

# Praktijkproef infiltratieput Markerwaard succesvol

## 'Eerste resultaten'

### Inleiding

Bij de aanleg van de Markerwaard (41.000 ha) kan door zettingen als gevolg van de daling van de stijghoogte van het grondwater in het pleistoceen schade ontstaan aan gebouwen en constructies in het aangrenzende kustgebied van Noord-Holland. Om de kans op schade zoveel mogelijk te beperken zijn tegenmaatregelen vereist. Er wordt nu van uitgegaan, dat de meest bedrijfszekere tegenmaatregel bestaat uit persputten op het oude land, waarbij voorgezuiverd water in de ondergrond wordt

### Samenvatting

Bij de aanleg van een Markerwaard kan door zettingen als gevolg van de daling van de stijghoogte in het pleistoceen schade ontstaan aan gebouwen en constructies in het aangrenzende kustgebied van Noord-Holland. Om de kans op schade zoveel mogelijk te beperken zijn tegenmaatregelen vereist. Daartoe is in april 1986 begonnen met de aanleg van een praktijkproef met een infiltratieput langs de Oostvaardersdijk in Zuidelijk Flevoland en in november 1986 is begonnen met de infiltratie van Markermeerwater. In dit artikel is ingegaan op de opzet en de inrichting van de praktijkproef, en op de eerste resultaten van november 1986 tot juni 1988. Tot dusver zijn de verkregen resultaten positief. De gemiddelde infiltratiecapaciteit bedroeg circa 200 m<sup>3</sup>/dag. De verstopping van de infiltratieput is van dien aard dat na schoonpompen nagenoeg de oorspronkelijke waarden van weerstand en capaciteit worden bereikt. De toepasbaarheid van infiltratieputten in de praktijk lijkt dan ook zeer goed mogelijk.



A. J. HEBBINK  
Rijksdienst voor de  
IJsselmeerpolders  
Wetenschappelijke Afdeling



G. A. M. MENTING  
Rijksdienst voor de  
IJsselmeerpolders  
Wetenschappelijke Afdeling



E. SCHULTZ  
Rijksdienst voor de  
IJsselmeerpolders  
Wetenschappelijke Afdeling

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 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. Een van deze maatregelen bestaat uit het onder natuurlijk verval 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 een zand/grind filter. Deze methode is echter nog niet eerder in deze vorm in de praktijk toegepast. Derhalve vindt momenteel een onderzoek op praktisch-schaal plaats naar de toepasbaarheid ervan. In een eerder artikel is ingegaan op de mogelijkheden van infiltratieputten in de randmeren [Hebbink e.a., 1986]. Daarbij is een schets gegeven van de geohydrologische opbouw van het gebied, de stijghoogtedalingen van het diepe grondwater, die ten gevolge van de aanleg van de Markerwaard verwacht kunnen worden. Het principe van de methode is beschreven en de mate van

compensatie waarop gerekend moet worden. Tenslotte is ingegaan op de te verrichten praktijkproef.

In april 1986 is gestart met de aanleg van een proef op praktisch-schaal langs de Oostvaardersdijk nabij het gemaal de Blocq van Kuffeler in Zuidelijk Flevoland.

Op 20 november 1986 is gestart met de infiltratie. Op 11 februari 1987 moest de proef worden stopgezet in verband met schade aan de zand/grind terp door kruidend ijs. De schade is hersteld en sinds 14 juli 1987 wordt weer water geïnfilteerd.

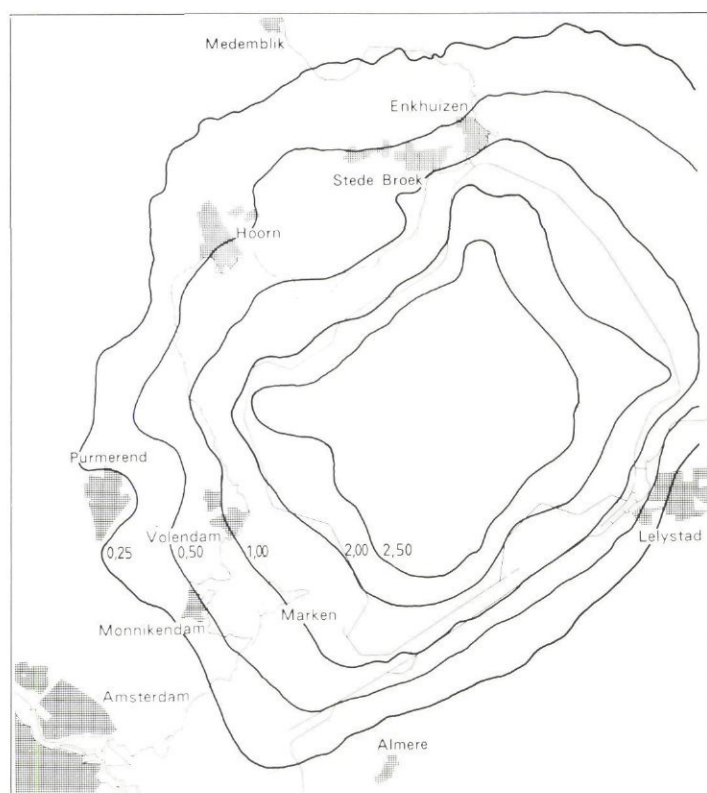
In dit artikel wordt in vervolg op eerdergenoemd artikel [Hebbink e.a., 1986] verslag gedaan van de eerste waarnemingsresultaten.

### De geohydrologische opbouw van het gebied

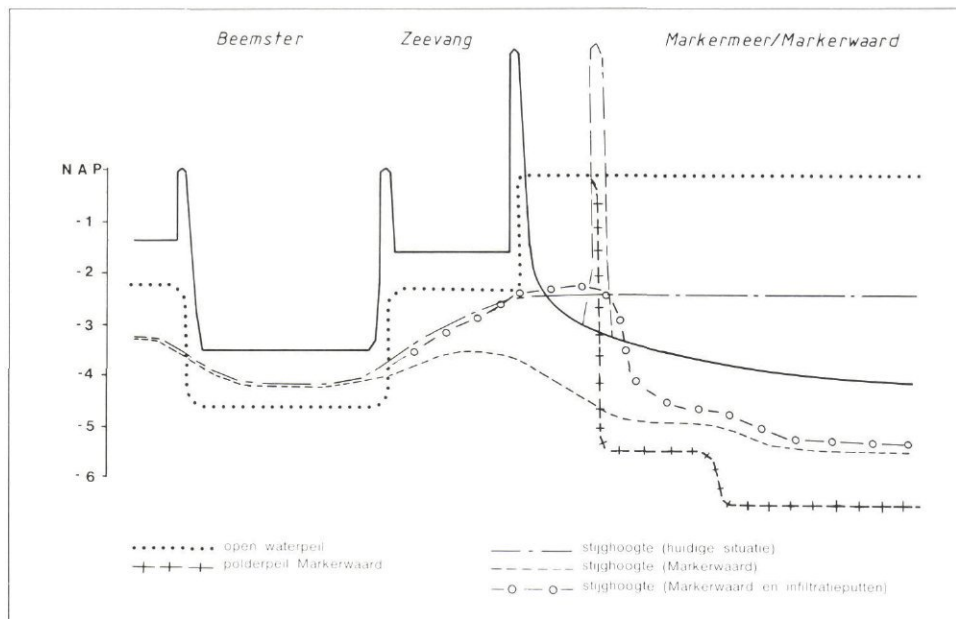
Geohydrologisch gezien kan de ondergrond onder Noord-Holland en het Markermeer

worden geschematiseerd in een over het algemeen goed waterdoorlatend pleistoceen zandpakket ter dikte van enkele honderden meters, afgedekt door een zes tot vijftien meter dik pakket bestaande uit slecht doorlatende samendrukbare holocene klei-, veen- en zandlagen. Ter plaatse van de praktijkproef met de infiltratieput is het holocene pakket circa 7 m dik.

De pleistocene zandpakketten kunnen van boven naar beneden worden opgedeeld in een drietal lagen, plaatselijk gescheiden door slecht doorlatende Eemklei en glaciële kleilagen en/of door de kleilagen uit de Formaties van Enschede of Kedichem. De ondoorlatende basis van het pleistoceen wordt gevormd door de Formatie van Maassluis op een diepte van circa NAP -270 m. Daarboven liggen fluviaïele afzettingen, waarin plaatselijk veen- en



Afb. 1 - Berekende stijghoogtedaling van het grondwater in het eerste watervoerende pakket in het gevolg van de drooglegging, ontginning en inrichting van de Markerwaard.



Afb. 2 - Schematische weergave van het verloop van het open waterpeil en de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket in Noord-Holland en het Markermeer, voor en na inpoldering van de Markerwaard.

kleilagen voorkomen. Omdat deze lagen op sterk wisselende diepte voorkomen, mogen ze niet als aaneengesloten worden beschouwd.

### De te verwachten daling van de stijghoogte van het diepe grondwater ten gevolge van de aanleg van de Markerwaard

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.

Aangezien mogelijke schade het gevolg is van zettingen van de holocene bovenlagen welke worden veroorzaakt door stijghoogtedalingen in het eerste (bovenste) watervoerende pakket, is vooral van belang welke stijghoogtedalingen in dit pakket kunnen worden verwacht, en ook hoe snel deze dalingen tot stand komen. In afb. 1 zijn de stijghoogtedalingen weergegeven, zoals deze

zijn berekend met het eindige differentie grondwater stromingsmodel MODFLOW [McDonald en Harbaugh, 1984]. Bij berekeningen is uitgegaan van een inrichting van de Markerwaard zoals deze beschreven is in de 'Waterstaatkundige hoofdstructuur van de Markerwaard' [ZZW en RIJP, 1985]. De grootste stijghoogtedaling in Noord-Holland wordt verwacht in de kustgebieden van zuidelijk Westfriesland en in de omgeving van Edam-Volendam (circa 1,25 m). Landinwaarts neemt de stijghoogtedaling geleidelijk af tot circa 0,25 m op 5 à 10 km uit de kust. Indien de stijghoogtedaling minder is dan 0,25 m wordt geen schade verwacht.

In afb. 2 is ter hoogte van Edam-Volendam een dwarsdoorsnede gegeven van het verloop van het open-waterpeil en de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket in Noord-Holland en het Markermeer, voor en na de inpoldering van de Markerwaard. Tevens is weergegeven de

situatie waarbij de maximale hoeveelheid water wordt geïnfiltrerd.

De tijd die zal verlopen tussen de situatie ten gevolge van het droogvallen en de uiteindelijke situatie hangt – wanneer geen tegenmaatregelen worden getroffen – vooral af van de snelheid en de wijze van ontginnen. Geconcludeerd kan worden, dat ten gevolge van het droogvallen van de Markerwaard circa 50% van de stijghoogtedalingen tot stand komt en dat de andere 50% het gevolg zal zijn van de ontginning en inrichting. Hierbij kan worden gesteld, dat in de eerste vijf jaar na droogvallen maximaal 80% van de stijghoogtedaling tot stand kan komen (afb. 3) [Hebbink en Schultz, 1984].

### De te verwachten omvang van de tegenmaatregelen

Schade in Noord-Holland kan ontstaan, indien de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket te snel daalt. Hierbij is onder andere van belang of de stijghoogte in het verleden al eens op een lager niveau is geweest, omdat dan de invloed van een hernieuwde daling 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 artikel is voornamelijk met het reducerend effect hiervan op de omvang van de tegenmaatregelen geen rekening gehouden.

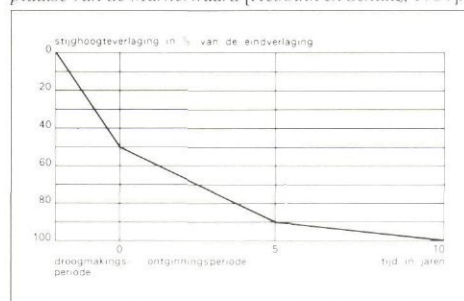
In het rapport 'Geohydrologische aspecten bij de aanleg van de Markerwaard' [ZZW, RIJP, 1983] wordt ervan uitgegaan, dat de tegenmaatregelen in circa 30 jaar kunnen worden afgebouwd. Vertaald naar de te verwachten stijghoogtedalingen ten gevolge van de aanleg van de Markerwaard betekent dit, dat een daling van de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerende pakket met 0,03 à 0,04 m per jaar acceptabel is. Uitgaande van 0,03 m per jaar, leidt dit tot waarden voor de compensatie, zoals deze in tabel I zijn weergegeven.

TABEL I – Maximaal te compenseren stijghoogtedalingen 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 jaren na droogvallen.

Plaats	Stijghoogtedaling ten gevolge van het droogvallen van de Markerwaard in m	Geraamde daling vijf jaar na droogvallen in m	Toegestane daling na vijf jaar in m	Te compenseren vijf jaar na droogvallen in m
Enkhuizen	0,30 – 0,50	0,25 – 0,40	0,15	0,40 – 0,75 (65 – 75%)*
Stede Broec	0,25 – 0,40	0,20 – 0,30	0,15	0,30 – 0,55 (60 – 70%)
Drechterland	0,25 – 0,50	0,20 – 0,40	0,15	0,30 – 0,75 (60 – 75%)
Venhuizen	0,30 – 0,45	0,25 – 0,35	0,15	0,40 – 0,65 (65 – 70%)
Hoorn	0,15 – 0,25	0,10 – 0,20	0,15	0,10 – 0,30 (35 – 60%)
Zeevang	0,25 – 0,55	0,20 – 0,50	0,15	0,30 – 0,90 (60 – 80%)
Edam	0,25 – 0,45	0,20 – 0,35	0,15	0,30 – 0,65 (60 – 75%)
Volendam	0,40 – 0,55	0,30 – 0,50	0,15	0,55 – 0,90 (65 – 80%)
Monnickendam	0,20 – 0,25	0,15 – 0,20	0,15	0,20 – 0,30 (50 – 60%)
Marken	0,30 – 0,60	0,25 – 0,50	0,15	0,40 – 0,95 (65 – 80%)

\* Compensaties als percentage van de totale stijghoogtedalingen.

Afb. 3 - Maximale snelheid van het tot stand komen van de stijghoogtedaling van het grondwater in het pleistoecen ter plaatse van de Markerwaard [Hebbink en Schultz, 1984].



Uit tabel I blijkt, dat de stijghoogtedalingen niet volledig gecompenseerd behoeven te worden, maar voor ten hoogste 80%. Bij Enkhuizen behoeft in feite niet te worden gecompenseerd omdat door bronnering bij de aanleg van de Krabbersgatsluizen de stijghoogte zich al geruime tijd op een lager niveau heeft bevonden [Viergever, 1985]. Bij Marken wordt ten gevolge van de horizontale grondwaterstroming door de holocene zandlagen een reductie ten opzichte van de thans berekende stijghoogtedaling verwacht; deze wordt voor Marken geraamd op circa 90% [ZZW en RIJP, 1983]. Dit houdt in, dat ten behoeve van Marken en Enkhuizen voor de tegenmaatregelen met een geringere nadere te bepalen omvang kan worden volstaan. Het reducerend effect hiervan op de te infiltreren hoeveelheid water is voorsnog niet in rekening gebracht.

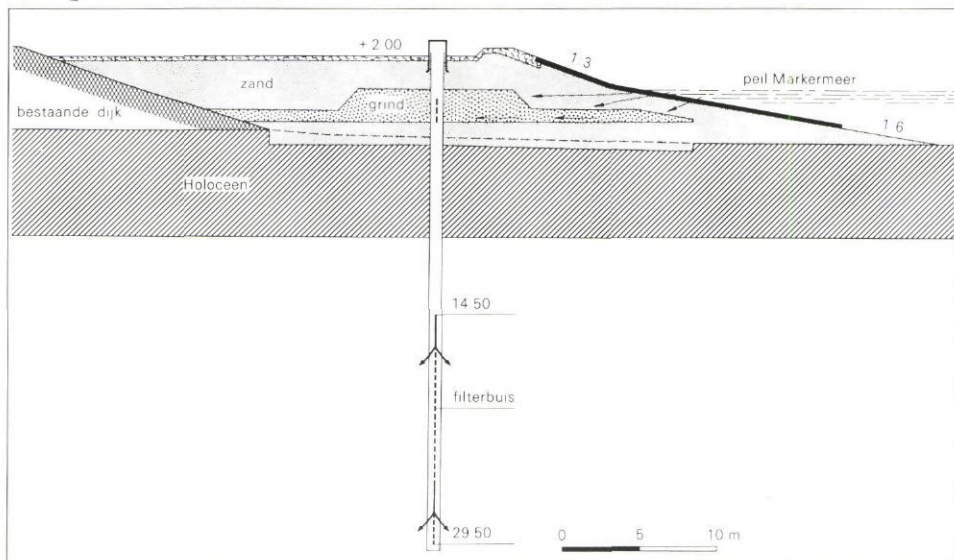
#### Infiltratieputten in de randmeren van de Markerwaard

Bij infiltratieputten in de randmeren wordt het natuurlijke verval, dat aanwezig is tussen het peil in de randmeren en de stijghoogte van het grondwater in de watervoerende pakketten benut voor infiltratie van water. Er wordt rechtstreeks gebruik gemaakt van het ter plaatse aanwezige oppervlaktewater en er behoeft niet te worden gepompt. Om een snelle verstopping van de infiltratieputten te voorkomen worden de putten aan de bovenzijde voorzien van een zand/grind filter om onder andere zwevende stofdeeltjes af te vangen.

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

- intree-filter (zand/grind terp);
- filterbuis (infiltratieput);
- uittree-filter (grindinstorting);

Afb. 4 - Schema van de infiltratieput.



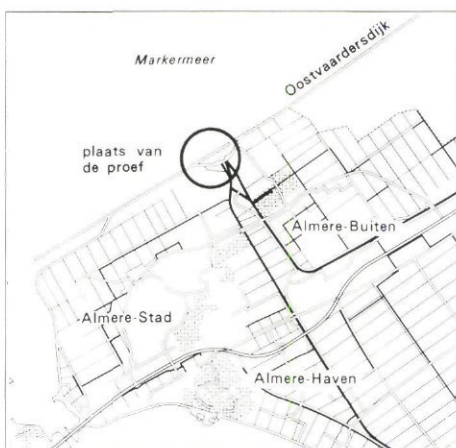
In figuur 4 is een schema van een infiltratieput gegeven.

#### Praktijkproef

Om er achter te komen hoe infiltratie van oppervlaktewater met infiltratieputten gerealiseerd kan worden, is langs de Oostvaardersdijk nabij het gemaal de Blocq van Kuffeler in Zuidelijk Flevoland (afb. 5) een proef op de praktijkschaal aangelegd. Daarbij kunnen gegevens worden verkregen die voor het definitieve ontwerp van de infiltratieputten nodig zijn.

De opzet van de proef met de infiltratieput is er in de eerste plaats op gericht, dat de kwaliteit van het te infiltreren water zoveel mogelijk dezelfde is als later in de praktijk. Op deze wijze kan een goede indruk worden verkregen over de haalbaarheid van deze tegenmaatregel, de capaciteit van de infiltratieput, de afname hiervan in de tijd, de frequentie van regenereren en het effect hiervan.

De duur van de proef moet worden afgestemd op die van de werkelijke infiltratieperiode. Hierbij is er van uitgegaan, dat



Afb. 5 - Ligging praktijkproef met de infiltratieput.

de infiltratieput minimaal 1 jaar in bedrijf moet zijn geweest, wil men de resultaten met enige zekerheid kunnen extrapoleren. Het is vooral belangrijk de situaties te onderkennen, die tot verstopping van het intree-filter en de infiltratieput, inclusief het uittree-filter, kunnen leiden. Derhalve worden nauwkeurige metingen verricht om een tendens tot verstopping te kunnen registreren.

Tijdens de infiltratieproef worden de volgende waarnemingen verricht:

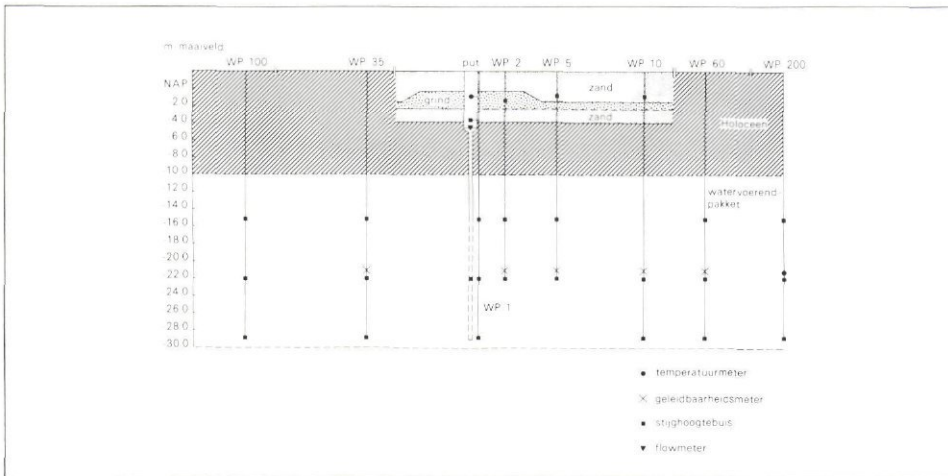
- capaciteit van de infiltratieput;
- drukhoogten in de infiltratieput en in de grindomstorting rond de infiltratieput;
- drukhoogten op diverse afstanden tot de infiltratieput en op diverse diepten in het pleistocene pakket, alsmede in de zand/grind terp;
- geleidenheid op diverse afstanden tot de infiltratieput;
- temperatuur van het infiltrerende oppervlaktewater, alsmede van het grondwater;
- kwaliteit van het infiltrerende oppervlaktewater en grondwater.

#### Inrichting van de proef

Ten behoeve van de proef zijn een infiltratieput en 14 waarnemingsputten geïnstalleerd, waarvan 8 op de dijk en 6 op de zand/grind terp (afb. 6). De waarnemingsputten op de dijk hebben 3 peilfilters in het pleistocene pakket. De waarnemingsputten op de zand/grind terp hebben 2 peilfilters in het pleistocene pakket en 1 peilfilter in de zand- of grindlaag.

#### Constructie zand/grindfilter

De grootte van het intree-oppervlak (grensvlak zand/water) nodig voor een infiltratieput zal moeten blijken uit de praktijkproef. Voorlopig is ervan uitgegaan, dat een intree-oppervlak van 500 m<sup>2</sup> per infiltratieput voldoende is. Op de meerbodem is een zandlaag aangebracht om te voorkomen dat opkwellend water uit de holocene kleilagen rechtstreeks in de grindlaag terecht komt. Voorsnog is aangenomen dat de dikte van deze zandlaag minimaal 1 m moet bedragen. Op deze zandlaag is vervolgens een grindlaag (diameter 2-5 mm) aangebracht met een gemiddelde dikte van circa 0,75 m. In verband met optredende zettingen is de dikte van het grind rond de infiltratieput dikker genomen (circa 1,5-2,0 m) om er zeker van te zijn, dat de perforaties aan de bovenkant van de infiltratieput, daar waar het water de put instroomt, altijd door grind omgeven zijn. Vervolgens is op de grindlaag een zandlaag aangebracht, in dikte variërend van 1-3 m. Om het zand/grindfilter tegen golfwerking te beschermen is een traditionele dijkbekleding aangebracht, bestaande uit filterdoek, kraagstukken en stortsteen.

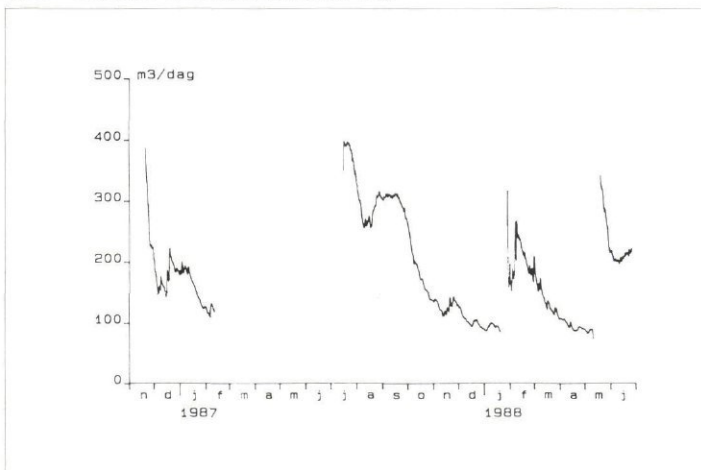


Afb. 6 - Schematische weergave van de meetapparatuur in de infiltratieput en de omgeving daarvan.

#### Filterbuis constructie

Ten behoeve van de infiltratieput is een boorgat gemaakt met behulp van het rotary-luchtlift-systeem. De diameter van het boorgat is 0,80 m en heeft een diepte van NAP -32 m. De infiltratieput bestaat uit een glasvezelversterkte buis met een totale lengte van 32 m. In verband met het optreden van zettingen is de dikte van de wand van de filterbuis 0,02 m. Het onderste gedeelte (25 m) heeft een diameter van 0,20 m. Het bovenste gedeelte heeft een diameter van 0,60 m in verband met het aanbrengen van een elektromagnetische flowmeter. In het brede, bovenste deel zijn over een lengte van 1 m perforaties aangebracht (NAP -2 m tot -1 m). Hierdoor treedt het water vanuit de grindlaag de filterbuis binnen. Het onderste deel is over een totale lengte van 15 m geperforeerd over 10% van het oppervlak en wel van NAP -14,5 m tot -29,5 m. Van 1 m onder tot 1 m boven deze perforaties is grind aangebracht (diameter 2-5 m). Van de bovenkant van het watervoerende pakket (op circa NAP -12,5 m) tot de meerbodem is klei aangebracht om de verstoorde holocene kleilaag zo goed mogelijk te herstellen.

Afb. 7 - Capaciteit van de infiltratieput in  $m^3/dag$ .



Om de infiltratieput te kunnen schoonpompen 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 een zekere mate van verstopping. Om dit te voorkomen is de infiltratieput voorzien van een afsluiter. Hierdoor is het ook mogelijk tijdens het schoonpompen van de infiltratieput de toestroming van Markermeerwater tijdelijk stop te zetten.

#### Meet- en regelapparatuur

Aan weerszijden van de infiltratieput zijn op diverse afstanden waarnemingsputten aangebracht. Op een afstand van 35, 60, 100 en 200 m tot de infiltratieput zijn drie peilfilters aangebracht in het pleistocene pakket op een diepte van respectievelijk NAP -15, -22 en -29 m. Op een afstand van 2, 5 en 10 m tot de infiltratieput zijn twee peilfilters geplaatst in het pleistocene pakket op een diepte van NAP -15 en -22 m (of NAP -22 en -29 m) en één peilfilter in de zand- of grindlaag van de zand/grind terp.

Bij de praktijkproef met de infiltratieput

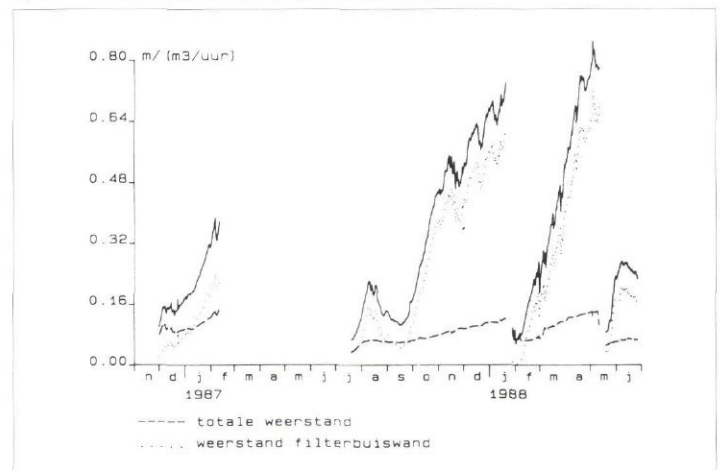
wordt gebruik gemaakt van de volgende meet- en regelapparatuur (afb. 6):

- een elektromagnetische flowmeter voor het meten van de capaciteit van de infiltratieput;
- elektronische drukopnemers voor het meten van het waterpeil in de infiltratieput en de stijghoogten van het grondwater in de grindomstorting en in het watervoerende pakket (op diverse diepten en op afstanden van respectievelijk 2, 5, 10, 35, 60, 100 en 200 m tot de infiltratieput). Om een indruk te krijgen van de mate en de snelheid van de 'vervuiling' van het zand/grindfilter is ook een aantal elektronische drukopnemers aangebracht. Tevens is een elektronische drukopnemer geplaatst voor het meten van het Markermeerpeil;

- twee elektronische drukopnemers voor het meten van de luchtdruk, omdat de stijghoogte onder invloed staat van de luchtdruk;
- geleidingsmeters voor het krijgen van een indicatie van de verspreiding van het infiltratiewater. Het te infiltreren oppervlaktewater (Markermeerwater) is zoet (chloridegehalte circa 190 mg/l) en het aanwezige grondwater in het diepere pakket is brak (chloridegehalte circa 2.750 mg/l);
- temperatuurmeters voor het registreren van de temperatuur van het grondwater en het oppervlaktewater. De temperatuur is van belang voor de viscositeit van het water, die weer van invloed is op de capaciteit van de infiltratieput. Tevens speelt de temperatuur een rol bij het verstoppingsproces. Derhalve wordt zowel de temperatuur van het infiltrerende Markermeerwater als van het grondwater geregistreerd.

De hoeveelheid zwevende stof in het infiltrerende water is van groot belang in verband met gevaar van verstopping van de infiltratieput. Een indicatie hiervan wordt verkregen met de zogenaamde membraanfilterindexmeter (MFI-meter).

Afb. 8 - Weerstand van de infiltratieput in  $m/(m^3/uur)$ .



### Meetprogramma

Het verloop van de potentiaal van het grondwater in de zand- en grindlaag op de terp, in de grindomstorting rond de infiltratieput en in het watervoerende pakket geven zowel een indruk over de mate van verstopping van het grensvlak zand/water (intree-filter) als van de infiltratieput, inclusief het uittree-filter. Daarbij geeft een elektromagnetische flowmeter aan hoe groot de capaciteit van de infiltratieput is. De temperatuur kan van belang zijn voor de viscositeit van het water en is van invloed op bacteriegroei in het water. Elektrische geleidendheidsmetingen moeten tenslotte het beeld complementeren over de verspreiding van het geïnfiltrerde water in het watervoerende pakket.

Al deze gegevens worden automatisch geregistreerd. De meetfrequentie van de diverse opnemers wordt bepaald door de snelheid waarmee de processen kunnen veranderen en is niet overal gelijk.

Vooralsnog is de volgende frequentieverdeling gehanteerd:

- de infiltratiecapaciteit, de temperatuur van het infiltrerende water, het Markermeerpeil, het waterpeil in de infiltratieput en de stijghoogte van het grondwater in de grindomstorting worden eens per 15 minuten uitgelezen;
- de stijghoogten van het grondwater in de zand/grind terp en in het watervoerende pakket op 2, 5 en 10 m afstand van de infiltratieput worden eens per half uur uitgelezen;
- de stijghoogten van het grondwater in het watervoerende pakket op 35, 60, 100 en 200 m afstand van de infiltratieput, de temperatuur van het diepe grondwater, en de geleidendheidsmetingen worden eens per uur uitgelezen.

### Eerste resultaten

Op 20 november 1986 is gestart met de infiltratie. Als gevolg van schade aan de

zand/grind terp door kruierend ijs is de infiltratie stop gezet op 11 februari 1987. Nadat de schade hersteld was is in juli 1987 opnieuw gestart met de proef. In afb. 7 is de capaciteit van de infiltratieput te zien, zoals deze is gemeten over de periode november 1986 tot juli 1988.

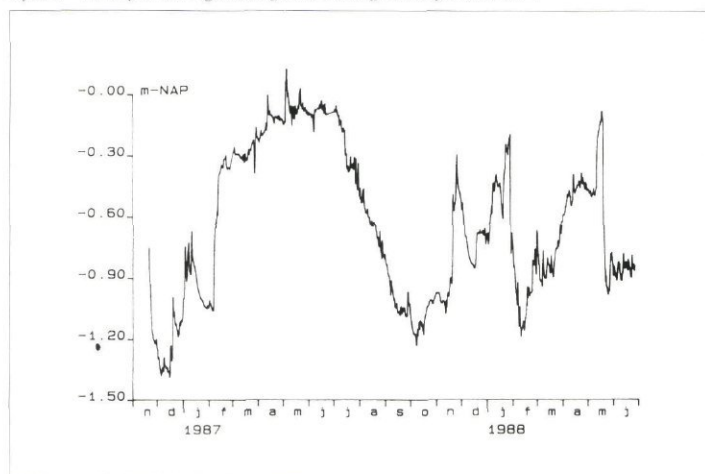
In afb. 7 is te zien dat de capaciteit van circa 380 m<sup>3</sup> dag bij de aanvang van het infiltratieproces na vijf dagen is afgenomen tot circa 225 m<sup>3</sup>/dag. Na een week op dit niveau daalt de capaciteit opnieuw tot circa 150 m<sup>3</sup>/dag halverwege de maand december 1986. De tweede helft van december kende een aantal dagen met veel wind en als gevolg hiervan neemt de capaciteit tijdelijk enigszins toe. Dit valt te verklaren door te veronderstellen, dat de afsluitende sliblaag op het grensvlak zand/water is verstoord en derhalve de toestroming van het Markermeerwater weer vergemakkelijkt wordt. Tot half januari 1987 blijft de capaciteit schommelen rond 200 m<sup>3</sup>/dag. Vervolgens neemt de capaciteit geleidelijk af tot circa 110 m<sup>3</sup>/dag op het moment dat de infiltratie wordt stopgezet. Het vermoeden dat de afzetting van slib op het grensvlak zand/water een beperkende factor kan zijn, wordt bewaarheid.

Bij de hernieuwde aanvang van het infiltratieproces in juli 1987 is te zien, dat de capaciteit in 25 dagen is afgenomen van circa 400 m<sup>3</sup>/dag tot circa 260 m<sup>3</sup>/dag. Eind augustus is de capaciteit weer toegenomen tot zo'n 300 m<sup>3</sup>/dag. Vanaf medio september 1987 daalt de capaciteit geleidelijk tot zo'n 100 m<sup>3</sup>/dag in januari 1988. Gezien de lage infiltratiecapaciteit en de toegenomen weerstand is toen besloten de infiltratieput schoon te pompen. Hiertoe is de infiltratie op 20 januari 1988 stopgezet. Alvorens de infiltratieput te regenereren is een TV-inspectie gehouden. Uit de beelden bleek, dat er verstopping was opgetreden

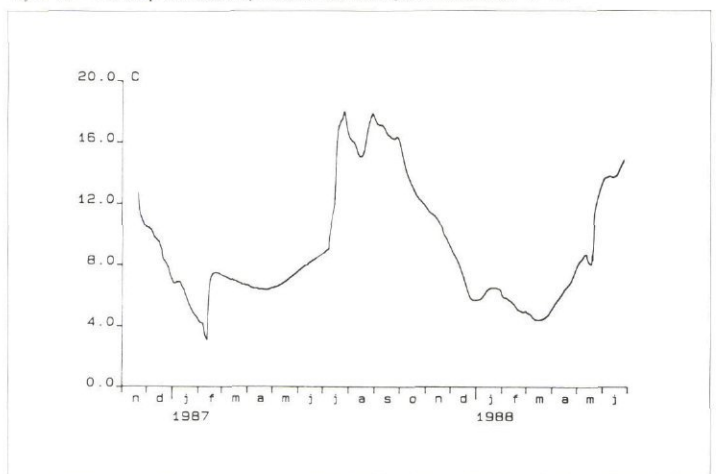
door de afzetting van ijzer en zwevende stofdeeltjes. Vervolgens is op 27 januari 1988 de infiltratieput schoongepompt door middel van een methode, ontwikkeld door Reym Charters. Voor het regenereren is gebruik gemaakt van een hoge-druk-methode en een aangepaste spuitkop. De spuitkop wordt al draaiend in de infiltratieput gebracht, terwijl het water loodrecht op de wand van de infiltratieput wordt bespoten. Het losgewoelde materiaal wordt door gelijktijdig bempompen van de put direct afgevoerd. Op deze wijze worden de filterspleten en een gedeelte van de grindomstorting gereinigd. Voor de regeneratie was de afpomping gelijk aan circa 11,0 m<sup>3</sup>/uur. Na regeneratie bleek de capaciteit te zijn toegenomen tot circa 16,0 m<sup>3</sup>/uur. Na de regeneratie heeft opnieuw een TV-inspectie plaatsgevonden. Daaruit bleek, dat bij een aantal filterspleten oneffenheden zaten. Deze oneffenheden vormen een ideale aanhechtingsplaats voor onder andere ijzerdeeltjes.

Op 28 januari 1988 is wederom gestart met het infiltreren van Markermeerwater. In tegenstelling tot de infiltratieperioden van november 1986 - februari 1987 en juli 1987 - januari 1988, werd nu gestart met een meer of minder 'dichtgeslibt' grensvlak zand/water. In afb. 7 is te zien, dat de capaciteit in een aantal dagen is afgenomen van circa 320 m<sup>3</sup>/dag tot zo'n 200 m<sup>3</sup>/dag, een 'leegloop' van de zand/grind terp (afb. 9). Als gevolg van een aantal dagen met veel wind neemt de capaciteit weer toe tot zo'n 250 m<sup>3</sup>/dag om vervolgens geleidelijk af te nemen tot zo'n 100 m<sup>3</sup>/dag begin mei 1988. Medio mei 1988 is de infiltratieput opnieuw schoongepompt met behulp van de lucht-liftmethode. Vooraf aan het schoonpompen is de wand van de infiltratieput geborsteld om op deze wijze te trachten de aanwezige oneffenheden te verwijderen. Op 19 mei is weer gestart met het infiltreren van

Afb. 9 - Waterpeil in de grindlaag in de zand/grind terp in m-NAP.



Afb. 10 - Verloop van de temperatuur van het infiltrerende water in °C.



Markermeerwater. Eind juni bedroeg de capaciteit circa 220 m<sup>3</sup>/dag.

Het verloop van de weerstand (verstopping) van de infiltratieput, inclusief het uittreefilter, is weergegeven in afb. 8. De weerstand wordt berekend uit het verschil in het waterpeil in de infiltratieput en de stijghoogte van het grondwater in een peilfilter zo dicht mogelijk in de buurt van de infiltratieput. In dit geval op 2 m afstand. De waarde van de weerstand wordt gecorrigeerd ten aanzien van capaciteit en temperatuur. De weerstand die gepresenteerd is, geldt dus voor een standaardcapaciteit en temperatuur (10 °C).

In formule [Olsthoorn, 1982]:

$$W = \frac{(T + 20) * dH}{30 * Q}$$

Waarin:

- W = verstoppingsweerstand bij 10 °C in m/(m<sup>3</sup>/uur);
- dH = drukverschil tussen de opnemers in de infiltratieput en in een peilfilter op 2 m afstand van de infiltratieput;
- T = momentele temperatuur in °C;
- Q = capaciteit in m<sup>3</sup>/uur.

Uit afb. 8 blijkt, dat de weerstand geleidelijk is toegenomen van circa 0,10 m/(m<sup>3</sup>/uur) bij aanvang van de infiltratie tot circa 0,40 m/(m<sup>3</sup>/uur) op het moment dat de infiltratie wordt stopgezet in februari 1987. In de periode juli 1987 tot januari 1988 is de weerstand geleidelijk toegenomen van circa 0,10 m/(m<sup>3</sup>/uur) bij de aanvang van de infiltratie tot zo'n 0,70 m/(m<sup>3</sup>/uur) in januari 1988.

Na schoonpompen van de infiltratieput in januari en in mei 1988, heeft de weerstand van de infiltratie ongeveer de oorspronkelijke, lage waarde van circa 0,10 m/(m<sup>3</sup>/uur). In de periode januari-mei 1988 neemt de weerstand geleidelijk toe tot een waarde van circa 0,80 m/(m<sup>3</sup>/uur). In de periode mei-juli

1988 is de weerstand toegenomen van 0,10 tot 0,25 m/(m<sup>3</sup>/uur).

In afb. 8 is eveneens de weerstand van de filterbuiswand en de boorgatwand gegeven. De weerstand van de filterbuiswand is berekend uit het verschil in het waterpeil in de infiltratieput en de stijghoogte van het grondwater in de grindomstorting. De weerstand van de boorgatwand is berekend uit het verschil in stijghoogte van het grondwater in de grindomstorting en in het watervoerende pakket. De weerstand van de boorgatwand is gering en blijft nagenoeg constant (0,10-0,15 m/(m<sup>3</sup>/uur). De weerstand van de filterbuiswand neemt in de loop van de tijd geleidelijk toe. Dit betekent dat de verstopping geconcentreerd is rond de wand van de infiltratieput.

In afb. 9 is het verloop van het waterpeil in de grindlaag (in de zand/grind terp) weergegeven. De tweede helft van december 1986 kende een aantal dagen met veel wind en het waterpeil in de grindlaag stijgt van NAP-1,25 m naar NAP-0,75 m begin januari 1987. Vervolgens neemt het waterpeil weer af tot NAP-1,0 m. Begin februari 1987 stijgt het waterpeil tot -0,75 m als gevolg van de dooi, waardoor het aanwezige slib op het grensvlak zand/water door middel van golfwerking weer in beweging komt en de toestroming van Markermeerwater vergemakkelijkt wordt. Vervolgens stijgt het waterpeil tot Markermeerpeil als gevolg van het stopzetten van de infiltratie.

Vanaf de aanvang van de infiltratie in juli 1987 is er sprake van een geleidelijke daling van het waterpeil in de grindlaag. Na 80 dagen is het waterpeil gedaald van NAP-0,40 m (Markermeerpeil) tot NAP-1,20 m. In de maanden november en december 1987 stijgt het waterpeil als gevolg van dagen met veel wind, waardoor de sliblaag op het grensvlak zand/water verstoord wordt of in beweging komt. Dit betekent dat de aanvoer van Markermeerwater in deze periode voldoende

groot is. In deze periode neemt echter de capaciteit niet of nauwelijks toe (afb. 6). Dit duidt op een zekere verstopping van de infiltratieput.

Na het schoonpompen van de infiltratieput in januari 1988 daalt het waterpeil in de grindlaag aanvankelijk tot circa NAP-1,20 m om vervolgens geleidelijk weer op te lopen tot Markermeerpeil. Na het schoonpompen van de put in mei 1988 daalt het waterpeil in de grindlaag tot circa NAP-0,80 m.

#### Temperatuur

De bepaling van de weerstand vindt plaats door eliminatie van de invloed van de temperatuur (T). De weerstand die stromend water ondervindt, is evenredig met de viscositeit (Vc) van het water. Deze wordt globaal beschreven door onderstaande eenvoudige formule [Olsthoorn, 1982]:

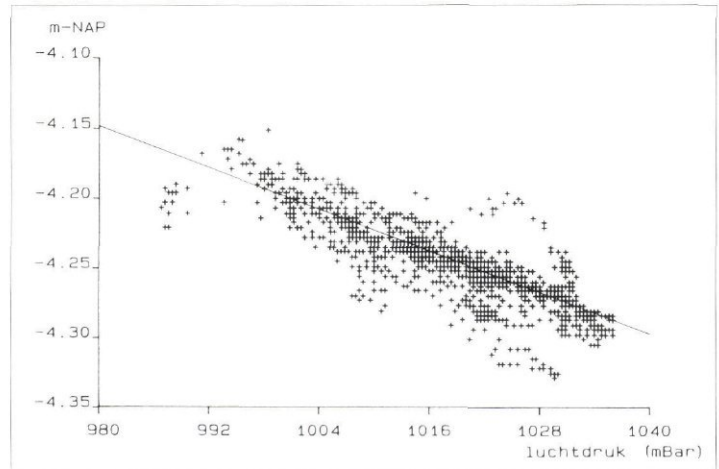
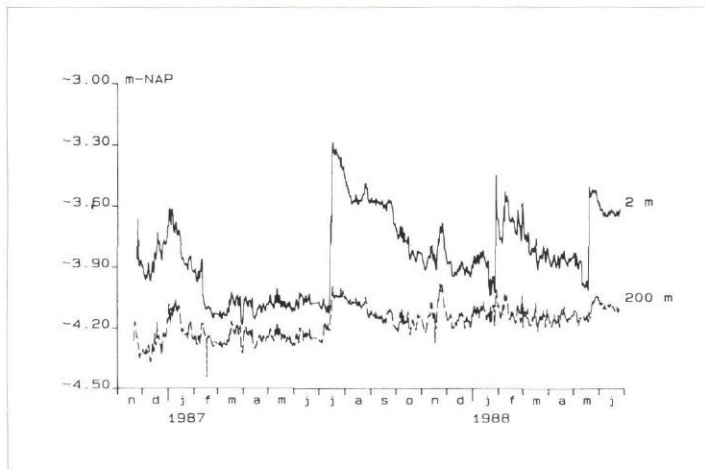
$$Vc = \frac{40}{T + 20} * 10^{-3} \text{ (Ns/m}^2\text{)}$$

In afb. 10 is het verloop van de temperatuur van het infiltrerende water gegeven. Hieruit blijkt, dat de temperatuur schommelt tussen de 18 °C in de zomer en 4 °C in de winter. Het belang van de viscositeit is evident. De viscositeit neemt namelijk toe met een factor 1,6 als de temperatuur van 18 °C (in de zomer) daalt tot 4 °C (in de winter). Een gemeten verschil in het waterpeil in de infiltratieput en de stijghoogte van het grondwater in een nabijgelegen peilfilter kan in de winter dus 60% groter zijn dan in de zomer, bij dezelfde infiltratiecapaciteit en dezelfde mate van verstopping.

#### Relatie tussen de luchtdruk en de stijghoogte

In afb. 11 is het verloop van de stijghoogte van het grondwater in het pleistocene pakket weergegeven, zoals deze is waargenomen op 2 en 200 m afstand van de infiltratieput. In verband met schade aan de zand/grind terp werd in de periode maart tot juli 1987 geen water geïnfiltrerd. Over deze periode

Afb. 11 - Verloop van de stijghoogte van het grondwater in het pleistocene pakket in m-NAP. Afb. 12 - Verband stijghoogte van het grondwater en de luchtdruk (periode maart-juli 1987).



is het verband bepaald tussen de stijghoogte van het grondwater en de luchtdruk. Voor de berekening is gebruik gemaakt van de stijghoogte van het grondwater zoals deze is waargenomen op 200 m afstand van de infiltratieput. In afb. 12 is het verband weergegeven. Er bestaat een vrij duidelijke relatie tussen de luchtdruk en de stijghoogte, de correlatiecoëfficiënt is 0,84. Gaat de luchtdruk omhoog, dan daalt de stijghoogte.

### Toepassingsmogelijkheden putten

Bij de praktijkproef met de infiltratieput is de zand/grind terp voorzien van een 'traditionele' dijkbekleding, bestaande uit filterdoek, kraagstukken en stortsteen. Een dergelijke constructie heeft als nadeel dat slibdeeltjes relatief moeilijk te verwijderen zijn.

Het grensvlak zand/water wordt daardoor minder doorlatend, hetgeen resulteert in een niet optimale aanvoer van Markermeerwater. Bij dagen met veel wind wordt het grensvlak wel enigszins schoongespoeld, maar niet volledig. Het filterdoek en de aanwezige stortsteen staan een optimale reiniging in de weg.

Bij de inrichting van de Markerwaard zijn ook stranden en voorlanden gepland. Deze zijn uitermate geschikt als zandfilter voor de infiltratieputten. Wel zal het strand of het voorland voorzien moeten worden van een grindlaag om de toestroming van Markermeerwater naar de infiltratieput zo optimaal mogelijk te maken. Een dergelijke constructie van een zand/grind filter zal regelmatig schoongespoeld worden. Hierbij is het onvermijdelijk dat ook zand wegspoelt. Op gezette tijden zal dan ook zand aangevuld moeten worden.

### Kosten

Uit modelberekeningen met het eerdergenoemde model MODFLOW blijkt dat maximaal 100.000 m<sup>3</sup> water per dag geïnfiltrerd moet worden. Uitgaande van een gemiddelde capaciteit van de infiltratieput van 200 m<sup>3</sup>/dag, betekent dit dat op z'n hoogst circa 500 infiltratieputten nodig zijn. De totale investeringskosten voor het aanbrengen van de zand/grind terpen (inclusief bescherming) worden geraamd op 80 miljoen gulden.

Voor het plaatsen van de infiltratieputten (500 in totaal) worden de kosten geraamd op 72 miljoen gulden, waarvan 32 miljoen in de eerste jaren na de start en 40 miljoen tussentijdse investeringen. Afhankelijk van de jaarlijks te infiltreren hoeveelheid water zullen de exploitatiekosten in de loop van de tijd afnemen van 5 miljoen per jaar tot nihil dertig jaar later. Hierbij is ervan uitgegaan, dat de infiltratieputten eens in de twee maanden worden schoongepompt. De totale kosten worden derhalve geraamd op circa 260 miljoen gulden. Bovengenoemde kosten

zijn gebaseerd op een 'traditionele' dijkconstructie (opgebouwd uit zand, filterdoek, kraagstukken en stortsteen).

Momenteel wordt voor de dijkconstructie gedacht aan een volledig in zand uitgevoerde dijk als alternatief voor de klassieke waterkering. Het voordeel van een zanddijk is dat de dijk in korte tijd opgebouwd kan worden. Tevens biedt de zanddijk een goed uitgangspunt voor recreatie en stranden en derhalve ook voor infiltratieputten. Bij een dergelijke constructie worden de totale kosten voor het installeren, beheren en onderhouden van infiltratieputten geraamd op 220 milj. gulden.

### Conclusie

Uit de resultaten tot nu toe kan geconcludeerd worden dat het infiltreren van Markermeerwater in de diepe ondergrond door middel van infiltratieputten een haalbare methode is. Gekeken moet nu worden naar de meest optimale inrichting van het intree-filter (de zand/grind terp) en de infiltratieput. De infiltratieput is nu anderhalf jaar in bedrijf. Gerekend tot 1 juli 1988 betekende dit, dat de infiltratieput 418 dagen operationeel was, ofwel 71% van de totale periode. In deze periode varieerde de capaciteit van 100 tot 400 m<sup>3</sup>/dag, met een gemiddelde capaciteit van 200 m<sup>3</sup>/dag.

Uit berekeningen van de weerstand van de infiltratieput is gebleken, dat verstopping zich in belangrijke mate voordoet rond de wand van de infiltratieput. Verstopping van de infiltratieput is voornamelijk toe te schrijven aan de afzetting van zwevende stofdeeltjes en ijzer.

Na het schoonpompen van de infiltratieput worden weer nagenoeg de oorspronkelijke waarden van de weerstand en de capaciteit bereikt.

De temperatuur van het infiltrerende water speelt een belangrijke rol in het infiltratieproces. In de zomer kan de capaciteit zo'n 60% hoger zijn dan in de winter onder dezelfde omstandigheden.

Uitgaande van een capaciteit van een infiltratieput van 200 m<sup>3</sup>/dag, betekent dit dat maximaal circa 500 infiltratieputten nodig zullen zijn. De totale kosten worden geraamd op zo'n 220 à 260 miljoen gulden, afhankelijk van de vorm van het zand/grindfilter.

### Literatuur

- Hebbink, A. J. en Schultz, E. (1984). *Geohydrologie van het Noordhollandse randgebied van de Markerwaard*. Flevovericht nr. 238, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad.
- Hebbink, A. J. en Schultz, E. (1984). *Geohydrologie Markerwaard. De aanleg van de Markerwaard in het licht van de geohydrologische geschiedenis van het aangrenzende gebied in Noord-Holland*. H<sub>2</sub>O (17), december 1984.
- Hebbink, A. J., Menting, G. A. M. en Schultz, E. (1986). *Infiltratieputten in de randmeren van de Markerwaard*. H<sub>2</sub>O (19), oktober 1986.
- McDonald, M. G. and Harbaugh, A. W. (1984). *A modular*

- three-dimensional finite-difference groundwater flow model*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1984). *Economische analyse van de ontwikkeling van het Markerwaardgebied*. Samenvatting van een achtergrondstudie, opgesteld door de interdepartementale stuurgroep Markerwaard. Economie, Den Haag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1985). *De waterstaatkundige hoofdstructuur van de Markerwaard*. Lelystad, september 1985.
- Olsthoorn, T. N. (1982). *Verstopping van persputten*. Rijswijk, september 1982.
- Rijkswaterstaat, Directie Zuiderzeewerken, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (1983). *Geohydrologische aspecten bij de aanleg van de Markerwaard*. Lelystad, februari 1983.
- Viergever, M. A. (1985). *Over de invloed van de aanleg van de Krabbersgatsluizen in Enkhuizen*. RIJP-rapport-43 cdw.



### Summaries

- End of page 755

descending groundwater level causes lowering of the surface. This results in high costs of leveling up the surface and maintenance of roads and grounds.

In Gouda and The Hague a geohydraulic survey was necessary to show that the leakage of sewerpipes was the cause of the low groundwater level and resulting damage to buildings in the surroundings.

The leakage of sewerpipes can usually be discovered by visual (video) inspection. In the cases of Gouda and The Hague inspections showed visible no leaks. It was decided to undertake geohydraulic studies. These studies showed evidence of sewer leakage. Even the amount of leakage could be assessed.

In Gouda the groundwater level was calculated for the situation after renovation of the sewerage. From this calculation could be concluded that the groundwater table would be far too high after complete renovation, so complementary measurements were proposed.

H<sub>2</sub>O (21) 1988, nr. 26; 780

**U.D.C. 546.185 : 628.33/.35 (492.73)**

H. VAN DER HONING, M. E. A. VAN GIJSEN and D. M. KOMEN:

### Dephosphating waste water in Drenthe

The first pellet reactor for the removal of phosphates from biological treated waste water on full scale base is situated at Westerbork with the sewage purification plant of the surface water quality control authority Zuiveringsschap Drenthe. It has come into operation in december 1988.

The authority started already in the beginning of 1988 with dephosphating on its plant at Klindijk and Schoonoord. In 1989 it will start dephosphating again at Gieten and for the first time at Zuidlaren.

The dephosphating on the latter two plants aims to combat the eutrophication in the lake Zuidlaardermeer that is situated partly in the area of the authority. At the first three plants it has the same aim for the canal Oranjekanaal.

Roughly has been investigated how to reach within the authority-area a phosphate-removal of 75% of the influent in 1995. This to meet international agreements to reduce the phosphate-load of surface waters with 50% in the area of the Rhine and the North Sea.