

mededeling
nummer **105**

diepinfiltratie, de praktijk

Een bundeling van Nederlandse ervaringen
met diepinfiltratie

Redactie:
ir. J.H. Peters
ir. J.P. van der Eem
ing. J.A. Meijer

KIWA N.V.
Hoofdafdeling Speurwerk
Nieuwegein, mei 1989

PENDELEN TUSSEN THEORIE EN PRAKTIJK
EEN VOORWOORD

Voor u ligt één van de twee KIWA-mededelingen 105 of 106

- Diepinfiltratie, de praktijk
- Diepinfiltratie, de theorie

De rapporten -een vervolg op KIWA-mededelingen 71, 72 en 79- zijn verschenen op het KIWA/VWN-colloquium 'Diepinfiltratie en drinkwater' op 21 juni 1989. Ze hebben het karakter van 'proceedings'. Het zijn bundelingen van ervaringen die er zijn met diepinfiltratieputten en -plannen in de praktijk van vooral waterleidingbedrijven en ervaringen voortkomend uit het meer theoretisch gerichte KIWA-onderzoek naar aspecten van diepinfiltratie, met name putverstopping. De scheiding tussen theorie en praktijk valt echter niet altijd duidelijk te maken.

De redactie hoopt dat de waarde van de rapporten zit in de 'handshake', de aansluiting van enerzijds de dure praktijkproeven op de theorie ('hoe de proeven op te zetten, waar te nemen en te interpreteren'). Anderzijds kennen we juist uit die praktijk de facetten die van belang zijn voor het onderzoek, bijvoorbeeld de processen die putverstopping veroorzaken. Dat laatste is van belang voor de formulering van het onderzoek. Dat blijft dus praktijkgericht.

Pendelen tussen theorie en praktijk is daarmee niet het afleggen van telkens dezelfde weg. Het pendelen maakt het mogelijk om stappen te nemen die met slechts praktijkervaringen of enkel en alleen vanuit het onderzoek, niet of alleen met moeite zijn te nemen.

De meest recente ervaringen met betrekking tot diepinfiltratie en drinkwatervoorziening zijn -nu ze op papier staan- beschikbaar voor anderen. Die kennis is nu echter nog moeilijk toegankelijk. Daarvoor is een en ander te verspreid vastgelegd. Dit is inherent

aan het karakter van de rapporten. De redactie is echter voornemens om de wetenswaardigheden te beschrijven in een 'hoofdlijnen-rapport'. Voor de korte termijn vindt de lezer wellicht wat troost met de 'poging tot synthese' zoals die is opgenomen in mededeling 79, pagina's 407 tot en met 446. Dit bevat ook de technische specificaties van de meeste Nederlandse infiltratieputten.

Het uitbrengen van rapporten is altijd weer een race tegen de klok. Dat geldt in het bijzonder waar de redactie is aangewezen op een schrijvers-collectief. Excuses voor de druk die soms moest worden uitgeoefend. Het was nodig. Dank aan de secretariële ondersteuning en de verschillende tekstverwerkings-, teken- en reproductiekamers. Ze zitten altijd aan het eind van de lijn.

Jos Peters
Projectleider Diepinfiltratie

INHOUDSOPGAVE

PENDELEN TUSSEN THEORIE EN PRAKTIJK, EEN VOORWOORD	1
J.H. Peters, KIWA N.V.	

VERVOLGONDERZOEK NAAR VERSTOPPING BIJ PUTINFILTRATIE OP POMPSTATION HAREN	9
J.W. Kieft, Gemeentelijk Waterbedrijf Groningen	

SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	10
2 HET UITGEVOERDE VERSTOPPINGSONDERZOEK	11
2.1 Onderzoek naar ontgassing	16
3 KWALITEITSASPEKTEN	21
3.1 Kwaliteitsaspecten bij infiltratie	21
3.2 Kwaliteitsaspecten bij terugwinning	25
4 ONDERZOEK NAAR HET VERSTOPPINGSMATERIAAL	26
5 REGENERATIES	27
6 EVALUATIE	29
7 LITERATUUR	30

INFILTRATIE- EN ONTTREKKINGSPROEVEN MET DE AIP-PUT TE CASTRICUM
A. Stakelbeek, Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland

1 DOEL VAN DE PROEVEN	33
2 OPZET VAN DE PROEVEN	34
2.1 Algemeen	34
2.2 De onttrekkingsproef van 1983	35
2.3 De stopproef van 1983-1984	35
2.4 De infiltratieproef van 1987	37
2.5 Overige proeven	37
3 INTERPRETATIE VAN DE MEETRESULTATEN	38
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	41
5 LITERATUUR	42

DIEPINFILTRATIE IN DE DUINWATERWINPLAATS
R.A. Schuurmans en J.J. Steinmetz, Gemeentewaterleidingen
Amsterdam

1	INLEIDING	45
2	TECHNISCHE INSTALLATIE	46
2.1	De infiltratieput	46
2.2	Geautomatiseerd meet- en regelsysteem	49
2.3	Waarnemingsputten	49
3	HET CONDITIONERINGSSYSTEEM	51
4	ZOUTWATERVERDRINGING	57
5	VERSTOPPING EN REGENERATIE	61
5.1	Weerstand	61
5.2	Verstopping en regeneratie	61
6	MEETPROGRAMMA	62
7	CONCLUSIES	64
	REFERENTIES	65

GEO-HYDROLOGISCH ONDERZOEK AAN EEN SYSTEEM VAN
DIEPINFILTRATIE EN DIEPE WINNING IN DE DUINWATERWINPLAATS
VAN GEMEENTEWATERLEIDINGEN AMSTERDAM

J.W. Kooiman, Gemeentewaterleidingen Amsterdam

	SAMENVATTING	67
1	INLEIDING	68
2	OPZET VAN HET SYSTEEM	70
3	LOKATIE	72
4	DIMENSIONERING	72
5	PROEFOBJEKT	73
6	POMPPROEF	73
7	HYDROLOGISCH ONDERZOEK MET GRONDWATERMODELLEN	75
8	CONCLUSIES	81
9	LITERATUUR	83

INFILTRATIEPUTTEN ALS COMPENSERENDE MAATREGEL VOOR BEMALINGEN BIJ HOOGOSENS

J.Ph.J. Krabbendam, Hoogovens, IJmuiden

1	SAMENVATTING	85
2	INLEIDING EN DOELSTELLING	85
3	GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE	87
4	INSTALLATIES	88
4.1	Inrichting	89
4.2	Automatisering	91
4.2.1	Afsluitercyclus	91
4.2.2	Afstandsbewaking	92
5	ERVARINGEN IN DE EERSTE BEDRIJFSPERIODE	95
5.1	De oud-onttrekkingsputten PD 260 en PD 256	95
5.2	De infiltratieput IP 201	96
6	VOORTZETTING	98

PERSPUTPROEVEN IN DE KENNEMERDUINEN

J.B. de Bruin, Waterleidingbedrijf Zuid-Kennemerland

1	INLEIDING	99
2	BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEK	102
2.1	Infiltratie van het WRK-I-water	102
2.2	Persput Noord	103
2.3	Persput Zuid	107
2.4	Flowmetingen	112
3	DISCUSSIE	116
3.1	Persput Noord	116
3.2	Persput Zuid	118
3.3	Regenereren en terugpompen	120
3.4	Flowmetingen	120
3.5	Toekomstige acties	121
4	CONCLUSIES	122
5	VERANTWOORDING	123
6	LITERATUURLIJST	124

PRAKTIJKPROEF INFILTRATIEPUT MARKERWAARD

A.J. Hebbink, Rijkswaterstaat, Directie Flevoland

1	INLEIDING	125
2	DE GEOHYDROLOGISCHE OPBOUW VAN HET GEBIED	126
3	DE TE VERWACHTEN DALING VAN DE STIJGHOOGTE VAN HET DIEPE GRONDWATER TEN GEVOLGE VAN DE AANLEG VAN DE MARKERWAARD	127
4	INFILTRATIEPUTTEN IN HET RANDMEER VAN DE MARKERWAARD	129
5	PRAKTIJKPROEF	130
6	INRICHTING VAN DE PROEF	132
6.1	Constructie zand/grindfilter	132
6.2	Filterbuisconstructie	133
6.3	Meet- en regelapparatuur	134
7	GEGEVENSVERWERKING	137
8	EERSTE RESULTATEN	140
9	KWALITEITSASPEKTEN	148
10	CONCLUSIES	151
11	LITERATUUR	152

DIEPINFILTRATIE VAN OEVERGRONDWATER

J. van der Laan, Waterleidingbedrijf Midden-Nederland

1	INLEIDING	153
2	WINNING OEVERGRONDWATER	154
2.1	Veranderingen in waterkwaliteit tijdens bodempassage rivieroever	155
3	ZUIVERING OEVERGRONDWATER	160
3.1	Algemeen	160
3.2	Zuivering	161
4	INFILTRATIEPUT	163
5	KWALITEITSVERANDERINGEN TIJDENS BODEMPASSAGE HEUVELRUG	165
5.1	Waarnemingsput WP7	167
5.2	Waarnemingsput WP13	167
5.3	Waarnemingsput WP8	168
5.4	Waarnemingsput WP10	168

5.5	Waarnemingsput WP15	168
5.6	Pompput 4	169
6	GEDRAG ZWARE METALEN	169
6.1	Conclusie	178
7	SAMENVATTING VAN DE PROEF NA VIER JAREN	180

DIEPINFILTRATIE TE OUDDORP

J.S. Rijk, N.V. Watermaatschappij Zuid-West Nederland

1	SAMENVATTING	181
2	INLEIDING	182
3	PROEFOPZET	182
3.1	Geo-hydrologie	182
3.2	Inrichting van de proef	184
4	FASE 1 VAN DE DIEPINFILTRATIEPROEF	186
4.1	Algemene beschrijving	186
4.2	Verbreiding infiltratiewater	187
4.3	Verstoppingsproblematiek	188
4.3.1	Algemeen	188
4.3.2	Zwevende stof	188
4.3.3	Gas- of luchtbellen	189
4.3.4	Bacteriën	189
4.3.5	Wegnemen van verstoppingen	190
4.3.6	Weergeven van verstoppingen	191
4.4	Terugwinning geïnfiltreerd water	194
5	FASE 2 VAN DE DIEPINFILTRATIEPROEF	196
6	TOEKOMSTPERSPECTIEF	197

DIEPINFILTRATIE BIJ DE DUINWATERLEIDING VAN 'S-GRAVENHAGE
(FLIP-FLOP)

H.G. De Jonge m.m.v. P.L. Buijinck en M.J.Rutte,
Duinwaterleiding van 's-Gravenhage

1	INLEIDING	199
1.1	Algemeen	199
1.2	Doelstellingen diepinfiltratie-experiment Flip-Flop	200
2	BESCHRIJVING PROEFOPSTELLING	201
2.1	Voorzuiveringsinstallatie	201
2.2	Infiltratieputten en onttrekkingsput	202
2.3	Bodemopbouw en geohydrologische schematisatie	205
2.4	Meeloopfilters	206
3	DE RESULTATEN	208
3.1	Voorzuivering	208
3.2	Putverstopping	210
3.2.1	Flowmetingen en proefnemingen FLIP 1, 2 en 3	210
3.2.2	Weerstandslijnen FLIP 1, 2 en 3	213
3.3	De meeloopfilters (MLF)	217
3.4	Waterkwaliteitsverandering tijdens bodempassage	217
4	EVALUATIE PUTVERSTOPPING	220
5	LITERATUUR	226

DIEPINFILTRATIE BIJ DE DUINWATERLEIDING VAN 'S-GRAVENHAGE (KIP)

H.G. De Jonge m.m.v. P.L. Buijinck, Duinwaterleiding van
's-Gravenhage

1	INLEIDING	229
1.1	Algemeen	229
1.2	Doelstellingen diepinfiltratie-experiment KIP	229
2	BESCHRIJVING PROEFOPSTELLING	230
2.1	Aanvoer en infiltratie	230
2.2	Bodemopbouw en geohydrologische schematisatie	230
3	DE RESULTATEN	230
4	CONCLUSIES	235

VERVOLGONDERZOEK NAAR VERSTOPPING BIJ PUTINFILTRATIE OP POMPSTATION HAREN

J.W. Kieft
Gemeentelijk Waterbedrijf Groningen

SAMENVATTING

In aansluiting op het voorgaande verstoppingsonderzoek met een lage volumestroom (ca 20 m³/h) en een lage druk (ca 30 kPa) is vervolgens onderzoek uitgevoerd naar verstopping in de situatie dat met ca 50 m³/h rechtstreeks uit het leidingnet (druk ca 300 kPa) is geïnfiltreerd. Tijdens het uitvoeren van de infiltratieproeven blijkt zich een verstopping door gasbelletjes voor te doen. Om die reden zijn een aantal technische ingrepen in leidingen en appendages uitgevoerd. Het onderzoek kan worden onderscheiden in proef 2A en proef 2B respectievelijk vòòr en na de ingrepen.

In de figuren 2 en 3 wordt het verloop van de verstopping (uitgedrukt als weerstand) gegeven. Hoewel aan de voorwaarde dat het verstoppingsverloop lineair moet zijn niet voldaan is, zijn toch gemiddelde verstoppingssnelheden becijferd.

In tabel 1 zijn de gemiddelde verstoppingssnelheden en de standaard verstoppingssnelheden van alle infiltratieproeven opgenomen. De oorzaak van het ontstaan van gasbelletjes in het infiltratiewater moet vermoedelijk worden gezocht in het vòòrkomen van onderdruk in de afsluiter waarmee de grootte van de volumestroom wordt ingesteld (ontgassing). Uit een nader ingesteld onderzoek blijkt dat bij lage volumestromen, hoge troebelheden na de functionele afsluiter worden gemeten.

Vanaf 2 september 1987 wordt de infiltratieput N6 ingeschakeld voor de winning. Op 27 april 1988 is in totaal 70.105 m³ teruggewonnen, terwijl het chloridegehalte 57 mg/l bedraagt (de totale geïnfiltreerde hoeveelheid van proef 2B bedraagt 175.114 m³).

Uit een vergelijking van de kwaliteit van het infiltratiewater met dat van het teruggewonnen water valt op dat het nitraat verdwijnt

en de sulfaatgehalten gemiddeld vrijwel verdubbelen. Verondersteld wordt dat zich in de ondergrond een denitrificatieproces met zwavelwaterstof of pyriet voordoet. Uit een overeenkomstige vergelijking van de chloridegehalten wordt de indruk verkregen dat door de infiltratie en terugwinning met een dual purpose put een afvlakking van kwaliteitsvariaties wordt verkregen. De betekenis van de natuurlijke grondwaterstroming is in dit verband nog niet duidelijk. Uit het onderzoek naar het verstoppingsmateriaal blijkt dat de verstopping voor een groot deel aan ijzer- en mangaanhydroxiden kan worden toegeschreven. Organische stof is voor de verstopping van gering belang.

Regeneraties worden als regel uitgevoerd met behulp van de methode van afwisselend pompen en infiltreren (mechanische regeneratie). Met deze methode kan meer dan 85 % van de verstopping worden verwijderd.

1 INLEIDING

Het Gemeentelijke Waterbedrijf van Groningen (GWG) gebruikt voor de drinkwatervoorziening zowel grondwater als oppervlaktewater. De winningscapaciteit van oppervlaktewater uit het regeniviertje de Drentsche Aa kan worden vergroot door in de periode van neerslagoverschot een voorraad te vormen en deze in het zomerseizoen te benutten. Deze berging kan worden gerealiseerd door het met behulp van putinfiltratie verdringen van brak grondwater op grotere diepte.

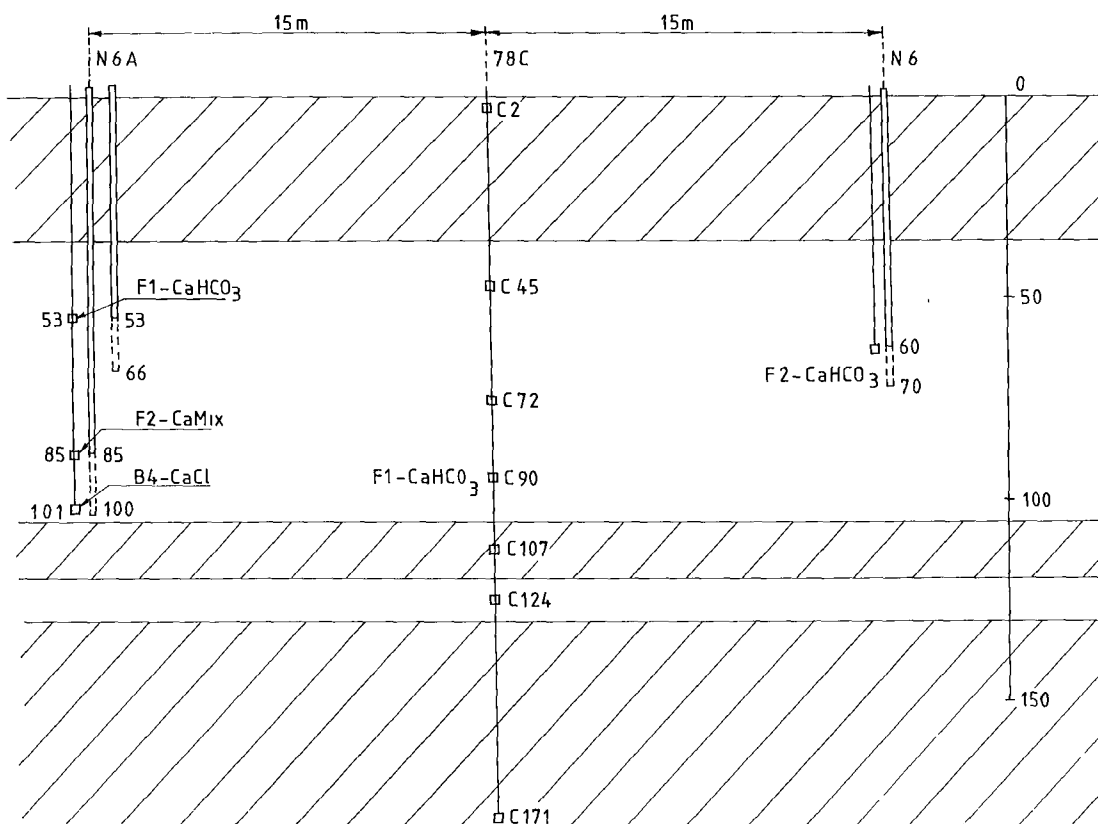
Uit eerder onderzoek (infiltratieproeven 1A en 1B), zoals gerapporteerd in KIWA Mededeling 79 (Peters, 1984) is gebleken dat het in principe mogelijk is water bij het pompstation Haren met behulp van putten in de ondergrond te infiltreren en zonder snelle verzilting terug te winnen.

In de voorliggende verhandeling wordt ingegaan op de verstoppingsaspecten indien met hogere drukken en grotere volumestromen, rechtstreeks uit het leidingnet wordt geïnfiltreerd. Voor een brede oriëntatie wordt verwezen naar Peters (1984) terwijl het onderhavige onderzoek meer uitgebreid in een GWG-rapport (Kieft, 1988) is beschreven.

2 HET UITGEVOERDE VERSTOPPINGSONDERZOEK

De toevoer van het infiltratiewater werd bij de vorige verstoppingsproeven via een open voorfilter van het pompstation Haren geleid en stroomde zonder extra pompfase naar de infiltratieput. Omdat door de bestaande onderwaterpomp heen werd geïnfilteerd, kon op deze wijze (lage voordruk) geen groot debiet worden gerealiseerd. Bij de nieuwe infiltratieproeven werd het infiltratiewater onder hogere druk rechtstreeks uit het net via de onderwaterpomp in de ondergrond gebracht, zodat grotere debieten konden worden bereikt.

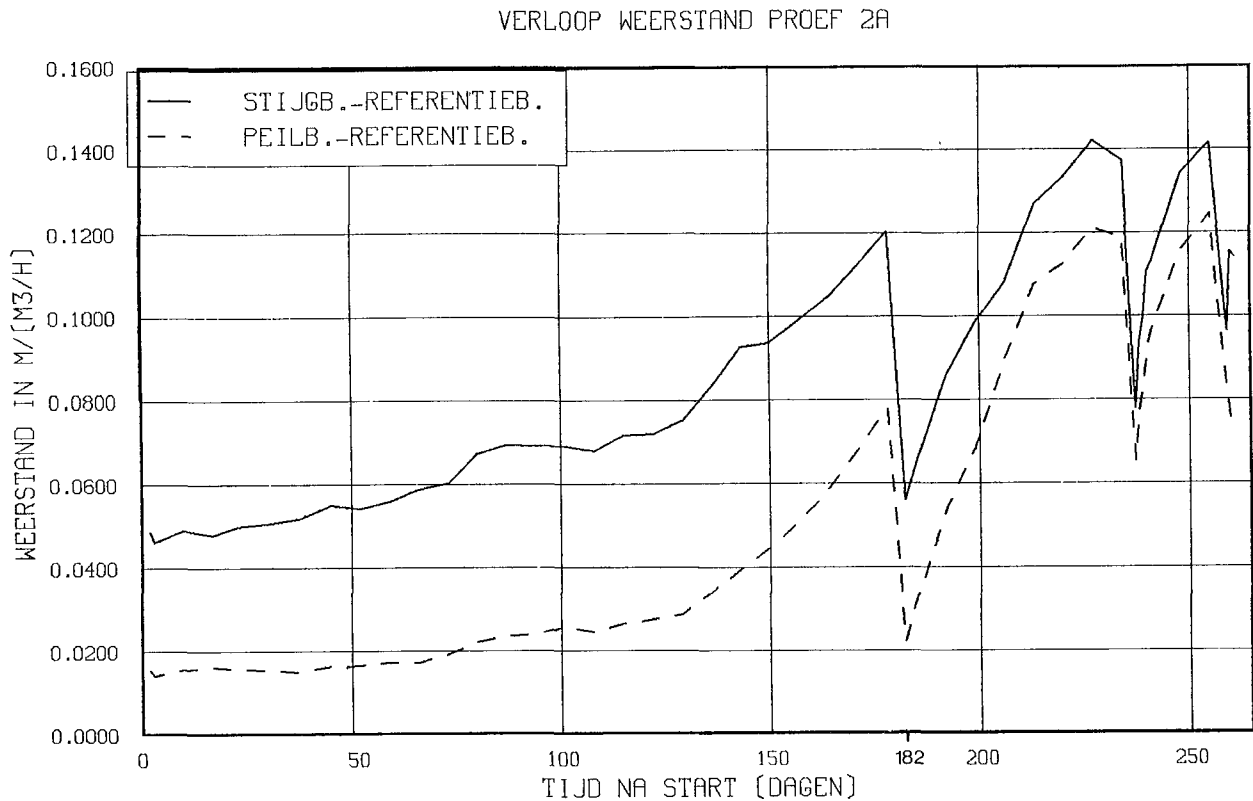
In figuur 1 zijn de geschematiseerde geohydrologische opbouw van de ondergrond, de infiltratieputten N6 en N6A, de waarnemingsput 78C en de waarnemingsfilters bij N6A schetsmatig aangegeven. Ter correctie van dichtheidsverschillen bij de grondwaterstandsmetingen, werd op 22 maart 1984 de inhoud van de peilbuizen zorgvuldig vervangen door zoet water.



Figuur 1 - Schema ondergrond en schets van de infiltratieput N6 en de waarnemingsputten. Waterclassificatie volgens Stuyfzand (1986) op 3 december 1986

Proef 2A

De proef 2A begon op 27 maart 1984. Het debiet bedroeg ca 47 m³/h. De infiltratie vond plaats bij een voordruk van ongeveer 30 mwk (300 kPa). Het verstoppingsverloop vertoonde aanvankelijk een min of meer normaal beeld, zoals in figuur 2 is aangegeven.



Figuur 2 - Verloop weerstand proef 2A

In september 1984 was de waterstand in de stijgbuis zo hoog opgelopen dat een regeneratie nodig werd geoordeeld. Deze werd op 25 september 1984 (na 182 dagen) door middel van herhaald pompen en infiltreren uitgevoerd, zoals in hoofdstuk 4 is beschreven. De gemiddelde verstoppingssnelheid (vv) in deze periode bedroeg 7,23 m per jaar.

De standaardverstoppingssnelheid (vvs) (Olsthoorn, 1982 p 3.7 en 3.51) berekend over de genoemde periode bedroeg 2,6 m/jaar. De volumestroomdichtheid op de boorgatwand was gemiddeld 1,7 m/h. Na de hervatting op 25 september 1984 met een debiet van ruim 46 m³/h bleek zich een zeer snelle verstopping voor te doen. Na enkele dagen werd de waterstand in de stijgbuis van voor de re-

generatie weer bereikt. Uit praktische overwegingen werd het infiltratiedebiet verminderd tot ca 20 m³/h. In november 1984 werd de infiltratie 3 dagen gestopt. Na hervatting van de infiltratie met ca 20 m³/h bleek de weerstand zeer sterk verminderd te zijn, maar nam echter ook weer zeer snel toe.

Als vermoedelijke oorzaak van deze laatste verschijnselen werd, ondanks het rustige verstoppingsverloop van 27 maart tot 25 september 1984, gedacht aan verstopping door gasbelletjes in het infiltratiewater.

In de toevoerleiding van het infiltratiewater was een kort bovengronds leidinggedeelte PVC opgenomen. Na de beëindiging van proef 2A bleek dat bij vrijwel stilstaand water zich hierin algengroei kon ontwikkelen. Ook werden aeromona's in het water geconstateerd. Mogelijk hebben beide ook aan de verstopping van proef 2A bijgedragen.

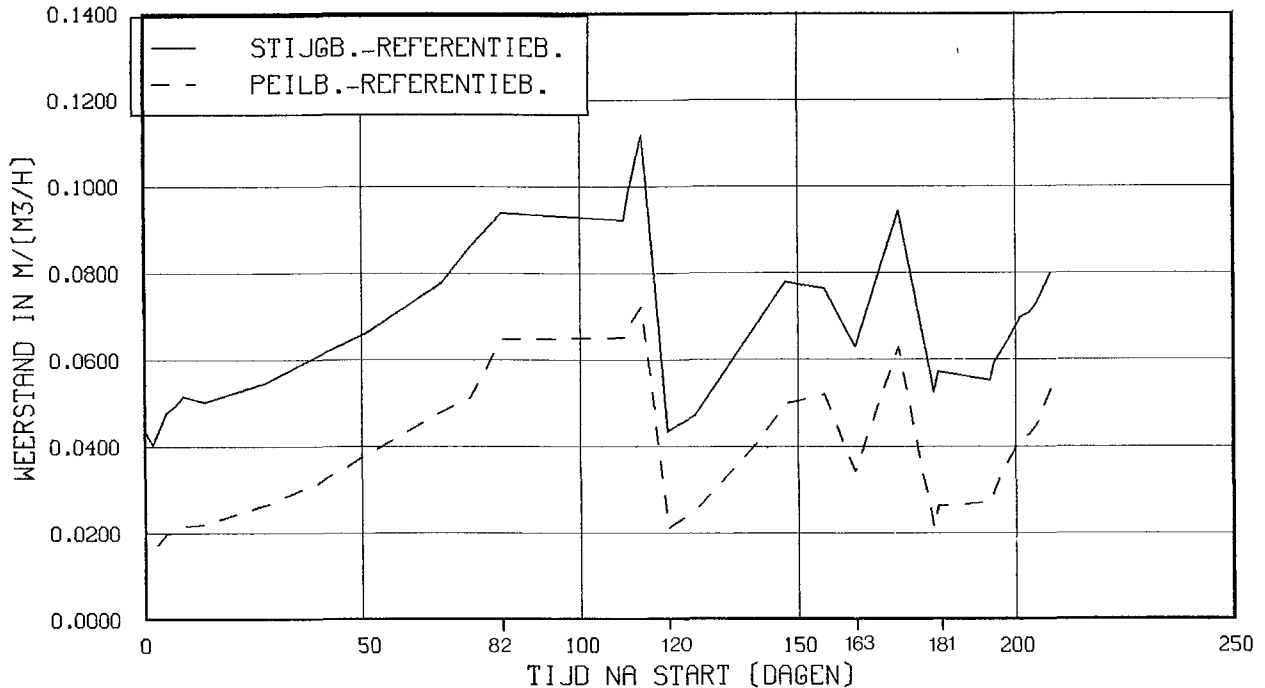
Om de problemen van luchtverstopping, algengroei en het voorkomen van aeromona's in het infiltratiewater op te lossen werd een aantal technische maatregelen genomen. De infiltratie-leiding werd geheel ondergronds aangebracht. De schuifafsluiter in de verlengde pomp-persleiding werd vervangen door een membraanafsluiter (Olsthoorn, 1982, p 3.101). Het aanzuigen van lucht als mogelijke verstoppingsoorzaak kon hiermee worden geëlimineerd. Als oorzaak voor het ontstaan van luchtbelletjes resteert dan nog de ontgassing. Dit verschijnsel wordt in paragraaf 2.1 besproken.

Proef 2B

Nadat het te infiltreren water geen aeromona's meer bevatte werd op 3 december 1986 met infiltratieproef 2B begonnen. Vooraf werd de put schoongemaakt door middel van afwisselend pompen en infiltreren. Op grond van het in 1985 uitgevoerde experiment naar het ontstaan van luchtbelletjes in het infiltratiewater, dat in paragraaf 2.1 wordt besproken, werd een volumestroom van ca 50 m³/h ingesteld. In verband met het materiaal van de put (hout) werd het toelaten van een grotere volumestroom riskant geacht.

Het verloop van de weerstand is in figuur 3 aangegeven.

VERLOOP WEERSTAND PROEF 2B



Figuur 3 - Verloop weerstand proef 2B

Tot 23 februari 1987 (82 dagen) kon ongestoord worden geïnfiltreerd. In deze periode van 3 december 1986 tot 23 februari 1987 bedroeg de gemiddelde verstoppingsnelheid 11,96 m per jaar. De volumestroomdichtheid op de boorgatwand was gemiddeld 1,7 m/h. De standaardverstoppingsnelheid (de verstoppingsnelheid die zou worden gevonden indien de proef onder standaard omstandigheden (te weten volumestroomdichtheid op de boorgatwand = 1 m/h, temperatuur van het infiltratiewater = 10°C en een periode van 1 jaar) zou worden uitgevoerd) bedroeg 3,91 m per jaar. In tabel 1 wordt een overzicht van de verstoppingsnelheden van de infiltratieproeven gegeven.

Op 1 maart 1987 (dag 88) bleek de infiltratie automatisch te zijn gestopt. Na de hervatting op 16 maart 1987 (dag 103) bleek zich weer een snelle, onregelmatige verstopping voor te doen. Vanwege de toegenomen werkelijke verstopping van de boorgatwand werd op 2 april 1987 (dag 120) een mechanische regeneratie uitgevoerd. De regeneraties worden in hoofdstuk 5 besproken. Na de regeneratie bleek de weerstand ongeveer de oorspronkelijke waarden van 3 december 1986 te hebben aangenomen. Op 9 mei 1987 (dag 157) werd de

infiltratie opnieuw, vanwege een limietoverschrijding van de stijghoogte, automatisch gestopt.

Tabel 1 - Overzicht verstoppingsnelheden infiltratieproeven

proef	gemid. volumestr. (m ³ /h)	gem. verstopp. snelh. vv (m per jaar)	stand. verstop. snelh. vvs (m per jaar)
1A 21/9/79-14/6/82	21,1	0,9	1,5
1B 6/6/82-8/9/82	26,1	1,6	1,9
2A 27/3/84-21/9/84	46,0	7,1	2,6
2B 3/12/86-23/2/87	49,0	12,0	3,9

Van 12 tot 15 mei (dag 163) werd om redenen van volledigheid een chemische regeneratie met chloorbleekloog uitgevoerd. De uitvoering ervan wordt in hoofdstuk 4 beschreven. Nagelaten is, direct na de chemische regeneratie een mechanisch regeneratie uit te voeren, zodat de resultaten niet voor een algemene interpretatie in aanmerking komen. Wel kan in het algemeen worden gesteld dat door een chemische regeneratie het organische verstoppingsmateriaal zal worden geoxideerd. De gevormde afbraakprodukten vormen echter een goed voedselaanbod voor bacteriën, die door een hernieuwde infiltratie zullen worden aangevoerd. Anders gezegd: door het brengen van chloor in de bodem kan AOC-vorming optreden. De gevormde afbraakprodukten zullen derhalve door middel van een mechanische regeneratie moeten worden verwijderd. Verder wijzen de ervaringen met het desinfecteren van leidingnetten uit, dat bacteriën ondanks hoge chloordoseringen zeer moeilijk te elimineren zijn.

Op 2 juni 1987 (dag 181) werd een onderzoek naar het verstoppingsmateriaal uitgevoerd, gevolgd door een mechanische regeneratie. Vooral in de periode na 15 juni ontstond, ondanks de relatief hoge volumestromen, het vermoeden dat zich een luchtverstopping voordeed. Vermeld moet worden dat het eventuele effect van het infiltreren via de onderwaterpomp op het ontstaan van gasbelletjes, niet meer is onderzocht.

Op 1 juli 1987 (dag 210) werd proef 2B beëindigd.

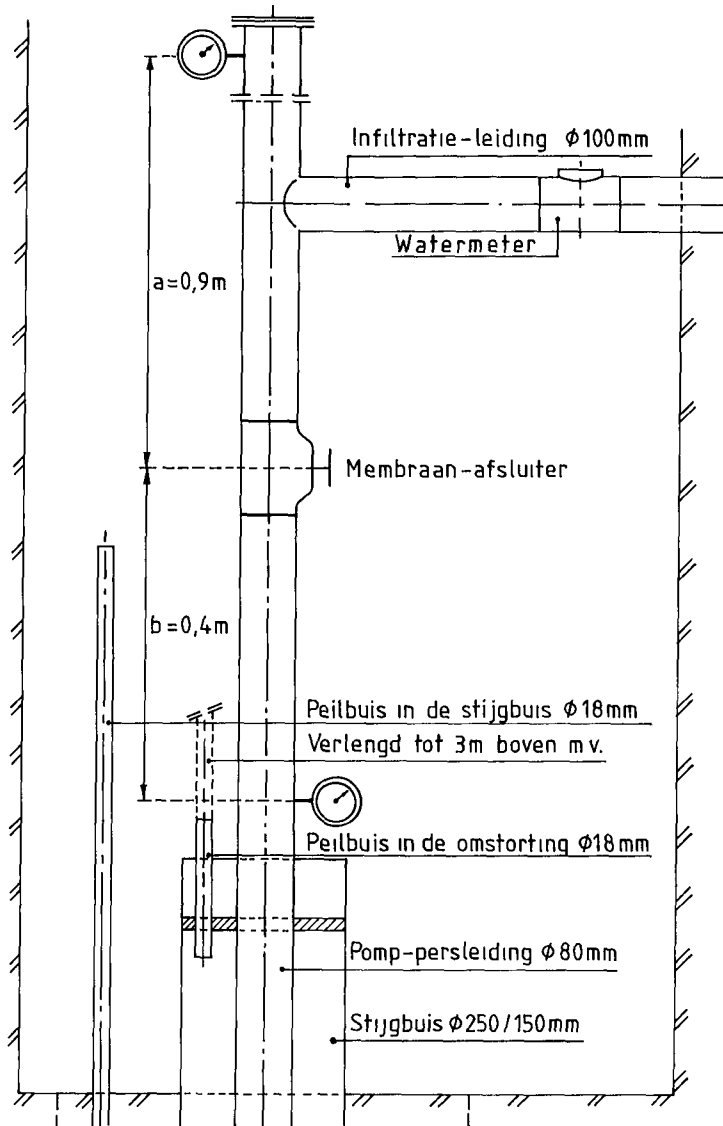
2.1 Onderzoek naar ontgassing

De wet van Henry zegt dat de hoeveelheid gas die in een vloeistof kan oplossen evenredig is met de druk van het gas. Dat wil omgekeerd zeggen dat ontgassing zich kan voordoen indien de druk van een met gas verzadigde vloeistof wordt verlaagd.

Uitgaande van een evenwichtssituatie bij atmosferische druk in de reinwaterkelder kan ontgassing van het infiltratiewater zich alleen voordoen bij een druk die lager is dan 1 atmosfeer (100 kPa) (onderdruk). Bij het onderzoek naar ontgassing moet daarom het drukverloop van het infiltratiewater in de leiding worden nagegaan. In het onderhavige geval blijkt dat de de druk in het leidingnet maar weinig verandert en zeker niet kleiner dan 1 atmosfeer wordt. Alleen op punten waar een ingreep wordt uitgevoerd om de waterstromen te regelen, of op andere bijzondere punten, moet een nader onderzoek worden ingesteld. In het onderhavige geval zijn dat de plaats waar de volumestroom wordt geregeld met behulp van een afsluiter en de uitstroming van het infiltratiewater door de onderwaterpomp aan het einde van de infiltratieleiding. Figuur 4 is een situatie schets van de infiltratieleiding in de putkelder.

Het probleem van gas- of luchtbellens in het infiltratiewater wordt uitvoerig in KIWA Mededeling 71 (Olsthoorn, 1982) besproken. In paragraaf 3.3.2.3 worden de "onderdrukken in afsluiters en dergelijke" behandeld. Onderdrukken doen zich volgens Olsthoorn theoretisch niet voor indien $h_2 \geq 0$, zodat kan worden gesteld:

$$h_3 > 2 \sqrt{\Delta H \frac{v^2}{2g}} \quad (1)$$



Figuur 4 - Situatie infiltratieleiding in putkelder

Zoals uit figuur 4 blijkt is hier sprake van een verticale stromingssituatie. Dat betekent dat de drukhoogten in formule (1) moeten worden vervangen door de piëzometrische nivo's. Dit kan als volgt worden geformuleerd. Onderdrukken doen zich theoretisch niet voor indien (zie figuur 5):

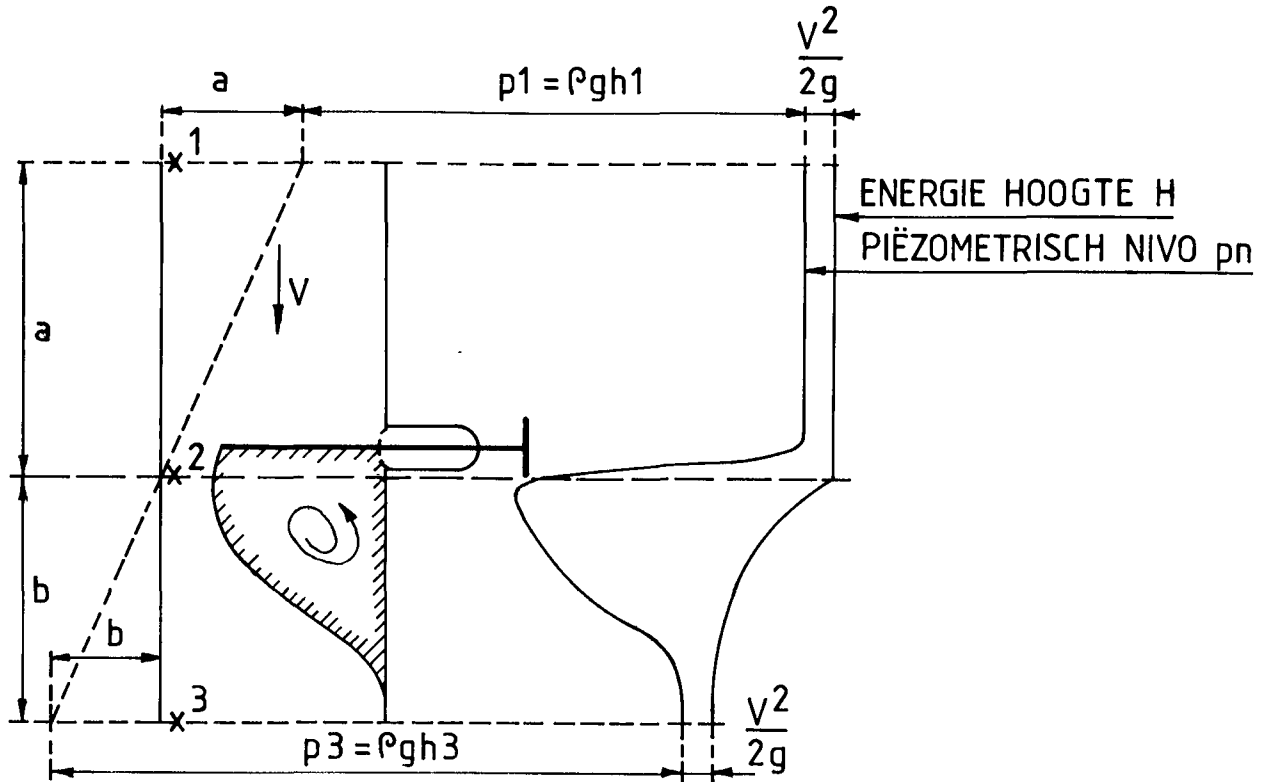
$$pn_3 > TC \tag{2}$$

$$TC = 2 \sqrt{(\Delta pn \cdot \frac{v^2}{2g})} \tag{3}$$

$$\Delta pn = pn_1 - pn_3$$

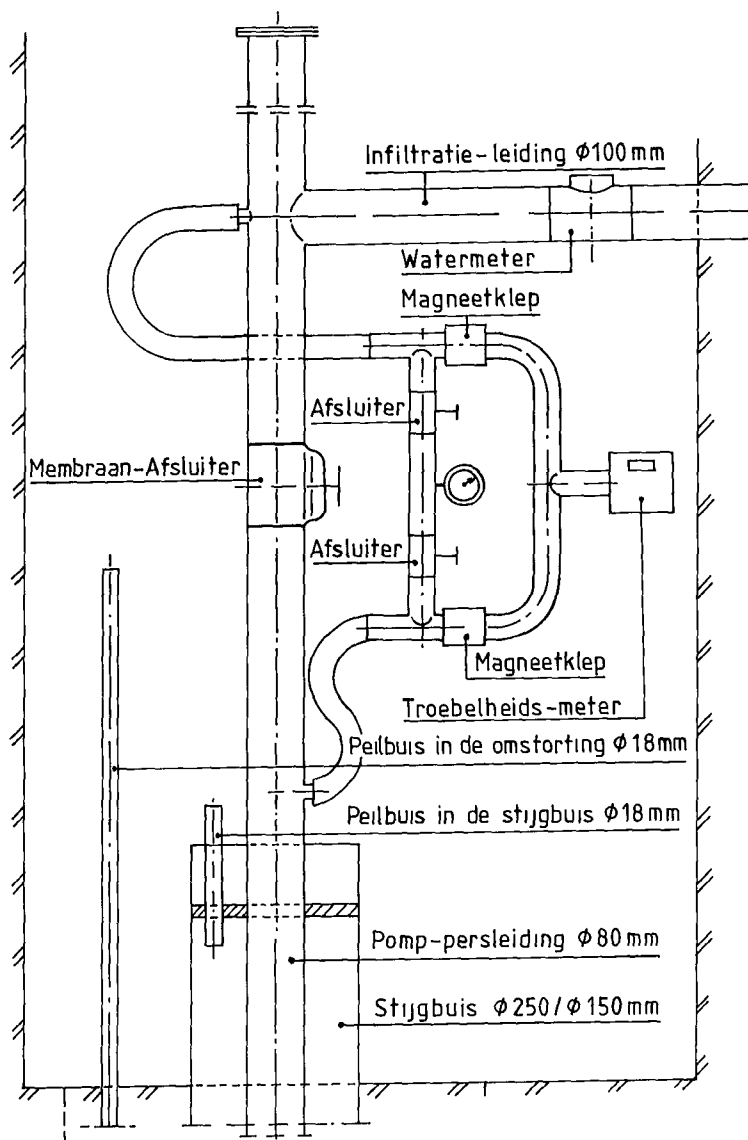
$$pn_1 = h_1 + a$$

$$pn_3 = h_3 - b$$



Figuur 5 - Schets drukverloop bij afsluiter

Om te pogen het werkelijke ontstaan van gasbelletjes te onderzoeken, is op 3 september 1985 een experiment uitgevoerd. Als de hypothese, dat luchtbelletjes ontstaan bij een afsluiter die de volumestroom regelt, juist is, dan zouden deze luchtbelletjes moeten kunnen worden aangetoond. In het onderhavige experiment werd getracht met behulp van een troebelheidsmeter de aanwezigheid van luchtbelletjes voor en na de afsluiter vast te stellen. Het principe van de meetopstelling is in figuur 6 geschetst. Ook de druk voor en na de afsluiter werd waargenomen, zodat met behulp van de formules 2 en 3 op theoretische overwegingen een toetsing omtrent de vorming van gasbelletjes kon worden uitgevoerd. In tabel 2 zijn de resultaten opgenomen.



Figuur 6 - Principe meetopstelling ontgassingsproef

Met het experiment, waarvan de resultaten in tabel 2 zijn samengevat, is aangetoond dat na de afsluiter bij lagere volumestromen luchtbelletjes ontstaan. Er is echter niet aangetoond dat er bij volumestromen van $50 \text{ m}^3/\text{h}$ of groter geen ontgassing optreedt. De onderhavige meetopstelling was daarvoor namelijk te globaal opgezet, kon op een aantal punten nog worden verbeterd en was derhalve te onnauwkeurig om de bedoelde conclusie te kunnen trekken. Uit proef 2B is gebleken dat bij een volumestroom van ca $51 \text{ m}^3/\text{h}$, tegen de verwachting in, de verstopping door gasbelletjes niet is verdwenen. Hierbij moet echter ook het mechanisme van de relatieve stijgsnelheid van luchtbelletjes in de stijgbuis ($d = 150 \text{ mm}$) in aanmerking worden genomen.

Uit tabel 2 blijkt verder dat zich theoretisch alleen onderdrukken zouden kunnen voordoen bij een volumestroom lager dan ca 25 m³/h. Dit is echter in strijd met de waarnemingen van de troebelheid. Hierbij moet worden aangetekend, dat het bovengenoemde uitgangspunt (evenwicht bij atmosferische druk) voor de onderhavige beschouwingen onzeker is.

Tabel 2 - Resultaten experiment gasbelletjes (3 september 1985)

Q (m ³ /h)	troebelheid F.T.U.		pn ₃	TC
	voor afsl.	na afsl.		
50	0,24	0,24	13,6	3,9
46	0,24	0,26	9,6	4,4
40	0,24	0,80	7,6	4,2
30	0,24	1,80	5,1	3,4
20	0,24	2,50	1,6	2,5

(onderdrukken doen zich theoretisch niet voor indien pn₃ > TC)

Het is bijvoorbeeld denkbaar dat in water dat langdurig onder een druk (van ca 30 mwk of 300 kPa) staat, meer gas oplost dan bij atmosferische omstandigheden. Ontgassing zal zich dan ook eerder voordoen dan bovenstaande formule aangeeft. Verder wordt er op gewezen dat de plaats waar de benedenstroomse stijghoogte wordt gemeten, (zie figuur 4) vrij dicht bij de afsluiter is gelegen (5 x d) zodat wellicht minder betrouwbare waarden voor h₃, zouden kunnen worden afgelezen.

Bij een eerste beschouwing lijkt formule (2) te suggereren dat de positie van de afsluiter niet van invloed is op het ontstaan van gasbelletjes. Dit zou dan niet stroken met de opvatting van Olsthoorn (1982, p 3.99) dat het plaatsen van een afsluiter op zekere diepte zinvol is. Bij de genoemde interpretatie van formule (2) moet echter worden bedacht dat als een afsluiter van de infiltratieleiding (in tegenstelling tot de in figuur 5 geschetste situatie) onder de waterspiegel van de stijgbuis wordt geplaatst, het piëzometrisch niveau pn₃ bij het einde van de infiltratieleiding gelijk is aan de afstand van de afsluiter tot de waterspiegel.

3 KWALITEITSASPECTEN

3.1 Kwaliteitsaspecten bij infiltratie

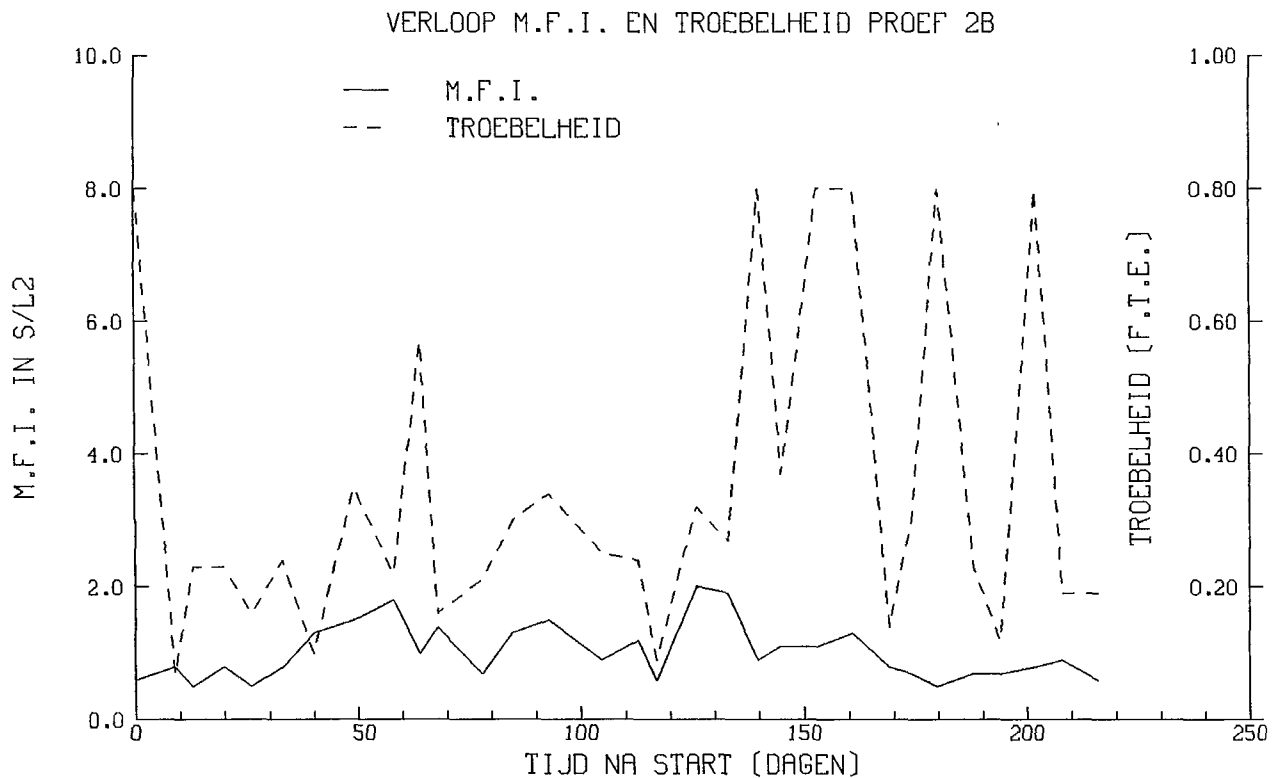
Het infiltratiewater is drinkwater afkomstig van pompstation De Punt. Hiervoor is gekozen vanwege de component oppervlaktewater (ca 30 %) in dit water. Bij een eventuele grootschalige toepassing van putinfiltratie in een proefproject of in de bedrijfsvoering, zal in principe het aandeel oppervlaktewater van het infiltratiewater worden vergroot.

Tabel 3 - Gemiddelde kwaliteit infiltratiewater en teruggewonnen water (in mg/l, tenzij anders aangegeven)

	infiltratiewater 2B		teruggewonnen water	
	gemiddelde	standaard afwijking	gemiddelde	standaard afwijking
troebelheid FTE	1,3	1,1	-	-
zuurgraad pH	7,84	0,11	7,38	0,24
geleiding mS/m 20°	47	7	44	3
chloride	67	19	54	6
sulfaat	18	5	36	7
calcium	96	10	70	3
magnesium	7,2	0,6	6,9	0,3
natrium	33	5	30	2
kalium	2,5	0,5	2,8	0,2
zuurstof	10,8	1,4		
hydrocarbonaat	202	26	195	20
nitraat	3,1	2,8	0,2	0,3
DOC	2,3	0,4	-	-
tot. opgel. zouten	426	47	421	19
ijzer	0,14	0,13	0,03	0,01
mangaan	0,005	0,005	0,28	0,09
sulf.red.clostr.				
aantal/100 ml	<0,2		-	
aeromona's				
aantal/100 ml	1,1		-	

Enige gegevens omtrent de samenstelling van het infiltratiewater van proef 2B zijn vermeld in tabel 3. Het vermelden van gemiddelden en standaardafwijkingen wil niet zeggen dat de resultaten stochastisch van aard zijn.

Het verloop van een membraanfilter-index (MFI) dat als een indicatie van de verstoppende eigenschappen van infiltratiewater wordt beschouwd (KIWA Olsthoorn, 1982, p 3.2.5.5; Schippers en Verdouw, blz 37-59, Peters, 1984) is in figuur 7 getekend. Ook het verloop van de troebelheid dat onder bepaalde omstandigheden als een maat voor de hoeveelheid zwevende deeltjes kan gelden is in figuur 7 weergegeven. Opgemerkt wordt dat het ijzergehalte relatief hoog is.



Figuur 7 - Verloop MFI en troebelheid proef 2B

Tijdens proef 2A werd vanaf 3 december 1984 gebruik gemaakt van een meelooptfilter opstelling die in het pompstation Haren was geplaatst ter begeleiding van het verstoppingsverloop. De uitgangspunten en de opzet van het meelooptfilteronderzoek zijn in KIWA Mededeling 79 (Peters, 1984) door Schippers en Verdouw beschreven. De resultaten van het meelooptfilter-experiment van proef 2A worden eveneens door Schippers e.a. gerapporteerd.

Een infiltratieput kan behalve door zwevende deeltjes en gasbelletjes in het infiltratiewater ook verstopten door de ontwikkeling van micro-organismen bij het putfilter. De microbiologische verstopping wordt vooral bepaald door factoren die de groei van bacteriën gunstig beïnvloeden. Eén van deze factoren is de aanwezigheid van de juiste voedingsstoffen in het infiltratiewater. Een kwaliteitsgrootte die daarvoor belangrijk is, is de hoeveelheid assimileerbare organische koolstof (AOC) in het infiltratiewater. Door Hijnen en Van der Kooij wordt hierop (Peters, 1984) nader ingegaan. Voor proef 2B is op 16 april 1987 een AOC bepaling uitgevoerd. Gevonden werd 12,7 µg ac-C eq/l.

Van proef 2B waren naast de filters van waarnemingsput C ook de filters van put N6A beschikbaar gekomen. De belangrijkste kwaliteitsgegevens van proef 2B van de filters C90, N6A53, N6A83 en N6A101 zijn in tabel 4 opgenomen.

Tabel 4 - Gemiddelde waterkwaliteit van waarnemingsfilters tijdens infiltratie en terugwinning (proef 2B) (in mg/l, tenzij anders aangegeven)

		C90		N6A53		N6A83		N6A101	
		infil- tratie	terug- winning	infil- tratie	terug- winning	infil- tratie	terug- winning	infil- tratie	terug- winning
zuurgraad	pH	7,39	7,36	7,44	7,35	7,3	7,23	7,14	7,06
geleiding	mS/m 20°C	48	53	51	50	47	63	175	242
chloride		53	58	54	53	59	146	562	968
sulfaat		41	37	38	34	44	36	24	17
calcium		67	67	77	80	68	82	176	242
magnesium		6,2	6,5	6,6	7,9	6,5	7,9	16,1	23
natrium		30	30	29	30	32	63	200	361
kalium		2,5	2,7	1,5	1,6	2,9	3,1	4,1	5,2
hydrocarbonaat		175	177	200	245	174	185	184	197
nitraat		0,11	0,08	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
totaal opgel. zouten		408	403	444	475	414	548	1188	1834
ijzer		4,4	2,6	2,7	1,9	2,7	1,9	8,7	5,4
mangaan		0,18	0,16	0,50	0,9	0,81	0,8	0,96	1,48

In figuur 1 is van het water van deze filters van 3 december 1986 de classificatie volgens Stuyfzand (1986) aangegeven.

Omdat na proef 2A het geïnfiltreerde water niet is teruggewonnen, zijn de chloridegehalten van C90 van proef 2B niet contrasterend. Wel is er een duidelijke verandering van het chloridegehalte van N6A101 te zien (van 1300 mg/l op 3 december 1986 tot 55 mg/l op 17 juni 1987). Aangezien de verblijftijd van N6 naar N6A101 op ca 225 dagen kan worden berekend, betreft het hier waarschijnlijk zoet water van proef 2A.

In principe zal het oorspronkelijke grondwater worden vervangen door infiltratiewater. Vergelijking van het infiltratiewater met het geïnfiltreerde water dat de waarnemingsfilters is gepasseerd leert (zie ook Kieft, 1983) dat zuurstof verdwijnt en de gehalten ijzer en mangaan toenemen. Het nitraat dat met 3 à 5 mg/l NO_3 in het infiltratiewater aanwezig is, blijkt na infiltratie te verdwijnen.

Dit wijst op een denitrificatieproces in de ondergrond. In het teruggewonnen water (zie paragraaf 3.2 en tabel 3) komt nitraat al spoedig niet meer voor, terwijl de sulfaatgehalten verhoogd zijn ten opzichte van het infiltratiewater. Het is bekend dat in Haren zwavelwaterstof (H_2S) in het grondwater voorkomt, zodat een denitrificatieproces met zwavelwaterstof of pyriet (Van Bennekom, 1987) denkbaar is. Ten gevolge van oxidatie van pyriet met het aerobe infiltratiewater kan (met het zuurstoffront mee) eveneens sulfaat ontstaan. Ook in de waarnemingsfilters zijn de sulfaatgehalten hoger dan in het infiltratiewater. Hierbij moet worden aangetekend dat in de zomerperiode aluminiumsulfaat als coagulatiemiddel bij de zuivering van het oppervlaktewater kan worden gebruikt, zodat periodiek hogere sulfaatgehalten in het gezuiverde oppervlaktewater aanwezig kunnen zijn. Opgemerkt wordt dat zuurstof preferent met pyriet oxideert (ten opzichte van ijzer).

De aanwezigheid van nitraat in N6A53 (zie tabel 4) is niet goed verklaarbaar.

De invloed van het infiltratiewater van de proeven 2A en 2B is in de waarnemingsfilters C107 en dieper niet merkbaar. Infiltratiewater is wel in N6A101 gearriveerd.

3.2 Kwaliteitsaspecten bij terugwinning

Vanaf 2 september 1987 werd put N6 voor de terugwinning in gebruik genomen. De naburige putten N5 en N7 werden vanaf 25 augustus, zij het minder langdurig, in bedrijf gesteld.

De kwaliteit van het uit N6 opgepompte water is in tabel 3 opgenomen.

Vergeleken met het infiltratiewater is het sulfaatgehalte van het opgepompte water sterk toegenomen (bijna verdubbeld). De gehalten aan calcium, magnesium en hydrocarbonaat zijn in het teruggewonnen water gemiddeld iets lager dan in het infiltratiewater, terwijl dat van kalium iets hoger ligt. Nitraat verdwijnt al snel uit het opgepompte water (zie ook paragraaf 3.1).

Voorzover bekend wordt het chloride-ion niet of nauwelijks door bodemprocessen beïnvloed. Wel zal zich bij de stroming in de ondergrond dispersie voordoen, waardoor de fluctuaties van de chlorideconcentratie van het infiltratiewater, in het opgepompte water zullen worden afgevlakt.

Bij het verloop van het chloridegehalte kan worden opgemerkt dat de gemiddelde concentratie in het infiltratiewater 67 mg/l Cl^- bedroeg met een standaardafwijking van 19, terwijl het teruggepompte water een gemiddelde van 54 mg/l bevatte met een standaardafwijking van 6. Deze veel lagere standaardafwijking kan als een bevestiging van het veronderstelde dispersieproces worden beschouwd.

Het aerobe infiltratiewater zal na infiltratie (preferent ten opzichte van mangaan) tweewaardig ijzer omzetten in onoplosbare driewaardige ijzerverbindingen en zal daardoor spoedig zuurstofloos worden. Mangaan kan dan niet meer worden geoxideerd. Na enige tijd terugwinnen worden normaal in het grondwater voorkomende mangaangehalten in het opgepompte water aangetroffen, terwijl de ijzergehalten daarentegen laag blijven.

Bij deze opmerking moet worden bedacht dat bij wisselende concentraties het aantal monsters bovendien te gering is om een volledig beeld te kunnen verkrijgen.

De gemiddelde waterkwaliteit van de waarnemingsfilters C90, N6A53, N6A83 en N6A101 is in tabel 4 verzameld. De waterkwaliteit van C90 in de infiltratiefase verschilt weinig van die in de terugwin-

periode.

Ook voor N6A53 zijn er weinig verschillen te vinden. Alleen het sulfaat is gemiddeld tijdens het terugwinnen iets lager dan tijdens het infiltreren. Het hydrocarbonaatgehalte in de terugwinperiode is gemiddeld groter dan dat in de infiltratiefase.

Voor N6A83 kan in hoofdlijnen hetzelfde worden opgemerkt als voor N6A53. Vanaf 2 november 1987 is er echter sprake van een duidelijke stijging van het chloridegehalte.

4 ONDERZOEK NAAR HET VERSTOPPINGSMATERIAAL

Op een zeker moment wordt de waterstand in de verlengde stijgbuis zo hoog, dat de infiltratie wordt beëindigd. Dit gebeurt doordat door de ingebouwde elektronische bewaking, met behulp van een regelsysteem, een vlinderklep wordt gesloten. Op grond hiervan kan worden aangenomen dat een regeneratie nodig is.

Als regel zal, voordat een regeneratie wordt uitgevoerd, een aantal monsters worden genomen in de hoop iets van het verstoppingsmateriaal te kunnen onderzoeken.

Proef 2A

Op 25 september 1984 werden tijdens het terugpompen 12 monsters genomen. Van deze monsters werden de troebelheid, het kaliumpermanganaat verbruik en de hoeveelheden ijzer, mangaan en zwevende bestanddelen bepaald.

Hieruit blijkt dat de zwevende bestanddelen die hoogstwaarschijnlijk een groot deel van de verstopping hebben veroorzaakt voor ongeveer 1/3 deel uit ijzer- en mangaanhydroxide bestaan en voor slechts ca 1 % uit organische stof.

Voor de overige bestanddelen van de verstopping kan worden gedacht aan colloïdale deeltjes (zand en klei en mogelijk aluminiumhydroxide). De aanwezigheid van mangaan in het verstoppingsmateriaal kan een aanwijzing zijn dat de oorzaak van de verstopping moet worden gezocht in de zwevende deeltjes die in het uitgaande water van het pompstation De Punt vòorkomen.

Proef 2B

Voorafgaand aan de regeneratie op 2 april 1987 werden 8 monsters genomen. De resultaten van de uitgebreide kwaliteitsanalyse zijn in een opeenvolgende tijdreeks in tabel 5 opgenomen. Bij het verloop van de diverse kwaliteitsgrootheden kan het volgende worden opgemerkt. De troebelheid en het ijzergehalte laten een sterke daling zien. Het kaliumpermanganaat verbruik en de DOC zijn licht dalend in de loop van de tijd.

Tabel 5 - Onderzoek verstoppingsmateriaal 2 april 1987 (proef 2B)
monsters genomen na het aangegeven aantal minuten
(in mg/l, tenzij anders aangegeven)

	aantal minuten							
	2½	5	7½	10	15	20	30	60
troebelheid FTE	16,0	6,0	2,2	1,3	0,76	0,61	0,54	0,32
geleiding mS/m 20°	45	50	45	48	44	44	45	45
kalium permang. verbr.	10,4	10,7	9,4	9,1	8,0	8,0	7,8	8,4
DOC	3,2	3,0	2,9	3,0	2,9	2,9	2,6	2,7
tot. fosfaat	0,20	0,13	0,04	0,08	0,05	0,06	0,07	0,09
ijzer	0,50	0,17	0,10	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02
mangaan	0,02	0,05	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01
zwev. bestanddelen	0,02	0,01	<0					
koloniegetal 22°C aantal/ml	140	150	80	15	15	6	7	4
bijgroei aantal/100 ml	>200	>200	>200	152	152	88	76	48

Deze gegevens bevestigen het beeld dat de verstopping door zwevende deeltjes in het infiltratiewater wordt veroorzaakt. De organische stof speelt daarbij een relatief kleine rol.

De waarden van koloniegetal 22°C en bijgroei zouden een indicatie kunnen zijn dat de micro-biologische aspecten niet geheel kunnen worden veronachtzaamd.

5 REGENERATIES

Ten gevolge van de infiltratie ontstaat er vooral op de overgang omstorting-formatie een verstopping door de zwevende bestanddelen

die in het infiltratiewater aanwezig zijn. Regenereren zou kunnen worden omschreven als het doelbewust verwijderen van verstoppingsmateriaal. De methoden waarmee een verstopte infiltratieput kan worden geregenereerd zijn uitgebreid beschreven door Olsthoorn (1982). De recente ervaringen in Nederland zijn gerapporteerd door Mulder en Peters (1987).

De bij de onderhavige infiltratieproeven toegepaste methoden zijn: het afwisselend pompen en infiltreren (mechanisch regenereren) en het inbrengen van chloorbleekloog bij het putfilter (chemisch regenereren).

De methode van afwisselend pompen en infiltreren wordt in cycli van elk ca 5 minuten pompen en ca 5 minuten infiltreren uitgevoerd. Aanvankelijk worden bij de uitvoering van een mechanische regeneratie 5 cycli (elk 2 x 5 minuten) toegepast. Later wordt net zo lang doorgedaan tot een bevredigende eind-troebelheid wordt verkregen.

De chemische regeneratie wordt als volgt uitgevoerd. Rekening houdend met de putdimensies wordt 10 minuten met 20 m³/h geïnfiltreerd, terwijl chloorbleekloog aan het infiltratiewater wordt toegevoegd. Gestreefd wordt in het putfilter een concentratie van 100 mg/l Cl₂ te realiseren. Bij de uitvoering op 12 mei 1987 is dit waarschijnlijk royaal overschreden. Het chloor blijft 3 dagen in het filter aanwezig. Gedurende deze periode is het water 2 maal in beweging gebracht door zeer kort te infiltreren. In tabel 6 worden de uitgevoerde regeneraties vermeld. Tevens zijn hierbij de rendementen vanaf het filter tot in de formatie respectievelijk alleen de boorgatwand opgenomen.

Tabel 6 - Overzicht van regeneratiegegevens

proef periode	datum	wijze	% rendement R_s/R_p
2A (27/3/84-13/12/84)	25/9/84	mechanisch	87/88
2B (3/12/86-29/6/87)	2/4/87	mechanisch	96/91
	12-15/5/87	chemisch	103/84
	2/6/87	mechanisch	

Met de regeneratie wordt de verstopping niet volledig verwijderd. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de blijvende verstopping zowel van de verstopping vanaf het filter tot in de formatie (s) als van de verstopping die alleen bij de boorgatwand (p) aanwezig is. De verstopping wordt uitgedrukt als weerstand in $m/(m^3/h)$.

	Ws	Wp
begin proef 1A	0,0301	0,0125
begin proef 1B	0,0384	0,0133
begin proef 2A	0,0487	0,0155
begin proef 2B	0,0404	0,0159

Het rendement van een regeneratie wordt als volgt berekend.

Wo = weerstand bij het begin van de aaneengesloten infiltratieperiode in $m/(m^3/h)$

We = weerstand aan het einde van de aaneengesloten infiltratieperiode (weerstand voor de regeneratie)

Wn = weerstand na de regeneratie

R = rendement (verwijderingspercentage)

$$R = \frac{We - Wn}{We - Wo} \times 100 \%$$

De resultaten zijn in tabel 6 bij het overzicht van de regeneraties opgenomen.

6 EVALUATIE

Op grond van theoretische overwegingen, waarbij een lineair verstoppingsverloop geldt, mag een kwadratisch verband tussen volumestroom en verstoppingsnelheid worden verwacht (Olsthoorn 1982, blz. 3.39 en blz. 3.47). Hoewel uit de betreffende grafieken blijkt dat het verstoppingsverloop van de proeven niet-lineair is, zijn in tabel 1 de gemiddelde verstoppingsnelheden vermeld. Ondanks het niet-lineaire verloop wordt het volgende becijferd. De gemiddelde waarden van proef 1A worden daarbij als referentie genomen (tabel 1).

De gemiddelde volumestroom van proef 2A is 2,18 x die van proef 1A. De gemiddelde verstoppingsnelheid is 8,36 x die van proef 1A. De exponent wordt zodoende op 2,7 vastgesteld.

Voor proef 2B wordt op dezelfde wijze een exponent van 3,1 gevonden.

Op grond van het uitgevoerde onderzoek moet worden opgemerkt dat infiltratie rechtstreeks uit het leidingnet op de thans uitgevoerde wijze, vanwege de te verwachten verstopping door gasbelletjes in het infiltratiewater, moeizaam is en geen aanbeveling verdient.

Als een mogelijke tegenmaatregel kan nog worden genoemd het regelen van het debiet op grotere diepte in de stijgbuis. Gedacht zou kunnen worden aan een verplaatsbare zuiger in een geperforeerd gedeelte van de infiltratieleiding (Steinmetz en Schuurmans, 1984) of aan het aanbrengen van een flowbegrenzer (caliberplaat). Tevens zou een afzonderlijke of gecombineerde toepassing met een zeer lange (verticale) infiltratieleiding in de stijgbuis kunnen worden overwogen. Met dit verticale, verwisselbare gedeelte van de infiltratieleiding kan een groot wrijvingsverlies worden bereikt (diameter, lengte, ruwheid).

Een poging gasbelletjes te verwijderen door na de functionele afsluiter een verbreding in de infiltratieleiding aan te brengen zodat de belletjes kunnen opstijgen, wordt niet als veelbelovend beschouwd.

Tenslotte moet worden vermeld dat het eventuele effect van de onderwaterpomp op het ontstaan van gasbelletjes niet is onderzocht.

7 LITERATUUR

BENNEKOM, C.A. Van (1987). Kwaliteitsveranderingen van grondwater als gevolg van uitspoeling van meststoffen, *H₂O* 1987, nr. 9, blz. 194.

KIEFT, J.W. (1980). Beschrijving van het infiltratieproject op het pompstation Haren, GWG rapport.

KIEFT, J.W. (1983). Het infiltratieproject bij het pompstation Haren deel II, resultaten van het verstoppingsonderzoek, GWG rapport.

MULDER, M.A.A. & PETERS, J.H. (1987). Ervaringen met regeneratie van infiltratieputten in Nederland, KIWA rapport SWE 87.016.

OLSTHOORN, T.N. (1982). Verstopping van persputten, KIWA mededeling nr. 71.

PETERS, J.H. (1984). Ervaringen met diepinfiltratie in Nederland, KIWA mededeling nr. 79.

STEINMETZ, J.J. & SCHUURMANS, R.A. (1984). Diepinfiltratie in de duinwaterwinplaats van gemeentewaterleidingen. Rapport Gemeentewaterleidingen Amsterdam.

STUYFZAND, P.J. (1986). Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen, met Nederlandse voorbeelden van toepassing, H₂O nr. 23, blz. 563.

Groningen
juli 1988

INFILTRATIE- EN ONTTREKKINGSPROEVEN MET DE AIP-PUT TE CASTRICUM

A. Stakelbeek

PWN, Bloemendaal

1 DOEL VAN DE PROEVEN

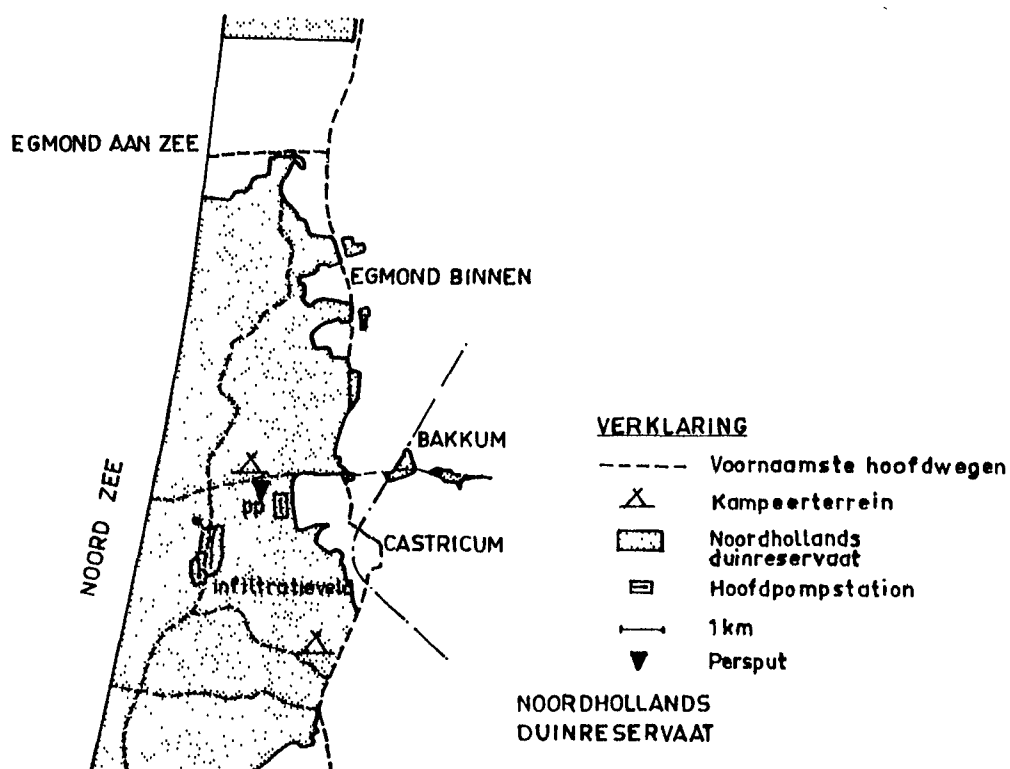
Begin 1988 is het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland begonnen met de bouw van een diepinfiltratiesysteem in het Noord-Hollands Duinreservaat nabij Castricum (het Watervlak). Bij dit diepinfiltratiesysteem vindt injectie en onttrekking van zoet water ongeveer 10 en 25 meter boven de brakwaterzone plaats. Tussen het zoete en brakke grondwater bevindt zich een dunne sliblaag. Met name ingeval van calamiteiten, waarbij de infiltratie gedurende enige tijd kan stagneren en de winning voortgezet wordt, is het van belang inzicht te hebben in de beweging van de brakwaterzone. Hierdoor kan onder meer een beeld verkregen worden van de winbare hoeveelheid drinkwater bij onderbroken infiltratie.

Het PWN heeft ten behoeve van het onderzoek naar brakwatervorming onder winputten in de periode 1975-1976 en 1983-1987 een aantal infiltratie- en onttrekkingsproeven uitgevoerd. Tijdens deze proeven, welke zijn uitgevoerd in de nabijheid van het toekomstige diepinfiltratieproject DWAT, zijn de bewegingen van de brakwaterzone met behulp van zoutwachterkabels bestudeerd. Voor de infiltratieproeven in de periode 1975-1976 wordt verwezen naar Olsthoorn (1977). In dit rapport wordt ingegaan op de resultaten van de proeven die in de periode 1983-1987 gehouden zijn.

2 OPZET VAN DE PROEVEN

2.1 Algemeen

Bij de proeven is gebruik gemaakt van de in 1975 gebouwde Andijk water-infiltratieput (AIP, figuur 1) en een waarnemingsput welke zich op 8,1 meter afstand van deze put bevindt.



Figuur 1 - Ligging van de AIP-put en de waarnemingsput in het Noord-hollands Duinreservaat nabij Castricum.

Met de putten zijn in de periode 1975-1976 infiltratieproeven uitgevoerd. Hierbij is, uitgaande van de natuurlijke situatie, door middel van infiltratie de brakwaterzone weggedrukt. De resultaten van deze proeven zijn beschreven in een KIWA-rapport (Olsthoorn, 1977).

De bovenzijde van de brakwaterzone bevindt zich ter plaatse van de infiltratie- en waarnemingsput onder een sliblaag op ongeveer 100 m-NAP.

De diepte van de pompput (fig. 2) bedraagt 91 m-NAP. Deze put,

waarvan de diameter 0,8 m bedraagt, beschikt over 2 pompfilters tot op respectievelijk 60 en 90 m-NAP. Bij de infiltratie- en onttrekkingsproeven is steeds gebruik gemaakt van het onderste filter. In de put bevindt zich 1 zoutwachterkabel. Deze is in het filter geplaatst. De kabel bleek niet goed bruikbaar bij het uitwerken van de resultaten. De waarnemingsput, welke zich op 8,1 m van deze pompput bevindt, beschikt over 7 waarnemingsfilters welke zich tussen de 7 en 134 m-NAP bevinden. In deze put bevinden zich 2 waarnemingskabels. De elektrodenparen van deze kabels bevinden zich tussen 50 en 134 m-NAP (fig 2). Voor een beschrijving van de geofysische metingen wordt verwezen naar Olsthoorn (1977).

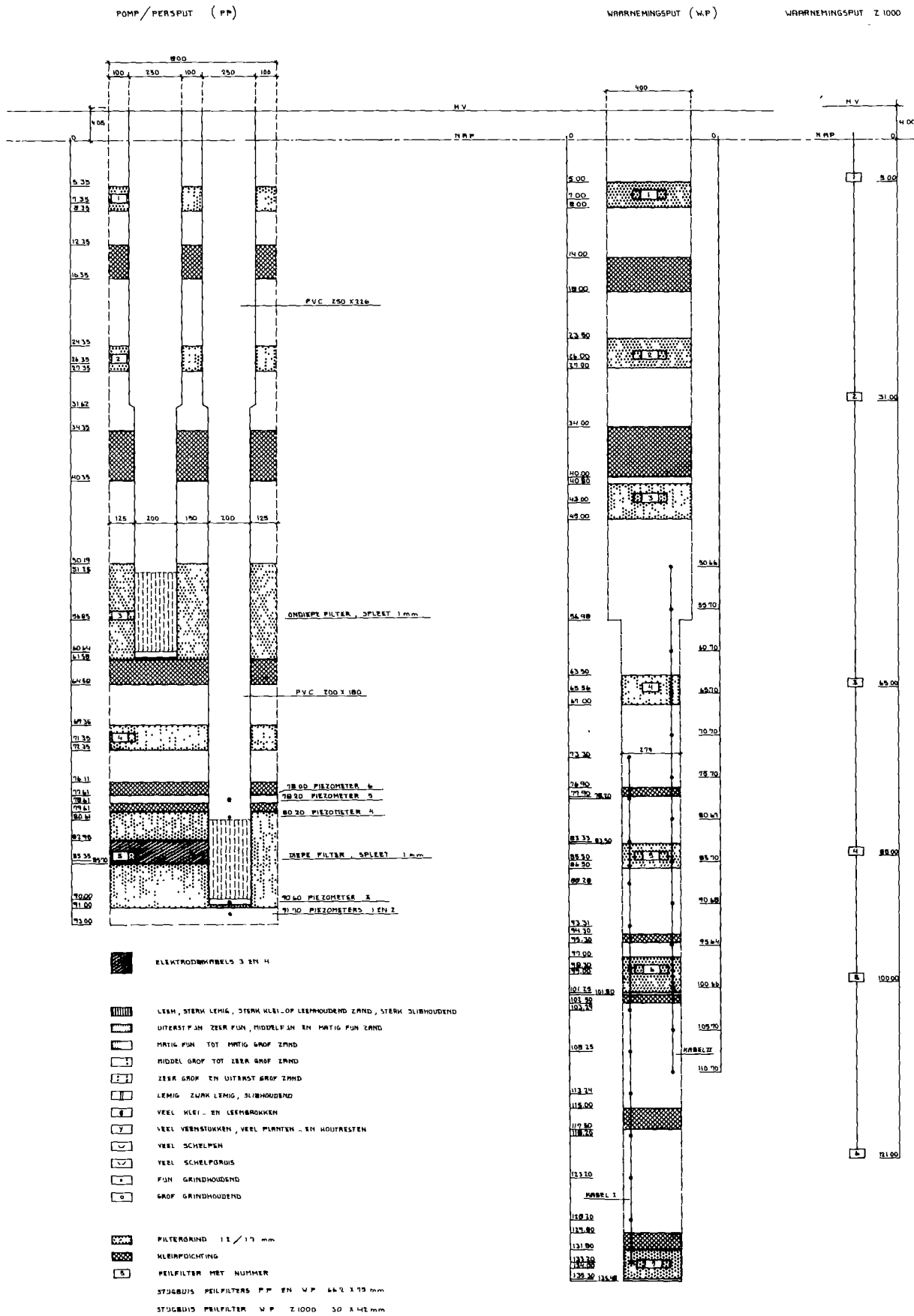
2.2 De onttrekkingsproef van 1983

Deze proef is uitgevoerd in de periode van 28 juli 1983 tot 5 december 1983. Gedurende de proefperiode is, zonder onderbreking, met een nagenoeg constante volumestroom 15 m³/uur onttrokken. Gedurende de proef zijn de weerstanden in de zoutwachterkabels in zowel de pompput als de waarnemingsput gemeten. Deze metingen zijn gedurende de eerste 3 weken van de proef dagelijks en vervolgens met intervallen van 2-4 dagen verricht. Naast metingen aan de zoutwachterkabels zijn ook het chloride-gehalte, de temperatuur, de geleidbaarheid van het onttrokken water en de stijghoogte in de verschillende filters gemeten.

Uitwerking van de meetgegevens geeft inzicht in de snelheid waarmee de brakwaterzone tijdens de onttrekkingsproef omhoog is gekomen (Hfdst 3). Tijdens de onttrekkingsproef is in totaal 47.253 m³ water onttrokken.

2.3 De stopproef van 1983-1984

De stopproef is aansluitend op de onttrekkingsproef uitgevoerd. Tijdens de proefperiode is, na beëindiging van de onttrekking, gedurende 1 jaar doorgegaan met het meten van de weerstanden in de zoutwachterkabels. De metingen zijn gedurende de eerste 5 maanden om de 3 dagen en gedurende de laatste 7 maanden om de 7 dagen uitgevoerd. Deze metingen geven een indruk van de snelheid van het 'uitzakken' of afstromen van de opgetrokken brakwaterkegel (Hfdst 3).



Figuur 2 - Infiltratie- en waarnemingsput met zoutwachterkabels.

2.4 De infiltratieproef van 1987

Nadat in de periode 1983-1984 proeven zijn verricht met als doel het omhoogtrekken van de brakwaterzone te onderzoeken, is in 1987 onderzoek verricht in hoeverre deze opgetrokken brakwaterkegel door middel van infiltratie weer weggedrukt kon worden. Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden, dat na beëindiging van de onttrekkingsproef in 1983 de brakwaterkegel al op natuurlijke wijze (zwaartekracht) is uitgezakt of zich onder invloed van de natuurlijke stroming heeft verplaatst. Gedurende de proefperiode van 14 mei 1987 tot 1 september 1987 is nagenoeg continu 22 m³/uur drinkwater geïnjecteerd. De metingen aan de zoutwachterkabels in de waarnemingsput hebben gedurende de eerste maand om de 4 dagen en vervolgens wekelijks plaatsgevonden. Naast metingen aan zoutwachterkabels zijn met dezelfde frequentie de stijghoogtes van het grondwater in de diverse peilfilters in de waarnemingsput gemeten. In hoofdstuk 3 zijn deze metingen uitgewerkt. Zij geven een indruk van de snelheid waarmee de brakwaterzone door overinjectie weggedrukt kan worden.

De totaal geïnfiltreerde hoeveelheid water bedraagt 58.512 m³.

2.5 Overige proeven

Na de periode van ongeveer 4 maanden, waarin nagenoeg continu 22 m³/uur is geïnjecteerd, zijn de metingen met een frequentie van 1 keer per week voortgezet. Dit geldt zowel voor de zoutwachter- als voor de stijghoogtemetingen. Deze stopproef is ongeveer 2 maanden doorgevoerd.

Bij het toekomstige diepinfiltratieproject DWAT bevinden de filters van de winputten zich ongeveer 25 m boven de brakwaterzone. Daar de AIP-put ook over een filter op 40 m boven de brakwaterzone beschikt (fig 2), zou een onttrekkingsproef met dit filter bruikbare informatie voor de bedrijfsvoering van het toekomstige DWAT-project kunnen opleveren. Derhalve is dan ook besloten om vanaf november 1987 (waarmee dus de stopproef beëindigd wordt) uit het bovenste filter van de AIP-put met een volumestroom van 45 m³/uur (gelijk aan het volumestroom van de winputten van het toekomstige DWAT-project) te onttrekken.

Over deze proef zal, tezamen met de eind 1987 gehouden stopproef, in een later stadium gerapporteerd worden.

3 INTERPRETATIE VAN DE MEETRESULTATEN

Om de weerstandsmetingen aan de zoutwachterkabels om te werken naar chloride-concentraties, is ijking van de zoutwachterkabels vereist. Deze ijking resulteert in een zogenaamde ijkgrafiek.

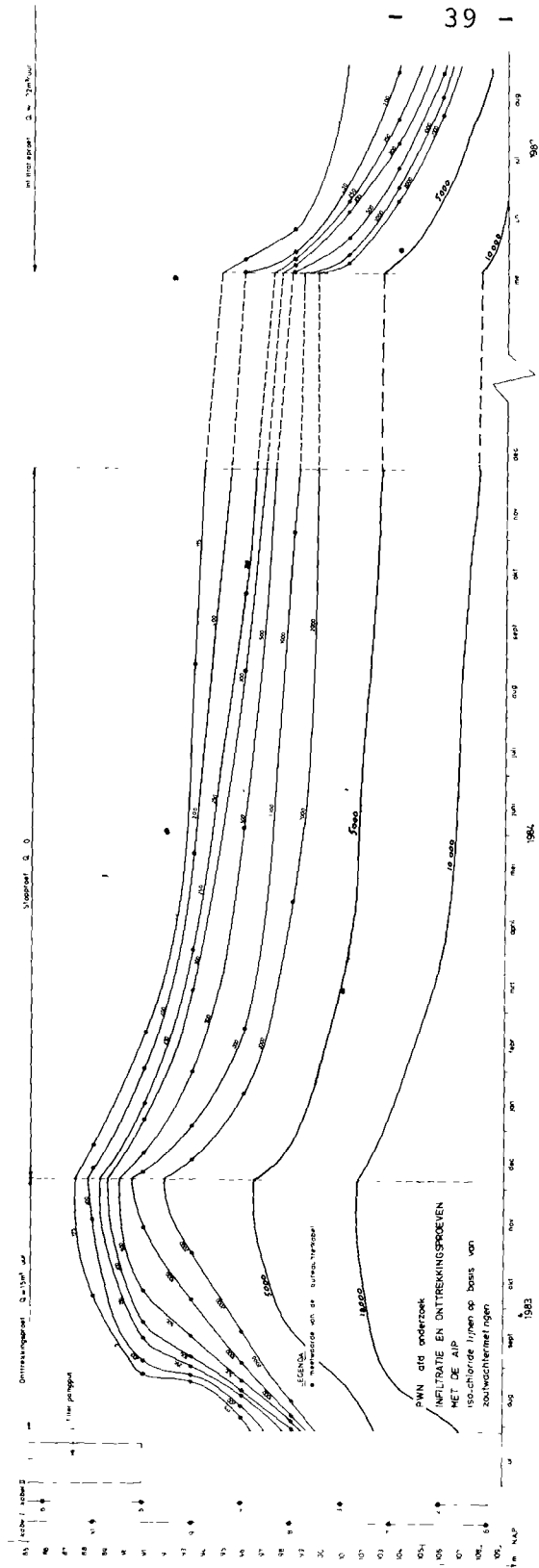
De meetresultaten zijn met behulp van de ijkgrafiek omgerekend van weerstanden naar chloride-concentraties. Gebruikmakend van de versprongen ligging van de beide zoutwachterkabels in de waarnemingsput, is de beweging van de brakwaterzone gedurende de proefperiodes te volgen (fig 3).

Het blijkt dat tijdens de onttrekkingsproef van 1983, de bovenzijde van de brakwaterzone in ca. anderhalve maand tot de hoogte van het onttrekkingsfilter (91 m-NAP) opgetrokken wordt. Nadat de brakwaterzone het onttrekkingsfilter heeft bereikt, vindt de optrekking met een lagere snelheid plaats.

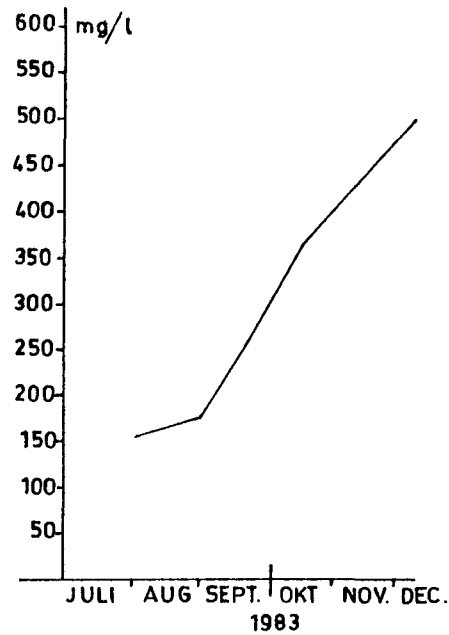
Daar in een opgetrokken brak- c.q. zoutwaterkegel de verticale snelheidscomponent in het zoute water lager is dan in het brakke water, zal de onttrekking uiteindelijk moeten resulteren in een vergroting van de brakwaterzone. De nauwkeurigheid waarmee de metingen echter verricht worden, wordt met name bepaald door de afstand tussen de elektroden van de elektrodenparen. Gelet op de onderlinge verschuiving van de zoutwachterkabels, bedraagt de afstand tussen de elektrodenparen 2,5 m. Gezien deze afstand is een onnauwkeurigheid in de interpretatie van 1 m wel mogelijk. Een relatief kleine toename van de dikte van de brakwaterzone valt binnen deze marge. Op grond van de meetresultaten zijn dan ook geen conclusies te trekken omtrent het groter worden van de brakwaterzone tijdens de onttrekkingsproef.

Daar de elektrodenparen van de zoutwachterkabel in de pompput zich in het pompfilter bevinden, kan met deze elektrodenparen slechts het chloride-gehalte van het mengwater bepaald worden. Het is daarom niet mogelijk om met behulp van de waarnemingsresultaten van de zoutwachterkabel in de pompput een beeld te geven van de beweging van de brakwaterzone.

In fig 4 is het verloop van het chloride-gehalte van het opgepompte water gedurende de onttrekkingsproef weergegeven.



Figuur 3 - Beweging van de brakwaterzone tijdens de proefperiode ter plaatse van een waarnemingsput op 8 meter van de AIP.



Figuur 4 - Verloop van het chloride-gehalte van het onttrokken water gedurende de onttrekkingsproef.

Uit figuur 3 blijkt aan het einde van de onttrekkingsproef een gemiddelde toename van het chloride-gehalte van ongeveer 500 mg/l over 2,5 meter van het putfilter (een kwart deel). Dit zou een toename van het chloride-gehalte in het onttrokken water van ca. 125 mg/l betekenen. Uit figuur 4 blijkt deze toename aanmerkelijk hoger, waaruit geconcludeerd kan worden dat de upconing ter plaatse van het putfilter sterker optreedt dan op enige afstand van de pompput.

Op grond van de meetresultaten van de uitgevoerde stopproef lijkt het erop dat de door de grondwateronttrekking opgetrokken brakwaterzone meer dan 1 jaar nodig heeft om weer terug te zakken tot de oorspronkelijke toestand, zoals voor de onttrekkingsproef. Theoretisch zal het deel van de brakwaterzone met een relatief hoge chloride-concentratie, bijvoorbeeld 1000 mg/l, sneller uitzakken dan de bovenzijde van de brakwaterzone, waarvan de chloride-concentratie lager is.

Dit wordt echter niet door de metingen bevestigd. Een verklaring hiervoor is dat er mogelijk geen sprake is van verticale uitzakking maar van horizontale verplaatsing van de brakwaterzone onder invloed van de natuurlijke stroming (zie 'Boogkanaal-studie', Kooiman et al, 1986). Dit effect had zichtbaar gemaakt kunnen wor-

den indien op verschillende lokaties rond de pompput zoutwachtermetingen uitgevoerd zouden zijn.

Gedurende de infiltratieproef van mei-september 1987 wordt de brakwaterzone, aan de bovenzijde begrensd gedacht door de 250 mg/l isochloridelijn, in 3,5 maanden 7 m weggedrukt. Het totaal geïnfiltreerde volume bedraagt 58.512 m³. Dit is ca. 20% meer dan het volume dat tijdens de 4,5 maand durende onttrekkingsproef van 1983 is onttrokken. Desondanks wordt de brakwaterzone minder snel weggedrukt. De reden dat de brakwaterzone bij infiltratie zich minder snel verplaatst dan bij onttrekking, moet gezocht worden in de onvolkomenheid van de put. Bij infiltratie wordt de afstand tussen het infiltratiefilter en de brakwaterzone namelijk steeds groter, hetgeen de verticale snelheid asymptotisch doet afnemen. Bij optrekking daarentegen wordt de verticale snelheid door de kleiner wordende afstand tot het onttrekkingsfilter steeds groter.

Gezien de nauwkeurigheid van de metingen is er op grond van de proefresultaten geen uitspraak te doen omtrent het vergroten of verkleinen van de brakwaterzone ten gevolge van de onttrekkings- of infiltratieproeven.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Het filter van waaruit gedurende de onttrekkingsproef onttrokken is, bevindt zich bij het begin van de onttrekking ongeveer 10 m boven de brakwaterzone. Bij een onttrekking van 15 m³/uur, bereikt de brakwaterzone al na enkele weken het putfilter. Bij de toekomstige diepinfiltratieproject DWAT bevinden de filters van de winputten zich ongeveer 25 m boven de brakwaterzone (Eem J.P. van der en Peters J.H, 1986).

Aangezien de snelheid van optrekken voor een groot deel bepaald blijkt te worden door de mate van onvolkomenheid van de winput, is een juiste extrapolatie van de proefresultaten naar het toekomstige diepinfiltratieproject alleen mogelijk met behulp van rekenmodellen.

De meetresultaten van de hier beschreven infiltratie- en onttrekkingsproeven kunnen dan ter kalibratie van het rekenmodel dienen. Ook de huidige onttrekkingsproeven aan het bovenste filter van de put kunnen voor dit doel belangrijke informatie opleveren.

Het rekenmodel kan tevens meer inzicht verschaffen in de mate waarin het optrekken van brak en zout water ter plaatse van de pompput ten opzichte van die ter plaatse van de waarnemingsput.

Wat wel op grond van de meetresultaten te concluderen is, is dat, indien de brakwaterzone eenmaal tot de winputten is opgetrokken, het een relatief lange tijd duurt alvorens de brakwaterwig weer is uitgezakt of afgestroomd.

Op grond van de proefresultaten zijn nauwelijks conclusies te trekken omtrent het aangroeien van de brakwaterzone ten gevolge van verschillen in verticale snelheid tussen grondwater met verschillende dichtheden. Indien men dit wil onderzoeken dienen zoutwachterkabels met kleinere elektrodenafstanden of meer kabels per boorgat gebruikt te worden.

Het is verder van belang om informatie te krijgen of het afnemen van het zoutgehalte bij een winput na beëindiging van de onttrekking het gevolg is van uitzakken of van horizontale verplaatsing van de brakwaterzone. In het laatste geval betekent dit dat het lokaal optrekken van de brakwaterzone in een later stadium bij andere winputten verbrakking kan veroorzaken, waardoor de problemen letterlijk verschuiven.

Of het laatste effect zich inderdaad voordoet, kan pas duidelijk worden indien er gemeten wordt met zoutwachterkabels in verschillende putten. Een afname van het chloridegehalte in de onttrekkingsput moet dan een toename van het chloridegehalte in een meer stroomafwaarts gelegen put te zien geven.

5 LITERATUUR

- Eem J.P. van der, Peters J.H. (1986), Geohydrologische aspecten diepinfiltratie Watervlak, deelrapport 4.2, Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland, Bloemendaal.

- Olsthoorn T.N. (1977), Hydrologie van de persput te Castricum, KIWA N.V., Rijswijk.
- Walter F. (1976), Geophysical well logging for geohydrological purposes in unconsolidated formations TNO-DGV.
- Kooiman J.W., Eem J.P. van der, Peters J.H., Upconing of brackish and salt water in the dune area of Amsterdam, Waterworks and modelling with the Konikow-Bredehoeft Program, Bijdrage 9e SWIM, 1986.

DIEPINFILTRATIE IN DE DUINWATERWINPLAATS

R.A. Schuurmans en J.J. Steinmetz

Gemeentewaterleidingen, Amsterdam

1 INLEIDING

In mededeling 79 van het KIWA, getiteld "Ervaringen met diepinfiltratie" (pag 183-206), is verslag gedaan van de ervaringen met de diepe infiltratieput van Gemeentewaterleidingen (GW) in de jaren 1981-1983. Aldaar werden de locatie-keuze en technische inrichting van de installatie vastgelegd. Hier zullen de verschillende ervaringen uit de periode 1984-1987 worden beschreven, zowel wat de technische componenten betreft als wat de resultaten van metingen in de jaren 1984-1987 aangaat.

De infiltratieput heeft in de te beschrijven 4-jarige periode geruime tijd stil gestaan. Daarvoor zijn twee oorzaken aan te wijzen. Zoals uit de gegevens zal blijken deden zich, ondanks de conditionering van het ingaande water door middel van drains, in de zomer van 1985 toch weer ernstige verstoppingsverschijnselen voor. Het lopend houden van het proces vergt in zo'n situatie de dagelijkse inzet van deskundig personeel. Daarover kon gedurende die zomer onvoldoende worden beschikt, vandaar dat begin juli 1985 de infiltratie gestaakt werd.

Nagegaan werd of het experiment zou worden voortgezet, met name omdat de slechte werking van de drains onder bepaalde omstandigheden infiltratie vrijwel onmogelijk maakte. De put zélf heeft overigens daar niet onder geleden, steeds kon betrekkelijk eenvoudig vrijwel de oorspronkelijke weerstand worden herkreten. Het besluit om door te gaan werd om de volgende redenen genomen:

- a. De eerste doelstelling, namelijk studie van de verspreiding van het geïnfiltreerde zoete rivierwater in een zoute omgeving, was zeker nog niet geheel gerealiseerd.
- b. Pas één jaar eerder, in juni 1984, waren twee nieuwe waarnemingsputten op 250 en 260 m afstand van de persput geïnstalleerd. De brakke zone was daarin fraai waarneembaar.

c. Bestonden er twijfels aan de werking van het drainsysteem in sommige omstandigheden, zeker was dat de methode het grootste deel van het jaar uitstekend functioneert. Waar de feitelijke oorzaak van het incidenteel falen ligt was niet duidelijk. En alvorens dit systeem te abandonneren was het wel gewenst zekerheid te hebben over deze oorzaak.

Op grond daarvan is besloten de proef opnieuw te starten en daarbij bijzondere aandacht aan de conditionering van het te infiltreren water te besteden. Overigens was dat reeds de tweede doelstelling van het project, maar intensievere waarneming van kwaliteitsparameters bleek nodig te zijn. Daarvoor werd een geheel nieuw drain-systeem met meetopstellingen aangelegd.

De overige drie doelstellingen bleven dezelfde, namelijk ervaring opdoen met het verwijderen van optredende verstoppingen, het bedienen van een geautomatiseerd systeem en tenslotte het uittesten van allerlei technische onderdelen en methoden.

2 TECHNISCHE INSTALLATIE

De proefopstelling bestaat uit vier hoofdonderdelen, te weten:

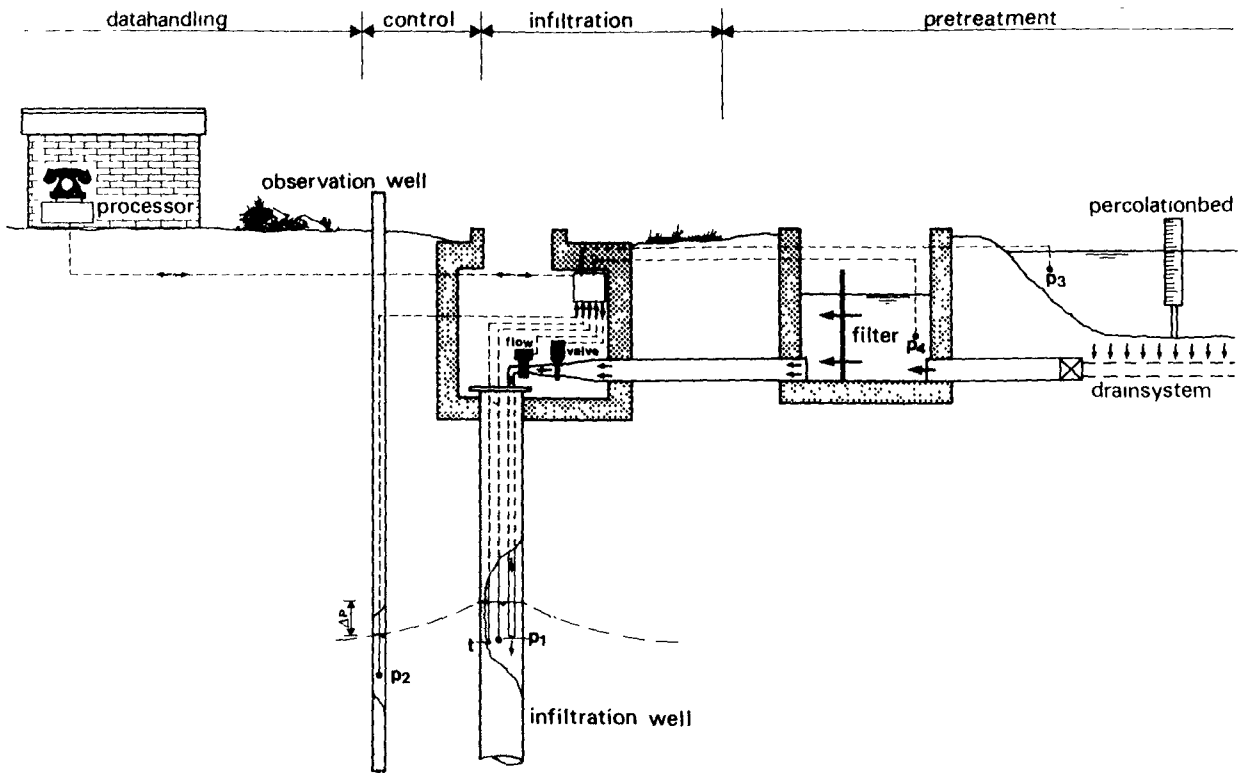
- a. de drains voor de conditionering van het water
- b. de infiltratieput
- c. de geautomatiseerde sturing en de gegevensregistratie
- d. de waarnemingsputten

In figuur 1 zijn deze componenten nog eens aangegeven.

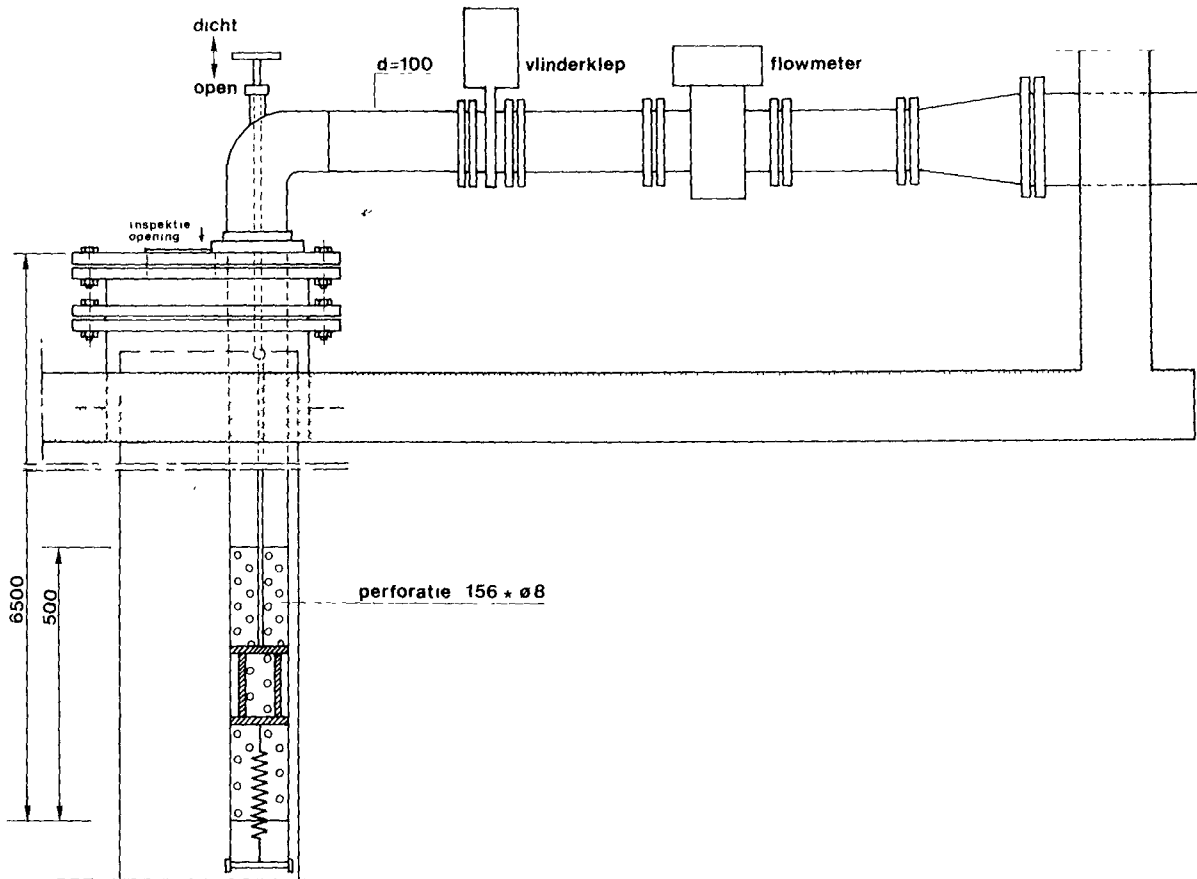
De nieuwe drains met meetopstelling zullen in paragraaf 3 uitgebreid aan de orde worden gesteld.

2.1 De infiltratieput

Op 5 maart 1984 werd een nieuwe kopconstructie aangebracht (zie figuur 2). De wrijvingsverliezen, die in de oude constructie optraden, werden geheel weggenomen en alleen bij de uitmonding van de infiltratieleiding in de put treedt een beheersbare drukval op. Door een zuiger in de infiltratieleiding kan het debiet zeer nauw-



Figuur 1 - Proefopstelling infiltratieput 2



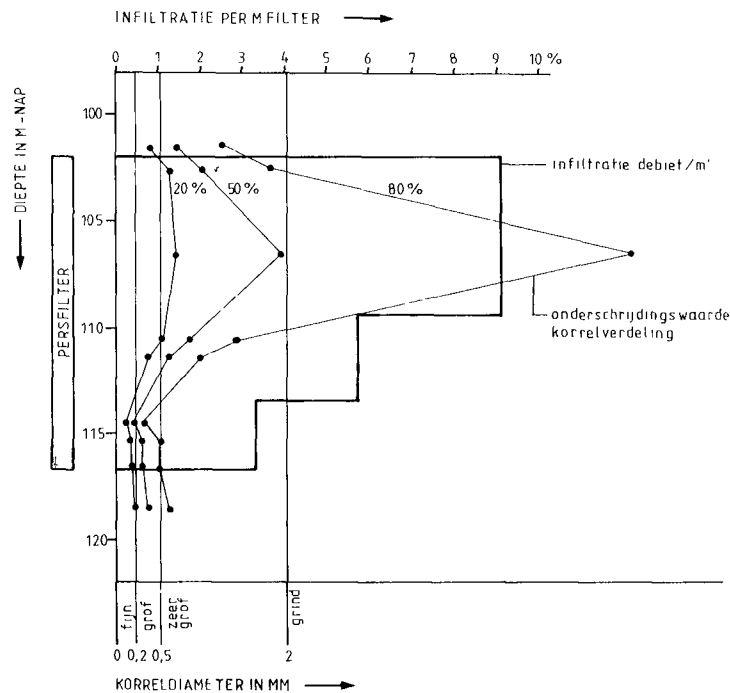
Figuur 2 - Gewijzigde kopconstructie met infiltratieleiding (maten in mm)

keurig worden geregeld tussen 20 en 60 m³/h.

Tijdens de ombouw werd de vlinkerklep en de flowmeter van plaats verwisseld waardoor de volumestroommeting bij geknepen klep verbeterde. Ook werd de retourpompinstallatie verwijderd om ruimte te scheppen voor de kleurencamera van de TV-inspecties (zie paragraaf 5.2). Vanwege de geringe terugpompfrequentie is een permanente opstelling niet nodig.

De derde run startte op 5 maart 1984 met een debiet van 40 m³/h. Het drainsysteem, feitelijk ontworpen voor 30 m³/h, kon niet meer leveren. Proeven, waarbij de voorraad in de opvangbak na de drains werd benut, bewezen dat de infiltratieput 60 m³/h gemakkelijk met het beschikbare vrije verval kon opnemen.

Op 19 juli 1984 werd een flowmeting in de persput uitgevoerd door Dienst Grondwaterverkenning van TNO (zie fig 3). De debietverdeling blijkt een duidelijke relatie te hebben met de korrelverdeling van het zand in het watervoerende pakket, hetgeen ook op een



Figuur 3 - Flowmeting in relatie met de korrelverdeling

goede relatie met de doorlatendheid wijst. Interessant is ook dat TV-inspecties leren dat in het filterdeel met hoge debieten ook de aangroei veel sterker is dan elders (zie par 5.2).

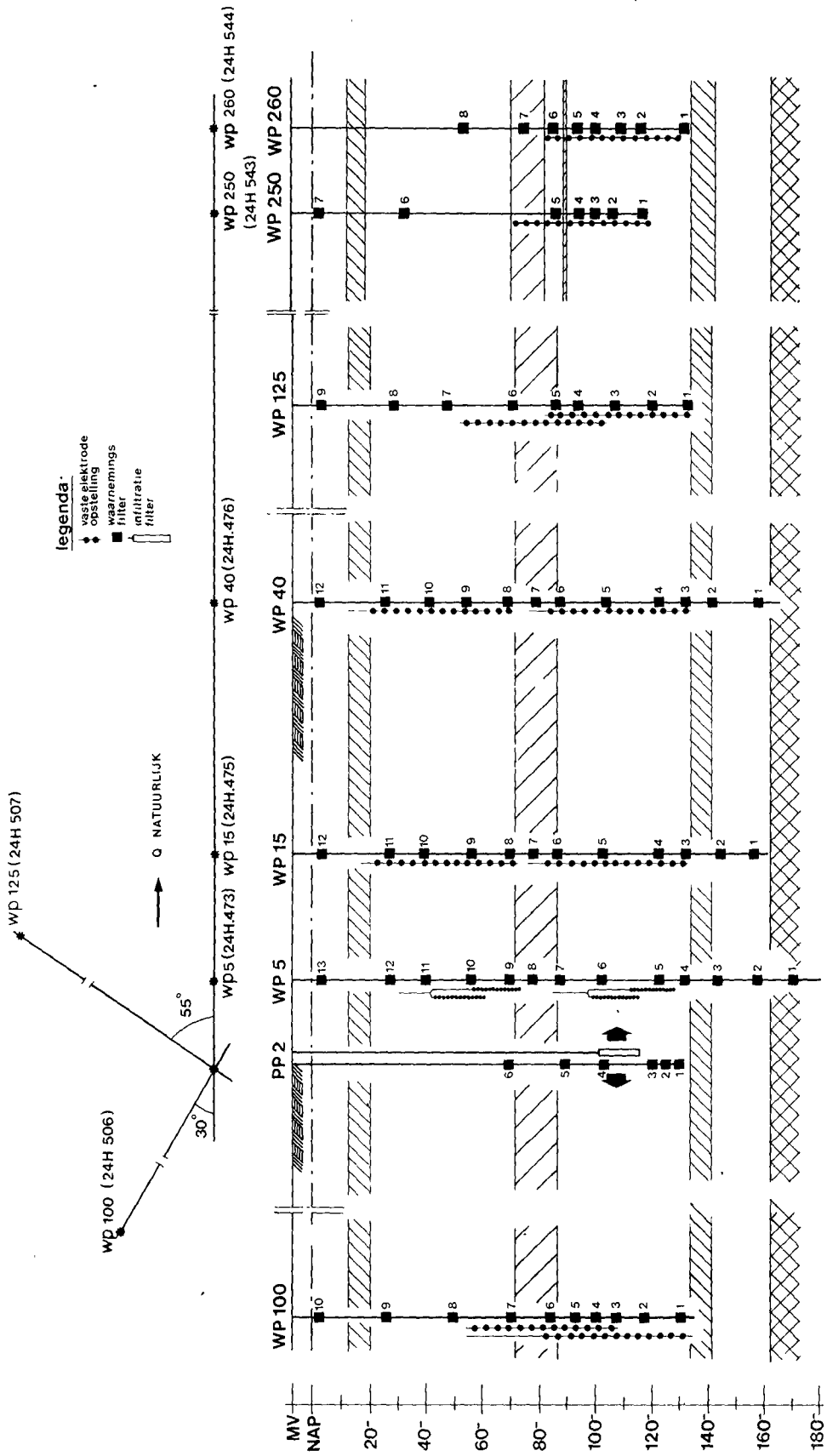
2.2 Geautomatiseerd meet- en regelsysteem

Aan het geautomatiseerde meet- en regelsysteem zijn geen wezenlijke veranderingen aangebracht. Het systeem functioneert goed en vraagt in het algemeen weinig onderhoud. Twee onderdelen vroegen de aandacht. De elektroden voor kwaliteitsmetingen (zuurstof en EGV) hadden veel zorg nodig vanwege vervuiling en zijn uit bedrijf genomen. De drukopnemers hadden vaak storingen door blikseminslag en lekkages. De laatste problemen lijken verholpen, het eerste door een centraal geaard systeem van zowel stalen mantels rond de kabels als van het huis van de drukopnemers, het tweede door voor de drukkamer van de opnemer een extra, met olie gevuld, huis aan te brengen.

2.3 Waarnemingsputten

In december 1984 zijn twee nieuwe waarnemingsputten (24H.543 en 24H.544) op 250 en 260 m afstand van de persput geboord (zie fig 4). Behalve dat gecontroleerd moest worden hoe de tong van brakwater en het zoete water op die afstand doorkwamen, zou de dubbele opstelling, op korte afstand van elkaar, mogelijk extra informatie over, met name de omvang van het brakke water kunnen geven. Beide putten zijn van veel peilfilters voorzien en van een geohmkabel (zoutwaterwachters).

Vooraf was getracht te berekenen op welk tijdstip de putten op die afstand gereed moesten zijn. Uit de meetresultaten blijkt dat ondanks de in acht genomen marge, de putten ternauwernood op tijd operationeel waren.



Figuur 4 - Schematische geohydrologische doorsnede

3 HET CONDITIONERINGSSYSTEEM

Vanaf december 1983 bestond het drainsysteem voor conditionering van het te infiltreren water uit twee maal 75 m, \emptyset 15 cm, HPE (Polvom-siroplast NM 150). De buis was omwikkeld met een ladder-vrije kous, nylon, maaswijdte 120 μ m. Het cunet van de drain was opgevuld met schoon zand. Tot januari 1985 werd geen opbrengstvermindering geconstateerd. Daarna ontstonden problemen met loskomende vlokken. Door het debiet naar 30 m³/h terug te brengen werd het proces gaande gehouden. Toch begon in april de weerstand van de infiltratieput op te lopen en in mei traden duidelijk moeilijkheden op door de verslechterde werking van het conditioneringssysteem.

Uit de drains kwamen grote vlokken bruin/rood materiaal. Deze vlokken bevatten volgens onderzoek door het laboratorium van GW, naast dood organisch materiaal, slechts weinig algen maar veel lange slierten, die doorgaans tot kluwens of bundels waren samengebald. De losse slierten waren vaak beweeglijk (kruipen). Na oxidatie met waterstofperoxyde vielen de vlokken uit elkaar en bleven lege schachten over. Het materiaal bleek zeer veel ijzer te bevatten. Kennelijk vond ophoping plaats van ijzer in het materiaal. Determinatie van de slierten liet zien dat deze uit draadvormige (schedeformende) micro-organismen bestonden van de orde van de Chlamydobacteriales. Door de aangroei van deze draadvormige organismen aan de wanden van de drains ontstond een dikke laag. Na verloop van tijd zou een deel hiervan afsterven en loslaten hetgeen de vlokken verklaart (overigens, ook de wanden van de potjes waarin het materiaal bewaard werd, raakten na enige tijd begroeid met een dun bruin laagje). Van de microscopische waarnemingen zijn foto's gemaakt (zie foto's 1 en 2).

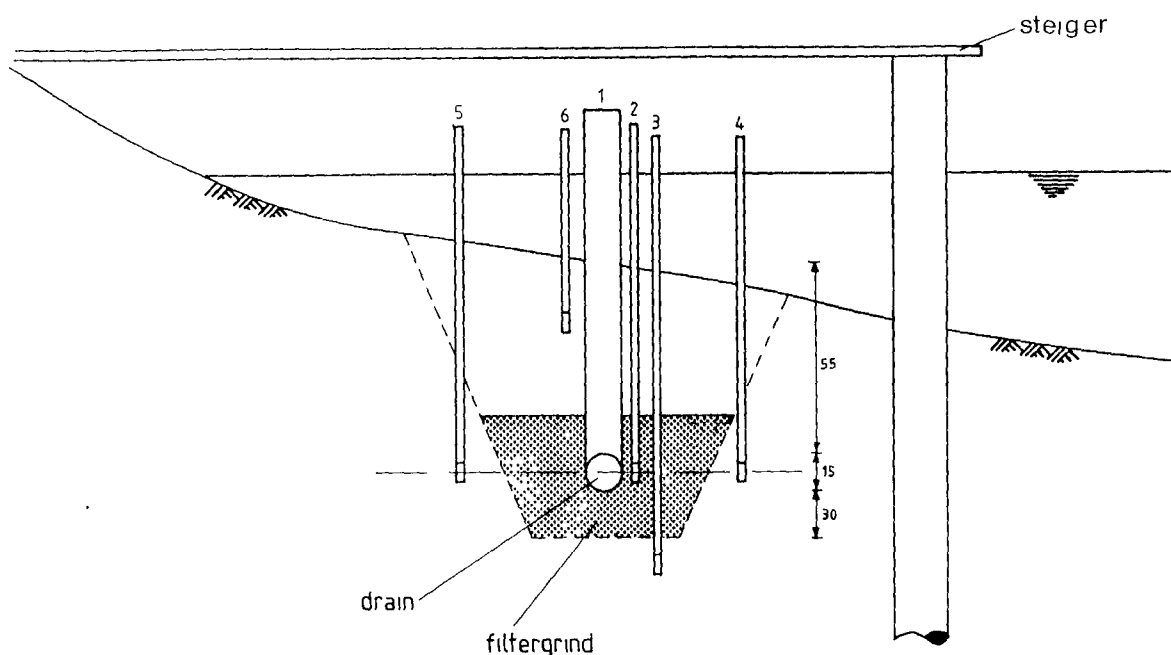
Uit de gegevens voor en na drainpassage bleek dat er enige denitrificatie plaats vond, hetgeen duidt op gedeeltelijke anaerobie.

Tabel 1 - Concentraties in mg/l

	NO ₂	NO ₃	NH ₄	Fe
geul	0,16	10,7	0,05	0,12
infiltraat	0,06	9,8	0,05	0,08

Gepoogd is ook de drains (door middel van een hogedruk-spuit) te reinigen. Enorme hoeveelheden donkerbruin tot zwart materiaal kwamen uit de drains, maar enige verbetering in de bedrijfsvoering gaf dit niet, evenmin als het chloren met behulp van chloorbleekloog. Tenslotte werd op 10 juli 1985 de infiltratie voor onbepaalde tijd stop gezet, omdat het op gang houden door middel van het schoonmaken van drains, verzamelput met filtergaas en put te veel mankracht vergde.

In paragraaf 1 werd reeds aangegeven waarom werd besloten het experiment voort te zetten met een nieuw drainsysteem. Dit werd zodanig opgezet dat nader onderzoek kon worden gedaan. Derhalve zijn de drains aan weerszijden van de infiltratiegeul verschillend van opzet. Aan de westkant ligt als drain een \emptyset 150 mm PVC-filterbuis, spleetwijdte 1 mm, met een omstorting van filtergrind (zie fig 5).



Figuur 5 - Drainconstructie met meetopstelling (maten in cm)

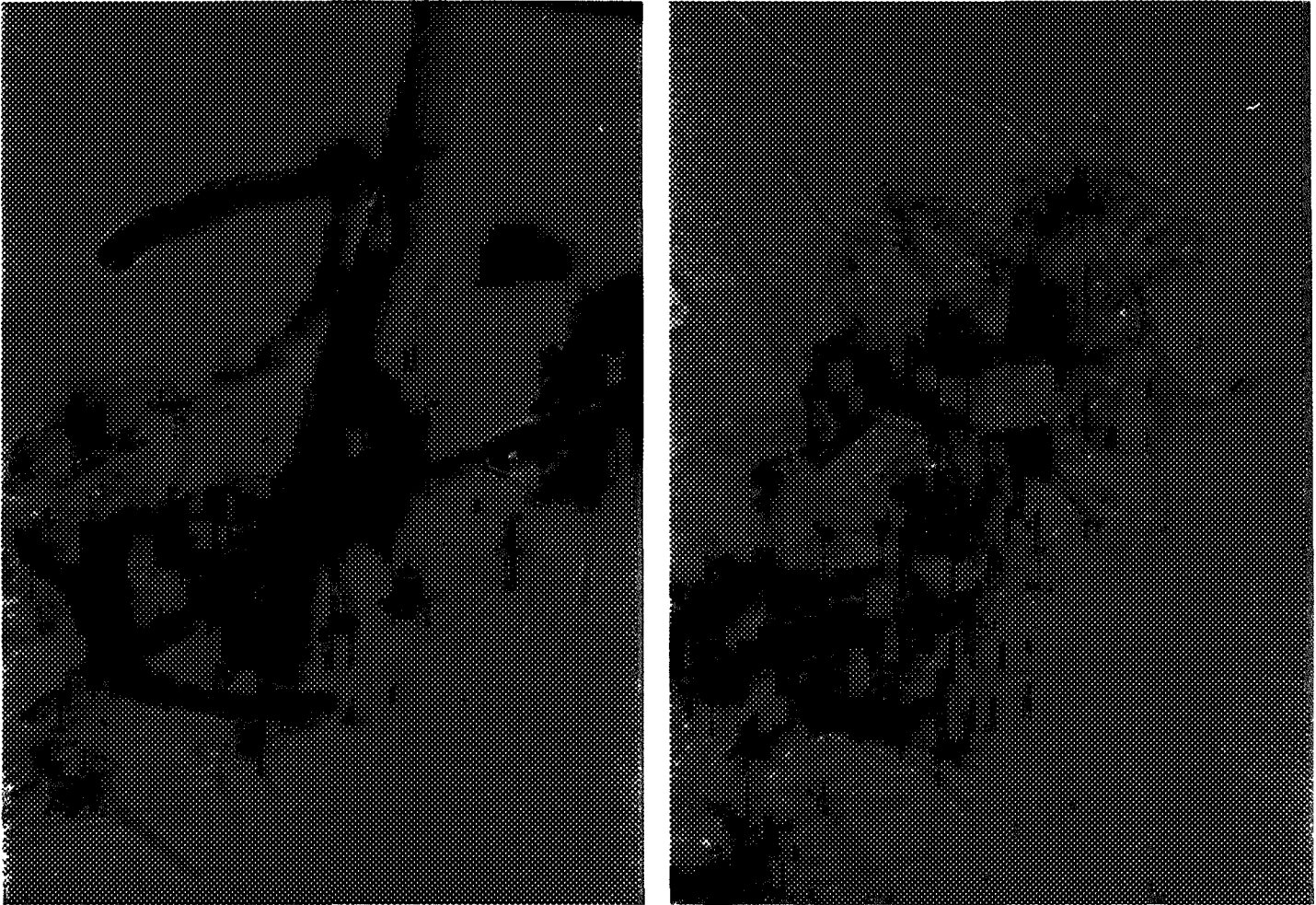


Foto 1 en 2 - Microscopische waarneming drainverontreiniging

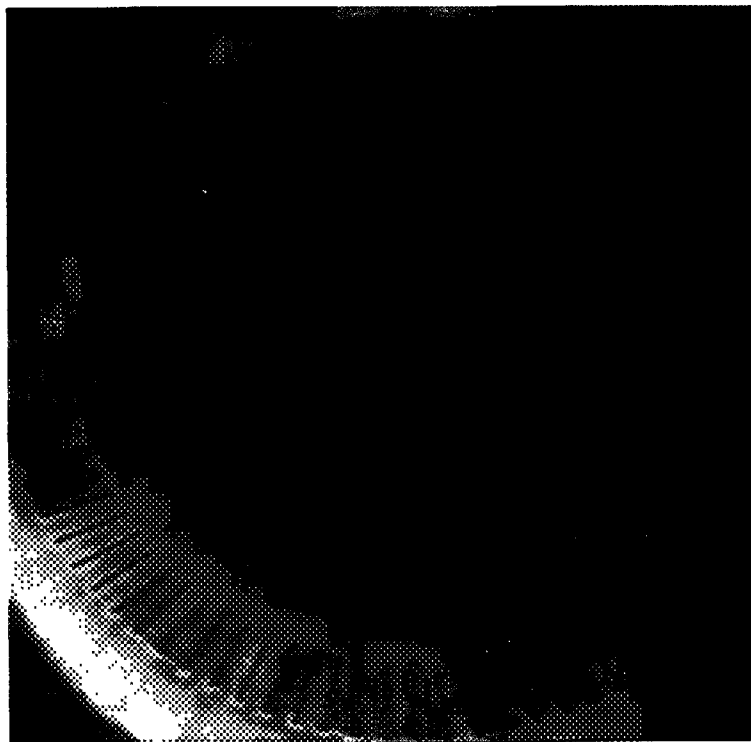


Foto 3 - Vervuiling in het infiltratiefilter (10-07-1984)

De 'werkende' lengte is 75 m. Aan de oostkant ligt de schoongemaakte speciale HPE-drain met kous, geheel op dezelfde manier gelegd als voorheen, opgevuld met schoon duinzand. Werkende lengte eveneens 75 m.

Op en rond beide drains is een aantal peilbuizen geplaatst om een beter inzicht te krijgen in het stroombeeld rond de drains. In de peilbuizen kan de stijghoogte worden gemeten, het zuurstofgehalte worden bepaald en monsters worden genomen ten behoeve van nader chemisch onderzoek. Dit meetprogramma is in paragraaf 6 verder uitgewerkt.

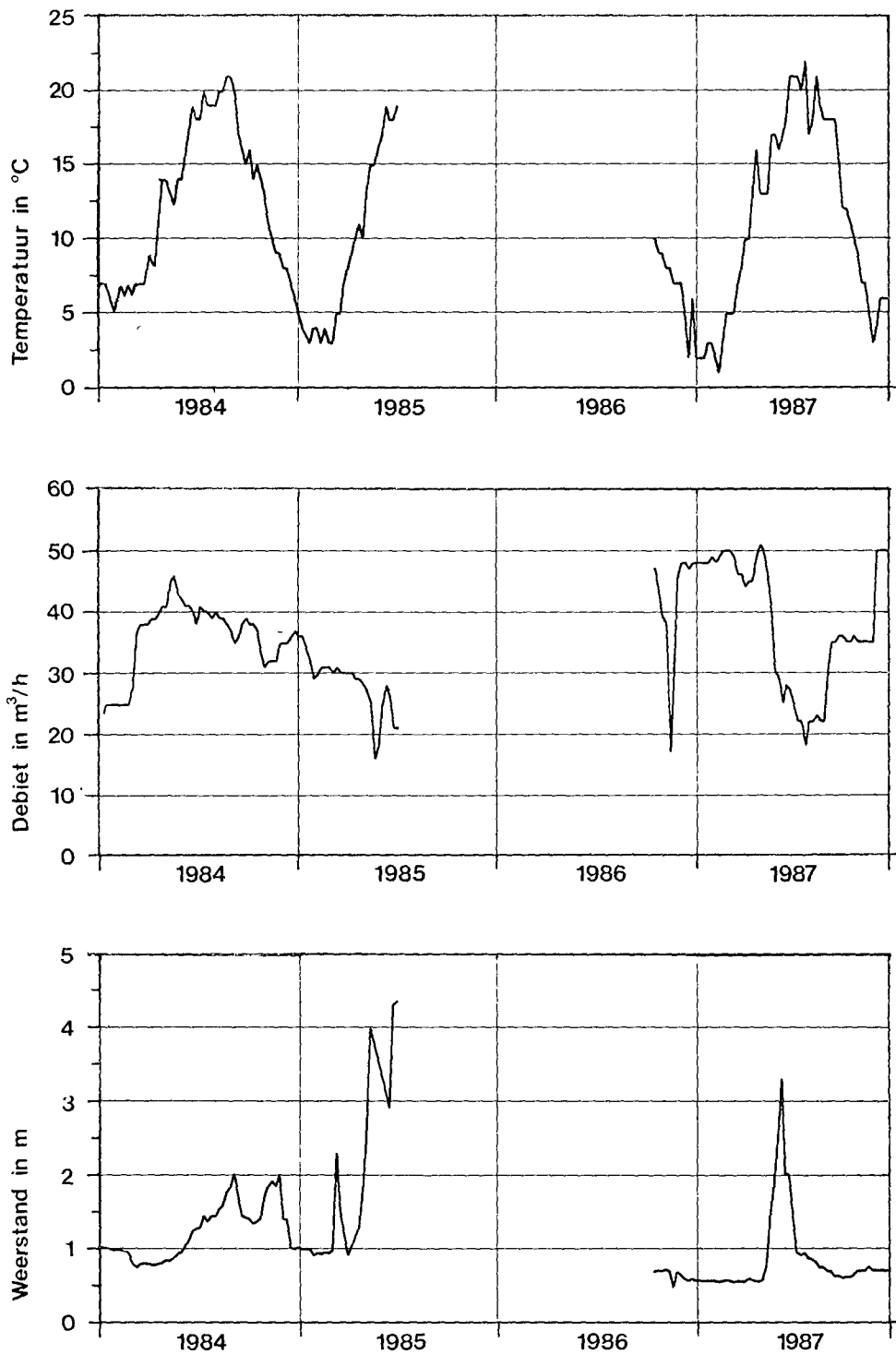
Na aanleg van het nieuwe systeem is slechts beperkt de tijd genomen voor het 'inlopen', namelijk ruim een maand, alvorens op 22 oktober 1986 de vierde run van infiltreren werd gestart. Behalve dat de MFI toen voldoende laag was, daalde ook de temperatuur van het infiltratiewater onder de 10° Celsius, zodat van bacteriologische activiteit minder sprake kon zijn.

Gedurende de gehele verslagperiode zijn MFI-waarden van circa 1 s/l² gemeten, met incidenteel een extreem van 3 s/l².

Dit systeem blijkt gemakkelijk en lange tijd 50 m³/h te leveren (zie fig 6). Dit betekent 0,35 m³/m bij een stijghoogteverschil geul-drain van 35 cm, bij lage temperatuur en dus hoge viscositeit.

In november 1986 werd de opbrengst tijdelijk verminderd omdat de geul, waaronder de drains liggen, niet kon worden gevoed wegens het stoppen van de rivierwaterinlaat in de winplaats. De problemen zoals in 1987 zijn opgetreden, worden in paragraaf 5.2 besproken voor zover het de infiltratieput aangaat. Hier volgen nog enkele ervaringen met het drainsysteem.

In mei 1987, toen de temperatuur al een maand flink boven 10° Celsius was, begon de infiltratieput weerstandstoename te tonen, hoewel de MFI geen verhoging liet zien. Reeds spoedig bleek dat zich op het filterdoek in de verzamelput tussen drains en put een substantie verzamelde. Een op 1 juni genomen monster werd in het laboratorium onderzocht. Geconcludeerd werd dat sprake was van een soort slib met een zeer hoog aluminiumgehalte, namelijk 30 g per kg droge stof. Er werd geen biologische activiteit aangetroffen. De aard van de vervuiling was dus wel van een geheel andere



Figuur 6 - Weerstand (teruggerekend naar 20 m³/uur en 10°C), alsmede debiet- en temperatuurverloop sinds 1984, uitgedrukt in weekgemiddelden

aard dan in het voorjaar 1985, toen duidelijk ijzerbacteriën werden aangetroffen. De verklaring van het hoge Al-gehalte werd gezocht in mobilisatie vanuit het bodemslib, maar de pH, die niet onder 7,5 daalde, kan die verklaring niet bevestigen.

Bij het weer starten van de infiltratie begin juli 1987 bleek de drain met de grindomstorting meer vlokken te geven dan de andere. Overigens gaven beide zoveel vlokken dat de put met geen van beide zonder grote moeilijkheden kon worden gevoed. Het probleem kon worden ondervangen door beide drains minder te belasten. In feite kon aldus het aanbod van vlokken beperkt worden gehouden. In de herfst verbeterde de toestand zodanig dat het debiet weer verhoogd kon worden. In september 1987 werd een waarde van 35 m³/h ingesteld en in december kwam weer 50 m³/h beschikbaar voor de infiltratieput. Zoals figuur 6 laat zien, heeft de conditie van de put hier niet onder geleden. Integendeel, de weerstand nam af vanaf juli.

4 ZOUTWATERVERDRINGING

Tijdens de eerste run van 505 dagen (26-01-81 tot 16-06-82) had het geïnfiltreerde zoete water reeds een afstand van circa 100 m vanaf de infiltratieput bereikt (zie mededeling 79). Tijdens de daarop volgende eerste stop van 190 dagen (tot 22-12-82) verbreidde de bel zich nog iets en trad ter plaatse van de persput een stijging van het zoet-zout-grensvlak op van ongeveer 20 m. Dit was voornamelijk een gevolg van het feit dat het 14 m lange filter van de persput extra diep in het zoute water werd geplaatst, met de bovenkant ongeveer 15 m onder de weerstandslaag, om het verschil zoet-zout bij het infiltreren optimaal te doen zijn.

Nadelen van deze plaatsing zijn dat bij het stoppen zout water rond de persput sterk omhoog komt en dat, zoals bij de eerste stop reeds werd beschreven, de grens van het geïnfiltreerde water en het boven het filter aanwezige zout-brakke water onduidelijk is. Dat bemoeilijkt het analyseren van de zoet-zout situatie onder de weerstandslaag aanzienlijk.

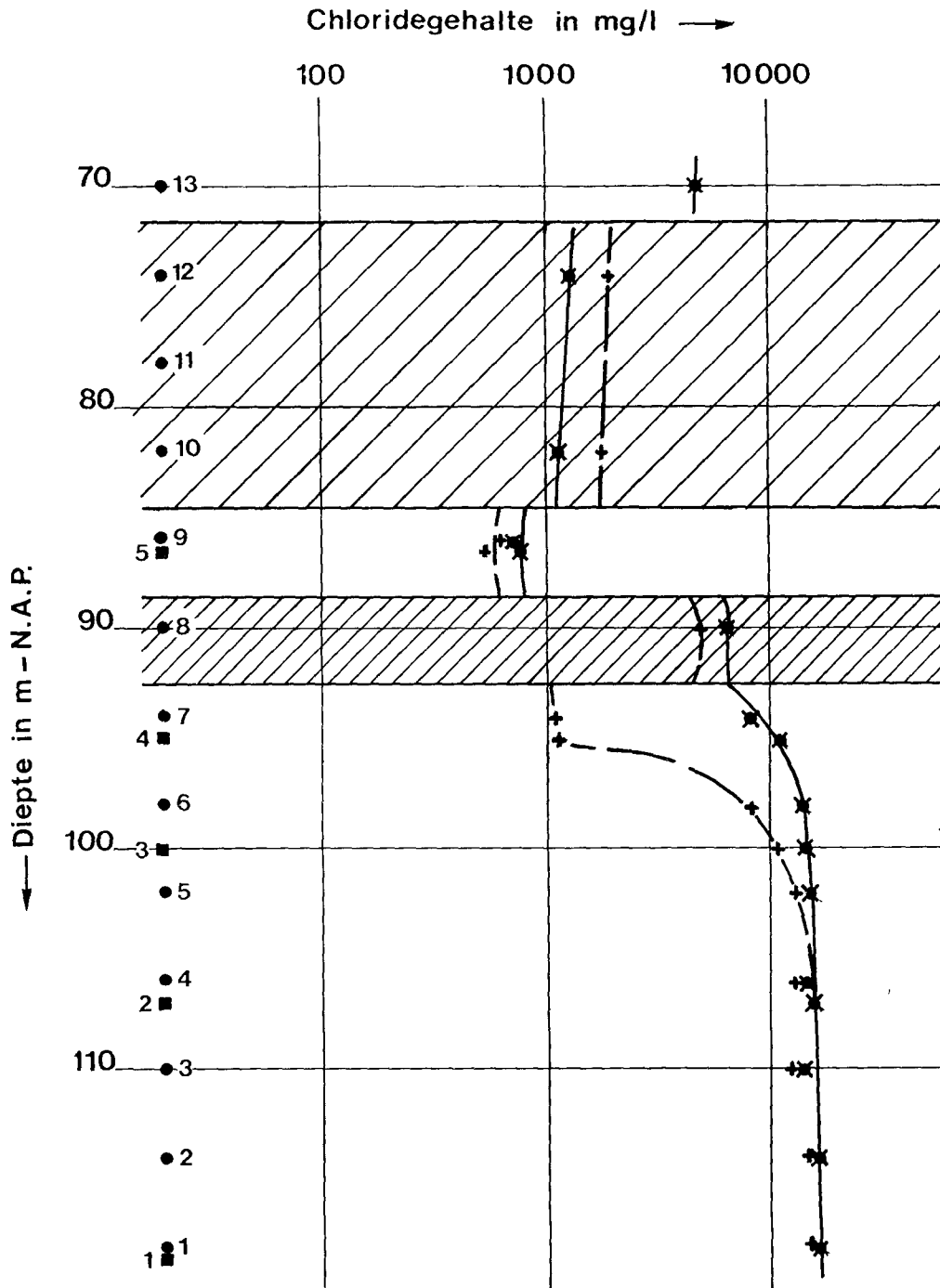
De moeilijkheden worden versterkt door het feit dat de weerstandslaag, de zogenaamde leemlaag, geen homogeen pakket is. Is er tot op 40 m vanaf de persput nog een redelijk aaneensluitend beeld, in

de putten op 100 en 125 m is de samenstelling van de leemlaag al sterk gewijzigd. In de in juni 1984 geboorde waarnemingsputten 24H.543 en 24H.544, op 250 en 260 m vanaf de persput, is de leemlaag weer anders opgebouwd. Hier treft men met name twee slecht doorlatende lagen aan van NAP-71,5 m tot -84,5 m en NAP-88,5 m tot -92,5 m (zie fig 7). De tussenliggende zandlaag staat nu duidelijk in contact met het diepe watervoerende pakket waarin geïnfiltreerd wordt. De minder doorlatende lagen zijn van een lensvormige aard en wiggen uit. Als gevolg daarvan dringt het opdrijvende geïnfiltreerde water de leemlaag binnen en verspreidt zich derhalve op een moeilijk controleerbare wijze in deze laag.

De heterogeniteit van de leemlaag is met een beperkt aantal waarnemingsputten uiteraard niet volledig bekend.

Tenslotte heeft ook de onderbreking van 469 dagen (10-07-85 tot 22-10-86), tussen de derde en vierde run, het beeld mede onduidelijk gemaakt. De doorbraakkrommen, zoals die tijdens de derde run werden gemeten (zie fig 8) werden daarmee onderbroken. Beide krommen, in filters van de putten 24H.543 en 24H.544, met een onderlinge afstand van 10 m, gaven het doorkomen fraai aan en toonden een momentane verbreidingssnelheid van circa 30 m/a (zie fig 9).

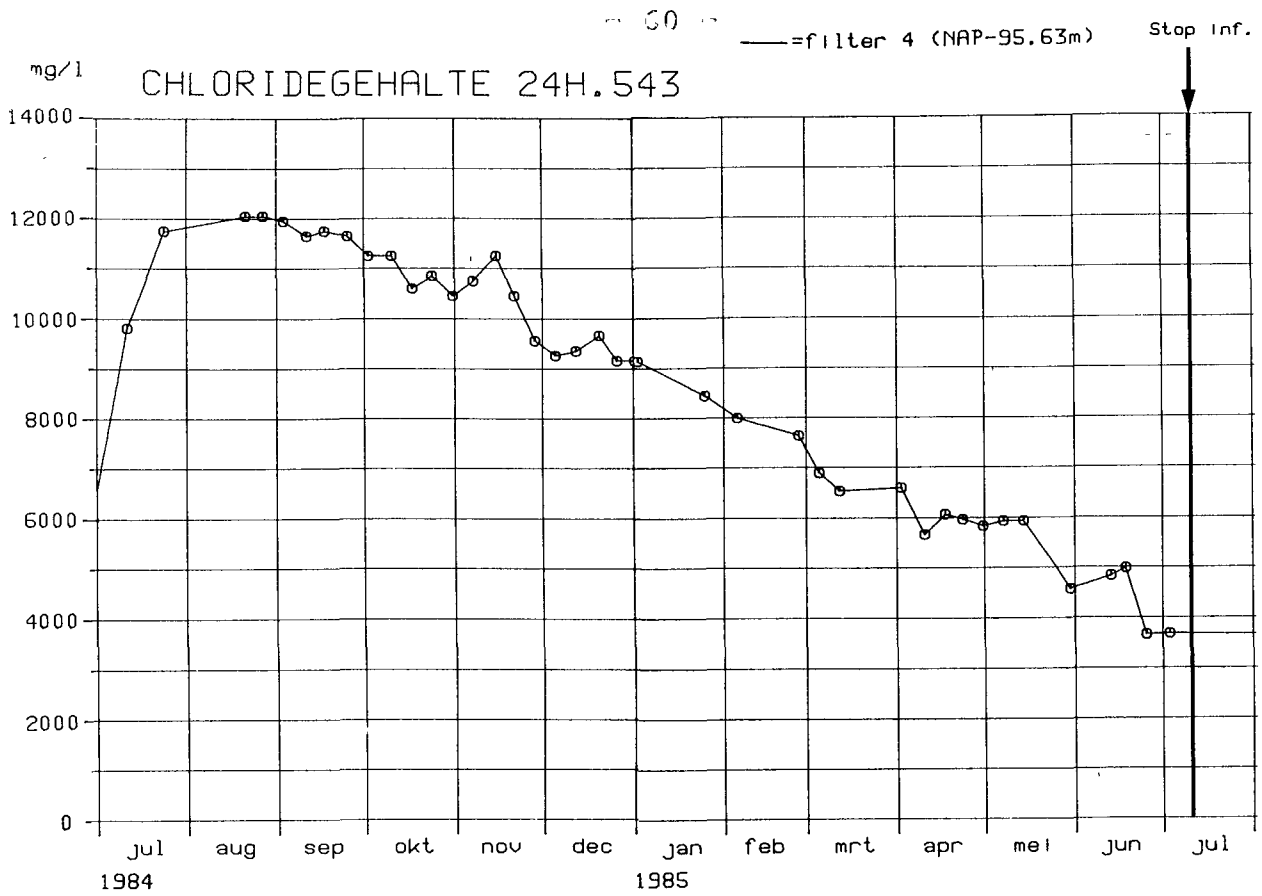
Tijdens de vierde run vanaf 22-10-86 kostte het eerst enige tijd om weer een geordende toestand te krijgen rond de infiltratieput. Pas in april 1987 leek een evenwicht onder invloed van het infiltratiedebiet van 50 m³/h bereikt. Door verstoppingsproblemen moest toen naar een lager debiet van ruim 20 m³/h worden overgeschakeld. Waarnemingput 24H.475 op 15 m van de persput is erg gevoelig voor dit soort veranderingen, terwijl 24H.476 op 40 m nauwelijks op deze debiet-wijziging reageert. Het langdurig stoppen had in deze put overigens het zoute water wel ruim 10 m doen stijgen. De conclusie is dus dat zo lang de infiltratieput in bedrijf wordt gehouden, de verticale verplaatsingen van het zoet-zout-gebied beperkt blijven tot enkele tientallen meters rond de infiltratieput. Om meer kennis van de zoutverdringing te vergaren moet vooral de tijdsfactor een rol spelen. De bedoeling bestaat om het waarnemingsprogramma minder frequent uit te voeren en te trachten nog een aantal jaren ervaring met put en drain op te doen.



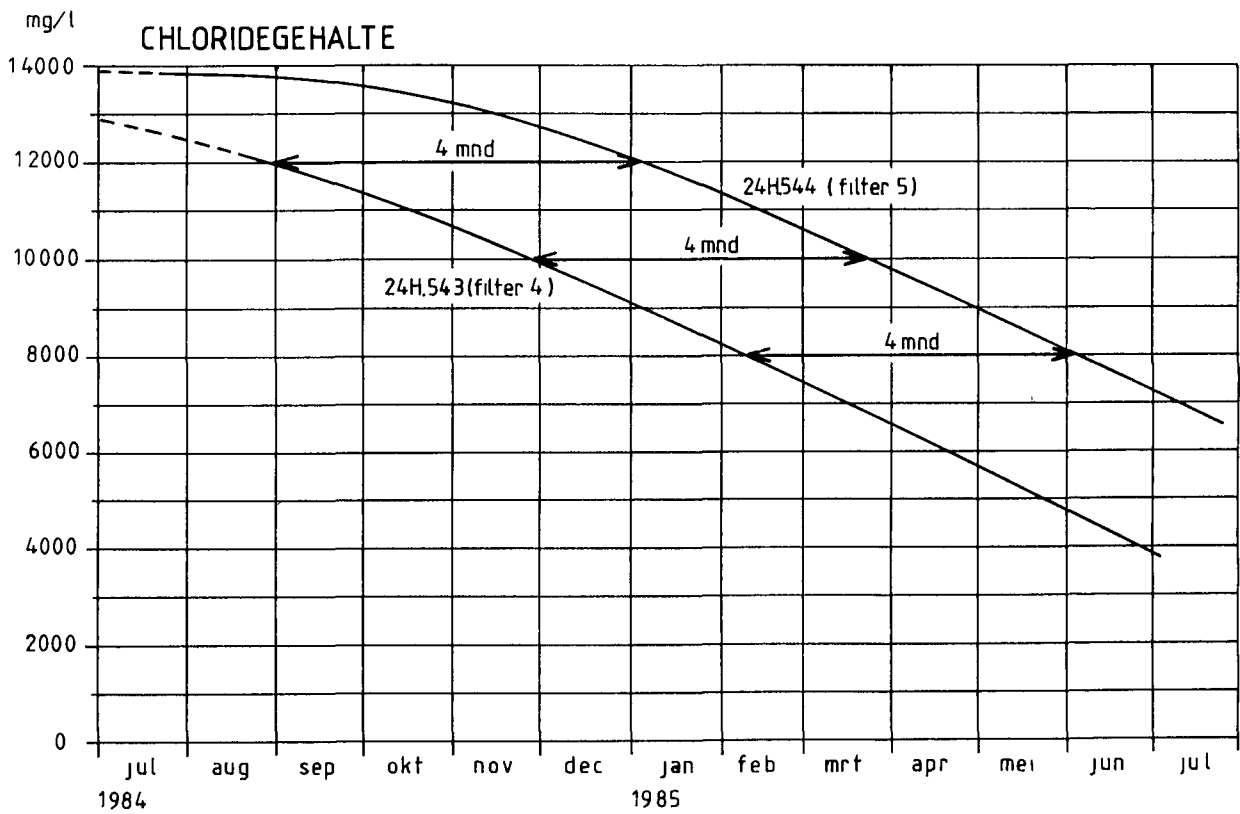
Legenda

- × meting 24-7-84
- + meting 3-11-87
- peilfilter
- elektrodepaar

Figuur 7 - Doorbraak van het zoete water in put 24H.543



Figuur 8 - Doorbraakcurve chloridegehalte in put 24H.543



Figuur 9 - Momentane verbreidingssnelheid tussen put 24H.543 en

5 VERSTOPPING EN REGENERATIE

5.1 Weerstand

De weerstandsmeting geschiedt nog steeds op dezelfde wijze, namelijk de berekening van het stijghoogteverschil in de infiltratieput en peilfilter 6 in de waarnemingsput WP 5 op 5 m afstand, op een niveau van NAP-100 m (zie figuur 4). De processor berekent automatisch een waarde die gecorrigeerd is voor debiet en temperatuur. De weerstand die gepresenteerd wordt, geldt dus voor een standaarddebiet, -dichtheid (in peilfilter 6 van WP 5 zit altijd alleen zoetwater) en viscositeit.

In fig 6 zijn de weerstanden voor 1984 - 1987 uitgetekend. Het is merkwaardig dat zowel de capaciteitsverhoging van 25 naar 40 m³/h in maart 1984 als de capaciteitsverlaging in januari 1985 een lichte daling in weerstand veroorzaken.

5.2 Verstopping en regeneratie

Vanaf juni 1984 begon de weerstand weer op te lopen, overigens in een langzaam tempo. Een TV-inspectie op 10 juli 1984 toonde dichtgroeiende spleten (zie foto 3), een herhaling in september liet zien dat de aangroei verergerd was. Toevoegen van chloorbleekloog verlaagde de weerstand onmiddellijk met 1 m, maar via de TV-camera was geen enkel effect op de aangroei te bespeuren. Pas schoonpompen, in december 1984, bracht de put terug op een weerstand van minder dan 1 meter.

In januari 1985 gaven de drains problemen (zie paragraaf 3) waardoor het debiet naar 30 m³/h terug moest. Kort daarna vertoonde de MFI iets hogere waarden van circa 3 s/l². Hoewel het verband met deze geringe verhoging niet duidelijk is, begon ook de weerstand op te lopen. Schoonpompen van de put, reinigen van de drains en herhaald toevoegen van chloorbleekloog bleken wél tijdelijk, maar niet blijvend resultaat te hebben, waarna op 10 juli 1985 de put werd stil gelegd (zie ook paragraaf 3).

Bij de aanvang van de 4^e run op 22 oktober 1986 was de weerstand van de put zeer laag, namelijk 60 à 70 cm. Ondanks het hoge debiet van 50 m³/h bleef de weerstand laag tot half mei 1987, toen de weerstand plotseling sterk ging oplopen tengevolge van vlokken die uit de drains te voorschijn kwamen.

Op 24 juni werd de put schoongepompt, waardoor de weerstand tot 1,50 m daalde maar daarna weer snel tot meer dan 4 m steeg. Toevoegen van chloorbleekloog had geen effect. Begin juli werd opnieuw schoongepompt, nu met een nieuwe methode. Daarbij werd een PVC-buis (diameter 10 cm) met aan de onderkant een borstel met fijne metalen haren in de filterbuis gelaten. De diameter van de borstel is ongeveer 2 cm groter dan het inwendige van de put. Zodra de borstel het filter bereikt wordt door de pijp een luchtlift gestart, waardoor het losgeraagde vuil meteen wordt afgevoerd. Na enige malen op en neer gaan in het filter wordt de pijp weer verwijderd.

Toen, na enige dagen stilstand voor beraad, de infiltratie opnieuw gestart werd, zij het met een beperkte capaciteit om de vlokken uit de drains de baas te blijven, was de put in een goede conditie. Zonder nadere maatregelen nam daarna de weerstand steeds verder af ongeveer tot het niveau waarmee 7 jaar geleden werd begonnen.

6 MEETPROGRAMMA

Sinds de aanvang van de 4^e run in oktober 1986 werd het pakket chemische parameters enigszins uitgebreid. Een aantal monsterpunten rond de drains werd toegevoegd. De set chemische parameters bestaat nu uit:

pH	NO ₃	Fe
Troebeling	HCO ₃	Al
EGV	CO ₃	Ca
DOC	Cl	

In 1984 werd een aantal malen de AOC in duplo bepaald, met de volgende resultaten.

Tabel 2 - Assimileerbaar organisch koolstof

Datum in 1984	AOC in $\mu\text{g ac-C eq./l}$
17 - 04	4,6 en 5,9
29 - 05	6,6 en 4,4
20 - 06	5,6 en 3,9
4 - 09	5,1 en 4,1

Aangezien de waarden laag bleven gedurende het warme seizoen, waarin de kans op bacteriologische verstoppingen het grootste is, werden de moeilijk realiseerbare bepalingen gestaakt.

De metingen die thans worden verricht voor controle van de persput en voor het onderzoek aan de drains kunnen als volgt worden samengevat op basis van hun frequentie.

A. Continu (geautomatiseerd)

- Debiet persput.
- Temperatuur infiltratiewater.
- Vier drukopnemers: in geul, verzamelput, persput en in peilbuis op 5 m afstand van persput voor controle, alarmering en weerstandsberekening.

B. Wekelijks

- Geul : de set chemische parameters.
- Verzamelput : idem, tevens MFI.

C. Vier-wekelijks

- Effluent van beide drains : set chemische parameters, alsmede zuurstof.
- Filters in drainomstortingen : set chemische parameters, zuurstof en de stijghoogten.
- Waarnemingsputten : Opname geohm en monstername voor chloridebepaling.

De verwerking van de gegevens geschiedt via databestanden, waarmee tabellen of grafieken kunnen worden geproduceerd ter controle van

de werking van drains en persput, alsmede van de verbreiding van het geïnfiltreerde water. Uit de chemische parameters, bepaald in en rond de drains, is nog geen duidelijk beeld van de chemische processen rond de drains verkregen.

7 CONCLUSIES

De diepe infiltratieput van Gemeentewaterleidingen is bijna zeven jaar operationeel. Gerekend tot 1 januari 1988 betekende het dat de put 1871 dagen in bedrijf was, ofwel 74% van de tijd. Het debiet variëerde van 20 tot 60 m³/h met een gemiddelde van bijna 30 m³/h. In totaal is ruim 1,3 miljoen m³ geïnfiltreerd. Tweemaal is de put door problemen met de drains langdurig buiten gebruik gesteld geweest. De kwaliteit van de put heeft er niet onder geleden, want met gewoon schoonpompen is de weerstand van de put steeds weer ongeveer op zijn oorspronkelijke waarde teruggebracht. Verstopping van de put wordt veelal toegeschreven aan onvoldoende werking van de drains, maar de put zelf kent ook een soort aangroei, die volgens TV-inspecties vooral in de filterspletten optreedt. Verondersteld wordt dat door het hoge voedselaanbod de hier actieve bacteriën optimaal gedijen. Nog steeds treden deze problemen uitsluitend op bij watertemperaturen boven 10° Celsius. De drains zijn op zich een uitstekend middel voor conditionering van infiltratiewater tegen mechanische verstopping. Maar door vermoedelijk plaatselijke anaerobie in de drains, ontstaan ijzervlokken die zeer snel in omvang toenemen bij hogere temperaturen en spoedig het water ongeschikt voor infiltratie maken. Nader onderzoek zal mogelijk meer kennis verschaffen, maar vooralsnog lijken drains voor een continue en optimale bedrijfsvoering niet bedrijfszeker in voorjaar en zomer.

De geautomatiseerde controle en sturing van de werking van de persput voldoet zeer goed. De automatische metingen van kwaliteit zijn gestaakt omdat de elektroden alleen met zeer veel onderhoud bedrijfszeker te houden waren.

De verbreiding van het geïnfiltreerde water is thans niet gemakkelijk te volgen. Het af en toe staken van de infiltratie en de inhomogeniteiten van de weerstandslaag boven het betreffende watervoerende pakket zorgen voor grillige verschijnselen, terwijl door

de huidige omvang van de zoetwaterbel de veranderingen aan de randen uiterst langzaam verlopen. Het meetsysteem toont aan dat in verticale zin de overgang van zoet naar zout water steeds vrij scherp blijft.

8 REFERENTIES

- De diepe winning in de duinen biedt nieuwe perspectieven. Duinberichten no. 22, november 1984. R.A. Schuurmans.
- Conditioneringssysteem voor diepinfiltratie water. Afstudeerverslag TUD, juni 1985, P.M.A. van Bergen.
- Restoring a briny catchment Area. Geologia Applicata & Idrogeologia. Bari 1983 - Volume XVIII - Part II (uitgave 1985). R.A. Schuurmans.
- Diepinfiltratie in de duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen, Appendix A (Metingen. 1984-1985). Intern rapport G.W., februari 1986, J.J. Steinmetz.
- Deep-well Infiltration in the Dune Area of the Amsterdam Waterworks and Modeling of the moving interface. Proceedings of the 9th SWIM, Delft May 1986. J.W. Kooiman and G.J.M. Uffink.
- Ondergrondse voorraadvorming. Pato-cursus "Grondwaterwinning en Kunstmatige aanvulling van grondwater", november 1987, R.A. Schuurmans.
- Diepinfiltratie in de Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen, Appendix B (Metingen 1986-1987). Intern Rapport GW, mei 1988, J.J. Steinmetz.

Leiduin, januari 1988

TEKST2000/PC08/002

GEO-HYDROLOGISCH ONDERZOEK AAN EEN SYSTEEM VAN DIEPINFILTRATIE EN
DIEPE WINNING IN DE DUINWATERWINPLAATS VAN GEMEENTEWATERLEIDINGEN
AMSTERDAM

J.W. Kooiman, Gemeentewaterleidingen Amsterdam

SAMENVATTING

De duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen heeft een ontwerp-
capaciteit van winnings- en zuiveringsmiddelen van 83 miljoen
 m^3/a . Vanuit milieutechnisch standpunt zijn bezwaren gerezen tegen
een optimaal gebruik van het freatische pakket voor winnings-
doeleinden, waardoor de winningscapaciteit zou verminderen en de
voorraadpositie wordt aangetast.

Daarom is de Gemeentewaterleidingen bezig met het ontwerpen van
een systeem van Diepinfiltratie en Diepe Winning met als doel een
optimaler gebruik van de diepe watervoerende pakketten. Om de
reeds geïnstalleerde diepe winning volledig te benutten moet diep-
infiltratie worden toegepast. Een geschikte lokatie is gelegen in
het midden van de duinwaterwinplaats, en kan bestaan uit maximaal
20 afzonderlijke units, met een capaciteit per unit van
 $700.000 m^3/a$. De geo-hydrologische situatie is goed bekend.

Het systeem is al veelvuldig onderwerp van studie geweest in de
sfeer van mathematische modellen, waarvan in deze bijdrage een
kort overzicht wordt gegeven (zie tabel 1). Gekonkludeerd wordt
dat bij het maken van een ontwerp de geo-hydrologische berekenin-
gen met een combinatie van drie programma's (SALTP, Konikow-Brede-
hoeft en SLEM) kunnen worden uitgevoerd, en dat moet worden afge-
zien van één universeel programma dat algemeen toepasbaar zou
zijn.

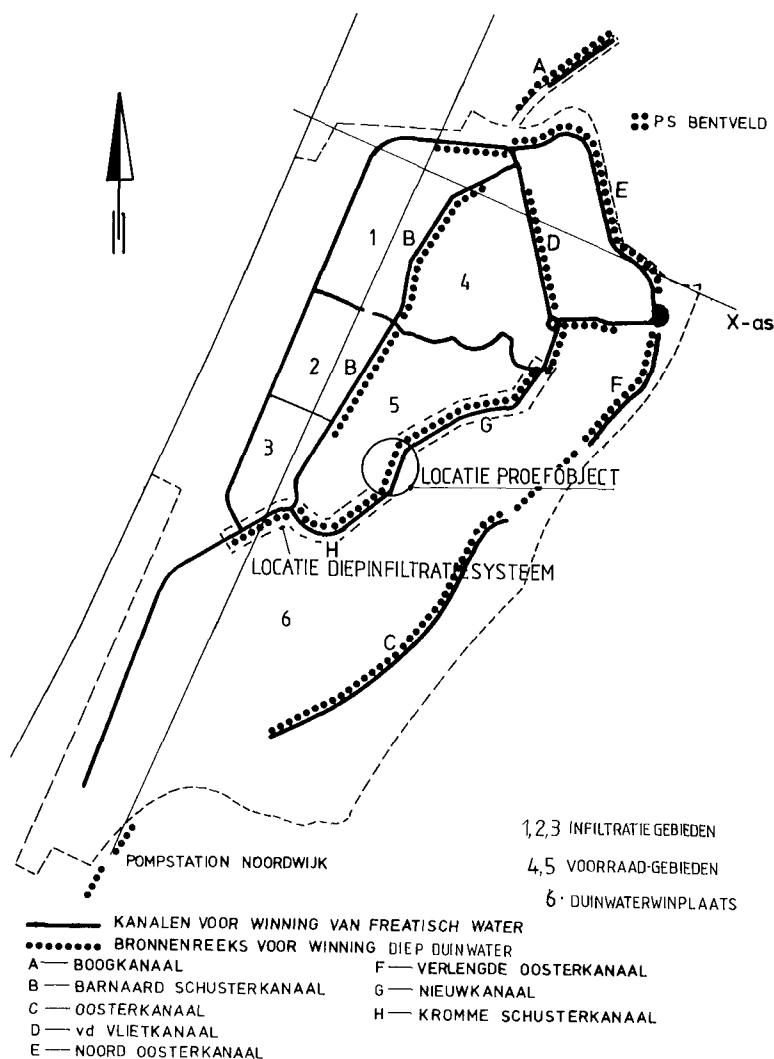
Tabel 1 Overzicht verschillende (zoet-zout-)programma's

Naam Programma	Aantal		Aantal Aquifers	"Dichtheid" water		
	Dimensies			zoet	brak	zout
FLOP	2	hor	2	X	-	-
STRAM	"3"		2	X	-	-
SLEM	2	vert	meerdere	X	-	-
SLAX	"3"	rad	meerdere	X	-	X
KB*	2	vert	meerdere	X	X	X
SALTP	"3"		3	X	-	X
MODFLOW	3		meerdere	X	-	X
SL (Strack)	2		1	X	-	-

* Konikow-Bredehoeft-model

1 INLEIDING

De duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen (fig 1) heeft een ontwerpkapaciteit van winnings- en zuiveringsmiddelen van 83 miljoen m³/a. De nuttige neerslag op het circa 36 km² grote gebied bedraagt gemiddeld 17 miljoen m³/a, waarvan 13 miljoen m³/a beschikbaar is voor de waterwinning. Een deel van het duingebied, circa 5 km², is ingericht als infiltratiegebied voor de overige 70 miljoen m³/a. Het systeem is zodanig opgezet dat zeer flexibel op de wisselende vraag kan worden ingespeeld. Dit gebeurt door het variëren van de waterstanden in de drains en de kanalen die in en rondom de infiltratiegebieden zijn gelegen. Voor het huidige winningsniveau, dat lager ligt dan 83 miljoen m³/a, is het slechts noodzakelijk een deel van de kanaalstanden laag te houden. In de overige randkanalen wordt een hoge waterstand gehandhaafd. Die fungeren momenteel voornamelijk als voorraadkanalen. Als gevolg van de hoge kanaalstanden fungeren de gebieden 4 en 5 (zie fig 1), met een oppervlakte van circa 5 km², thans bijna uitsluitend als voorraadgebieden.



Figuur 1 - Overzichtskartaat Duinwaterwinplaats met lokatie van het systeem

Om een optimaal gebruik van de aanwezige voorraad te kunnen maken zouden de waterstanden van de voorraadkanalen en daarmee van de voorraadgebieden moeten variëren. Om een hoge waterlevering te krijgen zouden de peilen in de voorraadkanalen verlaagd moeten worden. Om wisselende hoeveelheden te kunnen leveren zouden de peilen, evenals de stijghoogtes in de drains, moeten variëren.

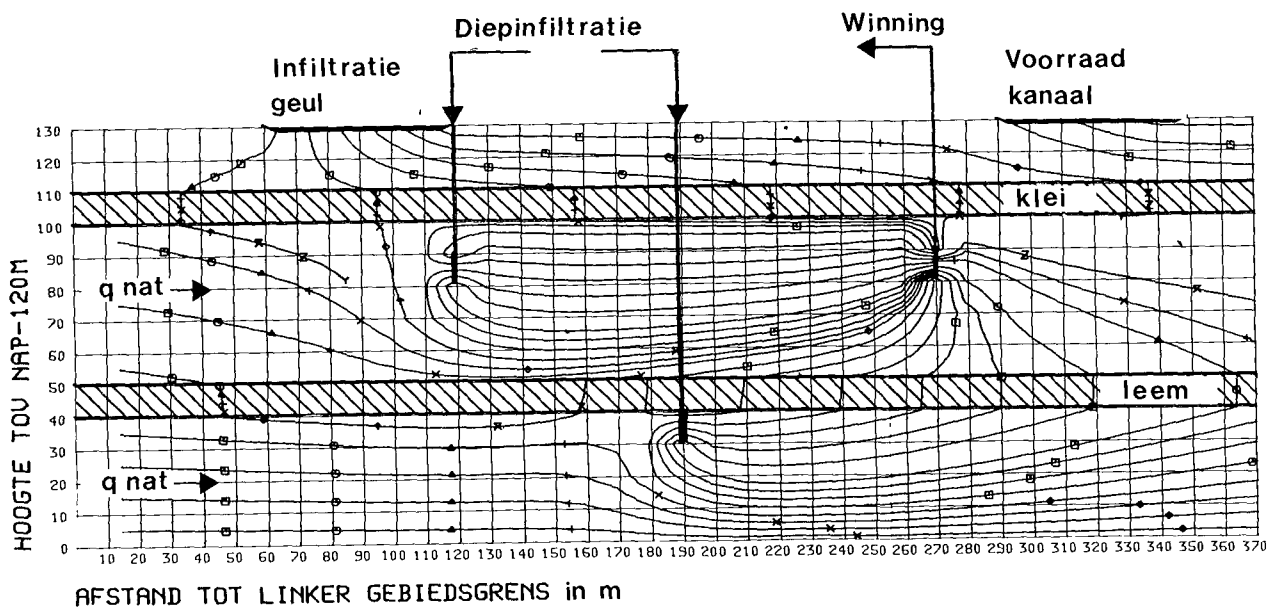
Vanuit milieutechnisch standpunt zijn er bezwaren gerezen tegen een eventueel sterk wisselen van de kanaalstanden. De wens is geuit om de standen zoveel als mogelijk is op het hoge peil te hou-

den. Dit heeft echter wel tot gevolg dat een grote hoeveelheid water niet meer benut kan worden en dat de winningscapaciteit van de duinwaterwinplaats vermindert.

Om de gewenste voorraad te handhaven en om de capaciteit van de duinwaterwinplaats op het oude niveau van 83 miljoen m³/a te houden is Gemeentewaterleidingen bezig met het ontwerpen van een infiltratie- en winningssysteem in het diepe pakket.

2 OPZET VAN HET SYSTEEM

In de afgelopen jaren is bij de Gemeentewaterleidingen veel ervaring opgedaan met diepinfiltratie door experimenten met twee infiltratieputten. De eerste bevond zich in het bovenste deel van het diepe watervoerende pakket tussen klei- en leemlaag (zie fig 2), de tweede bevindt zich in het gedeelte onder de leemlaag. Door deze ervaringen en de kennis van de geo-hydrologische situatie in de duinwaterwinplaats is een idee gevormd over een op te zetten systeem waarbij een optimaler gebruik wordt gemaakt van de diepe watervoerende pakketten onder de duinwaterwinplaats.



Figuur 2 - Verticale doorsnede van het systeem, met stroomlijnen programma SLEM

Een systeem van voorraadvorming in het diepe duin dient aan twee belangrijke voorwaarden te voldoen, namelijk een sluitende waterbalans en veiligheid tegen verzilting. Combineert men het voorraadsysteem met een capaciteitsverhogend winsysteem, dan gelden dezelfde voorwaarden. Deze combinatie heeft een aantal voordelen, zoals bijvoorbeeld een eenvoudiger beheer en een aantal middelen, die gemeenschappelijk kunnen zijn.

Het systeem impliceert diepinfiltratie, want de natuurlijke aanvulling van de diepe watervoerende lagen is maar beperkt en kan nooit zorg dragen voor een op langere termijn sluitende waterbalans indien de onttrekkingen worden vergroot ten tijde van normale of bijzondere omstandigheden. Zelfs bij een sluitende waterbalans is verzilting door middel van upconing te vrezen, horizontale instroming van zout water is niet te verwachten. Ervaringen in de winplaats hebben geleerd dat de aanwezigheid van de zogenaamde leemlaag op circa NAP-70 m tot NAP-90 m een belangrijke invloed had op het verzilten van winputten door upconing. De weerstand van deze laag varieert van enkele tientallen tot enkele honderden dagen. In een groot deel van de winplaats ligt de overgangszone van zoet naar zout grondwater in of onder deze laag.

Ten behoeve van het onderzoek naar het voorraadaspekt van het project wordt nu water onder de leemlaag geïnfiltreerd (fig 2), ten einde het brakke en zoute water te verdrijven en een zogenaamd zoetwaterkussen te vormen. Tijdens kalamiteitssituaties, wanneer de infiltratie is gestopt en de winning volop werkt, stroomt dit water deels naar boven door de leemlaag. De grote potentiaalverlagingen nabij de winputten worden sterk afgezwakt naar het pakket onder de leemlaag doorgegeven. Op deze wijze kan men lange tijd veel onttrekken zonder dat al te hinderlijke verziltingsverschijnselen zich voordoen.

Indien het systeem ook een deel van de dagelijkse produktie voor zijn rekening moet nemen met de aanwezige winputten onder de kleilaag, dan kan het zoetwaterkussen onder de leemlaag ook uitstekende diensten bewijzen, maar om een sluitende lange termijn waterbalans te houden zal een extra diepinfiltratie tussen klei- en leemlaag nodig zijn (fig 2).

3 LOKATIE

Een zeer geschikte plaats voor zo'n systeem is gelegen in het midden van de duinwaterwinplaats, langs de bestaande puttenseries van het Nieuwkanaal en het Kromme-Schusterkanaal (fig 1). Het betreft circa 40 putten op onderlinge afstanden van 100 meter, die min of meer op een lijn van noord-oost naar zuid-west liggen, met een capaciteit per put van 20 m³/h. Enkele gunstige voorwaarden zijn

- de 'kleilaag' heeft een redelijk hoge weerstand;
- de weerstand van de 'leemlaag' is (zeer) laag, variërend van 10 tot 100 dagen;
- onder de leemlaag bevindt zich nog een uitgebreid goed waterdoorlatend pakket;
- de overgang van zoet via brak naar zout water is onder de leemlaag gelegen;
- de richting van de natuurlijke afstroming in het diepe pakket staat min of meer loodrecht op de richting van de puttenrij;
- een serie diepe winputten is aanwezig;
- door het vervangen van de pomp kan de capaciteit van de winputten verhoogd worden tot 40 m³/h;
- infiltratiegeulen liggen op korte afstand. Na een korte bodempassage kan het daaraan onttrokken water als diepinfiltratiewater dienen.

4 DIMENSIONERING

Voorlopig wordt in het ontwerp uitgegaan van een steeds terugkerende eenheid van 200 meter, met daarin 2 winputten, 1 diepinfiltratieput onder de leemlaag en 1 of 2 diepinfiltratieputten tussen de kleilaag en de leemlaag. Het totale diepinfiltratiesysteem zou uit 20 van deze eenheden kunnen bestaan met een totale lengte van 4 km.

Een voordeel van een dergelijk ontwerp is dat de bouw gefaseerd kan plaatsvinden, zodat door de ervaringen met de eerste eenheden eventuele aanpassingen in het ontwerp aangebracht kunnen worden. Tevens is fasering met betrekking tot financiering aantrekkelijk. Het systeem werkt al voordat het helemaal gereed is.

De winkapaciteit per eenheid bedraagt circa 0,7 miljoen m³/a. De maximale capaciteit van het nieuwe systeem komt daarmee op circa 14 miljoen m³/a, tegen een huidige capaciteit daar ter plaatse van ongeveer 1 miljoen m³/a. De te installeren diepinfiltratiecapaciteit onder de kleilaag bedraagt circa 10 miljoen m³/a, en de zeer diepe infiltratiecapaciteit onder de leemlaag 6 miljoen m³/a.

5 PROEFOBJEKT

Een eerste stap in het realiseren van het systeem is het opzetten van een proefobjekt op semi-bedrijfsschaal, welke in een later stadium een deel van het totale systeem zal uitmaken.

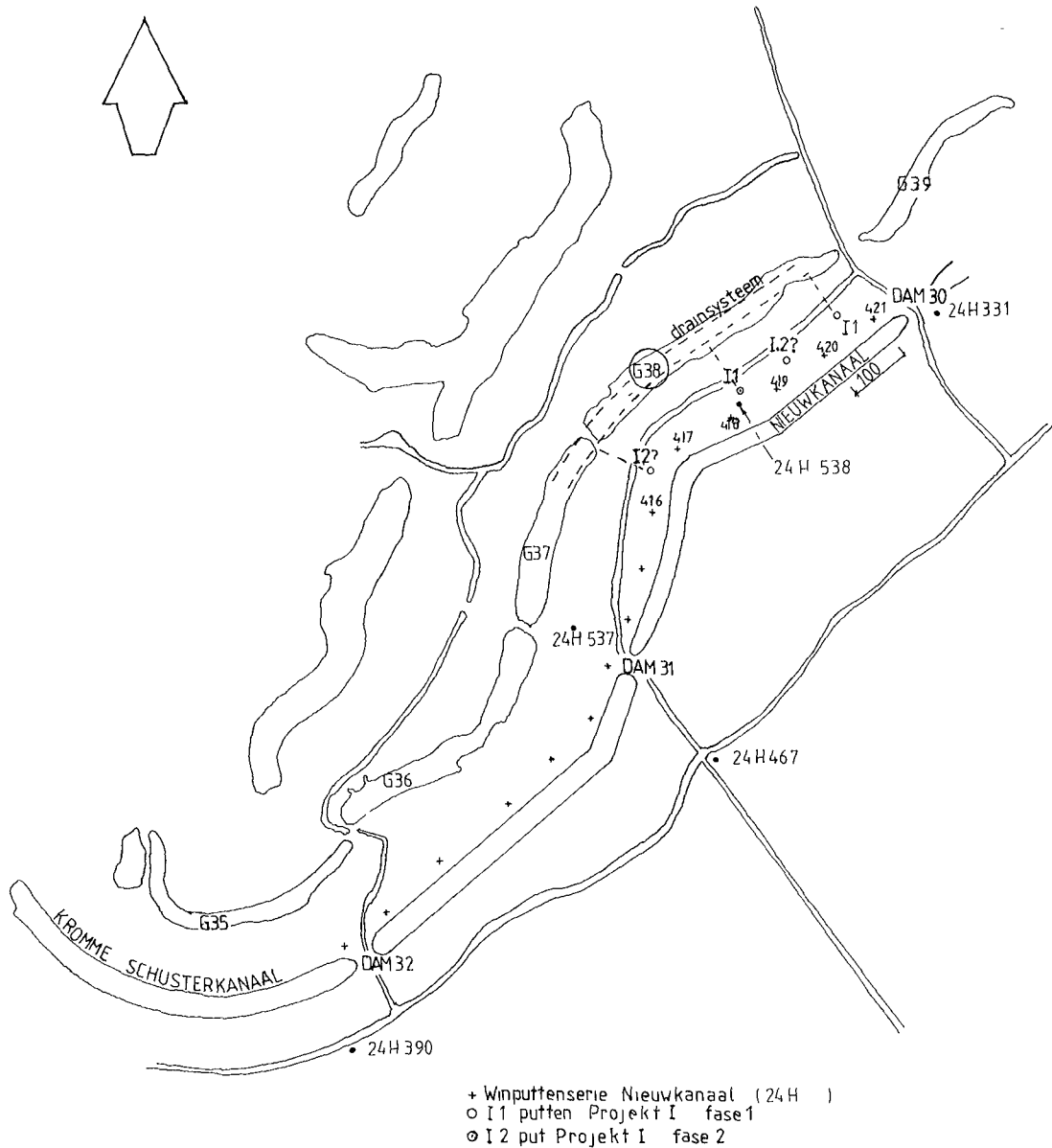
De doelstelling van het proefobjekt is tweeledig. Ten eerste wordt een begin gemaakt met de realisering van het systeem. Ten tweede wordt ervaring opgedaan met de bedrijfsvoering en wordt onderzoek gedaan voor de verdere realisering van het projekt.

Na een nadere studie van de beschikbare geo-hydrologische gegevens is in 1983 een tweetal verkenningsboringen (24H.537 en 24H.538) uitgevoerd op een lokatie langs het Nieuwkanaal tussen Dam 30 en 31 ter hoogte van de geulen 37 en 38 (fig 3). Het betreft hier een strook met een lengte van circa 750 meter en een breedte van circa 175 meter, waarin zich acht winputten bevinden (24H.414 t/m 24H.421). Het proefobjekt zal bestaan uit twee à drie eenheden van 200 meter.

De daar verrichte waarnemingen bevestigen in het algemeen dat de lokatie vanuit geo-hydrologisch oogpunt gunstig is voor een proefobjekt. Tevens bevinden de werken zich geheel in een strook die door de oppervlakte-infiltratiewerken al in beslag genomen is.

6 POMPPROEF

Ervaringen met de bestaande diepinfiltratieputten en berekeningen met behulp van mathematische modellen hebben uitgewezen dat de werking van het te ontwikkelen systeem zeer gevoelig is voor een aantal bodemkonstanten, en dan met name de hydraulische weerstand



Figuur 3 - Lokatie proefobjekt ter plaatse van het Nieuwkanaal.

van de leemlaag en de mate van anisotropie in zowel aquifers als leemlaag. Door middel van een pompproef zal hierover nauwkeurige informatie beschikbaar komen.

Een zeer complicerende faktor is dat het diepe watervoerende pakket niet kan worden bepompt omdat vanwege milieutechnische factoren het daar aanwezige brakke en zoute water niet kan worden geloosd. Voorts moet ter bescherming van de natuurwaarden het aantal activiteiten (zoals boringen voor waarnemingsputten) zo klein mogelijk zijn.

Gesteld kan worden dat de opzet van een pompproef waarbij enerzijds de gewenste nauwkeurigheid van bodemkonstanten voor de in ontwikkeling zijnde diepinfiltratietechniek wordt verkregen en anderzijds voldaan wordt aan de gestelde milieukondities, een innoverend karakter heeft. Om mislukken van de kostbare proef te voorkomen, is een gedegen studie naar de opzet van de proef uitgevoerd. Dit laatste is dan ook de reden dat in samenwerking met deskundigen van het Laboratorium voor Bodem- en Grondwateronderzoek (RIVM) de verdere uitwerking ter hand is genomen.

Inmiddels zijn in de omgeving van put 24H.537 (fig 3) een grote pompproef, een drietal kortdurende anisotropie-proeven, een pomp-proef met een onvolkomen filter en een barometerproef uitgevoerd. Momenteel vindt uitwerking van de gegevens plaats.

7 HYDROLOGISCH ONDERZOEK MET GRONDWATERMODELLEN

Het in de voorgaande paragrafen beschreven systeem van diepinfiltratie en diepe winning is in de afgelopen jaren veelvuldig onderwerp van studie geweest, met name met mathematische modellen. Dit heeft als groot voordeel dat in vergelijking met een praktijkproef tegen relatief lage kosten veel inzicht kan worden gegeven van de ontwikkelingen die zich daarbij hebben voorgedaan. In de volgende paragraaf zullen konklusies worden getrokken uit een vergelijking van de verschillende modellen.

Met het programma STRAM (STRoomlijnen met RAndoM walk) werden de stromingssituaties tijdens de eerste fasen berekend, en de effecten van gefaseerde uitbreidingen, waarbij alleen in het diepe pakket werd geïnfiltreerd (Van Bergen, 1985a en 1985b). Belangrijk punt was de eventuele vorming van zones met stagnant brak water, die in periodes van infiltratiestop tot kwaliteitsverslechtering van het gewonnen water aanleiding zou kunnen geven.

Het programma berekent de stroming in een twee-lagen-systeem, op dezelfde wijze als dat in de FLOP-programma's gebeurt. De horizontale en verticale afmetingen van een unit liggen in dezelfde orde van grootte, waardoor vertikaal konvektief transport niet meer

verwaarloosbaar is. Een uitbreiding van het programma werd hierdoor noodzakelijk. Brakwatervorming als gevolg van dispersie wordt in het programma gesimuleerd met behulp van de random-walk-methode. Hoewel dichtheidsverschillen niet worden verdiskonteerd, werd wel veel inzicht verkregen in het systeem.

Gevaar voor stagnant brak water blijkt niet aanwezig. De opbouw van een "zoetwaterkussen" onder de leemlaag verloopt redelijk snel, na anderhalf à twee jaar is er al sprake van een aaneengesloten kussen, bestaande uit de "infiltratiebellen" van de eerste twee putten. De aansluiting met de derde "bel", gestart na één jaar, was slechts een kwestie van enkele maanden. Wel werd uit deze berekeningen duidelijk dat er voor de aanvang ter plaatse van het systeem al zoet water onder de leemlaag aanwezig moet zijn om verbrakking van het middeldiepe pakket te voorkomen. De drukverhoging als gevolg van diepe infiltratie heeft een opwaartse stroming door de leemlaag tot gevolg.

Het programma SLEM (Stroomlijnen eindige eLEMENTen) (Van den Akker, 1982 en Nijhoff-Pan 1986b) berekent voor de uiteindelijke toestand stroomlijnen en verblijftijden in een tweedimensionale, vertikale doorsnede, loodrecht op de puttenrijen, waarin de puttenrijen zijn geschematiseerd tot lijnobjecten (Nijhoff-Pan, 1986a; fig 2). Omdat geen rekening wordt gehouden met dichtheidsverschillen werd de basis van het model gelegd ter plaatse van het brak/zout grensvlak, uitgaande van een situatie waarin het zoute water stilstaat. Doelstelling van de berekeningen was het bepalen van de onderlinge afstanden tussen de drie verschillende puttenrijen (winputten, middeldiepe en diepe infiltratie) in relatie tot de verticale weerstand van de leemlaag en de grootte van de natuurlijke afstroming. Beoordelingscriteria waren het voorkomen van enerzijds verzilting van het middeldiepe pakket en anderzijds het afstromen van teveel geïnfiltreerd water en het in stand houden van een voldoende voorraad in het diepe pakket.

Optimalisatieberekeningen toonden aan dat het systeem gevoelig is voor de waarde van de verticale weerstand van de leemlaag. Tevens bleek het mogelijk het systeem te realiseren in de strook tussen het Nieuwkanaal en de infiltratiegeulen (fig 3). Inhomogeniteiten

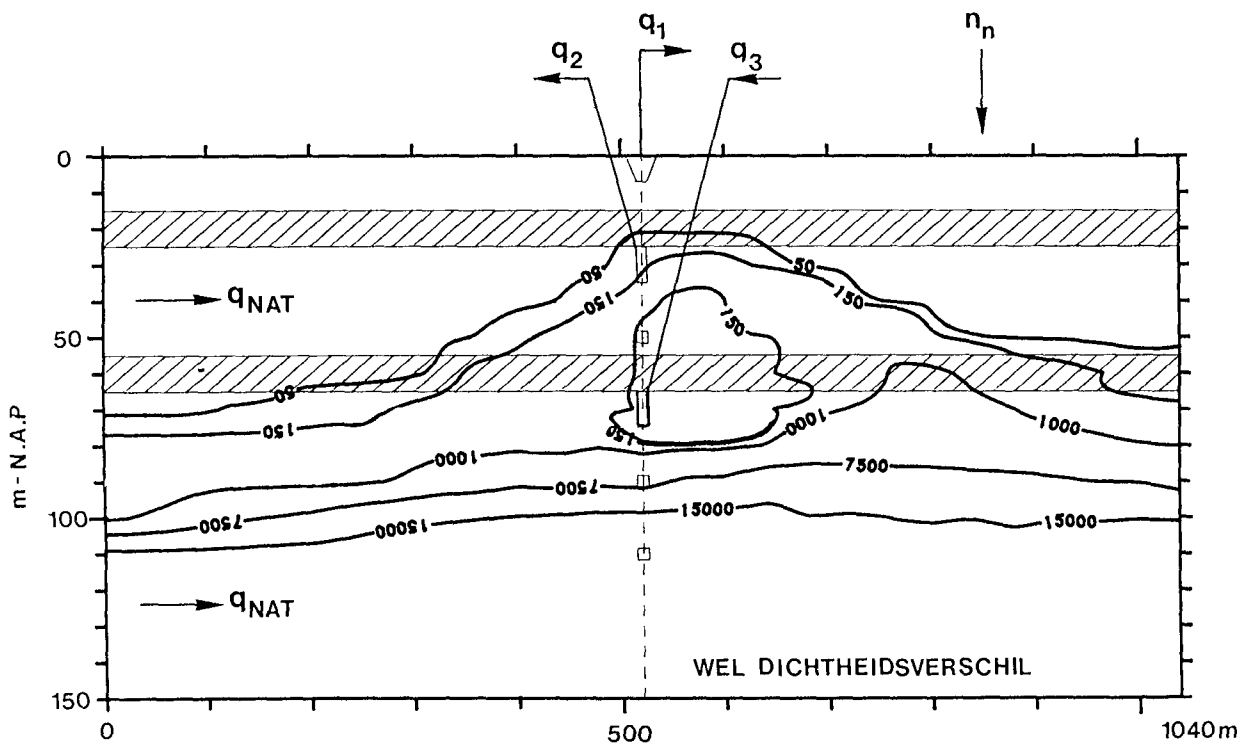
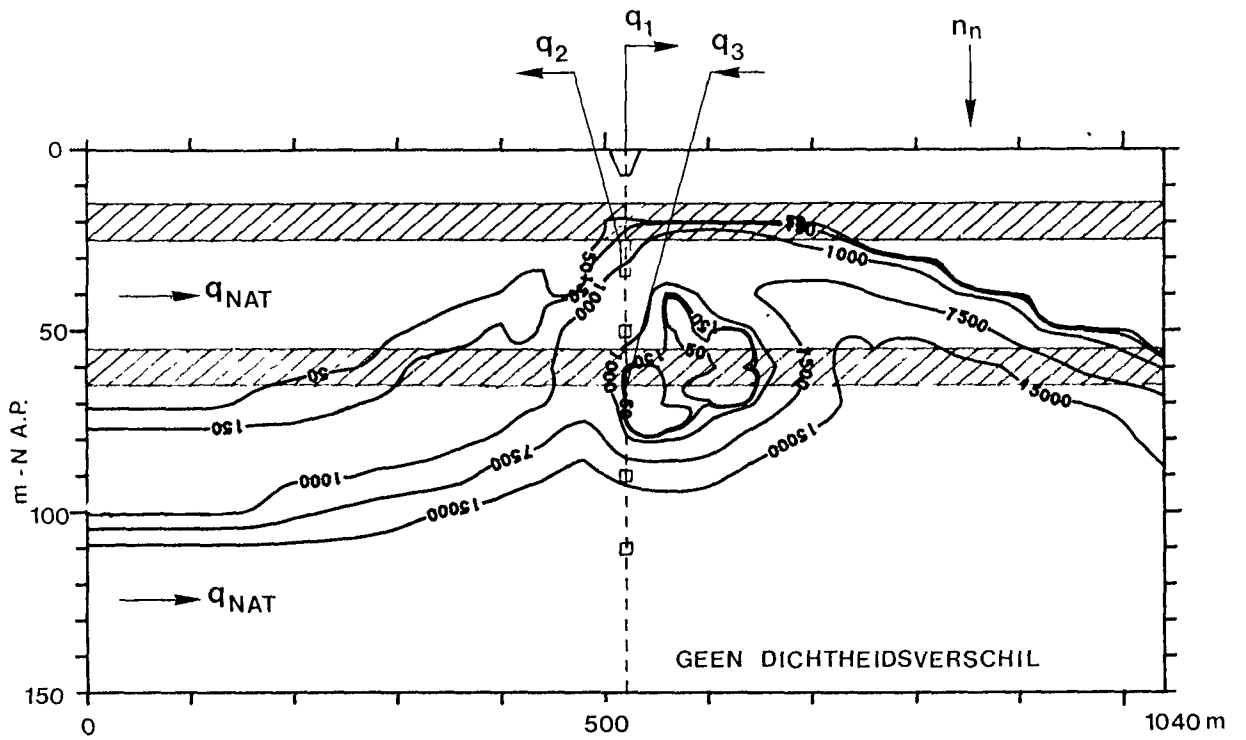
in de leemlaag en diskontinue bedrijfsvoering hebben op de lange duur weinig invloed op het stromingspatroon, maar wel op de verblijftijden.

Omdat verbrakking van het middeldiepe pakket een reëel gevaar is, en het onzeker was of dit voldoende met SLEM kon worden gesimuleerd, werd steeds meer behoefte gevoeld aan een programma waarin wel met dichtheidsverschillen kan worden gerekend. Daarin zouden niet scherpe grensvlakken, maar overgangszones van zout via brak naar zoet water gemodelleerd moeten worden. Een goede mogelijkheid bood een aangepaste versie van het 'twee-dimensionale' programma Konikow-Bredehoeft. Toetsing aan een vergelijkbare praktijk situatie in de Duinwaterwinplaats (Kooiman et al., 1986a) toonde aan dat een goede simulatie van brakwatervorming mogelijk was. Tevens bleek dat verwaarlozen van dichtheidsverschillen in dat geval een veel te negatief beeld van de brakwatervorming te zien gaf (fig. 4).

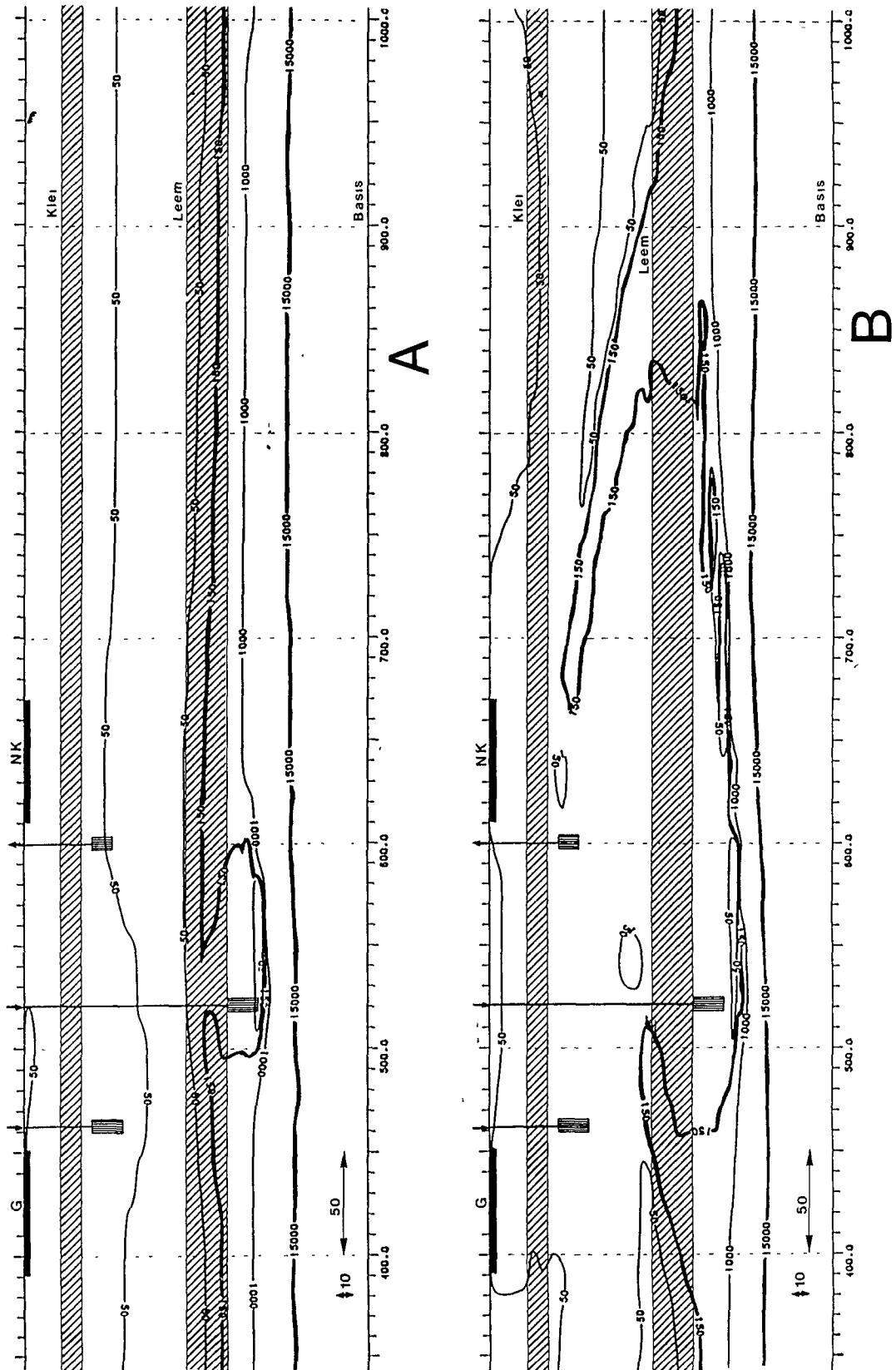
Vervolgens werden berekeningen gemaakt van het systeem met eenzelfde modelschematisatie als bij SLEM was gebeurd (De Wit, 1988). De basis van het modelgebied werd nu gelegd ter plaatse van de basis van het watervoerend pakket, zodat zout en brak water volledig in de berekeningen betrokken konden worden. Op elk willekeurig tijdstip kan de verdeling van het chloridegehalte over het modelgebied berekend en getekend worden (fig 5). Door dat op bepaalde tijdstippen te doen kan het verloop in beeld worden gebracht. Daarnaast is het mogelijk een tijd-koncentratie-verloop te tekenen in een bepaald punt. Er worden geen stroomlijnen getekend. Elf scenario's werden doorgerekend met als variabelen de weerstand van de leemlaag, de plaatsing van de infiltratiefilters in zowel horizontale als verticale zin, en het al dan niet infiltreren in het middeldiepe en diepe pakket afzonderlijk. Berekening met de geïnstalleerde capaciteit maakt duidelijk dat diepinfiltratie nodig is om verzilting te voorkomen.

Ook hier bleek dat het diepe infiltreren een verbrakking van het middeldiepe pakket zal geven door het omhoog drukken van het in de aanvang aanwezige brakke water.

Uit een ander onderzoek (Kooiman, 1988) blijkt dat diepinfiltratie met het hier beschreven systeem geen invloed heeft op het chloridegehalte van het grondwater ten oosten van de Duinwaterwinplaats.



Figuur 4 - Testberekeningen met en zonder dichtheidsverschillen volgens model Konikow-Bredehoeft (test boogkanaal, situatie na 25 jaar).



Figuur 5 - Verbreiding infiltratiewater berekend met Konikow-Bredehoeft:

A. situatie 1 jaar na aanvang infiltratie.

B. situatie 20 jaar na aanvang infiltratie.

De beide hiervoor genoemde programma's kunnen echter vraagstukken rond win- en infiltratieputten niet aan. Hiervoor komen 3-dimensionale programma's als SLAX en SALTP in aanmerking, beide met scherpe grensvlakken tussen zoet en zout.

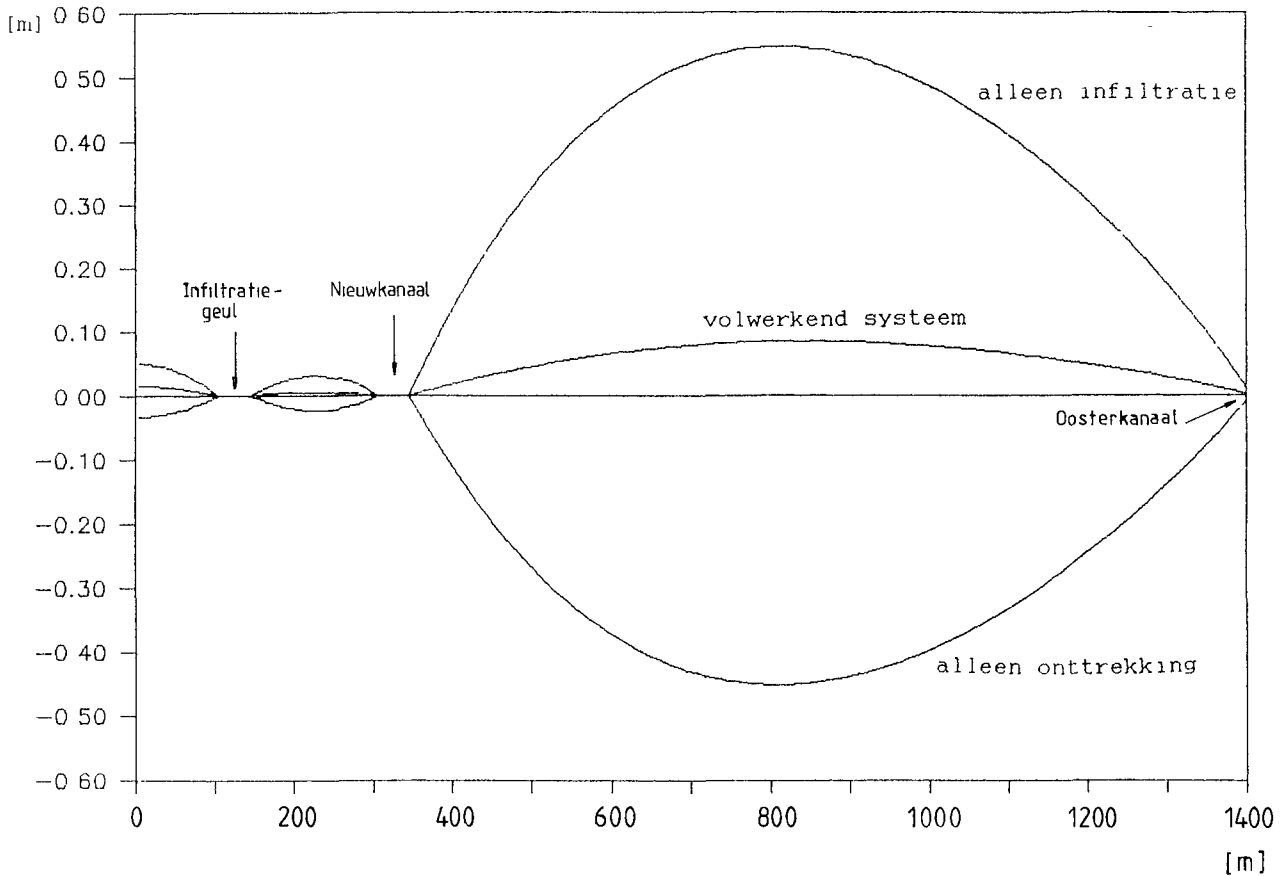
SLAX is een gemodificeerde versie van SLEM, met aanpassing voor axiaal-symmetrische stroming en invloeden van dichtheidsverschillen. Berekend worden de verplaatsing van het scherpe grensvlak en de stroomsnelheden in de elementen. Simulatie van de bestaande diepinfiltratieproef van Gemeentewaterleidingen (Kooiman et al., 1986b) leverde goede resultaten op. Een nadeel is dat niet een systeem met meerdere putten kan worden doorgerekend.

Dat laatste kan wel met het programma SALTP (Van der Eem, 1988).

Dit eindige elementen programma heeft een elementenverdeling in het horizontale vlak, en berekent de verplaatsing van een scherp grensvlak in drie dimensies, tengevolge van winning en infiltratie met onvolkomen putten. Uit een kort vooronderzoek (Temminck, 1988) met berekeningen in een halve eenheid, blijkt dat SALTP goed bruikbaar is voor grensvlakberekeningen in het systeem. Voor een uitgebreidere toepassing op (grotere delen van) het systeem zou het mogelijk moeten zijn ook onvolkomen putten in het middeldiepe pakket aan te brengen.

De tot nu toe besproken mathematische modellen hadden allemaal betrekking op (de verzilting van) het diepe pakket. Daarnaast was ook de invloed van het systeem van diepinfiltratie en diepe winning op de freatische waterstand onderwerp van studie (van Dansik, 1987). Een volwerkend systeem heeft een verhoging van de freatische waterstand tot gevolg van maximaal 0,10 m (fig 6).

Extreme situaties, die kunnen optreden wanneer over langere tijd alleen infiltratie of onttrekking plaatsvindt, veroorzaken verschillen van maximaal 0,50 m ten opzichte van de huidige situatie. De over het jaar optredende, gemeten natuurlijke variaties liggen in de orde van grootte van 0,60 m. De uitkomsten van de berekeningen zijn weinig gevoelig voor variaties in bodemkonstanten zoals de weerstand van de kleilaag en de doorlatendheidscoëfficiënt van het freatische pakket. Variaties in kanaalstanden (Nieuwkanaal, Oosterkanaal) hebben grotere invloed op de freatische waterstand.



Figuur 6 - Berekende verschillen in freatische waterstand ten opzichte van de huidige situatie.

8 KONKLUSIES

1. In de afgelopen jaren heeft zich een snelle ontwikkeling in de techniek van modelleren voorgedaan. Het aantal (berekenings)-mogelijkheden werd sterk uitgebreid (zie tabel 1), waarbij met name wordt gedacht aan het aantal watervoerende lagen en de invloed van dichtheidsverschillen (overgangszones). In bepaalde omstandigheden kan het verwaarlozen van dichtheidsverschillen tot grote afwijkingen in de berekeningsresultaten leiden. Vergeleken met een aantal jaren geleden is momenteel sprake van een aantal goede instrumenten bij het maken van een ontwerp voor een diepinfiltratieproject met zoet-zout-problemen. De mate van beschikbaarheid en gebruikersvriendelijkheid laat nogal eens te wensen over en door de ingewikkeldheid van de materie zal een algemeen gebruik nog wel even op zich laten wachten.

2. Enkele jaren geleden was het streven gericht op het ontwikkelen van een universeel programma dat toepasbaar zou zijn op alle diepinfiltratiesystemen. De ervaring heeft geleerd dat dit ondoenlijk is. Enerzijds omdat elk systeem van diepinfiltratie weer anders is, anderzijds omdat een dergelijke universeel programma, als het al te maken is, veel te gekompliceerd in het gebruik zou zijn.
3. De berekeningen met Konikow-Bredehoeft laten zien dat de lijn met een chloridegehalte van 15000 mg/l nagenoeg op z'n plaats blijft in alle berekende situaties. Hieruit kan gekonkludeerd worden dat de aanname bij de berekeningen met SLEM, door een dichte onderrand te leggen ter plaatse van het brak-zout-grensvlak, nog zo slecht niet was.
4. Uit berekeningen met SALTP blijkt o.a. dat voor lange puttenrijen met onvolkomen putten de schematisering van die puttenrijen tot een drain slechts kleine verschillen oplevert in verplaatsing van het grensvlak. Deze konstatering is van groot belang bij de interpretatie van de uitkomsten van programma's met een "drain" benadering, zoals SLEM en Konikow-Bredehoeft.
5. Een mogelijk gevaar van infiltreren in het diepe pakket is de verbraking van het middeldiepe pakket. Hieraan zal de nodige aandacht moeten worden besteed. Eventueel zal de opzet van het systeem gewijzigd moeten worden.
6. Het definitieve ontwerp van het systeem van diepinfiltratie en diepe winning zal worden gemaakt als de resultaten van de pomp-proef bekend zijn. Hydrologische berekeningen zullen dan worden uitgevoerd met een combinatie van drie programma's. Met SALTP worden de drie-dimensionale beweging van het scherpe grensvlak en de effecten van gefaseerde uitvoering berekend; de brakwatervorming en de stromingssituaties in verticale doorsnedes op de puttenrijen met resp. Konikow- Bredehoeft en SLEM.
7. De bovenvermelde opsomming van rekenprogramma's is nog niet volledig.

In modelberekeningen van de gehele duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen met het programma MODFLOW zijn de invloeden van het zoute water verdiskonteerd (Emke,1988) en wordt gewerkt aan de optie om ook chloridebalansen en een bewegend scherp zoet-zout-grensvlak te berekenen (Maas en Emke, 1988).

Het programma SUTRA (Voss et al., 1986) is door het KIWA aangekocht en inmiddels operationeel gemaakt. Zoet-zout-berekeningen worden bemoeilijkt door het optreden van numerieke dispersie. De bruikbaarheid van het programma zou getoetst kunnen worden aan de praktijksituatie van de bestaande persput van Gemeentewaterleidingen.

Zoet-zout berekeningen met het programma SL (Strack, 1988 en Kooiman et al., 1988) vergen nog dusdanig veel aanpassingen dat hiervan op korte termijn geen resultaten kunnen worden verwacht.

9 LITERATUUR

- Akker, C. van den (1982) Numerical analysis of the stream function in plane groundwater flow, Proefschrift TH Delft.
- Bergen, P.M.A. (1985a) Diepinfiltratie bij Gemeentewaterleidingen, Stromingssituatie tijdens de eerste fasen, Afstudeerverslag TH Delft.
- Bergen, P.M.A. (1985b) Handleiding bij het computerprogramma STRAM, Afstudeerverslag TH Delft.
- Dansik, J. van (1987) Invloed van een diepinfiltratiesysteem op de freatische waterstand in de duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen Amsterdam, Afstudeerverslag TH Delft.
- Eem, J.P. van der (1987) Partially penetrating wells in a Dupuit type fresh/saline finite element model, bijdrage aan de Proceedings van de 10-de SWIM, Gent België, in voorbereiding.
- Emke, M.J. (1988) De Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen, geo-hydrologisch gemodelleerd met het rekenprogramma MODFLOW, rapport Gemeentewaterleidingen.
- Kooiman, J.W. (1984) Opzet voor een pompproef bij het Nieuwkanaal, rapport Gemeentewaterleidingen.
- Kooiman, J.W. (1985) Opzet van een diepinfiltratiesysteem, achtergronden en opzet van een proefobject langs het Nieuwkanaal, rapport Gemeentewaterleidingen.
- Kooiman, J.W. (1988) Modeling the salt water intrusion in the Dunewater-catchment area of the Amsterdam Waterworks, Proceedings of the 10th SWIM, Gent, in voorbereiding.

- Kooiman, J.W., J.H. Peters and J.P. van der Eem (1986a) Upconing of brackish and salt water in the Dune area of Amsterdam Waterworks and modeling with the Konikow- Bredehoeft program, Proceedings of 9th SWIM, Delft, pag. 343-360.
- Kooiman, J.W. and G.J.M. Uffink (1986b) Deep-well infiltration in the dune area of Amsterdam Waterworks and modeling of the moving interface, Proceedings of the 9th SWIM, Delft, pag. 535-550.
- Kooiman, J.W., G.J.M. Uffink en E.J.M. Veling (1988) Het gebruik van het programma SL in het Ecohydrologisch onderzoek, H2O (21), nr. 7 pag 176-182.
- Maas, C and M.J. Emke (1988) Solving varying density groundwater problems with a single density computer program, Proceedings of 10th SWIM, Gent, in voorbereiding.
- Nijhoff-Pan, I (1986a) Onderzoek naar de optimale putafstand in een diepinfiltratiesysteem, Afstudeerverslag TU Delft.
- Nijhoff-Pan, I (1986b) Handleiding bij het computerprogramma SLEM, Afstudeerverslag TU Delft.
- Steinmetz, J.J. en R.A. Schuurmans (1984) Diepinfiltratie in de Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen, Technische opzet van de tweede persput van Gemeentewaterleidingen, resultaten en konklusies van de eerste drie jaar proefnemingen, Rapport Gemeentewaterleidingen; Appendix A:metingen van de jaren 1984 en 1985, februari 1986.
- Strack, O.D.L. (1988?) Groundwater Mechanics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (in druk)
- Temmink, H.E.M. (1988) De toepassing van het computerprogramma SALTP op het systeem van diepinfiltratie en diepe winning van Gemeentewaterleidingen Amsterdam, Afstudeerverslag TU Delft.
- Voss, C.I. and W.R. Souza (1986) Modeling a redional aquifer containing a narrow transition between freshwater and saltwater using solute transport simulation: Part I-theory and methods, Proceedings of 9th SWIM, Delft, pag. 493-514.
- Wit, M.R. de (1988) Berekeningen aan het brakwatervraagstuk van het diepinfiltratiesysteem van Gemeentewaterleidingen met het programma Konikow-Bredehoeft, Afstudeerverslag TU Delft.

Leiduin, december 1988

TEKST 2000/KIWPC23/002A

INFILTRATIEPUTTEN ALS COMPENSERENDE MAATREGEL VOOR BEMALINGEN BIJ HOOGOSENS

J.Ph.J. Krabbendam
HOOGOSENS IJMUIDEN

1 SAMENVATTING

In deze bijdrage is de ervaring van 1,5 jaar diepinfiltratie met WRK III-water beschreven. De aanleiding tot diepinfiltratie bij Hoogovens is gelegen in compensatie van de invloed van grote bouwputbemalingen.

De diepinfiltratie wordt uitgevoerd in een nieuw ingerichte put met een dagelijkse terugpompcyclus en in enkele oude winningsputten.

De eerste ervaring is snel toenemende verstopping in de zomer en een langzaam herstel, althans van de filterweerstand, in de koudere periode. De weerstand over de boorgatwand vermindert aarzelend.

2 INLEIDING EN DOELSTELLING

De IJmond is een gebied waar het grondwaterbeheer al een lange periode veel aandacht heeft. Er zijn onttrekkingen in drie watervoerende lagen door landbouw, drinkwatervoorziening en industrie. Wat Hoogovens betreft is er een belangrijke zoutwaterwinning in het diepe, derde watervoerende pakket.

Dit hoofdstuk is echter gericht op de minder diepe zoetwaterlagen. Uitvoering van een nieuwbouwprogramma in de jaren 1986 en volgende maakt langdurige bouwputbemalingen nodig, die zonder tegenmaatregelen de grondwaterstanden in de omgeving van het bedrijf beïnvloeden. In dit kader is het noordelijke gedeelte van het bedrijfsterrein afgeschermd van de omgeving door infiltratiesloten, die op peil worden gehouden zolang de grondwaterstand binnen de terreingrenzen nog verlaagd is.

In het Provinciaal Grondwaterplan geldt voor het deelgebied Noord-Kennemerland als beleid het tegengaan van vermindering van het zoetwatervoorkomen onder de duinen. In de vergunningen tot bema-

ling is daarom diepinfiltratie voorgeschreven ter compensatie van de verminderde inzijging van water in de diepere lagen met name in het middenpakket.

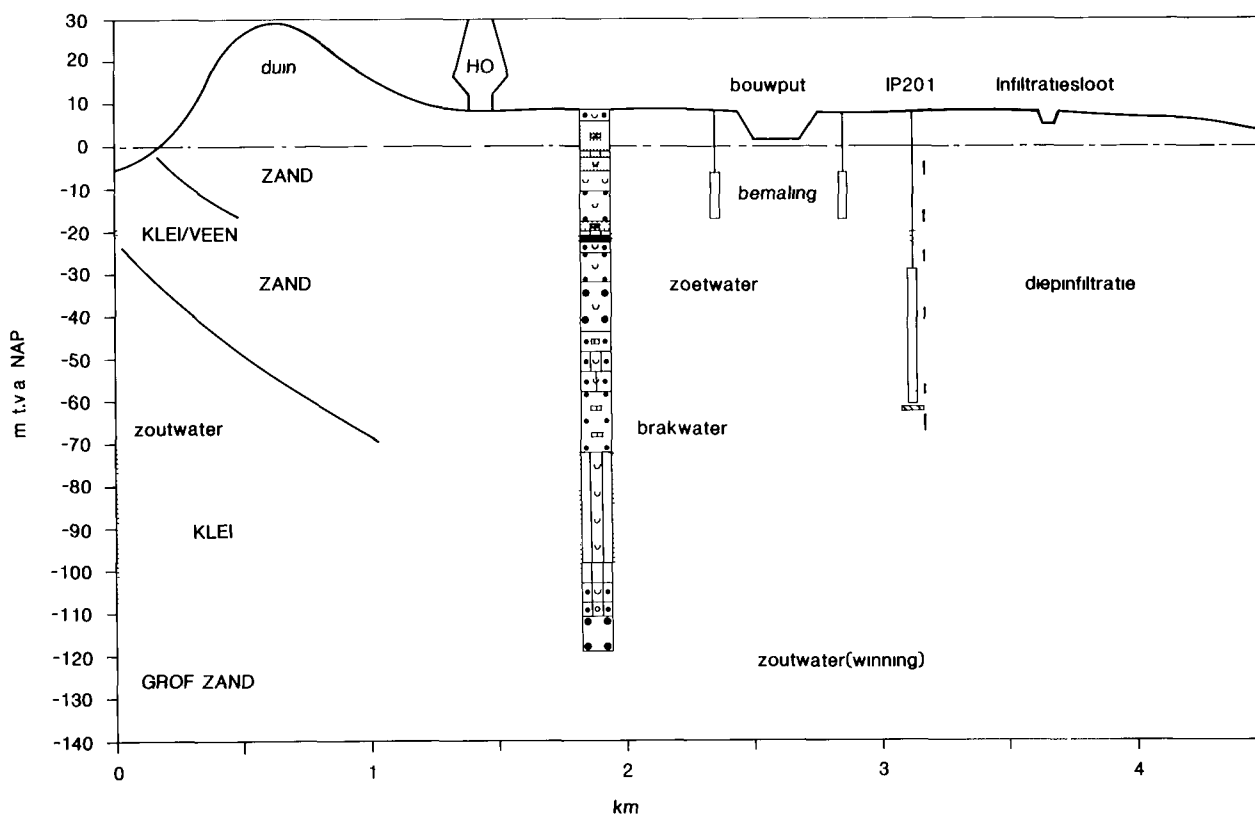
Deze voorwaarde leidde tot het op zo kort mogelijke termijn inrichten van enige infiltratieputten op het noordelijke en op het zuidelijke bedrijfsterrein, zie figuur 1.



Figuur 1 - Locatie infiltratieputten. Oude winningsputten aan de locatie Bosweg/Wijk aan Zee. Nieuw ingerichte put IP201 in het noord-oosten van het bedrijfsterrein

De doelstelling van de infiltratieputten is dus het inbrengen van een vervangende hoeveelheid water in het zoetwatervoerende middenpakket, overeenkomend met de lekvermindering tijdens bemaling ten opzichte van de normale situatie.

Het gaat in totaal om ongeveer 0,4 miljoen m³ in de jaren 1986-1988. De hoeveelheid wordt per bemaling in de vergunning vastgesteld. De putten dienen voor compensatie van eventuele latere bemalingen beschikbaar te blijven.



Figuur 2 - Schematische doorsnede terrein Hoogovens (West-Oost ongeveer 4 km)

3 GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE

De opbouw van de ondergrond is schematisch als volgt weer te geven (zie ook figuur 2)

- Het bovenste watervoerende pakket tot 20 m - NAP bestaat uit Holocene zandige afzettingen.
- De basis van het Holoceen bestaande uit klei en veen, één tot enkele meters dik. Dit vormt de eerste scheidende laag.
- Het middenpakket, waarin de diepinfiltratie plaatsvindt, strekt zich uit tot 70 m - NAP. Dit zandige pakket behoort tot de for-

matie van Twente, de Eemformatie en de formaties van Urk en Sterksel. Het heeft een doorlaatvermogen van ongeveer 600 m²/d.

- De tweede scheidende laag omvat een 40 m diep bekken met glaciële klei. Oostwaarts van Hoogovens, deels ter hoogte van de terreingrens neemt de dikte af. Plaatselijk is stuwning geconstateerd in de formaties van Enschede en Harderwijk waarin glaciële klei en keileem zijn ingebed.
- Het diepe watervoerende pakket bestaat tot circa 200 m - NAP uit grove zanden van de formaties van Enschede en Harderwijk. Uit deze laag wordt zout water gewonnen.

4 INSTALLATIES

De putten dienden op korte termijn operationeel te zijn. Daarom is besloten:

- een niet meer in gebruik zijnde onttrekkingsput op het zuidelijke bedrijfsterrein voor de infiltratie te benutten, met als uitwijkmogelijkheid een tweede, eventueel derde, put bij onvoldoende capaciteit of snelle verstopping.
- op het noordelijke terrein waar geen bestaande put voorhanden was een nieuwe put (IP 201) te installeren met afstandsbewaking en optimale mogelijkheden tot terugpompen.
- als infiltratiewater WRK III-water te benutten. Bemalingswater wordt niet benut omdat het deels zuurstofhoudend, deels ijzerhoudend is. Het WRK III-water passeert na het WRK III-systeem overdekte bufferkelders en een pompstation. Vanwege de relatief beperkte omvang van de infiltratie en het op langere termijn onderbroken bedrijf is een verdere voorbehandeling niet nodig geacht.

Tabel 1 - Technische gegevens van de putten

Put	PD 260	PD 256	IP 201
Bouwjaar	1965	1960	1986
Boring m-NAP			68 m
Boorgat \emptyset mm	550	550	700
Filter \emptyset mm	185	150	226/250
Filterlengte m	22	5	29
Filterdiepte m-NAP	50	50	58
Stijgbuis \emptyset mm			360/400
Boorgatwand m ²	38	26	64
Volumestroom m ³ /h circa	6,7	10	16,3
Infiltratie sinds	21/11/86	4/8/87	5/1/87
In-bedrijf-tijd %	85	65	85
Geïnfiltreerd m ³ t/m maart 1988	70200	43500	151000

4.1 Inrichting

PD 260 en PD 256 zijn verlaten onttrekkingsputten waarin minimale voorzieningen zijn getroffen voor infiltratie: watertoevoer via een inhangleiding tot onder het normale waterniveau en terugpompen met een onderwaterpomp. De bewaking is beperkt tot 1 à 2 controle-ronden per week.

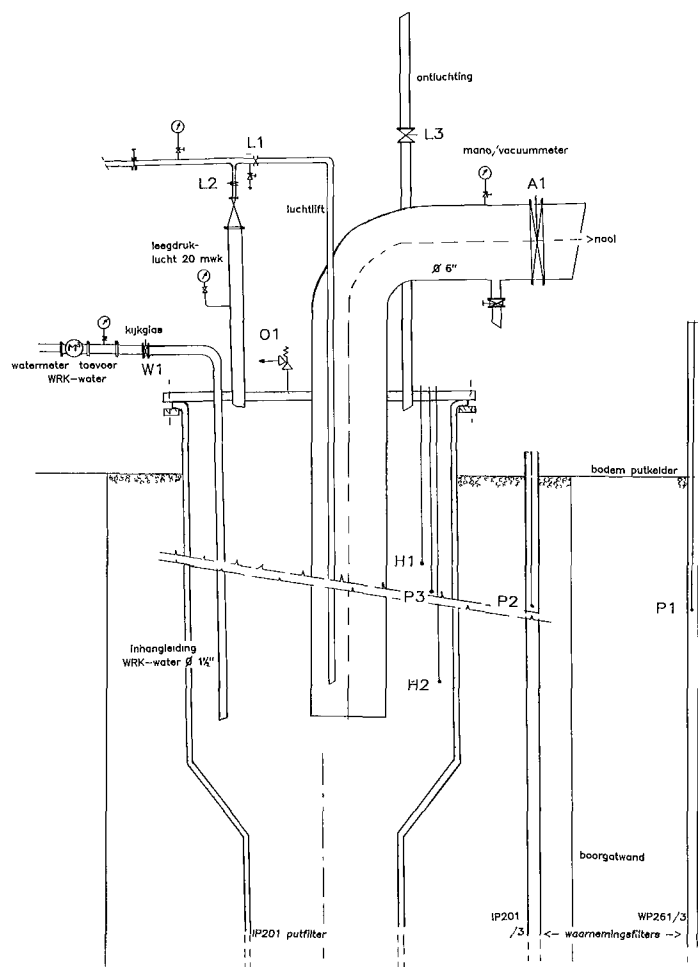
IP 201 is speciaal ingericht als infiltratieput met diverse putkop- en meetvoorzieningen voor automatisch bedrijf en afstandbewaking (figuur 3). De locatie is in overleg met PWS vastgesteld op voldoende afstand van een gebied waar de scheidende laag tussen het bovenste en het middenpakket minder goed ontwikkeld is. Aan de andere kant is de rand tot de bekkenklei (waaronder zoutwater wordt gewonnen) ongeveer een km.

De filterlengte is in combinatie met de diameter van het boorgat zodanig gekozen dat met geringe snelheid op de boorgatwand kan worden volstaan, om de verstoppingsnelheid te beperken. De ge-

plande capaciteit is 15 à 20 m³/h. Ter diepte van het onderste gedeelte van het filter bevond zich voor de aanvang van de infiltratie brak water (5500 mg/l Cl⁻).

De boring is uitgevoerd met twee spoelvijvers waarbij is overgeschakeld van de ene op de andere vijver na het doorboren van de kleilaag op 20 m - NAP om het boorwater zo min mogelijk met kleideeltjes te belasten.

De aanvulling van het boorgat bestaat uit filtergrind 1,2 - 1,7 mm en klei-afdichting tussen de filters en ter plaatse van scheidende lagen. Ingebracht zijn voorts een zetal waarnemingsfilters Ø 25 met meegevoerde omstorting, aangesloten aan Ø 38 stijgbuis, voorzien van afstandhouders. Het onderste filter heeft 2 m, de overige 1 m lengte. Het onderste filter bevindt zich onder het putfilter, daarvan gescheiden door een klei-afdichting.



Figuur 3 - Schema Putkop IP 201. Voor de beschrijving wordt verwezen naar de onderdelen 4.1 Inrichting en 4.2 Automatisering.

De stijgbuis is voorzien van een putkopdeksel met de volgende aansluitingen:

- toevoerleiding voor WRK-water \varnothing 114,3x3,6 met een kijkglas; vernauwend tot \varnothing 32-inhangleiding met lengte 30 m. W1
- toevoerleiding met een reduceer voor leegdrukluicht voor het verlagen van het waterniveau in de stijgbuis. L2
- afvoerleiding (pompbuis) \varnothing 168x4,5 met aansluiting op het bedrijfswaterriool. Inhangdiepte 31 m. A1
- luchttoevoer \varnothing 32 via een inhangleiding in de pompbuis voor het luchtlichten. L1
- ontluichting \varnothing 60,3x2,9. L3
- overdrukventiel 25 mwk. O1
- meetstomp \varnothing 38 met schroefdop (handpeilingen).
- kabeldoorvoer.
- manometers op luchttoevoeren.
- mano/vacuummeters op watertoe- en afvoer.

4.2 Automatisering

Een PLC verzorgt de afsluiterbesturing, meting en signalering rond de infiltratie en het dagelijks terugpompen door luchtlichten gedurende 15 minuten. Ter plaatse kan met de hand in- en uit bedrijf worden gesteld en een terugpompcyclus worden gestart. Voorts is de mogelijkheid aangebracht de terugpompcyclus 10x achtereenvolgens uit te voeren.

4.2.1 Afsluitercyclus

- Tijdens bedrijf zijn de WRK-watertoevoer W1 en de ontluichting L3 geopend.
- Een maximaalsignalering H1 is bedoeld ter detectie van onvoorziene verstopping; de put wordt dan afgeschakeld.
- Sluiten WRK-watertoevoer W1 en ontluichting L3.
- Na een wachttijd van 14 seconden volgt toevoer van (gereduceerde) persluicht via L2 waardoor het waterniveau 20 m, naar beneden wordt gedrukt. De bedoeling hiervan is in de volgende fase samen

met luchtliften een grote snelheid in de omstorting te bewerken en verstoppend materiaal uit te spoelen.

- Bij het bereiken van de gewenste waterstand H2 opent na 4 seconden de afvoersluis A1 naar het riool, 2 seconden later opent de luchttoevoer L1 (luchtliften) en weer 10 seconden later de ontluchting L3. Bij niet bereiken van de gewenste waterstand H2 volgt alarm en wordt de installatie buiten bedrijf gesteld.
- Na 15 minuten sluiten de luchttoevoer L1 en de afvoer A1.
- Nadat deze afsluiters 14 seconden de gelegenheid hebben gehad te sluiten, wordt de toevoer WRK-water weer geopend en gaat de infiltratie in bedrijf. Komt de luchtafsluis niet in de eindstand (gesloten), dan wordt de installatie afgeschakeld (om te voorkomen dat eventueel lucht in de omstorting wordt meegevoerd).

Bij storing in de besturing valt de installatie in principe in een veilige stand, te weten gesloten toe- en afvoeren, geopende ontluchting. Bij spanningsafval (algeheel PLC-alarm) ontstaat een ongedefinieerde situatie.

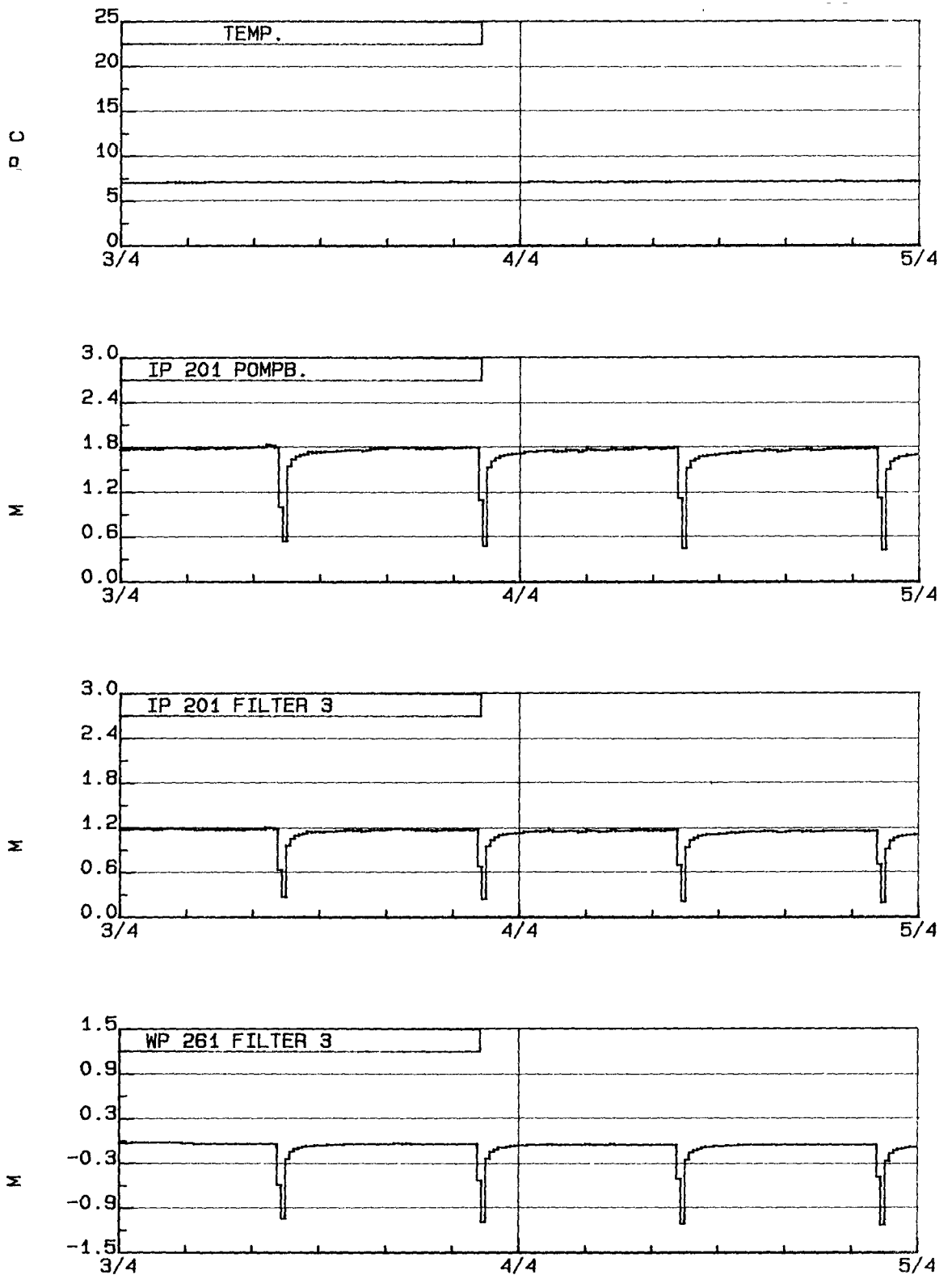
4.2.2 Afstandbewaking

Via het Computersysteem (voor algemene energiebewaking en verwerking van meetgegevens van de afdeling energie) worden enige signalen van de infiltratieput opgeslagen met het oog op de beoordeling van de verstopping. Het betreft

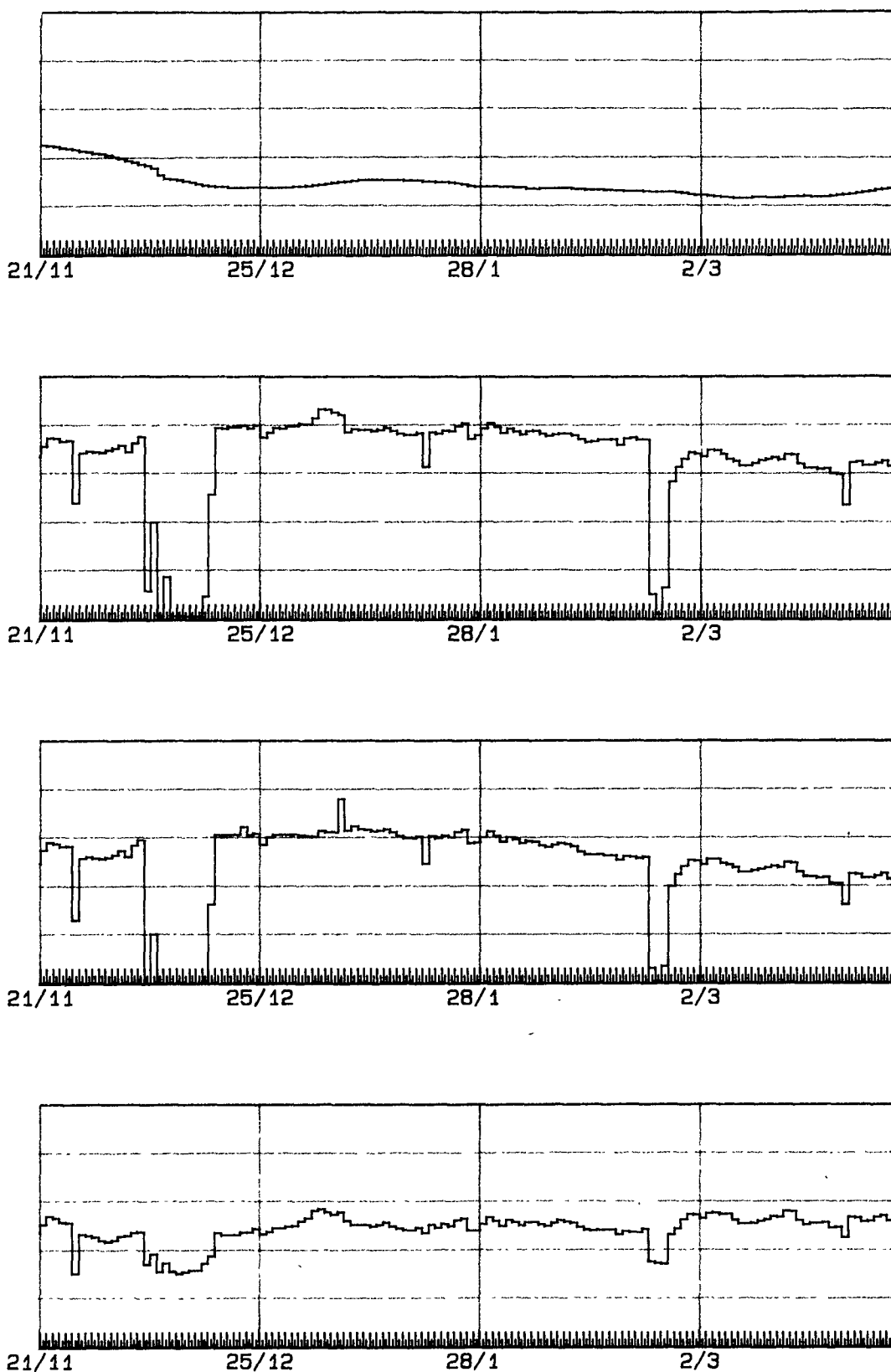
- waterstand in de put P3
- waterstand in de omstorting, filter 3 P2
- waterstand in de waarnemingsput WP 261 op 10 m afstand, filter 3 P1
- temperatuur ingevoerd water (in verband met correctie-filter- en boorgatwandweerstand).

De meetwaarden van de afgelopen uren en de momentane waarden zijn zichtbaar te maken op een beeldscherm.

15 Seconden waarden worden 5 dagen bewaard. Een beeld geeft figuur 4a, met presentatie als kwartiergemiddelden. Dagwaarden blijven langere tijd beschikbaar zodat een trend als in figuur 4b zichtbaar kan worden gemaakt.



Figuur 4a - Afstandbewaking van de IP 201 via de Energiecomputer (4 km afstand) op basis van 15 seconden-waarden. Weergegeven zijn de WRK-watertemperatuur °C, het niveau in de pompbuis, het niveau in de omstorting (IP 201/3) en in een waarnemingsfilter (WP 261) op 10 m afstand als kwartiergemiddelden.



Figuur 4b - Als figuur 4a maar dan op basis van daggemiddelden over een langere periode. Hierbij is door het middelen het terugpompen niet meer te zien.

5 ERVARINGEN IN DE EERSTE BEDRIJFSPERIODE

5.1 De oud-onttrekkingsputten PD 260 en PD 256

De eerste put is met handbediening in bedrijf gegaan met het plan afhankelijk van eventueel optredende verstopping terug te pompen. Gedurende 7 maanden is 2x per week een half uur teruggepompt. Sinds augustus 1987 wordt dagelijks automatisch teruggepompt. Dit geldt ook voor de tweede "oude" put. Sinds 5 oktober 1987 worden beide putten 2x per etmaal 15 minuten teruggepompt met ongeveer 25 m³/h.

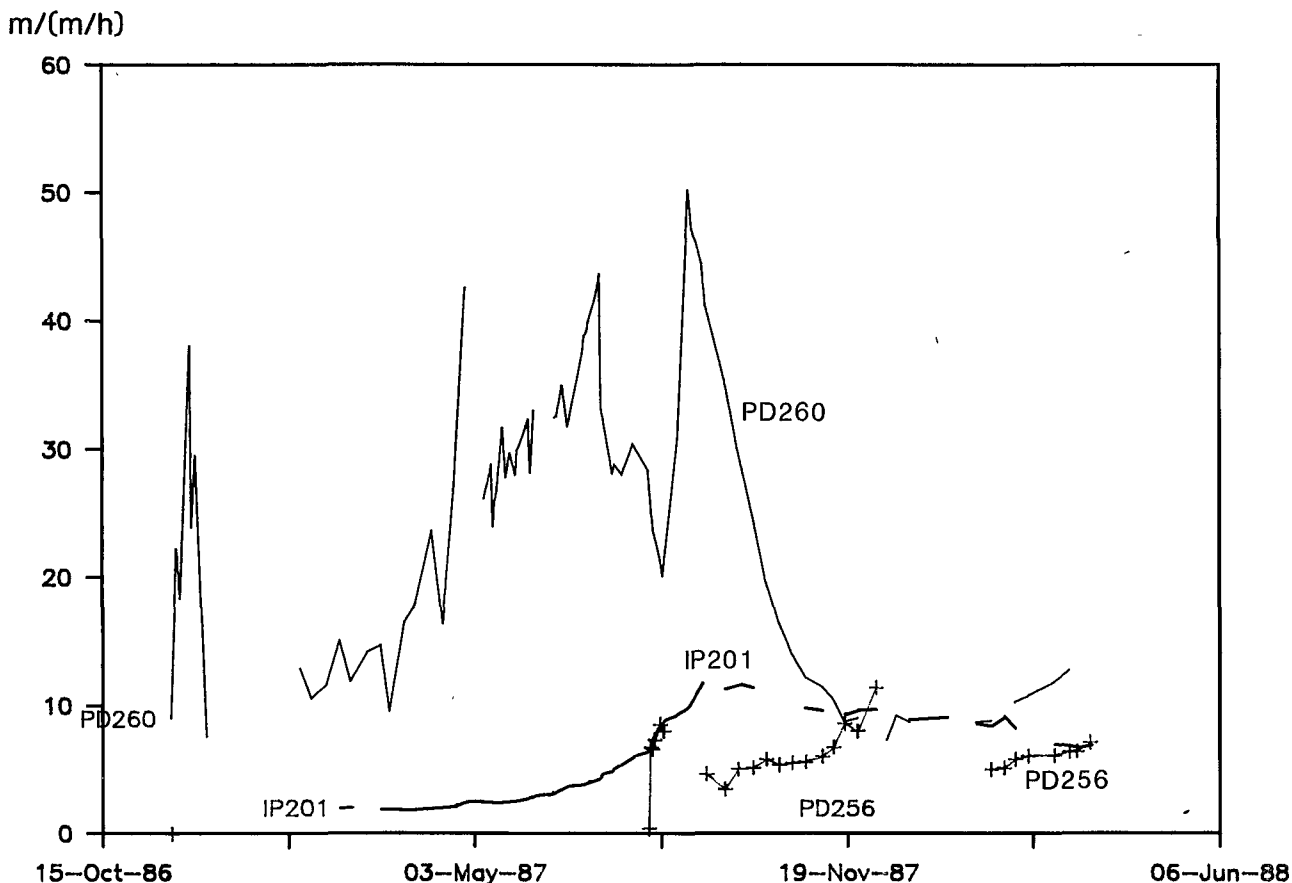
Voor aanpassingen, enige reparaties en tijdens de jaarwisseling zijn de putten uit bedrijf geweest. De bewaking is beperkt tot handpeiling van de putfilters en van een waarnemingsput in de omgeving (1 à 2x per week).

Het resultaat is in figuur 5 weergegeven.

De eind 1986 in bedrijf genomen put (PD 260) laat een sterke verstopping zien die echter in de tweede helft van 1987 afneemt om ongeveer met dezelfde specifieke weerstand bij 10°C te eindigen als de tweede ex-onttrekkingsput (PD 256).

Enige aspecten hierbij zijn:

- De toevoerleiding naar de putten is jarenlang buiten bedrijf geweest. Voor het in bedrijf nemen van de putten is langdurig gespuid, waarbij het water op het oog schoon was. Mogelijk zijn toch restanten verstoppend materiaal later nog meegekomen.
- Bij het ingaan van de automatische dagelijkse terugpompcyclus is aanvankelijk verbetering opgetreden.
- Pas gelijktijdig met de daling van de temperatuur van het infiltratiewater eind september 1987 treedt weerstandsvermindering op. De temperatuur is pas twee maanden later lager dan 10°C.



Figuur 5 - Vergelijking van de drie infiltratieputten, gecorrigeerd voor snelheid op de boorgatwand en temperatuur. Het putfilter is gemeten ten opzichte van een waarnemingsfilter in de omgeving. De onderbrekingen geven stilstandsperiodes aan. De niveaustijging in de putten (ongecorrigeerd) bedraagt eind maart 1988 bij:

- PD 260 circa 3 m, (maximaal in 09-'87: 8 m)
- PD 256 circa 3 m, (maximaal in 11-'87: 4 m)
- IP 201 circa 2 m, (maximaal in 01-'88: 2,5 m)

5.2 De infiltratieput IP 201

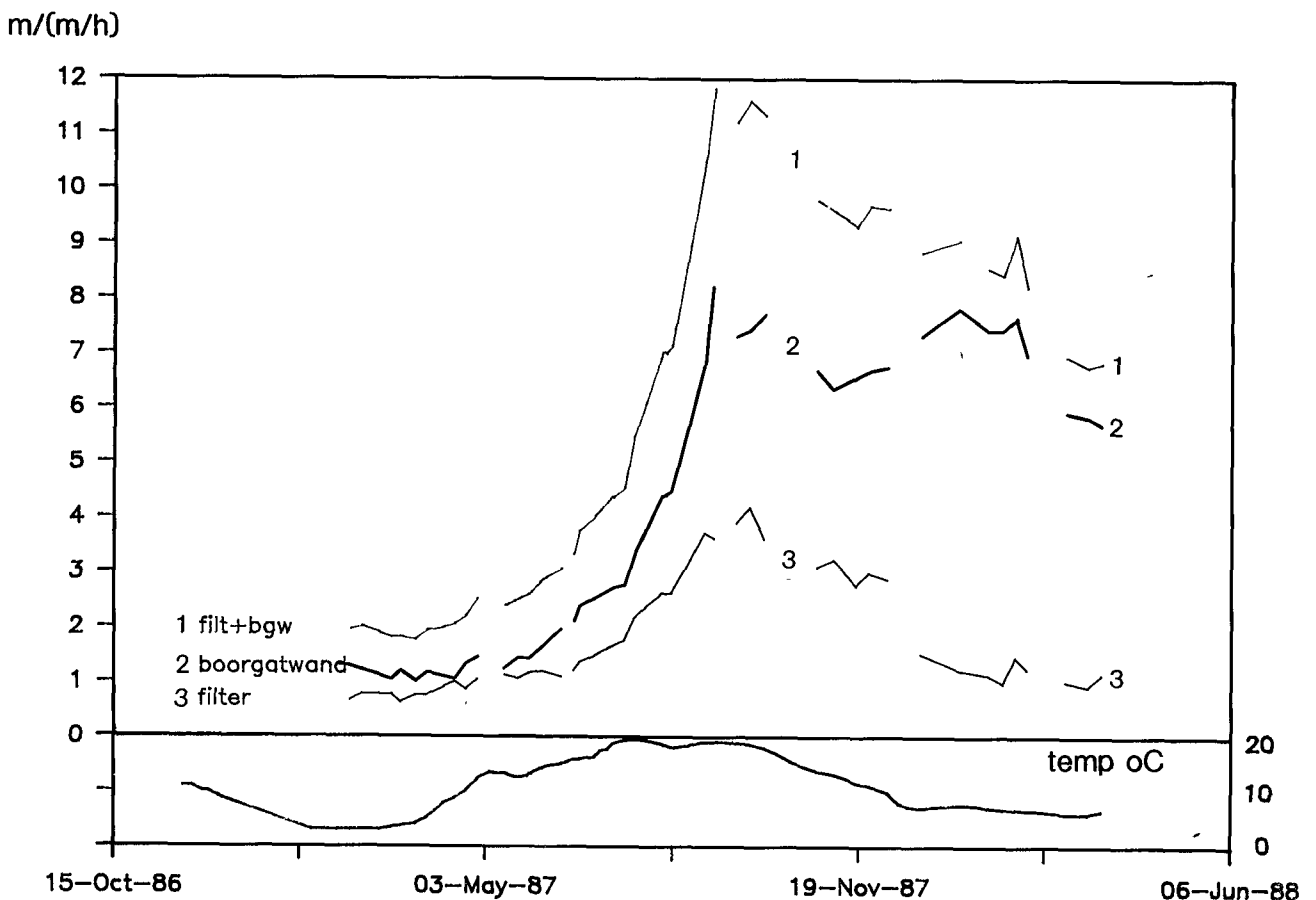
De startinstelling voor de terugpompcyclus met 60 m³/h was de eerste maanden 1x per etmaal gedurende 15 minuten.

De bewaking op afstand vindt sinds oktober 1987 plaats. De belangrijkste stijging van de weerstand heeft reeds in juli en augustus plaatsgevonden zonder dat aanvullende metingen zijn verricht.

Verlenging van de terugspoeltijd tot 60 minuten per dag heeft geen verbetering gebracht. Dit stemt overeen met ervaringen elders. Stilstand van de put gedurende 14 dagen in oktober 1987 en een aantal malen 15 minuten terugpompen hebben de verstopping ogen-

schijnlijk niet verminderd. Bij omrekening naar 10°C blijkt wel enige vermindering van de weerstand op te treden. Het maximaal toelaatbare waterniveau is tot 2,5 m verschil verhoogd om in bedrijf te kunnen blijven. Begin maart 1988 is de put 10x achtereen kort teruggepompt en de cyclus is gewijzigd in 2x per dag gedurende 15 minuten luchtlichten.

Opmerkelijk is dat de filterweerstand is verminderd sinds de verlaging van de temperatuur van het infiltratiewater en dat pas in maart 1988 ook de weerstand op de boorgatwand een lichte verbetering te zien geeft (figuur 6).



Figuur 6 - De gecorrigeerde weerstand van het putfilter, van de boorgatwand en het totaal van deze twee. De laatste twee zijn gemeten ten opzichte van het waarnemingsfilter onder het putfilter, dat van het putfilter is gescheiden door een klei-aanvulling. Dit filter is vergelijkbaar met het filter op 10 m afstand WP 261/3 (figuur 6). De gemeten niveaustijgingen bedragen per eind maart 1988 0,3 en 1,7 m in respectievelijk Putfilter en Omstorting.

Tabel 2 - Analyse zwevende stof in teruggepompt water IP 201 (23/10/87); zwevende delen 70 mg/l; gloeirest bij 1000 °C is 23,4%; dit bestaat uit:

MgO	0,5 %
Al ₂ O ₃	4 %
SiO ₂	23 %
P ₂ O ₅	0,5 %
CaO	33 %
TiO ₂	0,5 %
MnO	2,5 %
Fe ₂ O ₃	30 %
Zn	0,5 %
K ₂ O	1 %
S	0,5 %
Sn	0,5 %

6 VOORTZETTING

Ter compensatie van de uitgevoerde bemalingen in de jaren tot 1988 en andere geplande werken zullen de infiltratieputten op het huidige niveau nog ongeveer 1 jaar in bedrijf zijn.

De oude putten verstopten aanvankelijk veel sneller. Ingrijpende mechanische regeneratie van PD 260 werd overwogen. Tot uitvoering is het niet gekomen omdat de verstopping onverwacht daalde.

De weerstand van IP 201 is in de zomer sterk toegenomen maar bij de temperatuurdaling in de winter weer verminderd.

De vraag naar het nut van een dikkere omstorting bij de onderhavige condities (te weten het inbrengen van water zonder gerichte voorbehandeling met een lage snelheid op de boorgatwand) dringt zich op bij de vergelijking met de oude putten.

Voor conclusies is het echter nog te vroeg, nu recent ook de weerstand over de boorgatwand vermindert. Het wachten is op de nieuwe temperatuurcyclus.

IJmuiden

april 1988, TEKST 2000/KIWPC38/005

PERSPUTPROEVEN IN DE KENNEMERDUINEN

J.B. de Bruin, Waterleidingbedrijf Zuid-Kennemerland

1 INLEIDING

Het Waterleidingbedrijf Zuid-Kennemerland (WLZK) verzorgt sinds 1 januari 1985 de waterlevering aan de gemeenten Bloemendaal (met uitzondering van Vogelenzang), Haarlem, Velzen, Zandvoort. De huidige waterbehoefte in het leveringsgebied wordt grotendeels gedekt door een aantal diepe winningen in het Zuid-Kennemerduin-gebied onder een slecht doorlatende laag in het eerste watervoerend pakket (daarboven ligt nog het freatisch pakket). De provincie Noord-Holland heeft in haar Grondwaterplan opgenomen dat de gewonnen hoeveelheid grondwater in de winning van Overveen terug moet van 9,4 miljoen m³ per jaar (vergunde hoeveelheid) naar 4 à 5 miljoen m³ per jaar in 1991. Daarnaast dient de mogelijkheid te worden onderzocht voor een verdere vermindering van de winning van natuurlijk grondwater tot ongeveer 2 miljoen m³ per jaar in de planperiode (1996).

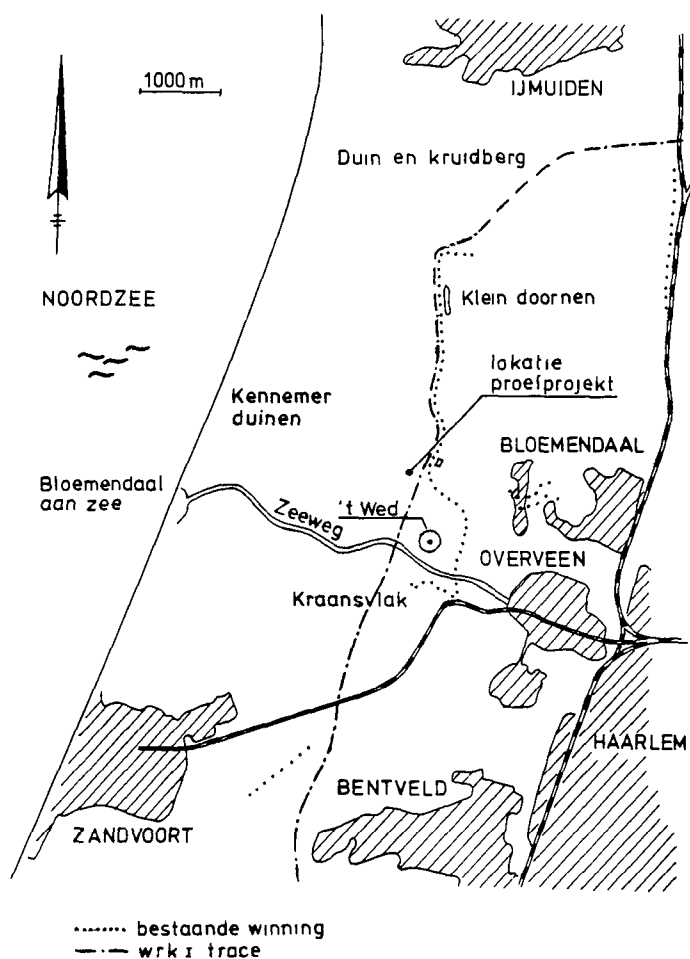
Reeds eerder -in het tweede Tienjarenplan van de VEWIN- is geconstateerd dat de winbaar geachte hoeveelheid duinwater in dit gebied wordt overschreden. Het WLZK zal daarom de grootste winning, in het centrale deel van de Kennemerduin bij Overveen, terugbrengen tot 5,2 miljoen m³ per jaar.

Volgens de laatste verbruikprognoses zal de waterbehoefte in het WLZK-voorzieningsgebied in het jaar 2000 tot 18,0 miljoen m³ per jaar zijn toegenomen, terwijl ook met een levering van 0,4 miljoen m³ per jaar aan het (voormalig) Staatsvissershavenbedrijf rekening moet worden gehouden.

Het WLZK heeft zich in het tweede Tienjarenplan en het concept derde Tienjarenplan na zorgvuldige afweging uitgesproken voor dekking van het tekort in de waterbehoefte dekking door middel van een diepinfiltratieproject in de duinen bij Overveen (DOVE), dat in 1991 gerealiseerd zou moeten zijn. Het WLZK streeft er dan ook naar in 1991 of zo snel mogelijk daarna, een diepinfiltratieproject te realiseren van 9 miljoen m³ per jaar. Vooralsnog lijkt de voorkeur, wat betreft hydrologische en ecologische aspecten, uit

te gaan naar een lokatie nabij 't Wed zoals ook al aangegeven door de Cogrowa.

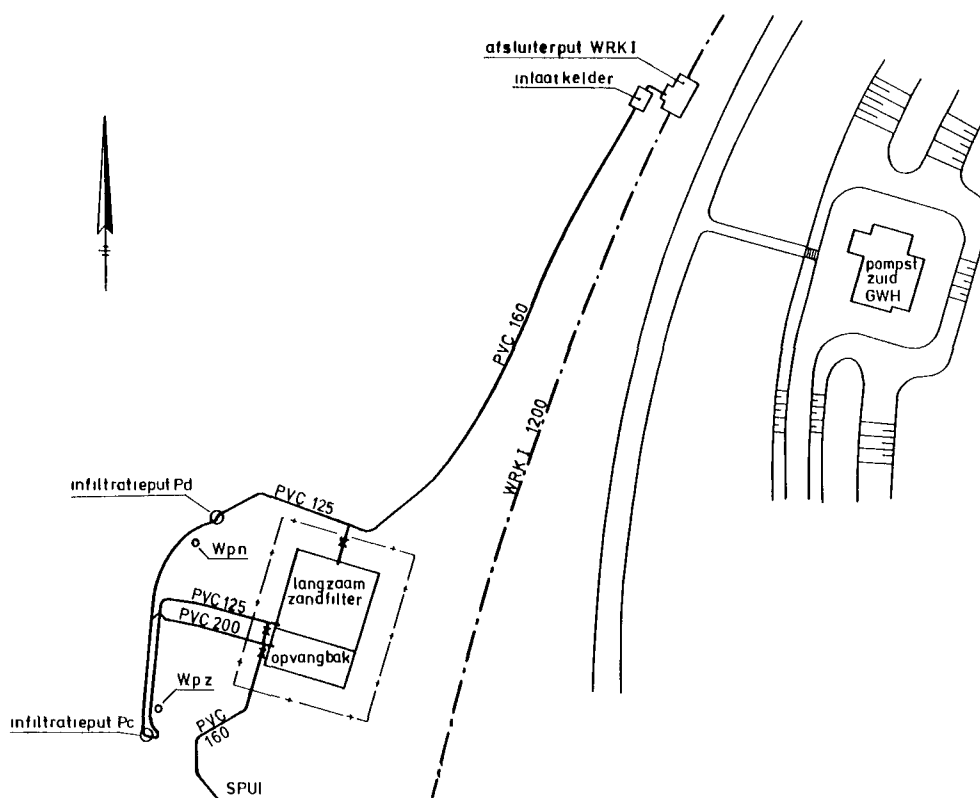
Om ervaring op te doen met diepinfiltratie is gezamenlijk met het PWN in 1980 een proefproject gestart met twee infiltratieputten en een langzaamzandfilter. Per 1 januari 1985 heeft het WLZK de proeven zelfstandig gecontinueerd. De situering van de putten is aangegeven op figuur 1 en 2.



Figuur 1 - Lokatie proefputten

De putten worden gevoed met bij de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK) in Nieuwegein voorgezuiverd Rijnwater, dat via een 53 km lange transportleiding en een verdeelvijver bij Vogelen-zang wordt aangevoerd. Het water passeert in de 'inlaatkelder' een korf, waarmee het grofste vuil wordt tegengehouden. Hierna wordt het water rechtstreeks in de noordelijke put Pd (d = discontinu, in verband met een hoge terugpomp frequentie, in deze bijdrage zal voor de Pd de aanduiding PPN (Persput Noord) worden gebruikt) geïnfiltrated en (tot maart 1987 na passage van het langzaamzandfilter) in de zuidelijke put Pc (c = continu, in verband

met minder frequent schoonpompen, in deze bijdrage wordt de put Pc aangeduid met de code PPZ (Persput Zuid)).



Figuur 2 - Situatieschets infiltratieputten en langzaamzandfilter

Er wordt geïnfiltreerd in het eerste watervoerende pakket tussen 20 en 70 m-NAP. Dit pakket heeft een doorlaatvermogen van ongeveer $1500 \text{ m}^2/\text{dag}$.

Doel van de proeven is inzicht te verkrijgen in:

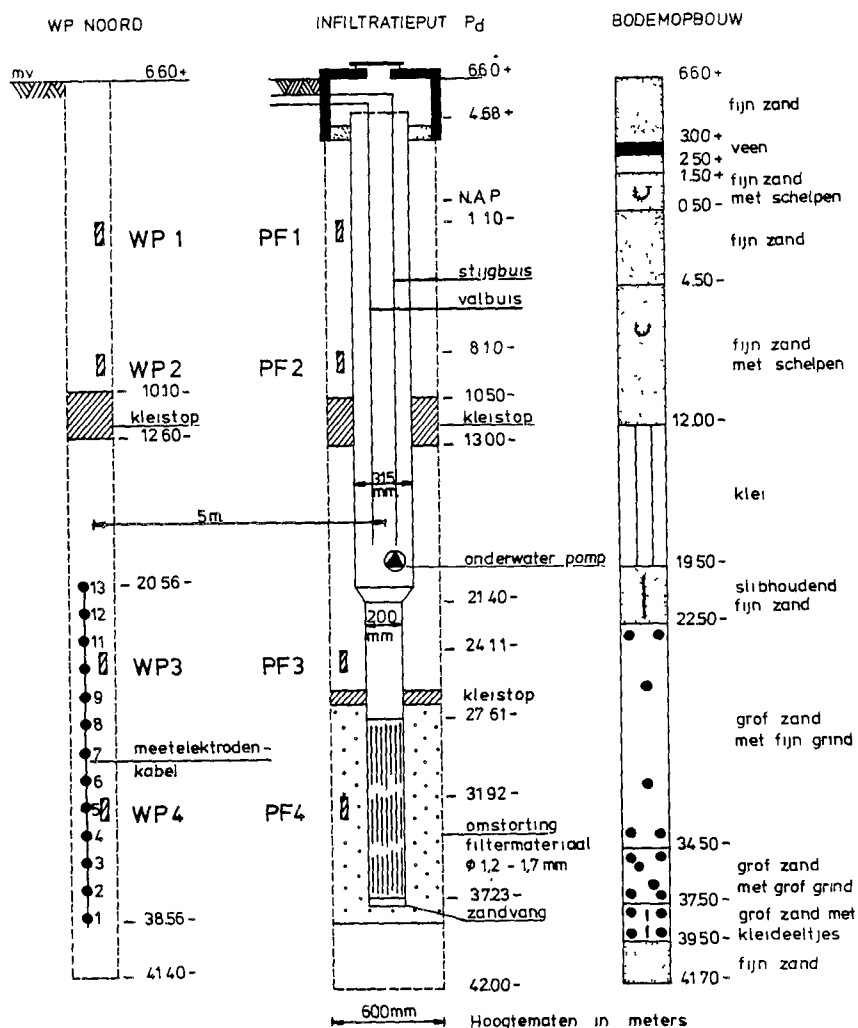
- het verstoppingsmechanisme, de snelheid van weerstandsopbouw in een infiltratieput en de mate waarin die verstopping kan worden verwijderd;
- de invloed van al of niet verder voorzuiveren van het WRK-I water op de mate van verstopping;
- de aquifereigenschappen (anisotropie, inhomogeniteit).

In deze bijdrage zal nader worden ingegaan op de eerste twee aspecten. Voor het laatstgenoemde aspect wordt verwezen naar Konijnenberg (1984).

2 BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEK

2.1 Infiltratie van het WRK-I-water

Het onderzoek naar putverstopping wordt uitgevoerd op twee infiltratieputten, Persput Noord (Pd) en Persput Zuid (Pc). Bij beide putten is op ongeveer 5 meter afstand een waarnemingsput geplaatst. Tussen 10 en 15 m-NAP is ter plaatse van de daar aanwezige kleilaag een kleistop aangebracht. Zowel boven als onder deze kleilaag zijn twee filters aangebracht. De onderste twee filters zijn gescheiden door een kleistop op ongeveer 27 m-NAP. Zie hiervoor figuur 3 en ook Konijnenberg (1984).



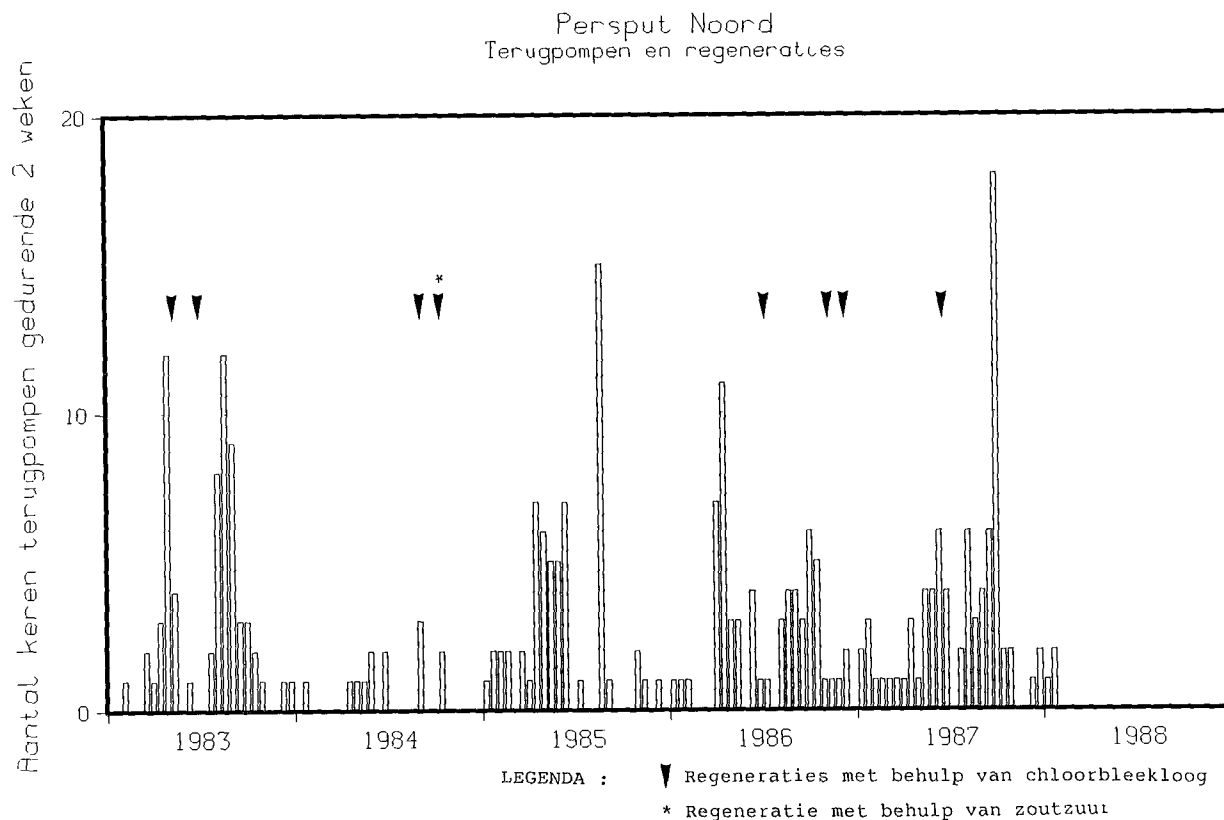
Figuur 3 · Opbouw infiltratieput, filterstelling en bodemopbouw

Verstopping op de boorgatwand en/of de buitenste lagen van de omstorting kan worden vastgesteld door de bepaling van het verloop van de specifieke weerstand tussen

1. PF4 en WP4.
2. PF4 en PF3.

2.2 Persput Noord

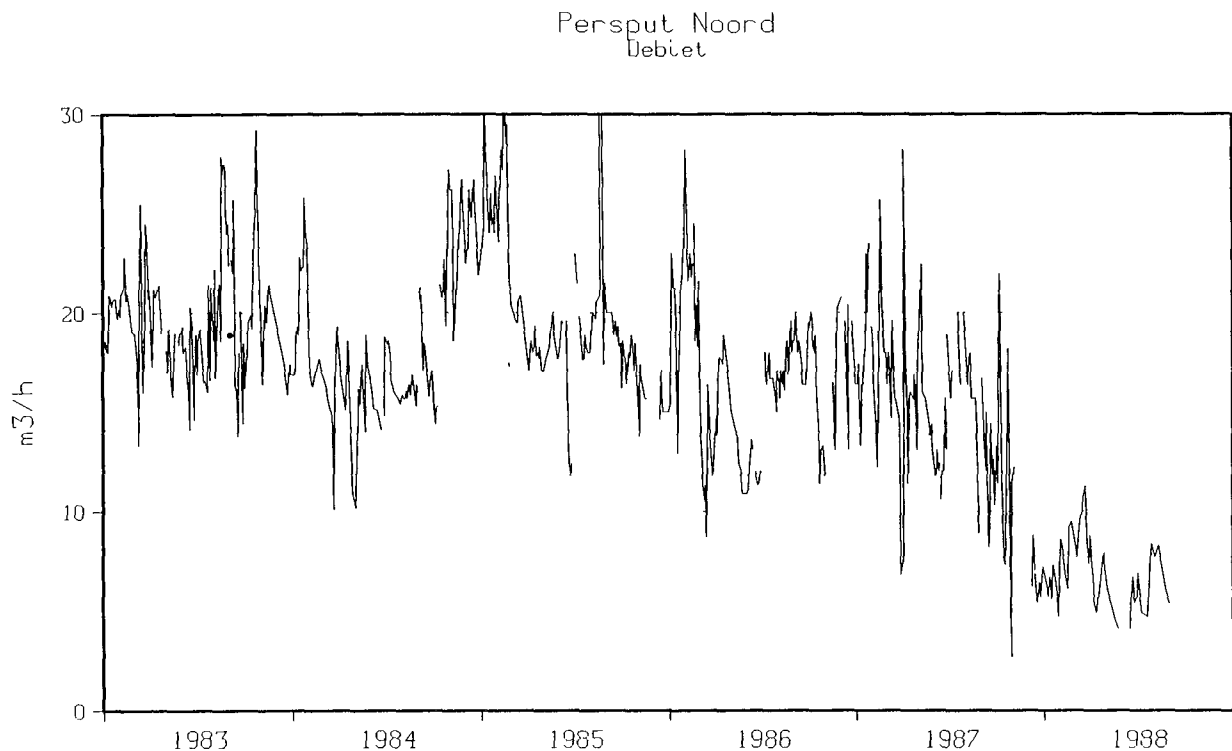
De PPN wordt rechtstreeks gevoed met WRK-I-water dat alleen nog een korf heeft gepasseerd om blad en dergelijke af te vangen. Er wordt teruggepompt indien het waterniveau in de infiltratiebuis hoger dan 1 meter onder de putkop komt door toename van de weerstand in het filter. Indien de weerstand na terugpompen te hoog blijft moet de put worden geregenereerd met chemicaliën (in het algemeen is dit chloorbleekloog geweest). De frequentie van terugpompen en regenereren is gegeven in figuur 4.



Figuur 4 - Informatie over de terugpompfrequentie en de wijze van regenereren van Persput Noord (PPN)

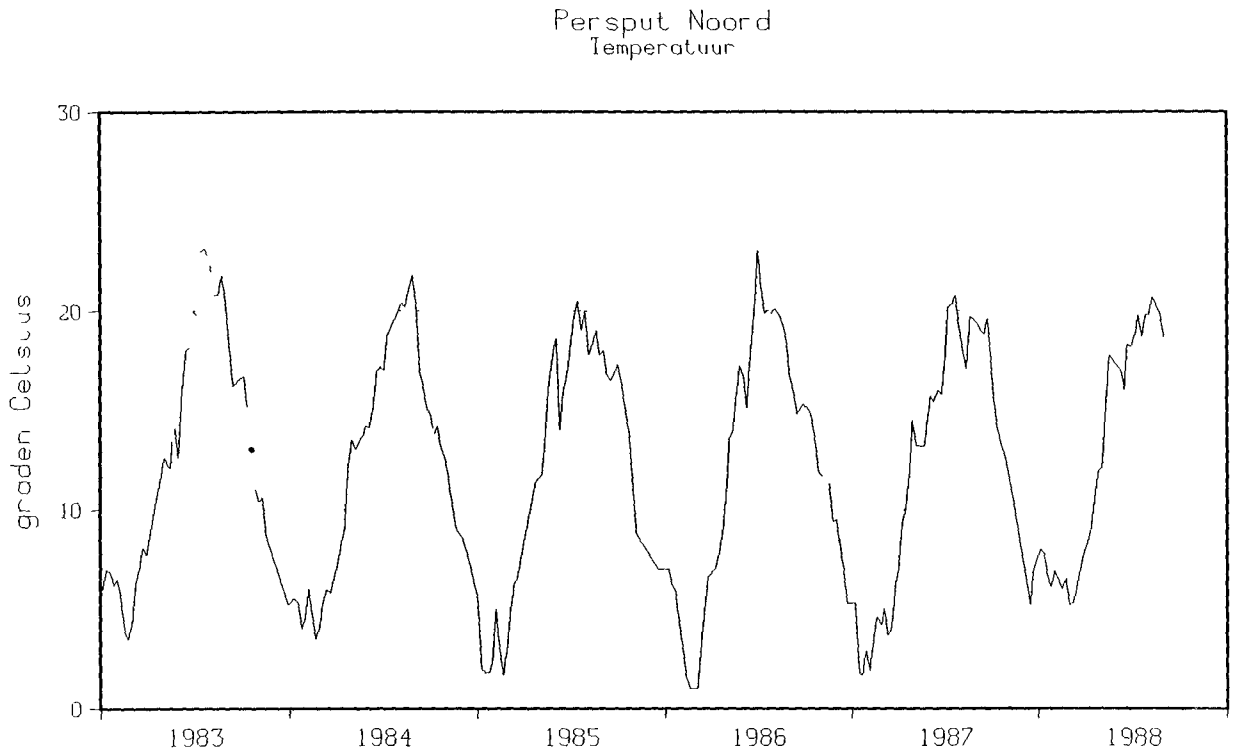
De infiltratievolumestroom wordt gestuurd met een klepje aan de onderzijde van de inlaatbuis, welke met de hand moet worden bijgesteld door middel van een koord.

Het resultaat is dat de volumestroom van PPN (gestreefd is naar 20 m³/h) schommelt tussen 15 en 20 m³/h (figuur 5).

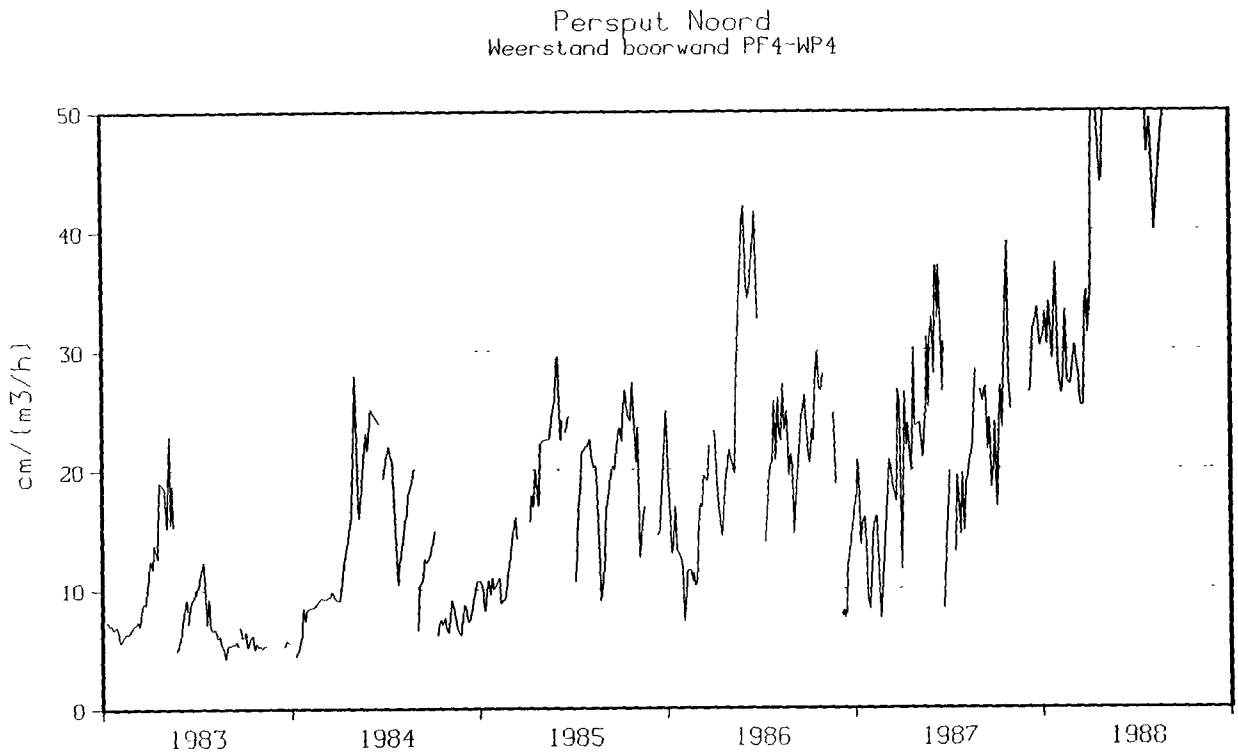


Figuur 5 - Verloop van de volumestroom (m³/h) in PPN

In 1988 is door de hoge weerstand slechts een kleine volumestroom gehaald. Het temperatuurverloop van PPN is gegeven in figuur 6, het verloop van de weerstand is gegeven in de figuren 7, 8 en 9. Figuur 7 geeft de weerstand op de boorgatwand gemeten tussen de infiltratieput en de waarnemingsput, figuur 8 de weerstand op de boorgatwand gemeten als verschil over de kleistop tussen PF3 en PF4. Figuur 9 geeft de weerstand op en in het filter.

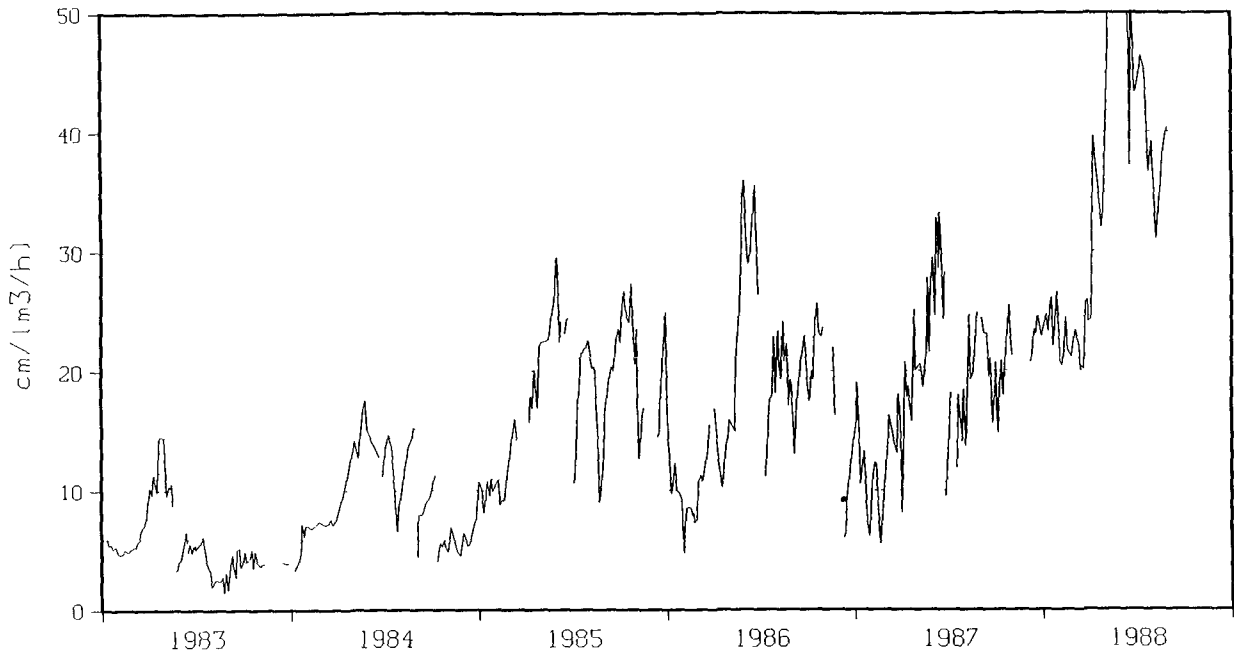


Figuur 6 - Verloop van de temperatuur van het infiltratiewater, PPN



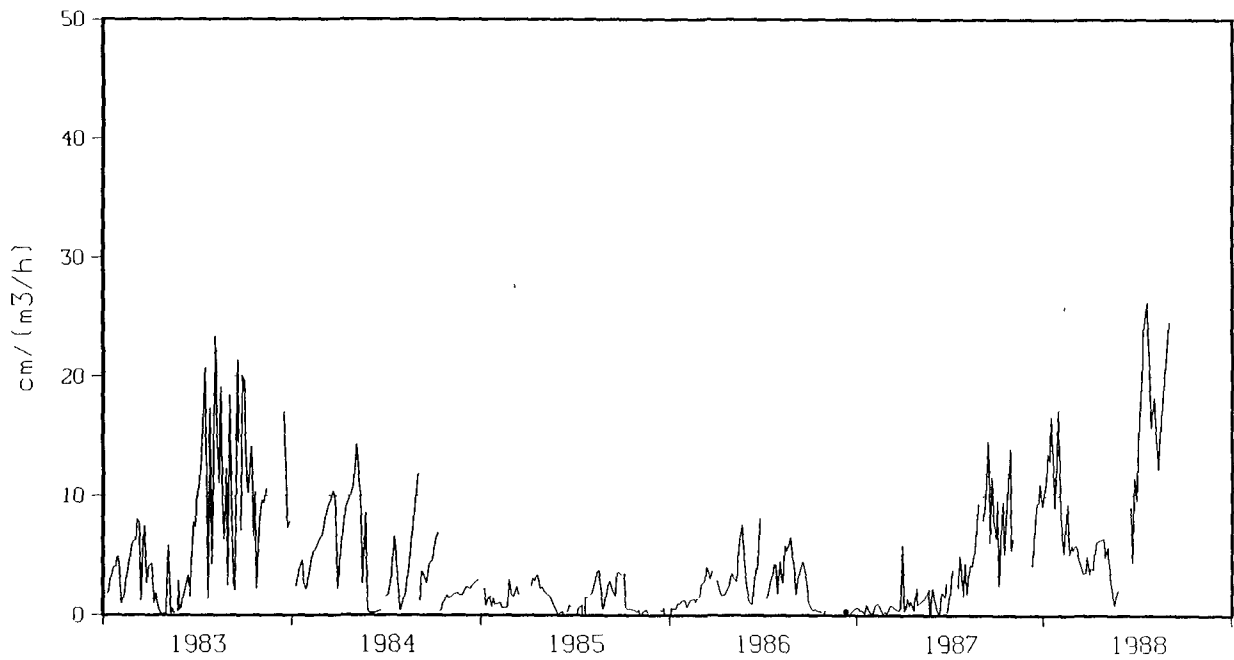
Figuur 7 - Verloop van de weerstand in cm/(m³/uur) op de boorgatwand (PF4 - WP4), PPN

Persput Noord
Weerstand boorgat PF4-PF3



Figuur 8- Verloop van de weerstand (in $\text{cm}/(\text{m}^3/\text{uur})$) op de boorgatwand (PF4 - PF3), PPN

Persput Noord
Weerstand filter BR-PF4



Figuur 9 - Weerstand in $\text{cm}/(\text{m}^3/\text{uur})$ op en in de filterspleten, PPN

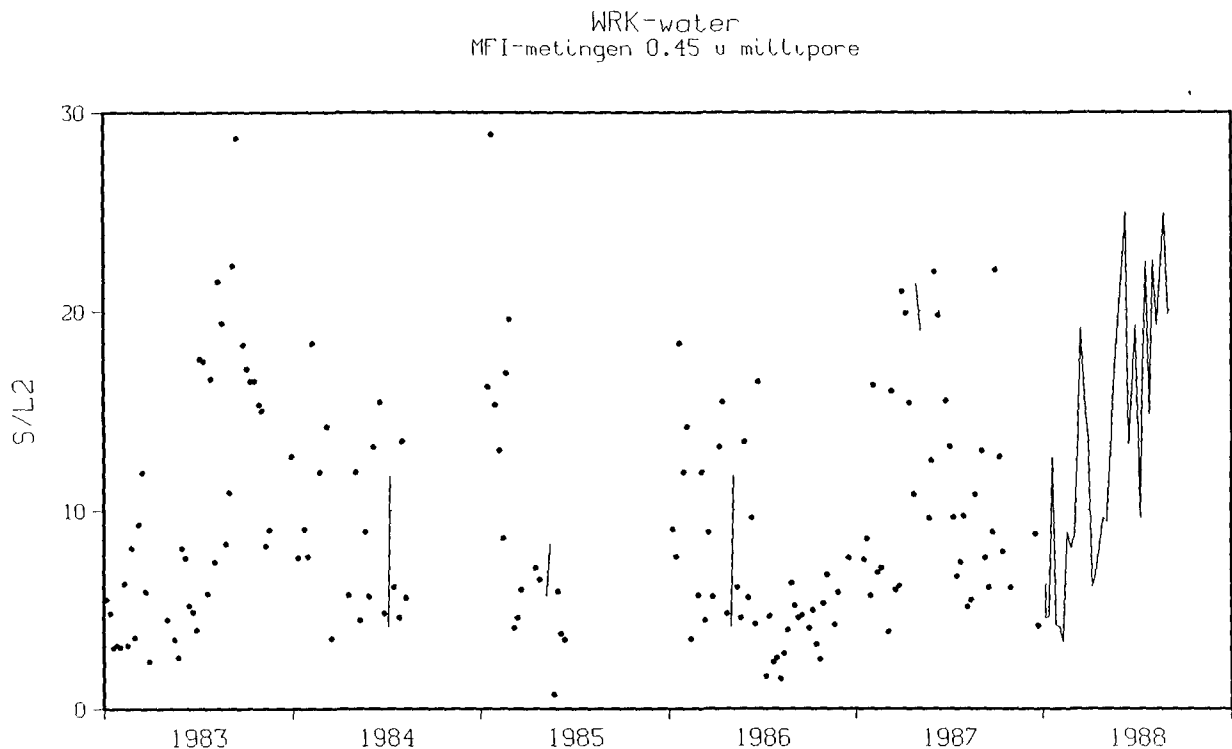
2.3 Persput Zuid

De PPZ is tot februari 1987 gevoed met WRK-I-water dat vóór infiltratie een extra zuivering heeft ondergaan via een langzaamzandfilter. Door deze extra zuivering daalde de MFI van het WRK-water van 5-30 s/l² (figuur 10) naar 0,2-5 s/l² na passage van het langzaamzandfilter (figuur 11).

Door deze goede waterkwaliteit kan worden volstaan met slechts enkele malen per jaar terugpompen (figuur 12).

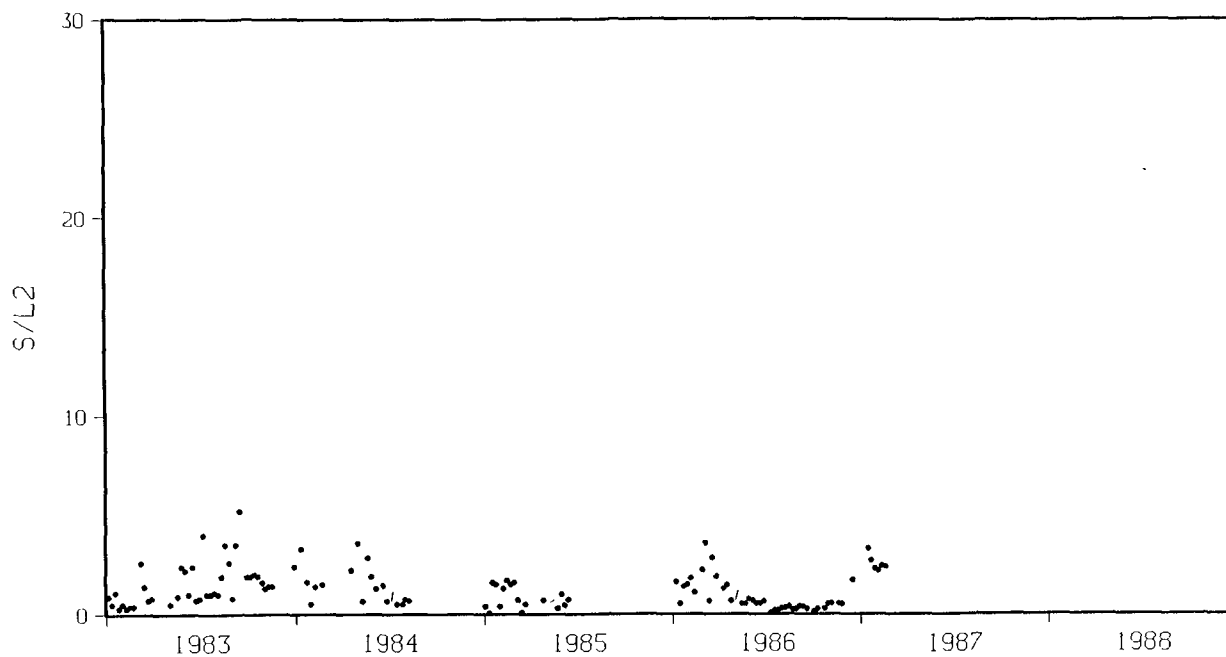
De volumestroom die in de jaren 1983 tot 1985 op een niveau tussen 20 en 30 m³/h was gehouden, lag in de jaren 1986 tot 1988 tussen 10 en 20 m³/h (figuur 13). Het temperatuurverloop van het infiltratiewater is gegeven in figuur 14.

Het verloop van de weerstand is gegeven in de figuren 15, 16 en 17. Figuur 15 geeft de weerstand op de boorgatwand, gemeten tussen de infiltratieput en de waarnemingsput, figuur 16 de weerstand op de boorgatwand, gemeten als verschil over de kleistop tussen PF3 en PF4. Figuur 17 geeft de weerstand op en in het filter.



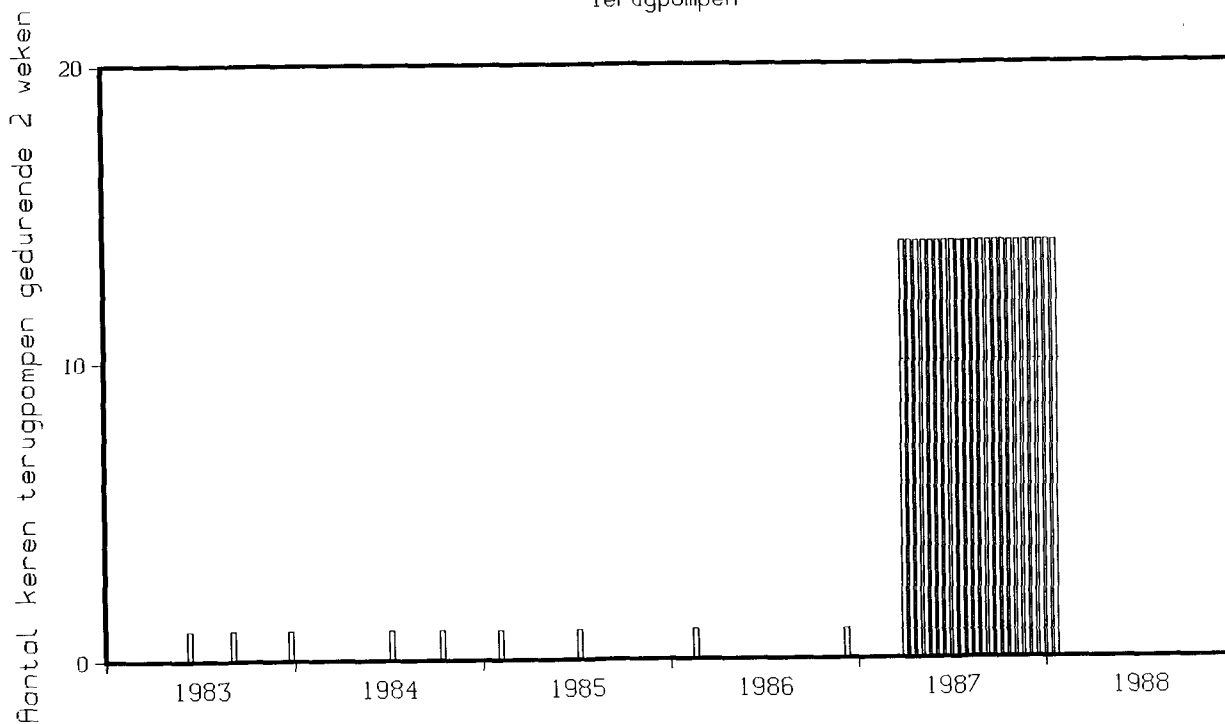
Figuur 10 - Membraanfiltratie-index (MFI) in s/l² van het aangevoerde infiltratiewater (WRK)

LZF-water
MFI-metingen 0.45 u multipore



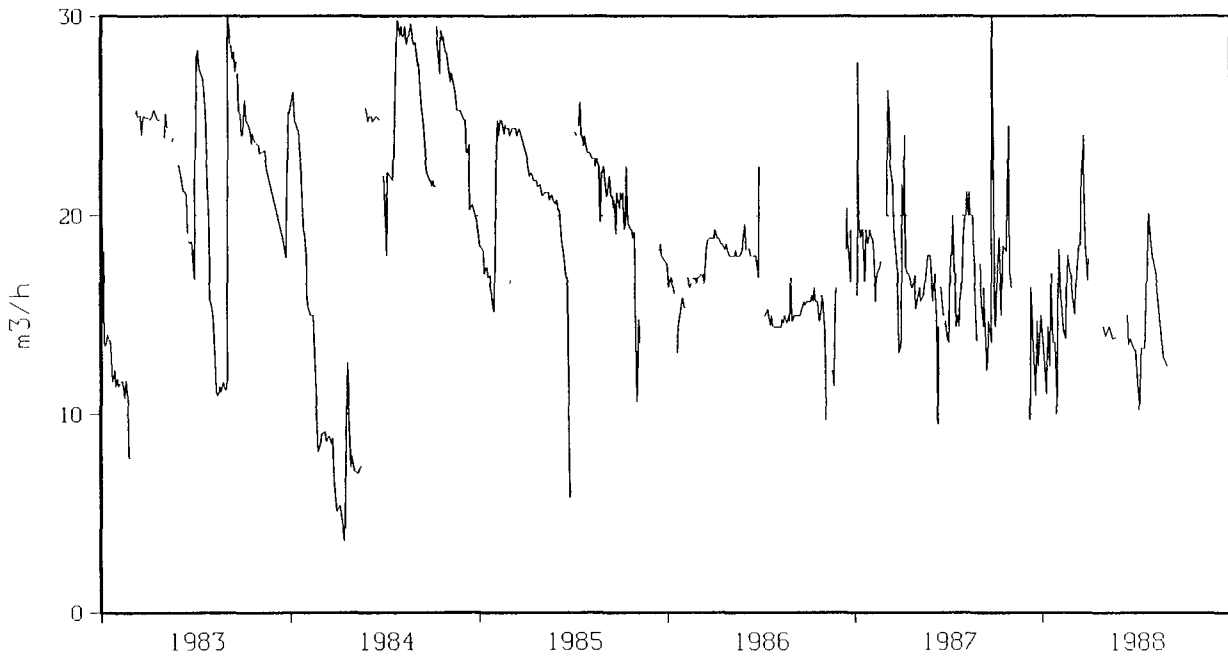
Figuur 11 - MFI (in s/l^2) van het aangevoerde water ná langzaam-zandfiltratie

Persput Zuid
Terugpompen



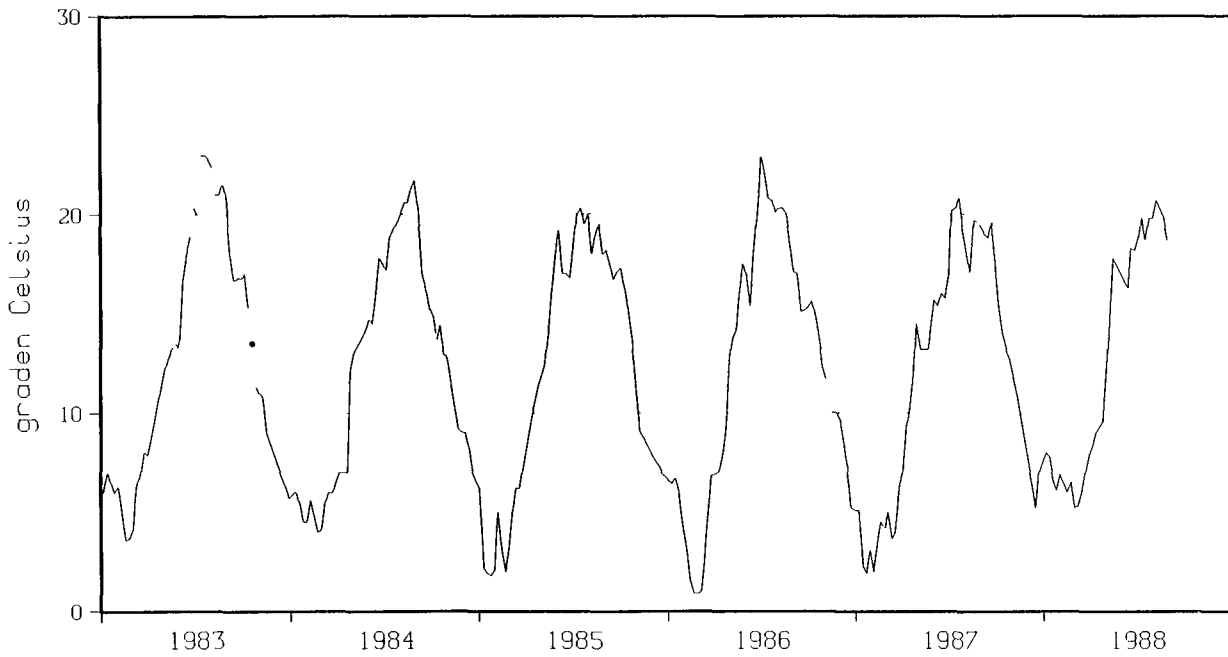
Figuur 12 - Informatie over terugpomp frequentie in PPZ

Persput Zuid
Debiet



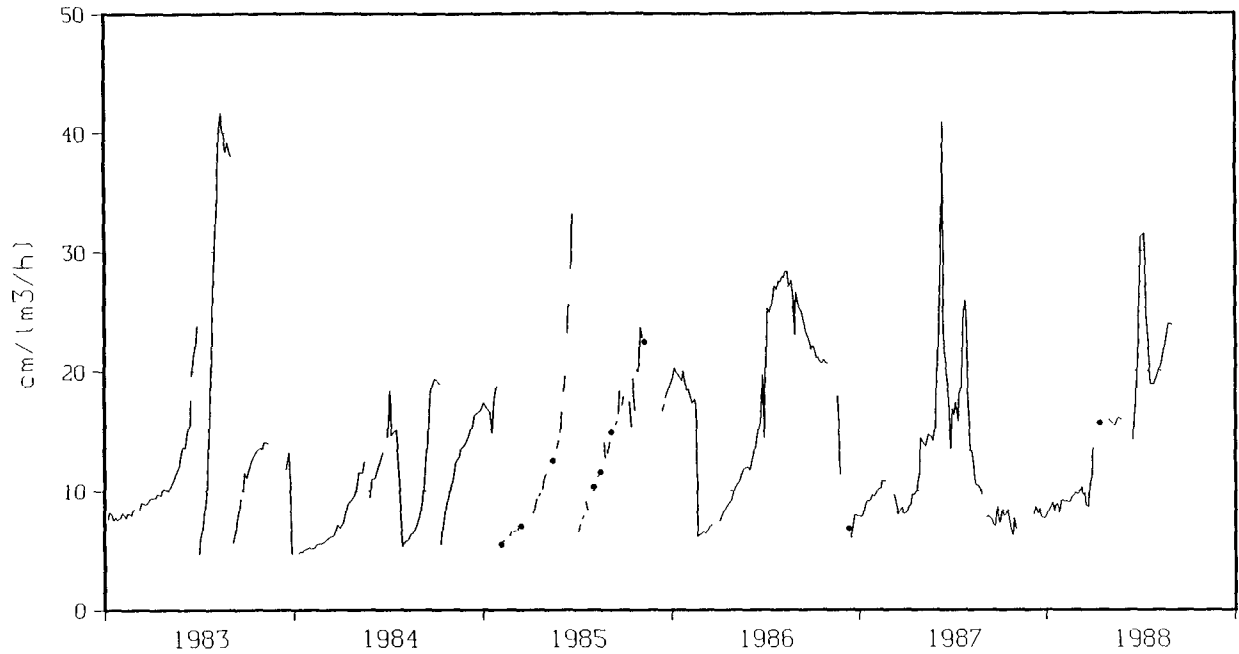
Figuur 13 - Volumestroom (in m³/uur) infiltratie in PPZ

Persput Zuid
Temperatuur



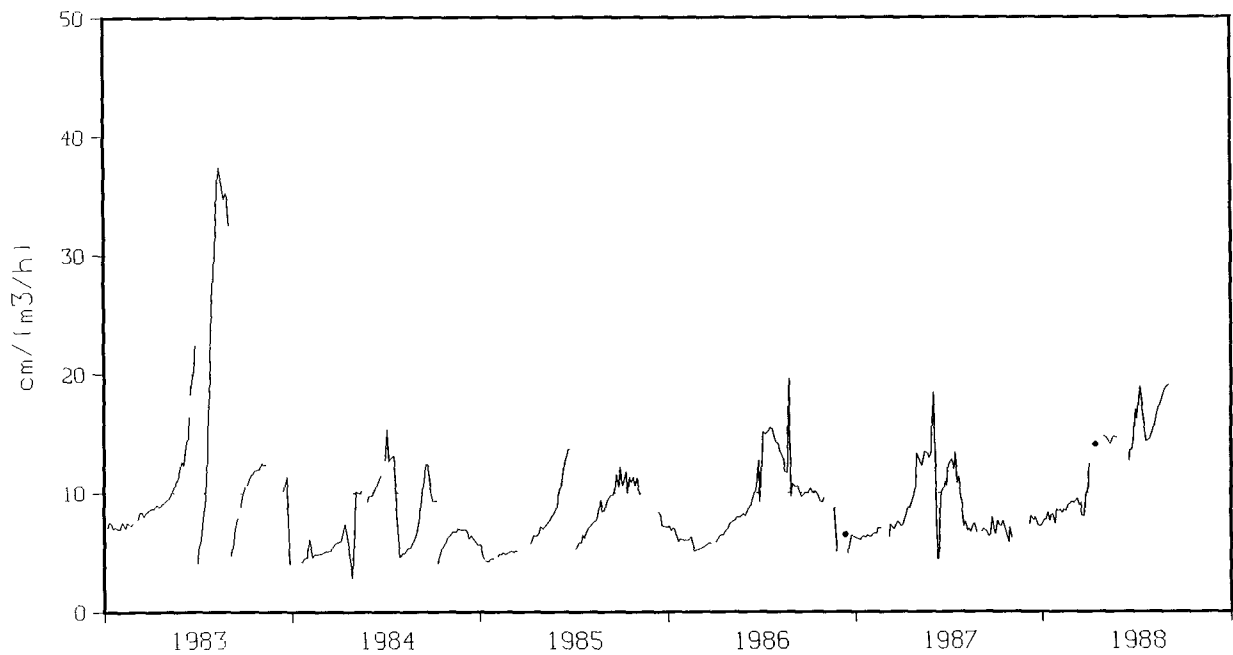
Figuur 14 - Temperatuur (in graden Celsius) infiltratiewater, PPZ

Persput Zuid
Weerstand boorgatwand PF4-WP4



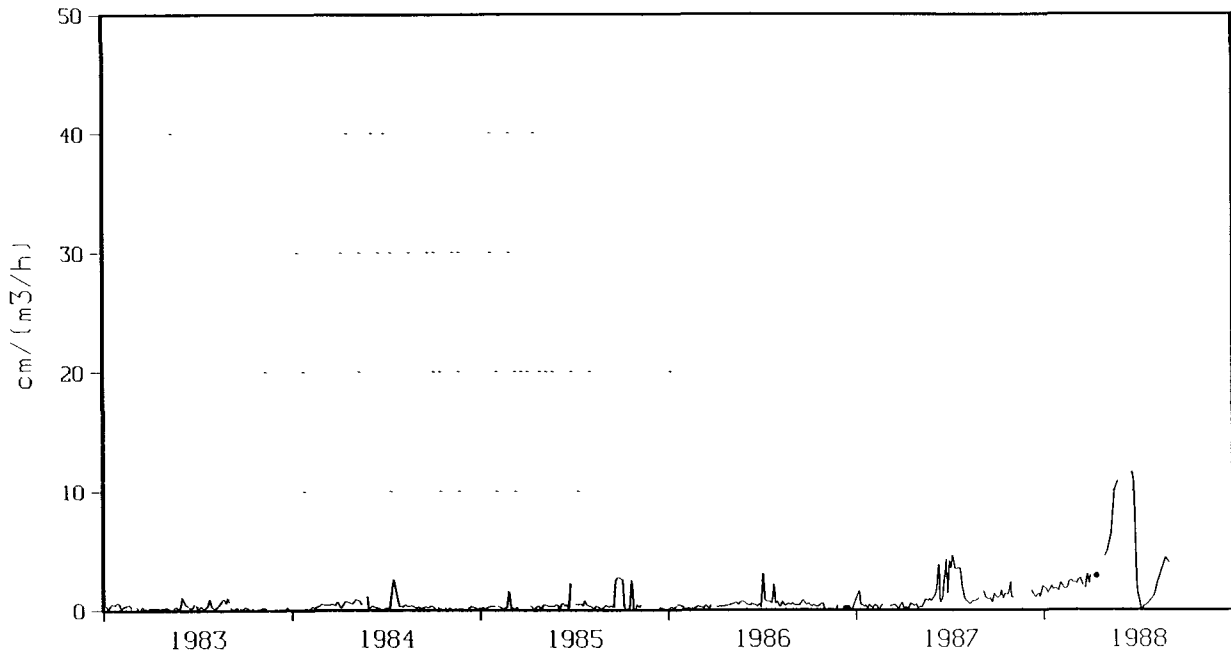
Figuur 15 - Weerstand in $\text{cm}/(\text{m}^3/\text{uur})$ op de boorgatwand (PF4 - WP4), PPZ

Persput Zuid
Weerstand boorgatwand PF4-PF3



Figuur 16 - Weerstand in $\text{cm}/(\text{m}^3/\text{uur})$ op de boorgatwand (PF4 - PF3), PPZ

Persput Zuid
Weerstand filter BR-PF4



Figuur 17 - Weerstand op en in filterspletten (in $\text{cm}/(\text{m}^3/\text{uur})$), PPZ

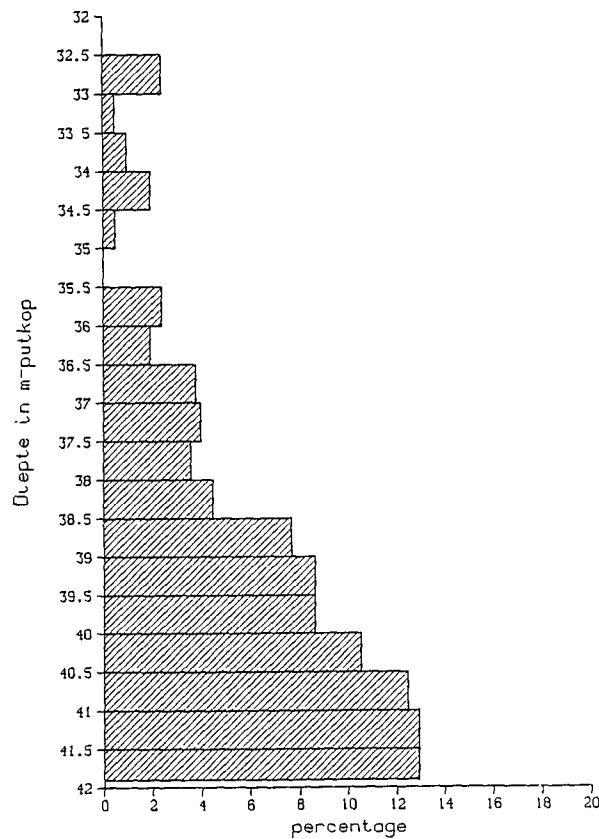
In februari 1987 is de proef met infiltratie van water dat verder gezuiverd werd via het langzaamzandfilter, afgesloten. Daarna is ook PPZ rechtstreeks gevoed met WRK-I-water, waarbij elke dag gedurende 10 minuten met $40 \text{ m}^3/\text{h}$ is teruggepompt. Reden voor beëindiging was het gedurende lange tijd probleemloos bedrijven van de infiltratieput met slechts een geringe toename van de blijvende weerstand (zie ook hoofdstuk 3), zonder dat verwacht werd dat in de komende jaren plotselinge veranderingen zouden optreden. Aangezien het door het WLZK als zeer onwaarschijnlijk wordt ingeschat dat langzaamzandfilters van voldoende capaciteit kunnen worden gerealiseerd, is tot de verandering van de bedrijfsvoering besloten. Konijnenberg (1984) had al geconstateerd dat een hoge terugpompfrequentie bij PPN een verdere weerstandsopbouw voorkomt en zelfs de verstopping ter plaatse van de boorgatwand vermindert, terwijl dit ook in de afgelopen jaren is geconstateerd. Naar aanleiding hiervan is besloten PPZ elke dag, ongeacht de opgebouwde weerstand, enige tijd terug te pompen.

In oktober 1988 is de volumestroom bij terugpompen opgevoerd van 40 naar $50 \text{ m}^3/\text{h}$ in verband met het toch nog vrij sterk oplopen van

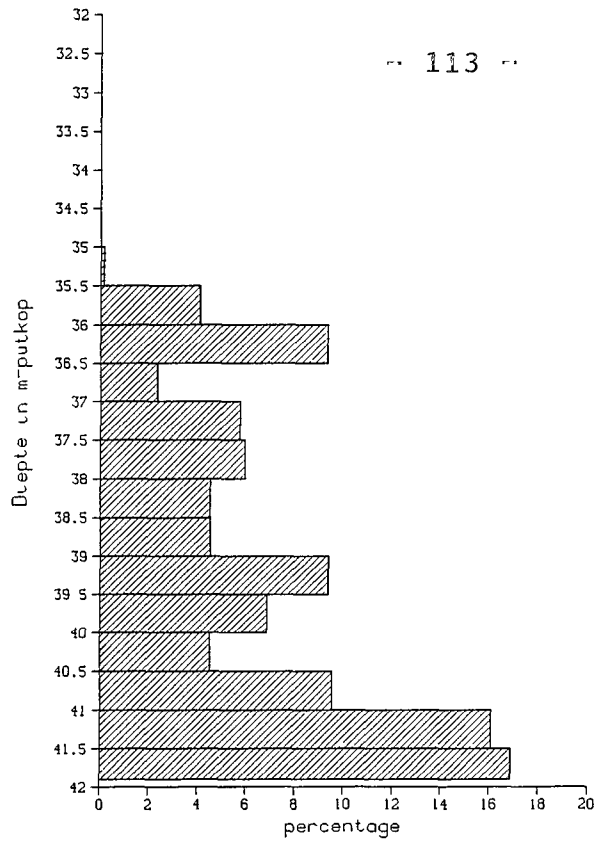
de weerstand op de boorgatwand.

2.4 Flowmetingen

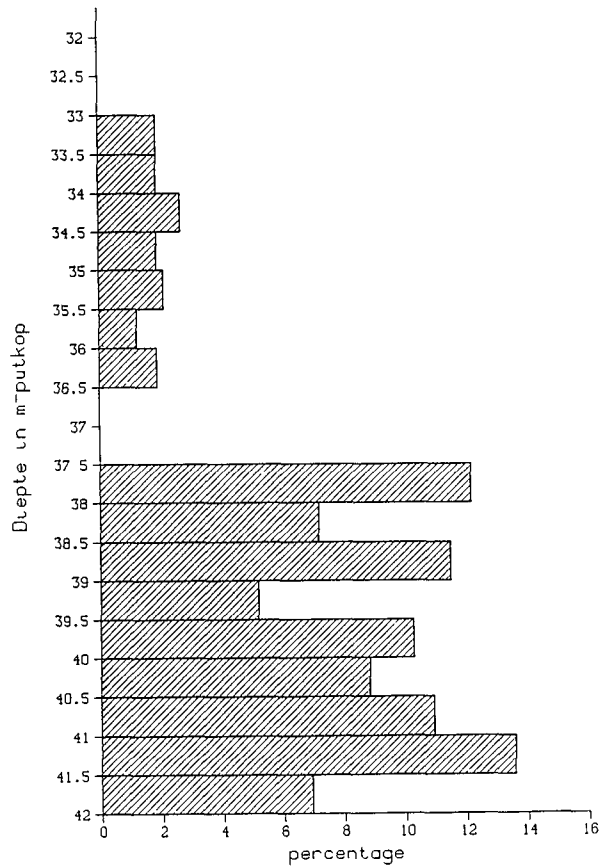
Om een beter inzicht te krijgen in het verstoppingsmechanisme van de putten is door het KIWA in samenwerking met het WLZK een aantal "flowmetingen" verricht. De eerste meting in PPN is op 14 juli 1987 uitgevoerd (figuren 18 en 19, uit Peters et al, 1987). Later is op 27 september 1988 nogmaals een flowmeting verricht aan Persput Noord bij een sterke vervuiling van de put (figuur 20). Op 5 oktober 1988 is wederom een flowmeting verricht, nadat Persput Noord met chloorbleekloog was geregenereerd (figuur 21 en 22). Ook zijn flowmetingen uitgevoerd in Persput Zuid op 6 april 1988 (figuren 23 en 24).



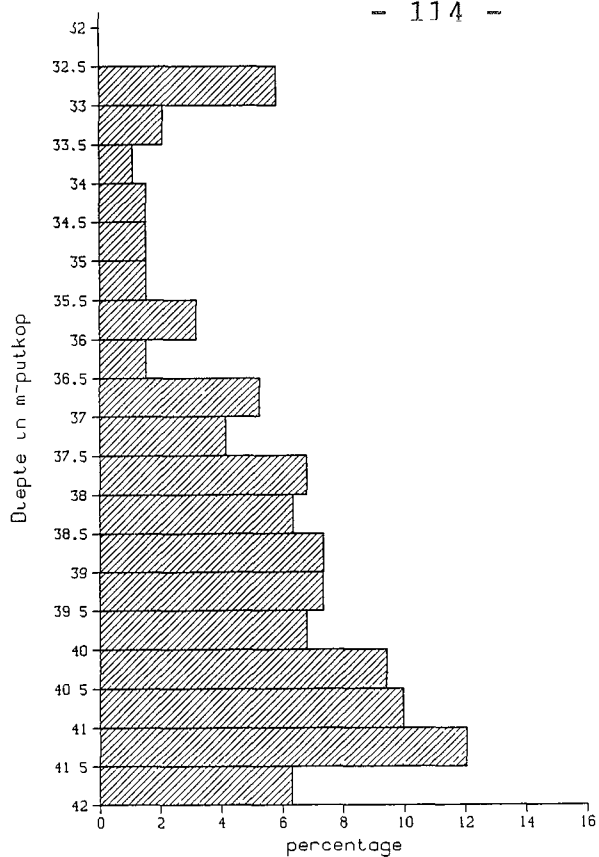
Figuur 18 - Verdeling volumestroom over de lengte van het filter in PPN bij infiltratie 14 juli 1987



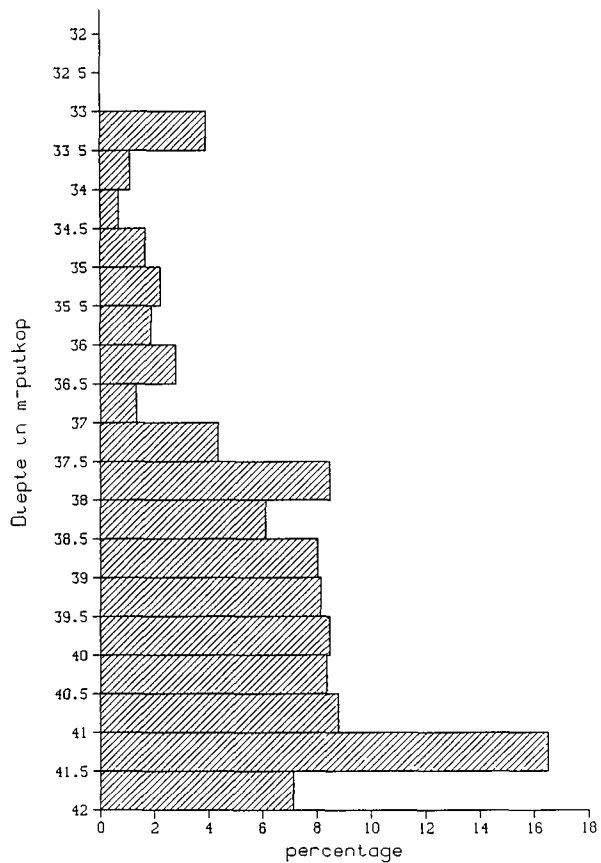
Figuur 19 - Verdeling volumestroom over de lengte van het filter in PPN bij onttrekking 14 juli 1987



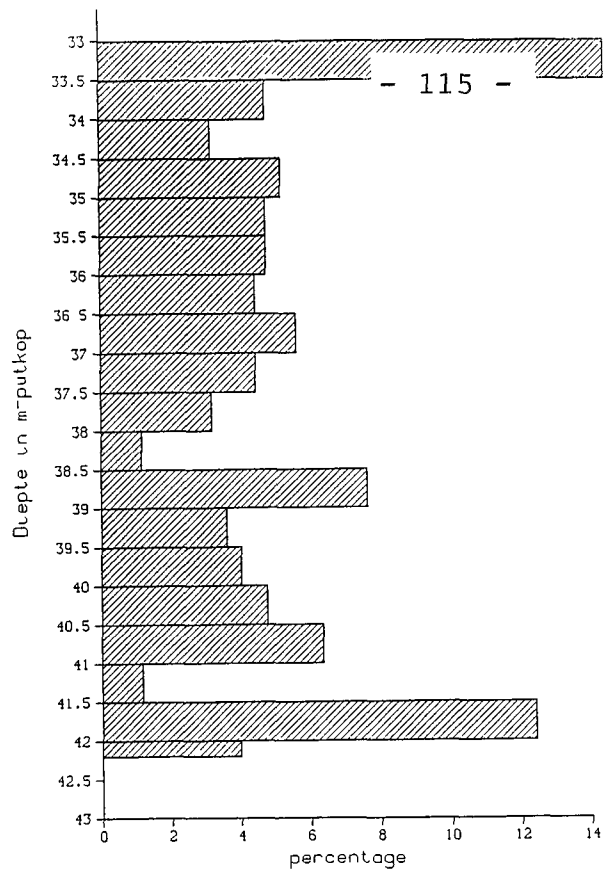
Figuur 20 - Verdeling volumestroom over de lengte van het filter in PPN bij onttrekking op 27 september 1988



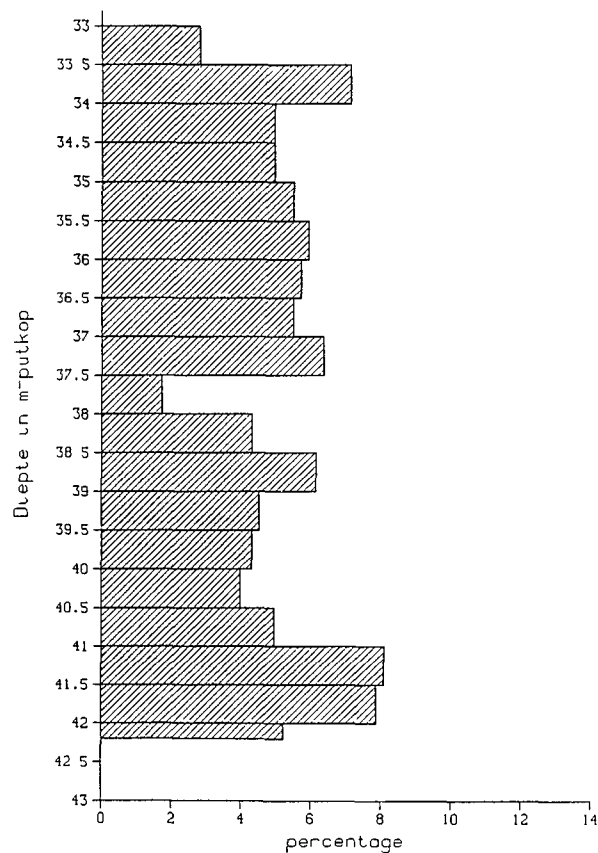
Figuur 21 - Verdeling van de volumestroom over de lengte van het filter in PPN bij infiltratie, 5 oktober 1988



Figuur 22 - Verdeling van de volumestroom over de lengte van het filter in PPN bij onttrekking op 5 oktober 1988



Figuur 23 - Verdeling van de volumestroom over de lengte van het filter van PPZ bij infiltratie op 6 april 1988



Figuur 24 - Verdeling van de volumestroom over de lengte van het filter van PPZ bij onttrekking op 6 april 1988

3.1 Persput Noord

Uit figuur 6 blijkt duidelijk de seizoensfluctuatie in de temperatuur. Deze zelfde fluctuatie is ook terug te vinden in de weerstand (figuur 7 en 8), terwijl de seizoensinvloed ook zichtbaar is bij de frequentie van terugpompen (figuur 4). Waarschijnlijk is dit te verklaren door een samenspel van factoren. Uit het feit dat na een infiltratiestop van één tot enkele weken de weerstand van de put is afgenomen, mag worden geconcludeerd dat bacteriën een (belangrijke) rol spelen bij de verstopping van de put. Deze bacteriologische rol gekoppeld aan de temperatuurfluctuatie, geeft reeds een fluctuatie van de weerstand. Daarnaast valt een piek in de frequentie van terugpompen te constateren in voor- en najaar. De piek in het najaar is te verklaren door de grote hoeveelheid blad die wordt meegevoerd en niet geheel wordt afgevangen in de korf waardoor de weerstand op het filter sterk kan oplopen. In het voorjaar zijn het, naast bacteriologische processen vooral (delen van) kikkers en dergelijke die voor een extra verstopping zorgen. Deze invloeden worden veroorzaakt door de open verdeelvijver bij Vogelenzang. Bij een definitief ontwerp van DOVE zal dan ook het realiseren van een volledig gesloten aanvoer zeer wenselijk zijn. Uit het verloop van de weerstand (figuur 7) is te zien dat deze toch zodanig regelmatig oploopt dat regenereren noodzakelijk is. Ook valt op dat de weerstand na regenereren, steeds verder oploopt. In tabel 1 is gegeven hoe het weerstandsverloop is onder invloed van regenereren.

Tabel 1 - Weerstand (in $\text{cm}/(\text{m}^3/\text{h})$) en de effecten van regenereren met chloorbleekloog (tenzij anders aangegeven) van Persput Noord (C is een correctiefactor die is toegepast voor viscositeitseffecten in verband met de temperatuur; $C = (T + 20)/30$); Q = volumestroom in m^3/h

	$\frac{\text{PF4} - \text{WP4}}{Q} \times C$		$\frac{\text{PF4} - \text{PF3}}{Q} \times C$	
	voor	na	voor	na
Nieuwwaarde	2,6		2,2	
begin Infiltr.	3,5		3,0	
mei 1983	18,7	5,0	8,8	4,0
juli 1984	20,6	10,4	14,0	6,5 langdurig terugpompen
sept 1984	20,1	6,8	15,0	4,5
okt 1984	14,9	6,2	11,0	4,2 zoutzuur
juni 1985	24,5	10,6	14,4	7,6
juli 1986	32,6	13,9	26,4	11,2
dec 1986	24,7	7,9	16,3	9,2
juni 1987	30,6	8,3	28,3	9,5
okt 1988	52,9	11,6	42,2	8,4

De nieuwwaarde, die bij een infiltratieproef direct na het boren is bepaald, bedroeg $2,6 \text{ cm}/(\text{m}^3/\text{h})$, terwijl bij de daadwerkelijke aanvang van de infiltratie deze waarde $3,5 \text{ cm}/(\text{m}^3/\text{h})$ bedroeg.

Uit de vergelijking van de figuren 7 en 8 blijkt dat de weerstand op de boorgatwand, bepaald als verschil tussen infiltratieput en waarnemingsput, gelijk opgaat met de weerstand gemeten over de kleiprop boven het filter. Dit betekent dat deze meting een goede maat is voor de vervuiling. Wel is het verschil tussen de twee weerstanden in de loop der jaren groter geworden. Dit kan enerzijds worden verklaard door het lekken van de kleidichting (zie ook Konijnenberg, 1984), anderzijds kan, zeker bij erg grote weerstanden, een deel van deze weerstand verderop in de formatie zijn opgebouwd waardoor dit deel wel effect heeft op de weerstand (PF4-

WP4) maar niet op (PF4 - PF3). Getracht is gedurende de proefperiode de infiltratievolumestroom te handhaven op 20 m³/h (1 m/h ter plaatse van de boorgatwand). Uit figuur 5 blijkt dat de volumestroom sterk fluctueert en voor in 1987/1988 zeer laag (< 10 m³/h) is geweest. De sterke fluctuatie wordt veroorzaakt door enerzijds de sterk variërende druk van het WRK-I-water en anderzijds de beperkingen van de regeling van de volumestroom. De lage volumestroom is veroorzaakt door de hoge weerstand in die periode.

3.2 Persput Zuid

Bij PPZ blijkt dezelfde seizoensfluctuatie (figuur 14 en 15) voor te komen als bij PPN. Uit het verloop van de weerstand (figuur 15) blijkt dat de opgebouwde weerstand zeer goed is te verwijderen door terugpompen. Uit tabel 2 en figuur 12 is te zien dat de frequentie van terugpompen tot maart 1987 van PPZ zeer veel lager is dan van PPN. Dit wordt veroorzaakt door de extra voorzuivering door middel van een langzaamzandfilter (LZF).

Tabel 2 - Weerstand (in cm/(m³/h)) en de effecten van terugpompen van Persput Zuid (C is (T + 20)/30)

	$\frac{PF4 - WP4}{Q} \times C$		$\frac{PF4 - PF3}{Q} \times C$	
	voor	na	voor	na
nieuwwaarde	3,5		3,0	
begin infiltr.	4,0		3,0	
juni 1983	25,0	4,5	24,0	4,0
sept 1983	40,0	4,5	35,0	4,0
dec 1983	14,0	4,5	10,0	4,0
juli 1984	15,0	5,3	13,0	4,6
okt 1984	19,0	4,9	9,4	3,8
jan 1985	19,0	5,5	4,5	4,6
juli 1985	33,1	6,6	13,7	5,3
feb 1986	17,2	9,9	5,8	5,4
dec 1986	11,3	6,8	5,1	4,9

In figuur 10 en 11 zijn de MFI-getallen gegeven van respectievelijk het WRK-I-water zoals geïnfiltreerd in PPN en het effluent van het LZF. Uit vergelijking van de getallen blijkt dat de MFI door LZF-passage sterk wordt verbeterd. De effecten hiervan zijn direct terug te vinden in een lage terugpompfrequentie, een goed verwijderbare verstopping en daarmee een lange levensduur van de put. Hierdoor is ook de weerstand op het filter (figuur 17) continu laag (tot maart 1987).

Uit vergelijking van de weerstand op de boorgatwand, bepaald door (PF4 - WP4) en (PF4 - PF3) (figuur 15 en 16) blijkt dat de weerstand over de kleistop boven het filter sterk achterblijft bij (zelfs geheel niet overeenkomt met) de weerstand als verschil tussen stijghoogten in infiltratieput en waarnemingsput. Blijkbaar is hier de kleistop gescheurd en levert -zeker bij wat sterkere vervuiling- geen weerstand meer. Na terugpompen is de kleistop blijkbaar weer wat samengeklonken, aangezien dan gedurende korte tijd het verloop van (PF4 - PF3) overeenkomt met (PF4 - WP4).

Het punt van breuk van de kleistop is in figuur 16 zichtbaar in september 1984.

De volumestroom van PPZ (figuur 13) is in 1983 opgevoerd tot ongeveer 25 à 30 m³/h, waarbij bleek dat de capaciteit van het LZF vaak limiterend was. Door tussenschakeling van het LZF is de fluctuatie van de volumestroom minder sterk dan bij PPN. In 1986 kon, door de hoge weerstand in het LZF, de volumestroom niet boven 20 m³/h (1 m/h op de boorgatwand) komen. Eind 1986 is besloten om de proef met voorzuivering via een LZF te beëindigen, omdat de conclusie is getrokken dat infiltratie op deze wijze zeer wel mogelijk is maar praktisch moeilijk uitvoerbaar. Continuering zou hooguit nog informatie kunnen geven over het verstoppingsgedrag op lange termijn. Daarnaast was behoefte aan een proef waarbij wordt onderzocht met welke bedrijfsvoering directe infiltratie van WRK-I-water mogelijk is.

Het leidingstelsel is zodanig omgebouwd dat directe infiltratie van WRK-I-water mogelijk is. Daarnaast is een mechanisme ingebouwd, waardoor PPZ dagelijks gedurende 10 minuten met 40 m³/h wordt teruggepompt. Vanaf maart 1987 wordt direct geïnfiltreerd met WRK-I-water. Vanaf die periode verloopt de weerstand ook als bij PPN. Tot eind 1988 is echter nog niet geregenereerd.

Bij het WLZK wordt onder "terugpompen" verstaan: Het omkeren van de waterstroom door het inschakelen van een onderwaterpomp in de stijgbuis, waardoor de vervuiling gedeeltelijk wordt weggenomen. Bij "regenereren" wordt de put behandeld met chemicaliën, waarmee de hardnekkige vervuiling kan worden verwijderd door na een bepaalde contacttijd terug te pompen.

Tot voor kort werd bij regenereren per meter filter 20 liter chloorbleekloog (150 g/l) ingebracht op de plaats van het filter. Na een contacttijd van minimaal 24 uur werd dan teruggepompt.

Mulder en Peters (1987) hebben reeds beschreven dat deze methode van regenereren niet optimaal is. Het chloorbleekloog kan niet de gehele omstorting vullen en uit flowmetingen is gebleken dat het chloorbleekloog, door de hogere soortelijke massa in vergelijking met het water, naar beneden zakt en voornamelijk aan de onderkant van het filter heeft gewerkt. Daarnaast wordt bij het terugpompen gedurende zeer lange tijd (10 uur) chloor in het opgepompte water aangetroffen.

Naar aanleiding hiervan is bij de regeneratie van PPN in oktober 1988 een andere methode toegepast. Hierbij is normaal geïnfiltreerd met WRK-I-water en is in deze stroom chloorbleekloog gedoseerd, zodanig dat 2 m³ met 3 g/l chloorbleekloog in de put is ingebracht.

Bij het terugpompen werden gedurende slechts korte tijd zeer geringe hoeveelheden chloor aangetroffen.

Aangezien het te vullen volume groter is dan 2 m³, is het waarschijnlijk dat niet alle plaatsen door de chemicaliën zijn bereikt. Een volgende regeneratie zal dan ook worden uitgevoerd zodanig dat 4 m³ met 3 g/l chloorbleekloog wordt ingebracht.

3.4 Flowmetingen

Uit de flowmetingen van 14 juli 1986 aan PPN (figuren 18 en 19) blijkt dat 75% van het infiltratiewater door het onderste éénderde deel van het filter gaat. Hieruit kan worden afgeleid dat verstopping voornamelijk in het bovenste deel van de omstorting plaatsvindt. Dit zou wel eens kunnen samenhangen met de gevolgde methode

van regenereren. Ook zou het mogelijk kunnen zijn dat deze verschillen (mede) worden veroorzaakt door verschillen in bodemopbouw (Peters et al, 1987).

Teneinde te verifiëren of verschillen in bodemopbouw of de methode van regenereren de oorzaak is van de gevonden verschillen in infiltratie over het filter, is op 6 april 1988 een flowmeting op PPZ uitgevoerd (figuur 23 en 24). Uit deze meting blijkt dat infiltratie vrij constant over het filter plaatsvindt. Hieruit is af te leiden dat de onevenwichtige verdeling bij PPN door de methode van regenereren moet zijn veroorzaakt, met name de grotere soortelijke massa van chloorbleekloog is waarschijnlijk de oorzaak dat wel onderin maar niet bovenin de verstopping is verwijderd. Naar aanleiding hiervan is op 3 oktober 1988 de reeds beschreven nieuwe methode van regenereren uitgeprobeerd op PPN.

Voor en na deze regeneratie zijn flowmetingen uitgevoerd (figuur 20, 21, 22). Bij de flowmeting aan de sterk vervuilde put op 27 september 1988 (figuur 20) is wederom te zien dat door het bovenste deel van het filter veel minder water infiltreert dan door het onderste deel. Ook is te zien dat ongeveer halverwege het filter een plek zit die nog slechter infiltreert. Dit is ook zichtbaar bij PPZ (figuur 22 en 23). Dit kan worden veroorzaakt door een lijm-verbinding in het filter waar dan minder filterspleten aanwezig zijn of door een stoorlaag in de bodem.

Na regeneratie is op 5 oktober 1988 wederom een flowmeting uitgevoerd (figuur 21, 22), waaruit blijkt dat de infiltratie weliswaar is verbeterd (en de weerstand afgenomen, zie tabel 1), maar dat nog steeds door de onderste helft van het filter 75% van het infiltratiewater gaat.

Dit is op zich niet verwonderlijk aangezien de regeneratievloei-stof juist op de sterk vervuilde plaatsen moeilijk zal kunnen komen (Peters et al, 1987) en zoals al eerder is genoemd de hoeveelheid regeneratievloei-stof niet voldoende is geweest.

3.5 Toekomstige acties

Allereerst zal PPN begin 1989 nogmaals, maar nu met 4 m³ regeneratievloei-stof worden behandeld. Waarschijnlijk zal daarna wederom een flowmeting worden uitgevoerd en afhankelijk van de uitkomsten

hiervan zal bekeken worden of de¹²² put sectiegewijs zal worden afgepompt of zelfs sectiegewijs geregenereerd (Peters et al, 1987).

Voor PPZ staat een video-inspectie gepland om de put ook visueel te controleren. Als dit wordt uitgevoerd zal ook PPN worden bekeken. Daarna zal PPZ sectiegewijs worden afgepompt, waarna een flowmeting zal moeten worden uitgevoerd. In november 1988 is de terugpompvolumestroom van PPZ opgevoerd van 40 naar 50 m³/h (maximaal bij huidige pomp). Dit is uitgevoerd omdat de "zomerpiek" in PPZ (met betrekking tot verstopping) toch groter was, dan was verwacht.

4 CONCLUSIES

- Verstopping van de persputten lijkt gecorreleerd met het seizoen.
- Verstopping vindt voor een deel plaats door bacteriologische activiteit (weerstand PPN daalt bij infiltratiestop).
- Bij passage van een langzaamzandfilter vindt verstopping in veel geringere mate plaats dan bij direct infiltreren.
- Bij terugpompen van de PPZ (tot maart 1987 slechts enkele keren per jaar) kan de verstopping vrijwel volledig worden verwijderd.
- Extra voorzuiveren van WRK-I-water middels een langzaamzandfilter geeft zeer goed infiltreerbaar water.
- Bij direct infiltreren van WRK-water wordt, indien wordt teruggepompt bij stijging van het waterniveau in de boorbuis, een groot deel van de weerstand weggenomen.
- Bij direct infiltreren van WRK-I-water (PPN) is één tot enkele malen per jaar geregenereerd met chloorbleekloog.
- Uit de flowmetingen blijkt dat de huidige wijze van regenereren niet efficiënt is. Slechts het onderste deel van het filter wordt schoongemaakt en er wordt te veel regeneratiemiddel gebruikt. Beter kan een groter volume verdunde chloorbleekloog worden ingebracht dan een aantal liters onverdund chloorbleekloog. Hiermee kan ook de totale massa te gebruiken chloorbleekloog worden teruggebracht.

- Met het aanbrengen van een extra kleistop boven de filterspletten met daarboven een peilbuis, kan de vervuiling op de boorgatwand worden bepaald. Probleem hierbij is dat metingen uitwijzen dat de kleiprop van de PPN niet meer voldoende afdicht. Bij de constructie dient daar extra aandacht aan te worden besteed.
- Bij het ontwerp van DOVE zal bij de putconstructie terdege moeten worden nagegaan hoe putten op praktijkschaal kunnen worden geregenereerd.
- Regelmatig terugpompen zorgt voor een goede verwijdering van de weerstand op de boorgatwand. Het is dan ook belangrijk de vervuiling niet de kans te geven zich vast te zetten. Dit kan worden gerealiseerd door elke dag kort terug te pompen.

5 VERANTWOORDING

Bij het tot stand komen van deze publikatie is dankbaar gebruik gemaakt van de bijdragen en redactionele adviezen van ir. J.H. Peters en ing. J.A. Meijer (KIWA N.V.). Ook is hen dank verschuldigd voor de verwerking van de gegevens.

6 LITERATUURLIJST

Konijnenberg, W.F. (1984). Stand van zaken infiltratieproeven Kennemerduinen, Mededeling nr. 79 van het KIWA.

Meijer, J.A., J.H. Peters en J. Jalink (1988). Regeneraties van en flowmetingen in infiltratieputten in de Kennemerduinen in 1988, KIWA-rapport SWI 88.122.

Mulder, M.A.A. en J.H. Peters (1987). Ervaringen met regeneratie van infiltratieputten in Nederland, KIWA-rapport SWE 87.016.

Peters, J.H., M.A.A. Mulder en J. Jalink (1987). Flowmetingen in Nederlandse infiltratieputten, KIWA-rapport SWE 87.015.

Haarlem, december 1988

PRAKTIJKPROEF INFILTRATIEPUT MARKERWAARD

A.J. Hebbink
Rijkswaterstaat, Directie Flevoland
Lelystad

1 INLEIDING

Bij de aanleg van een Markerwaard (41.000 ha) kan door zettingen als gevolg van de daling van de stijghoogte van het grondwater in de pleistocene watervoerende pakketten schade ontstaan aan gebouwen en constructies in het aangrenzende kustgebied van Noord-Holland. Bij de drooglegging van de Flevopolders is de daling van het grondwater op het oude land beperkt door het aanbrengen van een randmeer van voldoende breedte en diepte. Dit was mogelijk daar de bodem van het randmeer bestaat uit zand, waardoor voldoende water naar de diepe ondergrond kan infiltreren. Bovendien bestaat de ondergrond in het randgebied van Flevoland tot grote diepte uit zand, zodat zakking van het maaiveld daar niet aan de orde was. In het randgebied van de Markerwaard hebben we te maken met een geheel andere situatie, omdat er zich onder het randmeer een afsluitende kleilaag bevindt die het wegzijgen van water daaruit naar de diepe zandondergrond tegengaat. Teneinde de kans op schade zoveel mogelijk te beperken zijn tegenmaatregelen vereist. De tegenmaatregelen hebben als doel de daling van de grondwaterstand in het bovenste watervoerende pakket in Noord-Holland zodanig langzaam te laten verlopen dat geen schade ten gevolge van de zettingen optreedt. Meer in het algemeen geldt dat hoe geleidelijker de daling van de stijghoogte van het grondwater plaatsvindt, hoe gelijkmatiger de zetting zal verlopen en hoe geringer de eventuele schade zal zijn. Er wordt thans van uitgegaan, dat de meest bedrijfszekere tegenmaatregel bestaat uit persputten op het oude land, waarbij voorgezuiverd water in de diepe ondergrond wordt gebracht.

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 onder natuurlijk verval infiltreren van water door in het randmeer tussen Noord-Holland en de Markerwaard infiltratieputten te plaatsen. De zuivering van het aan het randmeer 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 praktijkschaal plaats naar de toepasbaarheid ervan.

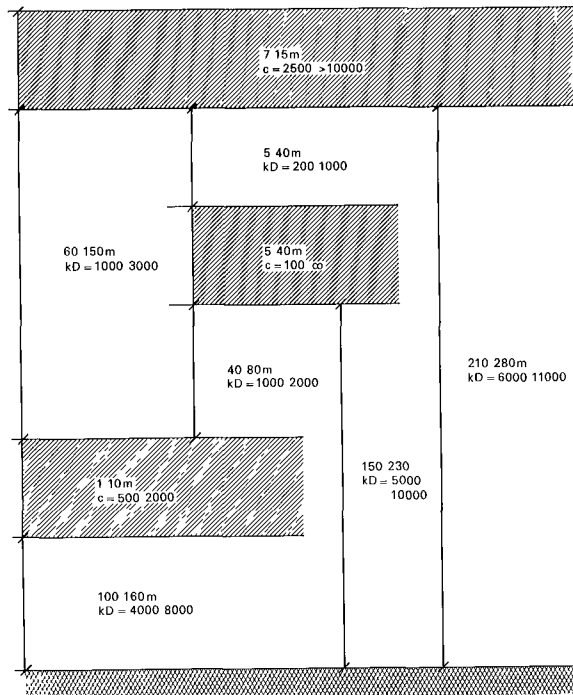
In april 1986 is gestart met de aanleg van een proef op praktijkschaal langs de Oostvaardersdijk nabij het gemaal de Blocq van Kuffeler in Zuidelijk Flevoland. Op 20 november 1986 is gestart met de infiltratie. Op 11 februari 1987 moest de proef worden stopgezet in verband met schade aan de zand/grind terp, veroorzaakt door kruiend ijs. De schade is hersteld en sinds 14 juli 1987 wordt weer water geïnfiltreerd.

2 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 zeven 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 glaciale 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 fluviatiele afzettingen, waarin plaatselijk veen- en kleilagen voorkomen. Daar deze lagen op sterk wisselende diepte voorkomen, mogen ze niet als

aaneengesloten worden beschouwd. Schematisch is het geohydrologisch profiel weergegeven in figuur 1. Tevens zijn hierin opgenomen de dikte van de lagen, het doorlaatvermogen (kD-waarde in m²/dag) van de watervoerende pakketten en de hydraulische weerstand (c-waarde in dagen) van de holocene kleilaag en de scheidende lagen in het pleistocene pakket.

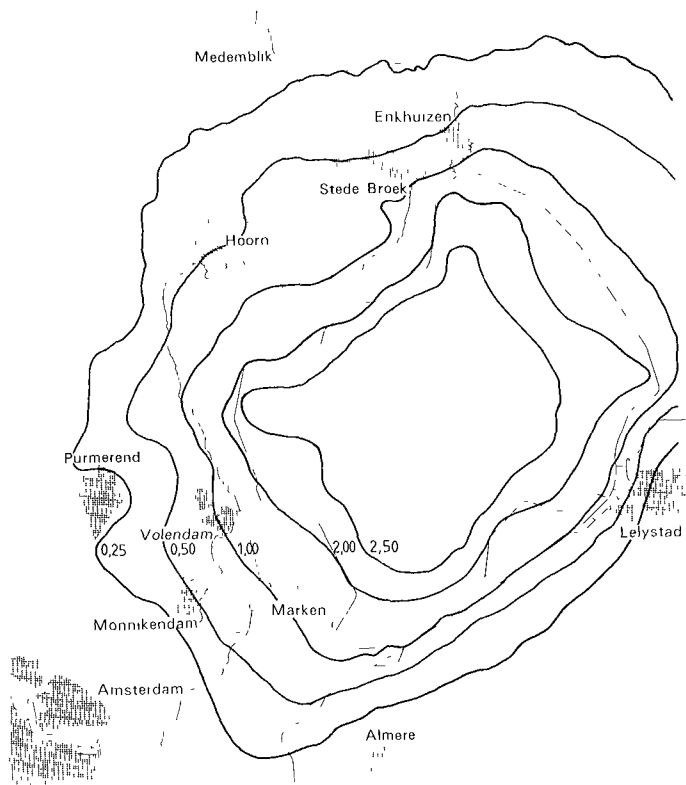


Figuur 1 - Overzicht gegevens betreffende dikte en bodemconstanten van de watervoerende pakketten en de holocene en scheidende kleilagen

3 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 ver-

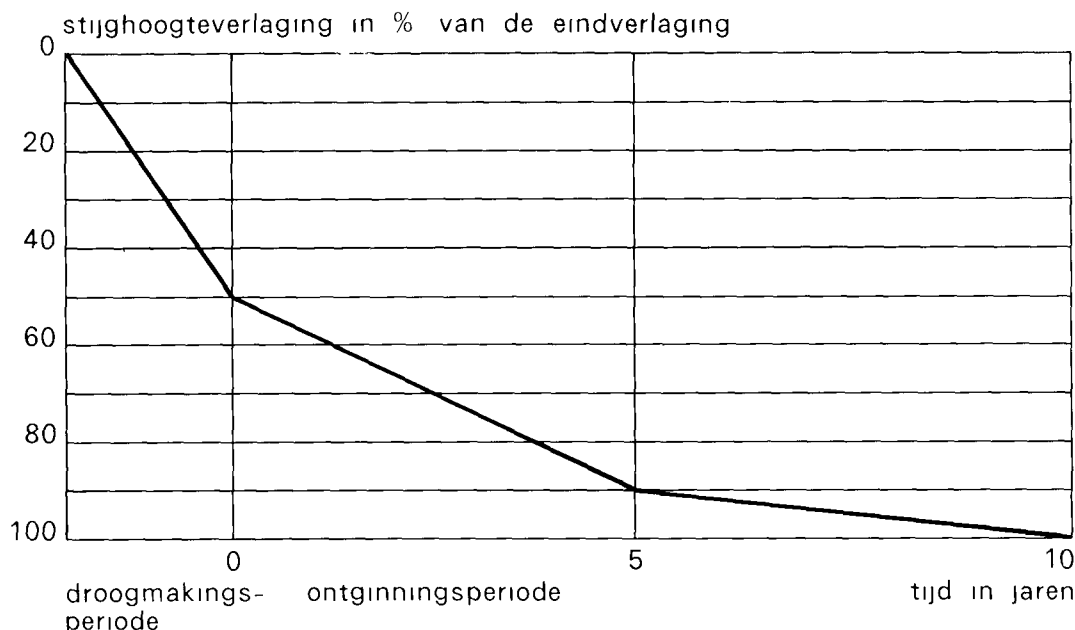
wacht, alsmede hoe snel deze dalingen tot stand komen. In figuur 2 zijn de stijghoogtedalingen weergegeven, zoals deze zijn berekend met het eindige differentie grondwater stromingsmodel MODFLOW (McDonald en Harbaugh, 1984). Bij de berekeningen is uitgegaan van een inrichting van de Markerwaard zoals deze is beschreven 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.



Figuur 2 - Berekende stijghoogtedaling van het grondwater in het eerste watervoerende pakket in m ten gevolge van de drooglegging, ontginning en inrichting van de Markerwaard

De tijd die zal verlopen tussen de situatie ten gevolge van het droogvallen en de uiteindelijke situatie hangt - indien 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 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 (figuur 3, Hebbink en Schultz, 1984).



Figuur 3 - Maximale snelheid van het tot stand komen van de stijghoogtedaling van het grondwater in het pleistoceen ter plaatse van de Markerwaard (Hebbink en Schultz, 1984)

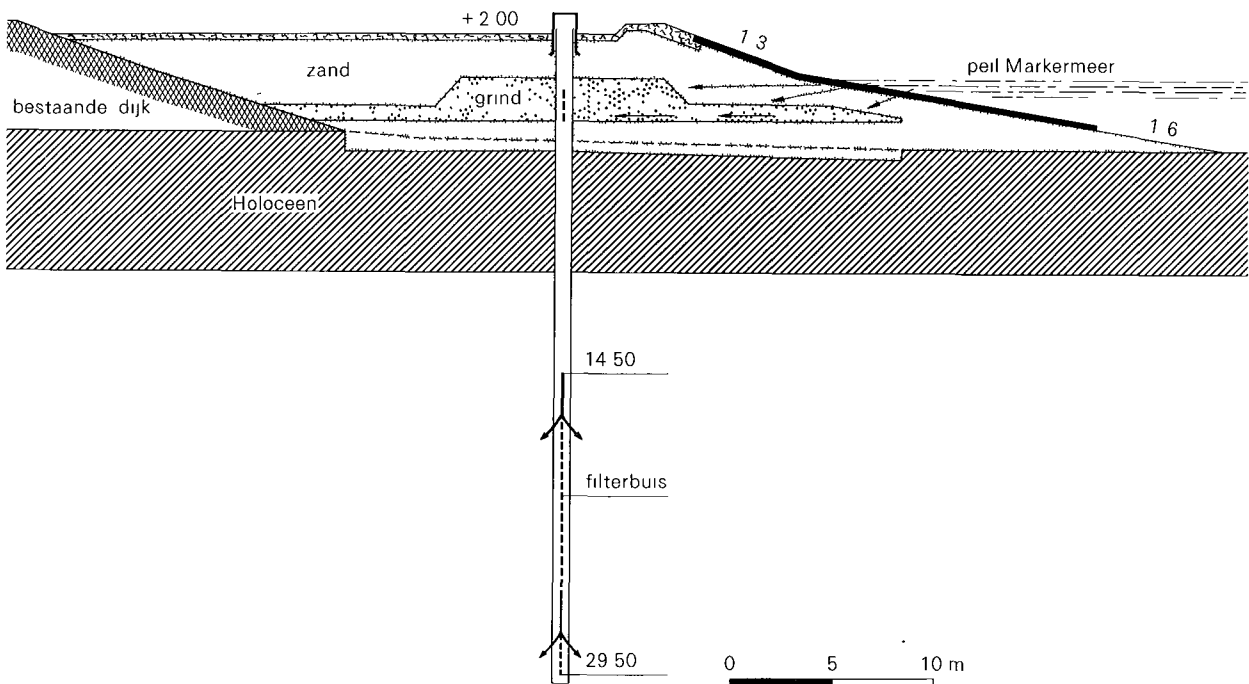
4 INFILTRATIEPUTTEN IN HET RANDMEER VAN DE MARKERWAARD

Bij infiltratieputten in het randmeer wordt het natuurlijk verval, dat aanwezig is tussen het peil in het randmeer 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 hoeft 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 (Hebbink e.a., 1986).

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

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

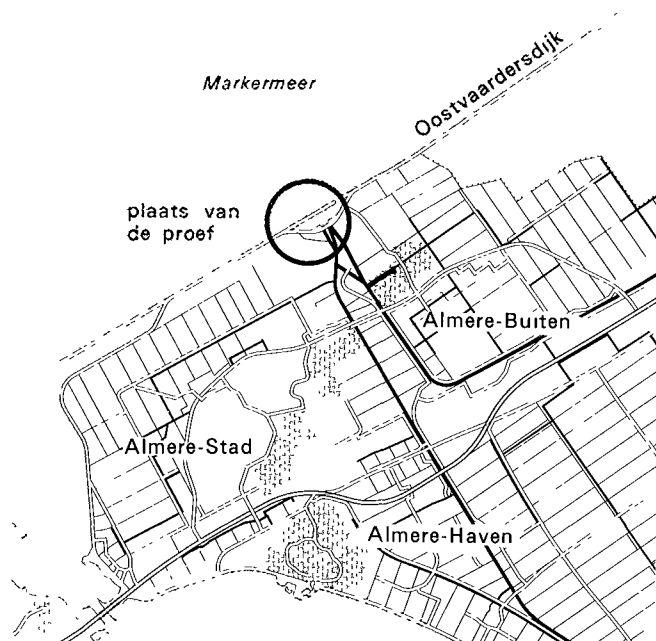
In figuur 4 is een schema van een infiltratieput gegeven.



Figuur 4 - Schema van de infiltratieput

5 PRAKTIJKPROEF

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



Figuur 5 - Ligging praktijkproef met de infiltratieput

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 schoon pompen en het effect hiervan.

De duur van de proef moet worden afgestemd op die van de werkelijke infiltratieperiode. Hierbij is ervan uitgegaan, dat 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/of het uittree-filter kunnen leiden. Derhalve worden nauwkeurige metingen verricht om een tendens tot verstopping te kunnen registreren.

Tijdens de infiltratieperiode worden de volgende waarnemingen verricht:

- capaciteit van de infiltratieput;
- drukhoogte in de infiltratieput en in de grindomstorting rond de infiltratieput;

- drukhoogte op diverse afstanden tot de infiltratieput en op diverse diepten in het pleistocene pakket, alsmede in de zand/grind terp;
- geleidendheid op diverse afstanden tot de infiltratieput;
- temperatuur van het infiltrerende oppervlaktewater, alsmede van het grondwater;
- kwaliteit van het infiltrerende oppervlaktewater en grondwater.

6 INRICHTING VAN DE PROEF

Ten behoeve van de proef zijn een infiltratieput en 14 waarnemingsputten geïnstalleerd, waarvan 8 op de reeds bestaande dijk en 6 op de zand/ grind terp. 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 bovenste zand- of grindlaag van de zand/grind terp.

6.1 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 m² 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. Vooralsnog 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 1,50-2,00 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 (foto 1).

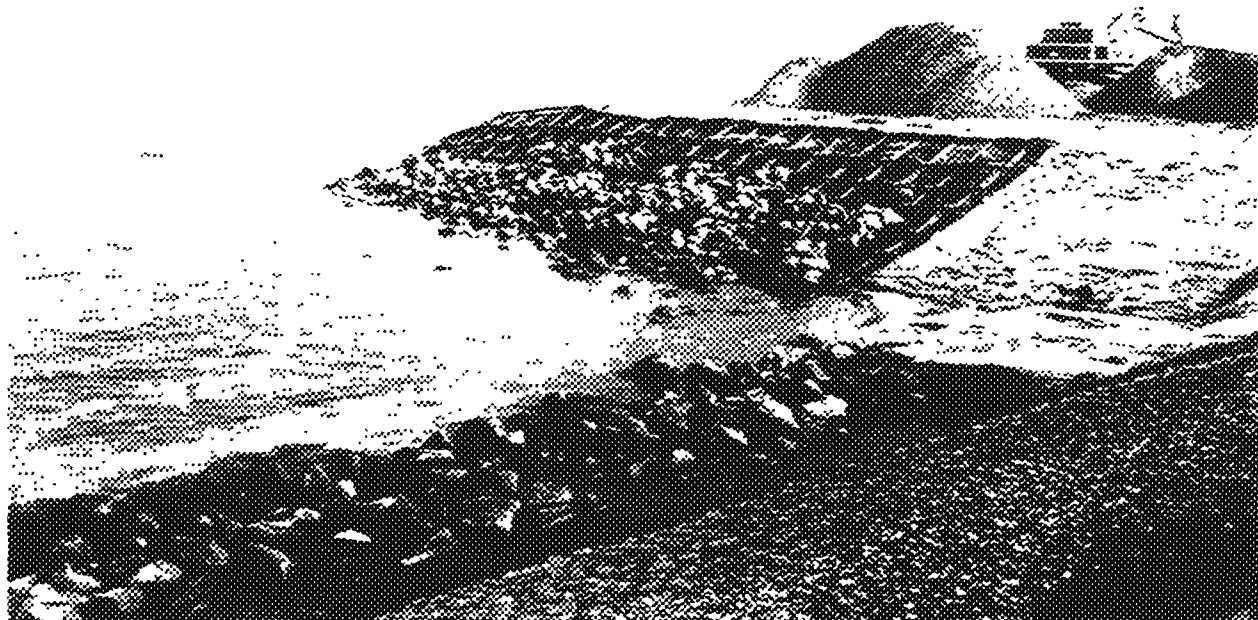


Foto 1 - Aanbrengen dijkbekleding

6.2 Filterbuisconstructie

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 de diepte is NAP -32 m. Bij de boorwerkzaamheden is na het doorboren van de kleilaag de boorspoeling niet ververst. In een definitieve situatie kan overwogen worden om dit wel te doen. De infiltratieput bestaat uit een glasvezelversterkte buis met een totale lengte van 32 m (foto 2). 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 (7 m) heeft een diameter van 0,60 m in verband met het aanbrengen van een electromagnetische flowmeter. In het brede, bovenste deel zijn over een lengte van 1 m perforaties aangebracht (NAP -1 m tot -2 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 mm). 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.

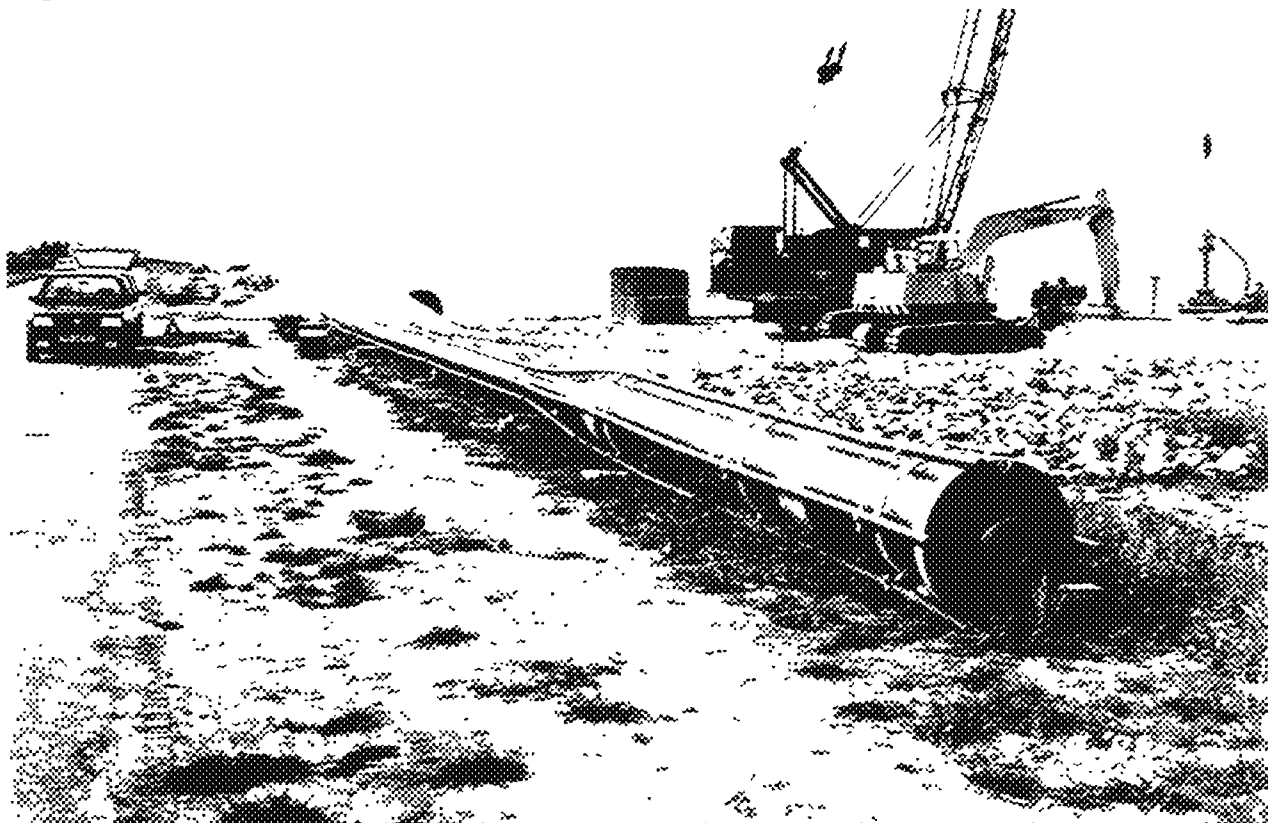


Foto 2 - Infiltratieput

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 filterbuis voorzien van een afsluiter. Hierdoor is het ook mogelijk tijdens het schoonpompen van de infiltratieput, de toevoer van Markermeerwater tijdelijk stop te zetten.

6.3 Meet- en regelapparatuur

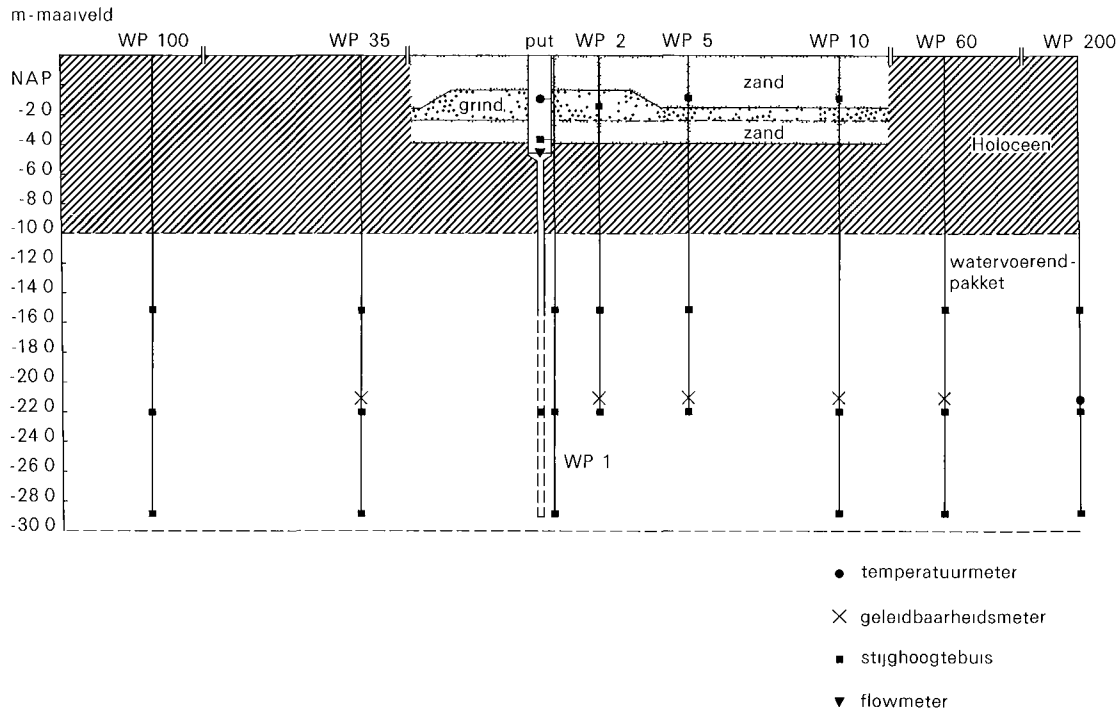
Aan weerszijden van de infiltratieput zijn op diverse afstanden waarnemingsputten aangebracht. Op een afstand van 35, 60, 100 en 200 m tot de infiltratieput zijn drie peilfilters aangebracht in het pleistocene pakket op een diepte van respectievelijk NAP -15, -22 en -29 m. Op een afstand van 2, 5 en 10 m tot de infiltratie-

put 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 (figuur 6):

- een electromagnetische flowmeter voor het meten van de capaciteit van de infiltratieput;
- een aantal 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). Op grond van afmetingen (de sensor heeft een diameter van 17,5 mm) en eigenschappen is gekozen voor toepassing van type PTX 160/D van de Fa. DRUCK. Voor het verkrijgen van een indruk van de mate en de snelheid van verstopping van het zand/grindfilter zijn eveneens 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, daar de stijghoogte van het grondwater onder invloed staat van de luchtdruk;
- vier geleidendheidsmeters voor het verkrijgen van een indicatie van de verspreiding van het infiltratiewater;
- drie temperatuurmeters voor het meten van de temperatuur van het Markermeerwater en het grondwater. 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.

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 membraan-filter-indexmeter (MFI-meter).



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

Veel van de metingen worden in duplo uitgevoerd. In het begin waren er wat problemen met de geleidendheidsmeters als gevolg van lekkage op het kontaktpunt kabel-sensor.

7 GEGEVENSVERWERKING

Het verloop van de potentiaal van het grondwater in de zand- en grindlaag van de zand/grind 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 electromagnetische 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. Electriche geleidendheidsmetingen moeten tenslotte het beeld completeren over de verspreiding van het geïnfiltrerde water in het watervoerende pakket. Het te infiltreren oppervlaktewater is zoet (chloridegehalte circa 190 mg/l) en het aanwezige grondwater in het diepere pakket is brak (chloridegehalte circa 2.750 mg/l).

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 stijghoogten 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, alsmede de geleidendheidsmetingen worden eens per uur uitgelezen.

De sensoren die de stijghoogte van het grondwater, temperatuur, geleidendheid en capaciteit opnemen zijn met kabels verbonden met een datalogger in een meetkast, die is ondergebracht in een betonnen meetbehuizing. Foto 3 geeft een beeld van de meetkast met de datalogger en de bekabeling.

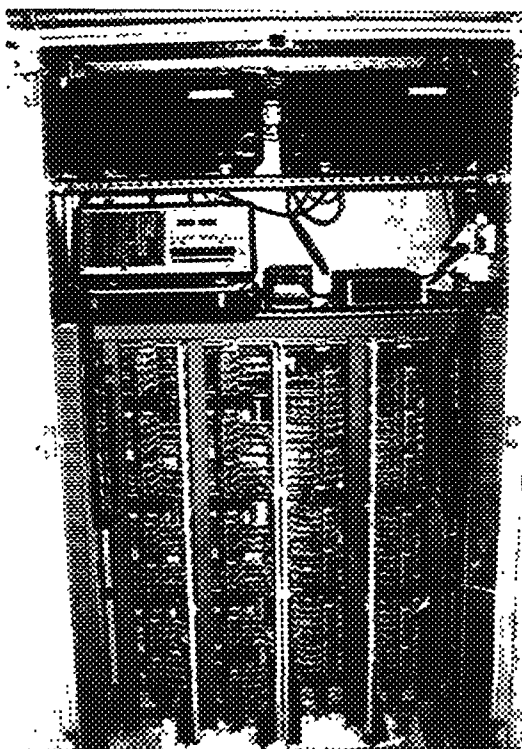


Foto 3 - Meetkast met datalogger en bekabeling

De datalogger vormt het centrale brein van de praktijkproef. Alle signalen komen hier tezamen en worden geconditioneerd voor digitale registratie. Bij de registratie wordt de meetfrequentie afhankelijk gesteld van plaats en soort opnemer, zodat de hoeveelheid gegevens beperkt blijft. Naast het vastleggen van informatie is de datalogger 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.

De verzamelde informatie wordt opgeslagen in een werkgeheugen van 256 kByte. Deze capaciteit is voldoende voor de gegevens van circa 10 dagen. Via een modem-telefoonverbinding wordt de opgeslagen informatie regelmatig (normaliter iedere werkdag) uitgelezen. Daarnaast wordt tevens de informatie vastgelegd in blokken van 512 Bytes op een magnetische tape cartridge. Met deze tweevoudige opslag gecombineerd met het geregeld uitlezen via de telefoon is de kans op verlies van informatie tot een minimum beperkt.

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

- uitlezen en controleren van de 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.

De gegevens die met de datalogger verzameld en opgeslagen worden, moeten regelmatig uitgelezen worden. Ook is het mogelijk via de modemverbinding de programmering van de datalogger te wijzigen. Voor dit uitlezen en programmeren is een micro-computer noodzakelijk. Het was dan ook een voor de hand liggende gedachte de verwerking van de gegevens met dezelfde micro-computer uit te voeren.

Voor de verwerking van de gegevens zijn diverse computerprogramma's geschreven. Alle programma's zijn geschreven in de computertaal Turbo-Pascal. Deze taal biedt namelijk de mogelijkheid om gestructureerd te programmeren vanwege de mogelijkheid van het gebruik van voorgecompliceerde modules. Daarnaast zorgt het gebruik van procedures en functies binnen het programma voor een duidelijke opbouw van het programma, terwijl een sterke controle op type definities van de variabelen de foutcontrole vereenvoudigt. Hierdoor zijn de programma-onderdelen kort en overzichtelijk en gemakkelijk aan te passen. Voor zover mogelijk is bij alle programma's een zelfde opbouw aangehouden. Deze opbouw is als volgt:

- inlezen van de parameters;
- controleren van de parameters;
- inlezen van de gegevens (stijghoogten, temperatuur, capaciteit en geleidendheid);
- verwerken van de gegevens;
- wegschrijven van de gegevens.

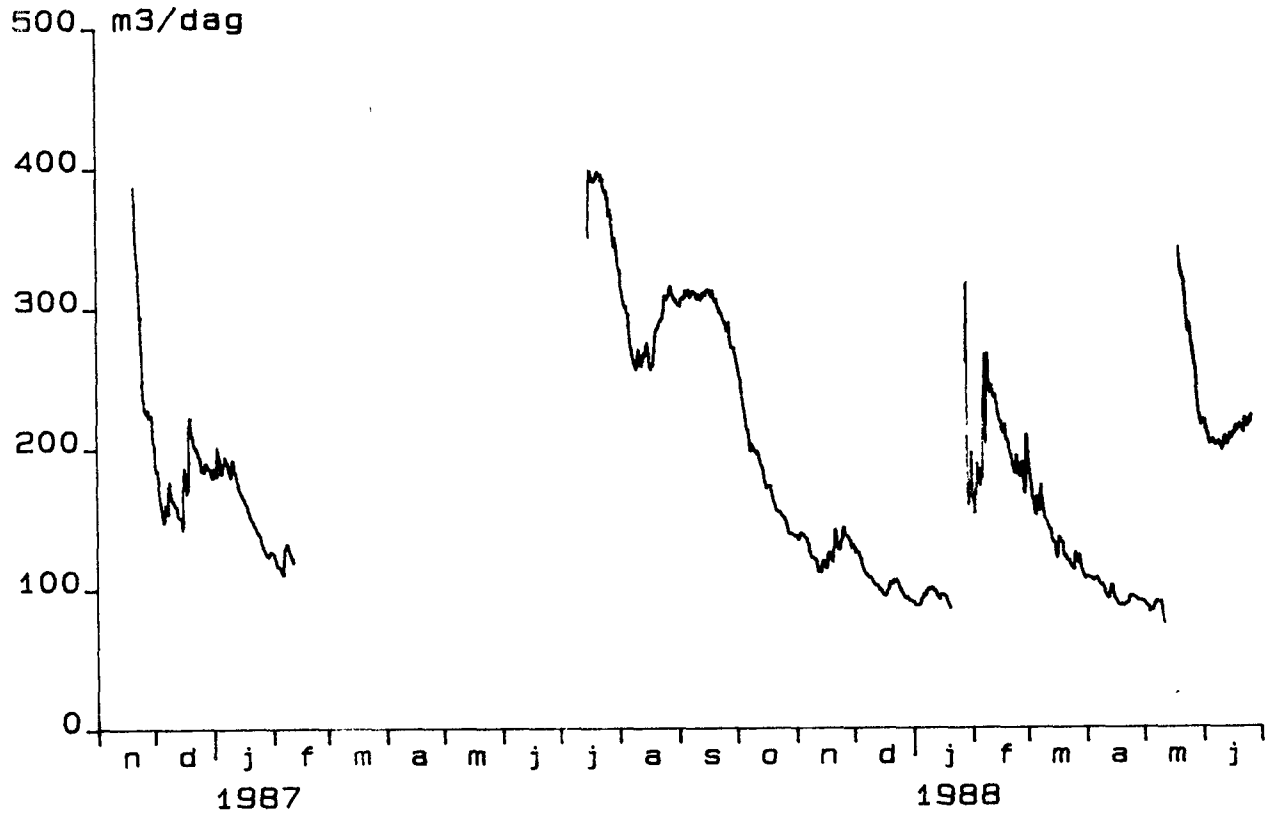
Normaliter vinden de volgende bewerkingen plaats. Als eerste worden de opslagfiles met gegevens, zoals die uit de datalogger komen, opgesplitst en worden de gegevens per kanaal weggeschreven.

Vervolgens wordt de weerstand van de infiltratieput berekend en weggeschreven. Indien gewenst is de mogelijkheid aanwezig diverse plots te maken. Bijvoorbeeld het verloop van de infiltratiecapaciteit, de weerstand van de infiltratieput etc. Eens per week worden de gegevens opgesplitst naar weeknummer. Hierbij worden de gegevens van de voorafgaande week gekopieerd naar floppy disk (in duplo). Vervolgens worden de gegevens van de voorafgaande week van alle kanalen gereduceerd tot een meetwaarde van eens per twee à acht uur. Zonodig wordt geïnterpoleerd of gemiddeld.

8 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 figuur 7 is de capaciteit van de infiltratieput te zien, zoals deze is gemeten over de periode november 1986 tot juli 1988.

In figuur 7 is te zien dat de capaciteit van circa 380 m³/dag bij de aanvang van het infiltratieproces na vijf dagen is afgenomen tot circa 225 m³/dag. Na een week op dit niveau daalt de capaciteit opnieuw tot circa 150 m³/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 Markermeerwater weer vergemakkelijkt wordt. Tot half januari 1987 blijft de capaciteit schommelen rond 200 m³/dag. Vervolgens neemt de capaciteit geleidelijk af tot circa 110 m³/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.



Figuur 7 - Capaciteit van de infiltratieput in m3/dag

Bij de hernieuwde aanvang van het infiltratieproces in juli 1987 is te zien, dat de capaciteit in 25 dagen is afgenomen van circa 400 m3/dag tot circa 260 m3/dag. Eind augustus is de capaciteit weer toegenomen tot zo'n 300 m3/dag. Vanaf medio september 1987 daalt de capaciteit geleidelijk tot zo'n 100 m3/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 stop gezet. Alvorens de infiltratieput schoon te pompen 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, ont-

wikkeld door Reym Charters. Voor het schoonpompen is gebruik gemaakt van een hoge-druk-methode en een aangepaste spuitkop. De spuitkop wordt al draaiend in de infiltratieput gebracht, waarbij het water loodrecht op de wand van de infiltratieput wordt gespoten. Het losgewoelde materiaal wordt door gelijktijdig bepompen van de put direct afgevoerd. Op deze wijze worden de filterspletten en een gedeelte van de grindomstorting gereinigd.

Voor de regeneratie was de afpomping gelijk aan circa 11,0 m³/uur. Na regeneratie bleek de capaciteit te zijn toegenomen tot circa 16,0 m³/uur.

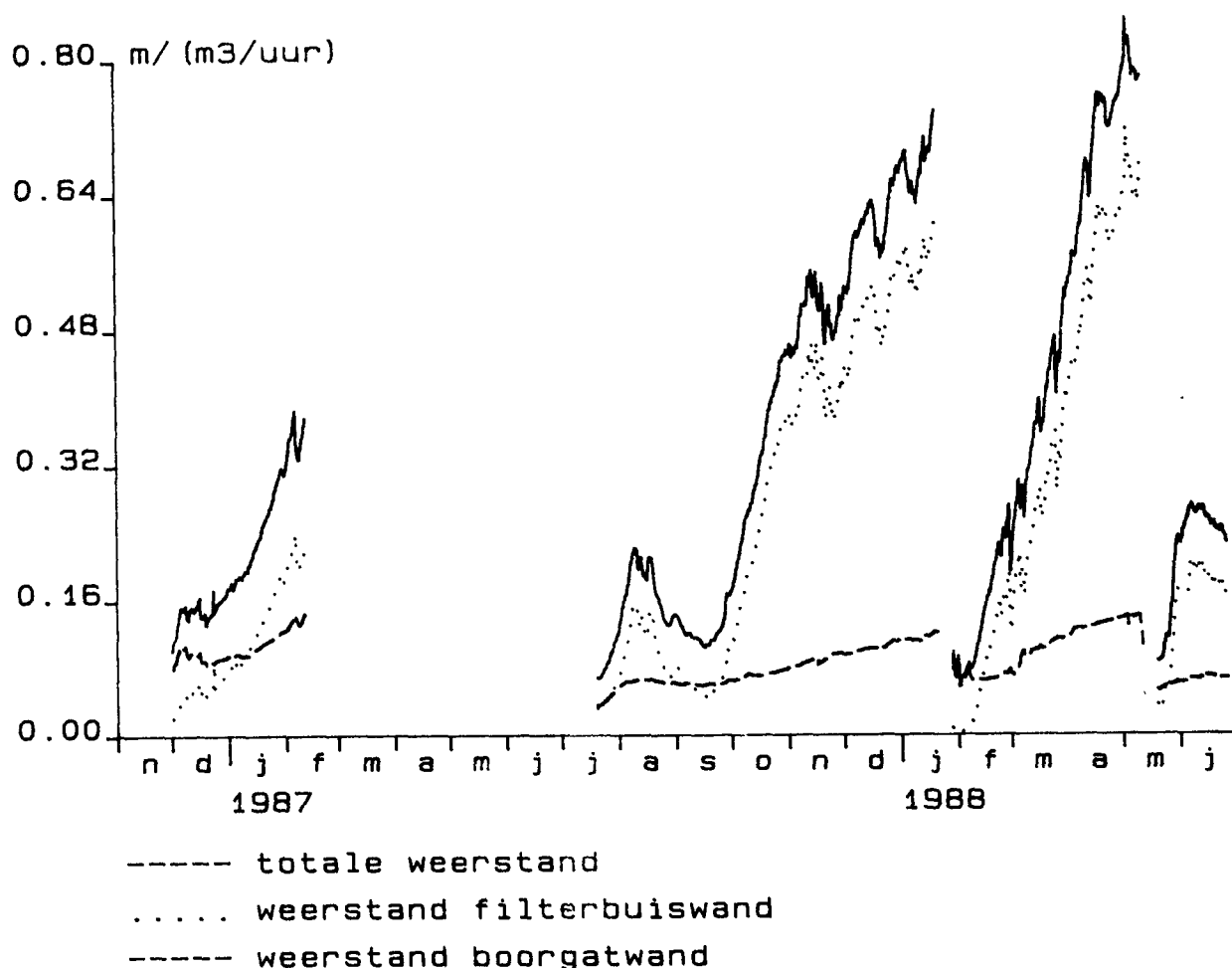
Na schoonpompen van de infiltratieput heeft opnieuw een TV-inspectie plaatsgevonden. Daaruit bleek, dat een aantal filterspletten, die zijn aangebracht met behulp van een zaagmachine, oneffenheden vertoonden. Deze oneffenheden vormen een ideale aanhechtingsplaats voor o.a. ijzerdeeltjes.

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 figuur 7 is te zien, dat de capaciteit in een aantal dagen is afgenomen van circa 320 m³/dag tot zo'n 200 m³/dag, een "leegloop" van de zand/grind terp (figuur 9). Als gevolg van een aantal dagen met veel wind neemt de capaciteit weer toe tot zo'n 250 m³/dag om vervolgens geleidelijk af te nemen tot zo'n 100 m³/dag begin mei 1988.

Medio mei 1988 is de infiltratieput opnieuw schoongepompt met behulp van de lucht-lift-methode. 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 Markermeerwater. Eind juni 1988 bedroeg de capaciteit circa 220 m³/dag.

Het verloop van de weerstand (verstopping) van de infiltratieput, inclusief het uittree-filter, is weergegeven in figuur 8. De weer-

stand 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 is gecorrigeerd ten aanzien van capaciteit en temperatuur (Olsthoorn, 1982).



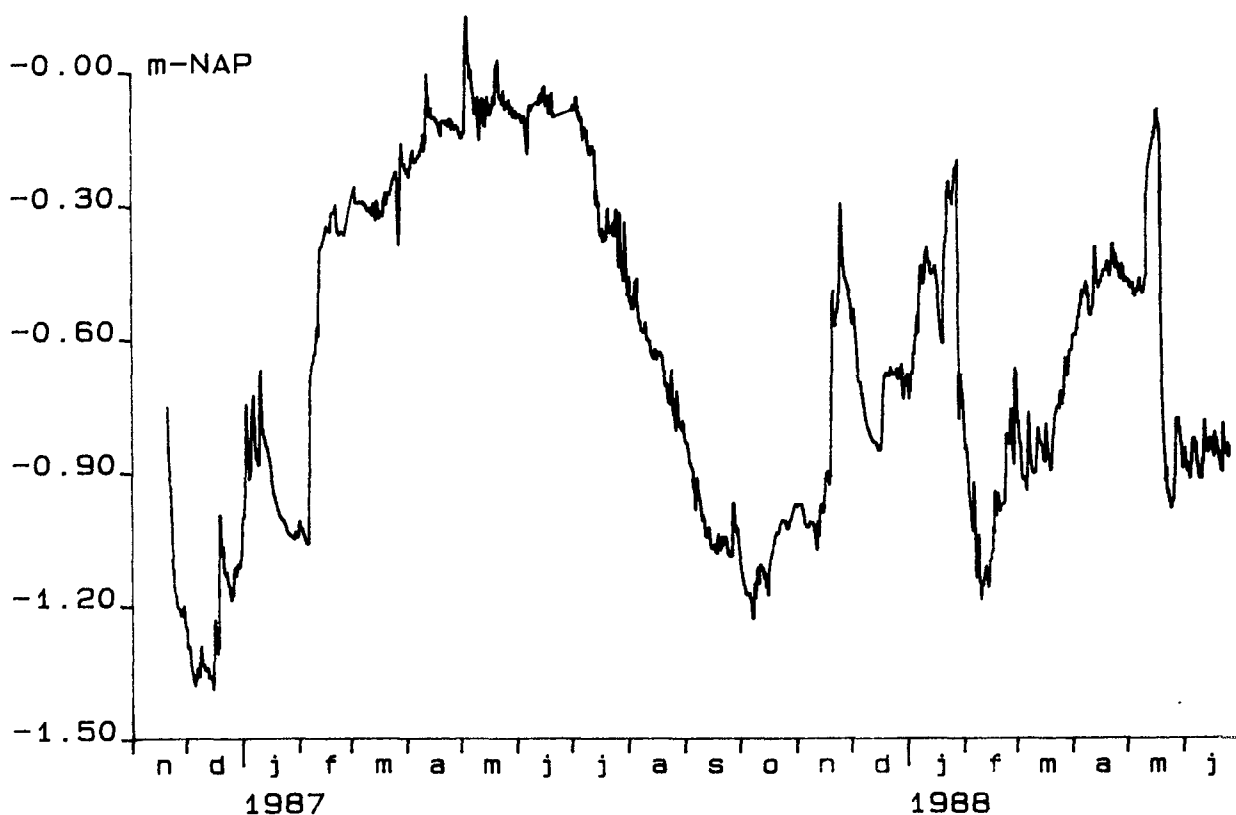
Figuur 8 - Weerstand van de infiltratieput in m/(m³/uur)

Uit figuur 8 blijkt, dat de weerstand geleidelijk is toegenomen van circa 0,10 m/(m³/uur) bij aanvang van de infiltratie tot circa 0,40 m/(m³/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/(m³/uur) bij de aanvang van de infiltratie tot ongeveer 0,70 m/(m³/uur) in januari 1988.

Na schoonpompen van de infiltratieput in januari en in mei 1988, heeft de weerstand bij aanvang van de infiltratie ongeveer de oorspronkelijke, lage waarde van 0,10 m/(m³/uur). In de periode januari-mei 1988 neemt de weerstand geleidelijk toe tot een waarde van circa 0,80 m/(m³/uur). In de periode mei-juli 1988 is de weerstand toegenomen van 0,10 tot 0,25 m/(m³/uur).

In figuur 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/(m³/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 figuur 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 NAP -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.



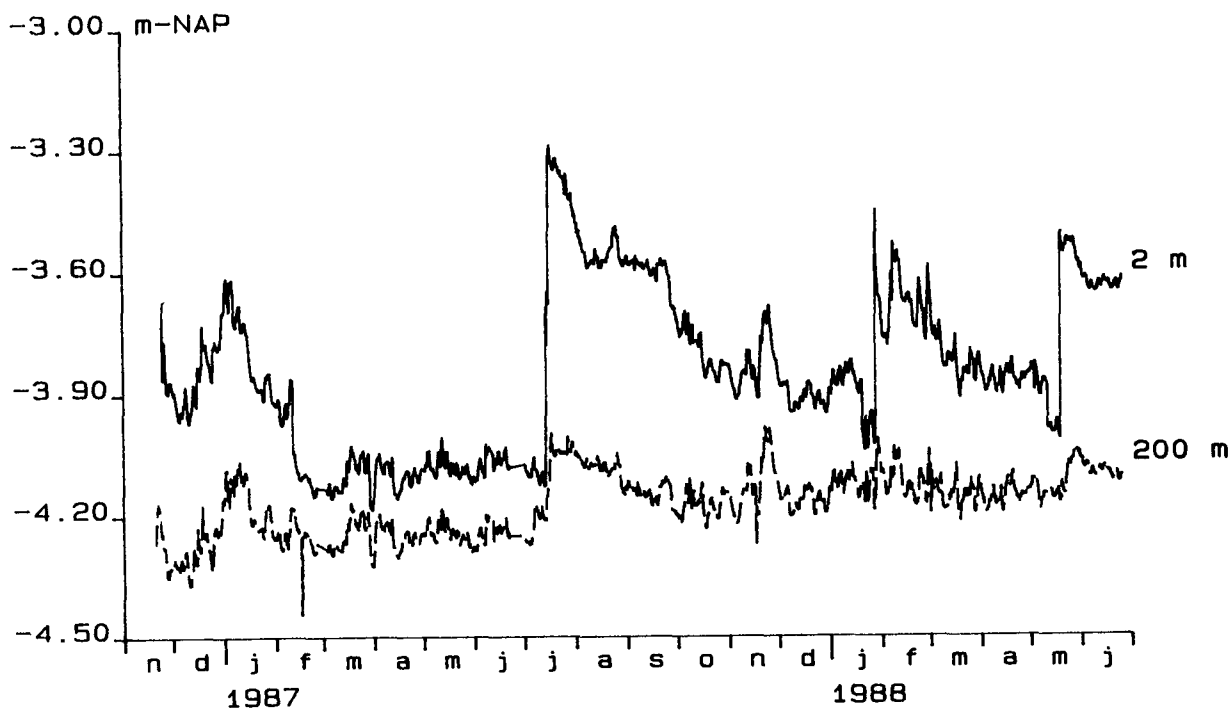
Figuur 9 - Waterpeil in de grindlaag in de zand/grind terp in m-NAP

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 (figuur 7). 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 NAP -1,20 m om vervolgens geleidelijk weer op te lopen tot Markermeerpeil. Na het

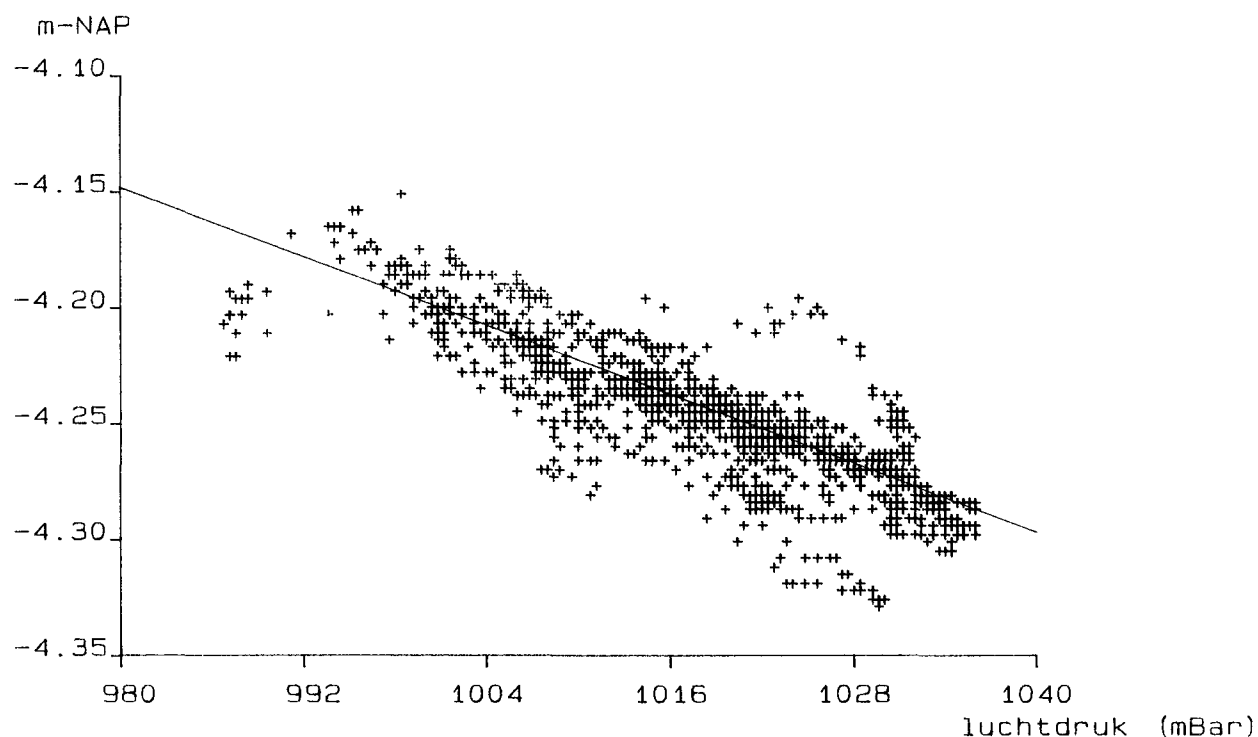
schoonpompen van de put in mei 1988 daalt het waterpeil in de grindlaag tot circa NAP -0,80 m.

In figuur 10 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.



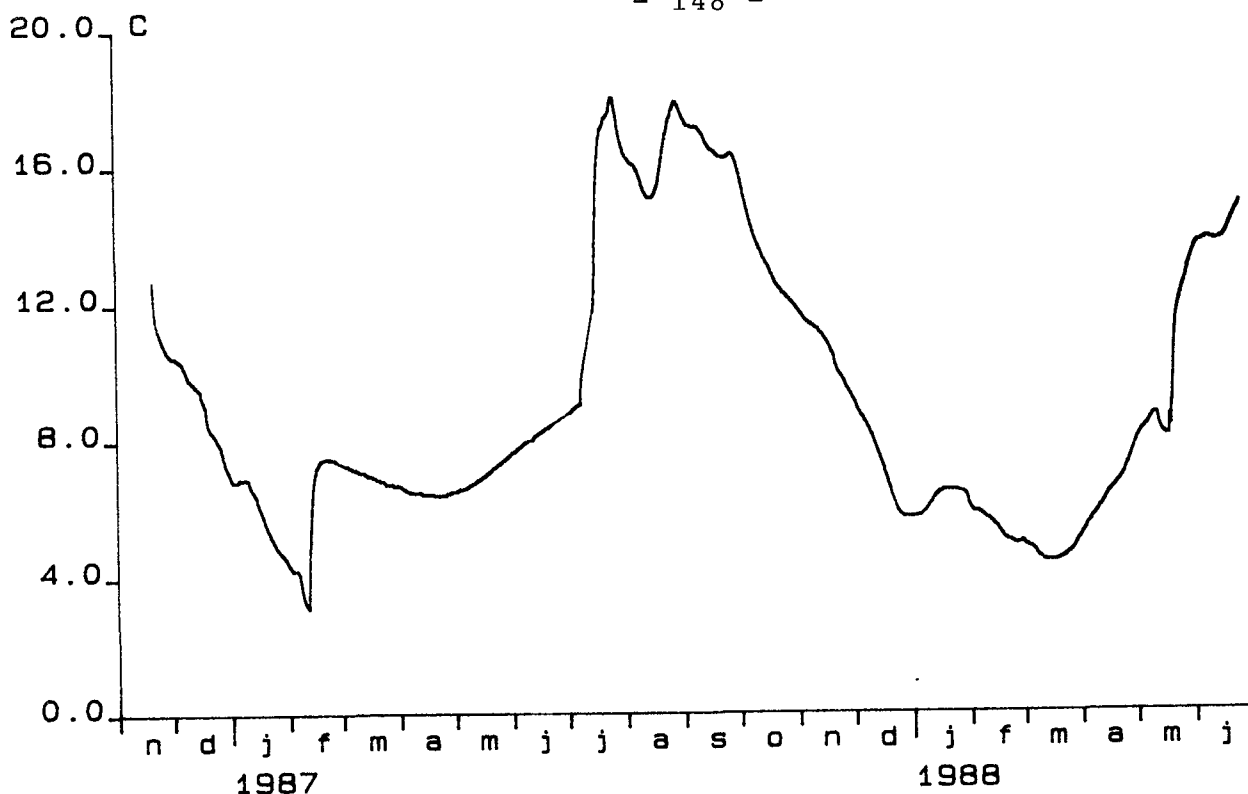
Figuur 10 - Verloop van de stijghoogte van het grondwater in het pleistocene pakket in m-NAP op 2 en 200 m afstand van de infiltratieput

In verband met schade aan de zand/grind terp werd in de periode maart tot juli 1987 geen water geïnfiltreerd. Over deze periode 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 figuur 11 is het verband weergegeven. Er bestaat een vrij duidelijke relatie tussen de luchtdruk en de stijghoogte van het grondwater, de correlatiecoëfficiënt is 0,84. Gaat de luchtdruk omhoog, dan daalt de stijghoogte van het grondwater.



Figuur 11 - Verband luchtdruk en stijghoogte van het grondwater (periode maart-juli 1987)

De bepaling van de weerstand vindt plaats door eliminatie van de invloed van de temperatuur. De weerstand die stromend water ondervindt, is evenredig met de viscositeit van het water. In figuur 12 is het verloop van de temperatuur van het infiltrerende water gegeven. Hieruit blijkt, dat de temperatuur schommelt tussen 18°C in de zomer tot 4°C in de winter.



Figuur 12 - Verloop van de temperatuur van het infiltrerende water in °C

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 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.

9 KWALITEITSASPECTEN

Het infiltratiewater is afkomstig van het Markermeer. De voeding van het Markermeer geschiedt in hoofdzaak door aanvoer van water vanuit het IJsselmeer en door de uitslag van water afkomstig uit het omliggende gebied (met name de Flevopolders). Aan het Markermeer worden belangrijke hoeveelheden water onttrokken ten behoeve van de watervoorziening en de bestrijding van de verzilting in Noord-Holland. Om het chloridegehalte op het Markermeer te verlagen wordt dit doorgespoeld met grote hoeveelheden IJsselmeerwater. Het IJsselmeer wordt op zijn beurt gevoed met onder meer Rijnwater via de IJssel. In tabel 1 zijn enkele kwaliteitsgegevens van het Markermeerwater vermeld.

Tabel 1 - Overzicht kwaliteit Markermeerwater

		7-7-1987	16-11-1987	1-3-1988	3-5-1988
Temperatuur	°C	9,0	11,2	4,9	12,0
Zuurgraad	pH	9,0	8,2	8,2	8,2
Geleidingsvermogen	mS/cm	919	1232	956	1084
Chloride	mg/l	195	238	162	210
Calcium	mg/l	74,2	103,0	86,0	101,0
Magnesium	mg/l	22,1	29,2	21,9	24,6
Natrium	mg/l	106,4	132,5	102,0	126,0
Kalium	mg/l	10,5	11,2	14,2	13,2
Fosfaat	mg/l	0,1	0,1	0,4	0,1
Sulfaat	mg/l	176	47	176	197
Waterstofcarbonaat	mg/l	86	161	162	183
Zwevende stof	mg/l	24,4	32,8	153,4	29,6
IJzer	mg/l	0,9	1,2	3,1	0,4
Mangaan	mg/l	-	-	0,1	0,1
Chroom	µg/l	-	<5,0	<5,0	<5,0
Koper	µg/l	-	8,1	<5,0	<5,0
Lood	µg/l	-	<5,0	<5,0	<5,0
Zink	µg/l	-	13,0	6,5	16,0
Cadmium	µg/l	-	<0,2	<0,2	<0,2
Nikkel	µg/l	-	2,6	4,2	1,8

In tabel 2 zijn de kwaliteitsgegevens vermeld van het grondwater op diverse afstanden tot de infiltratieput.

Tabel 2 - Overzicht kwaliteit grondwater op diverse afstanden tot de infiltratieput

	7-7-1987		16-11-1987				1-3-1988				3-5-1988			
	2 m	5 m	5 m	5 m	2 m	5 m	10 m	35 m	100 m	2 m	5 m	10 m	100 m	
Zuurgraad	7,4	7,4	7,6	7,5	7,5	7,5	1066	7,3	6,9	7,3	7,4	7,3	7,0	
Geleidingsvermogen	mS/cm 1093	1059	1075	1055	1055	1126	1066	1916	7822	975	1010	1078	7392	
Chloride	mg/l 218	202	191	178	178	184	183	480	2781	155	158	186	2797	
Calcium	mg/l 104,5	108,0	95,2	103,5	103,5	117,0	110,0	52,0	286,0	104,0	99,0	108,0	2870	
Magnesium	mg/l 26,1	23,9	24,1	23,4	23,4	29,6	26,3	29,4	188,0	23,6	28,5	29,8	183,0	
Natrium	mg/l 126,5	119,8	111,2	108,5	108,5	109,0	119,0	395,0	1531,0	109,5	113,0	116,0	1422,0	
Kalium	mg/l 13,2	11,9	10,1	11,0	11,0	10,0	10,1	15,5	41,5	11,9	11,3	10,4	40,5	
Fosfaat	mg/l 0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	3,1	1,8	0,1	0,0	0,1	0,1	
Sulfaat	mg/l 176	216	36	206	206	245	228	4	0	184	203	218	0,0	
Waterstofcarbonaat	mg/l 212	171	202	194	194	212	206	791	1078	204	204	194	1008	
Zwevende stof	mg/l 70,1	40,8	11,3	5,8	5,8	5,1	2,6	17,2	21,0	4,8	5,2	3,2	34,2	
IJzer	mg/l 3,6	2,1	1,7	0,3	0,3	3,1	1,3	3,8	7,1	0,2	1,3	1,3	2,1	
Mangaan	mg/l -	-	-	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1	1,1	0,8	0,8	0,6	1,0	
Chroom	µg/l -	-	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	6,4	<5,0	
Koper	µg/l -	-	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	5,1	<5,0	17,7	
Lood	µg/l -	-	<5,0	<5,0	<5,0	7,7	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	7,4	13,1	31,3	
Zink	µg/l -	-	49,0	22,7	22,7	24,4	7,1	6,5	14,8	43,0	31,5	23,0	109,0	
Cadmium	µg/l -	-	<0,2	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Nikkel	µg/l -	-	1,6	1,8	1,8	2,0	1,0	4,2	9,1	<1,0	<1,0	<1,0	2,7	

10 CONCLUSIES

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 70% van de totale periode. In deze periode varieerde de capaciteit van 100 tot 400 m³/dag, met een gemiddelde capaciteit van 200 m³/dag.

Uit berekening 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.

Door het min of meer dichtslibben van het grensvlak zand/water wordt de toestroming van Markermeerwater belemmerd. Bij de praktijkproef is gebruik gemaakt van een zand/grind terp voorzien van een "traditionele" dijkbekleding in de vorm van filterdoek, kraagstukken en stortsteen. Het aanbrengen van een zand/grind filter in de vorm van stranden of voorlanden biedt zeker perspectieven.

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.

11 LITERATUUR

- Hebbink, A.J. en E. Schultz (1984) 'Geohydrologie van het Noord-hollandse randgebied van de Markerwaard', Flevobericht nr. 238, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Hebbink, A.J. en E. Schultz (1984) 'Geohydrologie Markerwaard. De aanleg van de Markerwaard in het licht van de geohydrologische geschiedenis van het aangrenzende gebied in Noord-Holland' H2O, jaargang 17, nr. 25, 1984.
- Hebbink, A.J., G.A.M. Menting en E. Schultz (1986) 'Infiltratieputten in de randmeren van de Markerwaard'. H2O, jaargang 19, nr. 21, 1986.
- McDonald, M.G. and A.W. Harbaugh (1984) 'A modular three-dimensional finite-difference ground water flow model'.
- Rijkswaterstaat, Directie Zuiderzeewerken/Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (1985) 'De waterstaatkundige hoofdstructuur van de Markerwaard', Lelystad.
- Oltsthoorn, T.N. (1982). Verstopping van persputten. KIWA-Mededeling 71, Rijswijk.
- Rijkswaterstaat, Directie Zuiderzeewerken, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (1983) 'Geohydrologische aspecten bij de aanleg van de Markerwaard', Lelystad.

mei 1988

Lelystad

DIEPINFILTRATIE VAN OEVERGRONDWATER

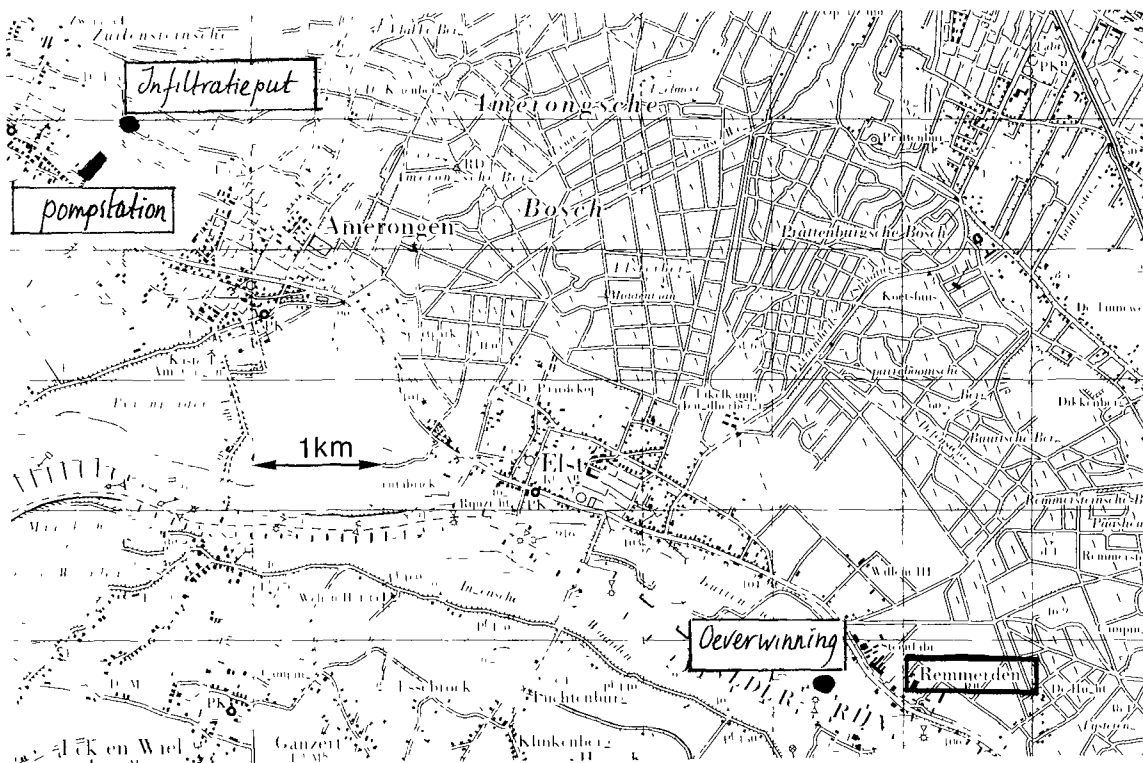
J. van der Laan

Waterleidingbedrijf Midden-Nederland (WMN)

1 INLEIDING

In november 1983 is het project "Diepinfiltratie van Oevergrondwater" te Leersum pas echt van start gegaan met het inwerkingstellen van het gehele project.

Het systeem omvat een winning in de uiterwaard te Remmerden, transport naar en zuivering te Leersum en een infiltratie (zie figuur 1) bovenstrooms de winplaats aldaar. Het doel is een bodempassage in een aerob pakket te creëren waarbij het water kan worden teruggewonnen zonder dat een verdere zuivering nodig is.



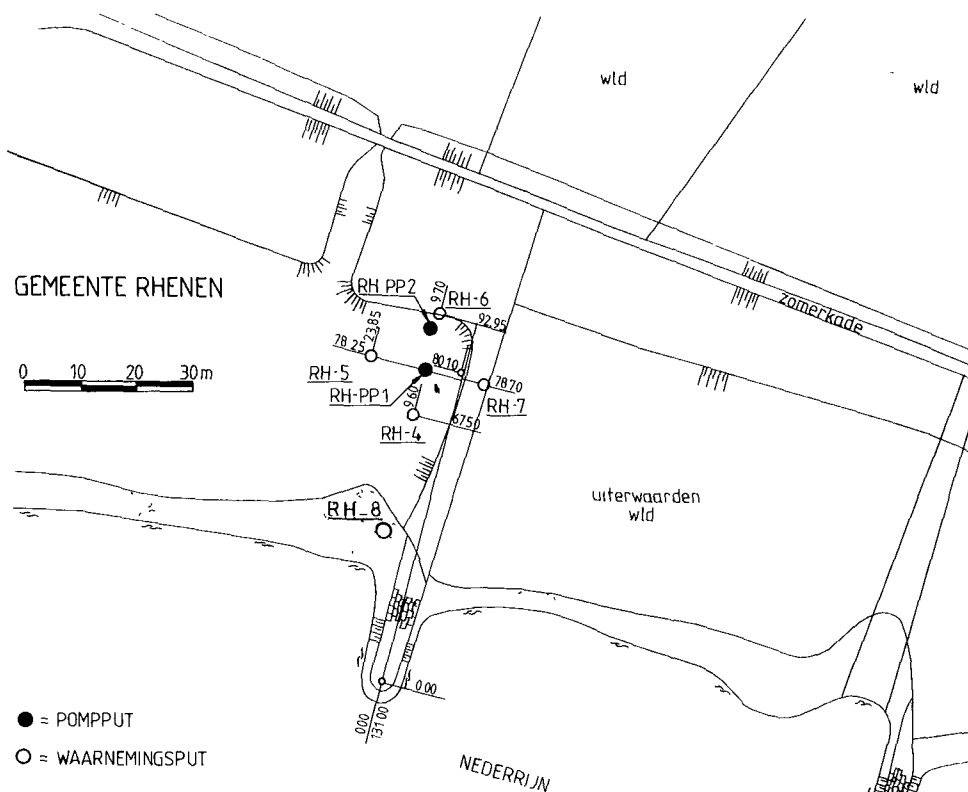
Figuur 1 - Situatie locaties Remmerden en Leersum

Het hoe en waarom van deze zaak is reeds uiteengezet in het interimrapport "Diepinfiltratie van Oevergrondwater" van juni 1985 (RIVM-WMN) en in de KIWA-mededeling nr. 79 "Ervaringen met diepinfiltratie" blz. 273 tot en 298. Het voorliggende bespreekt de resultaten over de jaren 1985 t/m 1987.

Achtereenvolgens zullen de kwaliteitsveranderingen bij de winning, zuivering, infiltratie en bodempassage met de eventueel opgetreden problemen worden behandeld.

2 WINNING OEVERGRONDWATER

De pompput (PP1) is op circa 30 meter afstand van het zomerbed van de Nederrijn te Remmerden (Gemeente Rhenen) gesitueerd (filterstelling 3,5 - 18,5 m-mv), zie figuur 2.



Figuur 2 - Pomp- en waarnemingsputten te Remmerden

Deze put is al vanaf mei 1977 in werking, oorspronkelijk met 15,3 l/s (55 m³/h) en vanaf november 1983 met 9,7 l/s (35 m³/h). Op 5 meter richting Heuvelrug moest een tweede pompput (PP2) worden ingericht om het van die kant toestromende trichlooretheenhoudende grondwater af te vangen en naar de rivier af te voeren. Tevens wordt met deze schermput bereikt, dat het aandeel van het afstromende grondwater in het oevergrondwater van geen betekenis meer is (minder dan 10%) en er dus vrijwel alleen van de rivier afkomstig oevergrondwater wordt gewonnen.

2.1 Veranderingen in waterkwaliteit tijdens bodempassage rivier-oever

Na een aantal jaren het oevergrondwater te hebben gewonnen blijkt dat het nog steeds redelijk van kwaliteit is in vergelijking met het water uit de Nederrijn zelf.

	nov 1983-84			1985			1986			1987		
	gem	min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem	min	max
Neder-												
rijn	171	90	290	190	99	325	158	86	290	133	60	180
PP1	145	131	165	145	136	170	149	134	175	119	104	146

Tabel 1 - Chloridegehalte in mg/l in Nederrijn en oevergrondwater (PP1)

Uit tabel 1 blijken al de redelijk constante kwaliteit en de enorme afvlakking, die met dit systeem van winnen kunnen worden verkregen. Een aantal andere fysisch-chemische parameters is samengebracht in tabel 2. Door de grotere afvoer van de rivier was het gehalte aan chloride in 1987 laag.

Het gemiddelde chloridegehalte in PP1 is en blijft enigszins lager dan dat in de Rijn. Ook dit geeft aan dat er een geringe bijmenging is van afstromend grondwater.

De troebelingsgraad en de hoeveelheid zwevende stof worden aanzienlijk gereduceerd en maken een coagulatie-trap vooralsnog overbodig. Daarnaast treden er nog allerlei veranderingen op als gevolg van diverse biologische en chemische processen. Bij deze processen wordt afbreekbaar organisch materiaal omgezet of verwijderd. De zuurstof wordt tijdens de bodempassage vrijwel geheel verbruikt waardoor anaerobe omstandigheden ontstaan, zie tabel 3.

	CO ₂	KMnO ₄	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Fe	Mn	O ₂	totaal zwe- PO ₄	vende stof
1985									
Nederrijn	4	16,3	19,5	0,94	0,06	0,05	9,1	1,59	23
PP1	17	4,2	9,4	1,2	0,31	1,06	0,3	0,17	<1
1986									
Nederrijn	4	16,4	18,4	0,77	0,03	0,04	9,1	1,33	31
PP1	15	4,0	9,5	0,84	0,45	0,89	0,7	0,16	<1
1987									
Nederrijn	6	14,6	18,1	0,61	0,07	0,03	8,8	1,03	31
PP1	22	3,4	13,1	0,82	0,48	0,79	1,2	0,18	<1

Tabel 3 - Verandering parameters (in mg/l) tijdens bodempassage (rivier-pompput)

In 1987 lijkt de mate van anaerobie iets minder (schoner water?). Zuurstof en nitraat in pompput 1 zijn hoger en mangaan is lager in vergelijking met 1985 en 1986.

Het gehalte aan nitraat neemt af door reductie tot stikstof. De gehalten aan ammonium en in meerdere mate die aan koolzuurgas, ijzer en mangaan vertonen een duidelijke stijging ten opzichte van de rivier. Verder treedt er een reductie op van diverse anorganische (o.a. fosfaat) en organische microverontreinigingen (zie tabel 4).

	Al	As	Ba	Cd	Cr	Co	Cu	Hg	Pb	Ni	Se	Ag	Zn	Sb
1985														
aantal	: 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
minimum	: 4.5	1.60	100	0.20	2.5	<1.0	10	<0.10	4.0	4.0	0.30	<0.5	30	0.35
maximum	: 9.0	6.50	120	0.25	3.0	<1.0	10	<0.10	7.5	6.0	30.00	<0.5	40	0.65
gemiddelde	: 7.0	3.03	110	0.21	2.7	<1.0	10	<0.10	6.3	5.1	7.73	<0.5	38	0.51
standaard afw:	1.7	2.02	10	<0.10	<0.5	-	-	-	1.3	<1.0	12.86	-	<10	<0.20
1986														
aantal	: 2	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	4	5	5
minimum	: 10.0	1.90	90	<0.10	1.4	<1.0	<10	<0.10	1.5	4.0	0.20	<0.5	10	<0.20
maximum	: 40.0	2.80	170	0.80	7.5	1.0	30	<0.10	15.0	6.0	0.40	<0.5	120	0.70
gemiddelde	: 25.0	2.20	124	0.31	4.9	<1.0	16	<0.10	8.8	5.4	0.33	<0.5	58	0.48
standaard afw:	15.0	0.35	31	0.27	2.3	-	10	-	4.3	1.0	<0.10	-	39	0.25
1987														
aantal	: 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
minimum	: 12.0	1.60	80	0.10	1.8	<1.0	10	<0.10	<1.0	3.0	0.30	<0.5	20	<0.20
maximum	: 400.0	2.40	110	0.30	19.0	<1.0	10	0.10	9.0	9.0	0.35	<0.5	50	0.70
gemiddelde	: 169.3	1.98	98	0.20	7.4	<1.0	10	<0.10	5.3	5.5	0.33	<0.5	35	0.38
standaard afw:	164.5	0.38	11	<0.10	6.8	-	-	-	3.9	2.2	<0.10	-	11	0.25
rivier														
1985														
aantal	: 5	4	4	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	4
minimum	: <1.0	3.90	90	0.20	<0.5	2.0	<10	<0.10	<1.0	3.0	0.15	<0.5	<10	<0.20
maximum	: 30.0	6.00	100	0.25	0.5	2.5	10	<0.10	3.0	4.5	0.20	<0.5	50	<0.20
gemiddelde	: 7.8	5.23	95	0.21	<0.5	2.1	<10	<0.10	<1.0	3.8	0.18	<0.5	10	<0.20
standaard afw:	11.5	0.87	<10	<0.10	<0.5	<1.0	-	-	1.2	<1.0	<0.10	-	20	-
1986														
aantal	: 5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4
minimum	: <1.0	3.40	70	0.20	<0.5	2.5	<10	<0.10	<1.0	4.0	0.15	<0.5	<10	<0.20
maximum	: 4.5	6.00	130	0.30	<0.5	3.0	10	<0.10	1.0	9.0	35.00	<0.5	20	0.30
gemiddelde	: 1.9	4.60	90	0.23	<0.5	2.9	<10	<0.10	<1.0	5.8	7.18	<0.5	<10	<0.20
standaard afw:	1.7	0.94	21	<0.10	-	<1.0	-	-	-	1.7	13.91	-	10	<0.20
1987														
aantal	: 5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4
minimum	: 1.0	4.50	70	0.15	<0.5	<1.0	<10	<0.10	<1.0	3.0	0.20	<0.5	<10	<0.20
maximum	: 40.0	6.50	80	0.20	<0.5	3.5	10	<0.10	6.5	5.5	0.30	<0.5	10	<0.20
gemiddelde	: 21.2	5.28	76	0.19	<0.5	2.1	<10	<0.10	1.3	4.1	0.25	<0.5	<10	<0.20
standaard afw:	17.0	0.81	<10	<0.10	-	1.4	-	-	2.6	1.2	<0.10	-	-	-
pompput 1														
1985														
aantal	: 13	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	13
minimum	: 1.5	2.00	55	<0.10	<0.5	<1.0	<10	<0.10	<1.0	1.0	0.10	<0.5	<10	<0.20
maximum	: 11.0	4.10	95	0.10	<0.5	2.0	20	<0.10	1.5	3.5	0.20	<0.5	10	1.10
gemiddelde	: 4.7	2.72	67	<0.10	<0.5	1.0	<10	<0.10	<1.0	2.8	0.14	<0.5	<10	<0.20
standaard afw:	2.7	0.60	10	<0.10	-	1.0	<10	-	<1.0	<1.0	<0.10	-	-	0.30
1986														
aantal	: 12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10
minimum	: <1.0	0.70	55	<0.10	<0.5	<1.0	<10	<0.10	<1.0	2.0	<0.10	<0.5	<10	<0.20
maximum	: 70.0	3.10	80	0.20	1.1	2.5	10	<0.10	4.0	4.5	0.90	<0.5	20	0.40
gemiddelde	: 13.9	1.94	66	<0.10	<0.5	1.7	<10	<0.10	1.0	3.5	0.20	<0.5	<10	<0.20
standaard afw:	18.8	0.87	<10	<0.10	<0.5	1.0	-	-	1.2	<1.0	0.23	-	10	<0.20
1987														
aantal	: 13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	13	13
minimum	: <1.0	1.30	40	<0.10	<0.5	<1.0	<10	<0.10	<1.0	1.0	0.15	<0.5	<10	<0.20
maximum	: 14.0	5.00	90	0.15	<0.5	2.0	40	<0.10	1.5	3.0	0.25	<0.5	20	<0.20
gemiddelde	: 6.5	3.01	63	<0.10	<0.5	1.2	10	<0.10	<1.0	2.2	0.19	<0.5	<10	<0.20
standaard afw:	3.6	1.05	13	<0.10	-	<1.0	10	-	<1.0	<1.0	<0.10	-	<10	-

reinwaterberging

Tabel 4a - Zware metalen (in µg/l) in rivier, pompput en reinwaterberging in 1985, 1986 en 1987

	TCE	CHLF	PER	TETRA	1,1,1	1,2 DCE	BEN- ZEEN	TOLU- EEN	XYLE- NEN	ETHYL- B	PRO- PYL-B	FENOL
1985												
aantal	: 23	23	23	21	8	23	14	14	14	14	14	4
minimum	: 0.10	0.30	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
maximum	: 1.20	2.00	0.65	0.50	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	3
gemiddelde	: 0.32	0.69	0.25	0.16	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	2
standaard afw:	0.27	0.39	0.13	0.15	-	-	-	-	-	-	-	1
1986												
aantal	: 23	23	23	22	20	23	8	8	8	8	8	4
minimum	: <0.10	0.15	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
maximum	: 0.45	1.20	0.45	1.10	1.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	>2.0	<3.0	3
gemiddelde	: 0.10	0.50	0.18	0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	1
standaard afw:	0.11	0.23	0.10	0.27	0.24	-	-	-	-	-	-	1
1987												
aantal	: 26	26	26	26	26	26	13	13	13	12	12	4
minimum	: <0.10	0.15	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5	<0.5	<1
maximum	: 1.40	0.85	0.70	0.30	0.25	<4	<0.5	<0.5	1.0	1.0	<0.5	7
gemiddelde	: 0.10	0.48	0.19	<0.10	<0.10	<4	<0.5	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5	3
standaard afw:	0.27	0.18	0.15	<0.10	<0.10	-	-	-	<1.0	<0.5	-	3
rivier												
1985												
aantal	: 23	23	23	21	8	23	14	14	14	14	14	4
minimum	: <0.10	0.30	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
maximum	: 8.30	5.70	0.20	4.20	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
gemiddelde	: 1.45	0.88	0.13	0.45	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
standaard afw:	1.76	1.13	<0.10	0.91	-	-	-	-	-	-	-	-
1986												
aantal	: 20	20	20	20	16	20	7	7	6	5	20	4
minimum	: 0.45	0.25	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<1.0	<1
maximum	: 1.90	0.70	0.10	1.90	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<1.0	<1
gemiddelde	: 1.01	0.44	0.10	0.49	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<1.0	<1
standaard afw:	0.37	0.15	<0.10	0.46	-	<4	-	-	-	-	-	-
1987												
aantal	: 24	24	24	24	24	24	13	13	13	12	12	4
minimum	: 0.75	0.25	<0.10	0.15	<0.10	<4	<0.5	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5	<1
maximum	: 8.00	5.00	0.10	11.00	1.50	<4	<0.5	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5	<2
gemiddelde	: 4.59	2.30	<0.10	6.03	0.51	<4	<0.5	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5	<1
standaard afw:	1.91	1.16	-	2.99	-	-	-	-	-	-	-	1
pompput 1												
1985												
aantal	: 49	49	49	43	36	49	18	18	18	18	18	3
minimum	: <0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
maximum	: 0.20	0.95	0.25	0.50	0.15	<4	<1.0	<2.0	0.2	<2.0	<3.0	<1
gemiddelde	: <0.10	0.29	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
standaard afw:	<0.10	0.30	<0.10	0.11	<0.10	-	-	-	<3.0	-	-	-
1986												
aantal	: 45	45	46	45	38	46	6	6	6	6	3	4
minimum	: <0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
maximum	: <0.10	0.40	<0.10	1.40	0.15	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
gemiddelde	: <0.10	0.15	<0.10	0.10	<0.10	<4	<1.0	<2.0	<3.0	<2.0	<3.0	<1
standaard afw:	-	0.15	-	0.29	<0.10	-	-	-	-	-	-	-
1987												
aantal	: 30	30	30	30	30	30	13	13	13	12	11	4
minimum	: <0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<4	<0.5	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5	<1
maximum	: 0.20	2.60	<0.10	1.40	0.65	<4	<0.5	<0.5	1.0	0.5	<0.5	1
gemiddelde	: <0.10	0.76	<0.10	0.23	0.11	<4	<0.5	<0.5	<1.0	<0.5	<0.5	<1
standaard afw:	<0.10	0.96	-	0.39	0.16	-	-	-	-	-	-	-
reinwaterberging												
TCE	= trichlooretheen											
CHLF	= chloroform											
PER	= tetrachlooretheen											
TETRA	= tetrachloormethaan											
1,1,1	= 1,1,1 trichloorethaan											
1,2 DCE	= 1,2 dichloorethaan											

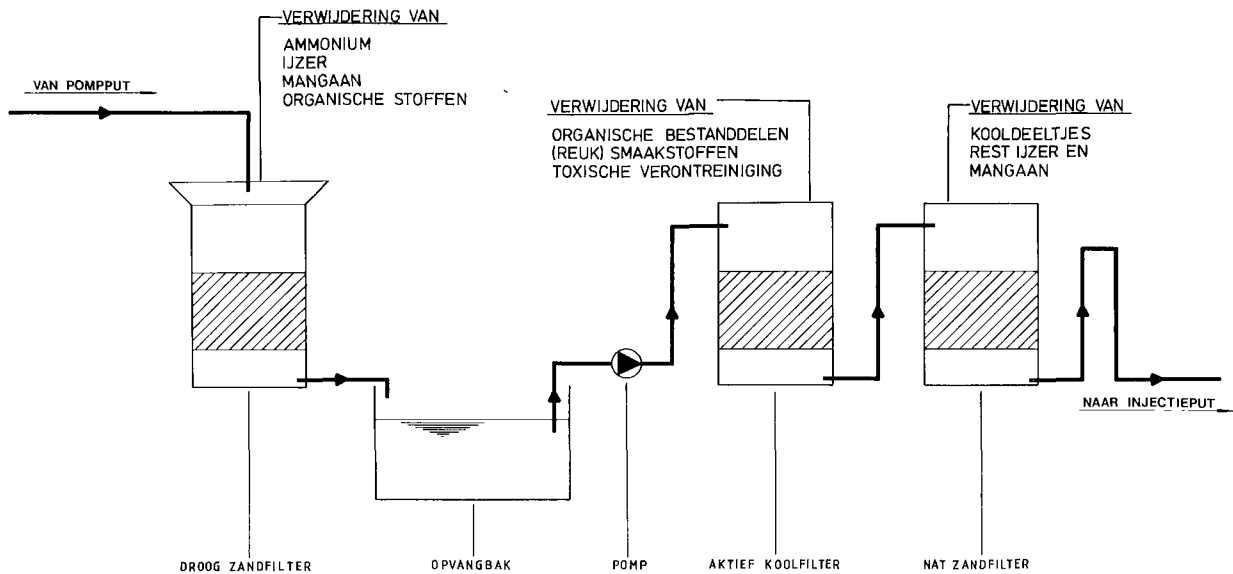
Tabel 4b - Organische micro's (in µg/l) in rivier, pompput en reinwaterberging in 1985, 1986 en 1987

Enkele verontreinigingen worden vrijwel niet tegengehouden zoals cadmium en diverse organochloorverbindingen. Arseen en cobalt nemen zelfs enigszins toe. Mogelijk komen deze stoffen in het afzettingsmateriaal van de rivieroever voor en logen nu langzaam uit. In het algemeen kan gezegd worden dat de waterkwaliteit tijdens de bodempassage aanzienlijk verbetert, doch de slechte smaak en het voorkomen van microverontreinigingen maken een aangepaste zuivering noodzakelijk. Deze zuivering is om die reden te vergelijken met de zuivering van verontreinigd grondwater zoals die onder andere te Zeist aanwezig is.

3 ZUIVERING OEVERGRONDWATER

3.1 Algemeen

Het zwak aerobe oevergrondwater kan tijdens transport uitvlokking van onder andere ijzerverbindingen te zien geven. Om te voorkomen dat op een bepaald moment veel ijzerdeeltjes op het voorfilter terecht komen door het stootsgewijze meevoeren ervan wordt deze leiding regelmatig schoongeveegd met behulp van kunststof propfen. In de zuivering zelf zijn drie fasen te onderscheiden, zie figuur 3.



Figuur 3 - Zuiveringsinstallatie te Leersum

De voornaamste taak van het eerste filter (droogfilter) na beluchting (versproeiing) van het water is het afvangen en verwijderen van ijzer, mangaan en ammonium.

In het koolfilter vindt de verwijdering van organische microverontreinigingen (onder andere smaak- en geurstoffen) plaats. Het derde filter heeft tot taak de deeltjes, die mogelijk in de voorgaande trappen niet in voldoende mate worden afgevangen alsnog te verwijderen opdat de hoeveelheid verstoppend materiaal dat met het water naar de infiltratieput stroomt zo gering mogelijk is en het gehalte aan zuurstof zo hoog mogelijk.

De opzet is de aerobe conditie, die in het bovenste deel van het watervoerende pakket ter plaatse aangetroffen wordt, te handhaven.

3.2 Zuivering

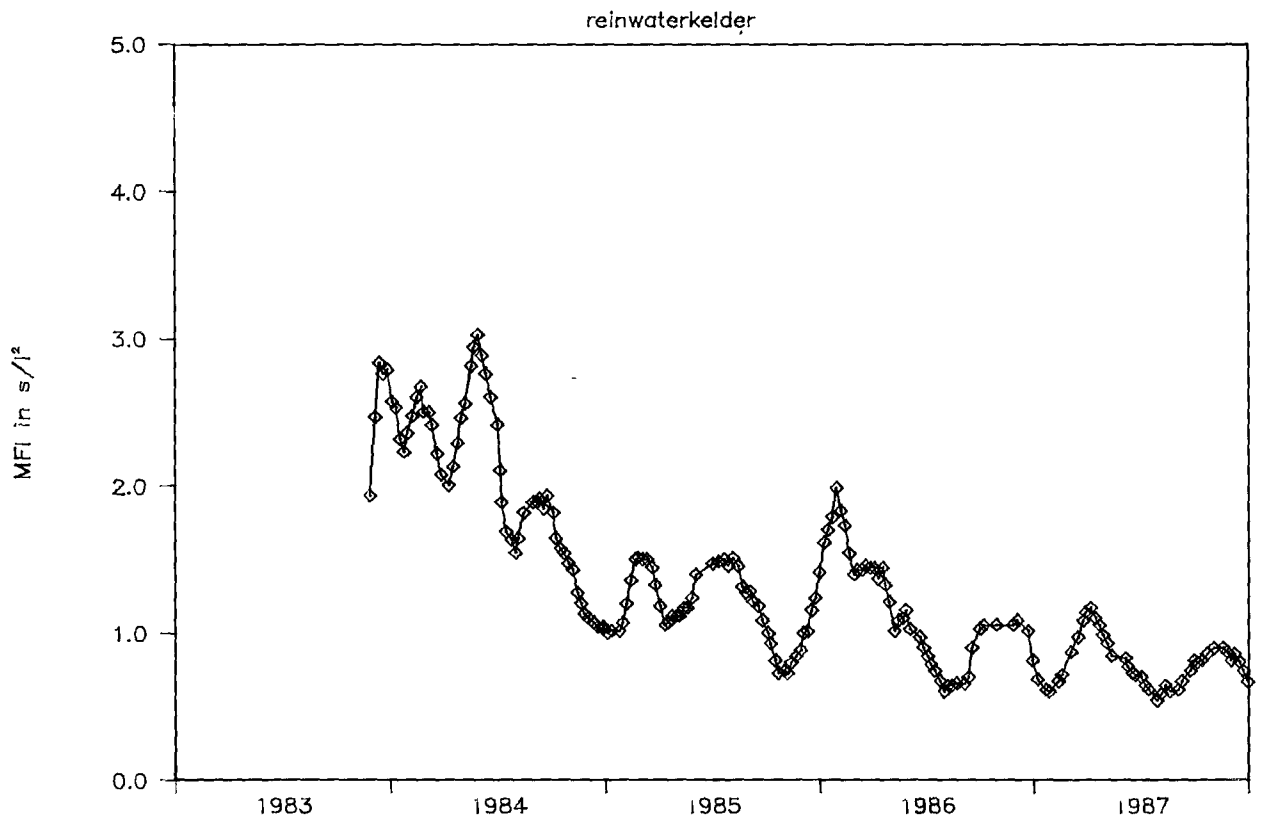
Door het toenemende gehalte aan ijzer zijn de looptijden van het eerste filter iets korter geworden. Bovendien was de ontmanganing niet altijd volledig. Het mangaan zette zich dan in de bovenste laag van het koolfilter af hetgeen apart spoelen van deze laag met zich bracht.

Een probleem van biologische aard vormde het niet geheel lichtdicht zijn van de kunststof reinwaterberging waardoor onder andere enige algengroei optrad.

Verder was in geval van hoogwater op de rivier de bacteriële kwaliteit van het oevergrondwater minder goed. In verband met dit probleem is een folie-laag rond de putten aangebracht op circa 0,5 m-mv. Ook op de MFI-waarden was dat van invloed.

De minder goede resultaten met betrekking tot microbiologische aspecten zijn zoveel mogelijk geëlimineerd door het tijdelijk doseren van waterstofperoxide. De tabellen 2 en 4 laten zien dat het te infiltreren water in het algemeen als goed drinkwater beschouwd kan worden.

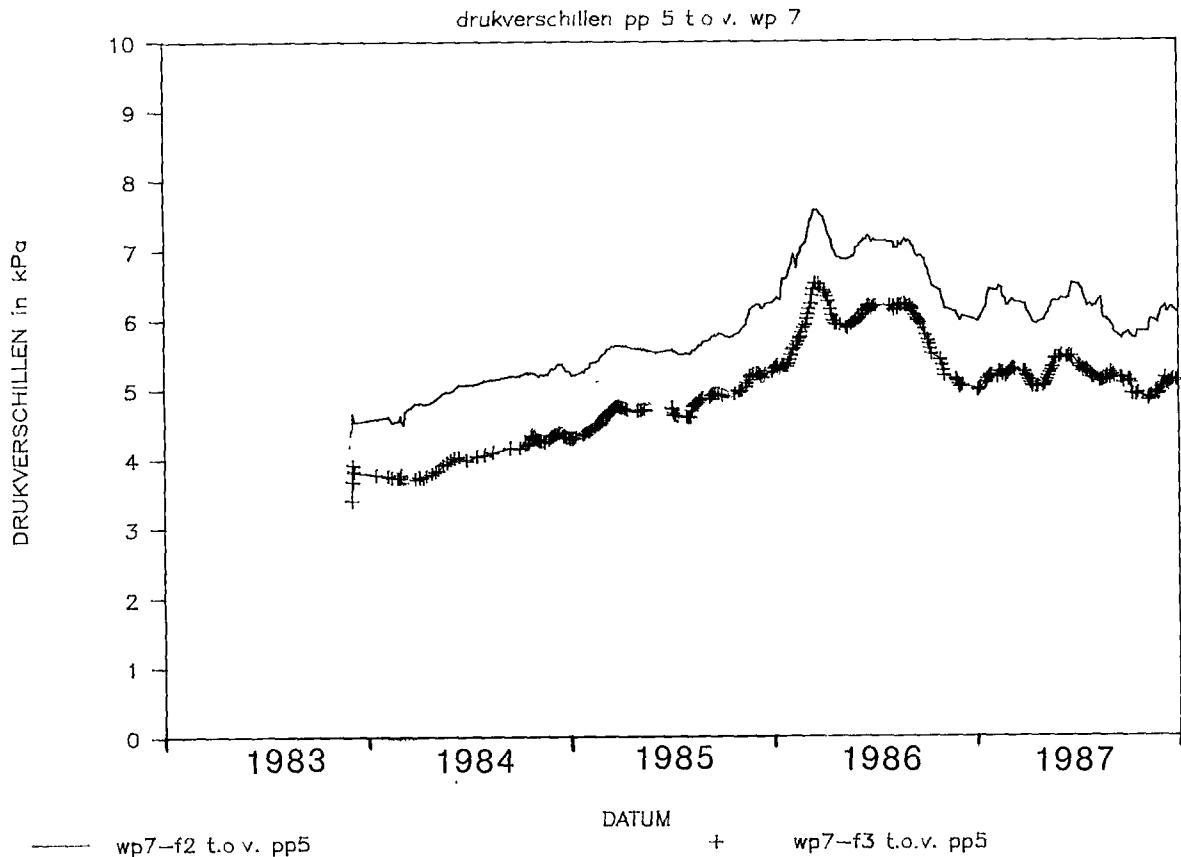
De lage membraanfiltratie-index (MFI, zie figuur 4) en troebelingsgraad van het te infiltreren water zijn mede een aanwijzing dat er weinig verstoppend materiaal naar de put wordt gevoerd. Om deze reden valt weinig weerstandsopbouw in de put te verwachten.



Figuur 4 - MFI-waarden reinwaterberging

4 INFILTRATIEPUT

Figuur 5 geeft de verandering van de weerstand in de put aan. Tot en met 1987 is het niet nodig gebleken de infiltratieput schoon te pompen, alhoewel de weerstand een weinig is toegenomen.



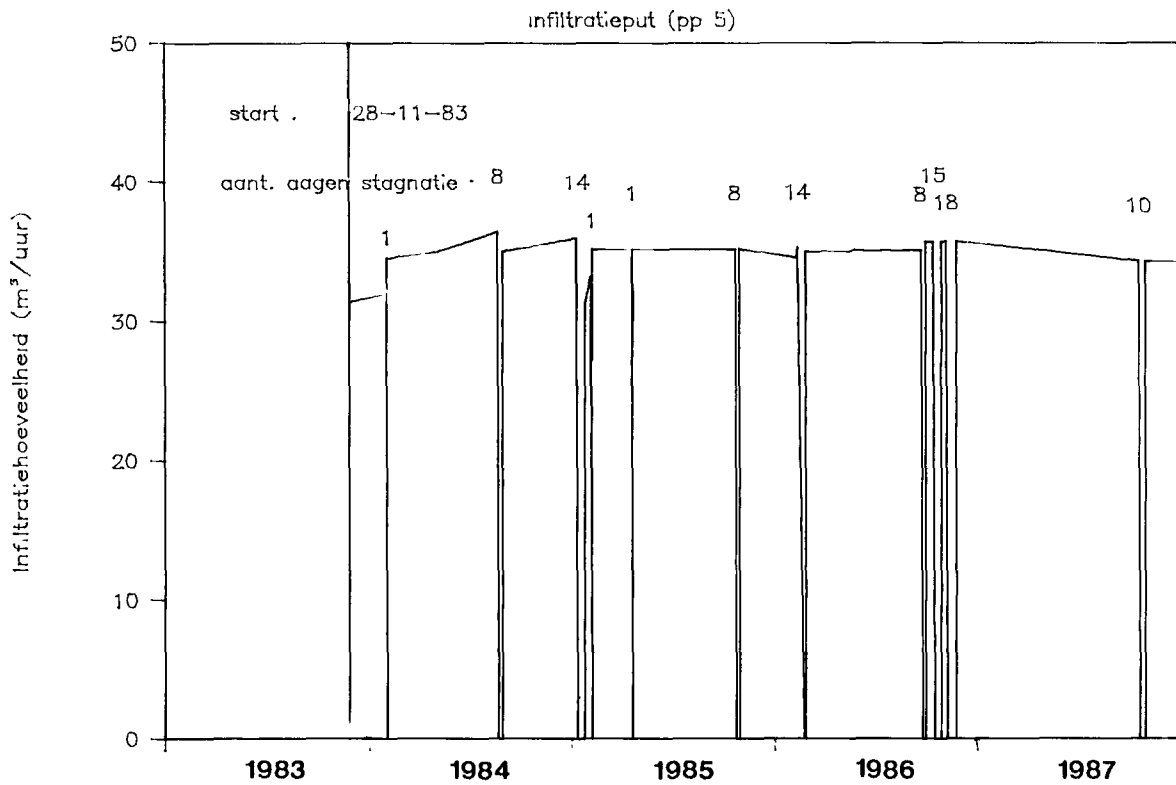
Figuur 5 - Drukverschil (in kPa) infiltratieput ten opzichte van waarnemingsput WP7, filters 2 en 3 (omgerekend naar 10°C en een infiltratiesnelheid op de boorgatwand van 1 m/h)

Te zijner tijd zal naar deze verstopping een onderzoek worden ingesteld. Het feit dat tijdens een periode van niet-infiltreren de weerstand toch enigszins is verminderd doet vermoeden dat een deel van de verstopping van biologische aard zal zijn.

De verstopping wordt bepaald uit het verschil in stijghoogte tussen de infiltratieput (PP5) en de filters 2 en 3 van waarnemingsput WP7.

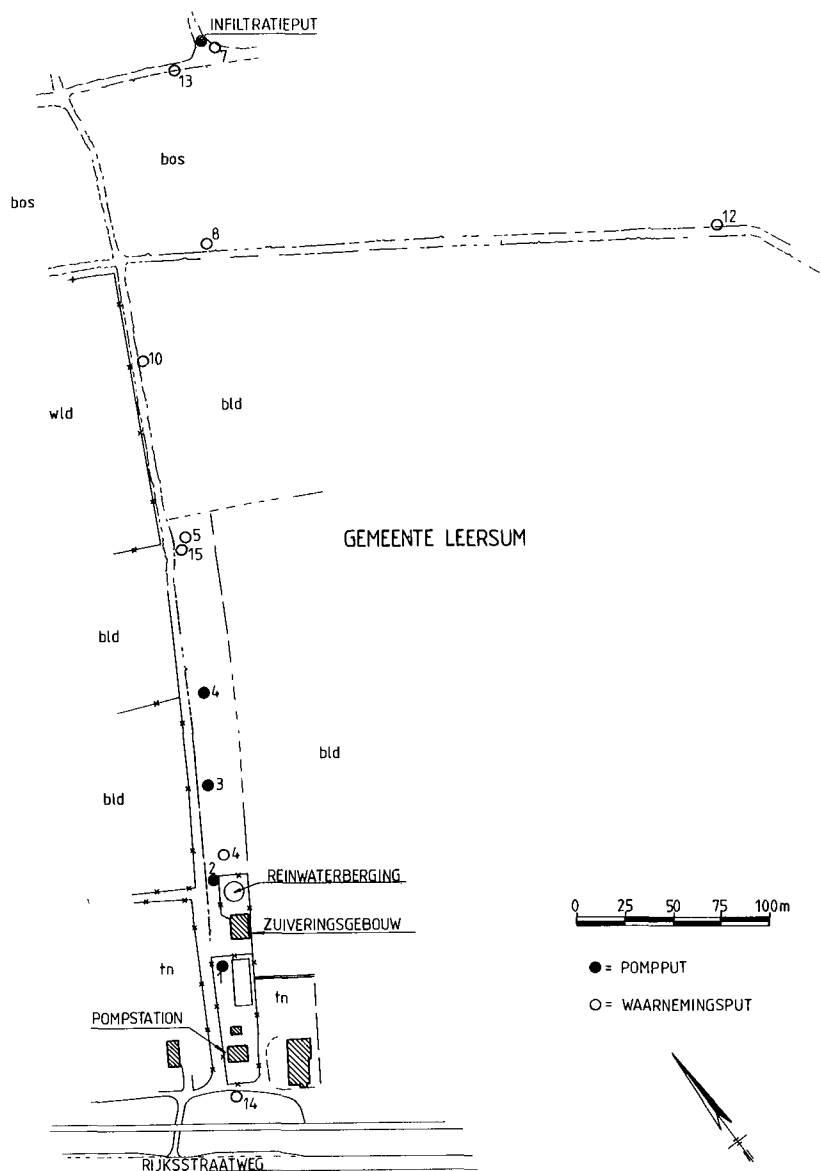
In deze bijdrage worden de waarnemingsfilters van beneden naar boven genummerd, beginnend met f1.

In totaal werd tot eind 1987 $1,13 \times 10^6 \text{ m}^3$ water via de infiltratieput in de bodem gebracht, zie ook figuur 6.



Figuur 6 - Verloop van de volumestroom van de infiltratie

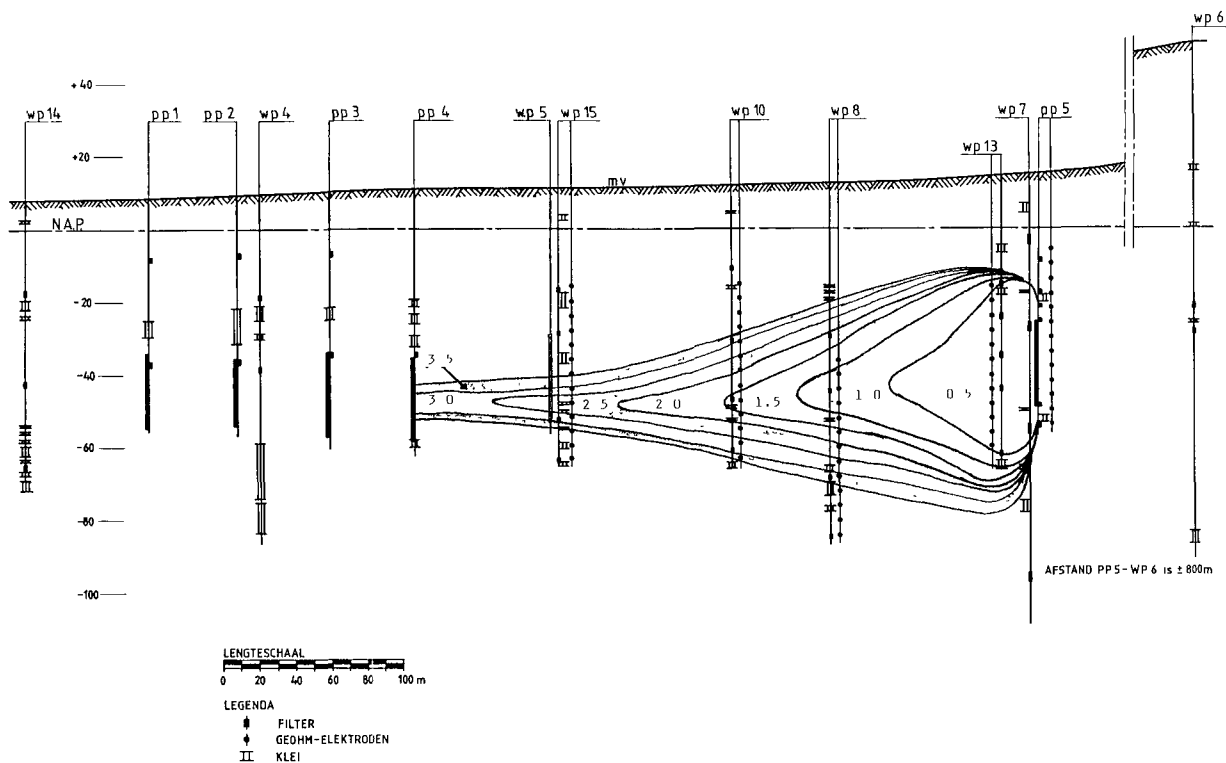
Voor de situering van de infiltratieput, de waarnemingsputten en het pompstation Leersum wordt verwezen naar figuur 7.



Figuur 7 - Terrein rondom pompstation Leersum
(bld = bouwland, wld = weiland)

5 KWALITEITSVERANDERINGEN TIJDENS BODEMPASSAGE HEUVELRUG

In figuur 8 is de verbreiding van de 70 mg/l chloridelijn (ongeveer het gemiddelde van het "natuurlijk" grondwater en het infiltraat) tussen de infiltratieput en pompput 4 aangegeven. Uit het verloop blijkt duidelijk dat het water zich het snelst verplaatst in de wat grovere laag op 40 à 50 m-NAP. De grens aeroob/anaeroob lag oorspronkelijk op circa 50 m-NAP.



Figuur 8 - Geohydrologisch profiel infiltratiegebied Leersum (frontlijnen 70 mg/l Cl uitgezet in jaren na start infiltratie)

Al eerder is vermeld dat de reistijd tussen de infiltratieput (PP5) en de waarnemingsput WP7 iets langer was dan berekend. Voor WP13 klopt de berekende en de gemeten tijd (27 dagen). De aankomst van 70 mg/l chloride in WP8 en WP10 komt minder goed overeen met de berekende waarden 298 (397) respectievelijk 530 (784) dagen.

Daarna wijken de werkelijke reistijden nog meer af van de berekende. Deze zijn tussen haakjes vermeld.

- WP15 840 (1240) dagen
- PP4 1020 (1440) dagen.

Mogelijk speelt hierbij de geringe dikte van de infiltratietong in het grove deel van het pakket een rol. Ter hoogte van WP15 was de tong na 3,5 jaar infiltreren circa 15 meter dik. Nabij WP8 was dit meer dan 50 m.

5.1 Waarnemingsput WP7

De filters 1 en 4 bevatten water met de oorspronkelijke kwaliteit. De filters 2 en 3 geven nu water dat overeenkomt met het infiltraat, zij het dat de verandering van zuurstof in filter 2 langer duurde. In 1986 was het zuurstofgehalte ter hoogte van filter 2 (8,4 mg/l) nog niet op het niveau van het infiltraat (10,8 mg/l), hetgeen ingeval van filter 3 (10,8 mg/l) wel toen al een feit was. Mogelijk bevindt zich in of nabij het anaerobe deel van het watervoerende pakket meer oxideerbare stof. Het KMnO_4 -verbruik is echter relatief laag na aanvankelijk iets te zijn gestegen. In filter 4 was het gehalte aan nitraat en sulfaat al voor de infiltratie hoger dan normaal.

5.2 Waarnemingsput WP13

Het diepste filter (62-63 m-nap) bevatte reeds eind 1984 vrijwel 100% infiltraat, afgeleid van het chloridegehalte. Het gehalte aan zuurstof is nog steeds zeer laag (<1 mg/l), het met het infiltraat meegevoerde nitraat wordt vrijwel volledig gereduceerd. Het gehalte aan sulfaat vertoont een duidelijke toeneming evenals het ijzer en mangaan. Het gehalte aan ijzer en mangaan daalt langzaam. Mogelijk zijn er op deze diepte zwavelijzerverbindingen aanwezig.

Op 24-45 m-nap bevindt zich infiltraat dat 10 à 11 mg/l zuurstof bevat en dat een nitraat- en sulfaatgehalte heeft gelijk aan die van het aangevoerde water.

Het water is praktisch ijzer- en mangaanvrij. Het KMnO_4 -verbruik blijft laag (1 à 2 mg/l).

Hetzelfde kan worden gezegd van het water op 15-16 m-nap. Wel ijlt het gehalte aan zuurstof na.

5.3 Waarnemingsput WP8

Het diepste filter (filter 1, 84-85 m-nap) bevat nog het oorspronkelijke water. Het infiltraat bereikte filter 2 (68-69 m-nap) eind 1986. Het chloride is in 1987 opgelopen tot 75 mg/l. Op 29-45 m-nap (filter 3 en 4) wordt volledig infiltraat gevonden. Het gehalte aan zuurstof is 8 à 9 mg/l en het water is vrijwel ijzer- en mangaanvrij, terwijl het KMnO_4 -verbruik 1 à 2 mg/l bedraagt.

5.4 Waarnemingsput WP10

Op 60-61 m-nap is het chloride vanaf dag 950 langzaam omhoog gegaan tot circa 80 mg/l in december 1986 (dag 1100) en is daarna langzaam opgelopen tot iets boven 100 mg/l. Het nitraat is vrijwel afwezig en het gehalte aan ijzer en mangaan is sterk toegenomen. Mogelijk speelt oxidatie van zwavelijzerverbindingen ook op deze plaats een rol, daar het gehalte aan sulfaat ruim 10 mg/l meer is toegenomen dan op grond van de verandering in chloride verwacht mocht worden.

Op 46-47 m-nap wordt nu volledig infiltraat aangetroffen. Het water is praktisch ijzer- en mangaanvrij en bevat 8 à 9 mg/l zuurstof.

Op 30-31 m-nap wordt nog voor een deel infiltraat aangetroffen.

Op 10-11 m-nap wordt nog het oorspronkelijke water aangetroffen. Wel is hier invloed van bemesting merkbaar (Cl , SO_4 en vooral K hoger dan normaal).

5.5 Waarnemingsput WP15

Op de laag van het diepste filter (63-64 m-nap) wordt nog het oorspronkelijke ijzerhoudende grondwater aangetroffen.

Filter 2 (52-53 m-nap) gaf eind 1987 water dat slechts voor een deel infiltraat is. Het gehalte aan zuurstof is nog 3 à 5 mg/l en het water blijft verder ijzer- en mangaanvrij.

Op 16-29 m-nap (f3 en f4) wordt nog het oorspronkelijke ondiepe grondwater aangetroffen. Wel is in f4 een toenemende invloed merkbaar van bemesting (Cl , NO_3 , SO_4 en K hoger dan normaal).

5.6 Pompput 4

Mede onder invloed van de agrarische activiteiten rond het pompstation Leersum schommelde het chloridegehalte tussen 15 en 20 mg/l. Na 1030 dagen werd definitief de 20 mg/l chloridegrens overschreden.

Eind 1987 was het gehalte ongeveer 40 mg/l.

Naast de bemestingsfactoren (NO_3 , SO_4 , K en mede Cl) zijn het gehalte aan natrium en de totale hardheid langzaam stijgende. Gezien de kwaliteit van het ondiepe grondwater benedenstrooms van de winplaats zal een eventuele slip van het infiltraat langs de winplaats zeer moeilijk waar te nemen zijn en wordt de kwaliteit van het kwelwater in de lagere gebieden benedenstrooms van de winplaats geregeerd door agrarische activiteiten.

6 GEDRAG ZWARE METALEN

Hoewel diverse zware metalen aan het bodemmateriaal zijn gebonden bevat het water in de diverse pakketten slechts sporen of vrijwel niets van deze stoffen, hetgeen uit het jaarlijkse onderzoek van het ruwe water blijkt, zie tabel 5.

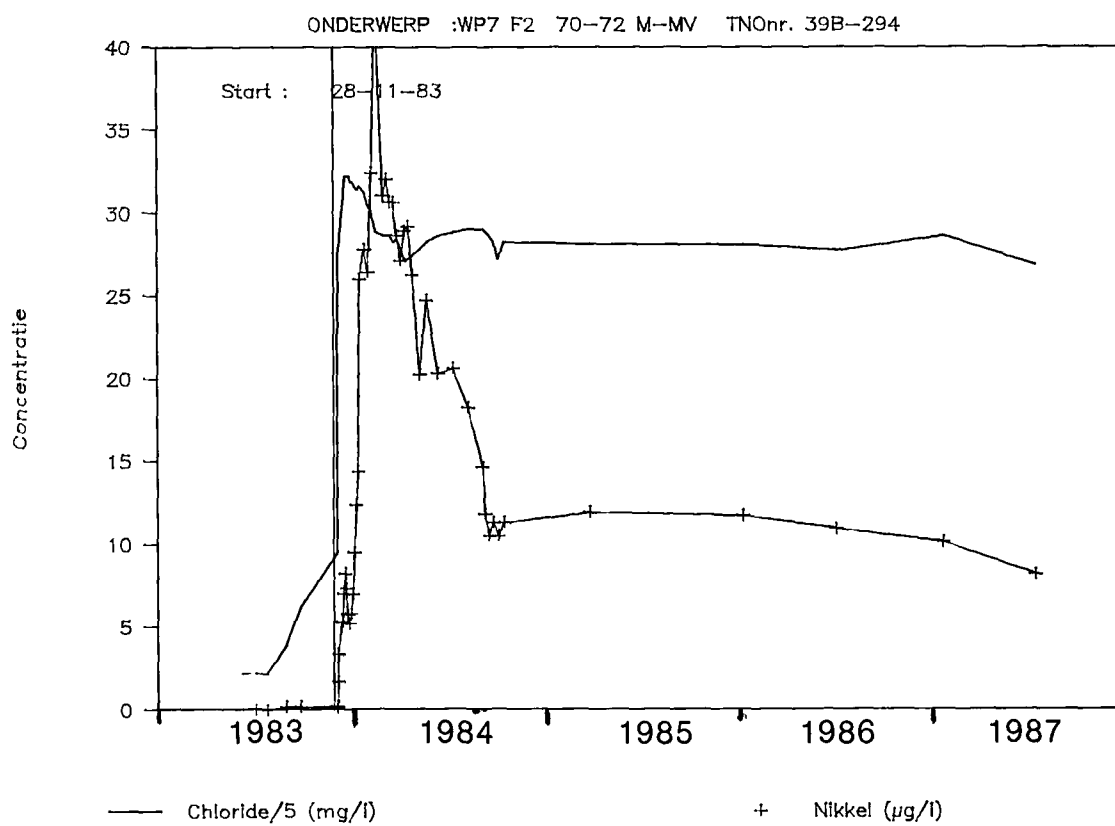
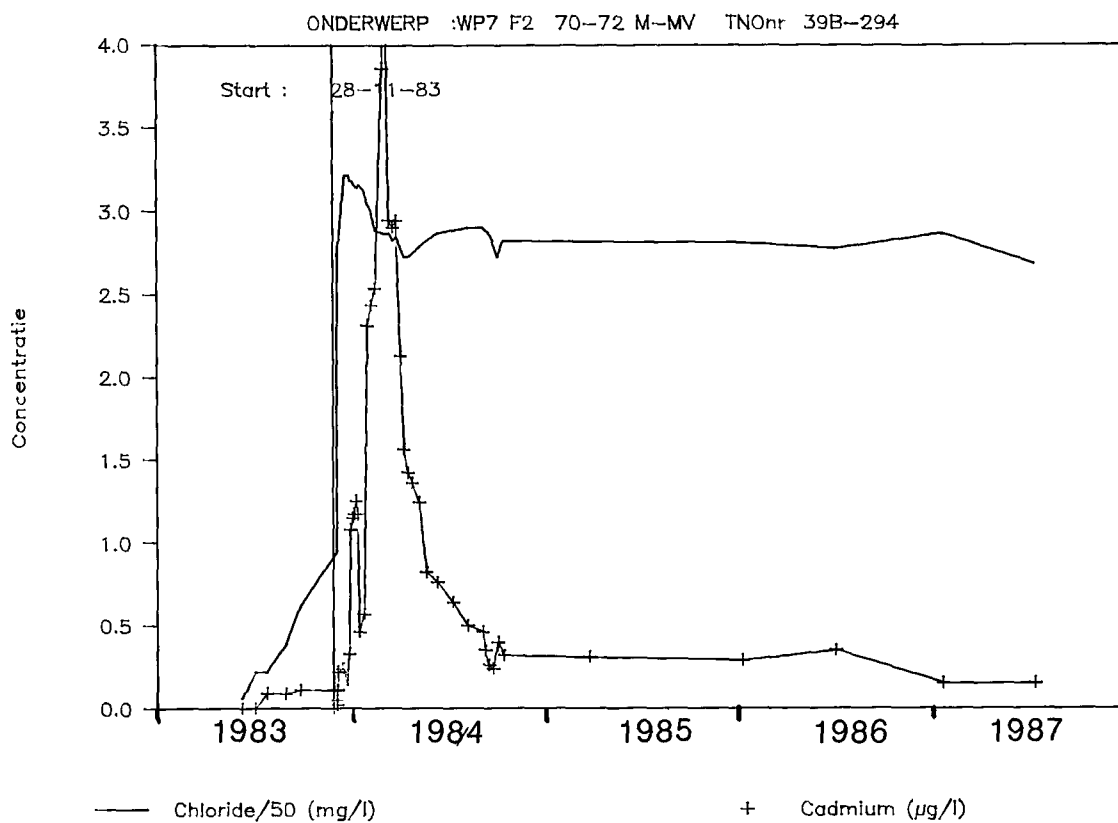
Aluminium	(Al)	30
Arseen	(As)	2,7
Barium	(Ba)	10
Cadmium	(Cd)	<0,1
Chroom	(Cr)	1,2
Cobalt	(Co)	<1
Koper	(Cu)	<10
Kwik	(Hg)	<0,1
Lood	(Pb)	<1
Nikkel	(Ni)	1,5
Seleen	(Se)	0,6
Zink	(Zn)	<10
Antimoon	(Sb)	<0,3

Tabel 5 - Onderzoek ruw water pompstation Leersum
(25 mei 1987) Concentraties in $\mu\text{g/l}$

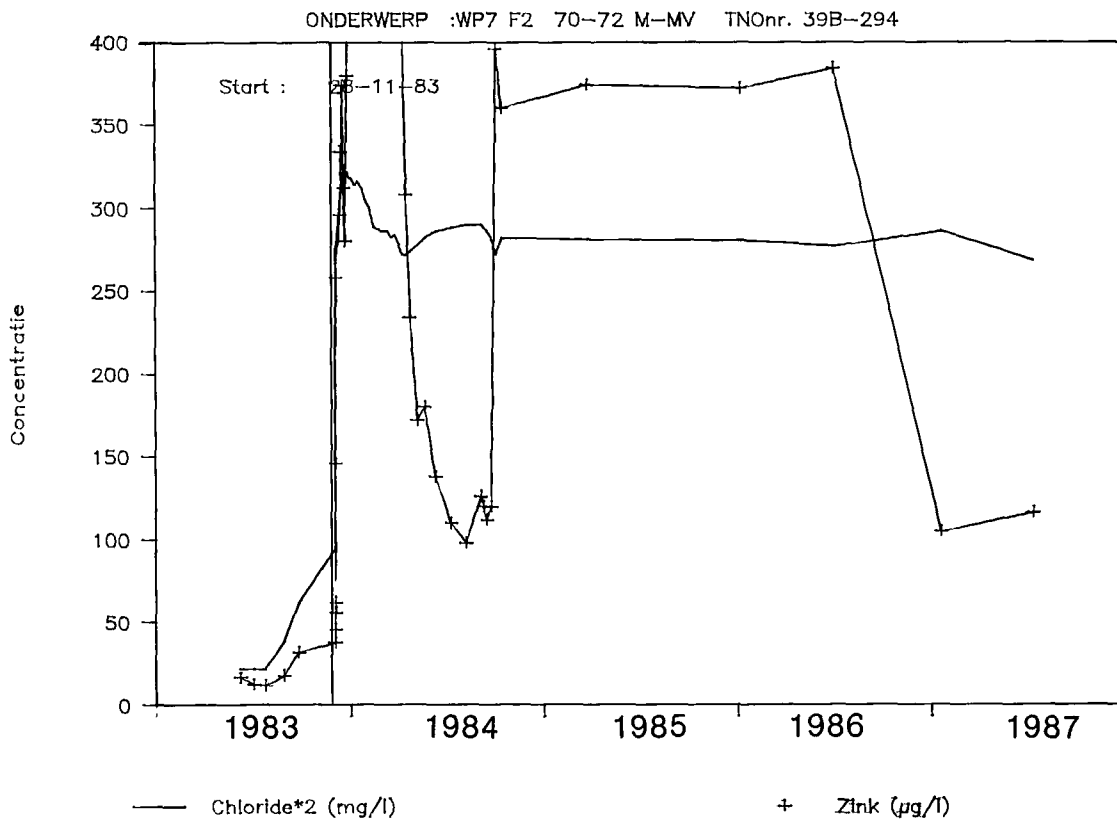
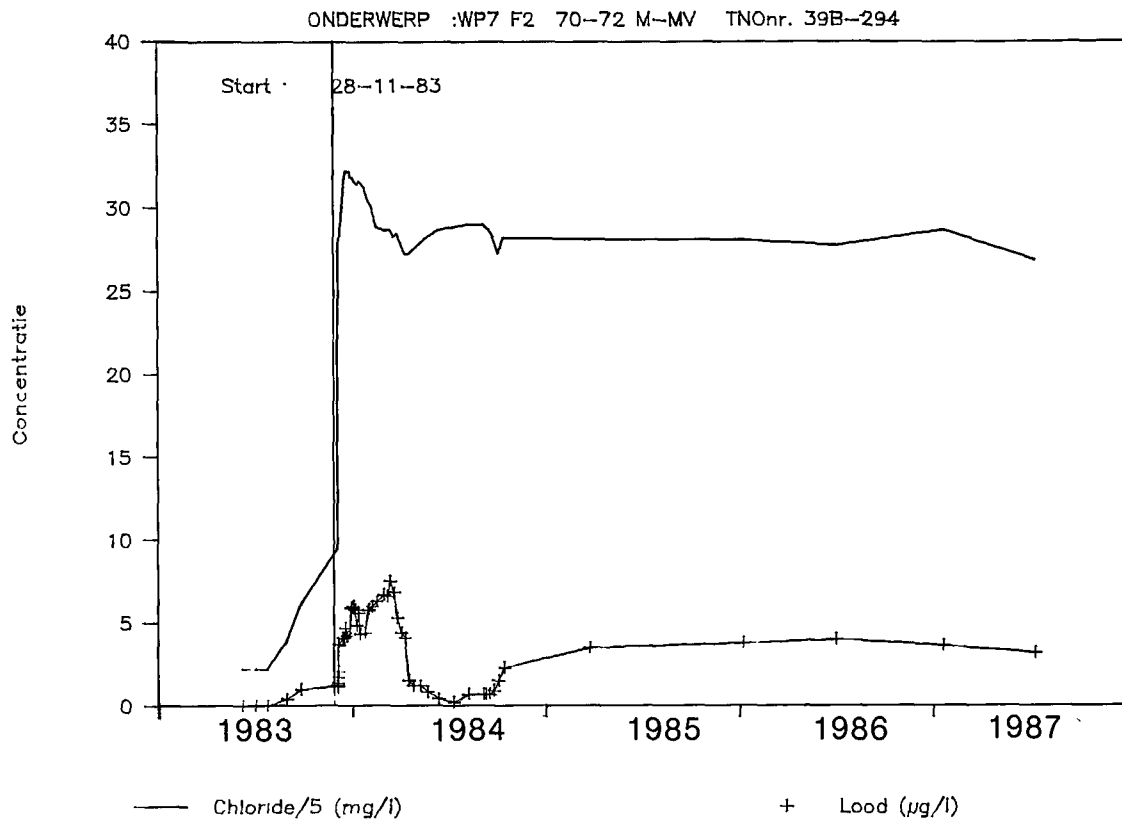
Indien zwevende bestanddelen met het opgepompte water in het monster geraken kunnen bepaalde elementen na aanzuren in hogere concentraties worden aangetroffen. Het goed schoongepompt zijn van een putfilter voor de bemonstering is dus zeer belangrijk, (leem- en zandvrij) waarbij de wijze van boren van een put ook nog een rol kan spelen.

Het te infiltreren water bevat slechts sporen van bepaalde elementen, waarvan alleen de concentratie aan nikkel iets hoger was dan in het oorspronkelijke water (2 à 3 µg/l, zie ook tabel 4).

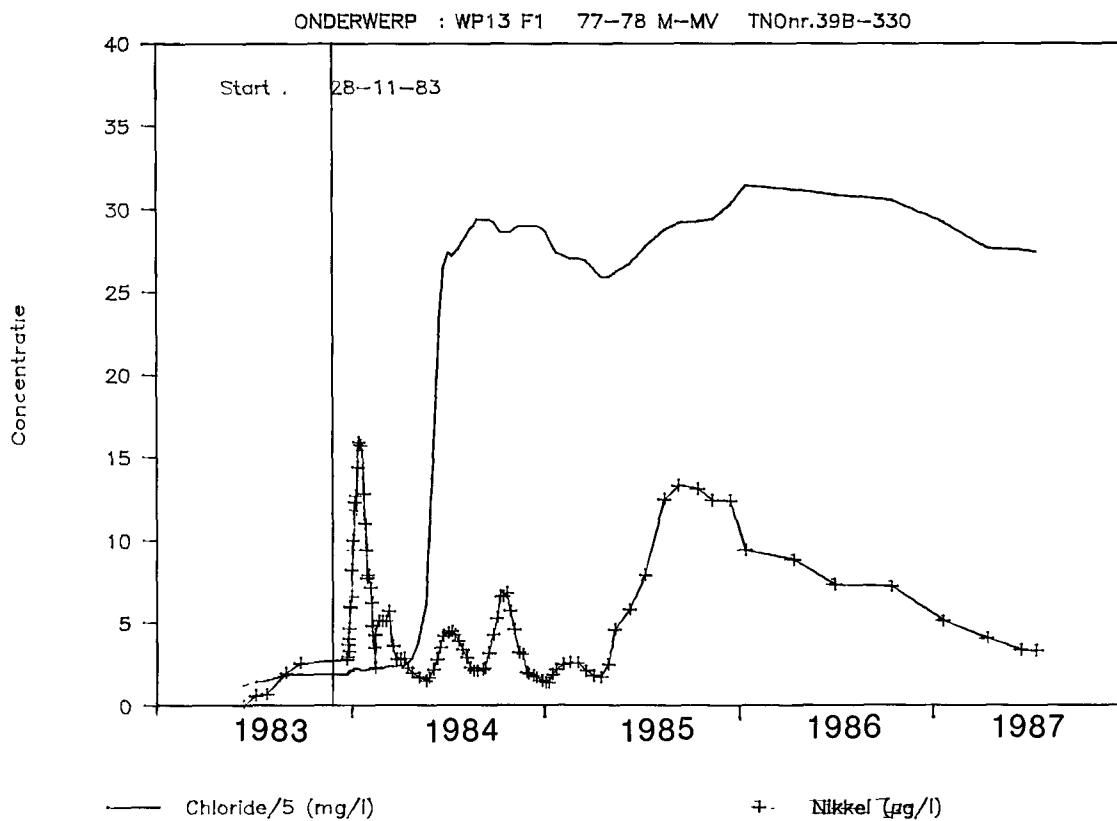
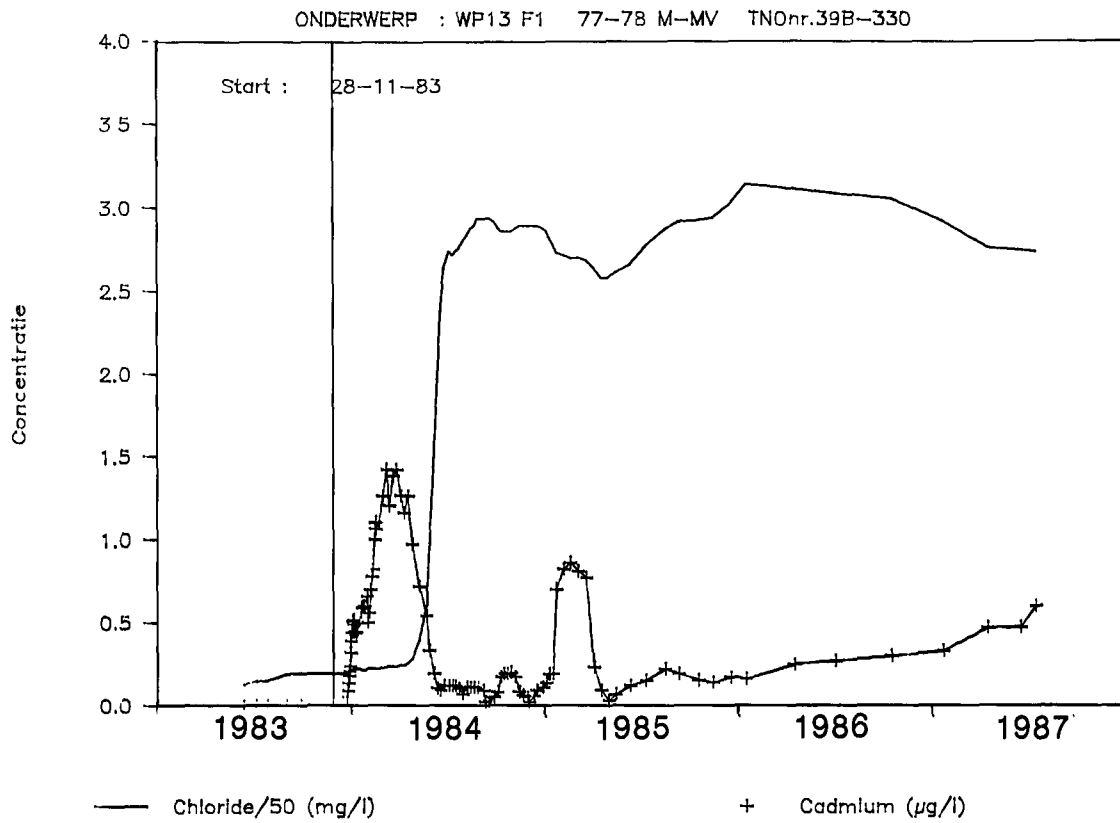
Al spoedig na de start van de infiltratie werden verhoogde gehalten aan cadmium, lood, nikkel en zink aangetroffen in de filters 2 en 3 van waarnemingsput WP7. Daar één en ander net voor of tijdens het doorkomen van het infiltraat werd waargenomen leek de wijziging in waterkwaliteit een mogelijke oorzaak te zijn, zie figuren 9 en 10. Hierbij moet worden opgemerkt dat in de figuren 9 t/m 15 telkens het voortschrijdend gemiddelde van 5 waarnemingen is getekend.



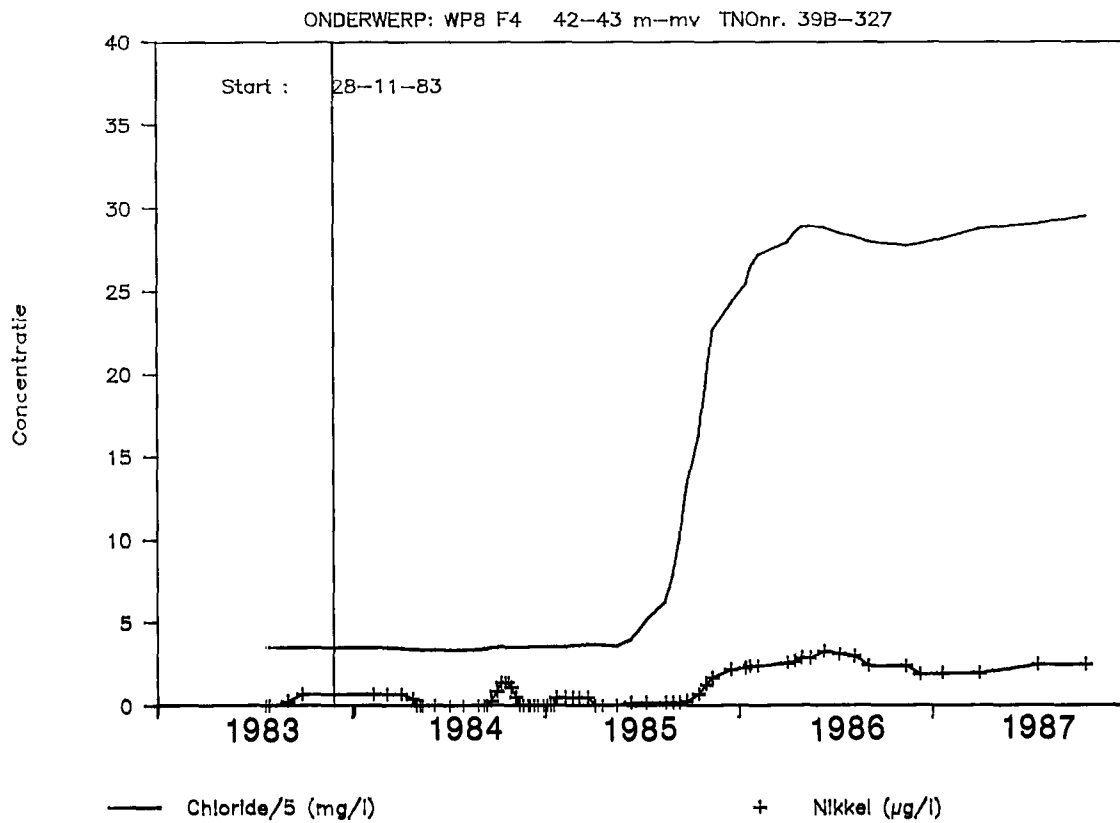
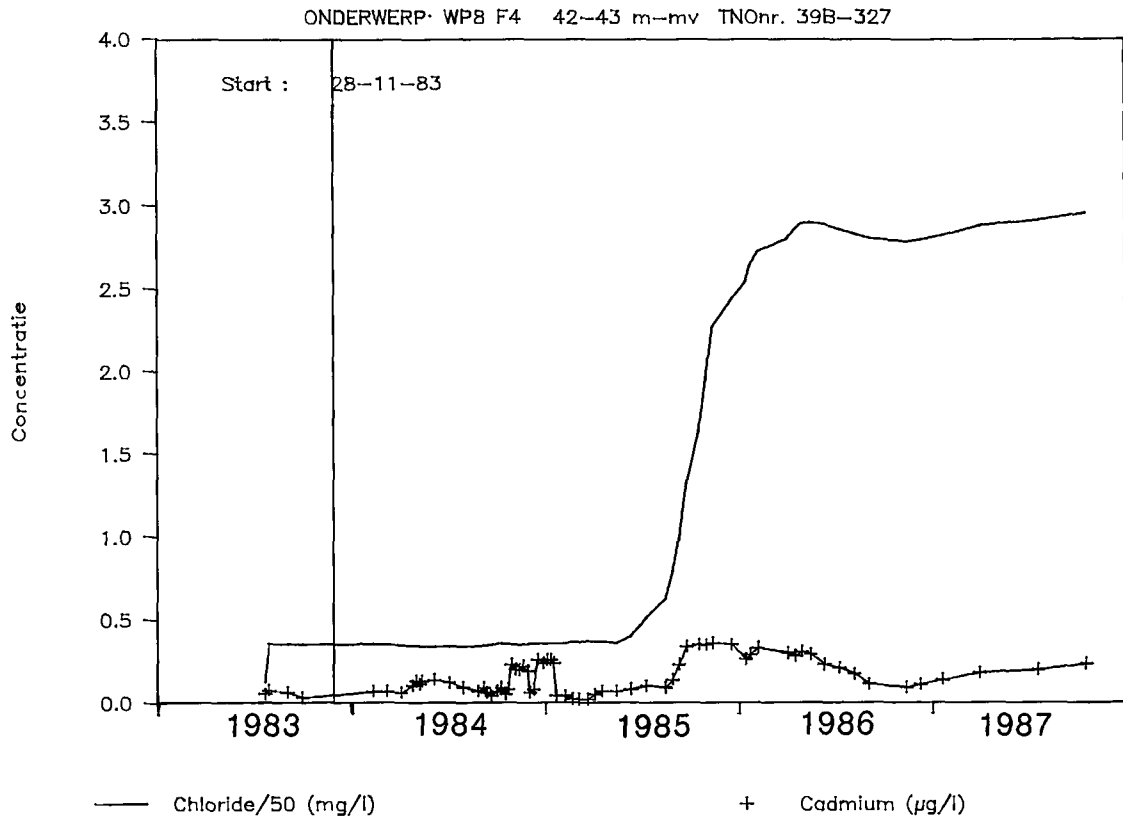
Figuur 9 - Chloride-, cadmium en nikkelconcentraties in filter 2 (70-72 m-mv) van WP7



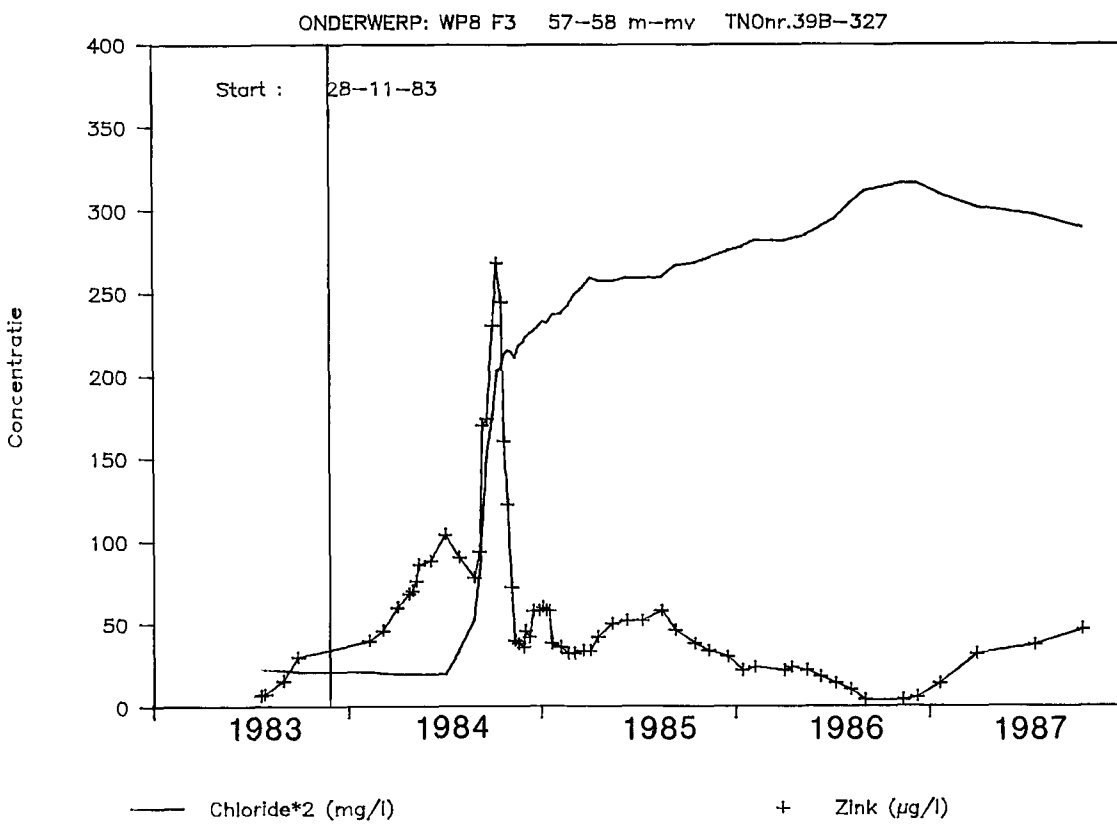
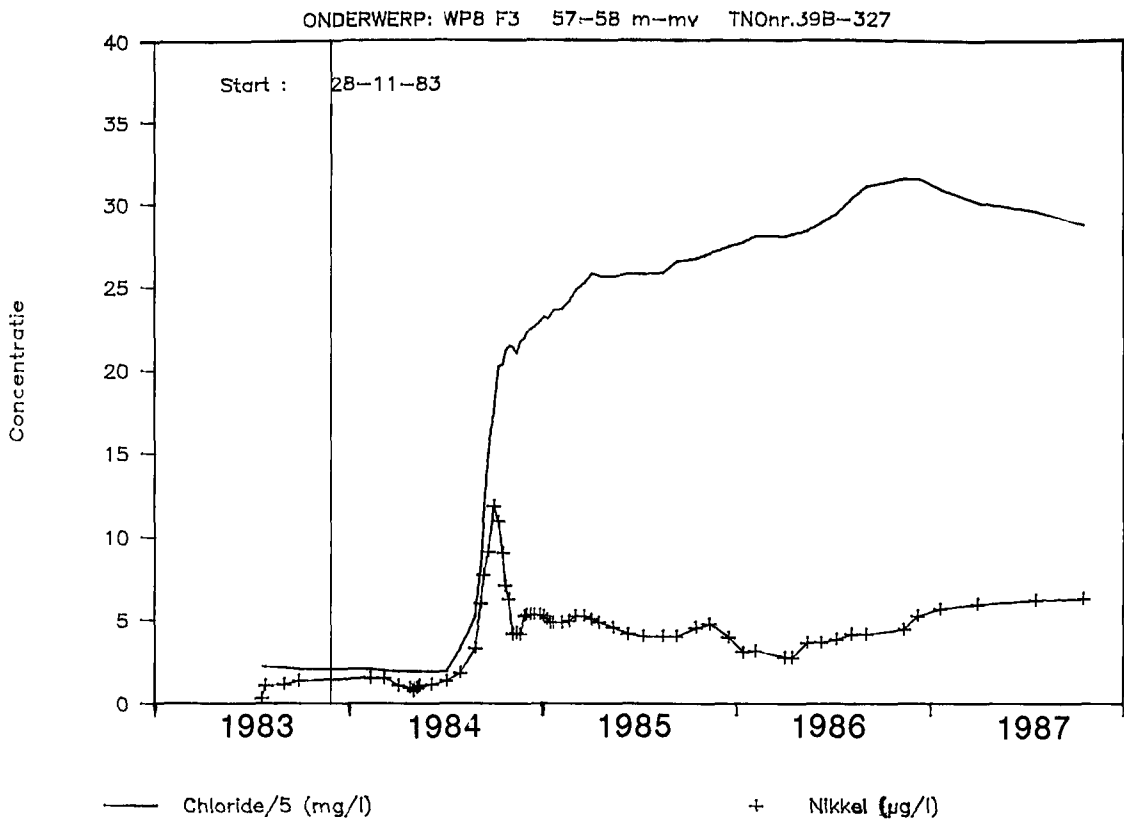
Figuur 10 - Chloride-, lood- en zinkconcentraties in filter 2 (70-72 m-mv) van WP7



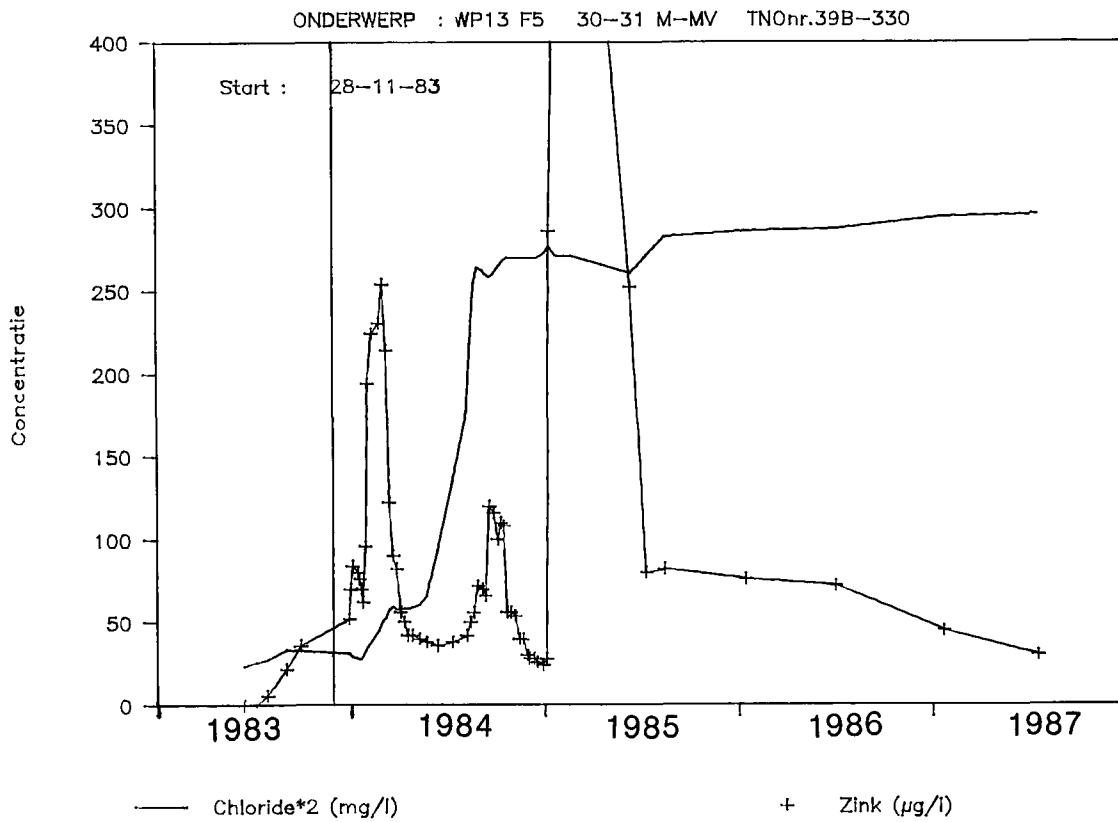
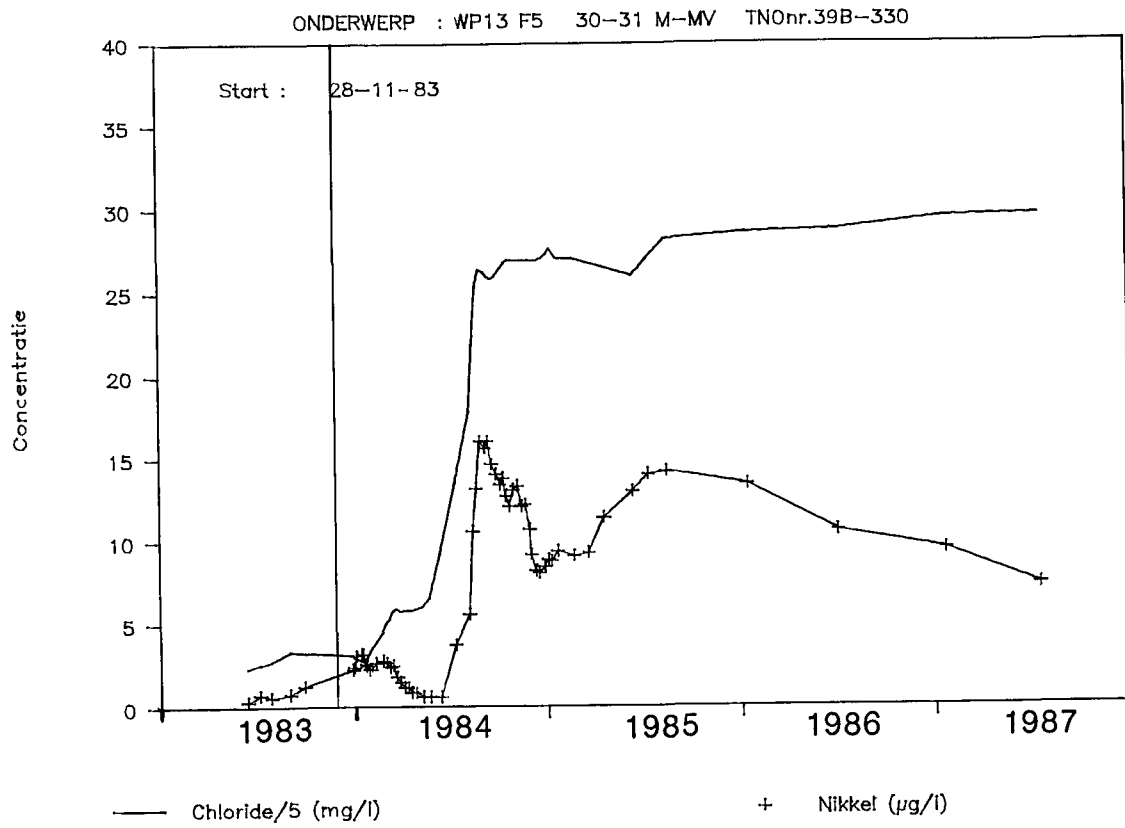
Figuur 11 - Chloride-, cadmium- en nikkelconcentraties in filter 1 (77-78 m-mv) van WP13



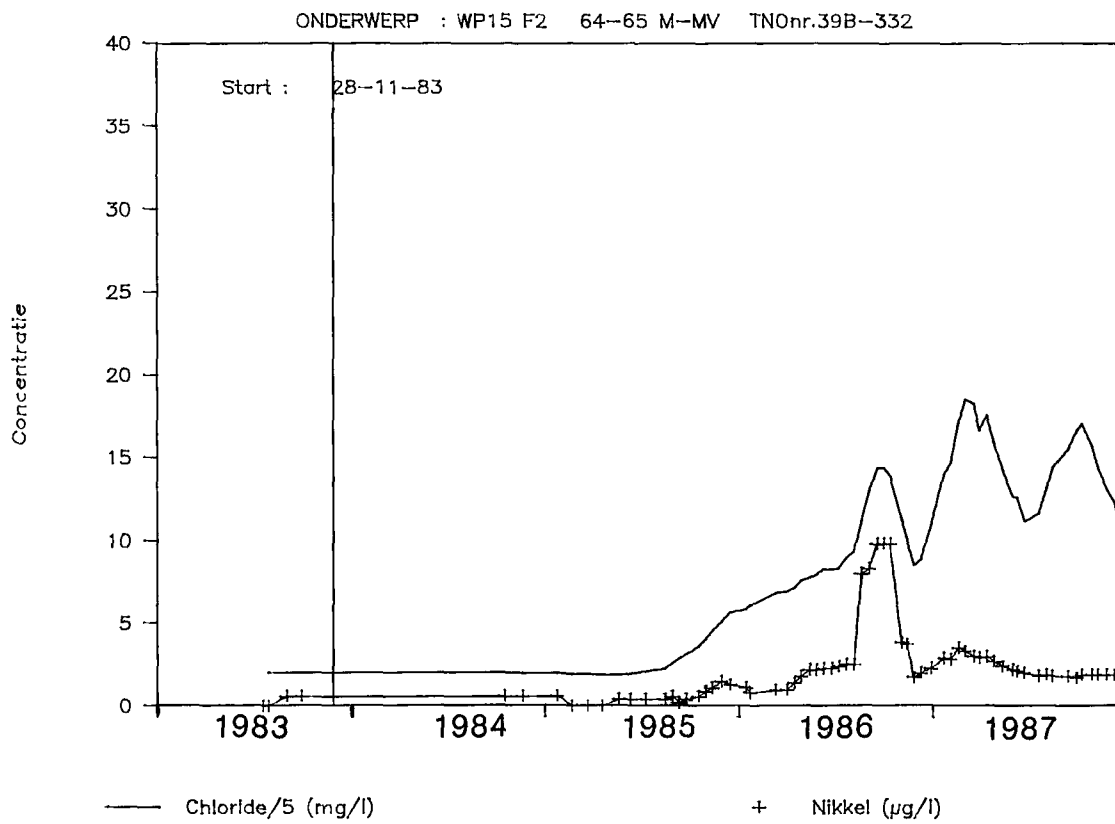
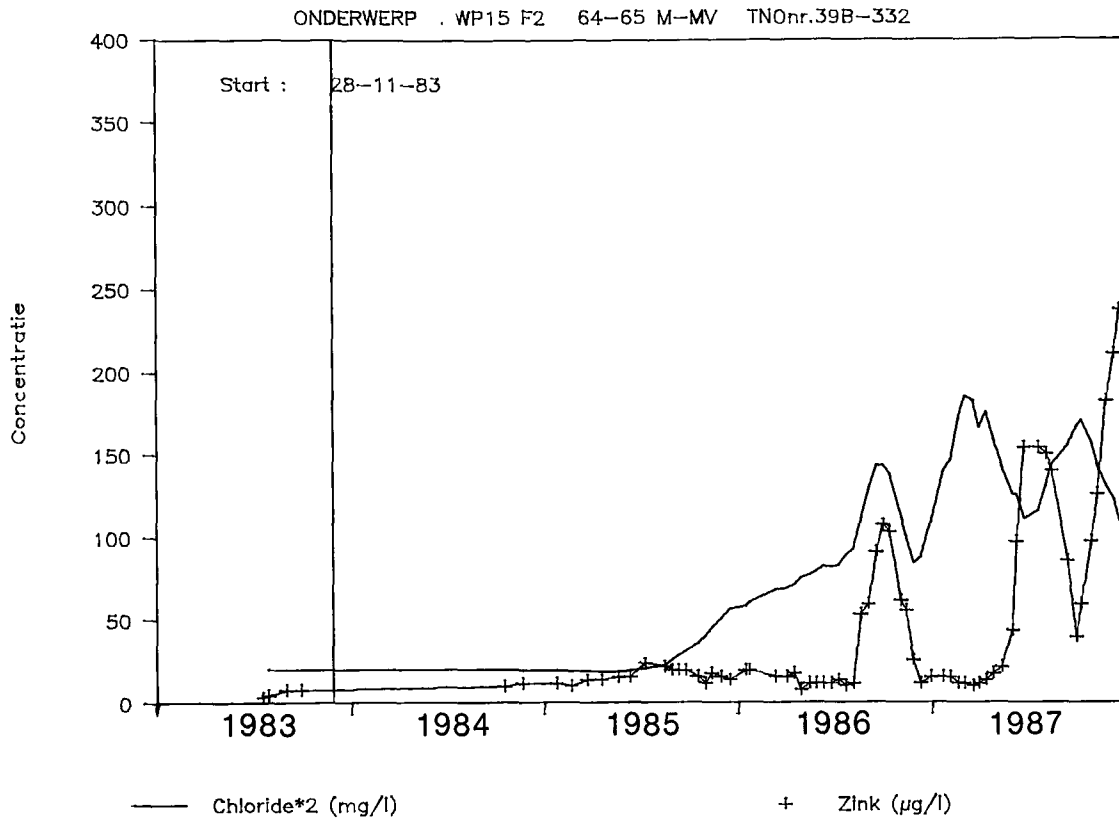
Figuur 12 - Chloride-, cadmium- en nikkelconcentraties in filter 4 (42-43 m-mv) van WP8



Figuur 13 - Chloride-, nikkel- en zinkconcentraties in filter 3 (57-58 m-mv) van WP8



Figuur 14 - Chloride-, nikkel- en zinkconcentraties in filter 5 (30-31 m-mv) van WP13



Figuur 15 - Chloride-, zink- en nikkelconcentraties in filter 2 (64-65 m-mv) van WP15

Hetzelfde verschijnsel werd waargenomen op 20 meter afstand in filter 1 van WP13 (figuur 11) lang voordat de waterkwaliteit daar ging veranderen. Een verandering in stroomsnelheid lijkt dan meer voor de hand te liggen als mogelijke oorzaak. Na verloop van maanden daalden de gehalten aan vorengenoemde metalen weer naar normale waarden. Alleen zink steeg daarna weer.

Bij de proef, die op 2 november 1987 werd gehouden bij het starten van de infiltratie (om 10.00 uur 's-ochtends) na een onderhoudsperiode en waarbij de waarnemingsputten WP7, 13 en 8 werden bemonsterd, kon de conclusie worden getrokken dat een deel van deze metalen aan deeltjes zit die door een 0,45 μm filter worden tegengehouden en dat het onttrekken in verband met de bemonstering (dit geeft een snelheidsverhoging nabij het putfilter) een belangrijke rol hierbij speelt, zie tabel 6.

Snelheidsverhoging van het grondwater door infiltratie of onttrekking waarbij deeltjes worden meegevoerd uit het pakket ter plaatse mag dus niet worden gebagatelliseerd.

Blijkbaar moet een filter - afhankelijk van bepaalde factoren - een zekere tijd goed worden schoongepompt.

Voor cadmium lijkt de verandering van waterkwaliteit ook een kleine rol te spelen (WP8 filter 4, figuur 12) evenals voor nikkel en zink bij WP8/f3, WP13/f5 en WP15/f2 (figuur 13, 14 en 15).

Er komen echter ook op eerdere of latere momenten pieken voor waarvoor vooralsnog geen verklaring is.

De pH van het water vertoonde geringe variaties. Bij lage pH-waarden is het bekend dat de mobiliteit van verschillende metalen in het grondwater groter wordt.

6.1 Conclusie

Snelheidsverhoging van het grondwater kan deeltjes doen meevoeren en beïnvloedt daardoor het gehalte aan diverse metalen. Deze beïnvloeding kan ook bij het monsternemen uit putjes een rol spelen. Verder lijken vooral nikkel en zink enigszins gevoelig voor veranderingen in de waterkwaliteit bij een vrijwel gelijkblijvende pH.

waarnemingsput	tijd	Cd		Pb		Ni		Zn	
		ongef	gef	ongef	gef	ongef	gef	ongef	gef
7/2	10.45	0.40	0,30	7,0	<1	4,0	3,0	100	80
	12.15	0,35	0,30	1,5	<1	3,0	3,5	90	90
	13.45	0,20	0,20	<1	<1	2,5	3,0	70	70
	15.15	0,15	0,10	<1	<1	2,5	4,0	50	50
	16.45	0,10	0,10	<1	<1	2,5	3,0	50	60
8/1	9.00	4,70	<0,1	18	<1	3,5	1,0	7500	650
	10.30	0,10	<0,1	1,5	<1	<1	3,5	70	40
	12.00	0,10	<0,1	<1	<1	<1	<1	40	20
	13.30	<0,1	<0,1	<1	<1	<1	<1	40	20
	15.00	<0,1	<0,1	<1	<1	<1	<1	20	20
	16.30	<0,1	<0,1	<1	<1	<1	<1	20	20
8/2	9.00	0,60	<0,1	3,0	<1	1,5	1,0	1100	750
	10.30	0,15	<0,1	<1	<1	<1	<1	60	30
	12.00	<0,1	<0,1	<1	<1	<1	<1	20	10
	13.30	<0,1	<0,1	<1	<1	<1	<1	10	20
	15.00	<0,1	<0,1	<1	<1	<1	<1	10	10
	16.30	0,15	<0,1	<1	<1	<1	<1	10	10
8/3	9.00	0,20	0,1	<1	<1	4,5	3,5	160	130
	10.30	0,15	0,1	1,0	<1	4,0	3,5	50	30
	12.00	0,10	<0,1	<1	<1	3,5	3,0	30	20
	13.30	<0,1	<0,1	<1	<1	4,0	3,0	20	20
	15.00	<0,1	<0,1	<1	<1	4,0	3,0	10	10
	16.30	<0,1	<0,1	<1	<1	4,0	3,5	10	10
8/4	9.00	0,25	0,20	<1	<1	2,5	2,5	40	40
	10.30	0,25	0,25	<1	<1	2,5	2,5	70	70
	12.00	0,30	0,20	1,0	<1	3,5	3,5	110	80
	13.30	0,25	0,20	<1	<1	3,0	3,0	70	60
	15.00	0,30	0,25	1,5	<1	3,0	4,5	70	80
	16.30	0,15	0,10	<1	<1	3,0	4,0	50	40
13/1	9.00	<0,1	<0,1	<1	<1	1,5	1,0	10	10
	10.30	<0,1	<0,1	<1	<1	1,5	1,5	10	<10
	12.00	<0,1	<0,1	<1	<1	2,0	2,0	10	<10
	13.30	<0,1	<0,1	<1	<1	1,5	1,5	<10	<10
	15.00	<0,1	<0,1	<1	<1	1,5	1,5	<10	<10
	16.30	<0,1	<0,1	<1	<1	1,5	1,5	<10	<10
13/2	9.00	0,15	0,10	2,5	<1	3,0	2,0	20	20
	10.30	<0,1	<0,1	<1	<1	3,5	2,0	<10	<10
	12.00	<0,1	<0,1	<1	<1	2,0	2,0	<10	<10
	13.30	<0,1	<0,1	<1	<1	2,5	2,0	<10	<10
	15.00	<0,1	<0,1	<1	<1	2,5	2,0	<10	<10
	16.30	<0,1	<0,1	<1	<1	2,0	2,0	<10	<10
13/3	9.00	<0,1	<0,1	<1	<1	3,0	3,0	<10	10
	10.30	<0,1	<0,1	<1	<1	2,5	2,5	<10	<10
	12.00	<0,1	<0,1	<1	<1	2,5	2,5	<10	<10
	13.30	<0,1	<0,1	<1	<1	2,5	3,5	<10	<10
	15.00	0,10	<0,1	<1	<1	2,5	2,5	<10	<10
	16.30	<0,1	<0,1	<1	<1	2,5	2,5	<10	<10
13/4	9.00	0,10	0,10	<1	<1	2,0	1,5	<10	<10
	10.30	0,10	0,10	<1	<1	2,5	2,0	<10	<10
	12.00	0,10	0,10	<1	<1	2,0	2,0	<10	<10
	13.30	0,10	0,10	<1	<1	2,5	1,5	<10	<10
	15.00	0,10	0,10	<1	<1	2,5	1,5	<10	<10
	16.30	0,10	0,10	<1	<1	2,5	1,5	<10	<10
13/5	9.00	0,10	0,10	<1	<1	3,0	3,5	10	10
	10.30	<0,1	0,10	<1	<1	3,0	3,0	10	10
	12.00	0,10	<0,1	<1	<1	3,0	2,0	10	10
	13.30	0,10	<0,1	<1	<1	3,0	2,5	10	10
	15.00	<0,1	<0,1	<1	<1	2,5	2,5	10	10
	16.30	<0,1	<0,1	<1	<1	2,5	2,0	10	10

Tabel 6 - Onderzoek (uitgevoerd op 2 november 1987) naar zware metalen in de waarnemingsputten 7 (filter 2), 8 (filters 1 t/m 4) en 13 (filters 1 t/m 5). Concentraties zijn aangegeven in µg/l. Bestudeerd is de relatie met het herstarten van de infiltratie in nabijgelegen infiltratieput (start 10.00 uur) en het effect van filtratie over 0,45 µm (ongef is ongefiltreerd, gef is gefiltreerd)

7 SAMENVATTING VAN DE PROEF NA VIER JAREN

De kwaliteit van het oevergrondwater is beduidend beter dan die van de rivier en is sterk afgevlakt. De te Leersum geplaatste zuivering blijkt goed te voldoen en produceert een water met een lage troebelingsgraad en membraanfiltratie-index (MFI) waardoor verstopping van het putfilter van de infiltratieput tot nu toe gering is.

Verder blijkt dat het aerobe infiltratiewater tijdens de reis in het van oorsprong aerobe deel van het watervoerende pakket van goede kwaliteit blijft. Alleen bij indringing in het anaerobe deel van het pakket kunnen diverse oxidatieprocessen optreden waardoor onder andere het gehalte aan ijzer en sulfaat toeneemt. Daarbij verdwijnt echter het eventueel aanwezige nitraat.

De toeneming van het opgeloste ijzer kan een extra probleem vormen voor een zuivering.

Een ander probleem vormde de geringe gronddekking boven het putfilter (waarmee de oevergrondwaterwinning plaatsvindt) waardoor bij overstroming van de uiterwaarden kortsluitstromen konden optreden. Dit heeft onder andere een minder goede bacteriële hoedanigheid tot gevolg. Bij een meer duurzaam systeem dient hiermede rekening te worden gehouden.

Het oevergrondwater is praktisch gelijk te stellen met verontreinigd grondwater, dat met behulp van koolfilters behandeld dient te worden.

Utrecht,
maart 1988.

DIEPINFILTRATIE TE OUDDORP

J.S. Rijk

N.V. Watermaatschappij Zuid-West Nederland (WMZ), Goes

1 SAMENVATTING

De drinkwaterbehoefte van het voorzieningsgebied Goeree -Overflakkee heeft in verband met recreatie een aanzienlijke piekbehoefte. De diepinfiltratieproef te Ouddorp is bedoeld om na te gaan wat de mogelijkheden zijn om door middel van diepinfiltratie van voorgezuiverd water, te komen tot een seizoensmatige voorraadvorming in de ondergrond. Het diepinfiltratiesysteem kan ingezet worden voor de piekverbruiken (zie KIWA-mededeling 79, p. 299-306).

De eerste fase van de diepinfiltratieproef te Ouddorp is inmiddels afgesloten. Deze fase was met name gericht op het oplossen van het verstoppingsprobleem en ter vaststelling van het rendement van terugwinning. In deze fase werd er voor infiltratie gebruik gemaakt van water van drinkwaterkwaliteit. De optredende verstopping bleek met name te worden veroorzaakt door bacteriegroei. Deze vorm van verstopping kon worden voorkomen door in het te infiltreren water een chloordosering van 1,2 mg/l toe te passen.

Bij terugwinning bleek dat bij deze eerste proefneming 77% van het geïnfiltreerde water kon worden teruggewonnen, voordat er sprake was van verziltingsverschijnselen.

In de tweede fase van de diepinfiltratieproef wordt water geïnfiltreerd van een "mindere" kwaliteit namelijk voorfiltraat. Alhoewel dit water niet de volledige zuivering heeft doorlopen, heeft dit water door het niet doorlopen van de zuiveringstrap Ozon een lager AOC-gehalte. Bij een verlaging van de chloordosering tot 0,3 mg/l bleek verstopping te gaan optreden en werd er bacteriegroei in de infiltratieput geconstateerd. Bij de huidig toegepaste chloordosering van 0,6 mg/l wordt er geen noemenswaardige verstopping geconstateerd. De nog optredende verstopping is door het kortstondig terugpompen van het geïnfiltreerde water vrijwel volledig weg te nemen.

Uit de resultaten van de proefnemingen kan de conclusie worden getrokken dat het verstoppingsprobleem door luchtballen door me-

chanische aanpassingen van het infiltratiesysteem is opgelost en de verstopping door bacteriegroei door de toepassing van een chloordosering van 0,6 mg/l is te voorkomen. De toepassing van water met de kwaliteit voorfilteraat niet belemmerend voor de bedrijfsvoering. Met een kortstondig terugpompen van het geïnfiltreerde water is de verstopping vrijwel volledig weg te nemen. Het terugwinningsrendement lijkt acceptabel, doch dit rendement is waarschijnlijk na nader onderzoek en aanpassing van het terugwinningsysteem nog aanzienlijk te verbeteren.

2 INLEIDING

Het drinkwaterverbruik op het eiland Goerree-Overflakkee ligt momenteel op ongeveer 2,8 miljoen m³ per jaar. Door de recreatieve druk in de zomermaanden, geeft het drinkwaterverbruik een aanzienlijke piekfactor te zien. Het maximum etmaalverbruik is 1,6 maal de gemiddelde dag en de maximum maandproduktie is 1,7 maal de minimum maandproduktie.

De mogelijkheden voor een diepe grondwaterwinning zijn beperkt, doordat slechts in een klein deel van het eiland zich in de ondergrond een zoetwatervoorkomen heeft gevormd.

Dientengevolge wordt voor de waterwinning op het eiland voornamelijk gebruik gemaakt van oppervlaktewaterinfiltratie van Haringvlietwater en polderwater. Hierbij wordt gebruik gemaakt van infiltratiekanalen en winningsdrains.

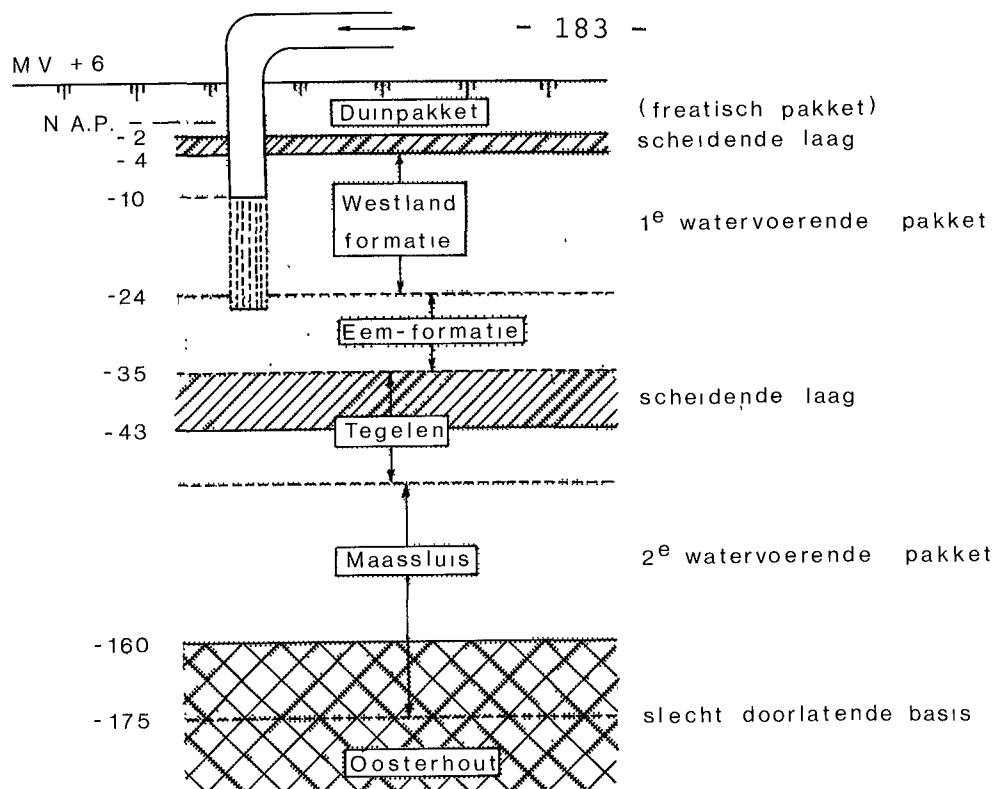
Gezien de optredende piekbehoeften, het feit dat hierdoor de aanwezige infiltratie en winningsmiddelen slechts in een beperkt deel van het jaar volledig worden benut en het relatief grote ruimtebeslag van het oppervlaktewaterinfiltratiesysteem op het gebied, wordt nu nagegaan of diepinfiltratie een hulpmiddel kan zijn.

Ook spelen verder de aanwezigheid van belangrijk geachte natuurwaarden hierbij een belangrijke rol.

3 PROEFOPZET

3.1 Geo-hydrologie

Geo-hydrologisch kan de opbouw ter plaatse van de persput als volgt worden geschematiseerd, zie figuur 1.



Figuur 1 - Geohydrologische schematisatie

Het freatische pakket wordt gevormd door een duinpakket waarvan de dikte ter plaatse van de persput 8 meter bedraagt. De scheiding tussen het freatische en het eerste watervoerende pakket wordt gevormd door een enkele meters dikke kleilaag, welk nabij de plaats Ouddorp, ten westen van de persputlokatie, dagzoomt en verder naar het noord-westen ontbreekt.

Mede als gevolg van het ontbreken van deze kleilaag en de maai-veldsligging boven NAP, is in de loop van de jaren in dit pakket van mariene oorsprong het zoute water verdrongen door het infiltrerende zoete regenwater. Uit dit gevormde zoetwater voorkomen wordt dan ook op beperkte schaal grondwater gewonnen. Het eerste watervoerende pakket wordt gevormd door de Westland formatie en de hieronder liggende Eemformatie. Het filterdeel van de infiltratieput is afgesteld in de Westlandformatie. Deze Westlandformatie bestaat voornamelijk uit fijne tot matig fijne zanden met schelpen en kleibrokjes.

De Eemformatie bestaat voornamelijk uit grover zand en is ook beter doorlatend. Tussen de Westland- en de Eemformatie bestaat geen duidelijk scheidende laag.

Onder het eerste watervoerende pakket bevindt zich een ter plaatse van de infiltratieput 8 meter dikke kleilaag behorend tot de for-

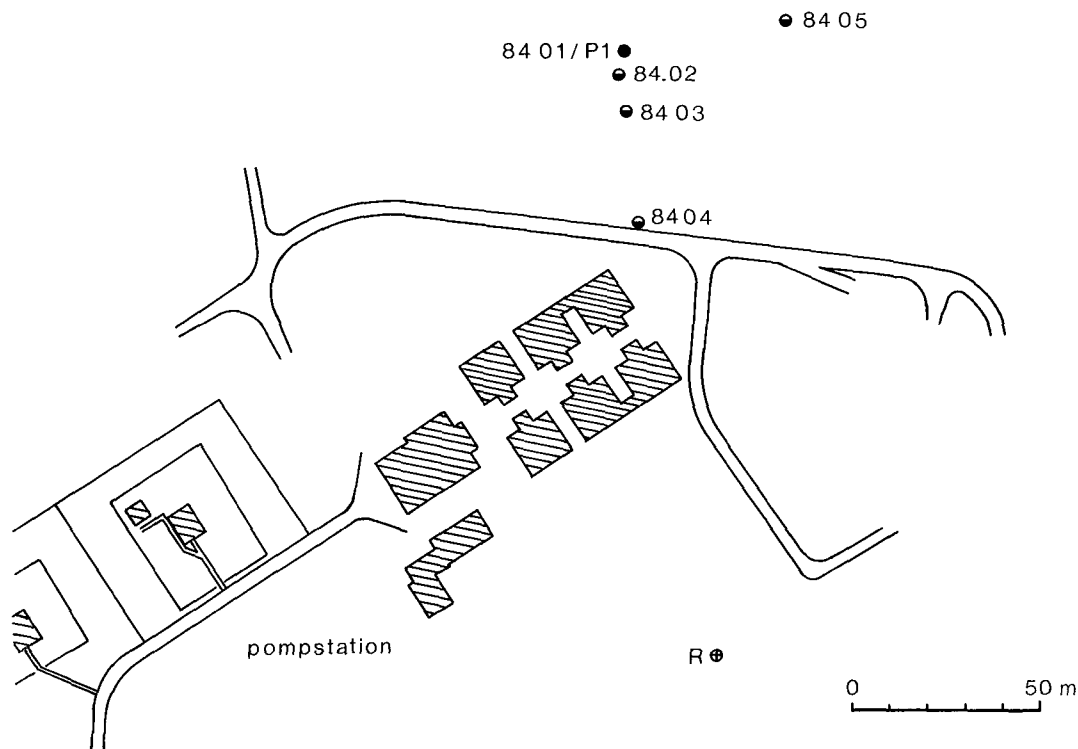
matie van Tegelen. Deze kleilaag kan worden gezien als de min of meer scheidende laag tussen het zoete en het zich hieronder bevindende brakke tot zoute water.

Aangenomen mag worden dat deze kleilaag zich over geheel Goerree uitstrekt.

Onder deze kleilaag en de sterk slibhoudende zanden behorende tot de formatie van Tegelen bevindt zich het tweede watervoerende pakket, welke wordt gevormd door de mariene formatie van Maassluis. Deze bestaat voornamelijk uit fijne tot matig fijne zanden, waarin lokaal kleilagen of kleilenzen voorkomen. De slecht doorlatende basis wordt ter plaatse gevormd door de kleilagen van de formatie van Oosterhout. Ter plaatse worden de zich onderin de formatie van Maassluis bevindende kleilagen ook gerekend tot de slecht doorlatende basis.

3.2 Inrichting van de proef

De lokatie van de diepinfiltratieproef bevindt zich op het terrein van het pompstation Ouddorp ten oosten van de plaats Ouddorp.



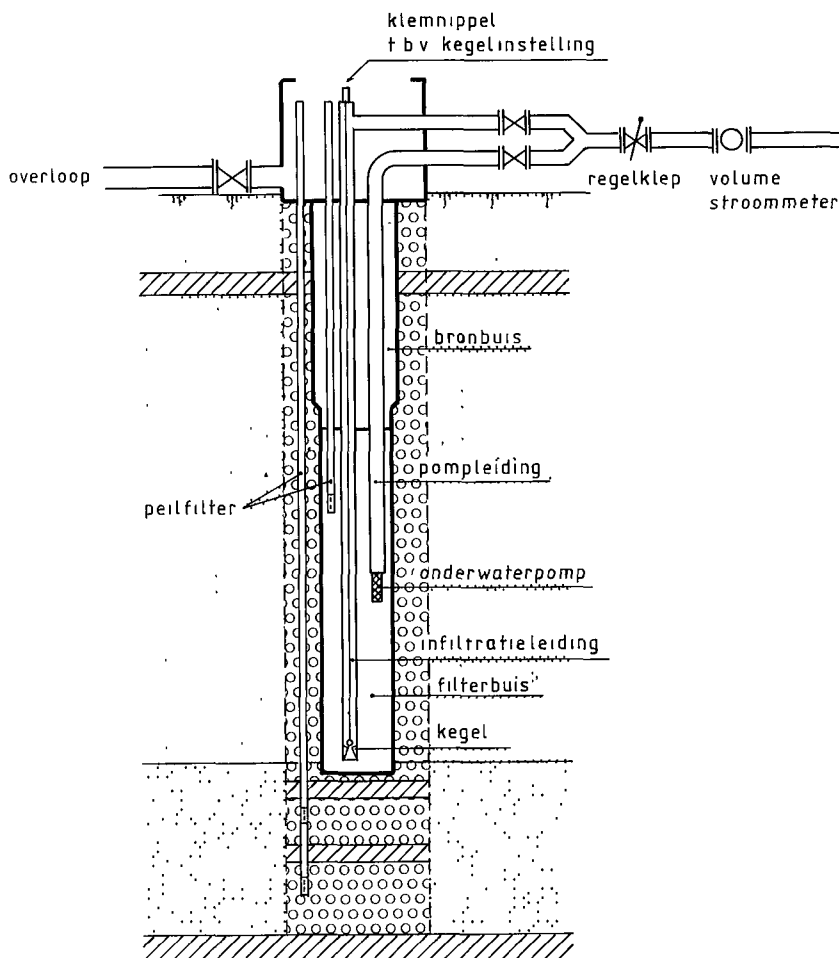
Figuur 2 - Situatie infiltratieput (84.01) Ouddorp

Ten behoeve van de proef zijn een infiltratieput P1 (zie figuur 2 en 3) en vier waarnemingsputten (84.02 t/m 84.05) geïnstalleerd. Deze zijn gelegen in twee loodrechte raaien. De putten hebben waarnemingsfilters in het freatische en in het eerste watervoerende pakket en de waarnemingsputten zijn in het eerste watervoerende pakket uitgerust met minifilters. In de waarnemingsput 84.04 is tevens een zoutwachter geïnstalleerd.

Gegevens infiltratieput:

- 32 meter diepe onvolkomen pompput
- filterafstelling 16 tot 31 m - mv
- filterdiameter 200 mm
- boorgatdiameter 600 mm
- filteromstorting 0,8 - 1,25 mm.

De infiltratieput is als een dual-purpose put uitgerust. Hiertoe zijn in de infiltratieput zowel een infiltratieleiding als een onderwaterpomp met stijgbuis geïnstalleerd, zie figuur 3.



Figuur 3 - Principeschets infiltratieput

Als beveiliging voor het overlopen van de infiltratieput is er in eerste instantie een overstort op de infiltratieput gemaakt. Bij het eventueel overlopen van de infiltratieput zal het overtollige water worden afgevoerd. Hierna is er ook een automatisch bewakings- en besturingssysteem aangebracht. Ter voorkoming van het overlopen van de infiltratieput wordt met een in de persput geïnstalleerde drukopnemer het waterniveau in de put continu gemeten. Als het niveau boven een bepaalde waarde komt, dan wordt het infiltratiedebiet automatisch teruggeregeld. Deze regeling zou bij exploitatie van een persputsysteem in principe gebruikt kunnen worden om een spoelcyclus te activeren, waardoor een optredende verstopping weer zou kunnen worden weggenomen.

Om het optreden van onderdrukken in de infiltratieleiding te voorkomen is er bij de uitstroomopening een kegelafsluiter aangebracht, waarmee de druk in de leiding kan worden geregeld.

Het infiltratie- of winningsdebiet kan middels een regelkast worden ingesteld op de gewenste waarde. Hierdoor wordt een regelklep in de leiding aangestuurd, totdat de ingestelde volumestroom wordt bereikt.

Behalve de drukopnemer in de infiltratieput, wordt er nog een viertal drukopnemers gebruikt voor het waarnemen van de stijghoogte in de verschillende waarnemingsfilters. Tevens wordt op een tweetal plaatsen continu de geleidbaarheid van het grondwater gemeten met een geleidbaarheidsmeter. Naar behoefte kunnen deze gemeten waarden, alsmede het infiltratie- of winningsdebiet automatisch worden geprint.

4 FASE 1 VAN DE DIEPINFILTRATIEPROEF

4.1 Algemene beschrijving

Fase 1 van de diepinfiltratieproef te Ouddorp werd gestart op 1 oktober 1984 en werd beëindigd in april 1987. In de periode vanaf 1 oktober 1984 tot 9 juli 1986 werd in totaal 139.000 m³ water geïnfiltreerd van drinkwaterkwaliteit. Deze infiltratie vond plaats in 24 runs. Iedere run werd afgesloten met een terugspoelcyclus, waarmee werd beoogd de optredende verstopping van de infiltratieput weg te nemen. Een overzicht van de resultaten per run

is weergegeven in tabel 1. Met name de verstoppingsproblematiek speelde in fase 1 een belangrijke rol. Hierop wordt onder 4.3 nader ingegaan.

4.2 Verbreiding infiltratiewater

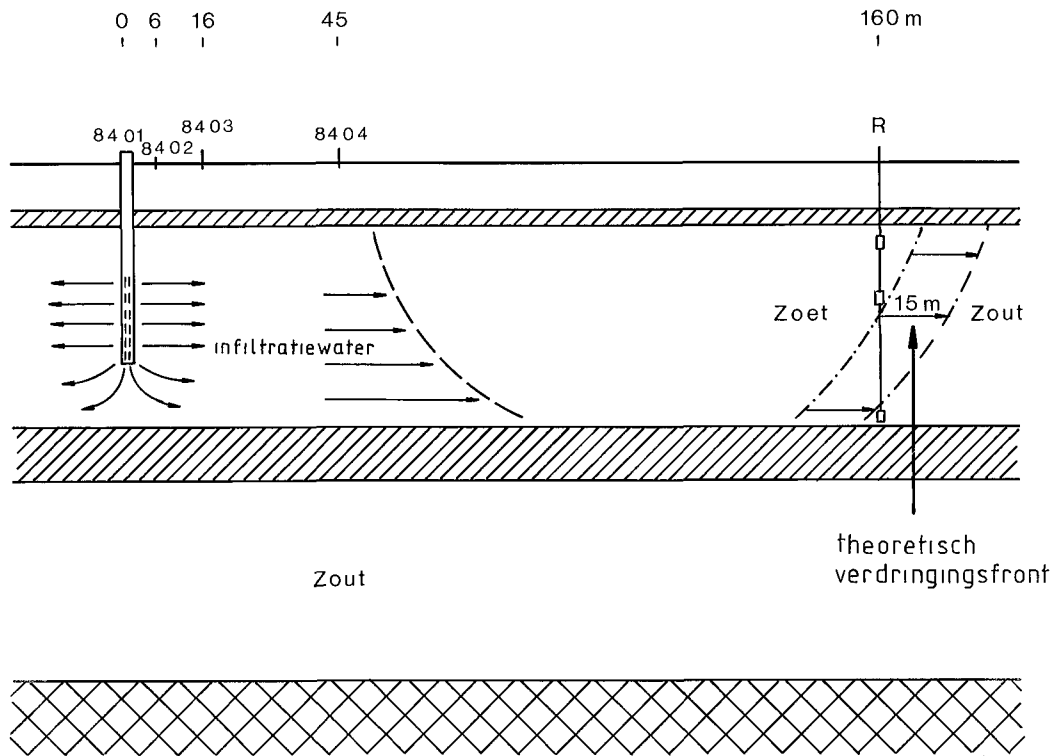
Door het bemonsteren en analyseren van het water uit de waarnemingsfilters en minifilters van de waarnemingsputten 84.02 t/m 84.05 kon de verbreiding van het geïnfiltreerde water in het watervoerende pakket worden gevolgd.

De kwaliteit van het infiltratiewater wijkt namelijk af van de kwaliteit van het oorspronkelijk aanwezige formatiewater, voor met name de parameters HCO_3^- en Cl^- .

	Infiltratiewater	Oorspronkelijke formatiewater
HCO_3^-	250 mg/l	400 mg/l
Cl^-	100-150 mg/l	45 mg/l

De verbreiding van het infiltratiewater in de formatie kon op deze wijze worden gevolgd. Ook kon met behulp van de geïnstalleerde zoutwachter in boring 84.04 de aankomst van het infiltratiewater ter plaatse worden aangetoond. Theoretisch kan worden verondersteld dan rondom de infiltratieput zich een cilindervorming volume infiltratiewater gaat vormen.

Bij een infiltratie van 140.000 m^3 zal het op ongeveer 160 meter van de infiltratieput gelegen zoet/zout-water scheidingsvlak in het watervoerende pakket nabij de waarnemingsput R door de infiltratie globaal zo'n 15 meter worden weggedrukt, zie ook figuur 4. Uit de meetgegevens bleek dat het verbreidingsfront zich niet gelijkmatig in de formatie verplaatst, maar dat de snelheid waarmee het infiltratiewater zich verspreidde met name in het onderste deel van het watervoerende pakket groter was dan in het hierboven liggende deel. Dit is te verklaren door het feit dat het onderste deel van het pakket wordt gevormd door de grover zandige en beter doorlatende Eem-formatie, zie ook figuur 1.



Figuur 4 - Theoretische schematisatie

4.3 Verstoppingsproblematiek

4.3.1 Algemeen

In fase 1 van de diepinfiltratie is met name veel aandacht besteed aan de verstoppingsproblematiek. Bij de proefneming bleek dit probleem de infiltratie van water ernstig te belemmeren. In het hiernavolgende deel van deze rapportage zal op deze problematiek verder worden ingegaan. De verstoppingsoorzaken te Ouddorp zijn:

- zwevende stof
- gas- of luchtbellen
- bacterie-groei.

4.3.2 Zwevende stof

Een verstopping door zwevende stof geeft een beeld waarbij de weerstand evenredig is met de hoeveelheid geïnfiltreerd water. De weerstandstoename, waarneembaar door stijging van het waterpeil in de open put, gaf echter een exponentieel verloop te zien.

Gezien dit verstoppingsbeeld en de wetenschap dat er reinwater geïnfiltreerd werd, waarin zwevende stof niet of nauwelijks aanwezig is ($MFI < 5 \text{ sec/l}^2$) kon de verstopping door zwevende stof als minder belangrijk worden beschouwd.

4.3.3 Gas- of luchtbellen

Van verstopping optredend door het ontstaan van gas- of luchtbellen is bekend dat na een infiltratiestop van enige dagen, deze verstopping vanzelf verdwijnt. Dit verschijnsel vond ook plaats tijdens het stoppen van de infiltratie te Ouddorp. Verder was het door de technische uitvoering van de infiltratieleiding mogelijk dat er bij het infiltreren van het water onderdrukken ontstonden, waardoor luchtbellen konden worden gevormd.

In de eerste fase van de infiltratieproef is drinkwater gebruikt als infiltratiewater. Dit water werd rechtstreeks vanuit het leidingnet geïnfiltreerd. De druk in het leidingnet is circa 600 kPa. Deze druk werd ter plaatse van de regelafsluiter teruggebracht tot circa 5 à 10 kPa. Door deze enorme drukval trad er in de regelafsluiter een onderdruk op die tot ontgassing van het water leidde. De gevormde gasbellen werden met het te infiltreren water meegevoerd in de infiltratieput, waarbij deze luchtbellen op de boorgatwand een verstopping veroorzaakten. Om deze oorzaak weg te nemen is in eerste instantie de druk in de infiltratieleiding getrappt teruggebracht van 600 tot bijna 0 kPa. Dit werd gerealiseerd door een vijftal in de infiltratieleiding aanwezige afsluiters te "knijpen". Echter, het verstoppingsbeeld bleef gelijk. Daarom is de infiltratieleiding van het drinkwaternet afgehaald, en rechtstreeks aangesloten op de na-filters. Door middel van een kleine pomp, met een beperkte opvoer-hoogte, kon het water met een geringe druk (0 tot 5 kPa) geïnfiltreerd worden zonder dat er afsluiters "geknepen" behoeften te worden. De verstopping door gas- of luchtbellen kon hierdoor worden voorkomen.

4.3.4 Bacteriën

Uit analyse van het water uit de persput bleek dat er hierin een enorme hoeveelheid bacteriën aanwezig was. Door de aanwezigheid

van ontleedbare organische stof in het infiltratiewater kunnen bacteriën deze als voedingsstof aanwenden en zich hierdoor snel vermenigvuldigen en in korte tijd een slijmlaag vormen op de bootgatwand.

Doordat in de zuivering te Ouddorp ozon wordt toegepast is het assimileerbaar organische koolstofgehalte AOC hoog en vormt dit een goede voedingsbron voor bacteriën. Dit is dan ook een belangrijke oorzaak voor het optreden van deze vorm van verstopping.

De verstopping is in eerste instantie weggenomen door de infiltratieput met chloorbleekloog te regenereren. Hierbij werd 4,5 liter chloorbleekloog (15% oplossing) in verdunde vorm in de pompput gebracht, waarna de pompput na een nacht stilstand werd schoongepompt.

Na het hervatten van de infiltratie bleek na enige tijd de verstopping weer op te gaan treden. Daarom werd besloten om op het te infiltreren water een chloordosering toe te passen van 1,2 mg/l. De strategie hierbij was met de hoge dosering er in ieder geval zeker van te zijn dat deze vorm van verstopping nu niet meer op kon treden. Hierna kon eventueel de chloordosering worden geminimaliseerd. Met het toepassen van deze dosering werd er zonder noemenswaardige verstoppingen 205 dagen water geïnfiltreerd, zie ook run 24 in tabel 1.

4.3.5 Wegnemen van verstoppingen

Als er eenmaal verstopping is opgetreden, dan moet deze weer opgeheven worden. Afhankelijk van de oorzaak van de verstopping zijn daar verschillende manieren voor. In fase 1, waarbij in totaal 24 keer een "schone" run is gestart, werd de verstopping weggenomen door eenvoudigweg de pomp (de put in Ouddorp is een dual-purpose-put) aan te zetten en op die manier 10 tot 50 m³ terug te pompen. Dit terugpompen is op verschillende manieren uitgevoerd:

- continu terugwinnen van geïnfiltreerd water.

Doordat de stroomrichting op de boorgatwand omkeert, wordt de aanwezige verstopping weggenomen.

- 3 à 4 keer terugwinnen met een korte tussenpauze (5 minuten pompen en 5 minuten pauze). Hierdoor wordt stootsgewijs de verstop-

ping weggenomen, waarbij werd aangenomen dat dit effectiever zou zijn dan terugwinnen door voortdurend pompen.

- afwisselend pompen en infiltreren (5 minuten pompen en 5 minuten infiltreren). Hierdoor keert de stroomrichting een paar maal om. Door op die manier te "jutteren" zou het effect nog groter moeten zijn.

Grote verschillen in effect van deze methode zijn echter te Oud-dorp niet waargenomen.

4.3.6 Weergeven van verstoppingen

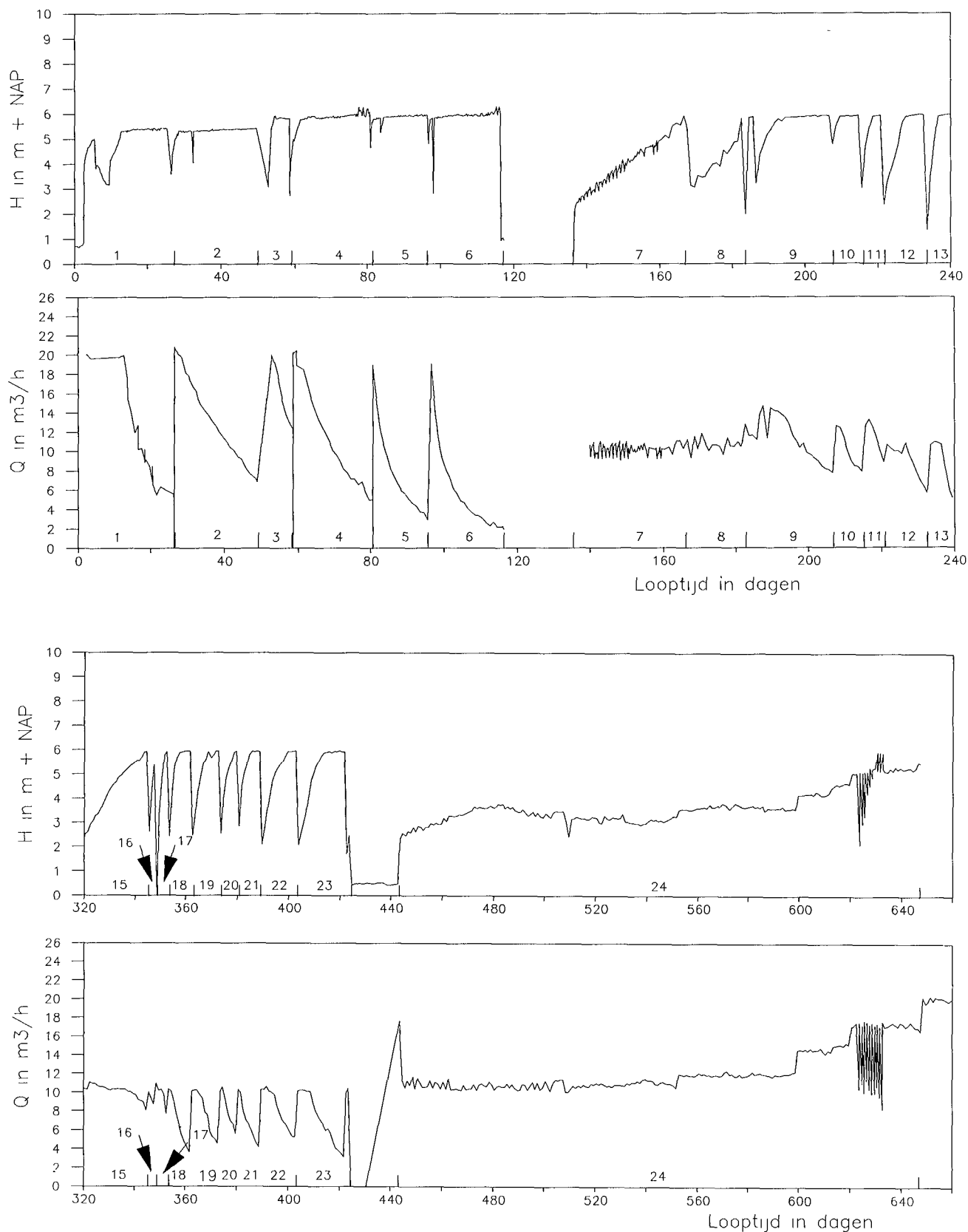
Om de verstopping die tijdens een run optreedt te kunnen vergelijken met een andere run is de volgende vergelijkingsregel opgesteld. De specifieke weerstand is het potentiaalverschil (m) in het watervoerende pakket tussen de pompput en de peilput op 6 meter afstand van de pompput gedeeld door het infiltratiedebiet (m^3/h). De mate waarin de put verstopt wordt uitgedrukt in de toename van de specifieke weerstand ($\times 1000$) gedeeld door de in de run totaal geïnfiltreerde hoeveelheid (m^3). Deze uitkomst wordt in de betreffende tabel "score" genoemd. Een lage score dient dus positief gewaardeerd te worden. Het verloop van de verstoppingen is weergegeven in tabel 1. Een grafische weergave van het niveau in de pompput en het infiltratiedebiet wordt weergegeven in figuur 5.

Tabel 1 - Overzicht van de "verstoppings-parameters" tijdens de eerste fase

run	aanvangs- debiet Q m ³ /h	initiële specifieke weerstand m/m ³ /h	eind specifieke weerstand m/m ³ /h	einddebiet Q m ³ /h	looptijd T dagen	totaal Q-in m ³	schoon spoelen m ³	run score
1	20	0,12	0,76	5,6	24	7520	50	0,09
2	20	0,14	0,63	6,4	26	7568	50	0,06
3	20	0,17	0,34	12,3	6	1257	25	0,14
4	20	0,14	1,02	5,0	22	6047	50	0,15
5	19	0,26	1,79	3,2	16	2768	35	0,55
6	19	0,31	2,78	2,0	20	2759	0	0,90
stilstand								
7	10	0,12	0,42	10,0	31	7353	25	0,04
8	12	0,15	0,40	11,0	19	4917	25	0,05
9	14	0,18	0,62	7,8	20	5506	6	0,08
10	11	0,26	0,66	7,5	9	2132	8	0,19
11	13	0,25	0,61	8,1	6	1571	16	0,23
12	10	0,19	1,03	5,1	12	2479	16	0,34
13	10	0,23	1,23	4,6	8	1510	35	0,66
stilstand								
14	11	0,17	0,65	7,5	12	2547	16	0,19
stilstand opbouw op het lage druksysteem								
15	10	0,11	0,65	7,3	26	6286	35	0,09
16	10	0,32	0,56	8,3	3	713	20	0,34
17	10	0,31	0,81	6,4	5	1056	25	0,47
18	10	0,28	1,39	3,7	8	1326	25	0,84
regeneratie met chloorbleekloog								
19	10	0,20	1,21	4,1	11	2006	25	0,50
20	10	0,25	0,99	5,0	7	1315	16	0,56
21	10	0,31	1,31	3,9	9	1461	21	0,68
22	10	0,15	1,23	4,3	14	2554	14	0,42
23	10	0,14	1,90	2,8	19	3253	20	0,54
chloordosering toegepast van 1,2 mg/l								
24	11	0,11	0,24	16,5	205	60850	0	0,002

totale infiltratie tijdens fase 1
 totaal gebruikt volume voor schoonpompen

139060
 620



Figuur 5 - Grafische weergave van het peil in de pompput (H) in m+NAP en de volumestroom (Q) in m³ per uur gedurende de runs 1 t/m 13 en 15 t/m 24 van fase 1

Uit de tabel blijkt dat:

- Bij alleen terugpompen de infiltratie steeds moeilijker wordt.
- Bij stilstand en chloorbleekloogregeneraties zeer goede reinigende effecten optreden.
- Na 2 jaar de initiële weerstand nog altijd ongewijzigd is, dus er geen structurele weerstand is opgetreden.
- Dat teruggepompte waterhoeveelheid (voor het schoonpompen) minder dan een half procent van de totale geïnfiltreerde hoeveelheid bedraagt.

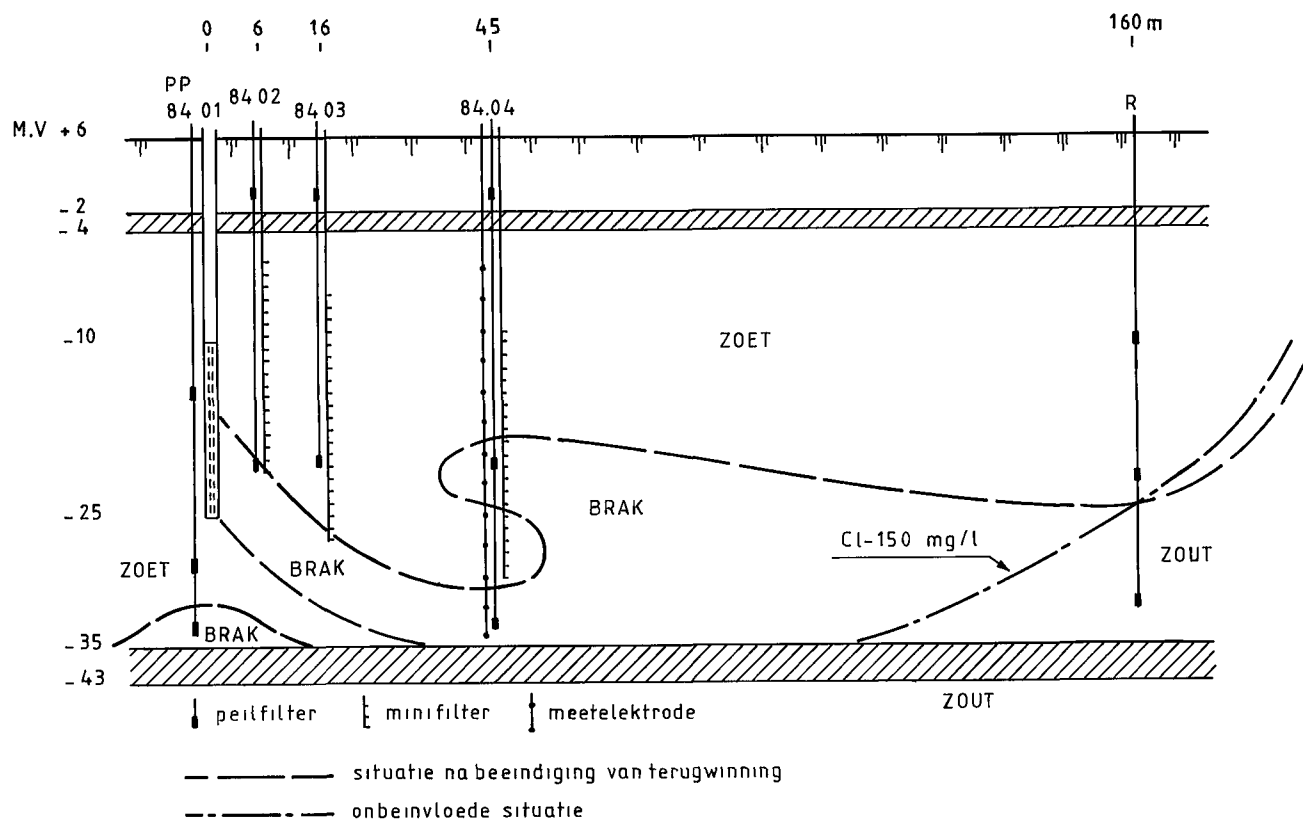
4.4 Terugwinning geïnfiltreerd water

In de periode 1 oktober 1984 tot 9 juli 1986 werd een hoeveelheid drinkwater geïnfiltreerd van 139.000 m³ hetgeen ongeveer uitkomt op gemiddeld 10 m³/h. Op 9 juli 1986 is aangevangen met het terugwinnen van dit geïnfiltreerde water met een onttrekking van 20 m³/h. Hierbij werd gebruik gemaakt van de in dezelfde infiltratieput geïnstalleerde onderwaterpomp. De rendementsbepaling (welk deel van de geïnfiltreerde hoeveelheid kon worden teruggewonnen) en waar komt het onttrokken water vandaan waren de belangrijkste aandachtspunten. Te verwachten was dat zich problemen zouden voordoen door het optreden van verziltingsverschijnselen. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn:

- het horizontaal aantrekken van brak water dat zich vlakbij bevindt in het onderste deel van het eerste watervoerende pakket tussen waarnemingsput R en 84.04
- het verticaal aantrekken van zout water door de scheidende laag gelegen tussen het eerste en tweede watervoerende pakket, dit ten gevolge van de door de winning in het eerste watervoerende pakket veroorzaakte potentiaalverlagingen
- het meevoeren van het door diffusie uittredende zoute water uit de onderliggende scheidende laag.

In de onbeïnvloede situatie heeft het formatiewater ter plaatse van waarnemingsput R in het onderste deel en in het bovenste deel een hoger (400 mg/l) respectievelijk lager (60 mg/l) Cl-gehalte dan dat van het infiltratiewater (100-150 mg/l). In maart 1987 na ruim 8 maanden onttrekking bleek dit beeld ook op te zijn getreden

ter plaatse van 84.04 en in mindere mate ter plaatse van 84.05. Globaal was het beeld ontstaan zoals schematisch is weergegeven in figuur 6.



Figuur 6 - Positie van het 150 mg/l grensvlak (chloride) vóór de proef en na beëindiging van de terugwinning

Uit dit beeld kon worden geconcludeerd dat door toestroming van water uit de beter doorlatende dieper gelegen lagen uit het watervoerende pakket, toestroming plaatsvond van brak water. Waarbij dit water mogelijk door diffusie en toestroming van zout water uit de onderliggende laag nog brakker is geworden. Deze laatste oorzaak lijkt evenwel van minder belang te zijn, gezien het feit dat ter plaatse van de infiltratieput, daar waar de potentiaalverlaging het grootst is, de verhoging van het Cl-gehalte slechts beperkt bleek.

Ook spelen, gezien het geconstateerde grillige beeld van het brakwater/zoetwater grensvlak ter plaatse van waarnemingsput 84.04, dispersieverschijnselen bij het infiltreren een rol.

Na het onttrekken van 108.000 m^3 water bleek het Cl-gehalte van het onttrokken water te zijn opgelopen van 130 tot meer dan

150 mg/l. Hierom werd besloten om het terugwinnen van het geïnfiltreerde water te beëindigen, zodat het terugwinpercentage kon worden vastgesteld op 77%.

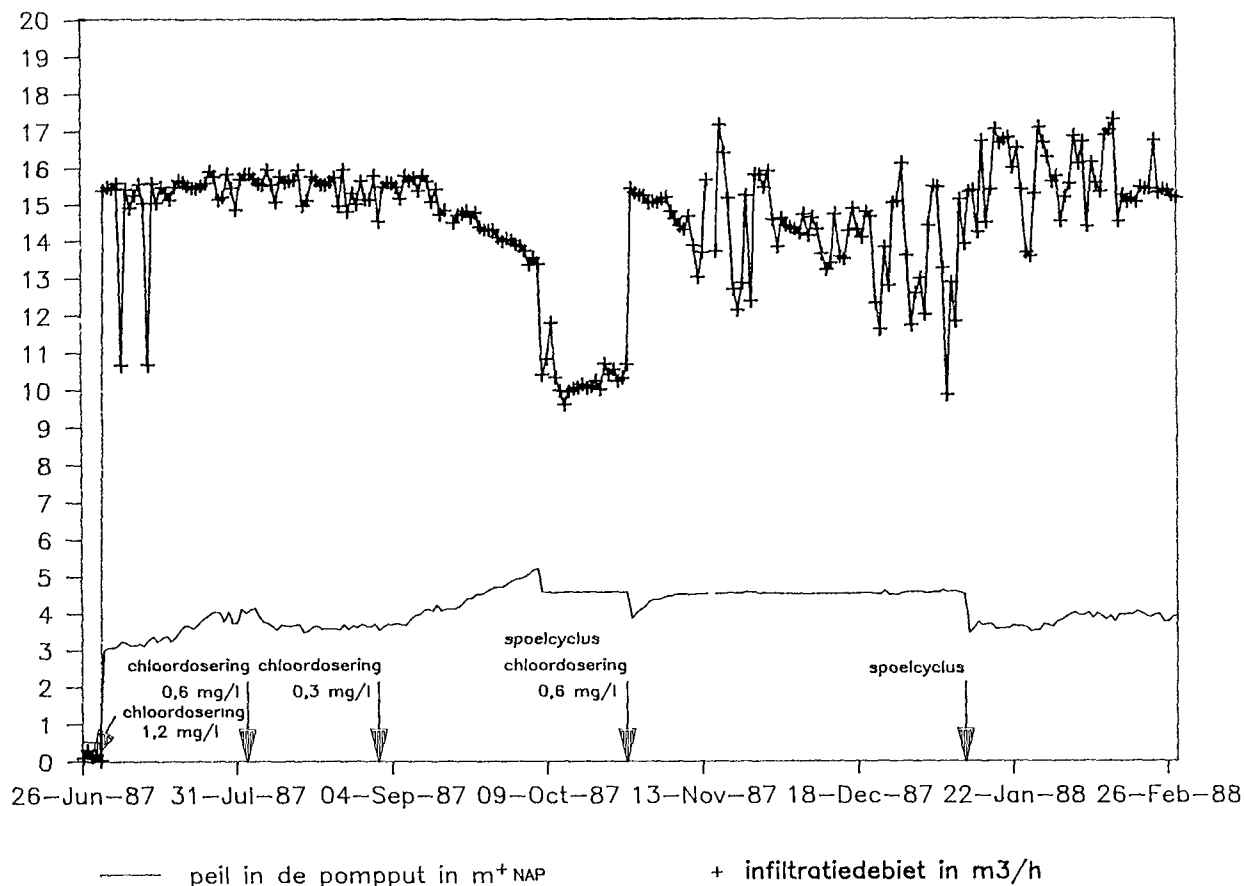
5 FASE 2 VAN DE DIEPINFILTRATIEPROEF

In de tweede fase van de diepfiltratieproef is water gebruikt dat niet de volledige zuiveringscyclus heeft doorlopen. Dit voorfiltraat heeft na een oppervlakte-infiltratie en de winning door drains alleen een snelfiltratie doorlopen. Het wezenlijke verschil met het water gebruikt in de eerste fase (drinkwaterkwaliteit) is het niet doorlopen van de zuiveringsstap ozon. Naast het financiële aspect (minder zuiveringskosten) is voor de diepfiltratie met name het lagere gehalte aan assimileerbare organische koolstof (AOC) van belang.

Door de toepassing van ozon vindt namelijk omzetting plaats van grotere gecompliceerde organische moleculen in andere kleine moleculen. Deze stoffen kunnen door bacteriën beter als voedingsstof worden gebruikt dan de grotere moleculen, waardoor een grotere nagroei kan ontstaan. Door gebruik van water met de kwaliteit voorfiltraat is de nagroei van bacteriën minder en kan de chloordosering worden verminderd.

In figuur 7 is grafisch weergegeven het peil in de infiltratieput en het infiltratiedebiet. Uit deze figuur blijkt dat een halvering van de chloordosering van 1,2 naar 0,6 mg/l weinig gevolgen te zien gaf voor het niveau in de pompput en het infiltratiedebiet. Na een tweede halvering tot 0,3 mg/l bleek evenwel het niveau in de pompput sterk te stijgen en tevens het infiltratiedebiet aanzienlijk te dalen. Uit een bacteriologische analyse van het infiltratiewater in de put bleek het koloniegetal van dit water 65 en meer dan 2000 te zijn voor respectievelijk de bepaling bij 37 en 22 graden Celcius.

Na het schoonspoelen van de put en het weer toepassen van een chloordosering van 0,6 mg/l bleek de verstopping vrijwel geheel te zijn verdwenen, zodat weer met een gemiddeld debiet van 15 m³/h kon worden geïnfiltreerd. Gedurende fase 2 is van 26 juni 1987 tot medio maart 1988 zonder noemenswaardige verstopping een hoeveelheid van 89.000 m³ water geïnfiltreerd.



Figuur 7 - Fase 2, grafische weergave van het peil in de pompput en het infiltratiedebiet

6 TOEKOMSTPERSPECTIEF

Nog voor de zomerperiode van 1988 zal met terugwinnen van het nu geïnfiltreerde water worden begonnen. Hierbij zal extra aandacht worden besteed aan het juist traceren van de herkomst van het teruggewonnen water, aan de hand van het dan vast te stellen stromingspatroon.

Na analyse van deze gegevens kan worden aangevangen met het ontwerp van een operationeel infiltratie en winningssysteem voor afvlakking van de maximum piekcapaciteiten.

Het gebruik van dual-purpose putten zal hierbij waarschijnlijk worden verlaten. Voor het terugwinnen van het geïnfiltreerde water wordt momenteel gedacht aan het plaatsen van enkele ondiepe win-

ningsputten. Hierdoor zal het effect van het aantrekken van het diepere brakke water geringer worden.

Het gebruik van een diepinfiltratiesysteem voor het opvangen van piekverbruiken lijkt aantrekkelijk. Hierbij spelen het geringe ruimtebeslag (slechts ongeveer 10% van het oppervlak benodigd voor een winning met een oppervlaktewaterinfiltratiesysteem) en de zeer geringe beïnvloeding van het freatisch grondwater een belangrijke rol.

Maart 1988

Goes

KIWPC23/005

DIEPINFILTRATIE BIJ DE DUINWATERLEIDING VAN 'S-GRAVENHAGE
(Flip-Flop)

H.G. de Jonge
m.m.v. P.L. Buijinck
M.J. Rutte

1 INLEIDING

1.1 Algemeen

In het vorige "Stand van zaken"-rapport (KIWA-mededeling nr. 79) is in de bijdrage van de DWL van 's-Gravenhage op blz. 249 t/m 271 een overzicht gegeven van de historische ontwikkelingen die hebben geleid tot de toepassing van diepinfiltratie van voorgezuiverd rivierwater in het Meijendelse duingebied.

Hierbij is aandacht besteed aan de eerste experimenten in de jaren vijftig, waarbij het accent lag op het zoeken naar methoden om de zoetwatervoorraad in het diepe pakket sneller en gericht aan te vullen. Vervolgens zijn de experimenten in de jaren zeventig en begin tachtig beschreven, waarbij het accent van het onderzoek steeds meer kwam te liggen op het ontwikkelen van een alternatieve productietechniek. Dit laatste vooral ingegeven door de omstandigheid dat de Rijks- en Provinciale overheid grootschalige uitbreidingen van oppervlakte - infiltratie in de duinen op grond van milieu-overwegingen minder gewenst achten en toepassing van diepinfiltratie wil stimuleren.

In hoofdstuk 3 van bovengenoemde bijdrage aan de KIWA-mededeling nr. 79 werd bovendien een beschrijving gegeven van het meest recente diepinfiltratie-experiment bij de DWL van 's-Gravenhage, althans van de proefopstelling ervan en van de doelstellingen van het onderzoek.

Inmiddels zijn sinds de start van dit zogenaamde Flip-Flop-experiment in de zomer van 1984, ruim vier jaar verstreken. De onderzoekservaringen in deze periode t.a.v. voorzuivering, putverstop-

ping en put-regeneratie, alsmede van de waterkwaliteitsverandering tijdens bodempassage, zullen in het nuvolgende worden behandeld.

1.2 Doelstellingen diepinfiltratie-experiment Flip-Flop

De doelstellingen van het nieuwe diepinfiltratie-experiment liggen in het verlengde van de na de vorige experimenten nog openstaande vragen ten aanzien van de toepassing van diepinfiltratie. Zij luiden als volgt:

- a. Bevestiging van de verwachting dat diepinfiltratie met voldoende ver voorgezuiverd Maaswater mogelijk is zonder noemenswaardige mechanische verstopping.
- b. Nader onderzoek naar de factoren die bepalend zijn voor bacteriële verstopping. Dit kan enerzijds gebeuren door analyseren van de proefresultaten, anderzijds mogelijk door gerichte beïnvloeding van de waterkwaliteit.
- c. Het verzamelen van voldoende informatie over de kwaliteitsveranderingen van het water bij bodempassage, vooral ten aanzien van de hygiënische aspecten (bacteriën, virussen, organische micro verontreinigingen, integrale toxiciteit), zodat een vergelijking hiervan tussen diepinfiltratie met putten en oppervlakte-infiltratie mogelijk is.
- d. Nader onderzoek naar de factoren die van belang zijn bij de terugwinning van het geïnfiltreerde water, met name ten aanzien van de eventuele vorming van ijzerhydroxidevlok in de onttrekingsput.

2 BESCHRIJVING PROEFOPSTELLING

2.1 Voorzuiveringsinstallatie

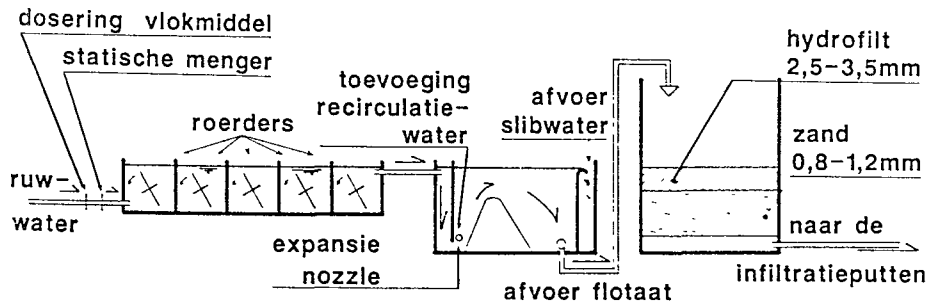


Fig. 1 - Voorzuiveringsproces Flip-Flop-project.

Het voorzuiveringsproces bestaat uit coagulatie, flotatie en filtratie. Het vlokmiddel wordt door middel van een statische menging met het uit Bergambacht aangevoerde rivierwater gemengd. Dit over een afstand van ongeveer 70 km aangevoerde rivierwater is reeds voorgezuiverd door middel van een FeSO_4 -dosering in het Andelse Maasbekken en snelfiltratie te Bergambacht. Direct daarna volgt vlokvorming, uitgevoerd in vijf even snel geroerde compartimenten (circa 10 omwentelingen per minuut), gedurende een totale vloktime van circa 30 minuten. De G-waarde in alle compartimenten bedraagt circa 45 s^{-1} .

Bij de flotatiestap worden kleine luchtbelletjes ($d = 40 \mu\text{m}$) aan de gevormde vlokjes gehecht. De benodigde luchtbelletjes worden in de flotatiebak zelf gevormd. Dit gebeurt via een speciaal daarvoor ontworpen "nozzle". Via deze "nozzle" wordt een deel van het snelfiltraat (recirculatie circa 6%), dat onder hogere druk is belucht, weer in de hoofdstroom gebracht.

Door de expansie naar atmosferische druk komen de grote aantallen microscopisch kleine luchtbelletjes vrij en hechten aan de aanwezige vlokken en brengen deze tot opdrijven.

Het beluchten van het gerecirculeerde snelfiltraat vindt onder hoge druk plaats door middel van ejectie in een gesloten ketel.

Aan het wateroppervlak in de flotatiebak vormen de vlokken met aangehechte luchtbelletjes een dunne slibdrijflaag. De hiervoor benodigde flotatietijd bedraagt, afhankelijk van de watertemperatuur, 6 tot 12 minuten. De drijflaag wordt afgevoerd door aan het eind van de flotatiebak een kleine hoeveelheid water (circa 2% van de hoofdstroom) te laten overstorten.

Het door flotatie voor het grootste deel van vlokjes gezuiverde water wordt onder uit de flotatieruimte afgevoerd en door middel van snelfiltratie (van ongeveer 7,5 m/u) van het laatste restje vlokmiddel ontdaan. Het filterbed bestaat uit 1,0 meter zand (0,8 - 1,2 mm) met daarop 0,5 m hydrofilt (2,5 - 3,5 mm).

2.2 De infiltratieputten en de onttrekkingsput

In de uitgangssituatie is gekozen voor een opstelling van 2 infiltratieputten met daartussenin een onttrekkingsput, respectievelijk Flip 1, Flip 2 en Flop. Dit zijn afkortingen van Flotatie-Infiltratie-Put (1 en 2) en Flotatie-Onttrekkings-Put (Flop). De eis dat 90% van het teruggewonnen rivierwater een verblijftijd van 3 maanden of meer heeft, is met behulp van een stroombanenprogramma vertaald in een onderlinge afstand tussen de putten van 75 m. De drie putten liggen in een lijn, evenwijdig met de richting van de natuurlijke afstroming (zie fig. 2).

Bij de keuze van het boorsysteem t.b.v. de aanleg van de infiltratie- en onttrekkingsputten is aangesloten bij de tot dan toe elders in het duingebied bij de aanleg van normale productieputten gebruikelijke boormethode n.l. een rotaryzuigboring met luchtlift zonder kunstmatig toegevoegde boorspoeling.

De constructie van de infiltratieputten verschilt niet van de wijze waarop elders in het duingebied onttrekkingsputten worden uitgevoerd. Echter i.v.m. de hoge maaiveldligging t.o.v. de grondwater potentiaal in het te infiltreren pakket is bij de aansluiting van de infiltratieleiding op de put voorzien in een speciale regelklep (zie fig. 3). Deze regelklep dient om, zonder dat er onderdruk in de aanvoerleiding ontstaat, een deel van het grote beschikbare verval in energiehogte te elimineren. De onttrekkingsput is voorzien van een verwijd bovendeel t.b.v. het inhangen van een onderwaterpomp. Het onttrokken water wordt afgevoerd naar het

snelfilterbedrijf, waardoor het teruggewonnen water in de normale productiestroom terechtkomt. Voor technische details m.b.t. het ontwerp van de hierbeschreven onderdelen van de proefopstelling wordt verwezen naar De Jonge (1983 a en b).

In een latere fase van het onderzoek is ter vervanging van Flip 2 een derde infiltratieput Flip 3 aan de proefopstelling toegevoegd. De locatie is weergegeven in fig. 2. Op de reden voor de aanleg van deze derde infiltratieput wordt in par. 3.2 nader ingegaan.

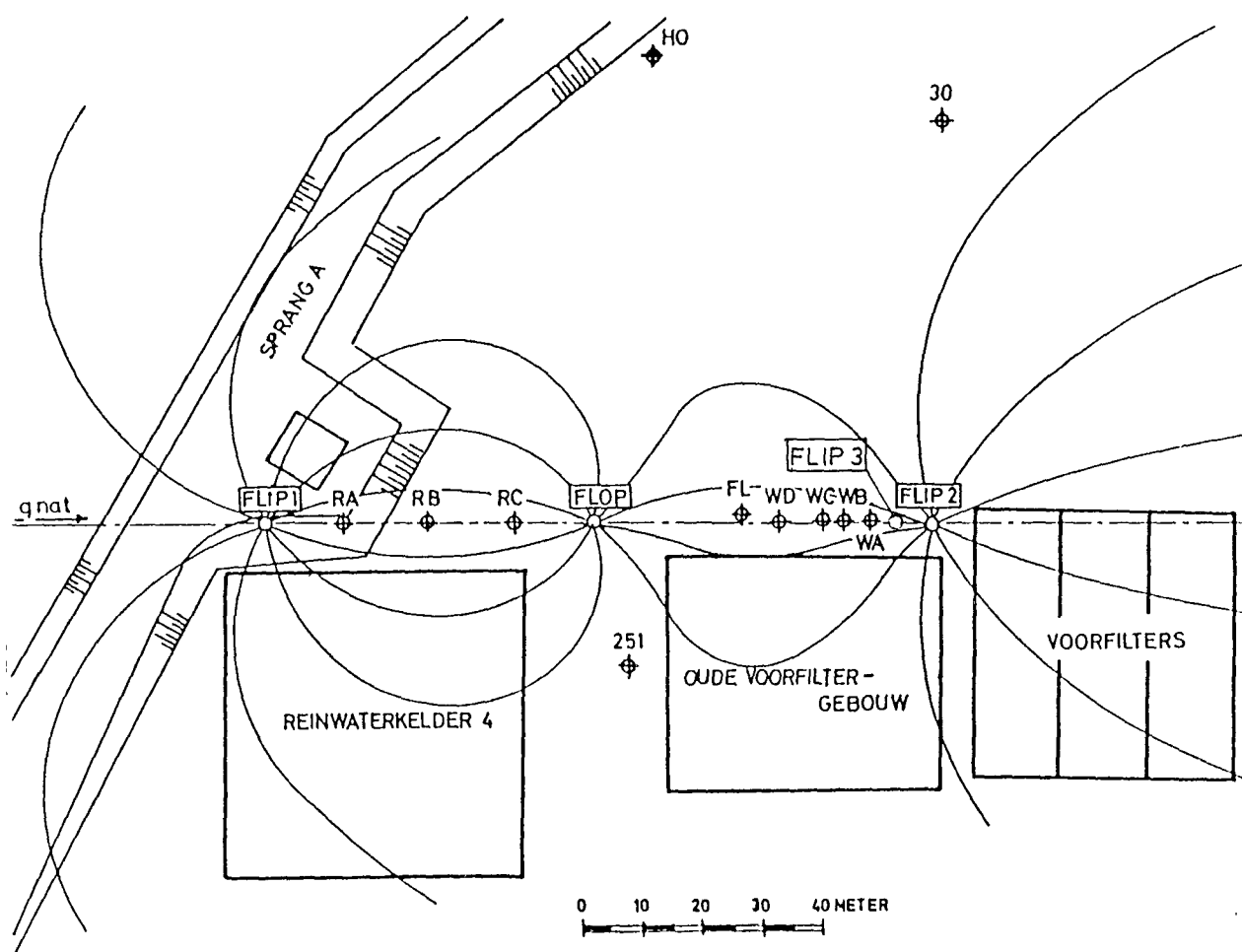


Fig. 2 - Situatie infiltratieputten, ontrekkingsput en waarnemingsposten

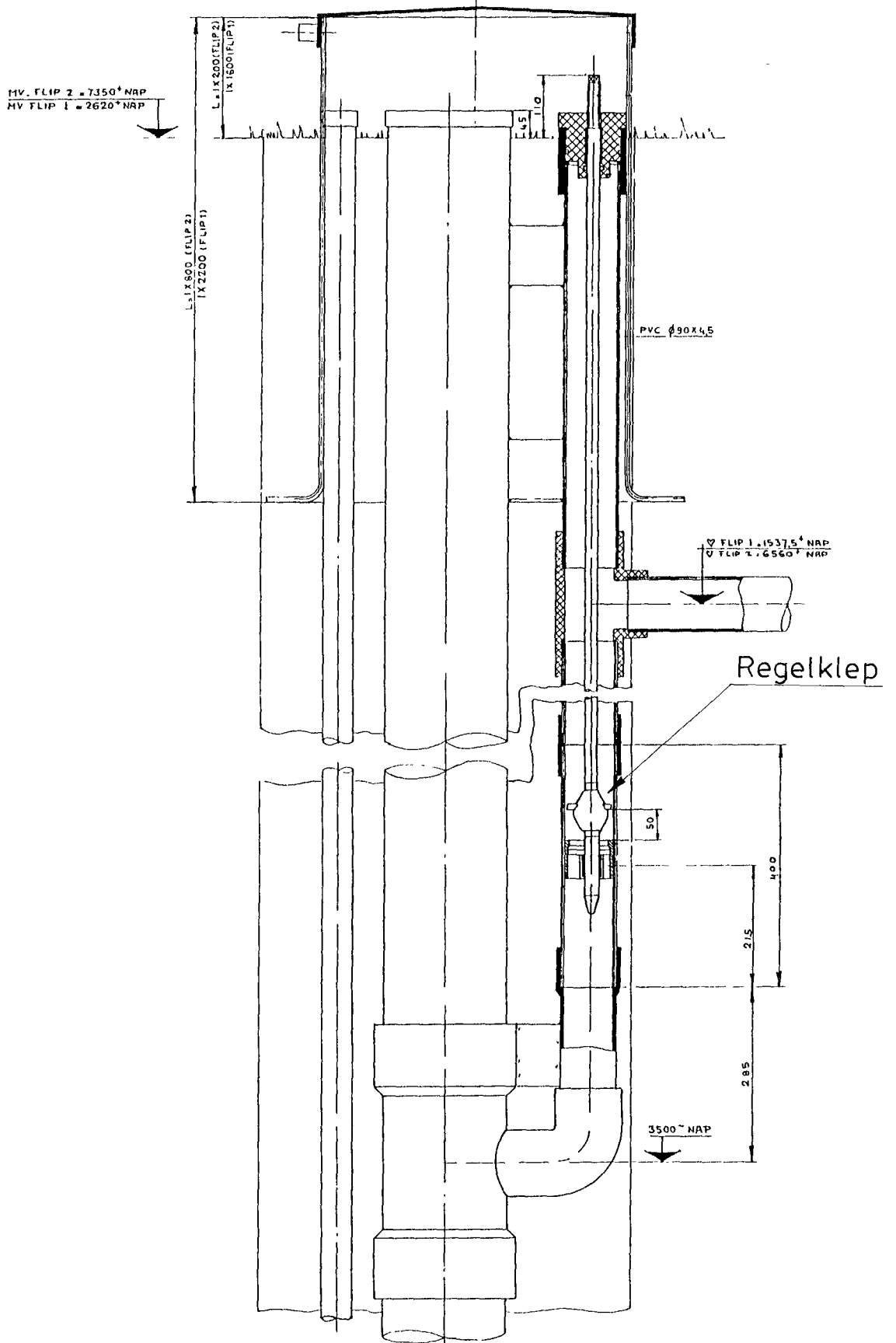


Fig. 3 - Constructie infiltratieput

2.3 Bodemopbouw en geohydrologische schematisatie

De geologische opbouw van de ondergrond t.p.v. de proefopstelling verschilt in twee opzichten van het globale beeld zoals dat geldt voor het Haagse duingebied. In de eerste plaats bevindt er zich een basisholocene geulopvulling, die voornamelijk kleiig is ontwikkeld en het te infiltreren pakket aan de bovenzijde afsluit. De dikte van deze kleilaag varieert van enkele meters tot meer dan 10 m en de bovenkant ervan ligt op ongeveer 42 m-NAP. Daarnaast is ter plaatse van de proefopstelling de top van de Formatie van Kedichem kleiig ontwikkeld, waardoor het te infiltreren watervoevende pakket aan de onderzijde eveneens door een kleilaag wordt begrensd. De dikte van deze kleilaag is slechts op een plaats bepaald (wnp FL) en bedraagt 10 m. De bovenkant van de kleilaag is echter op meerdere plaatsen aangeboord en bevindt zich op ongeveer 42 m-NAP.

Door het grote aantal boringen dat in het kader van de technische inrichting van de proef is uitgevoerd (infiltratieputten, onttrekkingsput en monitoring putten) is een goed beeld van de ondergrond tot aan de kleiige afzettingen van de Formatie van Kedichem verkregen. In fig. 4 is een schematisch overzicht gegeven van de uit de boringen verkregen informatie omtrent de geologische opbouw van de ondergrond.

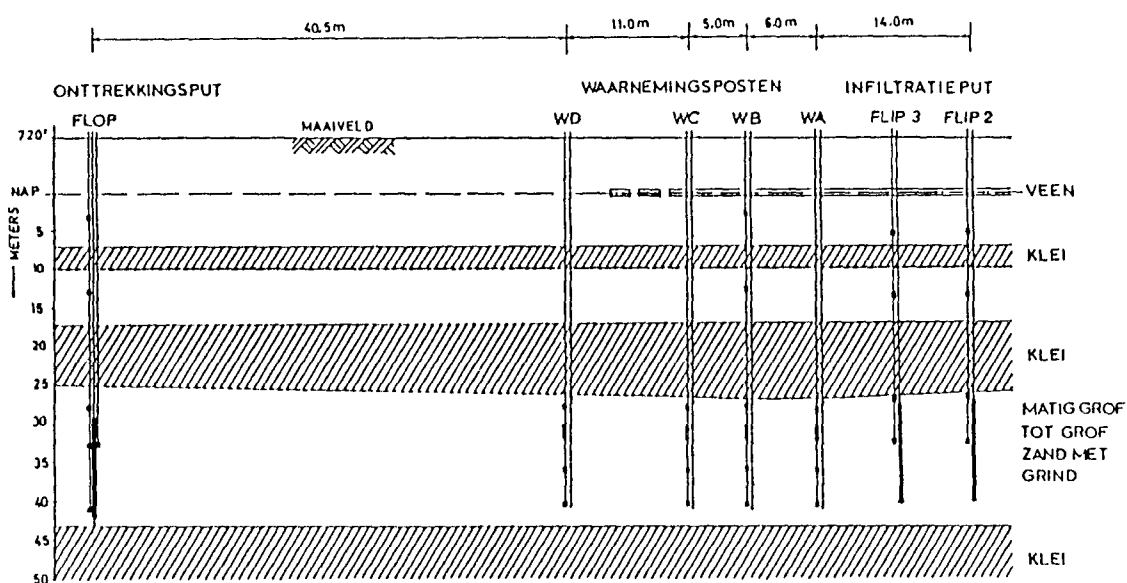


Fig. 4 - Geologisch profiel proeflokatie

Nadat in 1983 de infiltratieputten, onttrekkingsput en monitoring putten waren geplaatst, is in het proefgebied een pompproef gehouden. Als resultaat werd voor het doorlaatvermogen $480 \text{ m}^2/\text{d}$ gevonden. Bij een pakketdikte van ca. 15 - 20 m betekent dit een gemiddelde k-waarde van ca. 30 m/d (V.d. Velde [1984]).

Daarnaast zijn bij een aantal boringen zeefanalyses uitgevoerd op het materiaal afkomstig uit het te infiltreren watervoerend pakket (Hoek [1985]).

2.4 Meeloopfilters

Omdat het in de praktijk niet mogelijk is op een eenvoudige manier onderzoek te doen naar het verstoppend materiaal dat zich mogelijk tijdens de loop van het experiment afzet in en/of vlak buiten de omstorting van de infiltratieput, zijn door het KIWA de zgn. meeloopfilters (MLF) ontwikkeld. Met behulp hiervan wordt getracht de actuele verstopping in de infiltratieput te simuleren d.m.v. een vereenvoudigd model van de put.

Dit model wordt simultaan met het diepinfiltratie-experiment met hetzelfde water doorstroomd.

Het onderzoek maakt deel uit van een samenwerkingsproject met het KIWA.

In het kader van het Flip-Flop-experiment is gewerkt met een tweetal meeloopfilteropstellingen.

De doelstellingen van het meeloopfilteronderzoek kunnen als volgt worden onderscheiden:

1. Het meeloopfilter biedt de mogelijkheid het gedrag van de put na te bootsen bij infiltratiesnelheden die afwijken van de actuele infiltratiesnelheid in de put.

Indien het mogelijk blijkt bij een hogere volumestroom door het meeloopfilter, gedurende een relatief kortdurend experiment het gedrag van de put op termijn te voorspellen, betekent dit een aanzienlijke tijdwinst in de onderzoeksfase.

2. Door de bovengrondse opstelling van het meeloopfilter is het mogelijk na verloop van tijd het verstoppend materiaal dat zich in het filter heeft afgezet te isoleren en verder te onderzoeken.

3. Tenslotte zijn de meeloopfilters in een tweede meetopstelling, gebruikt om de effecten van aanvullende c.q. alternatieve voorzuiveringstechnieken op het verstoppingsgedrag van de meeloopfilters te bestuderen, alsmede om het regeneratie effect bij behandeling met chloor te onderzoeken.

De filters bestaan uit een perspex-buis met een doorstroomoppervlak van $0,6 \text{ dm}^2$ en een lengte van 48 cm en zijn gevuld met materiaal waarvan de korreleigenschappen representatief worden geacht voor het in de praktijk aanwezige bodemmateriaal en het aangebrachte omstortingsgrind (laagdikte voor beide is 20 cm). Bij de selectie van de zandvulling van de meeloopfilters is uitgegaan van de korrelanalyses uit Rijsdijk [1984]. De zeefcurve van het vulmateriaal is weergegeven in fig. 5.

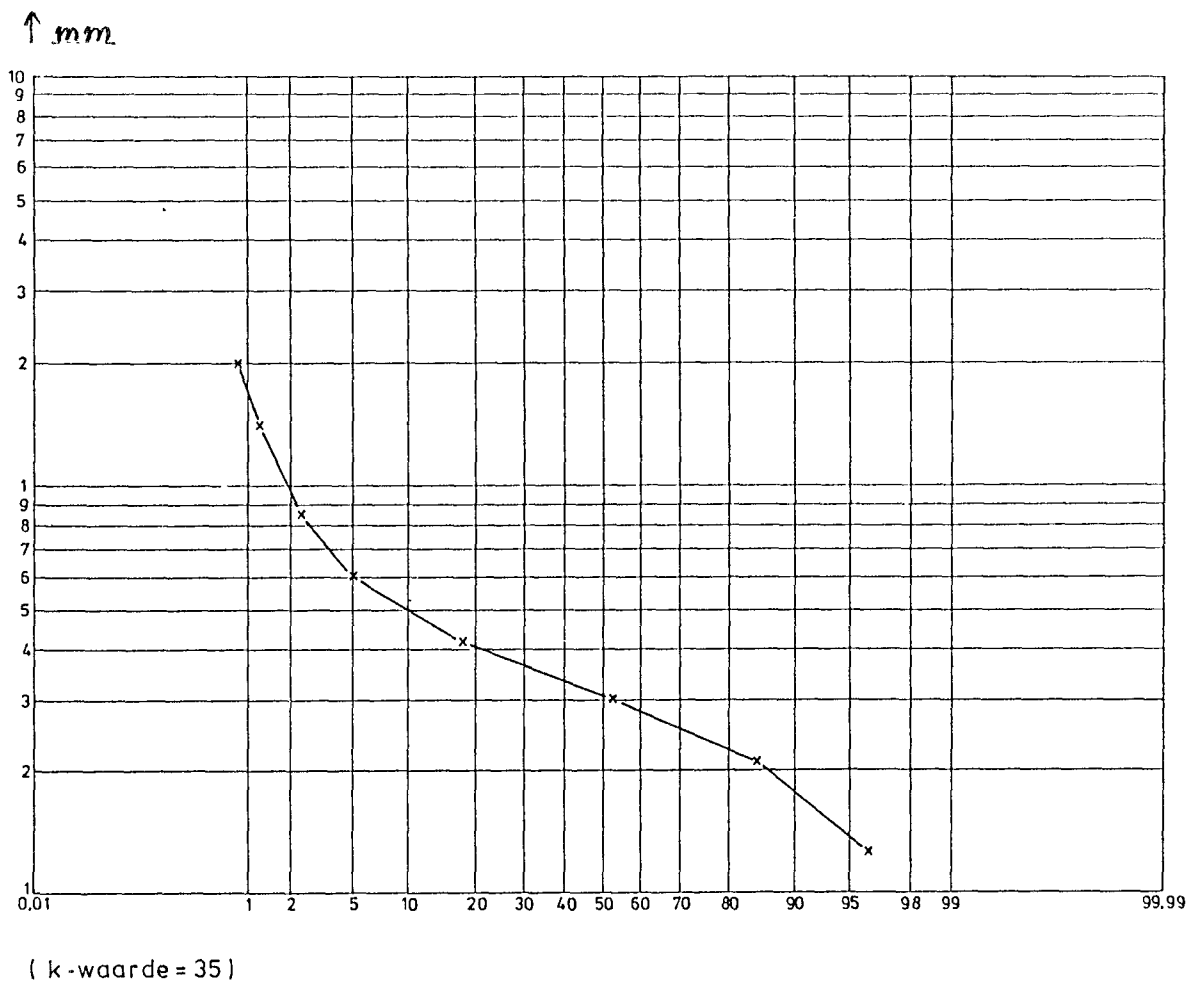


Fig. 5 - Zeefcurve van zandvulling meeloopfilters

3 DE RESULTATEN

3.1 Voorzuivering

In het kader van het Flip-Flop-project wordt sinds 27 juni 1984 een deel van het aangevoerde rivierwater verder voorgezuiverd ten behoeve van het diepinfiltratie-experiment Flip-Flop. Als kwaliteitseis aan het effluent van de installatie wordt gesteld dat de MFI $< 3s/l^2$ moet zijn.

De ervaringen met de voorzuivering gedurende de periode juni 1984 - augustus 1985 is in [Knol en Buijinck [1986]] gerapporteerd. De daarop volgende periode september 1985 - juni 1987 in Rutte [1987].

De eerste periode werd in eerste instantie gekenmerkt door een probleemloze zuivering vanaf de start tot aan 8 oktober 1984.

Als vlokmiddel werd in deze periode Sachtoklar gebruikt en de dosering bedroeg $3,5 \pm 1$ mg/l.

Na 8 oktober 1984 verliep de voorzuivering niet optimaal als gevolg van de verslechterende waterkwaliteit van het influent. Oorzaak van de verslechtering was de uitslag van polderwater door de gemalen in het Andelse Maas-bekken.

Daarnaast trad door de dalende watertemperatuur, doorslag van de snelfilters op.

Om doorslag te voorkomen is de dubbellaag van 0,5 m hydrofilt (2,5 - 3,5 mm) vervangen door 0,5 m hydro-antraciet (1,5 - 2,5 mm).

Desondanks trad alsnog doorslag op.

Na de winter, in de periode 27 februari - 31 augustus 1985, is in eerste instantie primair $FeCl_3$ (14-18 mg/l) en secundair Sachtoklar (0,1 - 0,25 mg/l) gedoseerd.

Hiermee werd getracht, met succes, filterdoorslag te vermijden. Tevens werd een pH-correctie met behulp van H_2SO_4 uitgevoerd tot pH 6,4 - 6,8 om de primaire Fe-dosering te kunnen reduceren en zodoende de filters niet te zwaar te belasten.

Nadat de watertemperatuur tot $\pm 18^\circ C$ was gestegen is de secundaire Sachtoklar-dosering gestopt.

In augustus is overgegaan op Sachtoklar als primaire dosering, waarbij er direct flinke diepbedfiltratie optrad in de snelfilters.

Gedurende de tweede periode (september 1985 tot en met juni 1987) bleek het goed mogelijk om vrijwel het gehele jaar aan de kwaliteitseis van $MFI < 3s/l^2$ te voldoen. Een belangrijke bijdrage daartoe leverde de vervanging van het oorspronkelijke filtermateriaal van de snelfilters door fijner filtermateriaal namelijk 1 m zand (0,5 - 0,8 mm) en 0,5 m hydro-antraciet (0,6 - 1,6 mm). Hierdoor behoorde de doorslag van de snelfilters bij lage watertemperaturen tot het verleden.

Er is in deze periode voornamelijk gewerkt met twee aluminium vlokmiddelen namelijk Sachtoklar en aluminiumsulfaat. De gemiddeld benodigde vlokmiddeldosering bedroeg respectievelijk 5,9 en 6,3 mg/l als Al^{3+} . Aluminiumsulfaat voldeed ook goed bij lage watertemperaturen (2-3°C).

Problemen met de voorzuivering traden alleen in het voorjaar op. Een combinatie van nog lage watertemperatuur (6-10°C) en hoge biomassa-hoeveelheid in het aangevoerde water is hiervoor verantwoordelijk. Om dan aan de kwaliteitseis te kunnen voldoen moet de vlokmiddeldosering flink verhoogd worden (max. 13 mg/l als Al^{3+}). De maximale vloktijd bedroeg 30 minuten en de maximale flotatietijd 14 minuten.

De looptijden van de snelfilters waren 4-7 dagen bij $V = 4-5$ m/h. Door de voorzuivering verbetert de waterkwaliteit ten aanzien van de parameters zuurstof, organisch koolstof, UV-extinctie, kleur, orthofosfaat, totaalijzer, aluminium, fluoride, mangaan, adsorbeerbaar organohalogen, trihalomethanen en assimileerbaar organisch koolstof.

Daarnaast neemt de hoeveelheid bacteriën sterk af (reducties tot 100%) en worden virussen volledig verwijderd.

Er treedt een negatieve waterkwaliteitsverandering op in de vorm van een toename van chloride ($\pm 0,5 - 14$ mg/l), sulfaat ($\pm 4 - 30$ mg/l), (beide toenames afhankelijk van het gebruikte vlokmiddel), elektrisch geleidingsvermogen, kalkagressiviteit en daling van de pH en waterstofcarbonaat.

3.2 Putverstopping

3.2.1 Flowmetingen en proefpompingen Flip 1, 2 en 3

Alvorens te starten met het infiltreren van voorgezuiverd rivierwater, zijn de infiltratieputten Flip 1, 2 en 3, alsmede de ont-trekkingsput Flop getest in de vorm van een proefpomping. De re-sultaten van de proefpompingen zijn weergegeven in tabel 1.

Daarnaast zijn op de infiltratieputten flowmetingen uitgevoerd. Van deze flowmetingen zijn de door DGV/TNO bij infiltrerend be-drijf uitgevoerde metingen weergegeven in fig. 6 . Bovendien is bepaald in welke mate ieder filtersegment bijdraagt in verhouding tot de totale filterlengte (zie fig. 7).

Tabel 1 - Resultaten proefpomping van de putten

	Boorgat diameter [m]	Filter- lengte [m]	Specifieke afpomping ^{*1} [h/m ²]	Specifieke opbrengst ^{*2} [m ² /h]
Flip 1	0,6	17,5	0,044	22,5
Flip 2	0,6	12,5	0,062	16,0
Flip 3	0,6	12,5	0,048	20,7
Flop	0,6	12,5	0,060	16,6

*1 Afpomping per eenheid van volumestroom

*2 Opbrengst per eenheid van afpomping

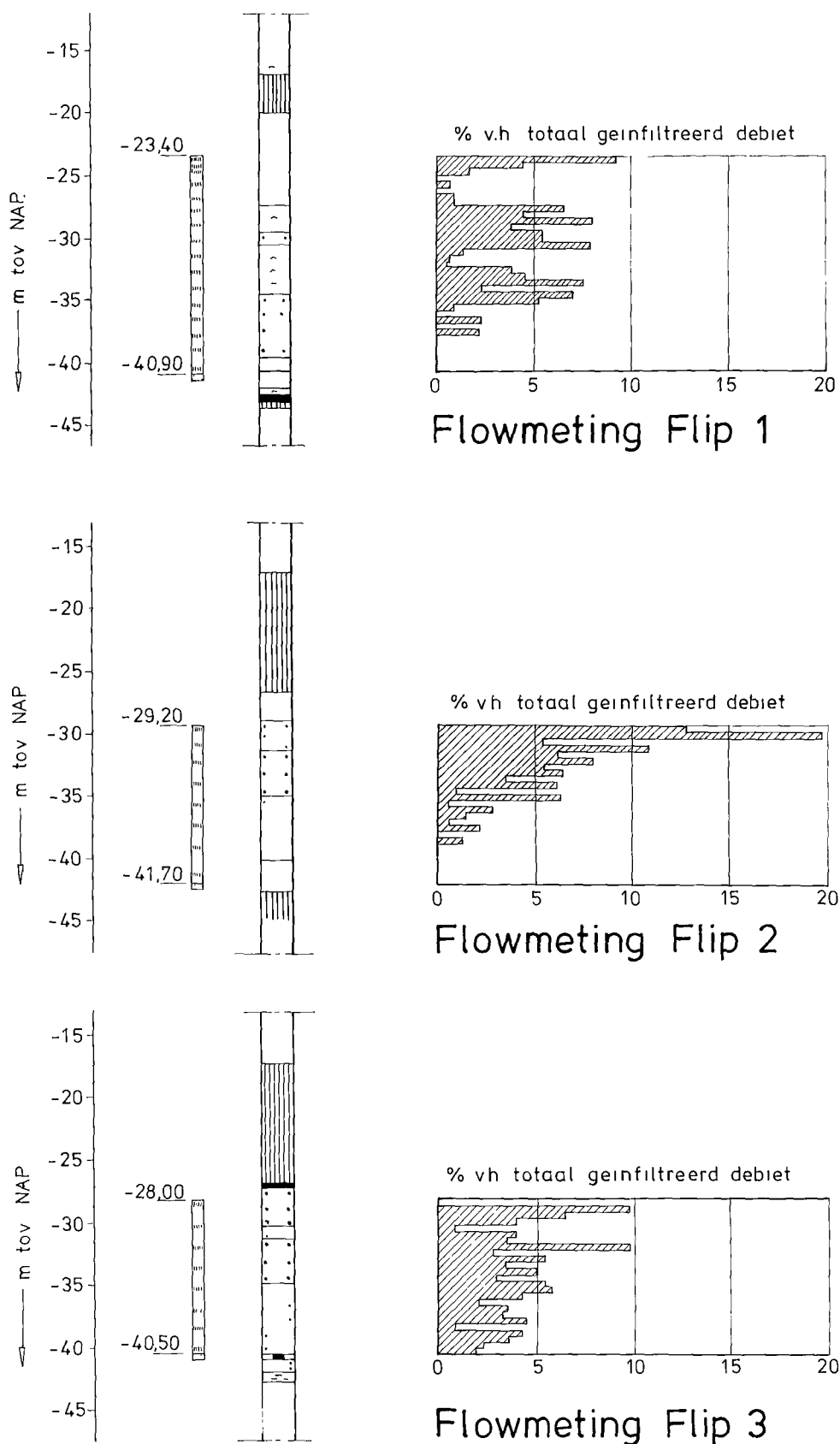


Fig. 6 - Flowmetingen op de infiltratieputten

Flip 1,2 en 3

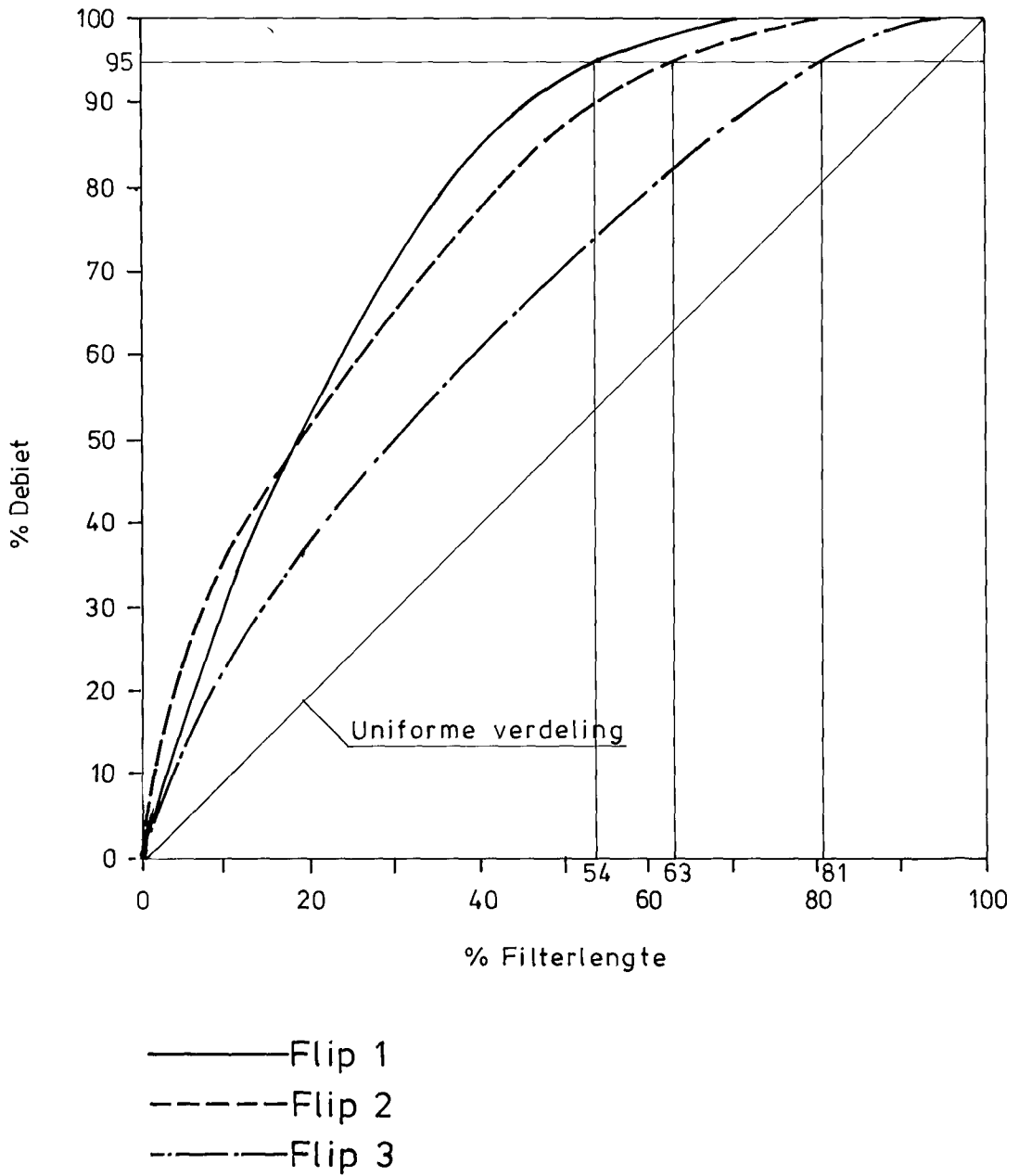


Fig. 7 - Verdeling totaal geïnfiltreerde volumestroom in verhouding tot de totale filterlengte

3.2.2 Weerstandslijnen Flip 1, 2 en 3

Op 27 juni 1984 is gestart met het infiltreren van voorgezuiverd rivierwater. Het tijdstip van aanvang werd mede bepaald door de eis dat er voldoende contrast diende te bestaan tussen de temperatuur van het te infiltreren water en van het in de bodem aanwezige grondwater. Dit in verband met het onderzoek naar het geothermisch gedrag van het watervoerend pakket waarin wordt geïnfilteerd. In grote lijnen kan het diepinfiltratie-experiment tot op het moment van rapportage in een drietal perioden worden onderverdeeld (zie ook fig. 8).

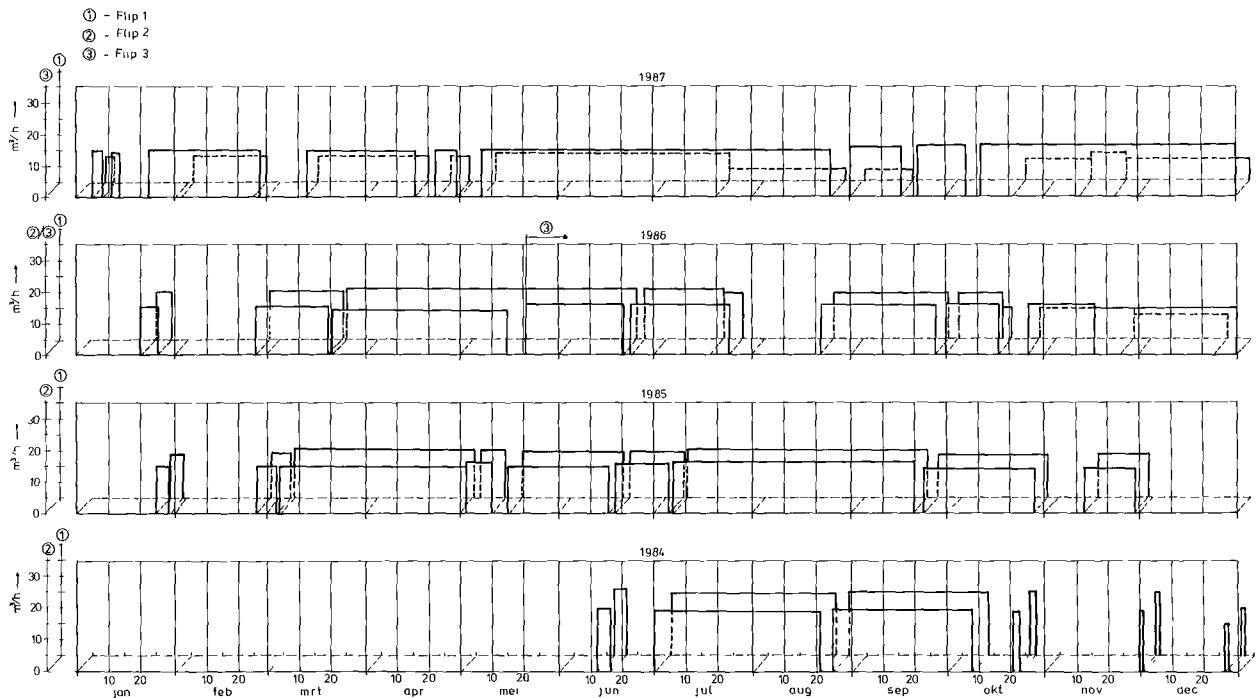


Fig. 8 - Overzicht infiltratieperioden Flip-Flop project

1e periode: 27-06-1984 t/m 08-10-1984: 102 dagen (Q FLIP 1 = Q FLIP 2 = $20 \text{ m}^3/\text{u}$).

Experiment gestaakt i.v.m. problemen met voorzuivering, samenhangend met de m.b.t. de verstoppingsparameters slechte kwaliteit in combinatie met de dalende temperatuur van het rivierwater.

2e periode: 26-02-1985 t/m 28-11-1985: 226 dagen (Q FLIP 1 = Q FLIP 2 = $14 \text{ m}^3/\text{u}$).

Experiment gestaakt i.v.m. problemen met voorzuivering samenhangend met de slechte kwaliteit in combinatie met de dalende temperatuur van het water en voor het uittesten van een andere (snel)-filterbedsamenstelling.

3e periode A: 10-03-1986 t/m 31-12-1986: 250 dagen

B: 01-01-1987 t/m heden: 150 dagen

Gedurende de derde periode is Flip 2 vervangen door Flip 3.

Tijdens de drie infiltratieruns is bovendien het experiment nog enige malen onderbroken geweest i.v.m. kortdurende storingen in de voorzuiveringsinstallatie of in verband met het staken van de aanvoer van rivierwater uit Bergambacht.

Gedurende elke periode heeft een uitgebreide monitoring plaatsgevonden gericht op de bewaking van het verstoppingsgedrag van de infiltratieputten.

De gemeten waterstandsverschillen tussen infiltratieput en controlepeilbuis dienen in combinatie met de temperatuur van het infiltratiewater en de geïnfiltreerde volumestroom, om een verstopping van de infiltratieputten te signaleren.

Een maat voor deze verstopping kan worden afgeleid uit de meetgegevens i.o.m. de afleiding zoals die is gegeven door v.d. Eem (1989).

De voor variaties in temperatuur en snelheid op de boorgatwand gecorrigeerde verstoppingsweerstand, uitgezet tegen de tijd en tegen het geïnfiltreerd volume is weergegeven in de figuren 9 en 10.

Deze figuren geven weer de verstoppingsweerstand die gevonden zou zijn wanneer er werd geïnfiltreerd bij een temperatuur van 10°C en een snelheid op de boorgatwand van 1 m/h.

Eveneens in overeenstemming met v.d. Eem (1989) is uit de gecorrigeerde verstoppingsweerstand de genormeerde verstoppingssnelheid bepaald.

Uitgezet tegen de tijd is deze verstoppingssnelheid weergegeven in fig. 11.

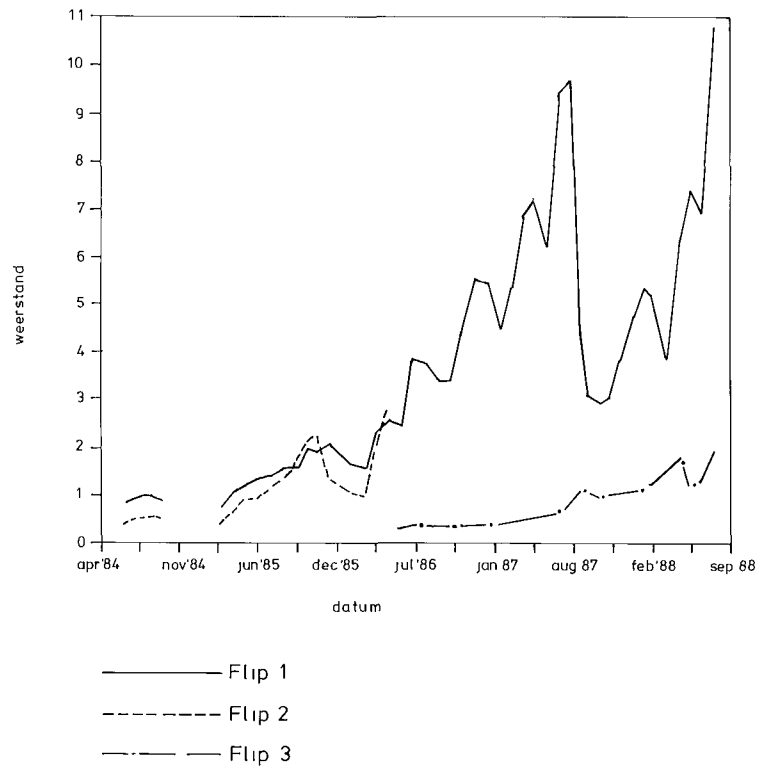


Fig. 9 - Gecorrigeerde verstoppingsweerstand tegen tijd (Flip 1, 2 en 3)

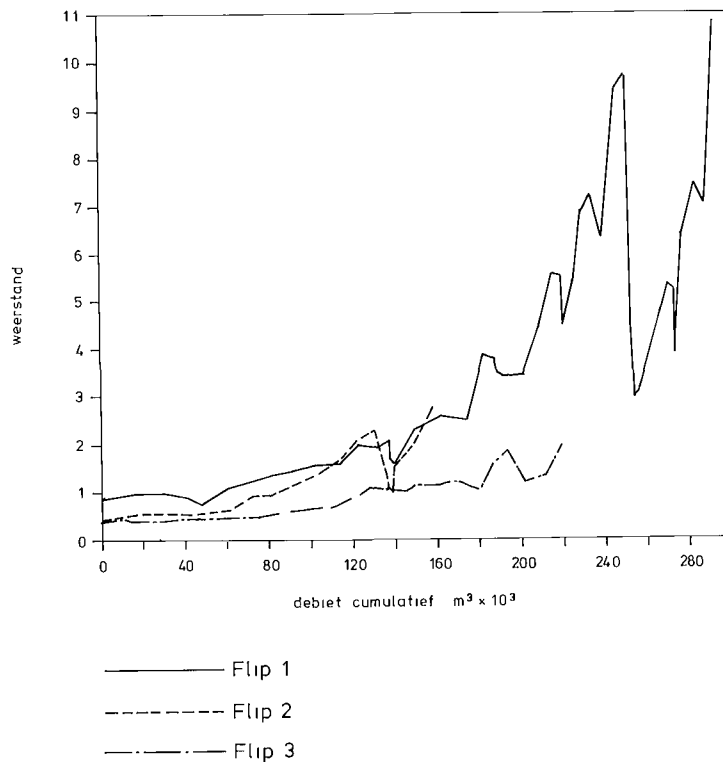
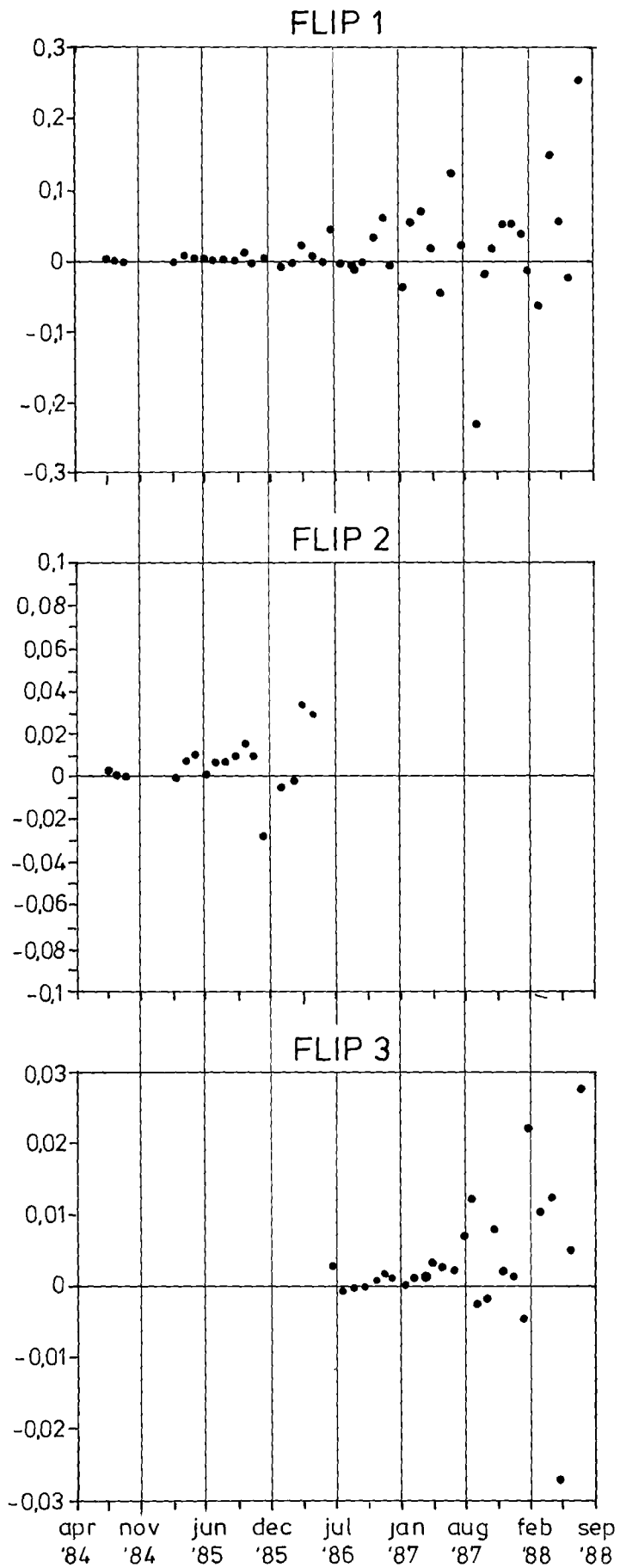


Fig. 10 - Gecorrigeerde verstoppingsweerstand tegen geïnfilteerd volume (Flip 1, 2 en 3)

Fig. 11 - Genormeerde verstopingsnelheid

↑ verstoping m/dag



3.3 De Meeloopfilters (MLF)

In fig. 12 zijn van de diverse meeloopfilters (MLF's) de weerstandscurven weergegeven, zoals die bij infiltratie met voorgezuiverd rivierwater zijn gemeten bij doorstroomsnelheden van resp. 0,5 m/h, 1 m/h, 2 m/h, 4 m/h en 8 m/h. Geen enkel MLF is vanaf het begin van het Flip-Flop experiment continu doorstroomd. Van een aantal MLF's is de doorstroomsnelheid veranderd en/of is de vulling vervangen t.b.v. een analyse van het afgezette verstopingsmateriaal. In juli 1985 is bovendien in afwijking van de gebruikelijke opstelling een MLF met een doorstroomsnelheid van 0,5 m/h in bedrijf genomen.

Uit een vergelijking van de curves van de MLF's onderling en met de weerstandscurves van Flip 1, 2 en 3 blijkt over het algemeen dat de tendenzen in de weerstandsopbouw overeenstemmen, zij het bij de MLF's met een hogere doorstroomsnelheid duidelijk geprononceerder (zie bijv. eerste run MLF's). Perioden met een versnelde toename van de weerstand worden b.v. bij alle MLF's en bij de Flip 1, 2 en 3 teruggevonden.

3.4 Waterkwaliteitsverandering tijdens bodempassage

De doelstellingen van het onderzoek naar de waterkwaliteitsverandering tijdens bodempassage i.h.k. van het Flip-Flop-project zijn als volgt geformuleerd:

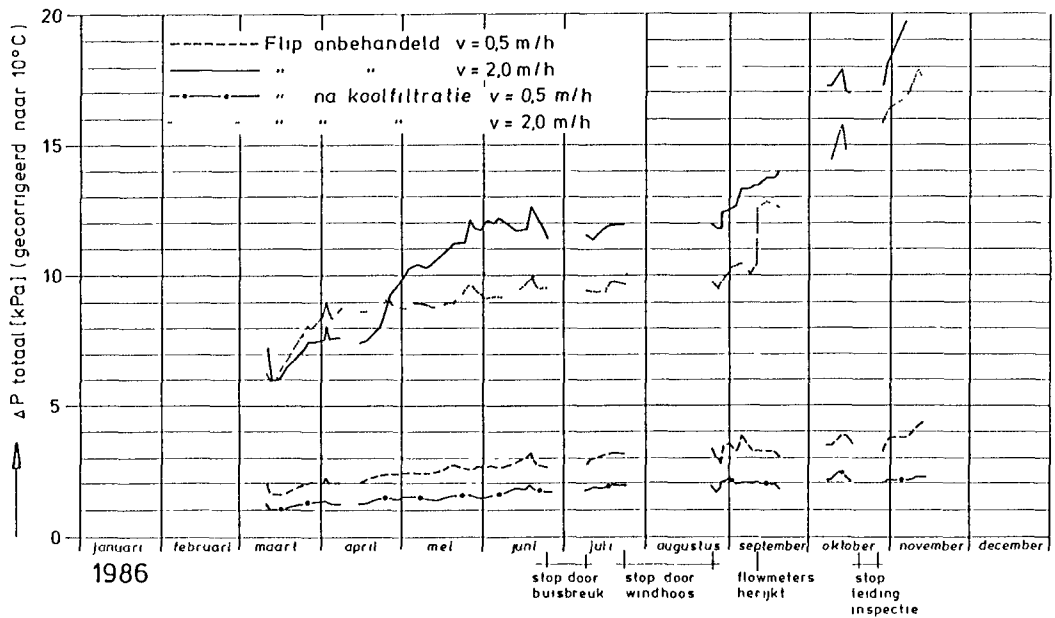
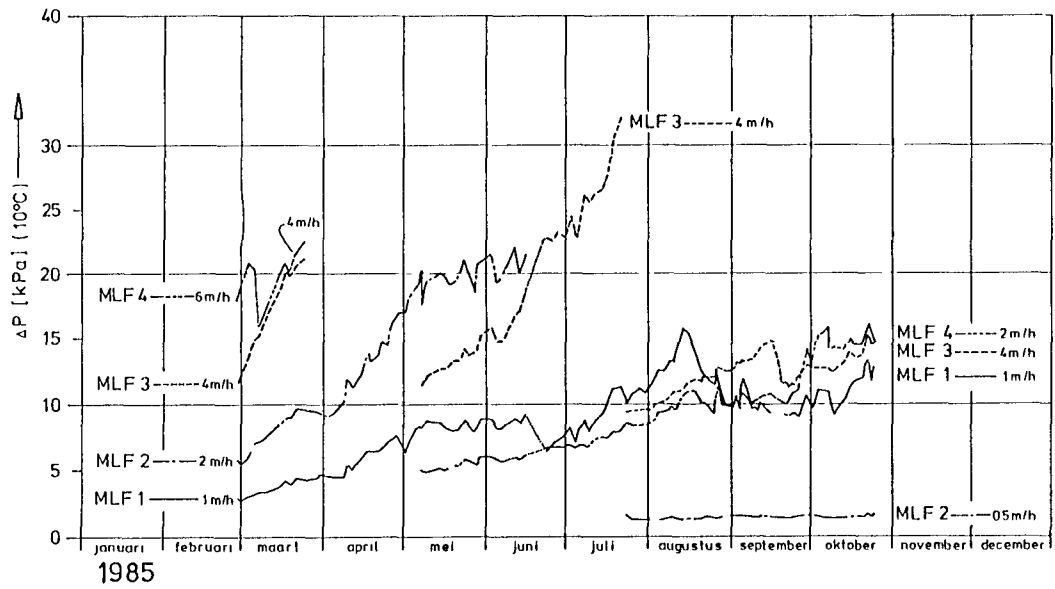
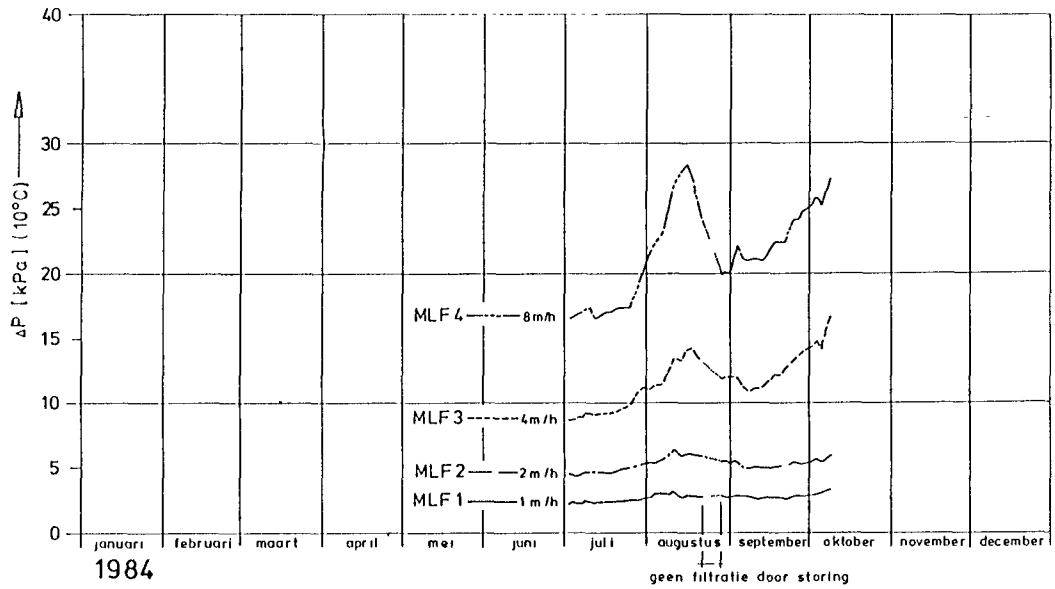
- a. Bevestiging van de verschijnselen ten aanzien van de macroparameters, zoals die bij de DIP en de CIP zijn waargenomen.
- b. Verzamelen van voldoende informatie over de kwaliteitsveranderingen van het water bij bodempassage ten aanzien van de hygiënische aspecten (bacteriën, virussen, anorganische en organische microverontreinigingen).

De conclusies naar aanleiding van bovengenoemde doelstellingen zijn:

1. Bij bodempassage tussen Flip (1, 2, 3) en Flop vinden ten aanzien van de macroparameters in grote lijnen dezelfde processen plaats als bij de projecten DIP en CIP.

Deze processen zijn:

Fig. 12 - Weerstandscurven van meeloopfilters



- a. mineralisatie van organisch stof. Hierdoor treedt in eerste instantie volledige O_2 en NO_3 -reductie op, stijgt het gehalte aan waterstofcarbonaat, ammoniak, ijzer en mangaan en daalt het gehalte aan organisch koolstof en de kleur;
 - b. oxidatie van ijzerzwavelverbindingen. Hierdoor stijgen het gehalte aan sulfaat, ijzer, mangaan en het elektrisch geleidingsvermogen;
 - c. oplossen van $CaCO_3$ als gevolg van de kalkagressiviteit van het geïnfiltreerde water en de CO_2 -productie bij mineralisatieprocessen. Hierdoor verhoogt het gehalte aan calcium, waterstofcarbonaat en stijgen pH en het elektrisch geleidingsvermogen;
 - d. oplossen van mineralen. Als gevolg hiervan neemt het gehalte aan Si, O-P en t-P toe;
 - e. uitwisseling van ionen. Hierdoor zijn Na, K, Mg en mogelijk NH_4^+ en O-P verhoogd. Uitwisseling vindt waarschijnlijk plaats met calcium en mangaan;
 - f. adsorptie en microbiologische anaerobe afbraak van organische microverontreinigingen. Als gevolg hiervan worden alifatische organohalogenen, voorzover aanwezig in Flip, olie en adsorbeerbaar organohalogeën, gevormd tijdens de transportchloring in Brakel en/of Bergambacht, bijna volledig verwijderd;
 - g. verwijdering van micro-organismen. Het meest waarschijnlijke proces is de concurrentiestrijd tussen de in het geïnfiltreerde water aanwezige micro-organismen en in de bodem aanwezige micro-organismen om de beschikbare nutriënten. Volledige verwijdering vindt plaats van aeromonassen en pseudomonassen, terwijl het koloniegetal $22^\circ C$ bij verlengde incubatietijd deels wordt verlaagd. Toenemende aerobie in de bodem heeft hierop geen invloed. Het aantal colifagen neemt af door adsorptie en als gevolg van de afwezigheid van hun gastheer, de colibacterie.
2. Bij bodempassage tussen Flip (1, 2, 3) en Flop worden in eerste instantie organische microverontreinigingen, die in Flip aanwezig zijn, voor bijna 100% verwijderd. Bij toenemende aerobie in de bodem is verminderde reductie mogelijk van $CHCl_3$ -, $CHBrCl_2$ - en $CHBr_2Cl$ -gehalten.

Wat de bacteriologische parameters betreft is er een volledige verwijdering van aeromonassen en een gedeeltelijke verwijdering van pseudomonassen en kggp-22-V tijdens bodempassage. De kggp 22 en 37°C worden verhoogd, maar blijven in dezelfde orde-grootte als de aantallen in het onttrokken water na oppervlak-te-infiltratie in de duinen. Het effect van bodempassage op colibacteriën 37, 44°C, virussen, zware metalen, verschillende organische microverbindingen (PAK, VAK, OCP, CP), toxicologi-sche eigenschappen kon niet worden bepaald daar ze in het geïn-filtreerde water niet aanwezig waren of niet zijn gemeten.

4 EVALUATIE

Een van de belangrijkste doelstellingen van het Flip-Flop-project, nl. het bevestigen dat diepe infiltratie van, d.m.v. coagulatie, flotatie en snelfiltratie voorgezuiverd rivierwater mogelijk is, zonder noemenswaardige verstopping van de putten, leek aanvanke-lijk niet te worden gehaald. De putten Flip 1 en Flip 2 lieten al vrij snel na aanvang van het experiment weerstandstoename zien. Hierbij was de toename van Flip 2 veel sterker dan van Flip 1.

Ook bij het in samenwerking met het KIWA uitgevoerde meeloopfil-teronderzoek was weerstandstoename duidelijk meetbaar.

In het verdere verloop van het Flip-Flop-project is daarom uitge-breed onderzoek gedaan naar de verstoppingsoorzaak (oorzaken). Hierbij is de aandacht geconcentreerd op:

- a. analyse van het verstoppingsgedrag van putten en meeloopfil-ters, inclusief factoren m.b.t. de toegevoerde waterkwaliteit;
- b. analyse van bij regeneratie van Flip 2 afgepompt water en van materiaal afkomstig van de meeloopfilters.

Daarnaast is op basis van de inzichten ontstaan uit het onder-zoek naar de verstoppingsoorzaak, besloten een derde infiltra-tieput Flip 3 te boren waarbij speciale aandacht is besteed aan de boorwijze.

Ad a - Verstoppingsgedrag Flip 1 en 2

Beide putten verstoppem sneller dan verwacht. De weerstandstoename is bij Flip 2 bovendien sneller dan bij Flip 1, ook wanneer wordt gecorrigeerd voor de kortere filterlengte bij Flip 2. De bodemgesteldheid in de watervoerende laag is t.p.v. de twee putten nauwelijks afwijkend. Wel is de pakketdikte bij Flip 1 groter dan bij Flip 2. Bij de pompproef voor aanvang van de infiltratie blijkt de specifieke afpomping bij Flip 2 veel groter dan bij Flip 1.

- Verstoppingsgedrag Meeloopfilters

Ook de meeloopfilters laten een duidelijke weerstandstoename zien. Deze is groter naarmate de (in)filtratiesnelheid groter is. De tendenzen in de curven van de weerstandsofbouw in de infiltratieputten komen overeen met die van de meeloopfilters. Hoe hoger de snelheid, hoe geprononceerder een effect zichtbaar is.

De weerstandstoename in de meeloopfilters lijkt slechts in zeer geringe mate te kunnen worden voorkomen door een extra koolfiltratie van het te (in)filtreren water vooraf.

Daarentegen lijkt een chloordosering van 2,5 mg/l weerstandsofbouw te kunnen voorkomen en reeds aanwezige weerstand te kunnen verlagen tot "schoonbed"-waarde.

- Kwaliteit geïnfiltreerd water

- De weerstandstoename in zowel putten als meeloopfilters lijkt niet te kunnen zijn veroorzaakt door zwevend stof. De MFI heeft bijna voortdurend beneden de grenswaarde van 3 s/l² gelegen. Mechanische verstopping lijkt dus te kunnen worden uitgesloten.

- Verstopping door gasbellen of door chemische neerslagvorming lijkt eveneens te kunnen worden uitgesloten onder de gegeven proefomstandigheden. Ook verstopping door zwelling en dispersie van in de bodem aanwezige kleideeltjes is hier niet waarschijnlijk.

- Bacterie-ontwikkeling in de formatie lijkt echter onder de gegeven omstandigheden m.b.t. infiltratiesnelheid en AOC-gehalte in het te infiltreren water (10 à 20 µgC/l)

eventueel mogelijk. Mechanische verstopping door afgefiltereerde bacteriën is onwaarschijnlijk i.v.m. de geringe aantallen in het te infiltreren water.

- Humusachtige stoffen

Er lijkt een duidelijke, seizoensafhankelijke, relatie te bestaan tussen de MFI en de UV-existentie bij 254 nm.

De UV-extinctie is een maat voor het aantal dubbele bindingen in organische molekulen in het water, welke vooral van humusachtige aard zijn. Er lijkt dus een relatie aanwezig tussen MFI en het gehalte aan humusachtige stoffen. Daar een bepaalde UV-extinctie een somwaarde is, en geen onderscheid maakt naar soort en molekuulgrootteverdeling, is deze relatie niet constant. De samenstelling van de groep humusachtige stoffen verdient de aandacht vanwege de in de literatuur beschreven mogelijkheden van adsorptie aan zand- en kleideeltjes in de bodem, vooral wanneer de organische molekulen in gecomplexeerde vorm (met Fe of Al) aanwezig zijn. Ook kunnen mechanismen als oppervlak-tecomplexatie en kationuitwisseling hierbij een rol spelen.

Ad b - Regeneratie Flip 2

- Bij de kamera-inspectie van de putten, voorafgaand aan de regeneratie van Flip 2, werden slechts schone buiswanden en filterspletten geconstateerd.
- Bij de regeneratie van Flip 2 d.m.v. sectiegewijs afpompen (per sectie van 2 m) bleek uit de onderste sectie zeer veel zwevend materiaal te worden verwijderd. Naarmate hoger in de put werd afgepompt, werd de verwijderde hoeveelheid zwevend stof snel kleiner. Boven in de put was deze nog slechts gering. Dit kan worden afgeleid uit de troebelheids-metingen in het afgepompte water en uit de geanalyseerde monsters.
- Er bleek een duidelijke relatie tussen het zwevend stofgehalte en de troebelheid in het afgepompte water. Ditzelfde geldt voor het ijzer- en aluminiumgehalte, het COD en het gloeiverlies. Het zwevend stofgehalte kan met het gevonden ijzer, aluminium en gloeiverlies slechts voor 60 à 70% worden verklaard.

- Bij de regeneratie van Flip 2 is er nog een, waarschijnlijk voor de verstopping sterk bepalend verschijnsel geconstateerd. Bij de flowmeting voor de regeneratie bleek dat de onderste helft van de put nauwelijks infiltreerde. Na de regeneratie d.m.v. sectiegewijs afpompen was dit vrijwel onveranderd. Desondanks is bij het afpompen een grote hoeveelheid kleisuspensie verwijderd, vooral uit de onderste helft, die verantwoordelijk gesteld kan worden voor de snelle verstopping. De verklaring voor de aanwezigheid van deze kleisuspensie moet worden gezocht bij de boorwijze van de putten. Doordat t.p.v. de putten (bij Flip 2 in sterkere mate dan bij Flip 1) het maaiveld een aantal meters boven de grondwaterspiegel lag, was de inzigging van boorwater tijdens het uitvoeren van de boring in het pakket zeer sterk. Daarnaast werd tijdens het boren de natuurlijke boorspoeling gerecirculeerd, weliswaar via een bezinkbak voor zand en grind. Dit had tot gevolg dat bij het doorboren van de boven het te infiltreren watervoerende pakket liggende (ca. 10 m dikke) kleilaag de boorspoeling zeer sterk met niet bezinkbare kleisuspensie werd verontreinigd. Na het passeren van deze kleilaag en bij het doorboren van daaronderliggende watervoerende zandlaag, infiltreerde aldus met hoge snelheid een met klei verontreinigde boorspoeling. De hierbij afgezette klei heeft de poriën tussen het zand blijvend verkleind c.q. verstopt. Dat dit materiaal inderdaad uit de bovenliggende kleilaag kwam bleek uit de vergelijking van het zwevend stof in het bij de regeneratie afgepompte water, met een monster klei uit de bovenste laag. In beide werd een zelfde skala aan fossiele diatomeeresten van marine oorsprong aangetoond.

Doordat een sterke verstopping in de onderste helft van Flip 2 plaatsvond, heeft de bovenste helft een bijna tweemaal zo grote infiltratiesnelheid gehad dan was voorzien. Het is dus goed voorstelbaar dat de AOC-belasting van $10 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ bij infiltratie plaatselijk voortdurend is overschreden en dat dus een voor bacterie-ontwikkeling geschikt milieu aanwezig was. Daarnaast waren de poriën

verkleind door kleideeltjes die op zich als adsorbens voor humusachtig materiaal kunnen dienen.

- Bacteriologisch onderzoek in het afgepompte water laat een vrij constant koloniegetal zien, dat geen relatie vertoont met het zwevend stofgehalte en op zich vrij laag is (ca. 10^4 /ml bij verlengde incubatie).

De ATP-gehalten laten geen relatie met COD, gloeiverlies of koloniegetallen zien. Zowel koloniegetallen als ATP-getallen geven niet de indruk dat het aantal bacteriën in de put dermate hoog is geweest, dat dit de overheersende verstoppingsoorzaak kan worden genoemd. De extracellulaire slijmdraden die door hydrofobe bacteriën worden afgescheiden, kunnen echter een grote invloed hebben.

- Onderzoek materiaal meeloopfilters

- Onderzoek van het materiaal van de meeloopfilters heeft aangetoond dat naast een hoeveelheid bacteriën ook een ruime hoeveelheid organisch materiaal aanwezig was. Een hoeveelheid die naar alle waarschijnlijkheid te groot is om alleen door bacteriën te zijn veroorzaakt, ook als de extracellulaire slijmdraden en afvalproducten van de bacteriën worden meegerekend.

Verstoppend materiaal in de vorm van een restant vlokmiddel dat met het geïnfiltreerde water is geïntroduceerd, werd bij de meeloopfilters nauwelijks aangetoond.

- De verstopping lijkt bij de meeloopfilters te zijn veroorzaakt door een combinatie van bacteriegroei en vorming van afscheidings- en afbraakproducten daarvan, in combinatie met adsorptie van humusachtig materiaal. De verantwoordelijke bacteriën zijn zeer waarschijnlijk van het hydrofobe type. Er lijkt een verband met de (in-)filtratiesnelheid aanwezig. Dit komt overeen met het KIWA-onderzoek, waaruit blijkt dat de AOC-belasting per m^2 en per uur een maatstaf vormt. Bij meer dan ca. 10 mg AOC/($m^2 \cdot h$) is verstopping door bacteriën in principe mogelijk. Bij de MLF-proef is bij ca. 10 μ g/l aan AOC en bij $V = 0,5$ m/h aan deze voorwaarde niet voldaan. Het op deze wijze bedreven meeloopfilter had zeer weinig weerstands-

opbouw. Bij filters met hogere snelheden werd meer opbouw gemeten naarmate de snelheid hoger was.

- Flip 3

Op basis van de inzichten omtrent de oorzaak van de snelle verstopping van Flip 3 is eind 1985 na de tweede infiltratierun besloten tot de aanleg van een derde infiltratieput Flip 3 op enige afstand van Flip 2 (zie fig. 2).

Bij de aanleg is gekozen voor een andere boorwijze. In afwijking van de eerdere aanleg van Flip 1 en 2 is bij het boren, na het bereiken van het te infiltreren watervoerend pakket de recirculerende boorvloeistof in z'n geheel vervangen door uit de nabij gelegen snelfilters afkomstig snelfiltraat. Bovendien is de recirculatie gestaakt, vond er een continu aanvoer van snelfiltraat plaats en werd de boorvloeistof na bezinking geloosd op de spoelwaterplas.

Na het afwerken van Flip 3 is de put getest d.m.v. een proefpomp en door het uitvoeren van een flowmeting.

De resultaten hiervan staan vermeld in tabel 1 en in fig. 6.

Het gunstige resultaat van de aangepaste boormethode valt af te lezen uit een vergelijking van de flowmeting van Flip 3 met die van Flip 2. De beide infiltratiefilters bevinden zich in het zelfde watervoerende pakket op een onderlinge afstand van slechts 7 m. Uitgaande van een vergelijkbare bodemopbouw blijkt de verdeling van de infiltratiesnelheid over de boorgatwand in het geval van Flip 3 veel gelijkmatiger te zijn en draagt het gehele filter bij aan de infiltratie van het voorgezuiverd rivierwater.

Uit de specifieke afpompingscurve van Flip 3 in vergelijking met Flip 2 volgt een verbetering van ca. 30%.

Uit de gecorrigeerde verstoppingscurve van Flip 3 in vergelijking met Flip 1 en 2 blijkt duidelijk dat een vergelijkbare hoeveelheid geïnfiltreerd voorgezuiverd rivierwater Flip 3 veel minder weerstand heeft opgebouwd dan de andere putten.

- Resumerend

- a. De verstoppingsoorzaak voor de infiltratieputten Flip 1 en vooral Flip 2 moet worden gezocht in porieverstopping door kleideeltjes tijdens het boren, in combinatie met bacterie-ontwikkeling en adsorbtie van humusachtig materiaal tijdens de infiltratie.
- b. Het is belangrijk dat tijdens de aanleg van een infiltratieput het circulerende boorwater zo schoon mogelijk is. Sterke verontreiniging hiervan met b.v. klei- en slibdeeltjes, kan de poriën van de formatie blijvend verstoppen en de levensduur van de put aanzienlijk bekorten.
- c. De infiltratieput Flip 3 laat een significant minder snelle verstopping zien dan Flip 1 en 2. Tijdens het boren van Flip 3 is gewerkt met niet circulerend boorwater en als bron voor het boorwater werd gebruik gemaakt van snelfiltraat. (Snelfiltraat is water afkomstig van de snelfilters op het pompstation te Scheveningen.)
- d. De verstoppingsoorzaak bij de meeloopfilters moet worden gezocht in een combinatie van bacterie-ontwikkeling en adsorbtie van humusachtige stoffen.

5 LITERATUUR

- BUIJINCK P.L., H.G. DE JONGE (oktober 1987); Het Flip-Flop-project: diepinfiltratie van vorgezuiverd maaswater bij de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage. Deelrapport B: putverstopping en regeneratie.
- EEM, J.P. VAN DER; Bepaling van de genormeerde verstoppingssnelheid bij infiltratie, 1989
- HOEK E. (Stagerapport, oktober 1985); Achterhalen oorzaak verschil verstoppingssnelheid flotatie infiltratieputten.
- HUYBOOM, G.S.; Ervaringen met diepinfiltratie: KIWA-mededeling 79, pag. 249-271: "Diepinfiltratie bij de Duinwaterleiding".

JONGE H.G. DE (februari 1982); Flotatie infiltratie- en flotatie onttrekkingsexperiment (Flip-Flop) bij de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage.

KNOL, A.H. & P.L. BUIJINCK (november 1985); Het Flip-Flop-project: deelrapport 1: Ervaringen met de voorzuivering gedurende het eerste jaar t/m augustus 1985.

RUTTE, M.; Het Flip-Flop-project: deelrapport 2: Kwaliteitsverandering van het voorgezuiverde Maaswater bij bodempassage, september 1987.

RIJSDIJK, A.; Geochemisch onderzoek van zandmonsters uit een diep te infiltreren watervoerend pakket ten behoeve van het Flip-Flop-project, 1984.

TEKST2000/KIWPC64/001

mei 1989

DIEPINFILTRATIE BIJ DE DUINWATERLEIDING VAN 'S-GRAVENHAGE (KIP)

H.G. de Jonge

m.m.v. P.L. Buijinck

1 INLEIDING

1.1 Algemeen

Zoals vermeld in de DWL-bijdrage in dit rapport, die handelt over het Flip-Flop-experiment, werden de eerste experimenten met diep-infiltratie reeds in de jaren vijftig uitgevoerd. Hierbij lag het accent op het zoeken naar methoden om de zoetwatervoorraad in het diepe pakket sneller en gericht aan te vullen. Hoewel vervolgens in de experimenten in de jaren zeventig en tachtig (DIP, CIP en Flip-Flop) het accent van het onderzoek steeds meer kwam te liggen op het ontwikkelen van een t.o.v. oppervlakte-infiltratie alternatieve productietechniek, is in de eerste helft van de jaren tachtig een experiment uitgevoerd dat qua doelstelling meer past bij de onderzoeken uit de jaren vijftig. Bedoeld wordt het zgn. Kaswetering Infiltratie Put (KIP-)experiment.

1.2 Doelstellingen van het diepinfiltratie-experiment KIP

In het kader van het KIP-experiment is onderzocht in hoeverre het mogelijk is om:

- a. Met behulp van diepinfiltratie te voorkomen dat de zich landinwaarts bewegende brakke "golf"water, afkomstig uit het gebied van de hoofdader, over een aantal jaren binnen de onttrekkingszone van de diepe puttenserie's Bierlap en Kijfhoek komt te liggen.
- b. Zonder verdere voorbehandeling het met de diepe puttenserie Kaswetering II onttrokken water te gebruiken voor diepinfiltratie door middel van putten elders in het duingebied, ten behoeve van het verwezenlijken van de hiervoor onder a genoemde

doelstelling (Het uitvoeren van een "retourbemaling".)

2 BESCHRIJVING VAN DE PROEFOPSTELLING

2.1 Aanvoer en infiltratie

Als locatie voor de infiltratieputten is gekozen voor de diepe puttenserie B. Bij de renovatie van deze puttenserie in 1982/83 zijn een zestal productieputten tevens geschikt gemaakt voor infiltratie. Hoewel de in par. 1.2 onder a genoemde doelstelling de hoofddoelstelling was, is in het kader van het KIP-experiment in eerste instantie gekozen voor het onderzoeken van de mogelijkheid om zonder verdere voorbehandeling het met de diepe puttenserie Kaswetering II gewonnen water te infiltreren in één van de bovengenoemde zes diepe putten. Gekozen is voor put 6 in verband met de ligging ervan vlak bij waarnemingspost BZ. Voor de locatie van de diepe puttenserie Bierlap en Kaswetering II, alsmede van de waarnemingspost BZ, zie fig. 1. De putconstructie en de aansluiting van de infiltratieleiding is weergegeven in fig. 2.

2.2 Bodemopbouw en geohydrologische schematisatie

De bodemopbouw ter plaatse van de proefopstelling stemt globaal overeen met het beeld zoals dat geldt voor het Haagse duingebied. Het pakket waarin is geïnfiltreerd wordt aan de bovenzijde begrensd door holocene klei- en veenlagen. Aan de onderzijde bevinden zich matig ontwikkelde kleilagen en -laagjes, behorende bij de Formaties van Kedichem en Tegelen.

Een schematische dwarsdoorsnede van de geohydrologische opbouw ter plaatse van de Kasweteringinfiltratieput (KIP) is weergegeven in fig. 3.

3 RESULTATEN

De infiltratie van het met de diepe puttenserie Kaswetering II gewonnen water in put 6 van serie B is gestart op 25 oktober 1983. Het experiment is gestaakt per 19 november 1985.

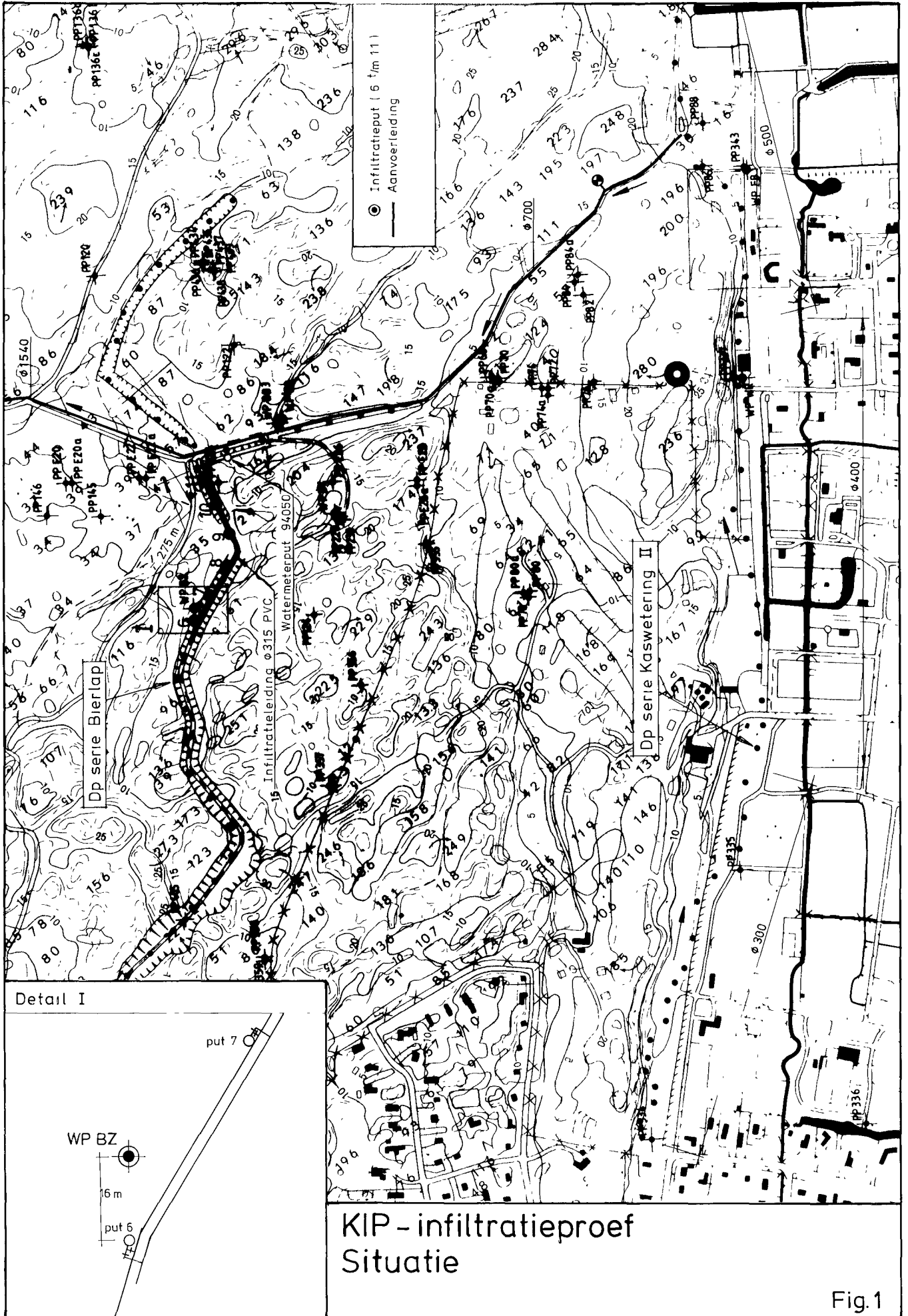


Fig.1

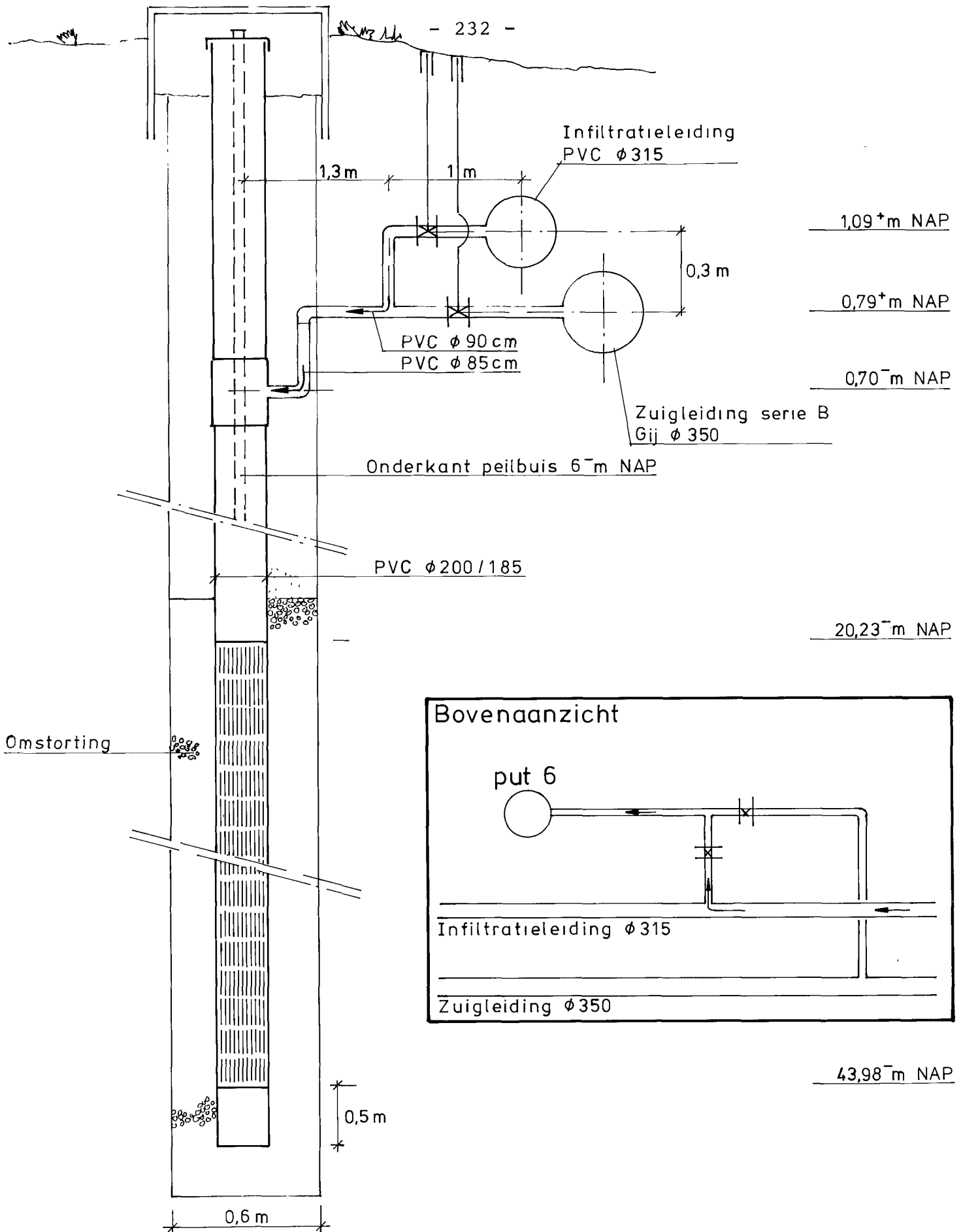


Fig. 2 - Doorsnede infiltratieput 6 serie Bierlap

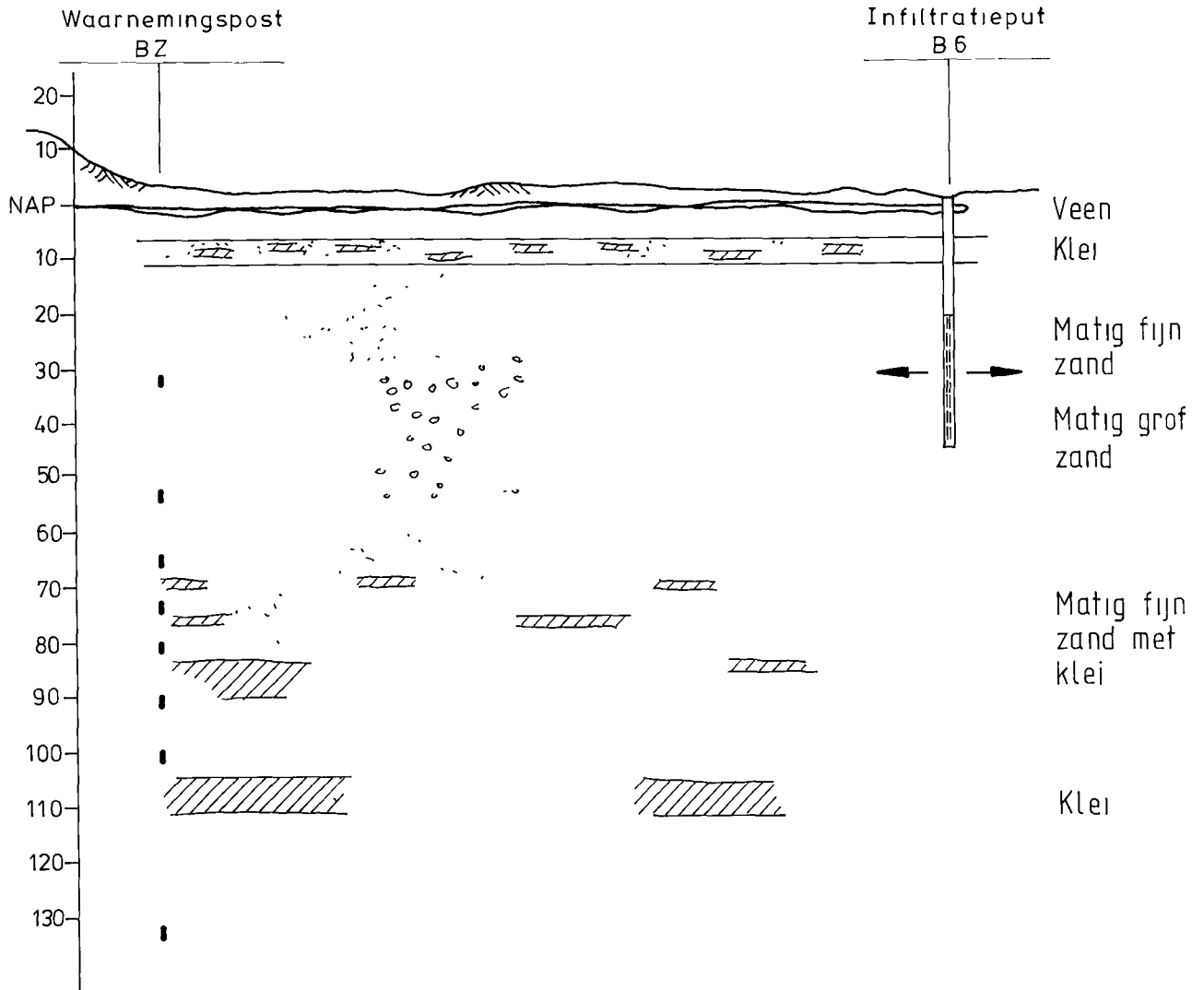


Fig. 3 - Geo(hydro)logisch dwarsprofiel proeflokatie

Er werd geïnfiltriseerd met een volumestroom van gemiddeld $35 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit houdt een gemiddelde infiltratiesnelheid op de boorgatwand in van circa $0,8 \text{ m/h}$.

Gedurende de looptijd van de proef heeft monitoring plaatsgevonden, enerzijds gericht op de bewaking van het verstoppingsgedrag van de infiltratieput, anderzijds om de lokale verdringing van het brakke water in de diepere ondergrond te volgen.

In fig. 4 is het gemeten waterstandsverschil tussen infiltratieput en controlepeilbuis, gecorrigeerd voor temperatuur en volumestroom weergegeven, uitgezet tegen de tijd. Dezelfde, naar een standaardtemperatuur omgerekende verstoppingsmaat per eenheid van volumestroom maar dan uitgezet tegen het geïnfiltriseerde volume is eveneens in figuur 4 gepresenteerd.

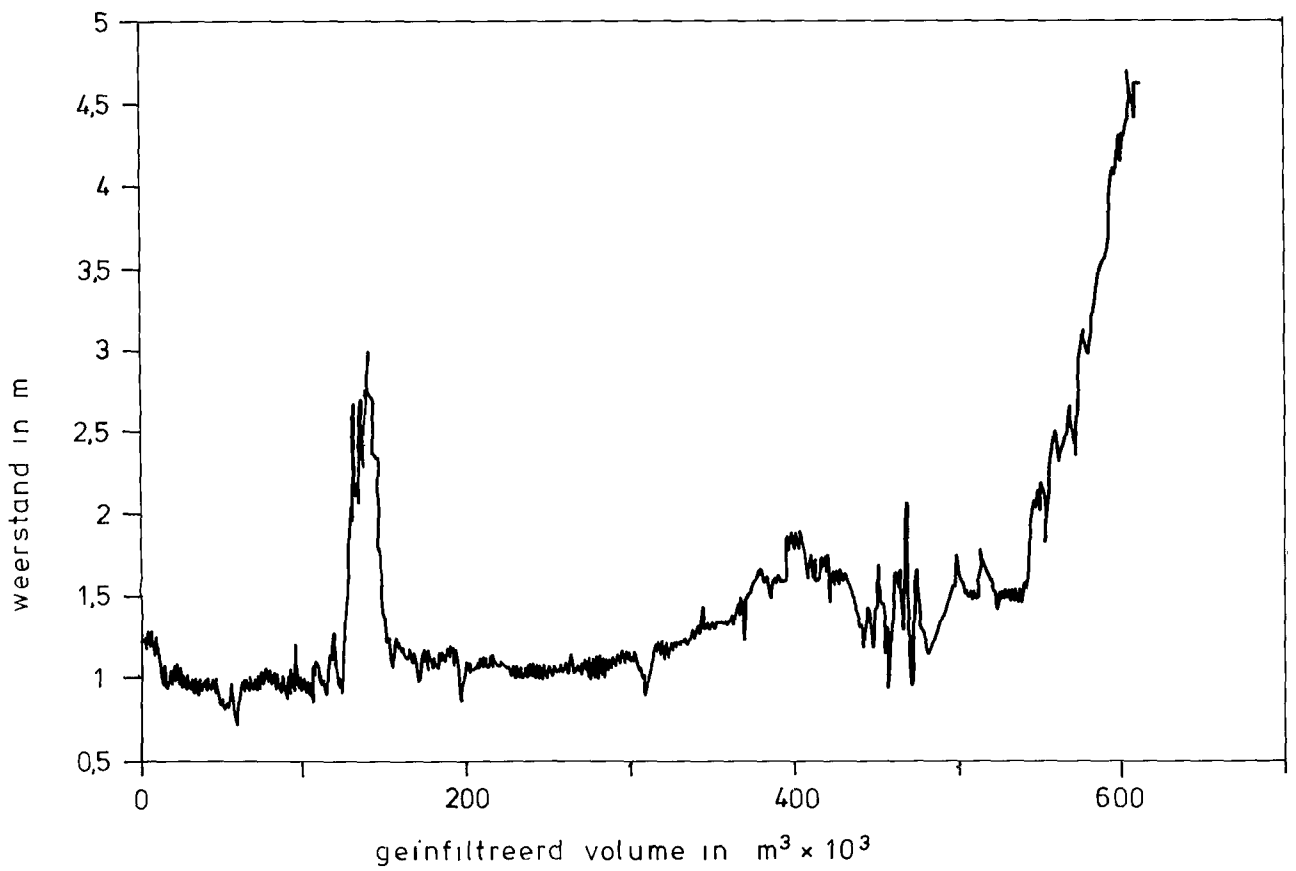
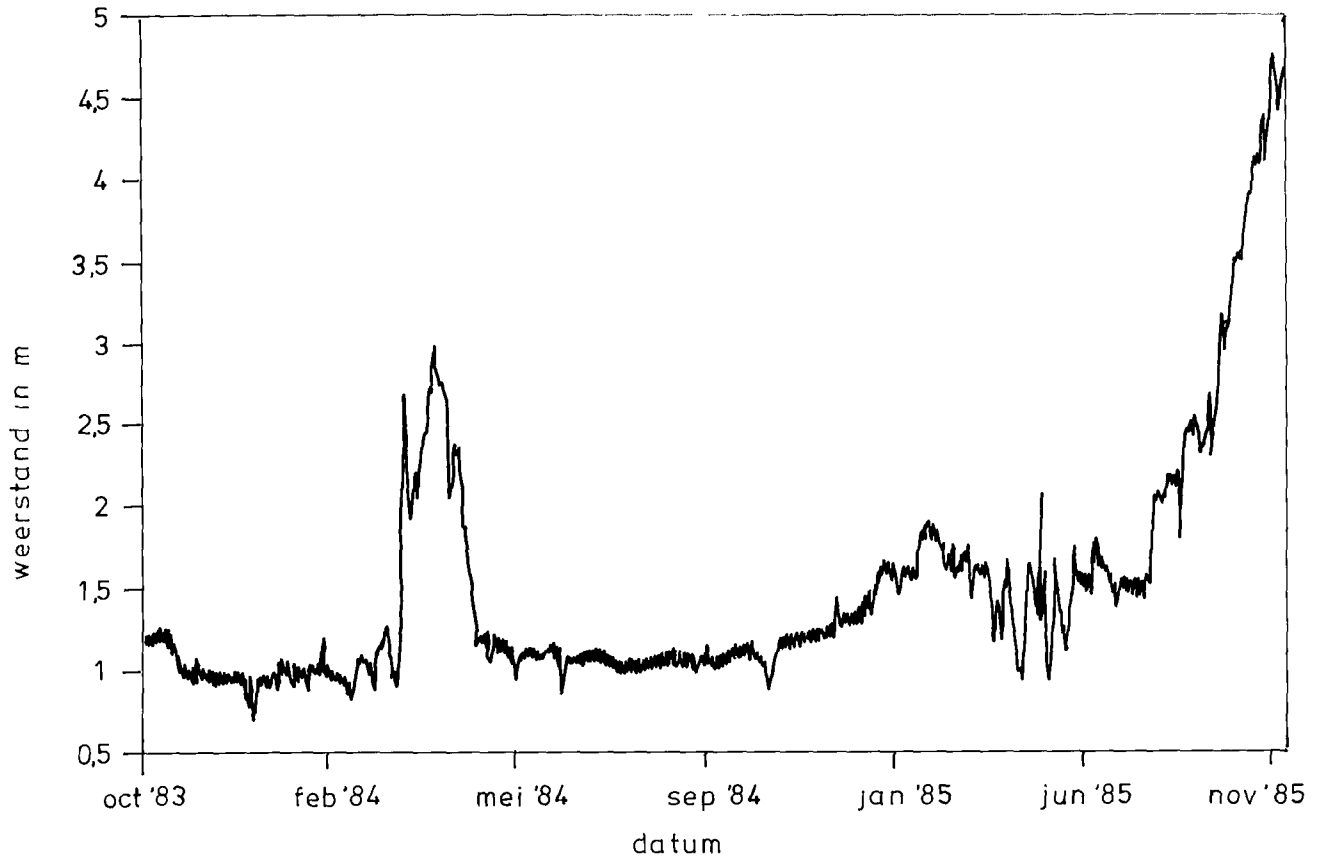


Fig. 4 - Het gemeten waterstandsverschil tussen infiltratieput en controlepeilbuis

In fig. 5 is de verandering van het Cl^- -gehalte in een aantal filters van waarnemingspost BZ weergegeven, zowel gedurende de proefperiode als daarna.

In fig. 6 zijn gegevens omtrent de kwaliteit van het geïnfiltreerde water weergegeven. Het betreft de kwaliteitsparameter MFI.

4 CONCLUSIES

- Het is mogelijk gebleken zonder verdere voorzuivering circa 500.000 m³ van het met de diepe puttenserie Kaswetering II onttrokken water elders in het duingebied in een diepe put te infiltreren, zonder dat daarbij een snelle verstopping optreedt. Wel is het belangrijk dat het van de onttrekkingslocatie naar de infiltratielocatie over een afstand van ongeveer 3,2 km getransporteerde water nergens belucht wordt. Nadat er totaal circa 600.000 m³ was geïnfiltreerd is het experiment gestaakt in verband met de op dat moment wél te hoog opgelopen weerstand.
- Er is een duidelijke verlaging van het Cl^- -gehalte geconstateerd in de filters van de bovenstrooms van de infiltratielocatie gelegen waarnemingspost BZ. In hoeverre hiermee kan worden voorkomen dat de "brakwatergolf" op den duur binnen de onttrekkingszone van de diepe puttenserie's Kijfhoek en Bierlap komt te liggen, vereist een verdere studie. Op korte termijn wordt een dergelijke haalbaarheidsstudie niet overwogen.

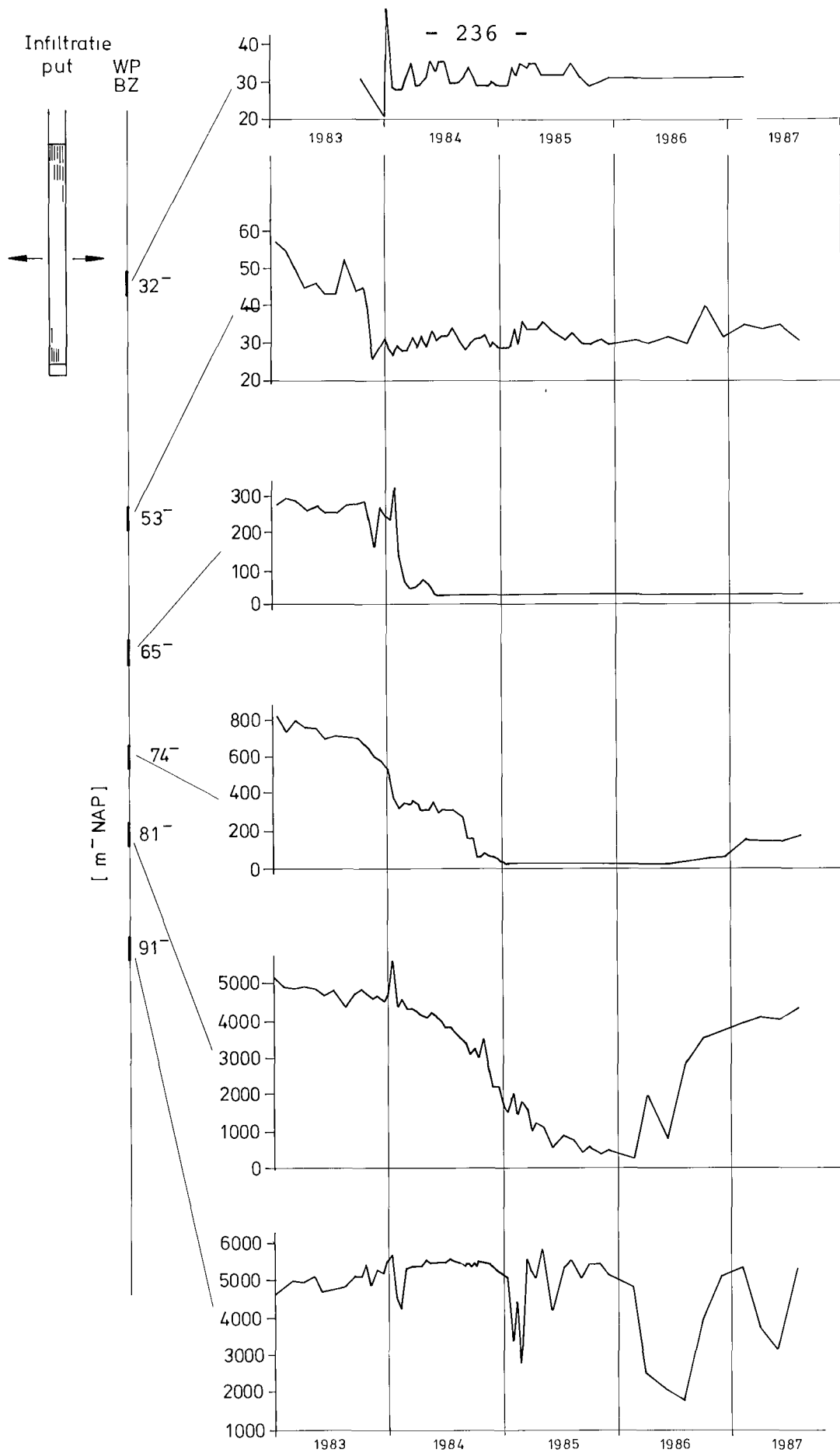


Fig. 5 - Verandering Cl^- -gehalte in een aantal filters van waarnemingspost BZ

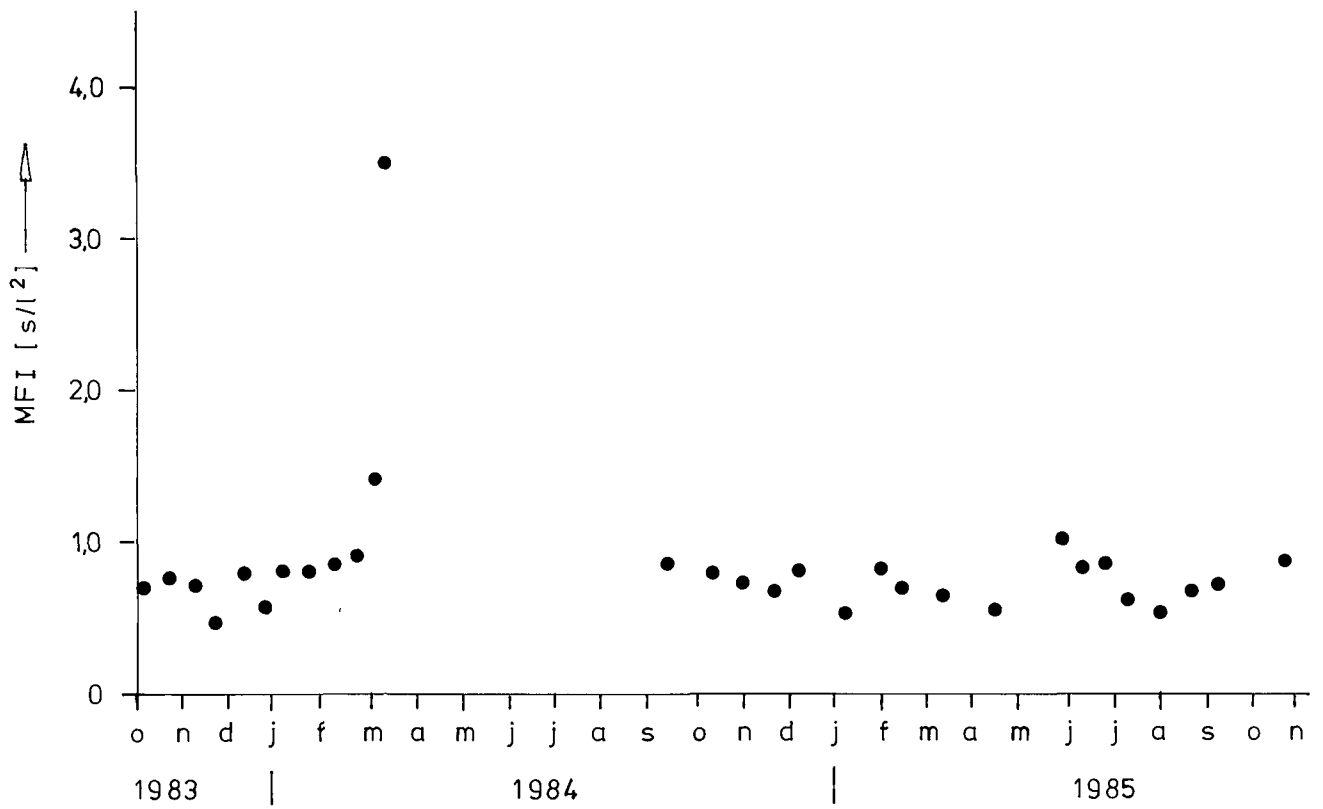


Fig. 6 - MFI geinfiltrerd water

