

# werkdokument

I



**r**

19218

# werkdokument

I

## infiltratieputten in de randmeren

door J.Ardon, A.J.Hebbing, A.J.Kolvoort en G.A.M.Menting

1987-81 Cbw/Cdc

werkdokumenten zijn als regel eerste versies van te schrijven rapporten (uittypen geschreven tekst) en daardoor uitsluitend bestemd voor intern gebruik; de verantwoordelijkheid voor de tekst berust bij de auteur.



postbus 600  
8200 AP IJlstad  
smedinghuis  
zuiderwagenplein 2  
tel. (03200) 99111  
telex 40115

## INFILTRATIEPUTTEN IN DE RANDMEREN

1.	INLEIDING	4
2.	GEOHYDROLOGISCHE OPBOUW MARKERMEER/NOORD HOLLAND	6
2.1	Het Pleistoceen	7
2.2	Het Holoceen	10
3.	TE VERWACHTEN VERLAGING VAN DE STIJGHOOGTE VAN HET DIEPE GRONDWATER	11
4.	MOGELIJKE TEGENMAATREGELEN	16
4.1.	Infiltratie door middel van injectieputten langs de oostkust van Noord-Holland	16
4.2.	Infiltratie door middel van infiltratieputten in de westelijke randmeren	17
4.3.	Infiltratiegeul in de westelijke randmeren	19
4.4	Met zand opgevulde infiltratiesleuven of vakken in de westelijke randmeren	19
4.5	Retourbemaling langs de oostkust van Noord-Holland	20
4.6.	Kleischerm in het eerste watervoerende pakket in de westelijke randmeren	21
4.7.	Het gericht onttrekken van grondwater langs de oostkust van Noord-Holland	21
5.	PRINCIPE VAN DE INFILTRATIEPUTTEN	22
6.	ENKELE BEREKENINGEN NAAR DE CAPACITEIT VAN EEN INFILTRATIEPUT	25
6.1.	Gebruikte formules	25
6.2.	Invloed van het zandfilter op de infiltratiecapaciteit	28
6.3.	Invloed van het uittreefilter op de infiltratiecapaciteit	32
7.	LABORATORIUMPROEF	35
7.1.	Proefopzet	35
7.2.	Meetresultaten	37

8.	PROEFPROJECT INFILTRATIEPUT	42
8.1.	Uitgangspunten	42
8.2.	Lokatie en geohydrologische opbouw	42
8.3.	Proefopzet	44
9.	AANLEG EN INRICHTING VAN DE PROEF	46
9.1.	Zand/grind filter	46
9.2.	Bescherming en afwerking van de terp	48
9.3.	Infiltratieput	51
9.4.	Meetapparatuur	55
9.5.	Peilbuizen	58
10.	MEETPROGRAMMA	61
10.1.	Sensoren	61
10.2.	Datalogger	69
10.3.	Communicatiemiddelen	70
10.4.	Computersysteem	70
10.5.	Overige meetsystemen	71
10.6.	Bekabeling	71
10.7.	Net- en telefoonvoorziening	71
10.8.	Huisvesting	72
11.	LITERATUUR	73

## 1. INLEIDING

Bij inpoldering van de Markerwaard kan door zettingen als gevolg van de verlaging van de stijghoogte van het grondwater in het Pleistoceen schade ontstaan aan gebouwen en constructies in het aangrenzende kustgebied van Noord-Holland. Teneinde de kans op schade zoveel mogelijk te beperken zullen tegenmaatregelen worden getroffen. Er wordt thans vanuit gegaan dat de meest bedrijfszekere tegenmaatregel bestaat uit persputten op het oude land waarmee voorgezuiverd water in de ondergrond wordt gebracht. De kosten voor deze methode zijn opgenomen in de economische analyse voor de Markerwaard (ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1984). De kosten voor aanleg en exploitatie worden in totaal geraamd op circa 420 miljoen gulden.

In het rapport "Geohydrologische aspecten bij de aanleg van de Markerwaard" (ZZW en RIJP, 1983) wordt naast bovengenoemde maatregel tevens aangegeven dat er een aantal andere tegenmaatregelen mogelijk zijn.

Eén van deze maatregelen bestaat uit het infiltreren van water door in de randmeren tussen Noord-Holland en de Markerwaard infiltratieputten te plaatsen. De zuivering van het aan de randmeren onttrokken water gebeurt in dit geval door middel van zandfilters. Deze methode is echter nog niet eerder in deze vorm in de praktijk toegepast. Derhalve zal een onderzoek naar de toepasbaarheid van infiltratieputten moeten plaatsvinden.

Op 19 januari 1984 heeft de Minister van Verkeer en Waterstaat advies gevraagd aan de Raad van de Waterstaat inzake de te nemen tegenmaatregelen. De Raad van de Waterstaat ondersteunt in haar advies (Raad van de Waterstaat, 1984) een proef op praktijkschaal met infiltratieputten in de randmeren.

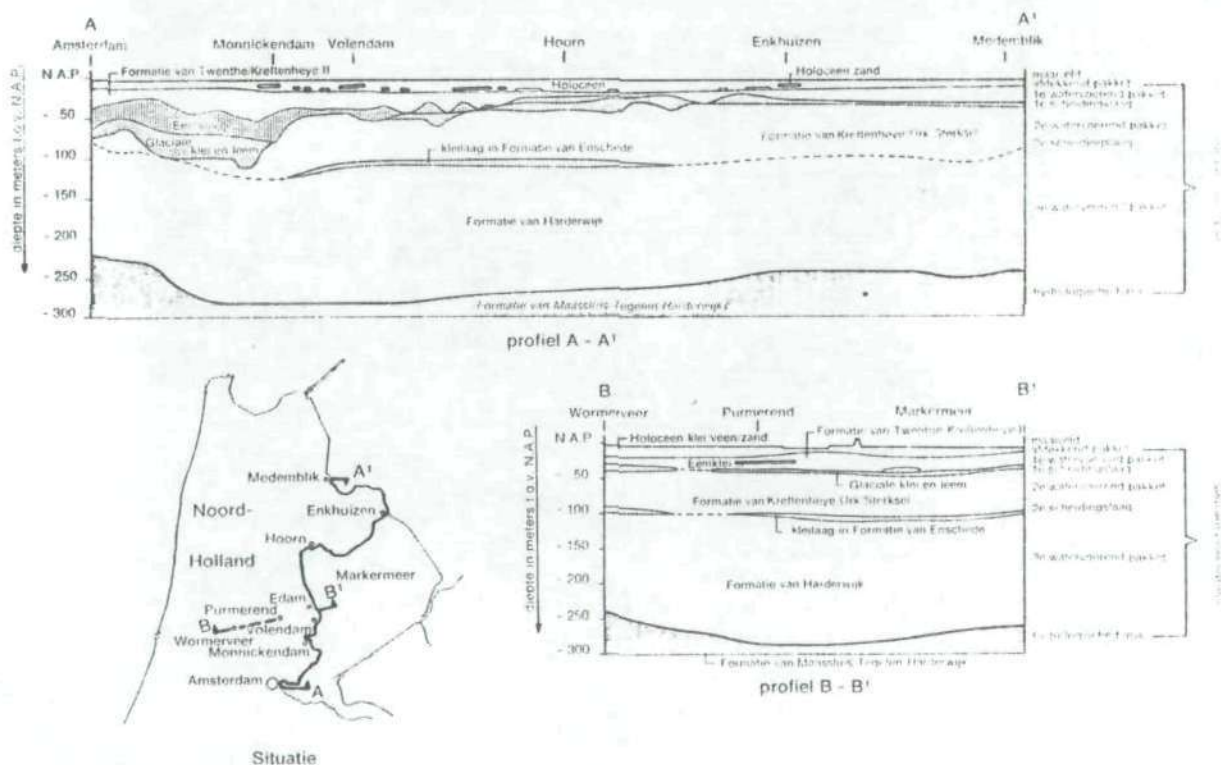
In dit rapport wordt ingegaan op de mogelijkheden van infiltratieputten in de randmeren. Allereerst wordt een schets gegeven van de geohydrologische opbouw van het gebied. Een overzicht wordt gegeven van de stijghoogteverlagingen van het diepe grondwater, die ten gevolge van de aanleg van de Markerwaard verwacht kunnen worden. Kort

wordt ingegaan op de mogelijke tegenmaatregelen.

Vervolgens wordt het principe van de methode van infiltratieputten in de randmeren beschreven en de mate van compensatie waarop gerekend moet worden. Tenslotte wordt ingegaan op de proefopzet en de aanleg van de praktijkproef met een infiltratieput langs de Oostvaardersdijk van Zuidelijk Flevoland nabij het gemaal de Blocq van Kuffeler.

## 2. GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE

Geohydrologisch gezien kan de ondergrond onder Noord-Holland en het Markermeer worden geschematiseerd in een over het algemeen goed waterdoorlatend pleistoceen zandpakket ter dikte van enkele honderden meters, afgedekt door slecht doorlatende samendrukbare holocene klei- en veenlagen en zandlagen van variabele dikte en aan de onderzijde begrensd door ondoorlatende kleilagen van de oudste pleistocene afzettingen behorende tot de Formatie van Maassluis. De bovenkant hiervan ligt op een diepte variërend tussen N.A.P. -230 m en N.A.P. -300m. De pleistocene zandpakketten kunnen van boven naar beneden worden opgedeeld in een drietal lagen, plaatselijk gescheiden door slecht doorlatende Eenklei en glaciale kleilagen en/of door de kleilagen uit de Formaties van Enschede of van Kedichem. Schematisch is het geohydrologisch profiel weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Schematisch geohydrologisch profiel ter plaatse van Noord-Holland en het Markermeer.

In het navolgende wordt voor de verschillende lagen ingegaan op de eigenschappen die van belang zijn voor de te verwachten stijghoogteverlagingen van het grondwater. De hierbij vermelde gegevens zijn ontleend aan ICW (1983), IWACO (1980) en DGV-TNO (1979, 1980).

Bij de geologische opbouw van een gebied komen in verticale richting vaak verschillen in de samenstelling van de bodemlagen voor. In horizontale richting zijn de verschillen doorgaans geringer (figuur 1). Op grond hiervan en van de doorlatendheid van de verschillende bodemlagen worden de mogelijkheden voor horizontale grondwaterstroming vooral bepaald door de mogelijkheid van stroming door de zandlagen. De mogelijkheden voor verticale grondwaterstroming worden vooral bepaald door de weerstand tegen grondwaterstroming die in de slecht doorlatende klei- en veenlagen aanwezig is.

Derhalve wordt er ten behoeve van geohydrologische berekeningen doorgaans vanuit gegaan dat in de watervoerende pakketten uitsluitend horizontale stroming plaatsvindt en in de scheidende lagen uitsluitend verticale stroming. De watervoerende pakketten worden hierbij gekenmerkt door hun doorlaatvermogen de  $KD$ -waarde ( $m^2/dag$ ). De scheidende lagen door hun hydraulische weerstand de  $c$ -waarde ( $dag$ ).

Door de weerstand die de kleilagen kunnen bieden tegen de verticale grondwaterstroming kan de grondwaterstand in watervoerende pakketten afwijken van de waterstand die bij freatische drukverdeling aanwezig zou zijn. Onder deze omstandigheden wordt voor de watervoerende pakketten gesproken van de stijghoogte van het grondwater. Is er overdruk ten opzichte van de freatische grondwaterstand, dan vindt een opwaarts gerichte grondwaterstroming (kwel) door de kleilaag plaats. Is er onderdruk dan is de grondwaterstroming door de kleilaag neerwaarts gericht (wegzijging).

## 2.1. Het Pleistoceen

In verband met de te verwachten stijghoogteverlagingen en wijzigingen in het grondwaterstromingspatroon zijn van de pleistocene pakketten vooral de volgende gegevens van belang:

- voorkomen, diepte, dikte en hydraulische weerstand van de scheidende lagen;
- dikte en doorlaatvermogen van de watervoerende pakketten.

In het navolgende wordt voor de verschillende lagen op deze gegevens nader ingegaan. De hierbij vermelde waarden zijn samengevat in figuur 2.

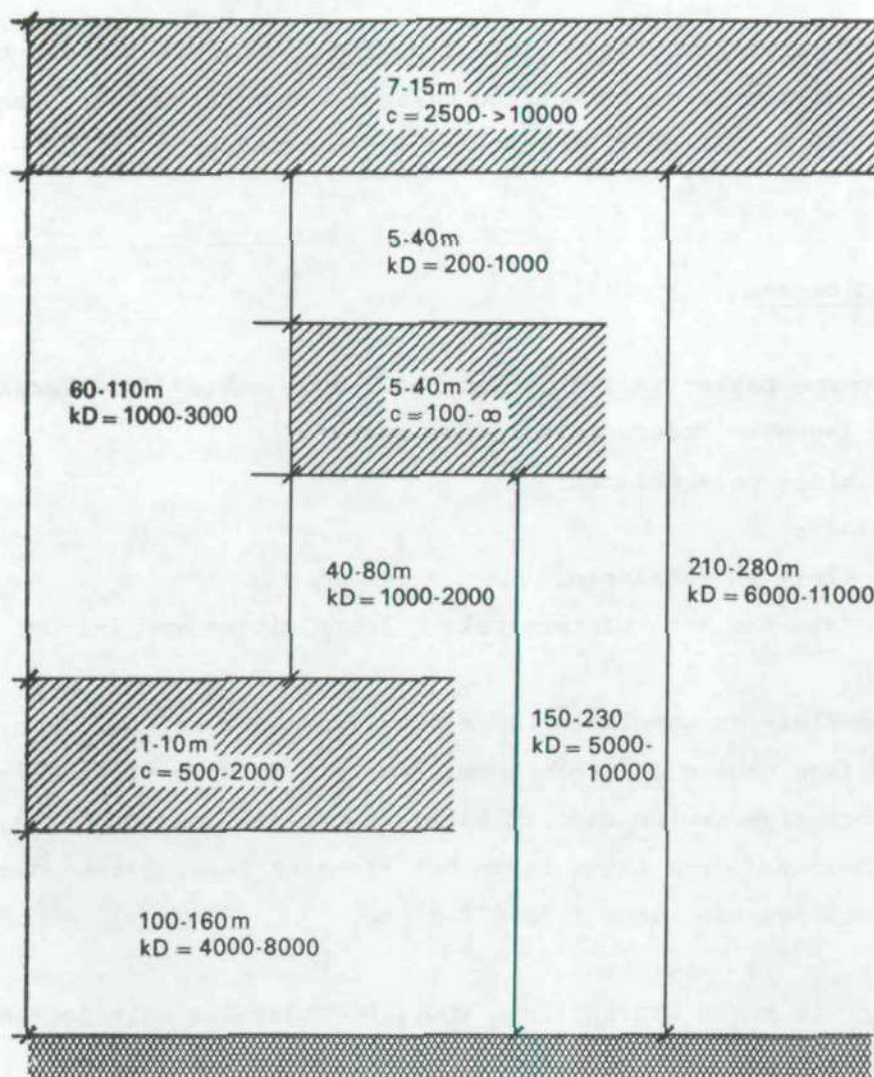
Daar waar in het pleistocene zandpakket geen scheidende lagen aanwezig zijn kan het doorlaatvermogen worden geraamd op 6000 tot 11000 m<sup>2</sup>/dag.

Plaatselijk komt in het Pleistoceen de tweede scheidende laag voor op een diepte uiteenlopend van N.A.P. - 65 m tot ~ 130 m bestaande uit de kleilaag behorende tot de Formatie van Enschede of de Formatie van Kedichem. De hydraulische weerstand wordt geraamd op 1000 tot 2000 dagen. Onder deze kleilaag bevindt zich het zogenoemde derde watervoerende pakket. Er boven het tweede watervoerende pakket.

Daar waar het tweede watervoerende pakket aan de boven- en onderzijde wordt begrensd door een scheidende laag kan de dikte van dit pakket uiteenlopen van 40 tot 80 m en het doorlaatvermogen van 1000 tot 5000 m<sup>2</sup>/dag.

Plaatselijk komt in het Pleistoceen de eerste scheidende laag voor. Deze laag kan bestaan uit glaciale klei- en/of (kei)leemlagen, of uit Eemklei. Ook kunnen beide kleien opeenvolgend voorkomen. De bovenkant van deze scheidende laag kan liggen op N.A.P. - 20 m tot N.A.P. - 70 m. De dikte kan uiteenlopen van enkele meters tot enkele tientallen meters.

Op grond van de dikte en de doorlatendheid van de kleilagen kan een raming worden gemaakt van de hydraulische weerstand. Voor de lagen dunner dan 5 m loopt de hydraulische weerstand uiteen van 100 - 1000 dagen. Voor de lagen dikker dan 5 m loopt de hydraulische weerstand op van 1000 dagen. tot oneindig.



Figuur 2. Overzicht gegevens betreffende dikte en bodemconstanten van de pleistocene pakketten.

Ter plaatse van Hoorn is de eerste scheidende laag niet in boringen aangetroffen. In enkele boringen is echter in de bovenste zone van de Formatie van Urk (overeenkomend met het tweede watervoerende pakket) wel klei ter dikte van enige meters aangetroffen. Deze zou een scheidingslaag kunnen vormen tussen het eerste en het tweede watervoerende pakket. Anderzijds is het bovenste deel van de Formatie van Urk waarschijnlijk gestuwd, zodat dan toch geen doorgaande scheiding aanwezig zou zijn.

Daar waar de eerste scheidende laag aanwezig is bevindt zich er boven het eerste watervoerende pakket. De dikte van dit pakket kan uiteen lopen van 5-40 m. Het doorlaatvermogen kan uiteenlopen van 200 - 1000 m<sup>2</sup>/dag.

## 2.2. Het Holocene

In het holocene pakket vallen in het beschouwde gebied drie karakteristieke lagen te onderscheiden. Het betreft:

- onderste klei- en veenlagen;
- wadzandlagen;
- bovenste klei- en veenlagen.

De totale dikte van het holocene pakket loopt uiteen van 7-15 m.

De onderste klei- en veenlagen komen voor daar waar het Holocene niet door voormalige geulen is doorsneden. Ook komt de onderste kleilaag voor in voormalige geulen die met kleiig materiaal zijn opgevuld. De doorlatendheid van deze lagen is in het algemeen laag. Gerekend moet worden op waarden van circa  $1,5 \times 10^{-4}$  m/dag.

In het Holocene komen wadzandlagen voor. De wadzandlagen zijn zandige afzettingen met een geschat lutumpercentage van minder dan 10%. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij de zandige geulopvullingen de onderste meters een hoger lutumpercentage hebben dan de bovenste meters. Deze lagen hebben ten opzichte van de klei- en veenlagen een relatief grote doorlatendheid. De doorlatendheid kan worden geraamd op 0,1-1 m/dag.

De wadzandlagen worden op hun beurt weer afgedekt door de bovenste klei- en veenlagen. De doorlatendheid van deze lagen kan worden geraamd op  $5 \times 10^{-4}$ -0,1 m/dag.

De hydraulische weerstand van het totale holocene pakket kan in het gebied van Noord-Holland uiteenlopen van 1000 tot meer dan 10.000 dagen, en in het gebied van het Markermeer in de huidige situatie van 25.000 tot 40.000 dagen.

### 3. TE VERWACHTEN VERLAGING VAN DE STIJGHOOGTE VAN HET DIEPE GRONDWATER

Door het droogmalen en het instellen van het polderpeil in de Markerwaard wordt grondwater uit de omgeving aangetrokken, waardoor de stijghoogte van het grondwater in de pleistocene zandondergrond ter plaatse van de Markerwaard en in de omgeving ervan daalt. De stijghoogtedaling in de verschillende pleistocene zandpakketten kan afhankelijk van de weerstand van de scheidende lagen plaatselijk afwijken. Aangezien mogelijke schade het gevolg is van zettingen van de holocene bovenlagen welke worden veroorzaakt door stijghoogteverlagingen van het grondwater in het eerste watervoerende pakket is in verband met te nemen tegenmaatregelen ten aanzien van de te verwachten stijghoogteverlagingen van belang welke stijghoogteverlagingen in het eerste watervoerende pakket kunnen worden verwacht.

De berekeningen met betrekking tot de te verwachten stijghoogtedalingen zijn uitgevoerd met het model TRISA. Het model TRISA is beschreven door Leynse (1981). Met dit model kan de stationaire grondwaterstroming in een gebied worden beschreven, waarbij drie watervoerende pakketten, gescheiden door slecht doorlatende lagen kunnen worden onderscheiden. Het model is getoetst aan de gemeten stijghoogten, waargenomen in de periode oktober/november 1978 (uitgangssituatie).

Teneinde inzicht te krijgen in de stijghoogteverlagingen die zonder het nemen van tegenmaatregelen verwacht kunnen worden zijn twee aspecten van belang, te weten:

- stijghoogteverlagingen ten gevolge van het droogvallen van de Markerwaard;
- stijghoogteverlagingen ten gevolge van het ontginnen en inrichten van de Markerwaard.

In verband hiermee zijn met het model TRISA de volgende berekeningen uitgevoerd:

- Situatie bij droogvallen.

Voor het freatisch vlak in de Markerwaard op het moment van

droogvallen is uitgegaan van de huidige meerbodem (Ente, 1976). De berekende stijghoogteverlagingen lopen uiteen van meer dan 1,50 m ter plaatse van de Markerwaard tot 0,25 m op enkele kilometers landinwaarts in Noord-Holland (bijlage 1).

- Uiteindelijke situatie.

Ten gevolge van de ontginning zullen de gronden rijpen waardoor het freatisch vlak (de grondwaterstand) ten opzichte van het maaiveld daalt. Bovendien daalt het maaiveld door inklinking. De combinatie van deze twee processen bepaalt de daling van het freatisch niveau. In de uiteindelijke situatie na ontginning en inklinking kan worden verwacht dat ter plaatse van de kanalen en de tochten het freatisch vlak op polderpeil ligt en dat ter plaatse van de kavels het freatisch vlak op circa 1 m-mv. ligt. Ook voor deze situatie is met het model TRISA een berekening uitgevoerd. Hierbij is uitgegaan van het maaiveld na inklinking (Ente, 1976). De berekende stijghoogteverlagingen lopen uiteen van meer dan 2,50 m ter plaatse van de Markerwaard tot 0,25 m op 5 à 10 km landinwaarts in Noord-Holland (bijlage 2).

Op grond van de resultaten van de in het voorgaande weergegeven berekeningen kan worden geconcludeerd dat ten gevolge van het droogvallen van de Markerwaard circa 50% van de stijghoogteverlagingen tot stand komt en dat de andere 50% het gevolg zal zijn van de ontginning en de inrichting.

In tabel 1 zijn voor een aantal gebieden de stijghoogten gegeven vóór en na de aanleg van de Markerwaard in de uiteindelijke situatie. Tevens zijn hier de veranderingen in de te verwachten kwel en/of wegzijging gegeven.

Tabel 1. Berekende stijghoogten van het diepe grondwater en berekende hoeveelheden kwel en/of wegzijging vóór en na de aanleg van de Markerwaard in de uiteindelijke situatie.

Gebied	stijghoogten		kwel/wegzijging	
	in m - N.A.P.		in mm/dag*	
	voor de aanleg	na inpol- dering	voor de aanleg	na inpol- dering
Enkhuizen	2,00	2,80	-0,08	-0,17
Stedebroec	2,35	2,95	0,03	-0,05
Hoorn	2,55	2,90	-0,19	-0,23
Purmerend	3,50	3,70	-0,13	-0,14
Edam	3,00	3,75	-0,12	-0,29
Volendam	2,70	3,60	-0,10	-0,18
Marken	2,65	3,70	-0,05	-0,08
De Drieban	2,40	3,20	-0,07	-0,24
Schellinkhout	2,40	3,10	-0,11	-0,22
Costerpolder	2,55	2,90	-0,10	-0,15
Westerkogge	3,00	3,30	-0,03	-0,06
Beschoot	3,25	3,60	-0,02	-0,08
Beetskoog	3,35	3,70	-0,08	-0,11
Westerkoog	3,15	3,60	-0,08	-0,13
Zeevang	3,05	3,70	-0,08	-0,12

\* Positieve stroming is naar boven gericht

Negatieve stroming is naar beneden gericht

Schade in Noord-Holland kan ontstaan, indien de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket te snel daalt. Hierbij is van belang of de stijghoogte in het verleden al eens op een lager niveau is geweest, omdat dan de invloed van een hernieuwde verlaging op de zettingen geringer is. In grote delen van het kustgebied van Noord-Holland is dit het geval, aangezien hier in het verleden gasbronnen aanwezig zijn geweest, die thans voor het merendeel zijn afgestopt (Werkgroep

vroegere en huidige bodembewegingen, 1984; Hebbink en Schultz, 1984). In dit rapport is vooralsnog met het reducerend effect hiervan op de omvang van de tegenmaatregelen geen rekening gehouden.

In het rapport "Geohydrologische aspecten bij de aanleg van de Markerwaard" (ZZW en RIJP, 1983) wordt ervan uitgegaan, dat de tegenmaatregelen in circa 30 jaar kunnen worden afgebouwd. Vertaald naar de te verwachten stijghoogteverlaging ten gevolge van de aanleg van de Markerwaard betekent dit, dat een verlaging van de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket met 0,03 à 0,04 m per jaar acceptabel is. Gaan we uit van 0,03 m per jaar, dan leidt dit tot waarden voor de compensatie, zoals deze in tabel 2 zijn weergegeven.

Tabel 2. Maximaal te compenseren stijghoogteverlagingen ten gevolge van het droogvallen van de Markerwaard, alsmede ten gevolge van de mogelijke daling van het freatisch vlak in de Markerwaard in de eerste vijf jaar na droogvallen.

Plaats	Stijghoogte verlaging t.g.v. droogvallen Markerwaard in m	Te compenseren bij droogvallen in m	Geraamde verlaging over vijf jaar vanaf droogvallen in m	Toegestane verlaging over vijf jaar in m	Te compenseren vijf jaar na droogvallen in m
Enkhuizen*	0,30-0,50	-	0,25-0,40	0,15	-
Stede Broec	0,25-0,40	0,25-0,40	0,20-0,30	0,15	0,30-0,55
Drechterland	0,25-0,50	0,25-0,50	0,20-0,40	0,15	0,30-0,75
Venhuizen	0,30-0,45	0,30-0,45	0,25-0,35	0,15	0,40-0,65
Hoorn	0,15-0,25	0,15-0,25	0,10-0,20	0,15	0,10-0,30
Zeevang	0,25-0,55	0,25-0,55	0,20-0,50	0,15	0,30-0,90
Edam	0,25-0,45	0,25-0,45	0,20-0,35	0,15	0,30-0,65
Volendam***	0,40-0,55	0,40-0,55	0,30-0,50	0,15	0,55-0,90
Monnickendam**	0,20-0,25	-	0,15-0,20	0,15	-
Marken**	0,30-0,60	-	0,25-0,50	0,15	-

\* Bij Enkhuizen behoeft niet te worden gecompenseerd omdat door bronnering bij de aanleg van de Krabbersgat-sluizen de stijghoogte zich reeds geruime tijd op een lager niveau heeft bevonden (Viergever, 1985).

\*\* Bij Marken en Monnickendam wordt ten gevolge van de horizontale grondwaterstroming door de holocene zandlagen een reductie t.o.v. de thans berekende stijghoogteverlaging verwacht. Dit houdt in dat ten behoeve van Marken en Monnickendam voor de tegenmaatregelen met geringere nader te bepalen omvang kan worden volstaan.

\*\*\* Ook bij Volendam is sprake van horizontale stroming door het wadzand. Het reducerende effect hiervan is vooralsnog niet in rekening gebracht.

#### 4. MOGELIJKE TEGENMAATREGELEN

Verlagingen van de stijghoogten van het grondwater in het eerste watervoerende pakket kunnen schadelijke gevolgen hebben. De te nemen tegenmaatregelen zullen er dus op gericht moeten zijn om deze stijghoogteverlagingen te beperken, of zodanig langzaam te laten verlopen dat geen noemenswaardige schade meer wordt verwacht. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de specifieke eigenschappen en toepassingsmogelijkheden van een aantal methoden.

Gezien de aard van de problematiek kunnen de tegenmaatregelen zijn gebaseerd op de volgende principes:

- (waar nodig) voeden van het grondwater (infiltratie);
- geleidelijk onttrekken van grondwater;
- blokkeren van de grondwaterstroming.

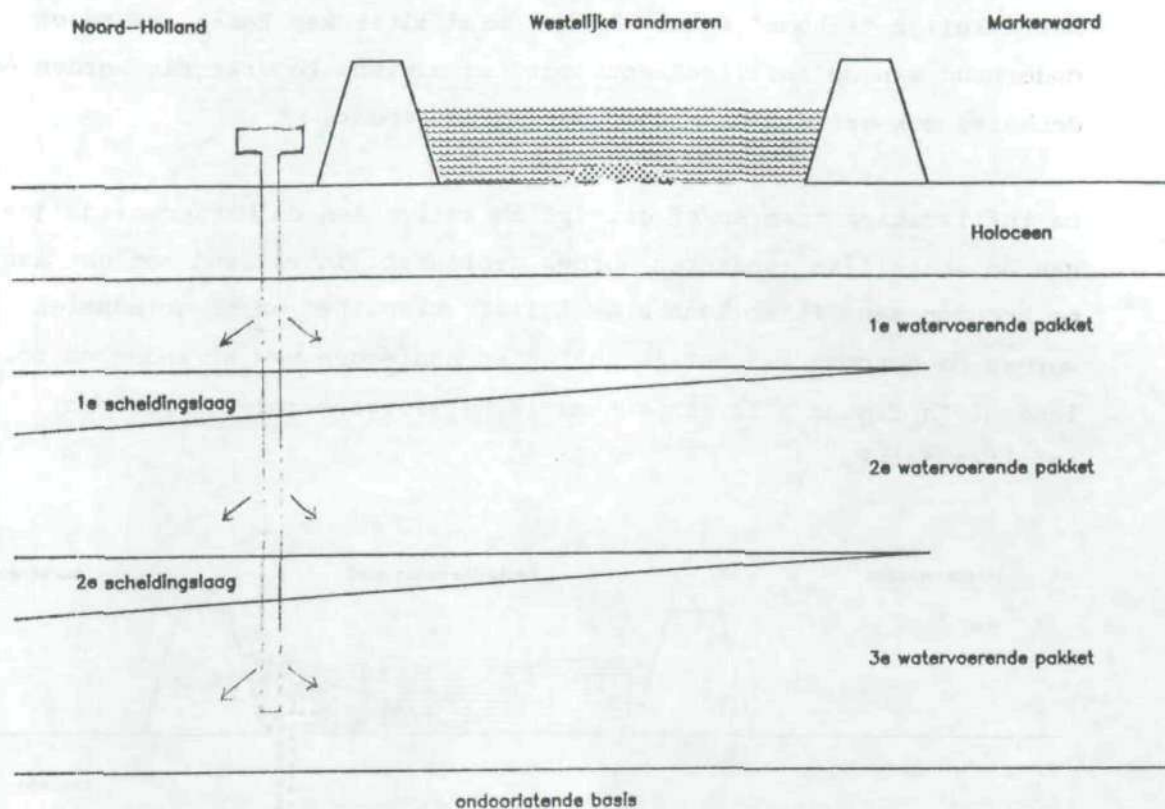
Het voeden van grondwater zal moeten plaatsvinden na de aanvang van de droogmaking van de Markerwaard. Het geleidelijk onttrekken van grondwater zal daarentegen juist moeten plaatsvinden voorafgaand aan de aanvang van de droogmaking.

De in het navolgende beschreven methoden berusten in de regel op één van bovengenoemde principes.

##### 4.1. Infiltratie door middel van persputten langs de oostkust van Noord-Holland

De methode van infiltratie op het land is uitgewerkt door IWACO (Rijkswaterstaat, 1983). Bij de persputten is ervan uitgegaan dat het te infiltreren water ongeveer drinkwaterkwaliteit moet hebben om redelijk lange looptijden van de putten te garanderen. Onder redelijk lange looptijden wordt hier verstaan dat iedere injectieput eens per jaar geregenereerd wordt. Teneinde de gewenste waterkwaliteit te verkrijgen dienen bij deze methode één of meerdere zuiveringsinstallaties te worden gebouwd of dient water van goede kwaliteit van derden te worden betrokken. Voor de winning van water is zowel gekeken naar

oppervlaktewaterwinning als naar grondwaterwinning. In figuur 3 is een schematische weergave gegeven van een persput op het oude land.



#### 4.2. Infiltratie door middel van infiltratieputten in de westelijke randmeren

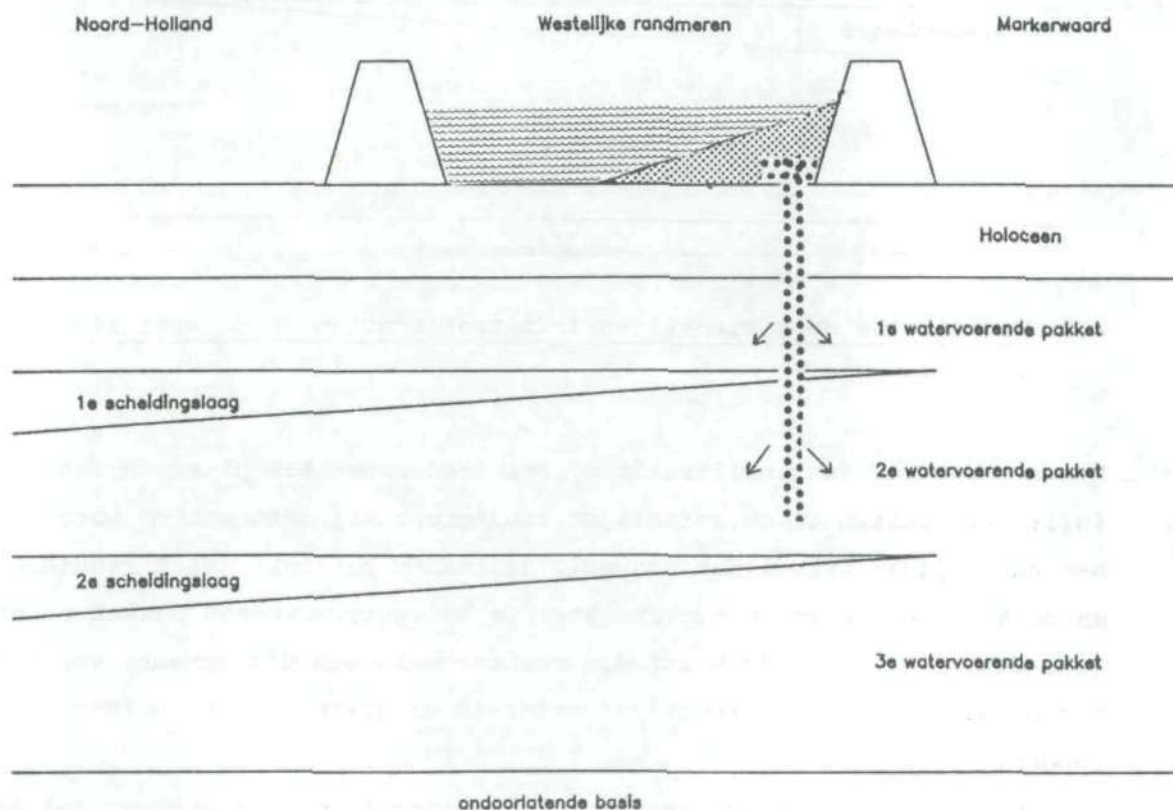
Een alternatief van infiltratie op het land vormt het plaatsen van infiltratieputten in de westelijke randmeren. Bij deze putten wordt het natuurlijke verval dat aanwezig is tussen het peil in de randmeren en de stijghoogte van het grondwater in het watervoerende pakket benut voor de infiltratie. Er wordt dus rechtstreeks gebruik gemaakt van het ter plaatse aanwezige oppervlaktewater en er hoeft niet te worden gepompt.

Om een snelle verstopping van de infiltratieputten te voorkomen zal op de put een zandbed moeten worden aangebracht om zoveel mogelijk zwevende stofdeeltjes tegen te houden.

Een variant op de infiltratieputten is het infiltreren van water door

middel van grindpalen. Uit een onderzoek naar de werking van een zandfilter wanneer slibhoudend water wordt doorgevoerd blijkt dat, slibdeeltjes nauwelijks het zandfilter binnendringen. Dit houdt in dat betrekkelijk "schoon" water uit het zandfilter kan komen, waardoor onderhoud van de infiltratieput tot een minimum beperkt kan worden en derhalve ook grindpalen kunnen worden toegepast.

De infiltratieputten en/of grindpalen zullen aan de Markerwaardzijde van de westelijke randmeren worden geplaatst. In verband met het aan te brengen zandfilter kunnen de infiltratieputten en/of grindpalen worden meegenomen bij het inrichten en aanleggen van stranden en voorlanden. In figuur 4 is een schematische weergave gegeven van een infiltratieput.



Figuur 4. Schematische weergave infiltratieput.

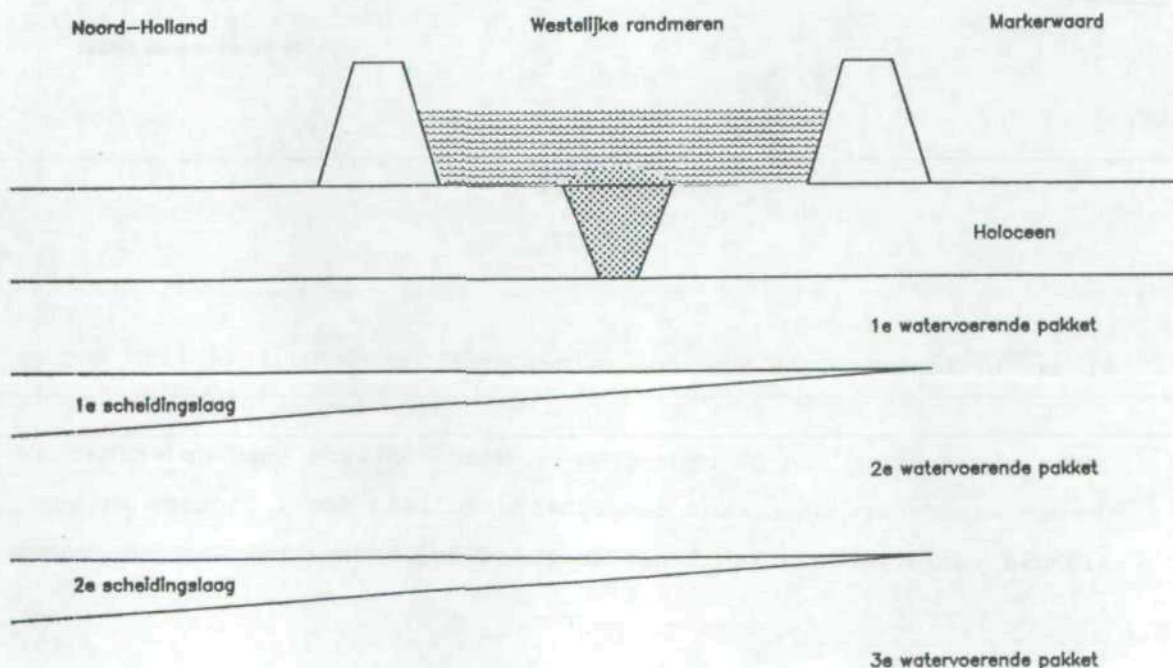
#### 4.3. Infiltratiegeul in de westelijke randmeren

De slecht doorlatende holocene bovenlagen kunnen over een deel van de westelijke randmeren worden verwijderd om de inzijging uit deze randmeren te vergroten. Ook kan voor een uitvoeringswijze worden gekozen waarbij daar waar nodig vakken worden ontgraven. Verwacht moet echter worden dat, gelet op de slibrijkheid van de randmeren en de diepte van de bodem van de sleuf of het vak (gemiddeld N.A.P. - 16 m) de bodem van de sleuf of het vak in korte tijd zal dichtslibben.

Ook deze methode is uitgewerkt door IWACO (Rijkswaterstaat, 1983).

#### 4.4. Met zand opgevulde infiltratiesleuven of vakken in de westelijke randmeren

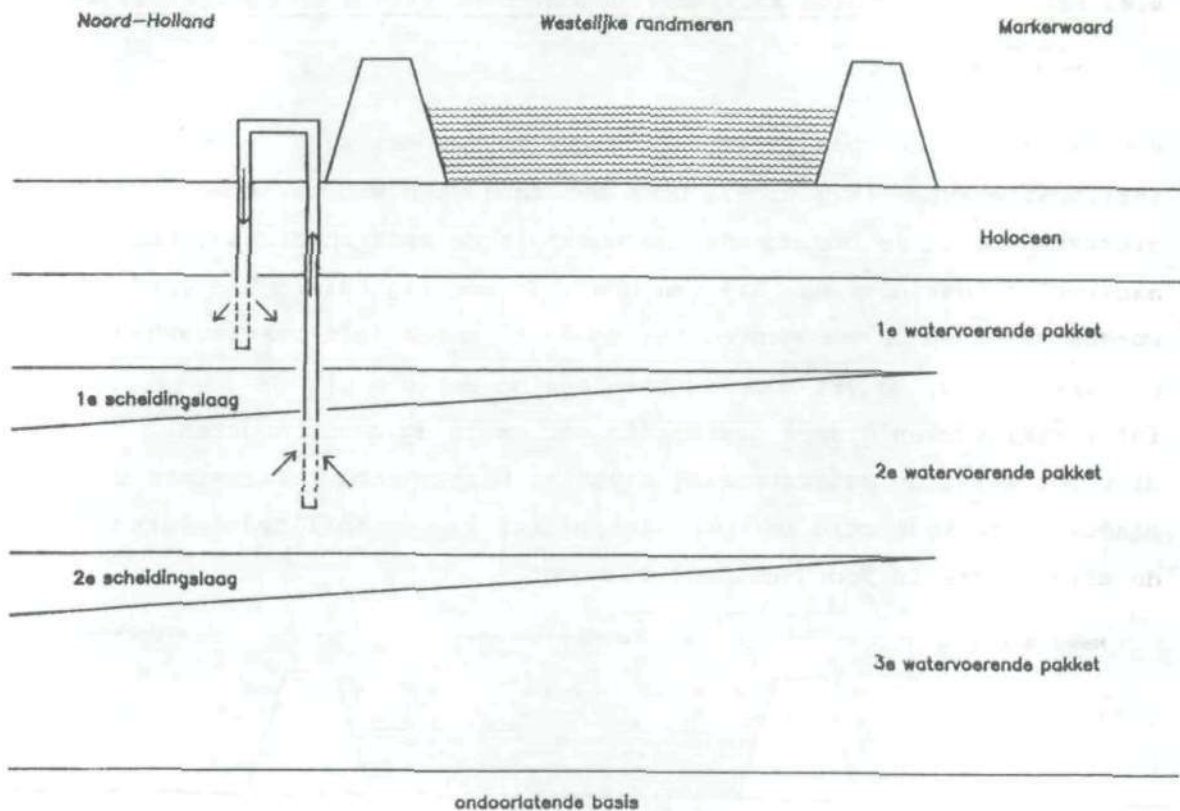
Een variant op de open infiltratiesleuf vormen met zand opgevulde infiltratievakken (figuur 5). Door het zand nog wat te laten uitsteken boven de omringende meerbodem is de kans op dichtslibben aanzienlijk geringer dan bij een geul. Zo mogelijk dient het zand te worden gewonnen in een gebied tussen de te maken infiltratievakken en de Markerwaard. De vrijkomende holocene bovenlagen uit de infiltratievakken dienen gestort te worden in de zandwinputten. Hierdoor wordt de waterstroming richting Markerwaard in meerdere of mindere mate belemmerd en wordt het effect van de infiltratievakken op de stijghoogte in Noord-Holland vergroot.



Figuur 5. Schematische weergave met zand opgevulde infiltratievakken.

#### 4.5. Retourbemaling

Onder retourbemaling wordt hier verstaan het onttrekken van water aan een dieper gelegen watervoerende laag en het terugpompen van dat water al of niet op dezelfde lokatie in één of meerdere hoger gelegen watervoerende pakketten. Het principe van retourbemaling is weergegeven in figuur 6.



Figuur 6. Schematische weergave retourbemaling.

Onder grote delen van de randmeren en Noord-Holland komt onder het eerste watervoerende pakket een scheidende laag voor. Door de aanwezigheid van deze laag kan langs de Noord-Hollandse kust aan het tweede

of derde watervoerende pakket water onttrokken worden en geïnfiltreerd in het eerste of tweede watervoerende pakket. Een voordeel van deze methode is dat zuivering van het water achterwege kan blijven.

#### 4.6. Kleischerm in het eerste watervoerende pakket

De verlaging van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket kan daar waar zich onder dit pakket een scheidingslaag bevindt ook worden beperkt door de horizontale grondwaterstroming door dit pakket naar de Markerwaard zoveel mogelijk te beperken. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door daar waar mogelijk ter plaatse van de westelijke randmeren een slecht doorlatend scherm, bijvoorbeeld in de vorm van een kleischerm in deze laag aan te brengen.

#### 4.7. Het gericht onttrekken van grondwater

Ervan uitgaande dat de stijghoogteverlagingen zodanig langzaam tot stand moeten worden gebracht dat schade wordt voorkomen kan het voortijdig gericht onttrekken van grondwater teneinde de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket voorafgaand aan de droogmaking van de Markerwaard reeds gedeeltelijk te verlagen, een bijdrage leveren. Omdat bij deze methode geen zuiveringsmaatregelen behoeven te worden getroffen is onttrekken aanzienlijk goedkoper dan infiltreren. De jaren voor droogmaking van de Markerwaard kunnen op deze wijze worden benut om vast op goedkope wijze een zekere stijghoogteverlaging tot stand te brengen zonder dat schade valt te verwachten.

## 5. PRINCIPE VAN DE INFILTRATIEPUTTEN

Bij de toepassing van infiltratieputten in de randmeren wordt het natuurlijke verval dat aanwezig is tussen het peil in de randmeren en de stijghoogte van het grondwater in het eerste of tweede watervoerende pakket benut voor de infiltratie van water. In de huidige situatie is afhankelijk van de locatie een verval beschikbaar van 2,5 à 3,5 m. Bij uitgevoerde berekeningen is het debiet van een infiltratieput gesteld op 10 à 15 m<sup>3</sup>/uur. Bij deze methode wordt dus rechtstreeks gebruik gemaakt van het ter plaatse aanwezige oppervlaktewater en er hoeft niet te worden gepompt. Om een snelle verstopping van de infiltratieput te voorkomen zal rond de put een zand/grindfilter moeten worden aangebracht om het water tot een aanvaardbare kwaliteit te zuiveren en om zoveel mogelijk zwevende stofdeeltjes tegen te houden. Dit kan in de vorm van een zand/grind terp voorzien van een verdediging. Ook is het denkbaar dit te doen in de vorm van stranden of voorlanden. Bij stranden of voorlanden zal golfafslag van het zand optreden. Dit heeft als voordeel, mits de afslag niet te groot is, dat het afgezette slib ook wordt weggespoeld. Afhankelijk van de mate en snelheid van wegspoelen zal periodiek zand moeten worden aangevuld. Voor de praktijkproef is echter de voorkeur gegeven aan een zand/grind terp voorzien van een bescherming met filterdoek en stortsteen.

Bij de opbouw van de infiltratieput kunnen de volgende onderdelen worden onderscheiden:

- intreefilter;
- filterbuis;
- uittreefilter.

### Het intreefilter

Voor het intreefilter wordt gedacht aan één of meerdere zandlagen die overgaan in een grindlaag. Op de overgang van grindlagen naar meerbodem zal een tussenlaag moeten worden aangebracht om inspoeling van kleideeltjes in de grindlaag te voorkomen. Hoewel zo'n tussenlaag gerealiseerd kan worden door middel van kraagstukken, plastic folie of

nylondoeck zal in de praktijk een dergelijke tussenlaag naar alle waarschijnlijkheid lekkages vertonen (met name ter plaatse van de infiltratieput). Daarom wordt aanbevolen eerst een laag zand aan te brengen en daarop de grindlaag. Het opkwellende water uit de kleilagen wordt dan gefilterd door de zandlaag.

Het meerwater infiltreert via de zandlaag in de grindlaag. Door de grindlaag stroomt het water naar de filterbuis waar het door de buiswand - die ter plaatse geperformeerd dient te zijn - de filterbuis instroomt. Bij het intreefilter is van belang wat het benodigde intree-oppervlak en opbouw van de zand- en grindlagen is in relatie tot de capaciteit van de filterbuis.

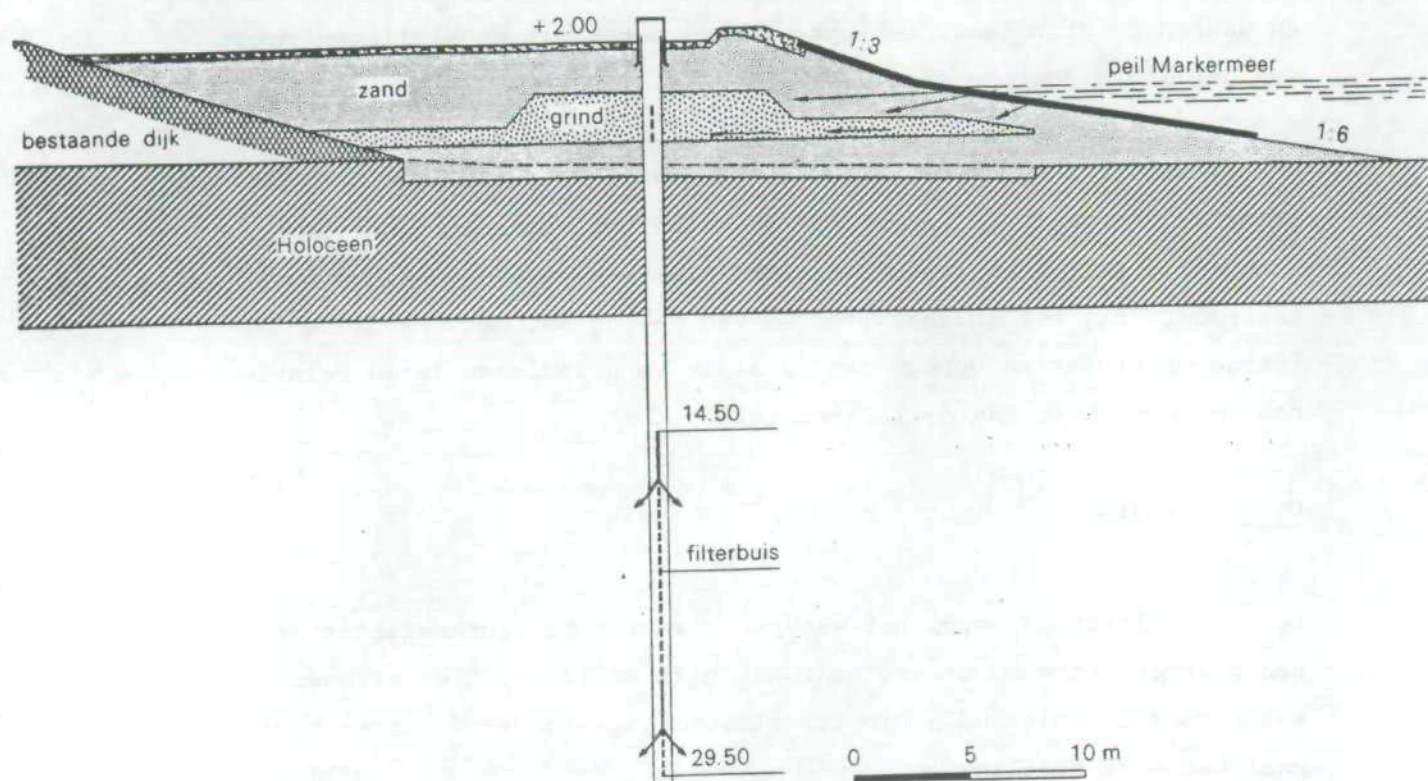
#### De filterbuis

Door de filterbuis wordt het water dat vanuit het intreefilter is binnen gekomen getransporteerd naar het uittreefilter. Hier stroomt het water door de buiswand - die ter plaatse geperformeerd dient te zijn - naar het uittreefilter.

#### Het uittreefilter

Het uittreefilter bestaat uit een grindstroming rond het putfilter. Door het uittreefilter stroomt het water vanuit de filterbuis naar het betreffende watervoerende pakket.

In figuur 7 is schematisch het principe van de methode van infiltratieputten in de randmeren weergegeven.



Figuur 7. Schema infiltratieput.

## 6. ENKELE BEREKENINGEN NAAR DE MOGELIJKE CAPACITEIT VAN INFILTRATIE-PUTTEN IN DE RANDMEREN VAN DE MARKERWAARD

Voor het bepalen van de capaciteit van de infiltratieput zijn berekeningen uitgevoerd voor het intreefilter, de filterbuis en het uittreefilter.

### 6.1. Gebruikte formules

Bij een infiltratieput kunnen de stijghoogteverliezen van het zand/grindfilter, de transportbuis en het uittreefilter bij elkaar opgeteld worden. Het stijghoogteverlies in de transportbuis tussen het zandfilter en het uittreefilter kan verwaarloosd worden. Deze bedraagt bij een buisdiameter van 0,20 m een lengte van 30 m en een debiet van  $200 \text{ m}^3/\text{dag}$  circa 0,03 m (Holthuis, 1977).

Het zand/grindfilter met een aangenomen dunne afdichtende sliblaag aan de oppervlakte kan gekarakteriseerd worden als een semipermeabele laag (zand) op een goed doorlatende laag (grind) van begrensde afmetingen. Hiervan kan het stijghoogteverlies berekend worden met de volgende formule (Bear, 1979):

$$s_1 = \left[ \frac{Q_0}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot \frac{D}{g}} \cdot K_0(r/L) + I_0(r/L) \cdot \frac{K_1(R/L)}{I_1(R/L)} \right] \quad (1)$$

De uittreeweerstand is afhankelijk van de diameter en de lengte van de filterbuis en het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket. De uittreeweerstand komt ruwweg overeen met de volgende formule (Bear, 1979):

$$s_2 = \frac{Q_0}{2 \cdot \pi \cdot k_p \cdot F} \ln(A/r) \quad (2)$$

De parameter A is bij benadering gelijk aan de volgende empirische formule (Bear, 1979):

$$A = 3000 \cdot s \cdot (k_p)^{1/2}, \quad k_p \text{ in m/s} \quad (3)$$

Bovendien geldt:

$$s = s_1 + s_2 \quad (4)$$

De formules 1 en 2 ingevuld in 4 geeft als resultaat:

$$s = \frac{Q_0}{2 \cdot \pi \cdot k_g \cdot D_g} \left[ K_0(r/L) + I_0(r/L) \frac{K_1(R/L)}{I_1(R/L)} \right] + \frac{Q_0}{2 \cdot \pi \cdot k_p \cdot F} \ln(A/r) \text{ of}$$

$$Q_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot s}{\frac{1}{k_g \cdot D_g} \left[ K_0(r/L) + I_0(R/L) \frac{K_1(R/L)}{I_1(R/L)} \right] + \frac{1}{k_p \cdot F} \ln(A/r)} \quad (5)$$

#### Voorbeeld

Voor de berekening van de capaciteit ( $Q_0$ ) van een infiltratieput zijn de volgende waarden genomen:

s	= 3,5 m (huidige situatie)
$k_s$	= 0,01 m/dag
$k_z$	= 3,0 m/dag
$k_g$	= 300 m/dag
$k_p$	= 15 m/dag ( $1,75 \cdot 10^{-4}$ m/sec.)
$D_s$	= 0,05 m
$D_z$	= 1,5 m
$D_g$	= 0,5 m
$D_p$	= 20 m
Opp.	= 400 m <sup>2</sup>
D	= 0,50 m
F	= 15 m

Hiermee is de weerstand van de zandlaag, inclusief sliblaag, (c-waarde) gelijk aan:

$$c = \frac{D_2}{k_2} + \frac{D_s}{k_s} = \frac{1,5}{3} + \frac{0,05}{0,01} = 5,5 \text{ dag}$$

Indien er geen sliblaag aanwezig is ( $D_s=0$ ) is de weerstand gelijk aan 0,5 dag.

Met behulp van de gevonden c-waarde is de karakteristieke lengte dan gelijk aan:

$$L = (k_g \cdot D_g \cdot c)^{1/2} = (300 \cdot 0,5 \cdot 5,5)^{1/2} = 28,7 \text{ m}$$

Indien er geen sliblaag aanwezig is ( $D_s=0$ ) is de karakteristieke lengte gelijk aan 8,7 m.

Voor de parameter A wordt een waarde berekend die gelijk is aan:

$$A = 3000 \cdot s \cdot (k_p)^{1/2} = 3000 \cdot 3,5 \cdot (1,75 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 139 \text{ m}$$

De maximale capaciteit van een infiltratieput (geen sliblaag aanwezig) is in dit voorbeeld gelijk aan:

$$Q = \frac{22,0}{0,0067(3,7 + 0,5) + 0,004 \cdot 7,0} = 390 \text{ m}^3/\text{dag}$$

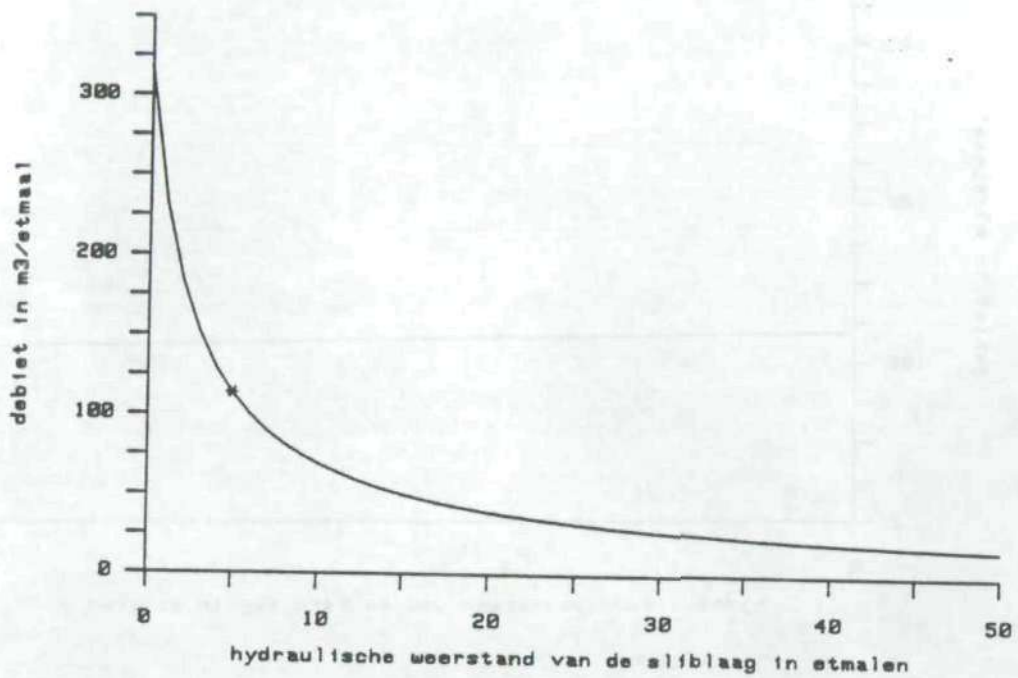
Bij aanwezigheid van een sliblaag, met een c-waarde van 5 dag, is de capaciteit afgenomen tot:

$$Q = \frac{22,0}{0,0067(4,9 + 11,2) + 0,004 \cdot 7,0} = 165 \text{ m}^3/\text{dag}$$

In de navolgende paragrafen zal telkens één parameter gewijzigd worden om het effect daarvoor op de capaciteit te bepalen, uitgaande van de voorbeeldberekening met een sliblaag met een c-waarde van 5 dagen en een capaciteit van  $165 \text{ m}^3/\text{dag}$ . Deze situatie is telkens met een "\*" aangegeven.

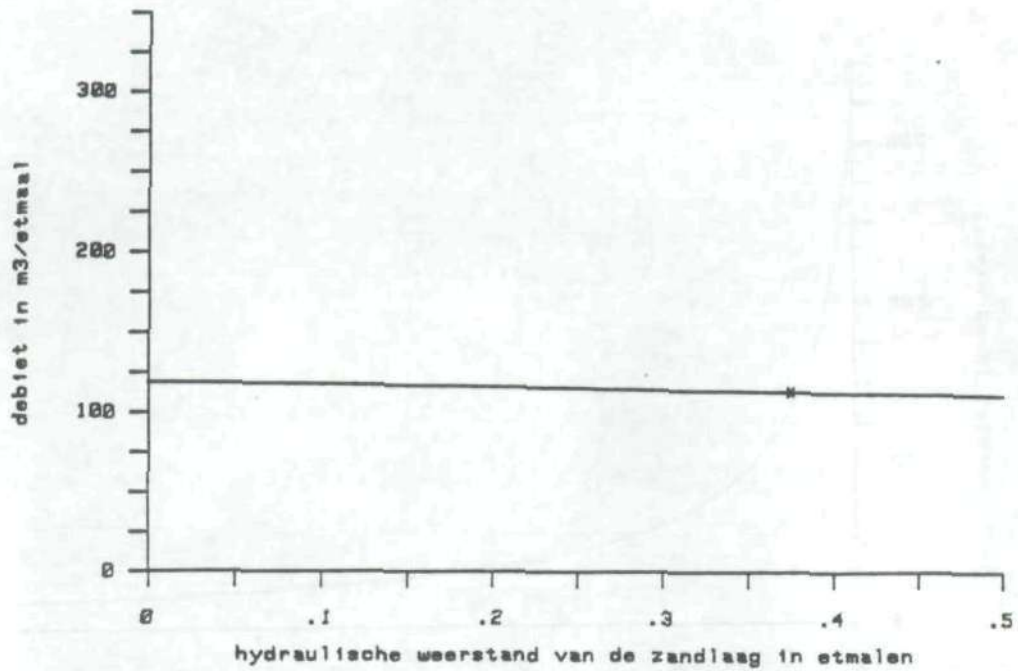
#### 6.2. Invloed van het zandfilter op de infiltratiecapaciteit

De hydraulische weerstand van een sliblaag heeft een grote invloed op het debiet van een infiltratieput. Het debiet loopt ongeveer volgens een negatieve e-macht terug van  $390 \text{ m}^3/\text{dag}$  zonder sliblaag tot  $45 \text{ m}^3/\text{dag}$  bij een sliblaag met een weerstand van 50 dagen. Dit verloop is in figuur 8 weergegeven.



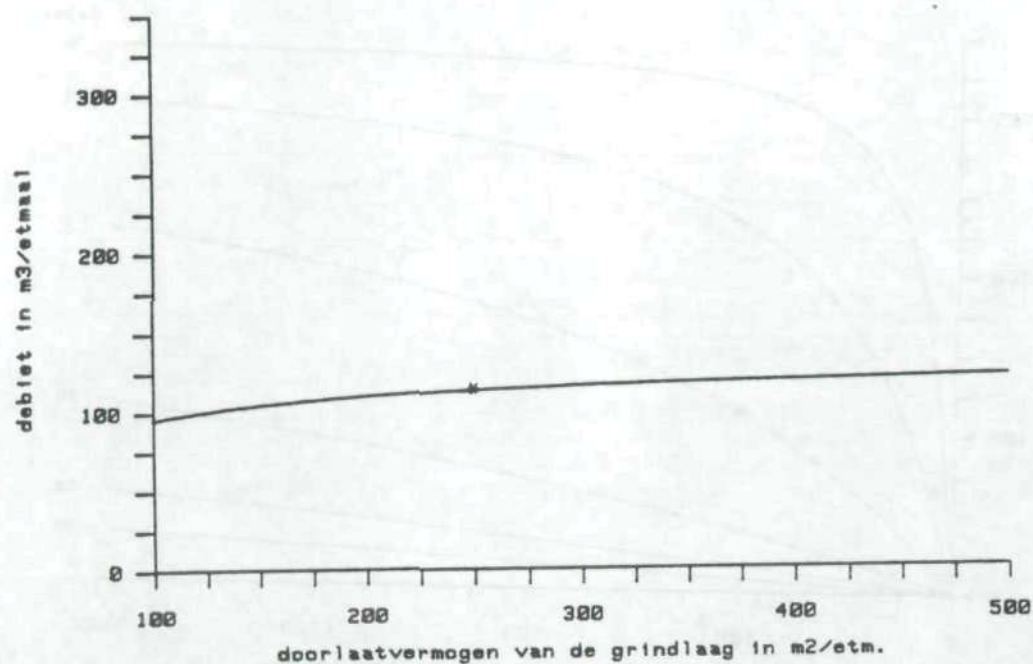
Figuur 8. Debiet in relatie tot de hydraulische weerstand van de sliblaag.

In figuur 9 wordt de invloed weergegeven van de weerstand van de zandlaag in het filter. Het debiet verandert vrijwel niet bij de verschillende weerstanden.



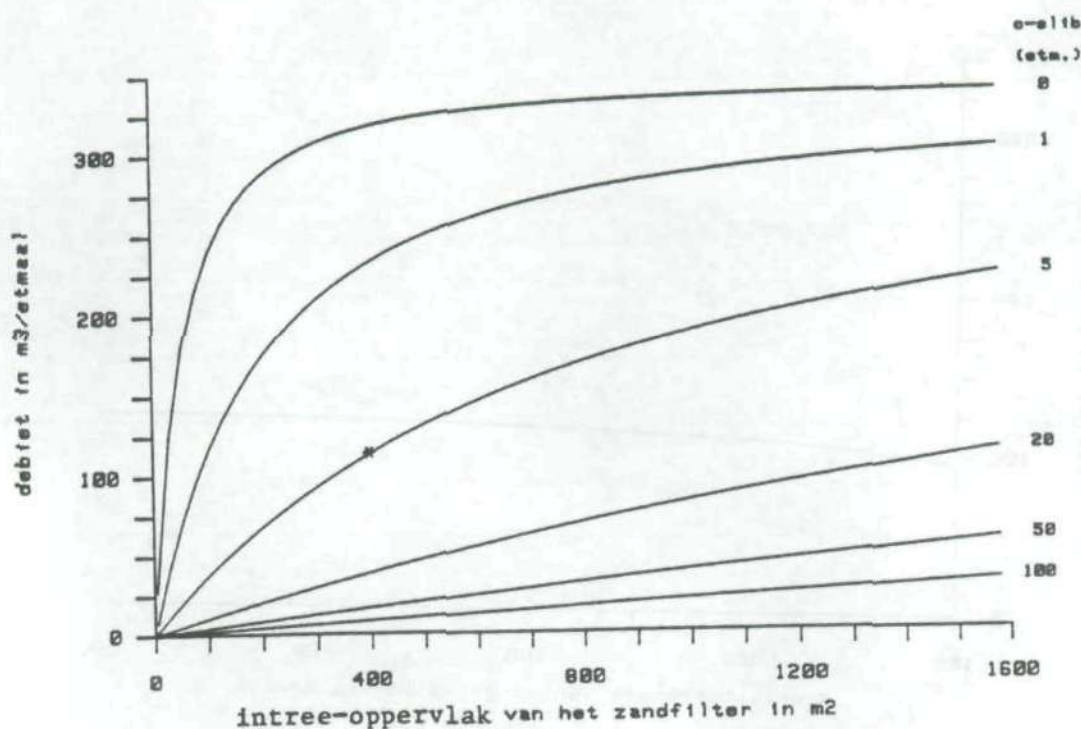
Figuur 9. Debiet in relatie tot de hydraulische weerstand van de zandlaag.

Het doorlaatvermogen van de grindlaag heeft geen grote invloed op het debiet en is boven de 200 m<sup>2</sup>/dag vrijwel nihil (figuur 10).



Figuur 10. Invloed van het doorlaatvermogen van de grindlaag op het debiet.

Uit figuur 11 is af te lezen, dat bij hogere hydraulische weerstand van de sliblaag het verband tussen debiet en intree-oppervlak van het zandfilter gelineariseerd wordt. Bij lage c-waarde treedt er verzadiging op en bereikt de infiltratieput bij kleinere oppervlakten zijn maximum debiet.



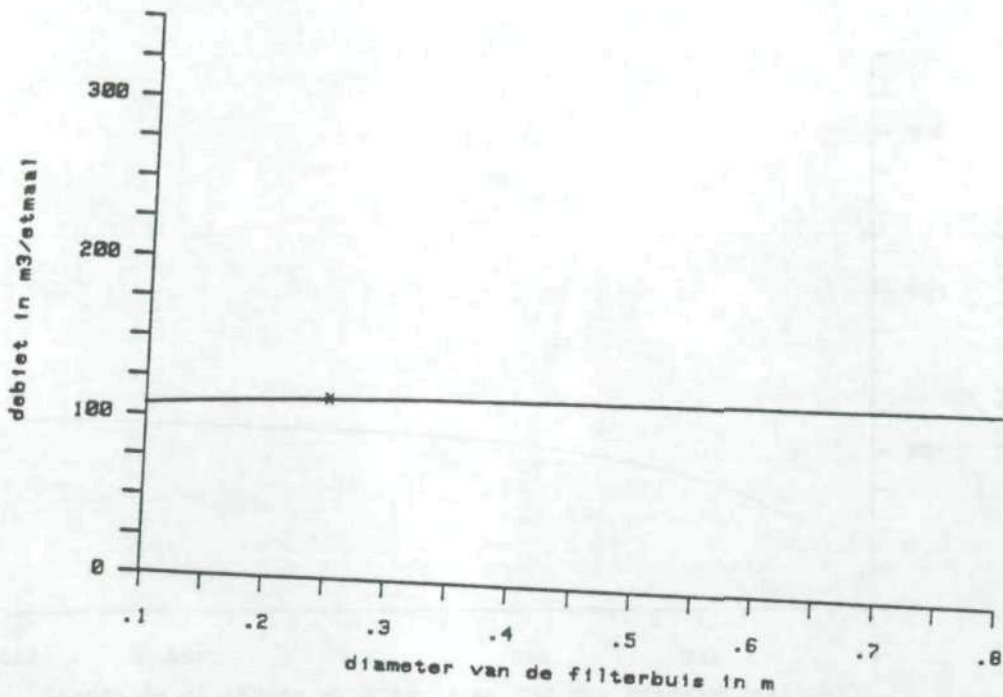
Figuur 11. Debiet van de infiltratieput in relatie tot de intree-oppervlak van het zandfilter bij verschillende hydraulische weerstanden van de sliblaag.

### 6.3. Invloed van het uittreefilter op de infiltratiecapaciteit

Zoals reeds vermeld treedt er in de filterbuis nauwelijks weerstand op. In het uittreefilter (putfilter + omgeving) kunnen wel weerstanden optreden.

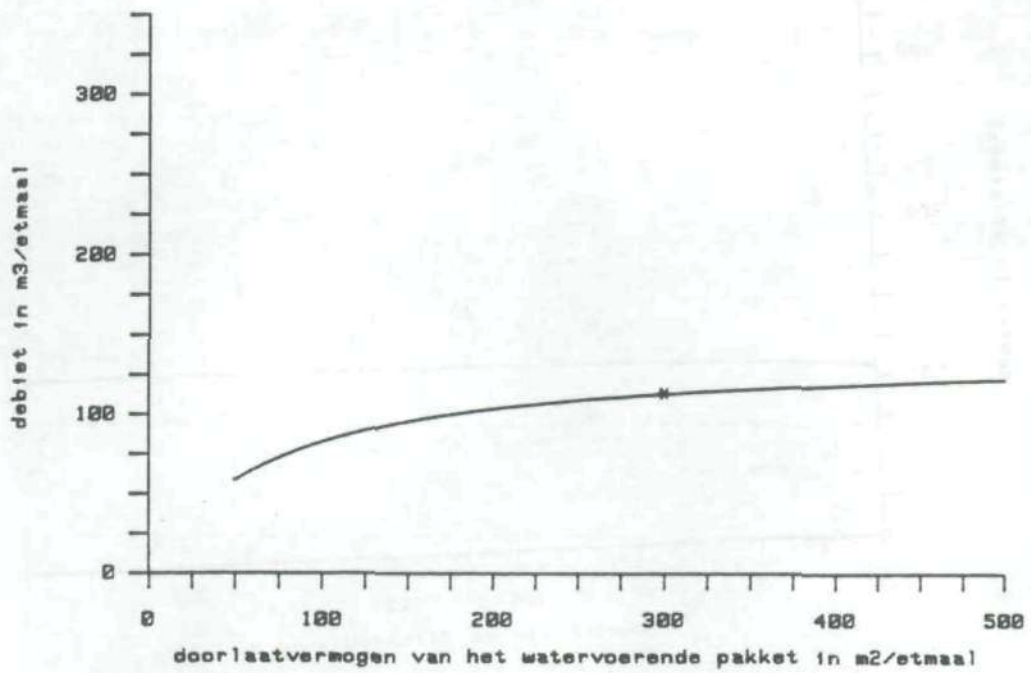
In de berekeningen zijn meegenomen de weerstand die gevormd wordt door de perforaties in de buis en het effect van het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket.

De diameter van de filterbuis blijkt nauwelijks van invloed op het maatgevende debiet (figuur 12).



Figuur 12. Invloed van de diameter van de filterbuis op het debiet.

Het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket speelt eveneens een geringe rol en blijft boven de 300 m<sup>2</sup>/dag vrijwel constant (figuur 13).



Figuur 13. Invloed van het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket op het debiet van de infiltratieput.

## 7. LABORATORIUMPROEF

Uit de berekeningen blijkt dat de capaciteit vooral afhangt van de weerstand van de sliblaag, die zich onder rustige omstandigheden op het zandfilter kan vormen. Om er achter te komen of infiltratie van slibhoudend water d.m.v. infiltratieputten mogelijk is, is in het laboratorium een proefopstelling gemaakt, die het intreefilter nabootst en waaraan een aantal metingen zijn verricht. De resultaten van de laboratoriumproef zijn gebruikt voor de berekening van de capaciteit van een infiltratieput.

### 7.1. Proefopzet

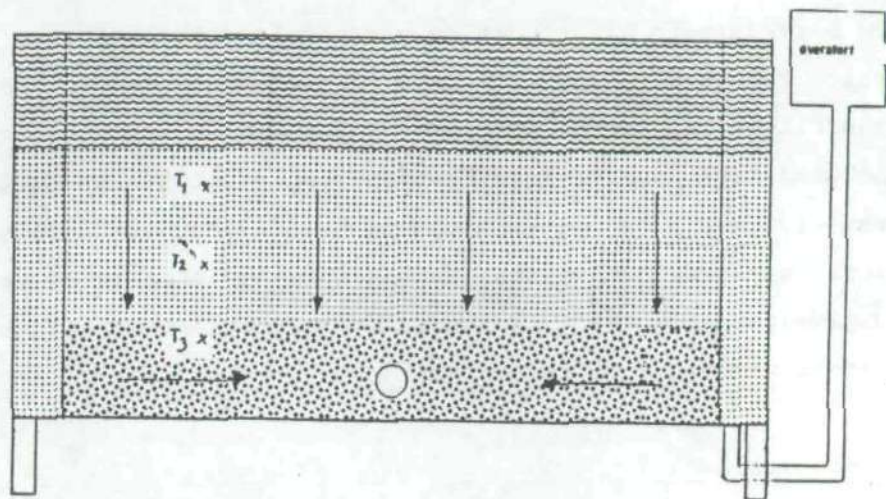
De opzet van de proef is er op gericht, dat de kwaliteit van het te infiltreren water zoveel mogelijk dezelfde zou zijn als later in de praktijk.

Op deze wijze kon een redelijk goede indruk verkregen worden over de capaciteit van de infiltratieput, het verloop hiervan in de tijd, etc. Een belangrijke vraag was of het zandfilter dicht zou slibben en zo ja, bij welke slibgehalten. Tevens zou getracht worden de weerstand van het sliblaagje te bepalen, alsmede de manier waarop dichtslibbing kan optreden.

#### Proefbak

De opstelling van het intreefilter, welke bestaat uit een grote proefbak, is weergegeven in figuur 14. Deze tekening geeft schematisch de opbouw van de proefbak weer. De proefbak is 2,0 m lang, 1,0 m breed en 1,0 m hoog. De proefbak is van onder naar boven als volgt opgevuld:

- 0-25 cm filtergrind 2-5 mm met daarin een met kokos omhulde drain diameter 80 mm
- 25-70 à 90 cm spuitzand: U-cijfer 60, leemgehalte <1%
- 70 à 90-100 cm slibhoudend water (gehalte aan zwevende stof 50 à 400 mg/l.



Figuur 14. Zij-aanzicht (opstelling) van de proefbak.

Schaal 1:200.

De afvoer bestaat uit een met kokos omhulde drain onder in de bak, diameter 80 mm.

#### Meten van stijghoogten

In de voorwand zijn op drie plaatsen sondes geplaatst waarmee de stijghoogten van het water ter plaatse in het zand of grind gemeten kan worden.

#### Pomp

Aan de uitstroomopening is een slang gemonteerd, die naar de zuigzijde van een centrifugaalpomp gaat. Het uitstromende water gaat vervolgens via de perszijde weer terug de proefbak in.

Zo ontstaat een continue waterstroming van het slibhoudende water, zodanig dat er over het zandfilter (al dan niet met een sliblaag er

op) een potentiaalverschil ontstaat van circa 0,70 m met de waterstroming van boven naar beneden gericht. Door het zandfilter wordt het zwevende stofgehalte van het slibhoudende water sterk verminderd.

#### MFI-metingen

Bij de uitvoering van de proef werd ook dagelijks de MFI-waarde van het gefiltreerde water bepaald.

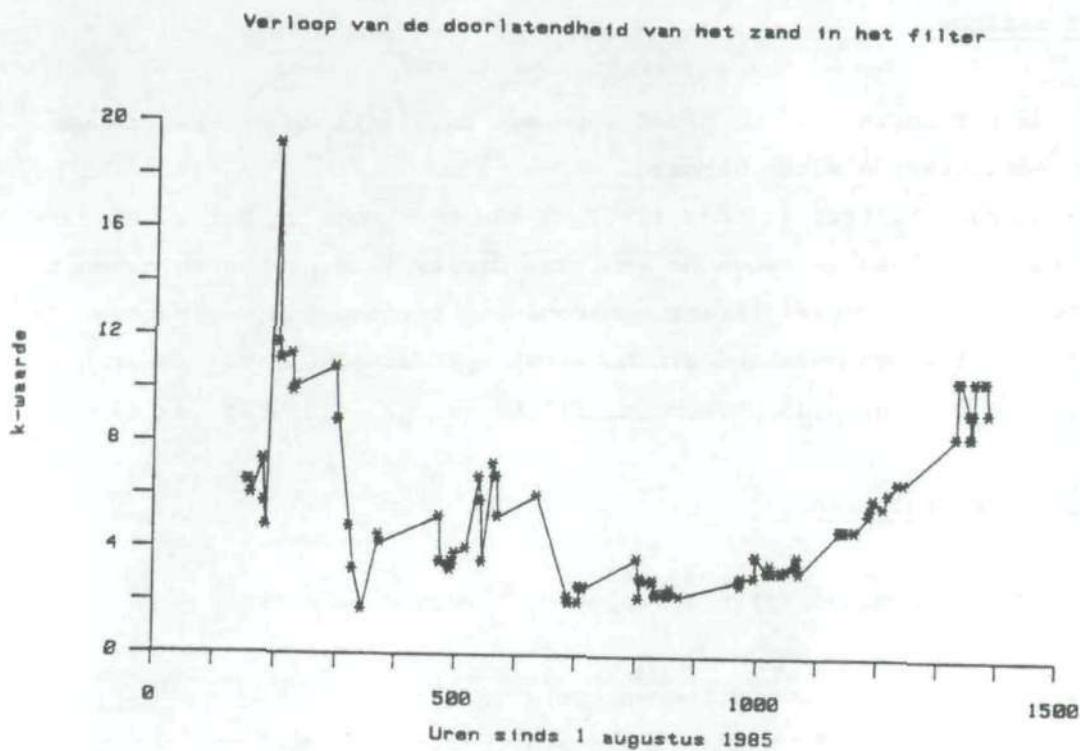
De Membraan Filtratie Index (MFI) is een maat voor in het water aanwezige colloïden en zwevende stoffen, die aanleiding kunnen geven tot vervuiling van hyperfiltratiemembranen of verstopping van putten. De MFI ( $\text{S/l}^2$ ) wordt berekend uit de verstoppingssnelheid bij constante werkdruk van een 0,45  $\mu\text{m}$  membraanfilter met een diameter van 47 mm.

#### 7.2. Meetresultaten

Voor de berekeningen zijn de volgende formules gebruikt:

$$\begin{aligned} v &= k \cdot i & v &= \text{filtersnelheid (m/dag)} \\ & & k &= \text{doorlatendheid (m/dag)} \\ & & i &= \text{verhang (dimensieloos)} & (6) \end{aligned}$$
  
$$\begin{aligned} i &= \frac{\Delta H}{d} & \Delta H &= \text{potentiaalverschil in cm stijghoogte} & (7) \\ & & d &= \text{dikte zandkolom in cm tussen twee potentiaalsondes.} \end{aligned}$$
  
$$\begin{aligned} c &= \frac{\Delta H}{v} \text{ (dag)} & v &= \text{snelheid van het water in het filter (m/dag)} \\ & & \Delta H &= \text{potentiaalverschil tussen boven- en} \\ & & & \text{onderkant sliblaag (m)} & (8) \end{aligned}$$

In figuur 15 is het verloop van de doorlatendheid van het zand in het filter weergegeven.

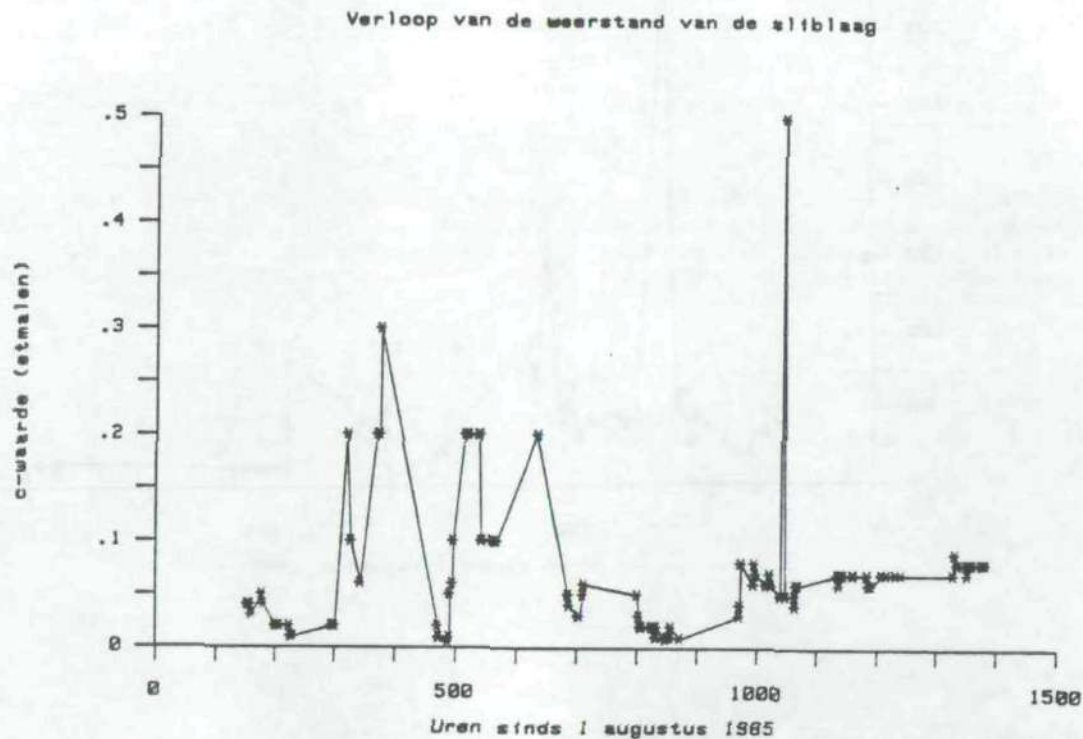


Figuur 15. Verloop K-waarden sinds 1 augustus 1985.

De grafiek geeft de verschillende waarden van de doorlatendheid sinds de start van de proef op 1 augustus. Het weer oplopen van de doorlatendheid na circa 45 dagen kan veroorzaakt zijn door de steeds betere ontluchting van het filterzand (o.a. merkbaar aan het feit dat de meetslangen steeds minder ontluicht behoeften te worden).

De weerstand van de door het bezinken van de zwevende stof gevormde sliblaag wordt vooral bepaald door de "gaten" in de sliblaag. Vlak na het bezinken is de weerstand het hoogst, waarna ze door het "breken" van de sliblaag ten gevolge van het compacter worden van de sliblaag en door plaatselijk opwerveling weer daalt.

In figuur 16 is een grafiek weergegeven, die een beeld geeft van het verloop van de weerstand van de sliblaag. De hoge piek, ongeveer 45 dagen na het begin, is gemeten vlak na het bezinken van opgewerveld slib.

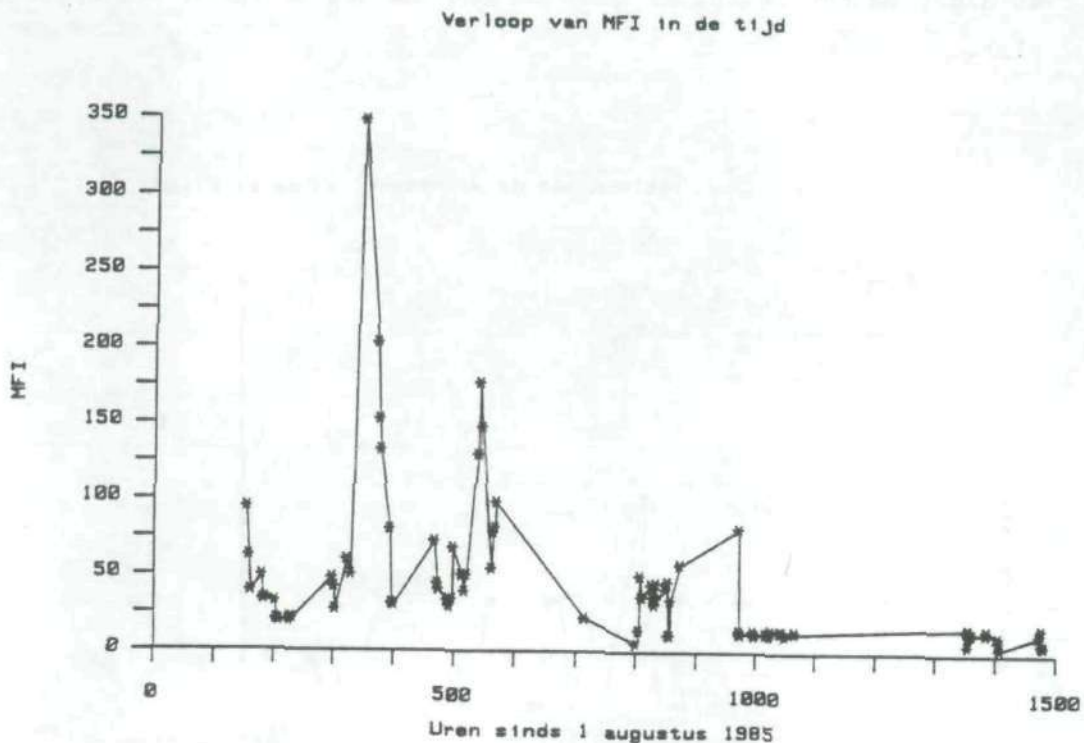


Figuur 16. Verloop c-waarden sinds 1 augustus 1985.

#### Berekening MFI-waarden

De kwaliteit van het gefilterde water ten behoeve van infiltratie wordt bepaald met een membraanfiltratie-indexmeter van het KIWA. Naarmate de MFI kleiner wordt, is de kans op verstopping geringer. Uit praktijkproeven elders is gebleken dat bij MFI-waarden, hoger dan 10 vrijwel altijd problemen met de infiltratie te verwachten zijn. Gebleken is dat bij een voldoende zanddikte (min. 0,70 m) na circa 2 weken een MFI bereikt wordt van beneden de 10. De hoeveelheid zwevende stof in het gefilterde water bedraagt dan 2 à 5 mg/l.

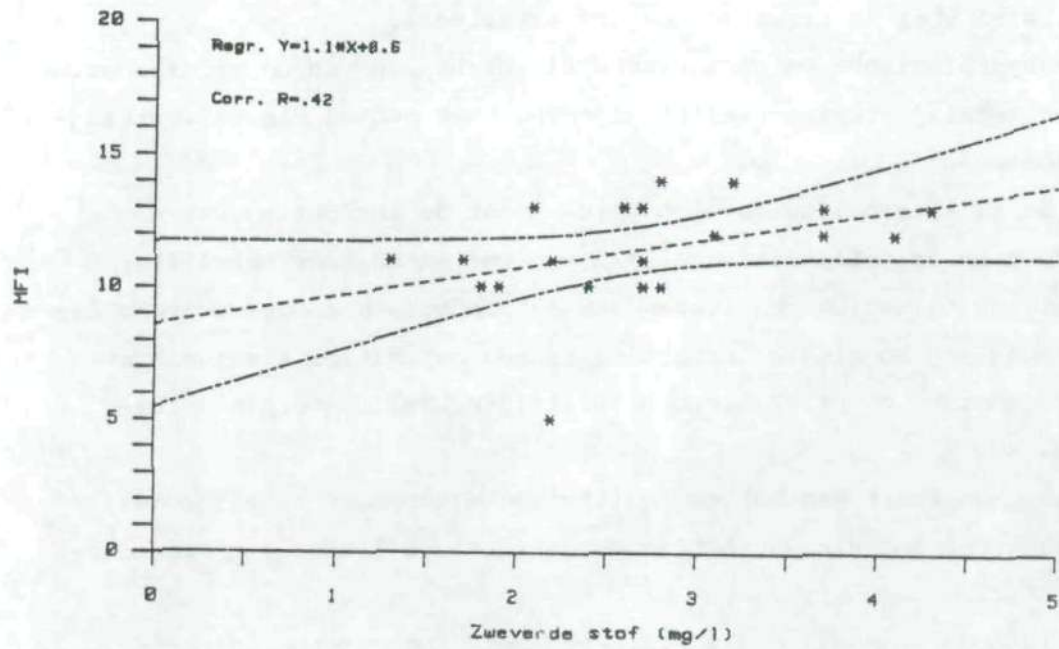
Figuur 17 geeft het verloop van de mFI in de tijd weer.



Figuur 17. Verloop MFI sinds 1 augustus 1985.

De hoge MFI-waarden op de tijdstippen 14 en 26 dagen na het begin traden op na het met zand bijvullen van de proefbak.

In figuur 18 is een grafiek weergegeven, die het verband weergeeft tussen de MFI en de hoeveelheid zwevende stof. Alleen de lage MFI-waarden zijn verwerkt. De streep-stippellijnen geven de 95% betrouwbaarheidsgrenzen weer. Theoretisch bestaat er een lineair verband tussen de hoeveelheid zwevende stof en de MFI (Olsthoorn, 1982). Het bij de proefbak geregistreerde getoonde verband is niet erg duidelijk.



Figuur 18. Verband tussen MFI en zwevende stof.

## 8. PROEFPROJECT INFILTRATIEPUTTEN

### 8.1. Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de totstandkoming van het voorstel voor de proef met de infiltratieput.

- De geohydrologische en geologische eigenschappen van de proeflocatie moeten redelijk representatief zijn voor het gebied van de westelijke randmeren.
- Voor de te kiezen locatie moet gelden, dat de inrichting van de proefput en de infiltratiesnelheid van het water door het filter zodanig zijn, dat de resultaten van het onderzoek goed overdraagbaar zijn naar een mogelijke inrichting in een definitief stadium. Met andere woorden de proef dient op praktijkschaal te worden uitgevoerd.
- De waterkwaliteit van het te infiltreren water moet zoveel mogelijk overeenkomen met die van het in de definitieve situatie te injecteren water.
- Om voldoende gegevens ten aanzien van met name verstoppingsverschijnselen te kunnen verzamelen moet de infiltratieput minimaal 1 jaar continu in bedrijf zijn.

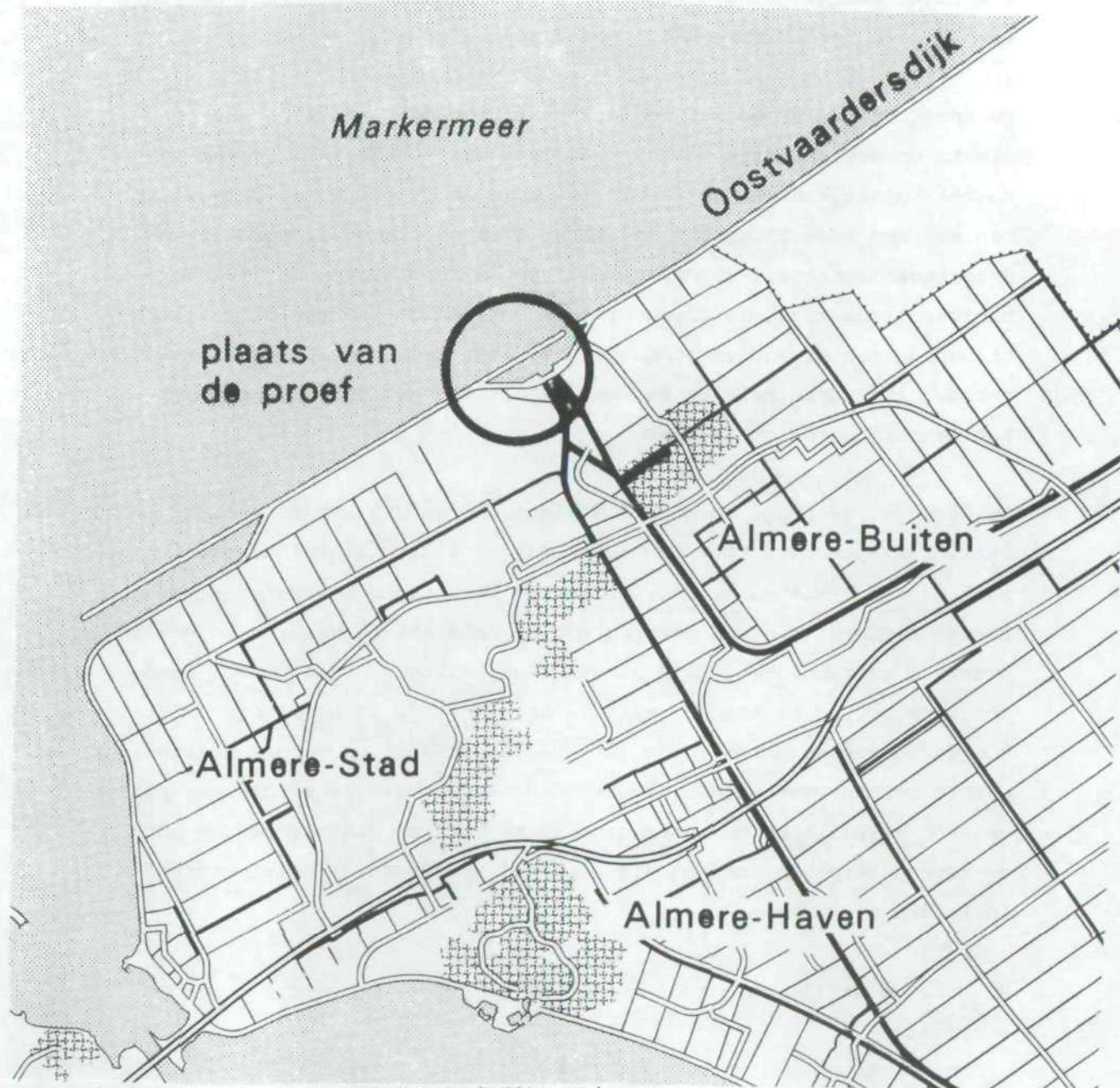
### 8.2. Locatie en geohydrologische opbouw

Voor het bepalen van de locatie spelen bereikbaarheid, ruimte, geohydrologische opbouw ect. een rol.

Omdat het in eerste instantie gaat om de vraag wat de capaciteit is van de infiltratieput en de afname daarvan in de tijd heeft een locatie langs de strekdam (tegenover het gemaal de Blocq van Kuffeler) in de buurt van Almere op grond van de gestelde uitgangspunten en de bereikbaarheid de voorkeur. In figuur 19 is de proeflocatie weergegeven.

Op grond van de geologische opbouw kunnen nabij Almere twee watervoerende pakketten worden onderscheiden. Het diepe watervoerende pakket

(circa N.A.P. -250 m tot N.A.P. -90 m) wordt aan de bovenzijde afgedekt door kleilagen behorende tot de Formatie van Enschede of de Formatie van Kedichem. Het ondiepe watervoerende pakket (van circa N.A.P. -85 m tot N.A.P. -10 m) wordt afgedekt door slecht doorlatende holocene afzettingen.



Figuur 19. Locatie proef met infiltratieput.

### 8.3. Proefopzet

Om er achter te komen of infiltratie van meerwater door middel van infiltratieputten mogelijk is, is een proef op praktijkschaal noodzakelijk. Daarbij kunnen gegevens worden verkregen die voor het ontwerp van de infiltratieputten nodig zijn.

De opzet van de proef met de infiltratieput moet er in de eerste plaats op gericht zijn dat de kwaliteit van het te infiltreren water zoveel mogelijk dezelfde is als later in de praktijk. Op deze wijze kan men een redelijk goede indruk krijgen over de haalbaarheid van deze tegenmaatregel, de capaciteit van de infiltratieput, het verloop hiervan in de tijd, de frequentie en het debiet waarmee de infiltratieputten moeten worden schoongepompt etc. Het is echter belangrijk ook een indruk te krijgen van het effect van het schoonpompen en van het daarbij benodigde debiet.

De duur van de proef moet worden afgestemd op die van de werkelijke infiltratieperiode. Voor een langdurige infiltratie zal de proef minimaal een jaar moeten duren, wil men de resultaten met enige zekerheid kunnen extrapoleren. In verband met de noodzaak de resultaten van de proef te extrapoleren, zijn nauwkeurige metingen nodig om een tendens tot verstopping te kunnen registreren. Hiervoor is het nodig de stijghoogte te kunnen meten in de infiltratieput zelf en op een afstand van enkele meters daarbuiten. Tevens dient de capaciteit en de temperatuur van het geïnfiltreerde water gemeten te worden. Daaruit kan de putweerstand berekend worden, die afhankelijk is van allerlei storende invloeden van buiten.

Tijdens de infiltratieproef moeten de volgende waarnemingen worden verricht:

- de snelheid en de mate van het bezinken van het slib op het zandfilter;
- de effecten van wind en golven op de stabiliteit van het zandfilter en het bedekkingsmateriaal;

- het potentiaalverval over het zand/grindfilter;
- Het debiet van het water dat via het putfilter het watervoerende pakket instroomt, de stijghoogte in het putfilter zelf en de stijghoogten op zekere afstanden van de infiltratieput;
- de geleidbaarheid;
- de temperatuur van het infiltrerende water en van het water in het watervoerende pakket;
- de kwaliteit van het gefilterde oppervlaktewater en van het aanwezige grondwater.

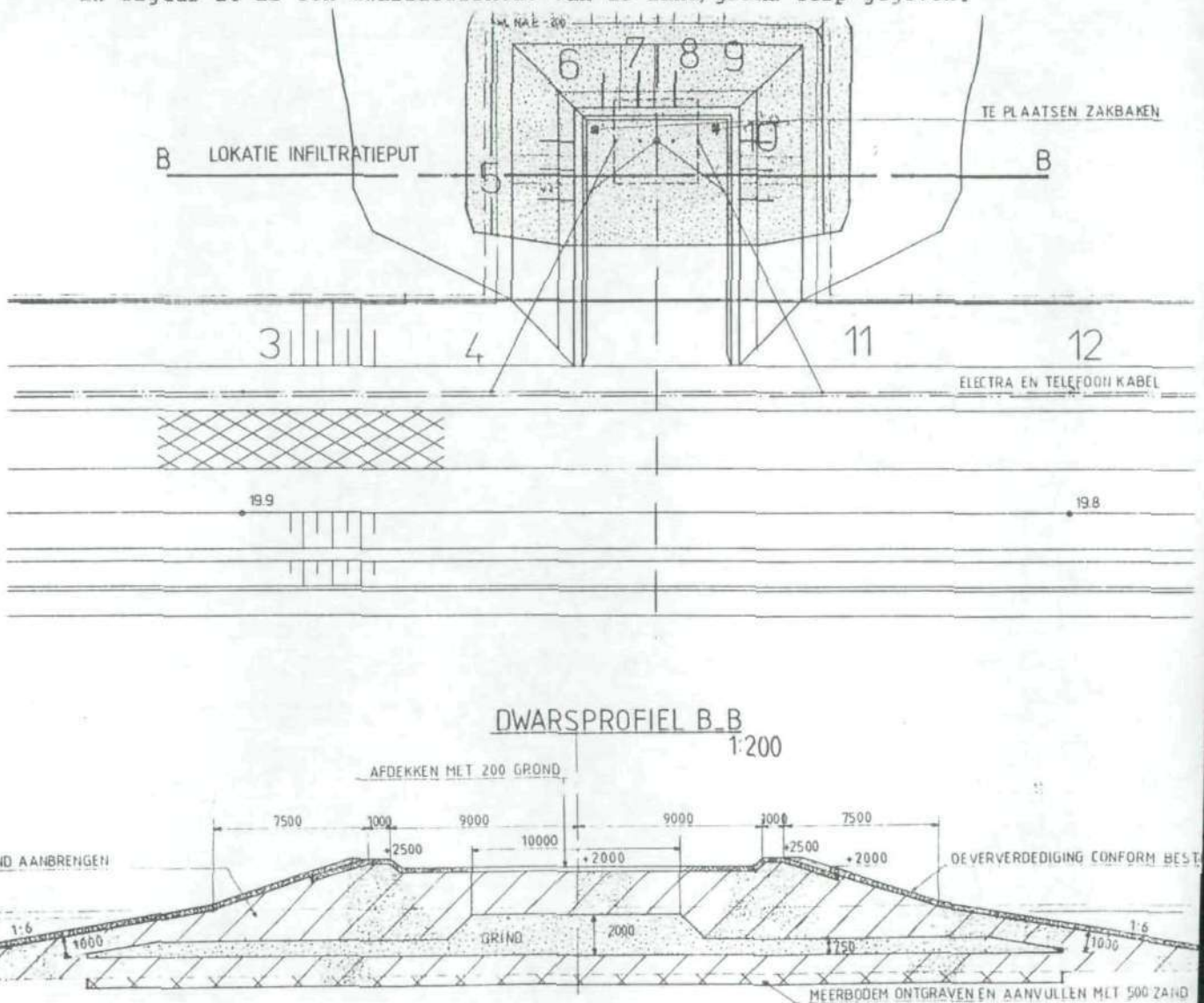
## 9. AANLEG EN INRICHTING VAN DE PROEF

### 9.1. Zand/grindfilter

Het grondwerk bestond in hoofdzaak uit:

- het opschonen van de meerbodem;
- het aanbrengen van de zand- en grindlagen;
- het afdekken van het zandlichaam met 0,20 m grond in verband met verstuiving.

In figuur 20 is een dwarsdoorsnede van de zand/grind terp gegeven.



Figuur 20. Dwarsprofiel zand/grind terp.

Allereerst is op de meerbodem een zandlaag aangebracht om inspoeling van kleideeltjes in de grindlaag te voorkomen. Het zand is aangebracht met behulp van een knijperbak (foto 1).



Foto 1. Aanbrengen onderste zandlaag.

De dikte van deze zandlaag bedraagt circa 1,50 m. Na het profileren van het zand is een grindlaag aangebracht. De oppervlakte bedraagt circa 400 m<sup>2</sup> en de dikte circa 0,75 m. In verband met optredende zettingen is rond de infiltratieput een dikkere laag grind aangebracht (circa 2,0 m). Dit om er zeker van te zijn dat het geperforeerde deel van het putfilter te allen tijde door grind omgeven is. Een indicatie van de toe te passen dikte van de grindlaag is verkregen uit zettingsberekeningen.

Na het aanbrengen van het grind is het afgedekt met zand. Aan de binnen- en buitenzijde is het zand met behulp van een knijper aangebracht. Het overige zand is vanaf de dijk uitgeschoven met behulp van een laadschop (foto 2).



Foto 2. Aanbrengen bovenste zandlaag m.b.v. laadschop.

Het benodigde zand moest aan bepaalde eisen ten aanzien van doorlatendheid en korrelopbouw voldoen. Daarom zijn vooraf alle in de omgeving gelegen zanddepots bemonsterd en onderzocht. Aan de hand van dit onderzoek bleek een depot in Almere-Stad het meest geschikte zand te bevatten.

#### 9.2. Bescherming en afwerking van de terp

Nadat zand is aangebracht en het talud is afgewerkt is een dijkbekleding aangebracht bestaande uit kraagstukken, die als volgt zijn opgebouwd:

- filterdoek;
- één laag wiepen; waarbij de wiepen zijn aangebracht h.o.h. 1,0 m zowel in lengte- als in dwarsrichting en bevestigd aan het filterdoek;
- steenbestorting, met een gewicht van 10-40 kg/stuk in een hoeveelheid van 350 kg/m<sup>2</sup>;
- na het afzinken is het kraagstuk nabestort met 350 kg/m<sup>2</sup> middelzware stortsteen (50-200 kg/stuk).

Het filterdoek (Nicolon 66392) voldoet aan de volgende eisen:

- gewicht minimaal 200 gr/m<sup>2</sup>;
- zanddoorlaatbaarheid maximaal 140 micron;
- ingeweven lussen h.o.h. 0,50 m.

De wiepen zijn van wilgehout, omtrek op de brand 350 mm. De eerste wiep is aangebracht aan de onderzijde van het talud. Het binddraad van de wiepen is van één streng getwijnd polypropyleen met een breeksterkte van 60 kg bij een looplengte van 600 m per kg. De wiepen zijn met twee draden aangewonden. Het sroringstouw is samengesteld uit twee strengen, tegen rot en schimmel behandeld sisal en twee strengen polypropyleen met een gezamenlijke breeksterkte van 270 kg. De wiepen zijn op het doek gebonden aan de daarvoor bestemde lussen met sroringstouw.

De wiepen hebben de kwaliteit volgens NEN 747.

De steenbestorting is ter beschikking gesteld in het depot Pampus-haven.

Daar waar in de oeverlijn hoeken voorkomen zijn de kraagstukken in peluwvorm gelegd. De maximale wiepafstand t.p.v. de voet is 1,0 m.

Omdat de meetapparatuur te allen tijde bereikbaar moet zijn, is het zand/grindfilter afgewerkt boven de waterspiegel, tot ongeveer N.A.P. + 2,0 m.

Om verstuiwing van zand tegen te gaan is een grondlaag aangebracht ter dikte van 0,20 m. Het geheel is ingezaaid met gras. De benodigde grond is betrokken van een gronddepot te Almere-Buiten. Aan de grond zijn geen speciale eisen gesteld.

Op de foto's 3 en 4 is het aanbrengen van de dijkbekleding te zien.



Foto 3. Aanbrengen filterdoek en wiepen.



Foto 4. Aanbrengen stortsteen.

### 9.3. Infiltratieput

Ten behoeve van de infiltratieput zijn de benodigde boorwerkzaamheden verricht gebruik makend van het rotary-luchtlift-systeem (foto 5). De diameter van het boorgat bedroeg 0,80 m en de diepte circa 34,0 m.



Foto 5. Boren van het boorgat.

De filterbuis bestaat uit een glasvezelversterkte buis met diameter 0,20 m en een lengte van 25 m. Van N.A.P. -29,5 m tot N.A.P. -14,5 zijn perforaties aangebracht. Hiertoe is circa 10% van het buisoppervlak verwijderd. De spleetwijdte bedraagt circa 1 mm. Op N.A.P. -0,50 m is de filterbuis (diameter 0,20 m) gekoppeld aan een glasvezelversterkte buis met diameter 0,60 m en een lengte van 7 m. In deze bredere buis zijn van N.A.P. -0,30 tot N.A.P. -0,20 m perforaties aangebracht over 10% van het buisoppervlak. De totale lengte van de filterbuis is 32,0 m.

Rondom de filterbuis zijn vier P.E.-filterbuizen (diameter 0,04 m) bevestigd met afstandhouders. Drie van de vier buizen dienen om de stijghoogte te kunnen meten in de grindomstorting op een niveau van respectievelijk N.A.P. -15, -22 en -29 m. De vierde buis is op N.A.P. -22,0 m aangesloten aan de filterbuis rond 0,20 m voor het

meten van de stijghoogte in de filterbuis.

In figuur 21 is een en ander schematisch weergegeven. Op foto 6 is de gehele filterbuis te zien en op foto 7 een detail van het brede gedeelte.

Foto 6. Filterbuis.

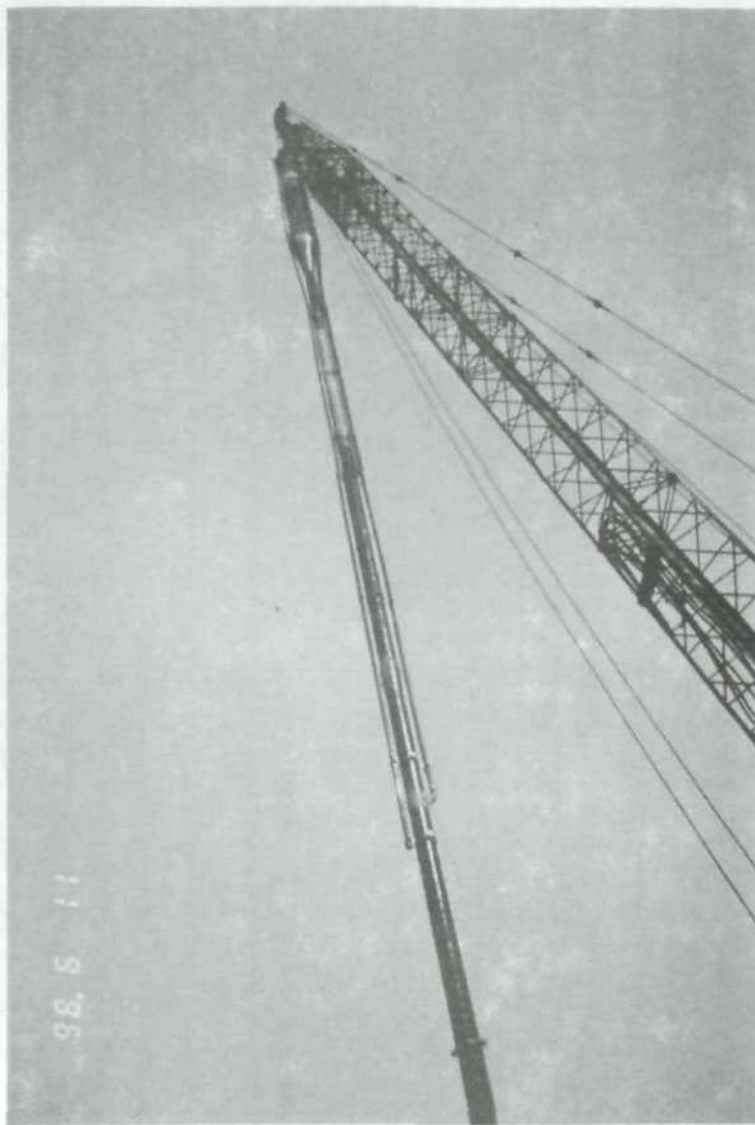
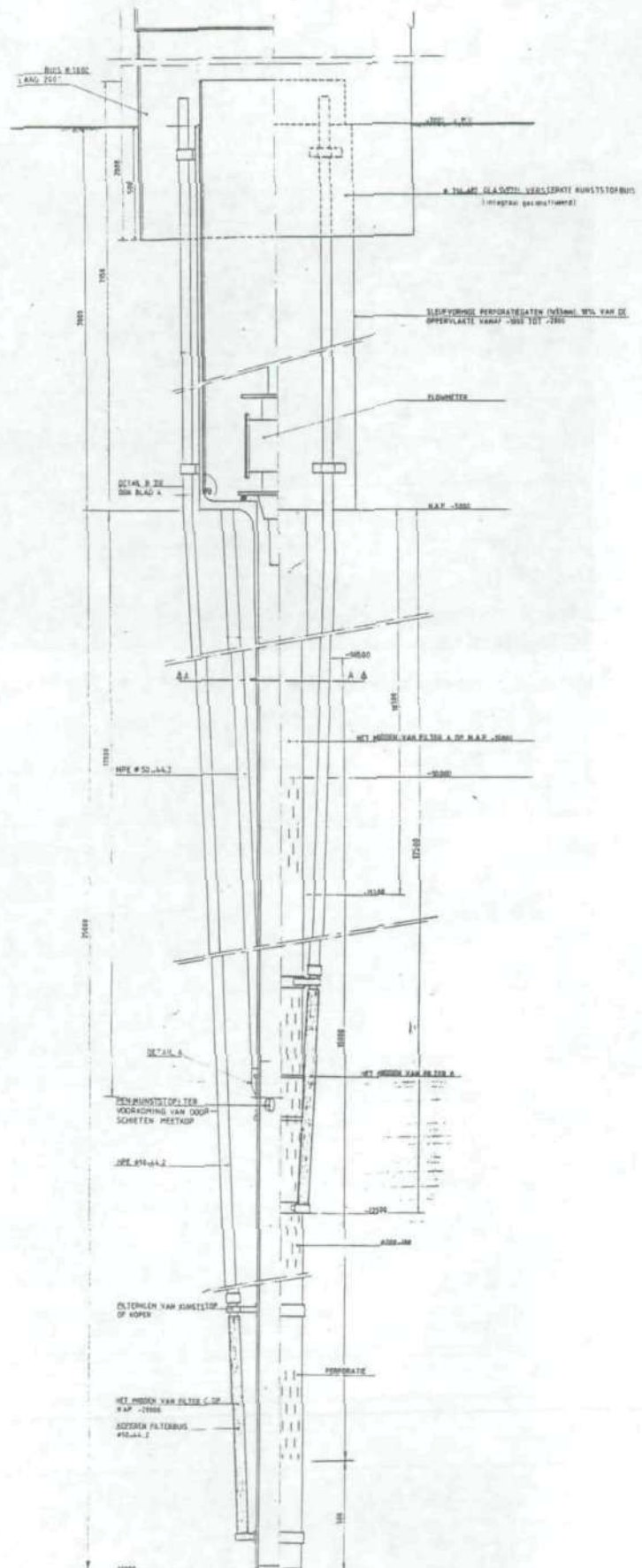




Foto 7. Bovenste gedeelte van de filterbuis.



Van 1 m onder tot 1 m boven het uittreefilter (0,20 m) en intreefilter (0,60 m) is filtergrind (2-5 mm) aangebracht. Van meerbodem tot bovenkant watervoerend pakket is klei aangebracht om de holocene kleilaag zo goed mogelijk te herstellen.

Om de infiltratieput eventueel schoon te pompen zijn voorzieningen getroffen die dit mogelijk maken. In het begin van het infiltratieproces zal zwevende stof uitspoelen uit het zand/grindfilter, wat aanleiding kan geven tot verstopping van het putfilter. Om dit te voorkomen is de filterbuis voorzien van een afsluiter (foto 8), zodat deze afgesloten kan worden tot het moment dat het gefilterde oppervlaktewater de juiste kwaliteit heeft.



Foto 8. De afsluiter.

#### 9.4. Meetapparatuur

Voor het verrichten van metingen is onderstaande apparatuur geleverd en geïnstalleerd:

- 1 Altoflux flowmeter 0-15 m<sup>3</sup>/h, alsmede een elektronische meetversterker type ;

- 4 temperatuurmeetsystemen bestaande uit 4 PT100 sensoren elk voorzien van 30 m kabel, en 4 tweedraadstransmitters type TRA-R4 gemonteerd in een montagedoos type IP 65;
- 51 drukopnemers van het fabrikaat DRUCK, type PTX 160/D; meetbereik 35 kPa;
- 2 drukopnemers van het fabrikaat DRUCK, type PTX 160/D; meetbereik 70 kPa;
- 2 drukopnemers van het fabrikaat DRUCK, type PTX 160/D; meetbereik 350 kPa;
- 2 drukopnemers van het fabrikaat DRUCK, type PTX 110/W; 800-1200 mbar;
- 10 geleidendheid meetsystemen bestaande uit 10 vier-elektroden meetcellen, type SC 49/EP15 diameter elk voorzien van 30 meter aangegeven kabel en 10 tweedraadstransmitters, type TG49G-SSS-F-C-N\*A/P/APZ;
- 1 datalogger van het fabrikaat Microdata (Techmation Electronics);
- 2 kiesmodems 1200 band type MPS1222;
- 1 alarmmelder type Euromelder;
- 1 microcomputer type HP-Vectra model 50 inclusief software en dotmatrixprinter type FX-105;
- 1 Schroff instrumentenkast;
- 1 MFI-meter semi-automatisch (KIWA).

Verder zijn geleverd en geïnstalleerd een aanstroom- en bevestigingsconstructie t.b.v. de flowmeter, 2 accu's 24 Volt 100 Ah, 1 laadvoorziening ten behoeve van de accu's, klemmenkasten met wartels en kabeldoorvoeren.

Met uitzondering van de flowmeter is voor alle sensoren volstaan met een tweedraadsverbinding.

Vanaf de koppeldoos of omvormer is naar de datalogger kabel toegepast met twee aders  $0,75 \text{ mm}^2$  met afscherming en buitenmantel bestand tegen

knaagdieren en veldomstandigheden.

Voor de flowmeter is naast de tweedraadsverbindingskabel een voeding toegepast met twee aders van  $1,5 \text{ mm}^2$ . Voor het opvangen van de gevolgen van de bodemdaling is voldoende overmaat in de kabels aangebracht. De kabels komen te samen in een meetbehuizing (foto 11).

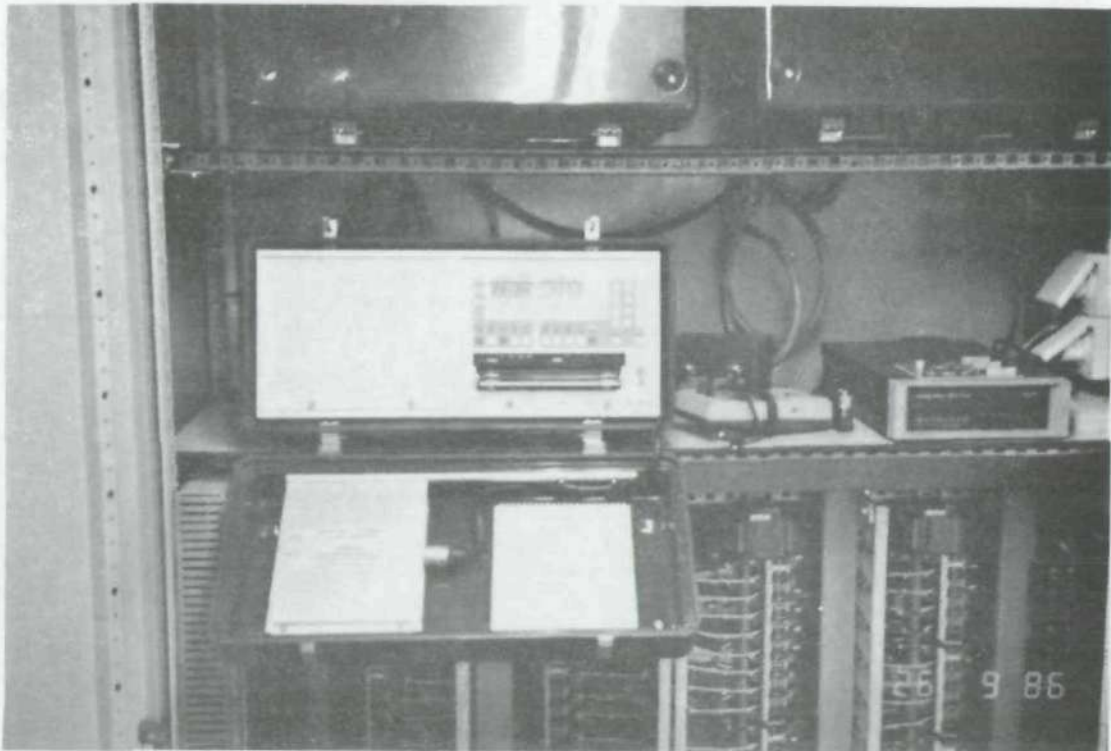
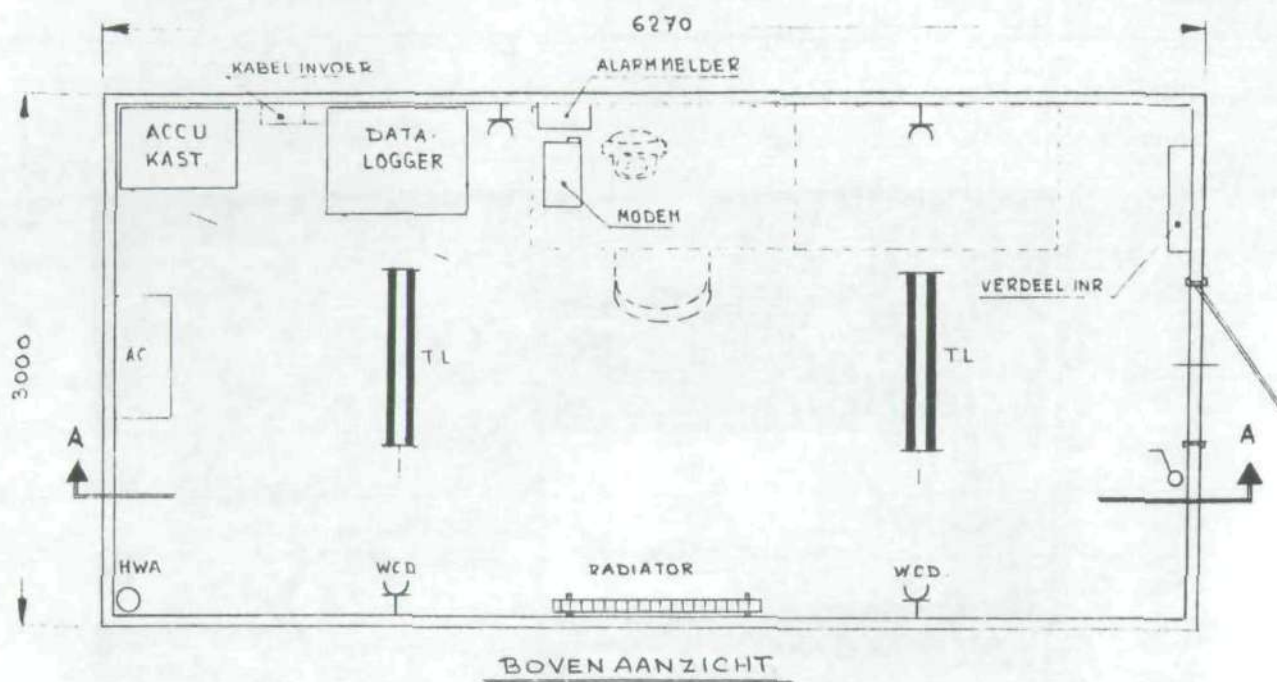


Foto 11. Meetbehuizing.

Het schema van de indeling/opstelling apparatuur in de meetbehuizing is weergegeven in figuur 22.



Figuur 22. Indeling/opstelling apparatuur in meetbehuizing.

### 9.5. Peilbuizen

Op afstanden van 2, 5, 10, 35, 60, 100 en 200 m van de infiltratieput zijn peilbuizen geplaatst (foto 12). De lengte van de filters bedraagt 1,0 m met uitzondering van die filters die geplaatst zijn in de zand-c.q. grindlaag op de terp. De laatsten hebben een lengte van 0,50 m. Ter plaatse van het filter en er boven en beneden is filtergrind aangebracht. Ter plaatse van lemige zandlaagjes boven de onderlinge filters is bentoniet aangebracht ter afdichting. Per lokatie zijn een drietal filters geplaatst. De diepte van de diverse peilbuizen is weergegeven in bijlage 3. Tevens is hierin aangegeven de plaatsing van de drukopnemers, de temperatuur en de geleidendheid.



Foto 12. Plaatsing peilbuizen.

De drukopnemers PTX 160/d-35 kPa zijn aangebracht op circa 1,0 m beneden de heersende grondwaterstand.

De temperatuuropnemers PT100 en de geleidendheidsopnemers SC 49/EP15 zijn aangebracht op dezelfde diepte als het hart van het filter.

De plaatsing van de meetapparatuur in infiltratieput en meetbehuizing is weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Plaatsing meetapparatuur in infiltratieput en meetbehuizing.

Plaats	Plaatsingsdiepte in m - N.A.P.	Drukopnemer PTX 160/D-	Temperatuur- opnemer
Naast flowmeter in put	ca. 5,00	70kPa	PT100
In peilbuis aan putfilter	ca. 5,00	70kPa	
Idem in peilbuis aan putfilter	22,00	350kPa	
In zuigbuis in grindpaal	29,00	350kPa	
In container nabij meetkast		2 x PTX 110/800-1200 mBar	
In infiltratieput	ca. 5,00	Flowmeter magnetische flowmeter type 7500 4" fa. Brooks	

## 10. MEETPROGRAMMA

Het verloop van de potentiaal in de zand- en grindlaag op de terp, in het filtergrind en in het watervoerend pakket geven een indruk over de mate van verstopping. Daarbij geeft een doorstromingsmeter aan hoe groot de capaciteit is van de put. De temperatuur is van belang voor de viscositeitsbepaling en de kans op bacteriologische vertontreiniging van het water. Elektrische geleidendheidsmetingen tenslotte moeten het beeld completeren over de verspreiding van het geïnfilterde water. Al deze gegevens worden automatisch geregistreerd. De meetfrequentie van de diverse opnemers wordt bepaald door de snelheid waarmee de processen kunnen veranderen. Dit zal niet voor alle opnemers gelijk zijn.

Vooralsnog is er van uitgegaan dat de flowmeter 1 x per 15 minuten wordt uitgelezen en de overige opnemers 1 x per 30 minuten.

In figuur 23 is een opstelling gegeven van de meet- en registratie-apparatuur. In het weergegeven systeem zijn vijf groepen te onderscheiden:

- sensoren
- datalogger
- communicatiemiddelen
- middelen voor gegevensverwerking
- aanvullende meetsystemen

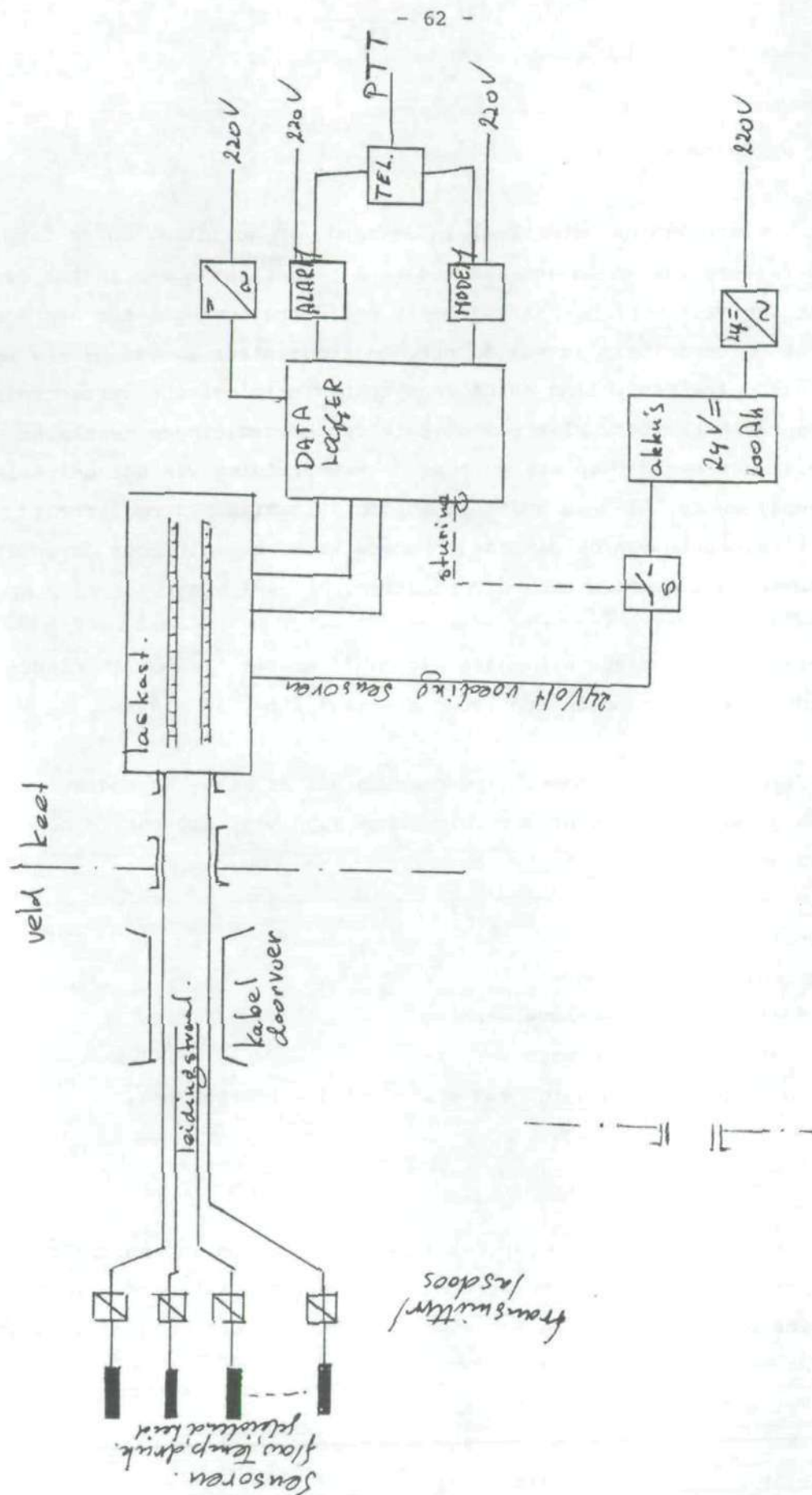
Van deze onderdelen volgt een afzonderlijke beschouwing.

### 10.1 Sensoren

Sensoren zetten de te meten fysische grootte om in een analoog elektrisch signaal, dat na verwerking geregistreerd kan worden in een digitale vorm. De van belang zijnde fysische grootheden en de bijbehorende meettrajekten zijn:

- temperatuur (0-30 grad Celsius)
- druk (0-35, 70, 350 kPa t.o.v. Atmosfeer)
- debiet (0,6-15m<sup>3</sup>/uur)
- geleidbaarheid (100-600 µS)

De positie van de sensoren in de meetopstelling is schematisch



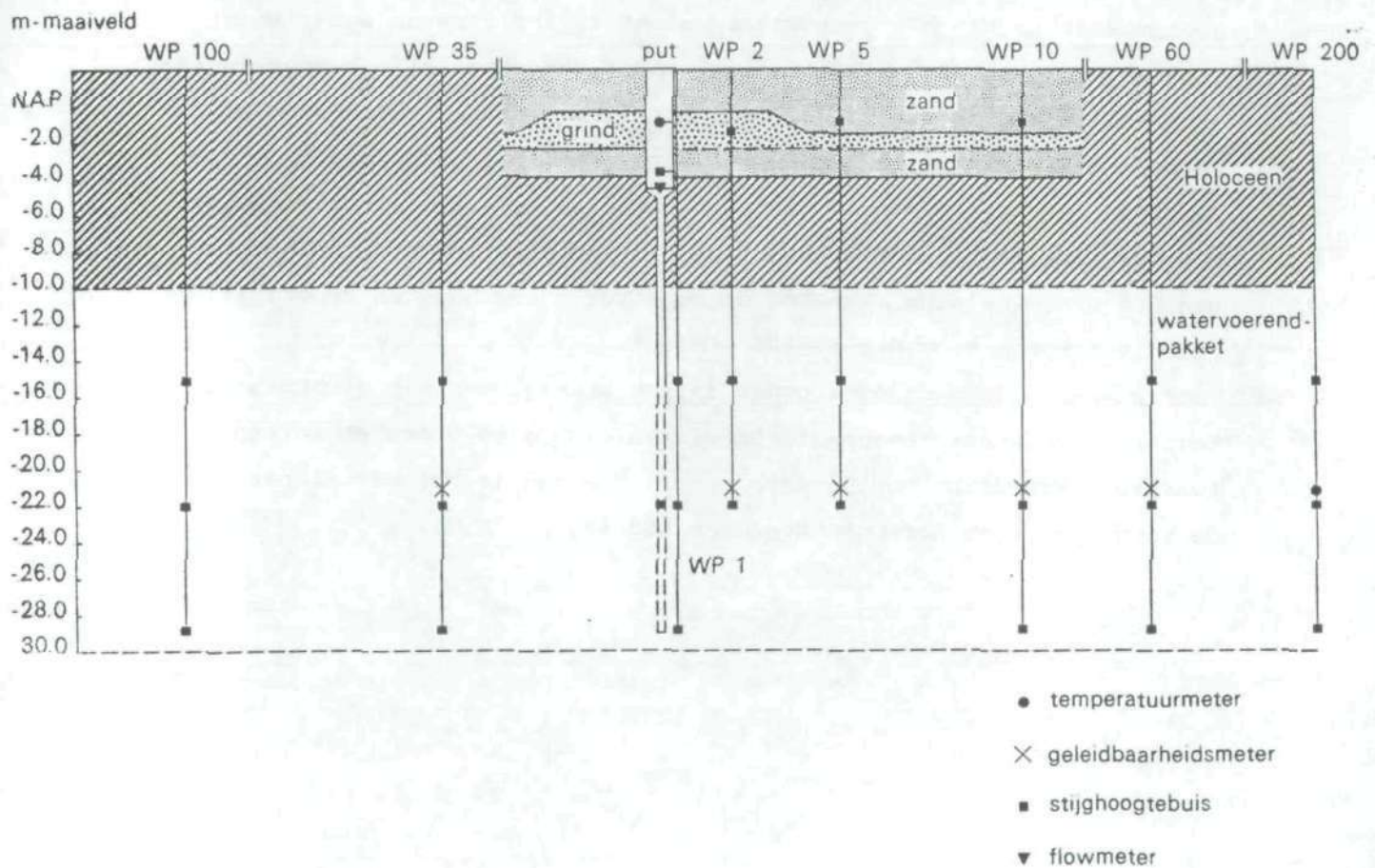
Figuur 23. Schema van de meet- en registratieapparatuur.

aangegeven in figuur 24. Buiten de put wordt de potentiaal gemeten in een raai op de afstanden 2, 5, 10, 35, 60, 100 en 200 meter van de put, waarbij enkele punten samenvallen. In de meeste gevallen zijn de filters op 15, 22 en 29 meter diepte geplaatst. De meetpunten en sensoruitvoering zijn zodanig ingericht, dat verplaatsing en uitwisseling vrij eenvoudig is. Aspecten die een rol hebben gespeeld bij de keuzebepaling zijn: stabiliteit, nauwkeurigheid, meetgebied, storingsgevoeligheid en mogelijkheid voor aansluiting op datalogger.

#### Temperatuur

De temperatuur van het grondwater en het te infiltreren water wordt gemeten. Viscositeit en soortelijke massa van water zijn temperatuursafhankelijk. Deze factoren en het potentiaalverschil zijn nodig om de weerstand van het filter te kunnen berekenen. Daarnaast geeft de temperatuur informatie over de kans op bacteriologische verontreiniging. Voor de bepaling van de putweerstand is een meetnauwkeurigheid nodig van 0.1 graad Celsius. Vanwege de hoge betrouwbaarheid en de stabiliteit is gekozen voor een Pt-100 element.

Voor koppeling aan de datalogger is een signaalomvormer dichtbij het temperatuurelement toegepast. De signaalomvorming voorziet in een tweedraadskoppeling met de datalogger. Hierbij is het meetsignaal op de voedingsstroom gesuperponeerd en bedraagt 4-20 mA.



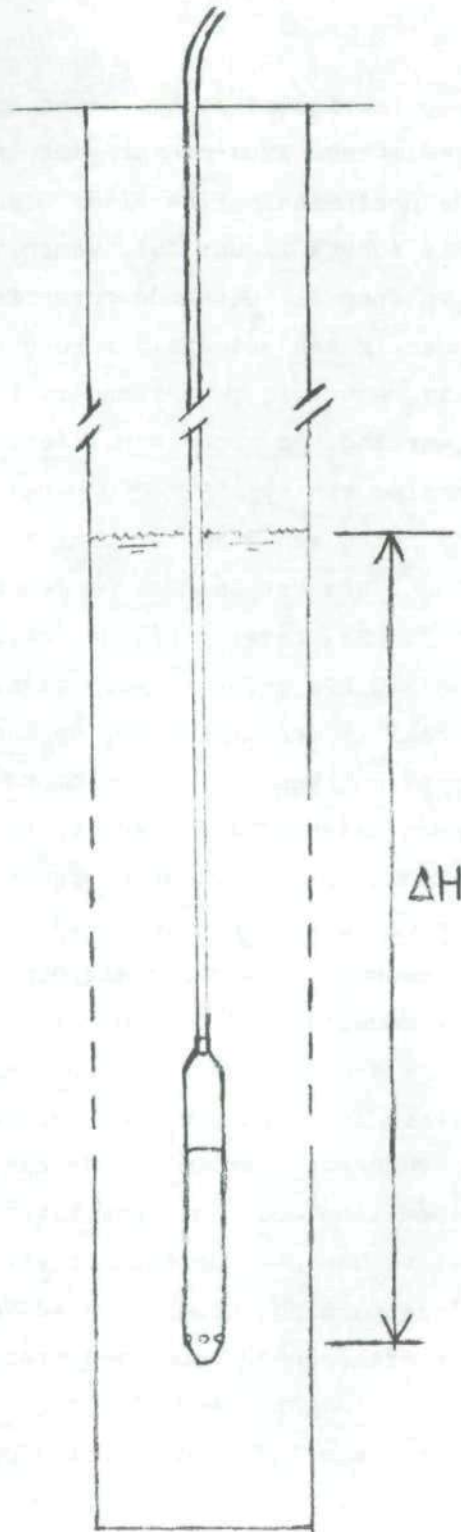
Figuur 24. Overzicht positie van de sensoren in de meetopstelling.

## Druk

Voor het meten van de potentialen van het water op de aangegeven plaatsen zijn piezo-resistieve drukopnemers met ingebouwde signaal-omvormer toegepast. De potentiaalmeting vindt plaats volgens het filterbuisprincipe (zie schets figuur 25), waarbij de peiling van het waterniveau een maat is voor de heersende potentiaal aan de onderzijde van de buis. Het meetbereik kan afgestemd worden op de te verwachten drukken en de sensor is eenvoudig te vervangen, te verplaatsen en te controleren op goede werking. Op grond van afmetingen en eigenschappen is gekozen voor toepassing van type PTX 160/D van fa. Druck

(foto 14). Deze sensor heeft een diameter van 17.5 mm en is verkrijgbaar in de meetbereiken 7 kPa tot 35 MPa. De meest toegepaste sensoren hebben een bereik van 35 kPa, terwijl bij de infiltratieput enkele sensoren van 70 kPa en 350 kPa geïnstalleerd zijn. Onderin de infiltratieput en de grindpaal is een druksensor geplaatst van 350 kPa. Bij stilstaande of verstopte put kan de waterkolom toenemen tot 29 meter. In de peilfilters direct naast de infiltratieput en in de grindpaal treden grotere peilverschillen op, zodat hiervoor druksensoren met een bereik van 70 kPa zijn gebruikt. Deze opnemers zijn uitgerust met een ingebouwde signaalomvormer en voeding, zodat een twee-draads verbinding met de datalogger mogelijk is. De opnemer wordt onder het minimale peil in de buis gehangen aan de kabel van de opnemer. Omdat in de kabel een capillair is opgenomen voor de barometercompensatie moet bij de ophanging voorkomen worden dat de kabel afgeklemd wordt. De kabel mond uit in een kabeldoos met ventilatiegaatje. Het signaal gaat via normale kabel verder naar de datalogger. Het meetsignaal is 4-20 mA bij een voedingsspanning tussen 9 en 40 Volt DC.

Een dubbel uitgevoerde drukopnemer voor registratie van de barometerdruk is direct aan de datalogger gekoppeld. Deze informatie wordt gebruikt voor compensatie van luchtdrukeffecten op de stijghoogten van de filters.



Figuur 25. Filterbuisprincipe.



Foto 14. Drukopnemer.

#### Infiltratiecapaciteit

Bij de grindpaal is geen directe debietmeting toegepast. Uit het gemeten potentiaalverschil is een redelijke schatting af te leiden van de hoeveelheid geïnfiltreerd water. Toepassing van een debietmeter is technisch moeilijk in de grindpaalconstructie aan te brengen en tast de aard van de grindpaal wezenlijk aan. Bij de infiltratieput is het aanbrengen van speciale voorzieningen opgenomen in de constructie van het buizensysteem. Een elektromagnetische doorstroommeter voor onderwatergebruik bleek het meest betrouwbare en nauwkeurige meetsysteem in deze toepassing. Voor een goede werking dient bij dit type de meetbuis volstromend te zijn. Bij de keuzebepaling van de dimensionering zijn de volgende voorwaarden gesteld:

- meetbereik : 0,6 - 16 m<sup>3</sup>/hr.
- nauwkeurigheid :  $\pm 0.5\%$  van momentele flow
- waterdicht : max. 10 meter waterkolom
- voeding : 24 Volt DC of 42 Volt AC
- verbruik :  $\leq 15$  Watt
- meetsignaal : 4-20 mA

- NEN-doorlaat : 100 mm
- drukverlies : minimaal d.m.v. in- en uitstrooingleiding.

De keuze van een NEN-doorlaatopening van 100 mm was gebaseerd op de wens een inspectiecamera door de meetbuis neer te laten. Bij deze diameter is over het te verwachten meettraject de stroomsnelheid ongunstig voor de meting. Door het ontwerp van een eenvoudig uitneembare flowmeterconstructie kon de doorlaatmogelijkheid voor een camera vervallen.

Met een NEN-doorlaat van 32 mm wordt voldaan aan de gewenste nauwkeurigheid over een meettraject van 0,6 tot 30 m<sup>3</sup>/hr. Toegepast is type M940-DN32 van Altometer. Aanvankelijk werd deze doorstroommeter voorzien van cilindrische in- en uitstroomstukken van gelijke diameter met een respectievelijke lengte van 5 en 3 maal de diameter. Bij de eerste praktijkmetingen werd een drukverlies over deze constructie gemeten van bijna 1,80 meter waterkolom bij een debiet van ca. 15 m<sup>3</sup>/hr.

Door het toepassen van speciaal berekende en vervaardigde tapse in- en uitstroomstukken kan het maximale drukverlies worden teruggebracht tot de acceptabele waarde van ca. 0,70 m waterkolom. De constructie van het eenvoudig uitneembare deel met meetgedeelte is weergegeven in foto 15. Hierdoor is inspectie en onderzoek aan de filterput mogelijk op elk gewenst moment.

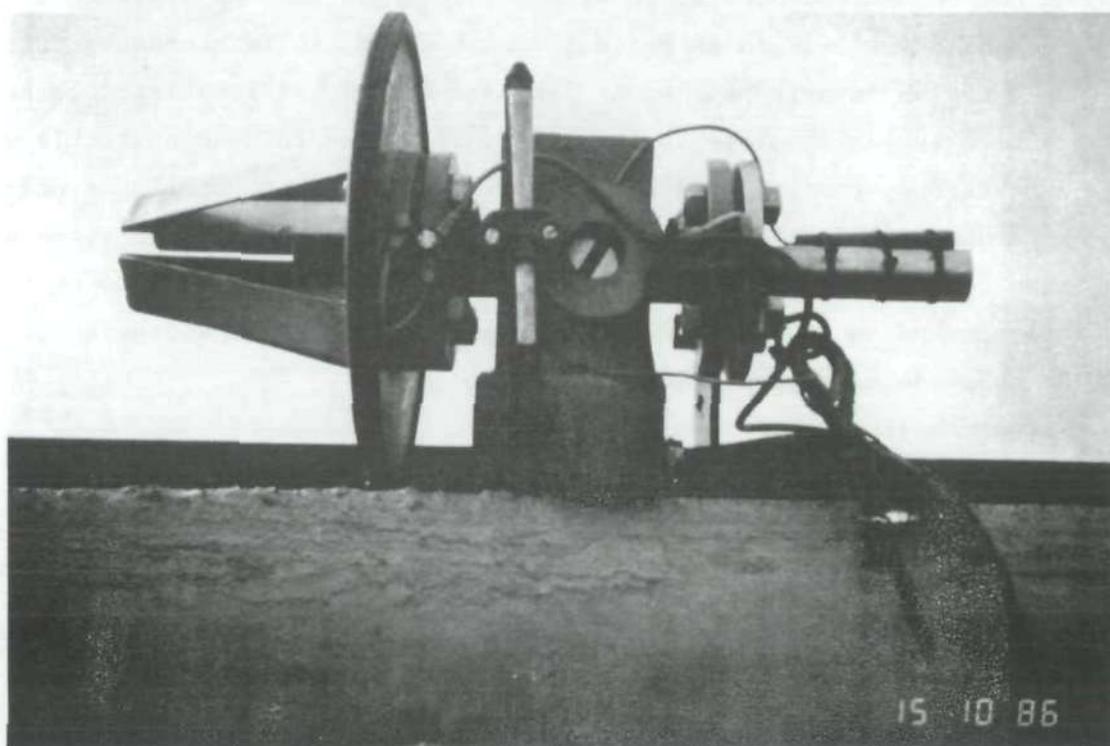


Foto 15. Constructie flowmeter.

### Geleidendheid

Op een aantal plaatsen in het pleistocene watervoerende pakket wordt de geleidendheid bepaald. De meting vindt plaats op drie plaatsen buiten het filter. Bij de afweging naar de meetmethode is de keuze gevallen op het neerlaten van een meetcel in een filterbuis. Door op meerdere afstanden buizen te plaatsen, kan de meetplaats aangepast worden aan het voortschrijdende infiltratiefront.

Omdat de geleidendheid sterk temperatuurafhankelijk is, dient temperatuurcompensatie toegepast te worden. Een goede doorstroming is eerste vereiste, zodat een royaal filter toegepast moet worden. De gekozen apparatuur is geleverd door Yokogawa Electrofact en bestaat uit:

- vier-elektrode meetcel met temperatuurcompensatie type SC49/EP15.  
De meetcel moet voorzien zijn van 30 meter aangegoten kabel WU40 en over de volle lengte geen grotere diameter bezitten dan 25 mm.
- tweedraadstransmitter type TG49G-SSS-F-C-N\*A/P/AP2

Voor toepassing in een filterbuis werd een speciale uitvoering ontwikkeld met aangegoten kabel en bescherm slang.

### 10.2. Datalogger

De datalogger vormt het centrale brein van de proefopzet. Alle signalen komen hier tezamen en dienen geconditioneerd te worden voor digitale registratie. Het registreren moet selectief plaatsvinden, zodat de hoeveelheid gegevens beperkt blijft. Registratie bij verandering van meetwaarde met drempelinstelling biedt hiervoor de meeste zekerheid. Naast het vastleggen van informatie is de logger ook in staat een alarm te genereren bij calamiteiten en is communicatie en besturing via een modem-telefoonverbinding mogelijk. De gehele gegevensopslag is onafhankelijk van net- en lijnverbinding, zodat onder alle omstandigheden de registratie zo goed mogelijk gewaarborgd blijft. Samengevat zijn de volgende punten van belang geweest bij de apparaatkeuze:

- registratienauwkeurigheid 10 bit (= 3 decimalen)
- minimaal 60 ingangskanalen

- uitgangen voor alarm en besturingsdoeleinden
- koppeling voor besturing, programmering en uitlezing via telefoonverbinding en compatibel met bestaande automatiseringsmiddelen.
- geschikt voor de heersende veldomstandigheden.

Deze voorwaarden hebben geleid tot de keuze van het type M1680-PROLOG van Microdata. In bijlage 4 is de samenstelling nader gespecificeerd.

Deze datalogger met twee uitbreidingskasten beschikt over 100 ingangskanalen en 16 alarm uitgangen. 70 kanalen zijn voorzien van een stroomingangsversterker voor signalen van 4-20 mA. Eén ingangsslot is in gebruik voor de aansluiting van de 8 alarmuitgangen en slot 0 is geconfigureerd voor aansturing van de voedingsspanning van een groep sensoren. Deze functie is alleen actief als de netspanning wegvalt. De verzamelde informatie wordt opgeslagen in een werkgeheugen van 256 kByte. Deze capaciteit is voldoende voor de gegevens van ca. 10 dagen. Via de modem-telefoonverbinding wordt de opgeslagen informatie regelmatig (normaliter iedere werkdag) uitgelezen. Daarnaast wordt tevens de informatie vastgelegd in blokken van 512 Bytes op magnetische tape cartridge. Met deze 3-voudige opslag is de kans op verlies van informatie tot een minimum beperkt.

### 10.3 Communicatiemiddelen

Zoals uit het voorgaande blijkt is communicatie wenselijk voor twee doeleinden:

- Uitlezen en controle van datalogger;
- doorgeven van alarm.

Het eerste doel wordt bereikt met een modem, die gekoppeld is aan het telefoonnet. Voor de alarmering wordt een automatische telefoonmelder toegepast. Deze geeft een alarmsignaal in de vorm van gesproken tekst door naar drie ingeprogrammeerde telefoonnummers in gemafoon.

### 10.4 Computersysteem

De gegevens die met de datalogger verzameld en opgeslagen worden moeten regelmatig uitgelezen en verwerkt worden. Ook is het mogelijk via de modemverbinding de programmering van de datalogger te wijzigen. Het is een voor de hand liggende gedachte het meetgebied via de

telefoon te koppelen aan een microcomputer, die in staat is ook een belangrijk aandeel van de verwerking voor zijn rekening te nemen. Een HP-Vectra model 50 met extra geheugen, interfaces en een FX-105 dot-matrix printer is hiervoor in gebruik.

#### 10.5 Overige meetsystemen

De Membraan Filter Index (MFI) is een meetwaarde die de hoeveelheid zwevende stof in het infiltratiewater aangeeft en geeft daarmee informatie over de infiltratiesnelheid en kans op vervuiling van het filter. De KIWA ontwikkelde een semi-automatisch meetsysteem voor het bepalen van de MFI-waarde.

Indicenteel zullen aanvullende metingen gewenst zijn met apparatuur bij de RIJP aanwezig. Hierbij valt de denken aan zuurstof, zuurgraad e.d.

#### 10.6 Bekabeling

Alle 25 peilbuismeetpunten zijn verbonden met de meetkeet met twee kabels t.w.; 1 kabel opgebouwd uit 4 aderparen ( $4 \times 2 \times 0,75 \text{ mm}^2$ ) met afscherming per paar en een totaal afscherming en 1 kabel Vo-VMvKas  $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ . Zowel naar grindpaal als infiltratieput zijn twee 8-aderkabels en één VMvKas-kabel gevoerd. Bij de infiltratieput wordt de VMvKas-kabel gebruikt voor de voeding van de doorstroommeter met omvormer. Alle signaaladers zijn aan beide uiteinden beveiligd met 3 varistors van 50 Volt tegen overspanningen. Deze beveiligingen zijn geïntegreerd in de klemmenstroken met montagerail volgens het TRABTECH-principe van fa. ATO-Benelux. De kabels zijn in een leidingstraat gelegd op 0,5 meter diepte afgedekt met beschermplaten. Voor doorvoeren onder de dijkbekleding naar de terpen zijn plasticbuizen toegepast van voldoende lengte om gevolgen van zetting op te vangen.

#### 10.7 Net- en telefoonvoorziening

Er is gezorgd voor een aansluiting op het openbare licht- en telefoonnet. Hierbij is uitgegaan, dat de energiebehoefte minder bedraagt dan 3 kWatt.

Alle meet- en registratieapparatuur wordt gevoed met DC-laagspanning. Voorzover de meetapparatuur zelf is voorzien van een akku-voeding is een netadaptor voldoende. Voor de overige systemen is een akkubatterij nodig van 24 Volt DC met een capaciteit van minimaal 200 Ah. De akku's worden via een op het lichtnet aangesloten laadinrichting op conditie gehouden en verzorgen zelfstandig de voeding van de apparatuur bij netuitval voor ten minste 24 uur. Net uitval zal een alarmering via de telefoonmelder veroorzaken.

#### 10.8 Huisvesting

De meet-, registratie en alarmapparatuur alsmede de telefoon en net-voorziening zijn ondergebracht in een betonnen behuizing van MAVO-bouw van 6,27 x 3,00 x 2,38 m. De meetapparatuur is daarin ondergebracht in een deugdelijke 19-inch instrumentenkast, die voldoet aan de IP-55 norm. De apparatuurbehuizing buiten voldoet aan de norm IP-65. Voor de apparatuur zijn er kabeldoorvoervoorzieningen en montageborden voor het bevestigen van kabellaskasten, de meterkast en telefoonvoorzieningen. Daarnaast biedt de behuizing voldoende werkruimte, verlichting, wandcontactdozen en een elektrische radiator voor incidentele verwarming.

## 11. LITERATUUR

- Bear, Jacob, McGraw-Hill series in Water Resources and Environmental Engineering. Israel, 1979; Hydraulics of groundwater
- Ente, P.J., Lelystad, 1976; Markerwaard. Atlas bodemgeschiktheid en bodemgesteldheid.
- Hebbink, A.J. and E. Schultz, Flevobericht nr. 238, Lelystad 1984; Geohydrologie van het Noordhollandse randgebied van de Markerwaard.
- Hebbink, A.J. and E. Schultz, H<sub>2</sub>O, december 1984; Geohydrologie Markerwaard. De aanleg van de Markerwaard in het licht van de geohydrologische geschiedenis van het aangrenzende gebied in Noord-Holland.
- Hebbink, A.J., Lelystad, april 1984; Beschouwing over mogelijk te nemen maatregelen ter opvang van stijghoogtedalingen bij aanleg van de Markerwaard.
- Hebbink, A.J., E. Schultz and G.A.M. Menting, H<sub>2</sub>O, september 1986; Infiltration wells in the border lakes of the Markerwaard.  
A "natural" countermeasure.
- Holthuis, CH., Van Spijk, Venlo 1977; Bronbemaling.
- Huisman, L., and T.N. Olsthoorn, Delft University of Technology, 1983; Artificial groundwater recharge.
- IWACO B.V., Rapport 327, Rotterdam, 1977; Vooronderzoek betreffende infiltratie door middel van putten in het IJsselmeer-gebied.
- IWACO B.V., Rapport 631, Rotterdam, 1980; De technische mogelijkheden van het infiltreren van water in de bodem door middel van geboorde putten, ter verhoging van de druk in het grondwater.
- IWACO B.V., Rotterdam, mei 1983; Geohydrologisch onderzoek Markerwaard.  
Tegenmaatregelen ter voorkoming van potentiaaldalingen van het grondwater onder Noord-Holland als gevolg van aanleg van de Markerwaard.
- IWACO B.V., Rapport 420-E2, 1982; Geohydrologisch onderzoek Markerwaard.  
FIESTA-berekeningen naar de gevolgen van eventuele aanleg van de Markerwaard voor het huidige grondwaterregiem.
- IWACO B.V., Rapport 420 A en B, Rotterdam, 1980; Onderzoek Markerwaard.  
Geohydrologisch onderzoek naar de gevolgen van de inpoldering voor de grondwaterstijghoogte in het oude land.

- Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen, mededeling nr. 79, december 1984; Ervaringen met diepinfiltratie in Nederland.
- Kooiman, J.W., Intern rapport GW, maart 1982. Berekening van de weerstand van een persput.
- Leijnse, A., Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Leidschendam, 1981; Gebruikershandleiding voor de programma's TRIST, TRISA, TRISB en TRISC Programma's voor de berekening van stationaire grondwaterstroming.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 1984; Economische analyse van de ontwikkeling van het Markerwaardgebied. Samenvatting van een achtergrondstudie opgesteld door de interdepartementale stuurgroep Markerwaard.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Zuiderzeewerken, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad, 1983; Geohydrologische aspecten bij de aanleg van de Markerwaard.
- Olsthoorn, T.N., KIWA mededeling nr. 71, 1982; Verstopping van persputten.
- Raad van de Waterstaat, 's-Gravenhage, 1976; Markerwaard rapport.
- Raad van de Waterstaat, 's-Gravenhage, 8 augustus 1984; Nadere advisering Markerwaard in verband met PKB "Ontwikkeling van het Markerwaardgebied" met bijbehorende Annex: "Rapport van de Commissie Geohydrologische Aspecten Markerwaard van de Raad van de Waterstaat.
- Rijkswaterstaat, Directie Zuiderzeewerken, Nota nr. 287, Lelystad, 1976; Geohydrologische gevolgen van de aanleg van de Markerwaard.
- Rijkswaterstaat, Dienst Informatieverwerking, 1978; FIESTA (Finite Elements model for Steady flow in Aquifers).
- Rijkswaterstaat, Directie Zuiderzeewerken en Rijksdienst voor de IJsselmeerpolder, Lelystad, 1983; Geohydrologische aspecten bij de aanleg van de Markerwaard
- Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging District Noord, WWNO-N-84.006, Lelystad, februari 1985; Retourbemaling.
- Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Noord, WWNO-N-820010, Lelystad, 1983; Een onderzoek in Noord-Holland naar de geohydrologische aspecten van de aanleg van de Markerwaard.

Steinmetz, J.J. en R.A. Schuwmans, 1984; Diepinfiltratie in de duinwaterwinplaats van gemeentewaterleidingen.

Studiegroep Geohydrologisch Onderzoek Zuidelijk Flevoland en Omgeving, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Werkdocument 229 Abw, Lelystad; De winning van grondwater in Zuidelijk Flevoland. Mogelijkheden en gevolgen.

Studiegroep retourbemaling, sectie voor tunneltechniek, 1978; Retourbemaling.

Viergever, M.A., RIJP-rapport 43 Cdw, Lelystad 1985; Over de invloed van de aanleg van de Krabbergatsluizen in Enkhuizen.

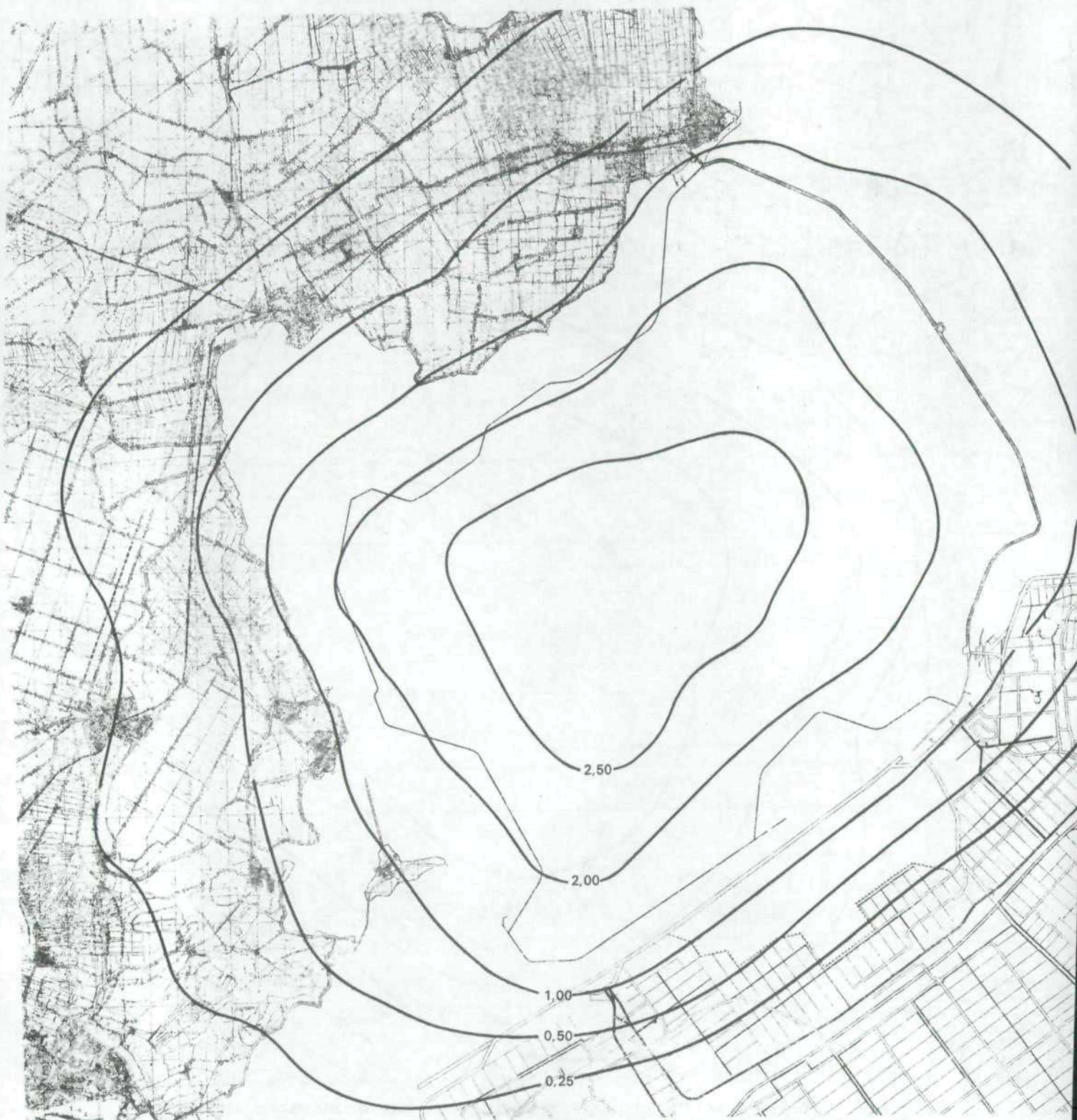
Wergroep Vroegere en Huidige Bodembewegingen in Noord-Holland, Lelystad juni 1984; Vroegere en huidige bodembewegingen in Noord-Holland.

# LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN

A	effectieve straal in m
c	weerstand in dag
D	diameter van de zand/grindpaal of filterbuis in m
D <sub>g</sub>	dikte van het grindfilter in m
D <sub>p</sub>	dikte van de sliblaag in m
D <sub>s</sub>	dikte van de sliblaag in m
D <sub>z</sub>	dikte van het zandfilter in m
F	lengte filterbuis in m
H	dikte van het Holoceen in m
I <sub>0</sub>	gemodificeerde Besselfunctie van de eerste soort, orde nul
I <sub>1</sub>	gemodificeerde Besselfunctie van de eerste soort, orde één
k <sub>g</sub>	doorlatendheid van het grindfilter in m/dag
k <sub>p</sub>	doorlatendheid van de watervoerende laag in m/dag
k <sub>s</sub>	doorlatendheid van de sliblaag in m/dag
k <sub>z</sub>	doorlatendheid van het zandfilter in m/dag
K <sub>0</sub>	gemodificeerde Besselfunctie van de tweede soort, orde nul
K <sub>1</sub>	gemodificeerde Besselfunctie van de tweede soort, orde één
L	karakteristieke lengte in m
Opp	oppervlakte zandfilter
r	straal filterbuis in m
R	straal zand/grindfilter in m
Q <sub>0</sub>	debiet in m <sup>3</sup> /dag
s	drukhoogte in m



Bijlage 1. Berekende stijghoogteverlaging van het grondwater in het eerste watervoerende pakket op moment van droogvallen van de Markerwaard.



Bijlage 2. Berekende stijghoogteverlaging van het grondwater in het eerste watervoerende pakket in de uiteindelijke situatie.

Bijlage 3. Diepte peilfilters en plaatsing meetapparatuur.

Plaats	Diepte hart fil- ter in m - N.A.P.	Drukopnemer meetbereik	Temperatuur- opnemer	Geleidend- heidsopnemer
Peilbuis 1.1	29.00			
1.2	22.00	35kPa	PT100	
1.3	15.00			
2.1	29.00			
2.2	22.00	35kPa		
2.3	15.00			
3.1	29.00	35kPa		
3.2	22.00	35kPa		
3.3	15.00	35kPa		
4.1	29.00	35kPa		
4.2	22.00	35kPa		
4.3	15.00	35kPa		
5.1	29.00	35kPa		
5.2	22.00	35kPa		
5.3	1.00	35kPa		
6.1	22.00	35kPa		
6.2	15.00	35kPa		
6.3	1.00	35kPa		
7.1	22.00	35kPa		
7.2	15.00			
7.3	2.25	35kPa		

Plaats	Diepte hart fil- ter in m - N.A.P.	Drukopnemer meetbereik	Temperatuur- opnemer	Geleidend- heidsopnemer
8.1	22.00	35kPa		SC 49/EP15
8.2	15.00			
8.3	2.25	35kPa		
9.1	22.00	35kPa		SC 49/EP15
9.2	15.00			
9.3	1.00	35kPa		
10.1	29.00			
10.2	22.00	35kPa		SC 49/EP15
10.3	1.00	35kPa		
11.1	29.00			
11.2	22.00	35kPa		SC 49/EP15
11.3	15.00			
12.1	29.00			
12.2	22.00	35kPa		SC 49/EP15
12.3	15.00			
13.1	29.00	35kPa		
13.2	22.00	35kPa		
13.3	15.00	35kPa		
14.1	29.00			
14.2	22.00	35kPa		SC49/EP15
14.3	15.00			
15.1	29.00			
15.2	22.00	35kPa		SC 49/EP15
15.3	15.00			

Plaats	Diepte hart filter in m - N.A.P.	Drukopnemer meetbereik	Temperatuur-opnemer	Geleidendheidsopnemer
25.1	29.00			
25.2	22.00	35kPa	PT100	
25.3	15.00			
16.1	29.00			
16.2	22.00	35kPa		SC 49/EP15
16.3	1.00	35kPa		
17.1	22.00	35kPa		SC 49/EP15
17.2	15.00			
17.3	1.00	35kPa		
18.1	22.00	35kPa		SC 49/EP15
18.2	15.00			
18.3	2.25	35kPa	PT100	
19.1	22.00	35kPa		
19.2	15.00			
19.3	2.25	35kPa		
20.1	22.00	35kPa		
20.2	15.00	35kPa		
20.3	1.00	35kPa		
21.1	29.00	35kPa		
21.2	22.00	35kPa		
21.3	1.00	35kPa		
22.1	29.00	35kPa		
22.2	22.00	35kPa		
22.3	15.00	35kPa		
23.1	29.00	35kPa		
23.2	22.00	35kPa		
23.3	15.00	35kPa		

Plaats	Diepte hart fil- ter in m - N.A.P.	Drukopnemer meetbereik	Temperatuur- opnemer	Geleidend- heidsopnemer
24.1	29.00			
24.2	22.00	35kPa		
24.3	15.00			
25.1	29.00			
25.2	22.00	35kPa	PT100	
25.3	15.00			