[fl.]		1,42	1,42														
Pompen	78.984	[fl.]		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Cement/bentonietwand inclusief HDPE-folie	8.044.741	[fl.]		8,04															8,04
Kasritme	10.725	[Mfl.]		1,50	0,08	0,08	0,08	0,08	8,12	-	-	-	-	9,90	0,10	0,10	0,10	0,10	8,12
Kasritme geïndexeerd	13.715	[Mfl.]		1,50	0,08	0,08	0,08	0,09	8,97	-	-	-	-	9,90	0,10	0,10	0,10	0,10	10,93
Contante Waarde				1,50	0,08	0,07	0,07	0,07	6,70	-	-	-	-	5,53	0,05	0,05	0,05	0,05	4,56
Netto Contante Waarde (Optie 4 + 6)	6,90	[Mfl.]																	

OPTIES:

4. het aanbrengen van een HDPE-folie in een cement-/bentonietwand.
 5. het aanbrengen van een horizontale drainage (incl. jaarlijks pompen).
 6. het vervangen van het filterdoek door een filterconstructie (incl. jaarlijks pompen).

AKWA

het Advies- en Kenniscentrum

Waterbodems is een samenwerkings-
verband van Rijkswaterstaat op het
gebied van vervuilde waterbodems.

Hierin zijn DWW, Bouwdienst, RIZA,
RIKZ en Directie Noordzee
vertegenwoordigd.

Voor meer informatie kan contact
worden opgenomen met AKWA via
het bureau WAU

"Waterbodems Advies en Uitvoering",

Adriaen van Ostadelaan 140,
3583 AM Utrecht,

telefoon 030-2192020,

of via RIZA

afdeling Beleidsvoorbereiding

Onderzoek en Advisering (BOA),

postbus 17,

8200 AA Lelystad,

telefoon 0320-298761

