

PUTVERSTOPPING
DOOR IJZERNEERSLAGEN
TE CASTRICUM

door

E.J.M. Kobus en
W.J. Vlasblom

Mededeling nr. 38 van het KIWA

Rapport van de
werkgroep putverstopping

Rijswijk, april 1975

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1. SAMENVATTING	3
2. SUMMARY	8
3. INLEIDING	12
4. BESCHRIJVING VAN HET INFILTRATIEGEBIED	14
5. DE GEOLOGISCHE OPBOUW VAN DE ONDERGROND	16
6. HET STROOMBEELD	18
7. HYPOTHESES TEN AANZIEN VAN DE OORZAAK VAN DE PUTVERSTOPPING	20
8. EXPERIMENTEN EN RESULTATEN	24
8.1 Fysisch-chemisch onderzoek	24
8.1.1 Zuurstofanalyses	26
8.1.2 Ferroanalyses	30
8.2 Vergelijkend onderzoek van verschillende put- constructies	34
8.2.1 Proeven met objectglaasjes in de putten 317, 314 en 319	37
8.2.2 Pompproeven op de putten 317, 314 en 319	44
9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	48
LITERATUUR	50
BIJLAGE I	51

1. SAMENVATTING

- Door de Werkgroep Putverstopping van het KIWA is in samenwerking met het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland (PWN) een onderzoek ingesteld naar de oorzaak van de verstopping van waterwinningsputten in het infiltratiegebied van het PWN te Castricum. De infiltratie van gefiltreerd (en sinds medio 1974 gecoaguleerd) oppervlaktewater vindt hier plaats door middel van een 14-tal panden met een breedte van ± 30 m. Op 80 m uit het hart van de panden liggen op een onderlinge afstand van 10 m, circa 750 waterwinningsputten, bestaande uit ondiepe boringen, die aangesloten zijn op een centrale zuigleiding. De specifieke opbrengst van de putten bedraagt circa $5 \text{ m}^3/\text{h}$. De putten hebben het putfilter in het algemeen tussen 4 en 9 meter beneden NAP, terwijl het maaiveld op circa 3 m boven NAP ligt. Ter plaatse van de putfilters komen afzettingen van Calais (de vroegere zeebodem) voor, die bestaan uit fijne zanden waarvan het onderste gedeelte, van 22 tot 6 à 7 meter beneden NAP sterk slibhoudend is. De gemiddelde verblijftijd van het geïnfiltreerde water bedraagt circa 6 weken.
- Ten einde een globale indruk te krijgen van de stroming van het water uit de panden naar de putten is het stroombeeld van het infiltratiewater met de eindige elementenmethode berekend. Hieruit kan worden afgeleid dat omstreeks 20% van het geïnfiltreerde water via het slibhoudende gedeelte

van de formatie van Calais naar de putten stroomt. De gemiddelde verblijftijd van dit diepere water is zeer globaal een faktor 20 groter dan die van het water dat via het niet slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais naar de putten stroomt.

- Door middel van analyses van het water in een groot aantal waarnemingsputten tussen de panden en de waterwinningsputten is duidelijk geworden, dat drie duidelijk onderscheiden watersoorten door de putten worden aangetrokken, te weten van boven naar beneden:

- 1) aeroob ijzervrij natuurlijk en/of kunstmatig geïnfiltreerd water;
- 2) anaeroob ijzervrij kunstmatig geïnfiltreerd water dat de putten via het niet slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais bereikt;
- 3) anaeroob ijzerhoudend kunstmatig geïnfiltreerd water uit het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais.

- Uit het verdere onderzoek is naar voren gekomen dat de meest waarschijnlijke oorzaak van de putverstopping in Castricum de volgende is:

Het ijzerhoudende anaerobe water dat de putten via het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais bereikt, stroomt in de putten naar boven en ontmoet boven in de putfilters het aerobe ijzervrije water dat daar de filterspleten binnenstroomt. Aangezien de stroming bij een putdebiet van $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ of hoger nagenoeg over de gehele lengte van het putfilter turbulent is,

mengen het aerobe en het ijzerhoudende water, waarbij een milieu ontstaat dat bij uitstek geschikt is voor de ontwikkeling van ijzerbacterien. Deze bacterien hechten zich op de wand van het putfilter en veroorzaken een versnelde afzetting van ferrineerslagen, die de bovenste filterspleten verstoppen. De stroombanen van het bovenste aerobe water moeten nu naar beneden afbuigen zodat de menging met het anaerobe ijzerhoudende water bij dieper gelegen filterspleten plaatsvindt, waardoor ook deze verstoppen. De verstopping breidt zich daarbij langzamerhand uit tot op plaatsen waar de ijzerbacterien ten gevolge van volledige anaerobie niet meer kunnen leven.

- Tijdens het onderzoek is de verstopping in een PWN-winningsput met een onvolkomen filter vergeleken met die in een put, waarvan het putfilter tot in de onverzadigde zone reikte, en waaruit het water onttrokken werd met behulp van een haalbuis die doorliep tot ongeveer 7 meter beneden NAP. De gedachte was dat bij deze putconstructie het diepere anaerobe water in het putfilter naar boven zou stromen en het ondiepe aerobe water naar beneden, totdat beide watersoorten elkaar bij de onderkant van de haalbuis ontmoeten. Menging van beide watersoorten en precipitatie van ijzer zou dan niet in de filterspleten maar vlak onder en in de haalbuis optreden. Uitgangspunt hierbij was dat een verstopping van de haalbuis veel eenvoudiger te verhelpen zou zijn dan een verstopping

van de filterspleten. Door op verschillende plaatsen in de putfilters plaatjes te hangen waarop de hoeveelheid ijzerner slag na verloop van tijd gemeten kon worden, is aannemelijk gemaakt dat de hierboven gevolgde gedachtengang juist is en dat deze putconstructie uit oogpunt van verstopping te verkiezen is boven de bij het PWN gebruikelijke putconstructie.

- Uitgaande van deze ervaringen wordt in bijlage 1 een voorstel gedaan om in de bestaande putten een PVC pijp te hangen, waardoor een gescheiden winning van het aerobe en het ijzerhoudende water gerealiseerd kan worden. Naar alle waarschijnlijkheid kan de putverstopping op deze wijze voorkomen worden, ook zonder dat het risico bestaat dat de PVC pijp snel verstopt.
- Uit een aantal pompproefjes die gedurende 15 maanden op een intensief geregenereerde PWN put zijn uitgevoerd, is gebleken dat de verstopping van de PWN putten veel langzamer verloopt dan bij de aanvang van het onderzoek gedacht werd. Na 15 maanden was de filterweerstand slechts met ongeveer 30 cm Wk toegenomen bij een debiet van $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit lijkt in strijd met het feit, dat de putten in Castricum gemiddeld een à twee maal per jaar geregenereerd worden. De mening van de Werkgroep is dat de regeneratiemethode die in het verleden bij het PWN werd toegepast, en die bestond uit het schoonborstelen van de put, gevolgd door het verwijderen van het losgemaakte slib, weinig effect

sorteerde. Het gevolg hiervan was dat de ver-
stopping van de putten steeds verder voortschreed,
waardoor op den duur een zeer frequente regenera-
tie noodzakelijk werd. Tijdens het onderzoek heeft
het PWN een veel effectievere regeneratiemethode
toegepast, bestaande uit het beurtelings onttrek-
ken en weer terugpompen van het water in de put.

2. SUMMARY

- Investigations have been carried out by the Working Committee on Well-clogging into the cause of the clogging of wells in the infiltration area of the Provincial Waterworks of North-Holland (PWN) at Castricum. The infiltration of filtered (and since about the middle of 1974 coagulated) surface water is carried out by means of 14 canals with a width of about 30 m. At a distance of 80 m from the centre of the canals and with a distance of about 10 m between them, there are about 750 vertical wells connected to a common suction system. The average specific discharge of the wells is $5 \text{ m}^3/\text{h}$. The screen of the wells is located between 4 and 9 m below O.D., whereas the ground level is generally situated 3 m above O.D. The well screens are placed in deposits of the Calais formation (former sea bottom) consisting of fine sands, of which the lowest part from 22 to 6 or 7 m below O.D. consists mainly of clayey sands. The average detention time between the infiltration canals and the wells is about 6 weeks.
- In order to get a rough impression of the groundwater flow from the canals to the wells, the flow pattern of the infiltrated water has been calculated with the finite elements method. From this it can be derived that about 20 per cent. of the infiltration water flows to the wells through the clayey sands of the Calais formation. The average detention time of this deeper water is very roughly

a factor 20 longer than that of the water reaching the wells through the upper part of the Calais formation.

- By analysing the water in a large number of observation wells between the canals and the wells it became clear that three different types of water enter the wells:
 1. aerobic iron free naturally and/or artificially infiltrated water;
 2. anaerobic iron free artificially infiltrated water that reaches the well via the upper part of the Calais formation;
 3. anaerobic iron containing artificially infiltrated water, reaching the wells via the clayey sands in the lower part of the Calais formation.
- From further investigations it appeared that the cause of the well clogging in Castricum is most likely the following:

The anaerobic water of type 3 enters the lower part of the well and flows upwards to the top of the well screen where it meets the aerobic water of type 1, that flows in through the screen slots. Where the two types of water meet, the environment is pre-eminently suited to the growth of iron bacteria. Under the influence of these bacteria an accelerated deposit of iron precipitates will take place, clogging the upper screen slots. The upper aerobic water must now enter the well at a lower place, so that the lower screen slots will clog in turn. The clogging will gradually extend until

places are reached where the iron bacteria cannot live anymore.

- During the investigation the clogging in a partial penetrating well has been compared with the clogging in a fully penetrating well with a well screen reaching the unsaturated zone. The water was pumped from this well by means of a suction pipe, reaching to about 7 m below O.D. It was thought that with this well construction the deeper anaerobic water would flow upwards in the well and the shallow aerobic water downwards until both types of water would meet at the bottom of the suction pipe. Mixing of both types of water and precipitation of iron would then not occur in the screen slots as before but just under or inside the suction pipe. The basic idea was that the clogging of the suction pipe would be much easier to remedy than the clogging of the screen slots. By hanging slides in various places in the well screen the quantity of iron precipitated during a certain interval of time could be easily measured. In this way it was found that the above mentioned train of thoughts is probably right and that from the point of view of clogging this well construction is to be preferred to the one used by PWN.
- From a number of pumping tests carried out during the last 15 months on an intensively cleaned PWN well, it appeared that the clogging of the PWN wells is a much slower process than had been expected at the beginning of this investigation. After 15 months

the screen resistance increased only by about 30 cm water column at an output of about 4 m³/h. This seems to be in contradiction to the fact that the wells at Castricum have to be cleaned once or twice a year. The Working Committee is of the opinion that the regeneration method applied by PWN was not very effective so that gradually increasing clogging of the well led in the long run to a very frequent cleaning.

3. INLEIDING

Aanleiding tot het verrichten van onderzoek naar de putverstopping in het infiltratiegebied van het PWN te Castricum waren de resultaten van een in 1968 door het KIWA gehouden enquête onder de Nederlandse waterleidingbedrijven, die grondwater distribueren. Uit deze enquête is gebleken dat bij circa 46% van de geënquêteerde bedrijven regelmatig putten worden geregenereerd. De meest voorkomende oorzaak van putverstopping bleek de afzetting van ijzerneerslagen in de omstorting van de putten en in de filterspleten te zijn.

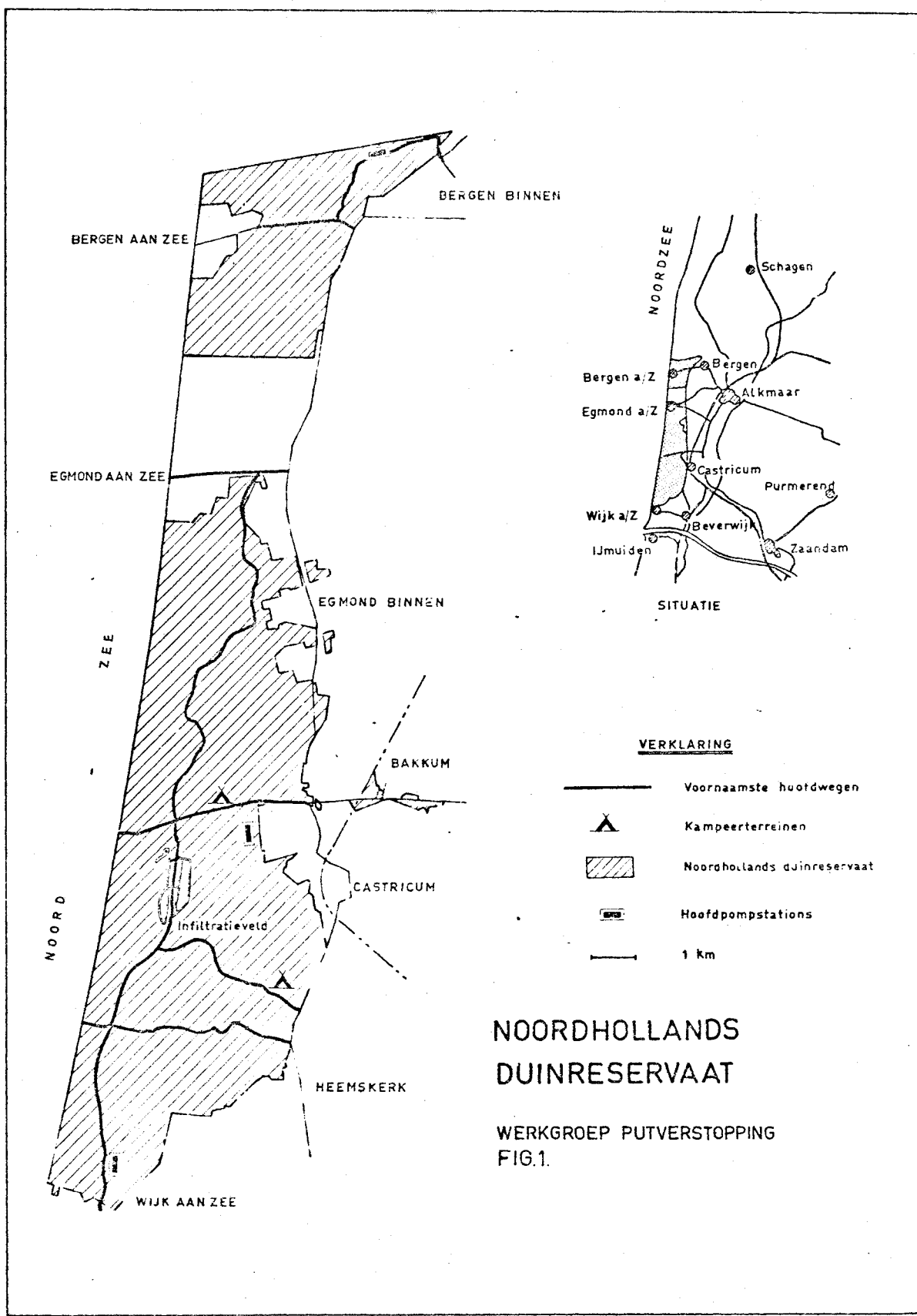
Ook in Castricum werd de putverstopping door ijzerafzettingen veroorzaakt. De vermindering van de opbrengst van de putten verliep daarbij zo snel, dat de putten één à twee maal per jaar geregenereerd werden door het aanwezige ijzerslib los te borstelen en te verwijderen. Juist gezien het snelle karakter van deze verstopping heeft de KIWA Werkgroep Putverstopping besloten aldaar onderzoek te verrichten om de mechanismen, en de mogelijkheden om putverstopping te voorkomen, beter te leren kennen. Ook voor het PWN waren er redenen om actief aan het onderzoek deel te nemen. Immers, indien het mechanisme van de verstopping bekend was, zou voor de bestaande putten een betere regeneratiemethode ontwikkeld kunnen worden en voor nog te bouwen putten vermoedelijk een dussdanige constructie ontworpen kunnen worden, dat de verstopping tot een minimum beperkt kan worden. Dit laatste was vooral van belang voor het aan te leggen nieuwe infiltratiegebied te Wijk aan Zee.

Samenstelling van de Werkgroep Putverstopping:

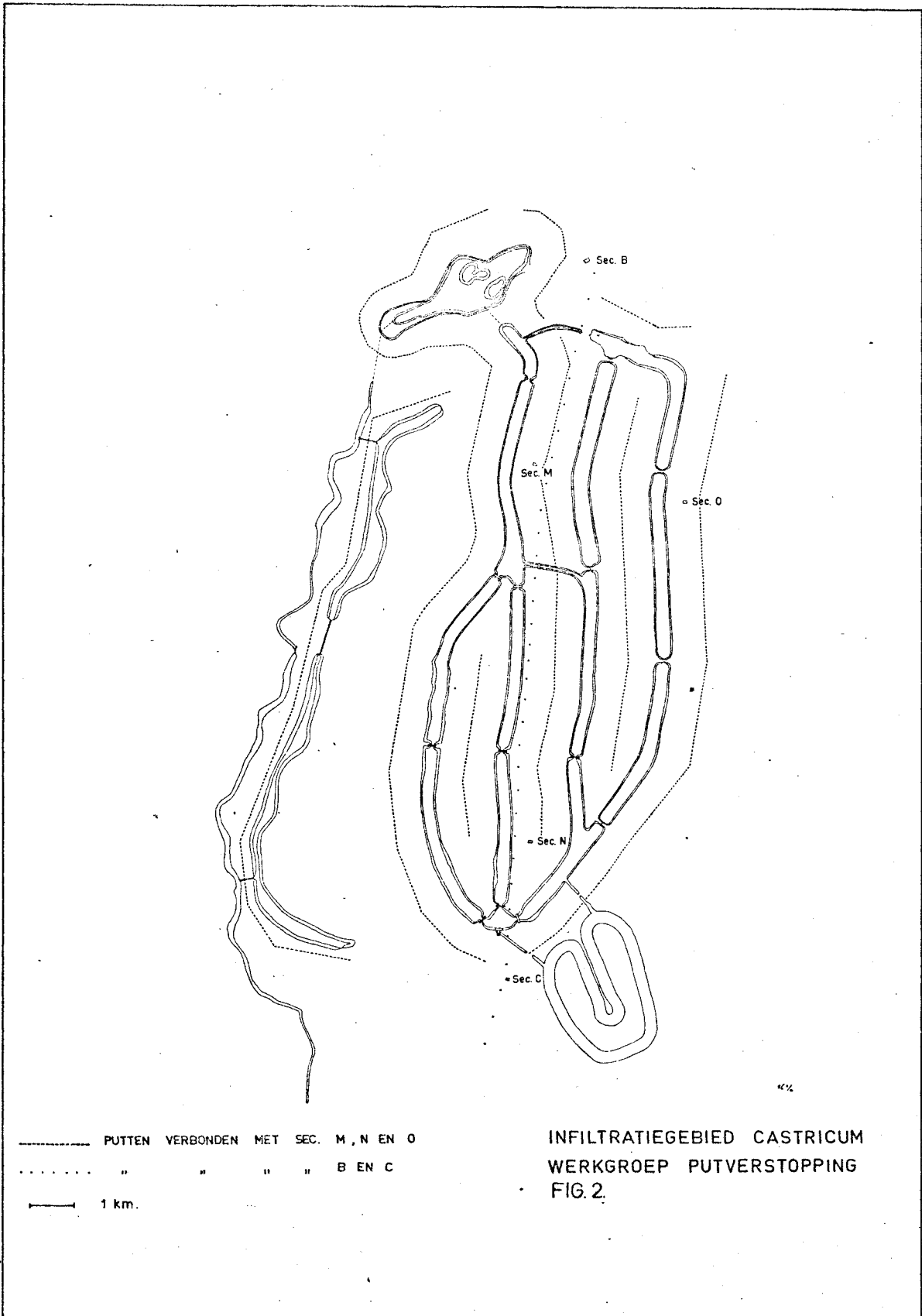
ir. M.C. Brandes	Rijksinstituut voor Drink- watervoorziening (voorzitter)
ing. P.J. van Winsen	Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen (secretaris)
ir. C.G.E.M. van Beek	Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen (vanaf 1-12-1974)
drs. H.J. Boorsma	Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
dr. E.J.M. Kobus	Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen
ir. R.P.G. v.d. Maale	Gemeentelijk Energiebedrijf Dordrecht (tot 8-8-1973)
ir. H. Tuinzaad	Duinwaterleiding van 's-Gravenhage
ir. W.J. Vlasblom	Provinciaal Waterleiding- bedrijf van Noord-Holland (tot 1-10-1974)
ing. E. Wesselink	Gemeentelijk Energiebedrijf Dordrecht (vanaf 5-6-1973)
ir. R.J. Wildschut	Provinciaal Waterleiding- bedrijf van Noord-Holland (vanaf 1-12-1974)
ir. J. Zweegman	N.V. Waterleidingmaatschappij voor de provincie Groningen

4. BESCHRIJVING VAN HET INFILTRATIEGEBIED

Het infiltratiegebied van het PWN te Castricum (zie figuur 1) is gelegen op een destijds ten behoeve van de landbouw ontgonnen stuk duinterrein, waarvan de maaiveldhoogte circa 3 meter boven NAP bedraagt. Het gefiltreerde en sinds medio 1974 gecoaguleerde rivierwater, afkomstig van de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland, wordt geïnfiltreerd in een 14-tal panden, ieder met een breedte van ongeveer 30 meter. De oppervlakte van elk pand bedraagt circa 1,2 ha (400 x 30 m; zie figuur 2). De totale capaciteit van het infiltratiegebied is omstreeks $23 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$. Langs de panden liggen in het algemeen op circa 80 m uit het hart van de panden de winmiddelen, bestaande uit 750 ondiepe boringen met een onderlinge afstand van 10 m, aangesloten op een centrale zuigleiding. De specifieke opbrengst van de putten is circa $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Het gehele infiltratiegebied wordt bemalen door een drietal secundaire pompstations, te weten de secundaires M, N en O. Voor het geval deze drie pompstations samen te weinig water leveren, kunnen twee andere secundaire pompstations (B en C), die eveneens in het infiltratiegebied gelegen zijn en diep duinwater oppompen, worden bijgeschakeld. De putten, verbonden met de secundaires M, N en O hebben een boorgatdiameter van 400 mm. De diameter van de PVC putfilters bedraagt 57 mm, terwijl het filter in het algemeen tussen 4 en 9 meter beneden NAP is gelegen (zie figuur 3). De gemiddelde verblijftijd

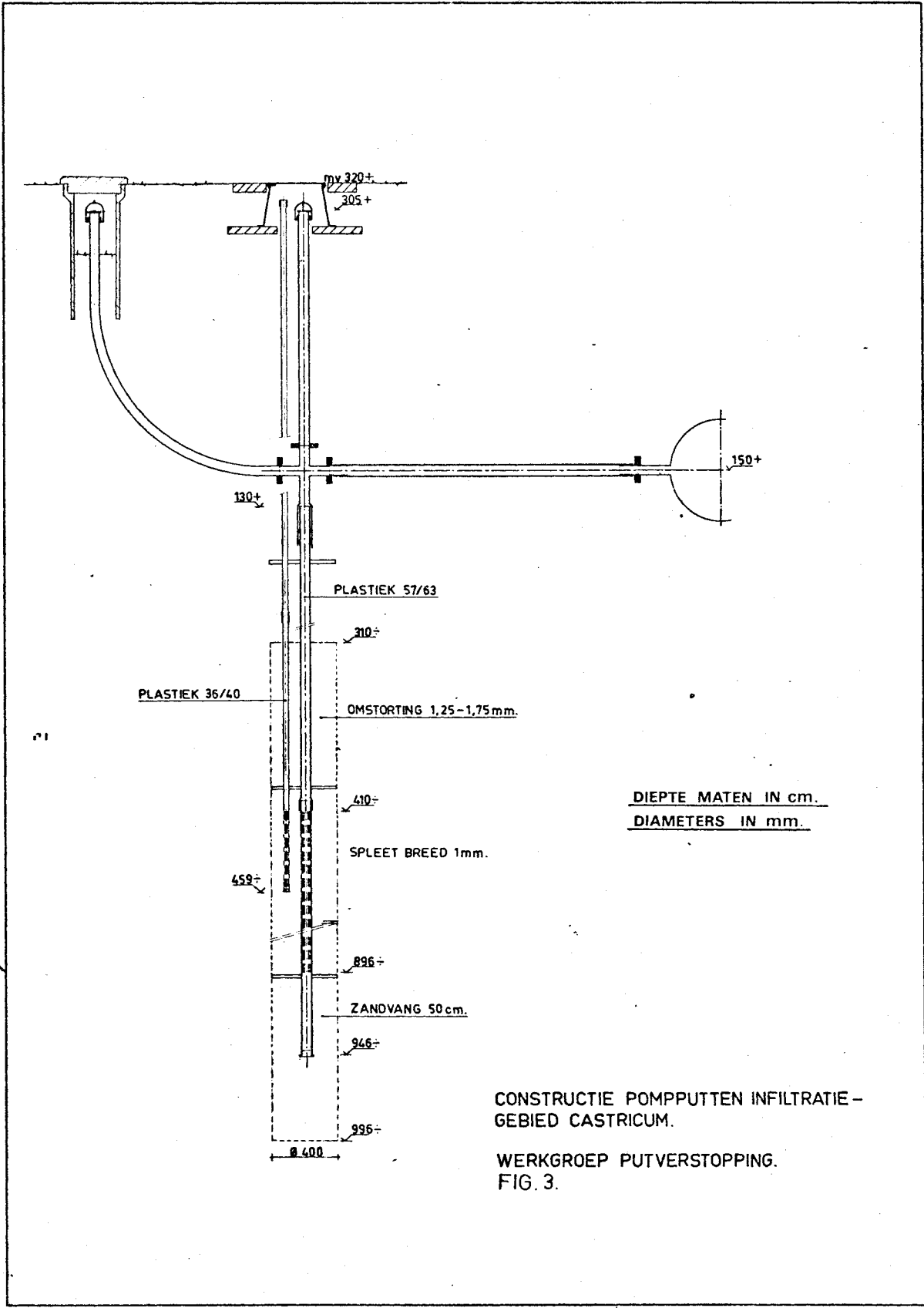


1956



————— PUTTEN VERBONDEN MET SEC. M, N EN O
..... " " " " B EN C
————— 1 km.

INFILTRATIEGEBIED CASTRICUM
WERKGROEP PUTVERSTOPPING
FIG. 2.



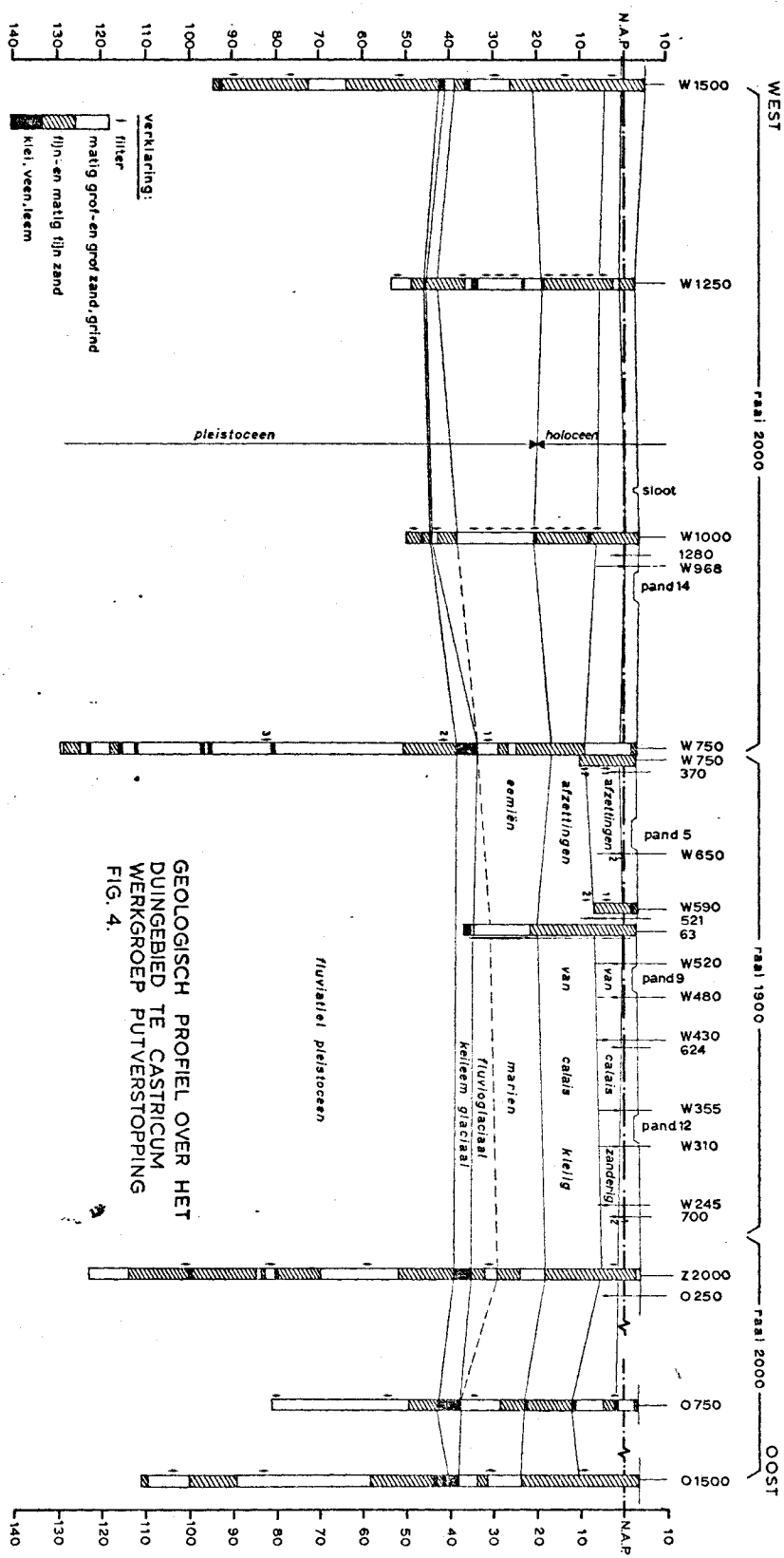
van het geïnfiltreerde water in de ondergrond be-
draagt circa 6 weken.

5. DE GEOLOGISCHE OPBOUW VAN DE ONDERGROND

De opbouw van de ondergrond is van onderen naar boven: (zie figuur 4)

- het fluviatiele pleistoceen, waarvan de ondergrens niet exact bekend is (circa 300 meter beneden NAP), reikende tot ongeveer 40 meter beneden NAP. Een pakket van overwegend matig grove zanden, die naar boven toe fijner worden. Plaatselijk komen slibhoudende lagen voor;
- de keileem (ontstaan tijdens de saalien glaciatie). In het Castricumse gebied een geheel doorlopende laag, die in dikte varieert tussen de 1 en 5 meter;
- boven deze keileem komen in een aantal boringen fluvioglaciale afzettingen voor, welke meestal matig grof van korrel zijn;
- het mariene Eemien. Een pakket matig grof zand met schelpen en steentjes, reikend tot globaal 22 meter beneden NAP. Boven het Eemien beginnen de holocene afzettingen, te weten:
 - afzettingen van Calais, de vroegere zeebodem, reikend tot circa 1 meter beneden NAP. Een pakket fijne zanden, waarvan het onderste deel tot 6 à 7 meter beneden NAP sterk slibhoudend is;
 - tenslotte de duinvorming. Matig fijn tot matig grof zand met schelpen, waarin plaatselijk veenlaagjes voorkomen.

De aan de waterbeweging weerstand biedende lagen zijn de slibhoudende afzettingen van Calais en de keileem.



GEOLOGISCH PROFIEL OVER HET
 DUNGEBIED TE CASTRICUM
 WERKGROEP PUTVERSTOPPING
 FIG. 4.

De putten, verbonden met de secundaires M, N en O hebben het putfilter in de formatie van Calais en die van de secundaires B en C in het mariene Eemien.

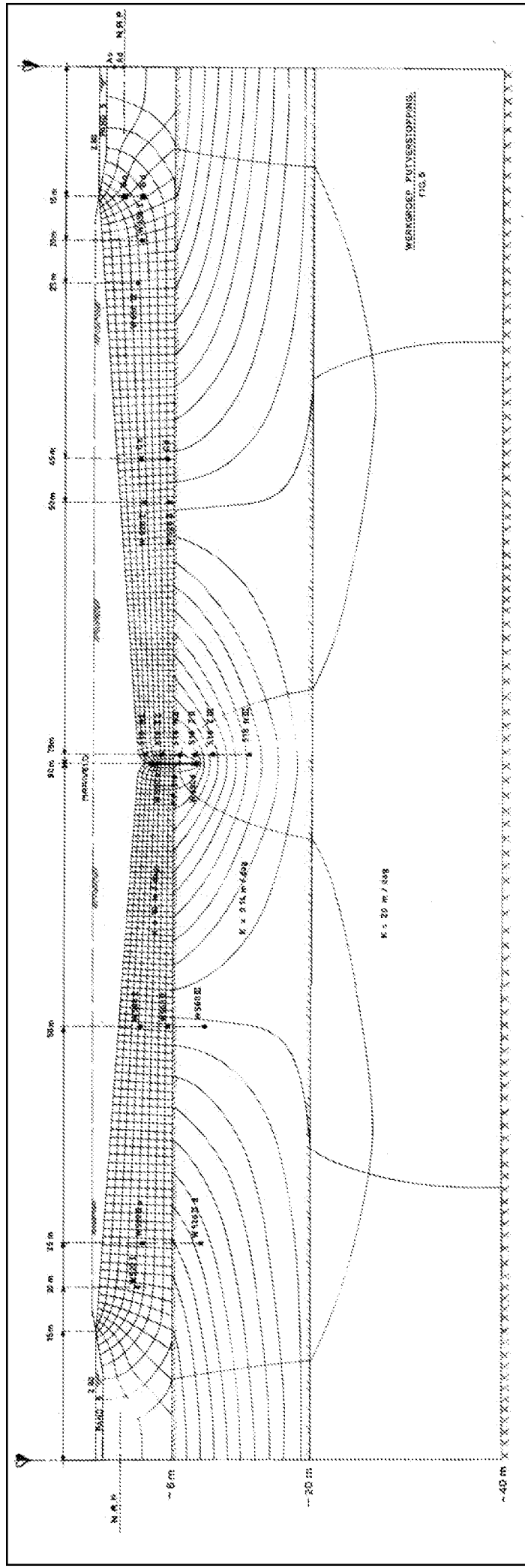
6. HET STROOMBEELD

Het stroombeeld van het infiltratiewater is met de eindige elementenmethode berekend (lit. 5). Bij de berekening is van een drietal isotrope bodempakketten uitgegaan:

1. fijn duinzand van maaiveld tot 6 meter beneden NAP ($k = 10 \text{ m/d}$);
2. slibhoudend zand tussen 6 en 20 meter beneden NAP, waarvan in het verleden de weerstand tegen verticale stroming is vastgesteld op 100 dagen. De hieruit afgeleide doorlatendheid bedraagt $0,14 \text{ m/d}$;
3. grof zand tussen 20 en 40 meter beneden NAP ($k = 20 \text{ m/d}$), dat aan de onderzijde door kleilagen volledig wordt afgesloten.

Aan de bovenzijde wordt de stroming begrensd door het phreatisch vlak, dat tevoren zo goed mogelijk moest worden geschat aan de hand van de beschikbare gegevens. De verticale begrenzingen aan weerszijden worden gevormd door symmetrie-assen. De winningsmiddelen (putten) reiken nog 3 meter in het slibhoudende zand. Uit het stroombeeld, waarin ook de waarnemingsfilters waarvan de waterkwaliteit onderzocht is, getekend zijn (figuur 5) kan worden afgeleid dat nog 20% van het geïnfiltreerde water via de diepere lagen stroomt. De gemiddelde verblijftijd van dit diepere water is zeer globaal een factor 20 groter dan die van het ondiepe water:

$$\frac{H_{\text{diep}}}{Q_{\text{diep}}} : \frac{H_{\text{ondiep}}}{Q_{\text{ondiep}}} = \frac{34}{0,2 Q_{\text{tot}}} : \frac{7}{0,8 Q_{\text{tot}}} = 20 : 1$$



WERKROEP PUTVENSTOFFPANS
1:100,0

K = 20 m / 1:100

MEETUUSTU
Ø 1.5 m

W 3003 A

W 3003 B

W 3003 C

W 3003 D

W 3003 E

W 3003 F

W 3003 G

W 3003 H

W 3003 I

W 3003 J

W 3003 K

W 3003 L

W 3003 M

W 3003 N

W 3003 O

W 3003 P

W 3003 Q

W 3003 R

W 3003 S

W 3003 T

W 3003 U

W 3003 V

W 3003 W

W 3003 X

W 3003 Y

W 3003 Z

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

N.N.P.

met:

H_{diep} = dikte in meters van het diepe pakket
tussen 6 en 40 meter beneden NAP.

H_{ondiep} = dikte in meters van het ondiepe pakket.
(gemiddelde circa 7 meter)

Q = debiet in m^3/h .

7. HYPOTHESES TEN AANZIEN VAN DE OORZAAK VAN DE PUT- VERSTOPPING

Over de oorzaken van putverstopping door ijzerner-
slagen is veel literatuur bekend. Een overzicht
hiervan wordt gegeven in Mededeling nr. 1 van de
Werkgroep Putverstopping (lit. 1). Samenvattend kan
gesteld worden dat putverstopping door ijzerner-
slagen in het algemeen voorkomt als de putten be-
halve aerobisch ijzervrij water, ook anaerobisch ijzer-
houdend water aantrekken. In de meeste gevallen
blijkt de afzetting van deze ijzerner-
slagen te worden versneld door z.g. ijzerbacteriën (b.v.
Gallionella en/of Leptothrix). Bekijkt men de situ-
atie in Castricum, dan is het in principe mogelijk
dat de putten drie verschillende waterkwaliteiten
aantrekken, te weten van boven naar beneden:

1) Waterkwaliteit A

Dit is een laag natuurlijk geïnfiltreerd regen-
water. In Castricum bedraagt de natuurlijke in-
filtratie ongeveer 1% van de kunstmatige infil-
tratie (lit. 3). Het is mogelijk dat het gein-
filtreerde regenwater ter hoogte van de bovenkant
van de putfilters nog enige zuurstof bevat.
Bovendien kan dit water bij variaties van de
grondwaterstand zuurstof uit de onverzadigde zone
opnemen. De kans is daarom groot dat het hier
ijzervrij aerobisch water betreft.

2) Waterkwaliteit B

Dit is het kunstmatig geïnfiltreerde water dat
de puttenrij via het niet slibhoudende gedeelte

van de formatie van Calais bereikt (tot 6 meter beneden NAP). Het is mogelijk dat dit water tijdens het transport door de bodem nog niet alle zuurstof heeft verloren. In dit geval heeft men met aerobisch ijzervrij water te maken (Waterkwaliteit B₁). Een andere mogelijkheid is dat het water wel alle zuurstof heeft verloren, maar nog geen ijzer heeft opgenomen (Waterkwaliteit B₂: anaerobisch ijzervrij water). Tenslotte bestaat de mogelijkheid dat het water al op grotere afstand van de puttenrij anaerobisch is geworden en in het laatste traject ijzer uit de formatie heeft opgelost (Waterkwaliteit B₃: anaerobisch ijzerhoudend water).

3) Waterkwaliteit C

Dit is het kunstmatig geïnfiltreerde water dat de puttenrij via het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais bereikt (dieper dan 6 meter beneden NAP). Gezien de veel langere verblijftijd van dit diepere water (zie hoofdstuk 5) betreft het hier naar alle waarschijnlijkheid volledig anaerobisch en ijzerhoudend water.

Aan de randen van het infiltratieterrein moet bovendien rekening gehouden worden met het aantrekken van ruw duinwater (lit. 3). Voor dit onderzoek is echter met opzet een lokatie in het centrum van het infiltratiegebied gekozen, zodat hier volstaan kan worden met de drie hierboven genoemde waterkwaliteiten. Of de putten nu de waterkwaliteiten A, B₁

en C; A, B₂ en C of A, B₃ en C, dan wel combinaties hiervan aantrekken, in alle gevallen bestaat er een meer of minder uitgebreid overgangsgebied, waarboven de putten aeroob ijzervrij water en waarbeneden zij anaeroob ijzerhoudend water aantrekken. Het diepere ijzerhoudende water zal in het putfilter naar boven stromen en op een gegeven moment het zuurstofhoudende water ontmoeten dat op een nog onbekende plaats het filter binnenstroomt. Op deze plaats mengen de beide watersoorten. Deze menging kan optreden omdat de stroming in het putfilter bij een putdebit van 4 à 5 m³/h of hoger turbulent is in het gehele putfilter behalve in de onderste meter.

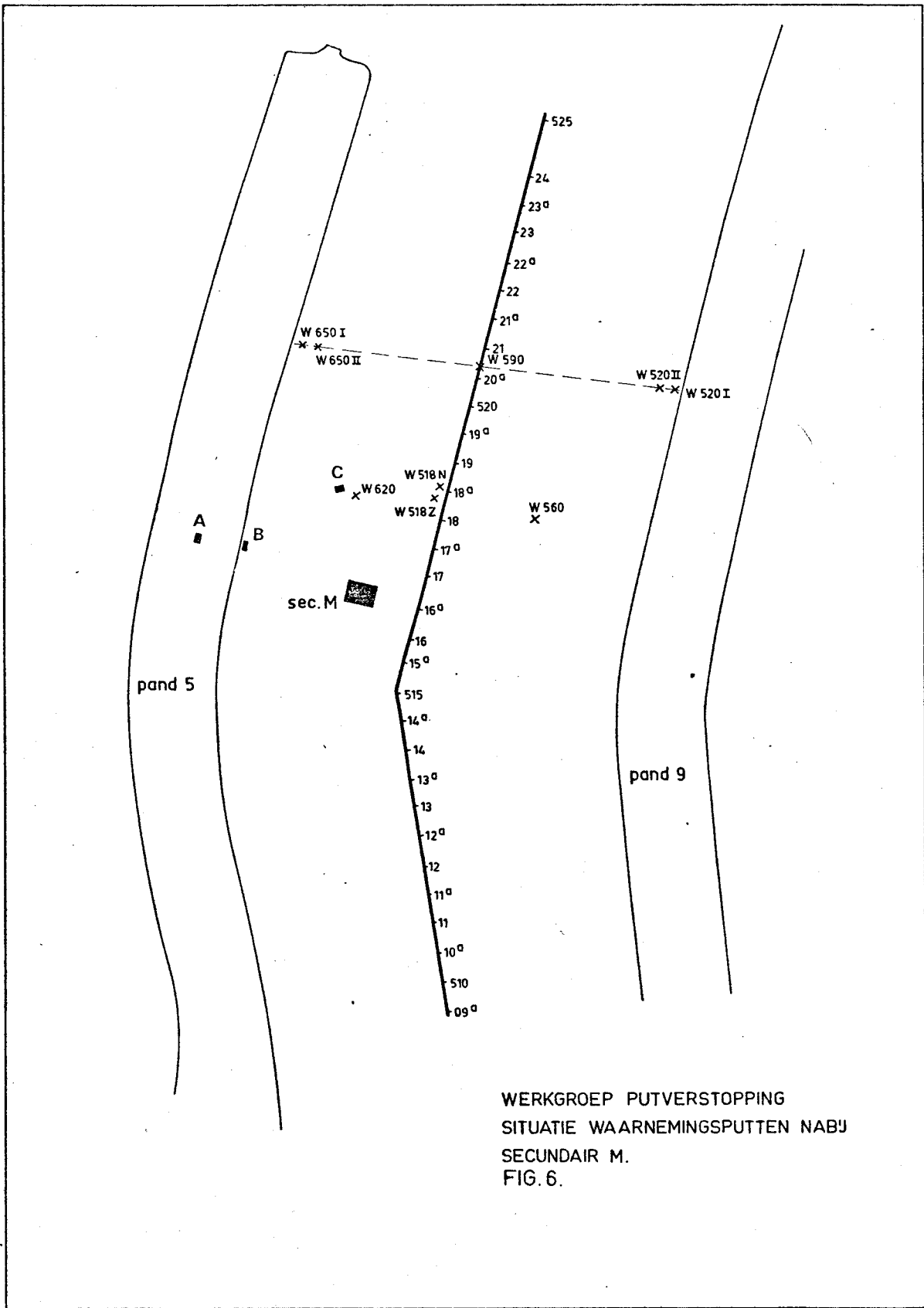
Door de menging bevat het water zowel zuurstof als ferro-ionen en is het milieu bij uitstek geschikt voor de ontwikkeling van ijzerbacterien die zich op de wand van het putfilter hechten. Gezien de aanwezigheid van deze ijzerbacterien waarvan bekend is dat zij de precipitatie van ferrineerslagen versnellen, zal een gedeelte van de ferro-ionen ter plaatse geoxydeerd worden, waardoor ijzerneerslagen op de wand van het putfilter worden afgezet. Als gevolg hiervan groeien de filterspleten langzamerhand dicht. Naar verwachting zal de bacterie-ontwikkeling en daarmee de afzetting van ijzeroxyden zich in het putfilter zelf, maar ook in de omstorting uitbreiden tot die plaatsen waar het leven voor de bacterien bij gebrek aan zuurstof niet meer mogelijk is. Speciaal een uitbreiding van de verstopping naar

de omstorting is belangrijk omdat de ijzerneerslagen daar veel moeilijker te verwijderen zijn dan in het putfilter. Met deze mogelijkheid moet in het bijzonder rekening gehouden worden op plaatsen in de omstorting en de formatie waar aeroob ijzervrij en anaeroob ijzerhoudend water aan elkaar grenzen. Door grondwaterstandsvariaties en door dispersie kan op dit grensvlak een watertype ontstaan dat zowel zuurstof als ferro-ionen in geringe concentraties bevat en waaruit dus precipitatie van ijzeroxyden kan plaatsvinden.

8. EXPERIMENTEN EN RESULTATEN

8.1 Fysisch-chemisch onderzoek

De meest voor de hand liggende methode om een beter inzicht in de oorzaak van de putverstopping in Castricum te krijgen, was de chemische en fysische samenstelling van het water te bepalen, dat op verschillende diepten op een aantal plaatsen tussen de panden en de onttrekkingsmiddelen wordt aange- troffen. Hiertoe kon in de eerste plaats gebruik gemaakt worden van drie waarnemingsputten A, B en C (zie de figuren 5 en 6 en tabel 1) die al sinds 1958 regelmatig door middel van een vacuumsysteem bemonsterd worden. Daarnaast zijn er tussen de panden 5 en 9 nog een zevental andere waarnemings- putten beschikbaar, die ter plaatse bemonsterd kun- nen worden (W650 I en II, W590, W520 I en II, W620 en W560; zie de figuren 5 en 6 en tabel 1). Om een volledig beeld van de kwaliteitsveranderingen, vooral in de directe nabijheid van de pompputten te krijgen, zijn zo dicht mogelijk bij pompput 518 twee waarnemingsputten, elk uitgerust met drie filters, geplaatst. Bovendien zijn twee diepere waarnemingsfilters (W520 IIId en W560 III) geplaatst, om ook de kwaliteitsverandering in het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais te volgen. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de plaats van alle bij het onderzoek betrokken waarnemingsputten en van de diepte van de verschillende waarnemings- filters. Voor de situering van deze waarnemingsput-



WERK GROEP PUTVERSTOPPING
SITUATIE WAARNEMINGSPUTTEN NABJ
SECUNDAIR M.
FIG. 6.

Tabel 1

Situering van de waarnemingsputten

aanduiding van het waarnemingsfilter	afstand tot het hart van het pand in meters	diepte in meters van de onderkant van het filter t.o.v. NAP (lengte filter 0,5 m)
Ao	0	+ 1,00
Ad	0	0,00
Bo	15	- 0,55
Bd	15	- 2,40
Co	45	- 2,26
Cd	45	- 5,70
W650 I	20	- 2,42
W520 I	20	- 2,66
W650 II	25	- 2,80
W520 IIo	25	- 2,40
W620 I	50	- 2,50
W620 II	50	- 5,75
W560 I	50	- 2,50
W560 II	50	- 5,75
W590 o	80	- 4,60
W590 d	80	- 9,10
518 N I	79	- 3,03
518 N II	79	- 7,00
518 N III	79	-13,49
518 Z I	79	- 4,83
518 Z II	79	- 8,76
518 Z III	79	-10,72
W520 IIId	25	- 9,91
W560 III	50	-10,25

ten zie men ook de figuren 5 en 6. Voor de putver-
stopping ten gevolge van ijzernerlagen zijn vooral
de gegevens omtrent het zuurstofgehalte en het ge-
halte aan tweewaardige ijzerionen belangrijk. In het
onderstaande volgt een overzicht van de betreffende
analyseresultaten die in de loop van het onderzoek
verzameld zijn.

8.1.1 Zuurstofanalyses

Op 4-5-1973 zijn de zuurstofgehalten bepaald in de
bij de aanvang van het onderzoek beschikbare waar-
nemingsputten. Hiertoe werden de waarnemingsputten
eerst schoongepompt met een motorpompje, waarna de
zuurstofconcentratie ter plaatse van het waarne-
mingsfilter met behulp van een zuurstofelectrode
werd bepaald. In de waarnemingsputten A, B en C
waren geen zuurstofbepalingen met behulp van een
electrode mogelijk omdat deze putten alleen via een
vacuumsysteem bemonsterd konden worden. Zoals bij
het PWN gebruikelijk, zijn de zuurstofconcentraties
in deze putten daarom met behulp van de methode van
Winkler bepaald in watermonsters die door middel
van het vacuumsysteem aan deze putten onttrokken
waren. Met behulp van dezelfde methode zijn boven-
dien een aantal zuurstofconcentraties bepaald in
andere waarnemingsfilters, waaruit ter plaatse van
het filter een watermonster getrokken werd met een
speciale bemonsteringspipet. Uit de resultaten van
deze analyses die in tabel 2 zijn vermeld, blijkt
dat het water in alle waarnemingsfilters tot 50 m

afstand van de panden in meer of mindere mate aeroob is. Ook in de waarnemingsput W590 wordt nog aeroob water aangetroffen. Deze put ligt echter tussen de winningsputten zodat het mogelijk is, dat het water hier slechts weinig aan de stroming deelneemt. Aan de hand van de gegevens uit tabel 2 kan geen uitspraak gedaan worden over de vraag of, en zo ja, op welke diepte, het water in de onmiddellijke nabijheid van de putten aeroob is. Dit is wel mogelijk aan de hand van de zuurstofanalyses uit tabel 3, die uitgevoerd zijn nadat de eerder vermelde nieuwe waarnemingsputten (518N, 518Z, W520 II d en W560 III) beschikbaar waren gekomen. De zuurstofbepalingen in de waarnemingsputten A, B en C zijn in deze tabel niet vermeld. De reden hiervan is, dat de zuurstofgehalten die in deze putten aangetoond werden, steeds aanzienlijk hoger waren dan die in de putten waarin met behulp van een electrode gemeten kon worden. Hierdoor zijn twijfels gerezen aan de lek-dichtheid van het vacuum bemonsteringssysteem. Dit temeer daar de zuurstofgehalten die door het PWN vóór 1965 in deze putten gemeten werden veel lager waren dan de waarden die de afgelopen jaren bepaald zijn. Opvallend in tabel 3 zijn de hoge zuurstofconcentraties die op 16-5-1974 bepaald zijn. Op deze datum was de waterstand in het onderzoekgebied lager dan normaal. In de peilfilters, aangeduid met een * in tabel 3, stond dan ook weinig water terwijl het waarnemingsfilter 518 NI zelfs droog stond. Het is bekend dat de betrouwbaarheid van de zuurstof-

Tabel 2

O₂ bepalingen in bestaande waarnemingsputten d.d. 4-5-1973

aanduiding v.h. waarnemings- filter	afstand v.h.filter tot aan het hart v.h. pand (meters)	diepte v.d. onderkant v.h.filter t.o.v. NAP (meters)	O ₂ m.b.v. electrode (ppm)	O ₂ m.b.v. Winkler- bepaling (ppm)
Ao	0	+1,00	-	-
Ad	0	0,00	-	10,5
Bo	15	-0,55	-	9,5
Bd	15	-2,40	-	10,0
W650 I	20	-2,42	2,6	-
W520 I	20	-2,66	3,8	-
Co	45	-2,26	-	8,5
Cd	45	-5,70	-	8,5
W620 I	50	-2,50	3,9	-
W620 II	50	-5,75	3,1	2,0/(4,6)
W560 I	50	-2,50	3,2	3,0/3,1
W560 II	50	-5,75	1,1	-
W590 o	80	-4,60	3,1	6,0/5,8
W590 d	80	-9,10	-	(7,0)/1,1
p.p. 518	80	-4,0 tot -9,0	≤0,5	1,0/1,0

() = waarschijnlijk foutieve bepaling door toetreden van lucht

Tabel 3

O₂ bepalingen in bestaande en nieuwe waarnemingsputten in
mei, september en oktober 1974

aanduiding v.h. waarnemings- filter	afstand v.h. filter tot aan het hart v.h. pand (meters)	diepte v.d onderkant v.h. filter t.o.v. NAP (meters)	O ₂ bep. 16-5-74 (ppm)	O ₂ bep. 12-9-74 (ppm)	O ₂ bep. 18-9-74 (ppm)	O ₂ bep. 9-10-74 (ppm)
W650 I	20	- 2,42	8,4 *	≤ 0,5	1,9	3,9
W520 I	20	- 2,66	10,0 *	0,6	3,5	0,9
W650 II	25	- 2,80	8,9 *	0,6	0,8	2,8
W520 IIo	25	- 2,40	10,0 *	≤ 0,5	0,6	0,6
W520 II d	25	- 9,91	-	≤ 0,5	≤ 0,5	0,6
W620 I	50	- 2,50	4,8 *	0,6	2,2	3,0
W620 II	50	- 5,75	1,6	≤ 0,5	0,7	0,9
W560 I	50	- 2,50	9,0 *	≤ 0,5	1,9	≤ 0,5
W560 II	50	- 5,75	1,0	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
W560 III	50	-10,25	-	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
518 NI	79	- 3,03	geen water	7,6	8,0	6,5
518 ZI	79	- 4,83	3,1 *	≤ 0,5	0,8	0,6
518 NII	79	- 7,00	1,2	≤ 0,5	0,6	1,0
518 ZII	79	- 8,76	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
518 ZIII	79	-10,72	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
518 NIII	79	-13,49	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	0,6
p.p. 518	80	-9 / -4	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	0,7
p.p. 521	80	-9 / -4	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	0,7
W590 o	80	- 4,60	5,5	1,6	2,0	2,1
W590	80	- 9,10	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5

N.B.: Gezien de beperkte gevoeligheid van de zuurstof-
electrode bij O₂-concentraties kleiner dan ± 0,5 ppm
zijn alle concentraties tussen 0 en 0,5 ppm als
≤ 0,5 ppm aangegeven.

* = weinig water in peilfilter.

meting afneemt als het zuurstofgehalte vlak onder het wateroppervlak gemeten wordt, omdat dan bij het op- en neer bewegen van de electrode al gauw wat lucht in het water gebracht wordt. Bij herhaling van deze metingen in september en oktober 1974, toen de waterstand in het gebied hoger was, zijn deze hoge zuurstofgehalten dan ook niet meer gemeten. Een uitzondering hierop maakt het waarnemingsfilter 518 NI waarin steeds zuurstofconcentraties van 6 - 8 ppm aangetoond werden. Hiermee is bewezen dat de bovenste stroombanen aeroob water vertegenwoordigen (Waterkwaliteit A of B₁). Het water dat de puttenrij ter plaatse van de onderkant van de putfilters bereikt (518 ZII) en het water op nog grotere diepte (518 ZIII en 518 NIII) is anaeroob, terwijl in het water dat de putten op hiertussen gelegen diepten bereikt (518 ZI en 518 NII) weinig of geen zuurstof is aangetoond.

8.1.2 Ferro-analyses

In tegenstelling tot de zuurstofanalyses die door het PWN al sinds 1959 regelmatig in het onderzoekgebied zijn uitgevoerd, zijn geen gegevens betreffende het ferrogelalte van het water in de verschillende waarnemingsputten bekend. Wel heeft het PWN sinds 1959 het totaal ijzergehalte in de waarnemingsputten A, B en C bepaald. Deze waarden zijn voor dit onderzoek echter niet bruikbaar, omdat er een onbekende bijdrage van ferri-ionen, afkomstig van meegesleepte ferri-oxydevlokjes, in voorkomt.

Voor de bepaling van de ferro-concentratie in watermonsters zijn verschillende methoden beschikbaar. Een eenvoudige methode is de 1.10 Phenanthroline-methode, waarbij de ferro-ionen in zuur milieu een oranje-rood complex vormen, waarvan de concentratie spectrofotometrisch gemeten kan worden. Men moet ervoor zorgen dat tussen de monstername en het analysetijdstip geen oxydatie van ferro tot ferri kan plaatsvinden, omdat in dat geval te lage concentraties gemeten worden. Daarom wordt meestal aangeraden de analyses ter plaatse te verrichten. Tijdens het onderzoek is echter gebleken dat het ferrogehalte dat één dag na monstername op het laboratorium bepaald werd, niet lager was dan het ferrogehalte dat ter plaatse gemeten werd, mits de monsters anaeroob en in zuur milieu bewaard werden. Om dit te bewerkstelligen werd in de monsterflessen (250 ml stopflessen) vóór de monstername 5 ml 35% HCl gebracht en de lucht in de flessen zoveel mogelijk door stikstof verdreven. Bovendien werden de monsterflessen volledig met het watermonster gevuld zodat geen contact met eventueel in de flessen achtergebleven restanten lucht mogelijk was. In dit zure milieu en onder zoveel mogelijk uitsluiten van lucht is de oxydatiesnelheid van ferro zo klein dat na enkele dagen nog dezelfde ferroconcentratie gemeten werd. Een moeilijkheid die zich bij de ferroanalyse voordeed is, dat bij aanwezigheid van een kleine hoeveelheid slib in de watermonsters, te hoge analyseresultaten gevonden werden. Dit is ge-

deeltelijk verholpen door de watermonsters die allemaal met een motorpompje genomen werden, te filteren met behulp van een gesloten filter, dat in een bypass aan de perszijde van de pomp was geplaatst. In op deze wijze voorbehandelde monsters waren betrouwbare ferro-analyses mogelijk, mits de ferroconcentratie niet lager dan omstreeks 0,2 ppm was. In tabel 4 is daarom geen verder onderscheid gemaakt tussen de analyseresultaten van 0 tot 0,2 ppm.

Door combinatie van de analyseresultaten uit tabel 3 en 4 kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- Tot op 50 m afstand van de panden blijft het geïnfiltreerde water in het niet slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais aeroob en ijzervrij.
- In het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais heeft het water op 25 m afstand van de panden (W520 IIId) vrijwel alle zuurstof verloren, maar nog geen, of zeer weinig ferro-ionen opgenomen. Op 50 m afstand is het water volledig anaeroob en bevat het omstreeks 1 ppm ferro (W560 III).
- In de onmiddellijke nabijheid van de winningsputten zijn de bovenste stroombanen aeroob en ijzervrij (518 NI). De onderste stroombanen in het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais vertegenwoordigen anaeroob water en bevatten een in de diepte toenemende ferroconcentratie (518 NII, 518 ZII, 518 ZIII en 518 NIII). Hiertussen bevindt zich het water in het niet slibhoudende gedeelte

Tabel 4

Ferro-analyses in september en oktober 1974

aanduiding v.h. waar- nemings- filter	afstand v.h.filter tot aan het hart v.h.pand (meters)	diepte v.d onderkant v.h.filter t.o.v. NAP (meters)	ferro bep. 12-9-1974 (ppm)	ferro bep. 9-10-1974 (ppm)
W650 I	20	- 2,42	< 0,2	< 0,2
W520 I	20	- 2,66	< 0,2	< 0,2
W650 II	25	- 2,80	< 0,2	< 0,2
W520 IIo	25	- 2,40	< 0,2	< 0,2
W520 IIId	25	- 9,91	< 0,2	< 0,2
W620 I	50	- 2,50	< 0,2	< 0,2
W620 II	50	- 5,75	< 0,2	< 0,2
W560 I	50	- 2,50	< 0,2	< 0,2
W560 II	50	- 5,75	< 0,2	< 0,2
W560 III	50	-10,25	0,98	0,94
518 NI	79	- 3,03	< 0,2	< 0,2
518 ZI	79	- 4,83	< 0,2	< 0,2
518 NII	79	- 7,00	0,55	0,40
518 ZII	79	- 8,76	1,62	1,22
518 ZIII	79	-10,72	3,33	1,52
518 NIII	79	-13,49	1,64	1,80
p.p. 518	80	-9 /-4	0,68	0,44
p.p. 521	80	-9 /-4	0,48	0,34
W590 o	80	- 4,60	< 0,2	< 0,2
W590 d	80	- 9,10	1,16	0,88

van de formatie van Calais (518 ZI), dat geen of weinig zuurstof (< 1 ppm) en eveneens geen of weinig ijzer bevat (< 0,2 ppm). Deze waterkwaliteit vertoont de meeste overeenkomst met de in hoofdstuk 6 genoemde waterkwaliteit B₂ (anaeroob ijzervrij water).

Samenvattend kan men daarom stellen dat de winningsput 518 drie waterkwaliteiten aantrekt, te weten van boven naar beneden:

- Waterkwaliteit A of B₁: aeroob ijzervrij natuurlijk en/of kunstmatig geïnfiltreerd water in de bovenste stroombanen;
- Waterkwaliteit B₂ : anaeroob ijzervrij kunstmatig geïnfiltreerd water in het niet slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais;
- Waterkwaliteit C : anaeroob ijzerhoudend kunstmatig geïnfiltreerd water in het slibhoudende gedeelte van de formatie van Calais.

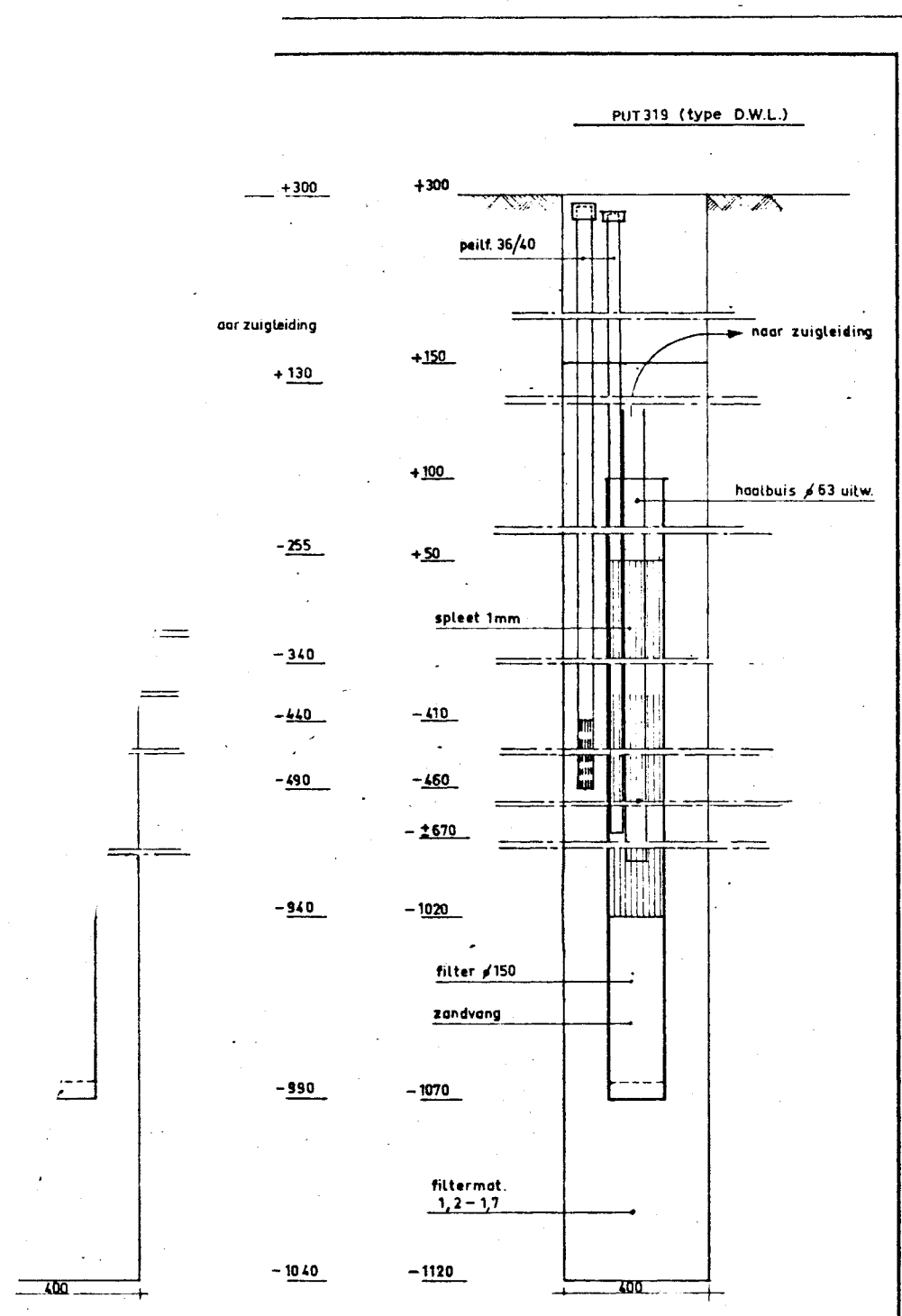
8.2 Vergelijkend onderzoek van verschillende putconstructies

Parallel aan het fysisch-chemisch onderzoek is een onderzoek gedaan waarbij de putverstopping in een normale PWN winningsput vergeleken werd met die in

een put met een afwijkende constructie. Aanleiding tot dit onderzoek was in eerste instantie dat een aantal bij de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage voorkomende putten, onder globaal dezelfde geohydrologische omstandigheden als in Castricum, minder snel verstoppem. Deze putten zijn in tegenstelling tot de in Castricum gebruikte putten aan de bovenzijde volkomen omdat het putfilter tot in de onverzadigde zone reikt en het water met behulp van een z.g. haalbuis onttrokken wordt. Deze constructie kan gunstiger zijn uit oogpunt van putverstopping omdat het water dat door het bovenste gedeelte van het putfilter wordt aangetrokken in de put naar beneden stroomt tot aan de onderzijde van de haalbuis en pas hier het naar boven stromende water ontmoet dat door het diepere gedeelte van het putfilter wordt aangetrokken. Bij een juiste situering van de onderzijde van de haalbuis kan men zich voorstellen dat de menging van aerob water met anaerob ijzerhoudend water pas vlakbij de haalbuis plaatsvindt, zodat de ijzerafzettingen niet in het putfilter, maar voornamelijk in de haalbuis optreden. Ten einde deze putconstructie te vergelijken met de in Castricum voorkomende putconstructie zijn in een bestaande puttenrij in het zuidelijke gedeelte van het infiltratieterrein, ter plaatse van een tweetal vervallen boringen, twee nieuwe putten (314 en 319) gepulst (figuur 7). Van beide putten is de diameter van het boorgat 400 mm en die van het filter 150 mm terwijl beide putten op de bestaande zuigleiding

35a

an de bovenzijde
dezelfde plaats
put 319 daaren-
veel verder naar
water met be-
t. De onder-
et grootste
neden NAP
erzoek inge-
ige tijd-
efjes ge-
ieke af-
eveneens
gen PWN
ed komen
d was.
van
voerd
ekken
fec-
e re-
teld
van



DIEPTE MATEN IN cm.
DIAMETERS IN mm.

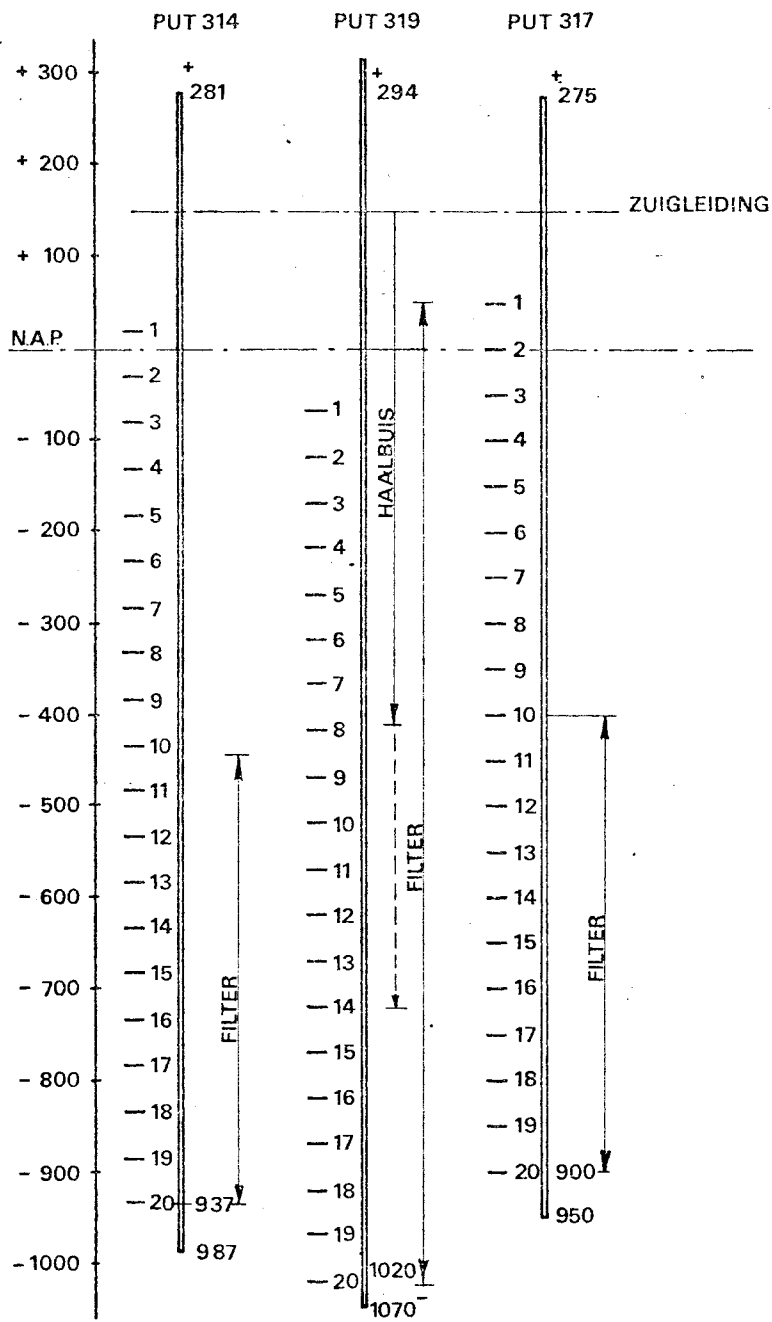
2 PULSBORINGEN T.B.V. PROEVEN IN
HET INF. GEBIED TE CASTRICUM.
WERK GROEP PUTVERSTOPPING.
FIG. 7.

zijn aangesloten. Put 314 is een aan de bovenzijde onvolkomen put met het putfilter op dezelfde plaats als de normale PWN winningsputten. Put 319 daarentegen heeft een volkomen filter dat veel verder naar het maaiveld doorloopt en waaruit het water met behulp van een haalbuis onttrokken wordt. De onderkant van de haalbuis heeft gedurende het grootste gedeelte van het onderzoek op 7,12 m beneden NAP gehangen en is aan het eind van het onderzoek ingekort tot 4,10 m beneden NAP. Op regelmatige tijdstippen zijn op deze putten korte pompproefjes gehouden om de filterweerstand en de specifieke afpompings te volgen. Deze pompproefjes zijn eveneens gehouden op de tussen de beide putten gelegen PWN winningsput 317, die ten tijde van het gereed komen van de putten 314 en 319 juist geregenereerd was. De filterweerstand was hierbij teruggebracht van 500 cm tot 18 cm Wk. De regeneratie is uitgevoerd door het water in de put afwisselend te onttrekken en terug te persen. Deze methode bleek veel effectiever te zijn dan de bij het PWN gebruikelijke regeneratiemethode waarbij de putten schoongeborsteld werden en het losgemaakte slib verwijderd werd. Ook is door het aanbrengen van objectglasjes in deze drie putten getracht een indruk te krijgen van de plaats van de ijzerafzettingen. Deze glasjes werden gedurende twee weken op verschillende hoogten in de putfilters gehangen, waarna bepaald werd hoeveel ijzerneerslag zich op de verschillende glasjes had afgezet. Bovendien zijn een aantal

glaasjes microscopisch onderzocht op de aanwezigheid van ijzerbacterien. De hoogteligging van de objectglaasjes ten opzichte van het filter is in figuur 8 weergegeven.

8.2.1 Proeven met objectglaasjes in de putten 317, 314 en 319

In de PWN winningsput 317 zijn direct na de regeneratie (juni 1973) objectglaasjes gehangen. De glaasjes waren op een onderlinge afstand van 50 cm aan een nylon koord bevestigd en in de put neergelaten. Na 11 dagen contacttijd zijn zij uit de put gehaald en is het ijzerneerslag op elk plaatje afzonderlijk bepaald. Uit de resultaten van de ijzeranalyses (tabel 5) bleek dat de objectglaasjes die in het putfilter gehangen hadden op de nummers 10, 11 en 12 na schoon gebleven waren. De grootste hoeveelheid ijzer was afgezet op de glaasjes die in de stijgbuis gehangen hadden. Bij een herhaling van deze proef in augustus 1973 bleken de ijzerafzettingen op alle glaasjes sterk toegenomen te zijn, terwijl zich bovendien ijzer had afgezet op de objectglaasjes 13 en 14, die bij de vorige proef schoon gebleven waren. In januari 1974 werd ook op de dieper in het filter opgehangen objectglaasjes ijzer afgezet, zij het in beperkte mate. Dit beeld werd door proefnemingen in maart en augustus 1974 bevestigd. Uit deze experimenten blijkt dat bovenin in het putfilter al direct na de regeneratie ijzer afgezet wordt en dat deze ijzerafzettingen zich na



ALLE MATEN cm.

PLAATS VAN DE OBJECTGLAASJES
 IN DE PUTTEN 314 - 319 - 317
 WERKGROEP PUTVERSTOPPING
 FIG.8

Tabel 5

IJzerafzettingen op objectglasjes, afkomstig uit put 317 (PWN-winningsput, die begin juni 1973 geregenereerd is)

tijdstip		juni 73	aug. 73	jan. 74	maart 74	aug. 74
contacttijd (dagen)		11	14	14	14	14
nummer objectglasje	diepte t.o.v. NAP (meters)	ijzerafzetting in mg per objectglasje				
1	+0,5	10,4		63,8		32,2
2	0	9,3		70,0	48,1	36,7
3	-0,5	9,3		64,7	50,0	43,0
4	-1,0	9,3		82,5	43,7	44,5
5	-1,5	9,3		63,9	44,1	44,3
6	-2,0	9,3		62,9	50,0	41,5
7	-2,5	8,5		57,9	39,1	39,2
8	-3,0	6,7	85,8	56,1	45,6	40,7
9	-3,5	7,5	76,4	63,9	43,4	39,2
10	-4,0	5,4	40,6	56,5	35,0	27,2
11	-4,5	3,6	13,5	9,3	7,2	2,5
12	-5,0	0,04	16,9	4,6	3,8	1,5
13	-5,5	<0,01	20,6	4,2	4,6	2,2
14	-6,0	<0,01	4,5	1,4	3,6	1,7
15	-6,5	<0,01		0,86	3,1	1,1
16	-7,0	<0,01		0,36	4,2	0,92
17	-7,5	<0,01		0,44	1,1	0,82
18	-8,0	<0,01		0,17	1,3	0,80
19	-8,5	<0,01		0,37	1,7	1,1
20	-9,0	<0,01		0,16	1,0	2,1

Putconstructie: filter van 8,96 m tot 4,10 m beneden NAP; geen haalbuis (zie figuur 3).

Tabel 6

IJzerafzettingen op objectglaasjes, afkomstig uit
put 314 (type PWN)

tijdstip		aug. 73	jan. 74	maart 74	aug. 74	sept 74
contacttijd (dagen)		14	14	14	14	14
nummer object- glaasje	diepte t.o.v. NAP (meters)	ijzerafzetting in mg per objectglaasje				
1	+0,13		47,1	111,2	76,7	127,4
2	-0,37		52,7	89,4	86,7	124,4
3	-0,87		63,9	115,6	80,7	118,1
4	-1,37		65,6	117,2	91,8	129,5
5	-1,87		68,0	70,9	93,8	126,4
6	-2,37		54,0	78,7	75,0	113,4
7	-2,87		8,2	8,3	8,5	13,2
8	-3,37		17,8	6,1	8,8	13,6
9	-3,87	13,7	7,9	4,6	10,3	11,7
10	-4,37	8,9	17,5	5,5	5,7	9,9
11	-4,87	8,3	5,9	6,4	4,5	1,5
12	-5,37	37,4	5,3	5,8	3,7	1,2
13	-5,87	8,3	10,1	3,7	3,3	1,0
14	-6,37	8,2	1,6	3,7	3,6	0,92
15	-6,87	6,3	3,4	0,7	1,7	0,72
16	-7,37	19,8	6,7	3,1	2,7	0,63
17	-7,87	4,4	5,6	3,8	0,83	3,2
18	-8,37	6,3	31,7	2,8	0,79	0,86
19	-8,87	4,4	3,2	8,7	1,1	1,1
20	-9,37		7,3	2,4	0,72	0,86

Putconstructie: filter van 9,40 m tot 4,40 m beneden NAP; geen haalbuis; op 2,55 m beneden NAP vernauwing van de stijgbuis (zie figuur 7).

Tabel 7

IJzerafzettingen op objectglaasjes, afkomstig uit
put 319 (type DWL)

tijdstip		aug. 73	jan. 74	maart 74	aug. 74	sept 74*	
contacttijd (dagen)		14	14	14	14	14	
nummer object- glaasje	diepte t.o.v. NAP (meters)	ijzerafzetting in mg per objectglaasje					
1	-0,7	alle objectglaasjes visueel schoon	objectglaasjes visueel schoon	0,22	0,27	0,13	
2	-1,2			0,39	0,38	0,12	
3	-1,7			0,14	0,51	0,16	
4	-2,2			0,19	0,47	0,11	
5	-2,7			0,12	0,39	0,12	
6	-3,2			0,13	0,29	0,12	
7	-3,7			0,18	0,28	0,11	
8	-4,2			0,19	0,40	0,10	
9	-4,7			0,13	0,43	0,11	
10	-5,2			0,14	0,39	0,13	
11	-5,7			0,22	0,33	0,10	
12	-6,2			0,19	0,45	0,14	
13	-6,7			0,12	0,35	0,09	
14	-7,2			0,05	0,17	0,63	0,10
15	-7,7			1,7	3,4	4,8	0,13
16	-8,2			0,05	0,14	1,0	0,10
17	-8,7			0,05	0,13	0,42	0,14
18	-9,2			0,05	0,14	0,56	0,21
19	-9,7			0,05	0,12	0,35	0,11
20	-10,2			0,04	0,10	0,75	0,10

Putconstructie: filter van 10,20 m beneden NAP tot 0,5 m boven NAP; onderkant haalbuis op 7,12 m beneden NAP en vanaf september 1974 op 4,10 m beneden NAP (zie figuur 7).

*Proef met ingekorte haalbuis. Alle objectglaasjes zijn voor microscopisch onderzoek aan één zijde schoongeveegd, alvorens het ijzergehalte (van de andere zijde) werd bepaald.

verloop van tijd over de objectglaasjes over het hele filtertraject uitbreiden. De sterkste ijzerafzettingen vinden echter niet in het filter maar daarboven in de stijgbuis plaats. Analoge metingen zijn ook in de speciaal voor het vergelijkend onderzoek geboorde putten 314 (type PWN) en 319 (type DWL) verricht (tabel 6 en 7). Beide putten zijn in juni 1973 in gebruik genomen. Opvallend is dat in put 314 reeds in augustus 1973 op alle objectglaasjes ter plaatse van het filtertraject aanzienlijke hoeveelheden ijzeroxyden werden afgezet (tabel 6). De in put 317 zo duidelijk van boven in het putfilter naar beneden voortschrijdende afzetting van ijzerneerslagen werd hier dus niet geconstateerd. Opvallend in tabel 6 is bovendien dat de sterkste ijzerafzettingen pas boven objectglaasje nummer 7 plaatsvinden, d.w.z. in het gedeelte van de stijgbuis dat vanaf 2,55 m beneden NAP vernauwd is. Bij de proeven in put 319 (type DWL) bleek dat in augustus 1973 alle ingehangen objectglaasjes schoon bleven. In de volgende experimenten in januari, maart en augustus 1974 was alleen op objectglaasje nummer 15 op ongeveer 50 cm beneden de onderkant van de haalbuis een duidelijk zichtbaar ijzerneerslag te onderscheiden. Alle overige glaasjes bevatten slechts minimale en met het oog soms nauwelijks zichtbare ijzerafzettingen. Bij inkorten van de haalbuis tot 4,10 m beneden NAP (september 1974) bleek ook het objectglaasje nr. 15 schoon te blijven. Het is interessant om de gegevens

uit tabel 7 te vergelijken met die uit tabel 3 en 4, waar de zuurstof- en ferrogatehalten in het water op verschillende diepten en afstanden van de panden worden gegeven. In de onmiddellijke nabijheid van pompput 518 blijkt het water op een diepte van 7,00 m beneden NAP en dieper ijzerhoudend en anaeroob te zijn. Op 3,03 m beneden NAP is het water sterk zuurstofhoudend en bevat het geen ijzer, terwijl in het tussenliggende traject weinig of geen zuurstof en ook weinig of geen ijzer wordt aangetroffen. Neemt men aan dat de situatie bij boring 319 globaal overeenkomt met die bij de pompput 518 (beide liggen op dezelfde afstand tussen twee panden), dan hangt de haalbuis in boring 319 omstreeks op de diepte waar voor het eerst ferro-ionen in het water op 1 meter afstand van de pompput aangetoond worden. Men kan zich dan voorstellen dat het ijzerhoudende anaerobe water afkomstig uit het diepere gedeelte van het putfilter in de richting van de onderzijde van de haalbuis naar boven stroomt. Het aerobe ijzervrije water van de bovenste stroombanen en het daaronder voorkomende water dat noch ijzer, noch zuurstof in noemenswaardige hoeveelheden bevat, stroomt naar beneden, ook in de richting van de onderzijde van de haalbuis. Omdat dit naar beneden stromende water hier ter plaatse 180° van richting moet veranderen, ontstaan er wervelingen, waardoor een uitstekende menging optreedt met het naar boven stromende anaerobe ijzerhoudende water. Dit verklaart waarom alleen op glaasje nummer 15, op 50 cm

beneden de onderkant van de haalbuis, ijzeroxyden worden afgezet. Ook in de haalbuis zelf en vooral bij de instroomopening wordt veel ijzer afgezet. Dit bleek toen de haalbuis geïnspecteerd werd. Vooral de binnenzijde was ernstig aangekoekt. Overigens blijkt uit tabel 7 dat voor het ontstaan van ijzernerneerslagen ter plaatse van de geforceerde menging van beide watersoorten een bepaalde inwerkingstijd nodig is, getuige het feit dat in augustus 1973, d.w.z. twee maanden na het gereedkomen van de boring nog geen ijzernerneerslagen op glaasje nummer 15 werden aangetoond. Wellicht is dit te verklaren doordat het enige tijd kan duren voordat ter plaatse van deze mengzone zich een voldoende grote populatie aan ijzerbacterien heeft gevormd. Dit blijkt ook bij de meting in september 1974, direct na het inkorten van de haalbuis tot 4,10 m beneden NAP. Ook toen werden geen ijzernerneerslagen op het objectglaasje vlak onder de onderzijde van de haalbuis geconstateerd. Tenslotte is van belang dat uit tabel 7 blijkt dat in het filtertraject boven de onderzijde van de haalbuis geen of nauwelijks ijzernerneerslagen worden afgezet. Dit is overeenkomstig de verwachtingen omdat over dit traject het aerobe ijzervrije water van de bovenste stroombanen mengt met water dat blijkens tabel 3 en 4 noch zuurstof noch ijzer in noemenswaardige hoeveelheden bevat, zodat van ernstige ijzerafzettingen geen sprake kan zijn. Bekijkt men de gegevens uit tabel 5 (put 317) in dit kader, dan is duidelijk waarom de

putverstopping in de PWN winningsputten boven in het putfilter begint. De reden hiervan is dat het ijzerhoudende anaerobe water dat de put op 7 m beneden NAP en dieper binnenkomt, in het filter naar boven stroomt en aan de bovenzijde van het filter het aerobe ijzervrije water ontmoet. Door de menging van beide watersoorten ontstaat daarbij een milieu dat bij uitstek geschikt is voor de ontwikkeling van ijzerbacterien (vnl. Gallionella en Leptothrix) die bij het microscopisch onderzoek ook op veel object-glaasjes zijn aangetoond. De ijzerneerslagen die nu ontstaan verstoppen langzamerhand de bovenste filterspleten, waardoor de bovenste aerobe stroombanen verder naar beneden moeten afbuigen zodat ook dieper gelegen filterspleten gaan verstoppen. Opvallend is dat men, als zich eenmaal een populatie heeft gevormd, na verloop van tijd de ijzerbacterien overal in de put aantreft, zelfs op plaatsen waar geen meetbare zuurstofconcentraties aangetroffen worden. Voor de putverstopping zelf is dit verder van weinig belang omdat onder dergelijke omstandigheden slechts zeer weinig ijzerneerslag wordt gevormd.

8.2.2 Pompproeven op de putten 317, 314 en 319

In tabel 8 zijn de gegevens vermeld van de pomp-proeven die met tussenpozen gedurende een tijdvak van omstreeks 15 maanden op de drie putten zijn uitgevoerd. Tijdens de proeven zijn de putten van de zuigleiding losgekoppeld en afzonderlijk afgepompt, waarbij het debiet en de waterstand in de binnen-

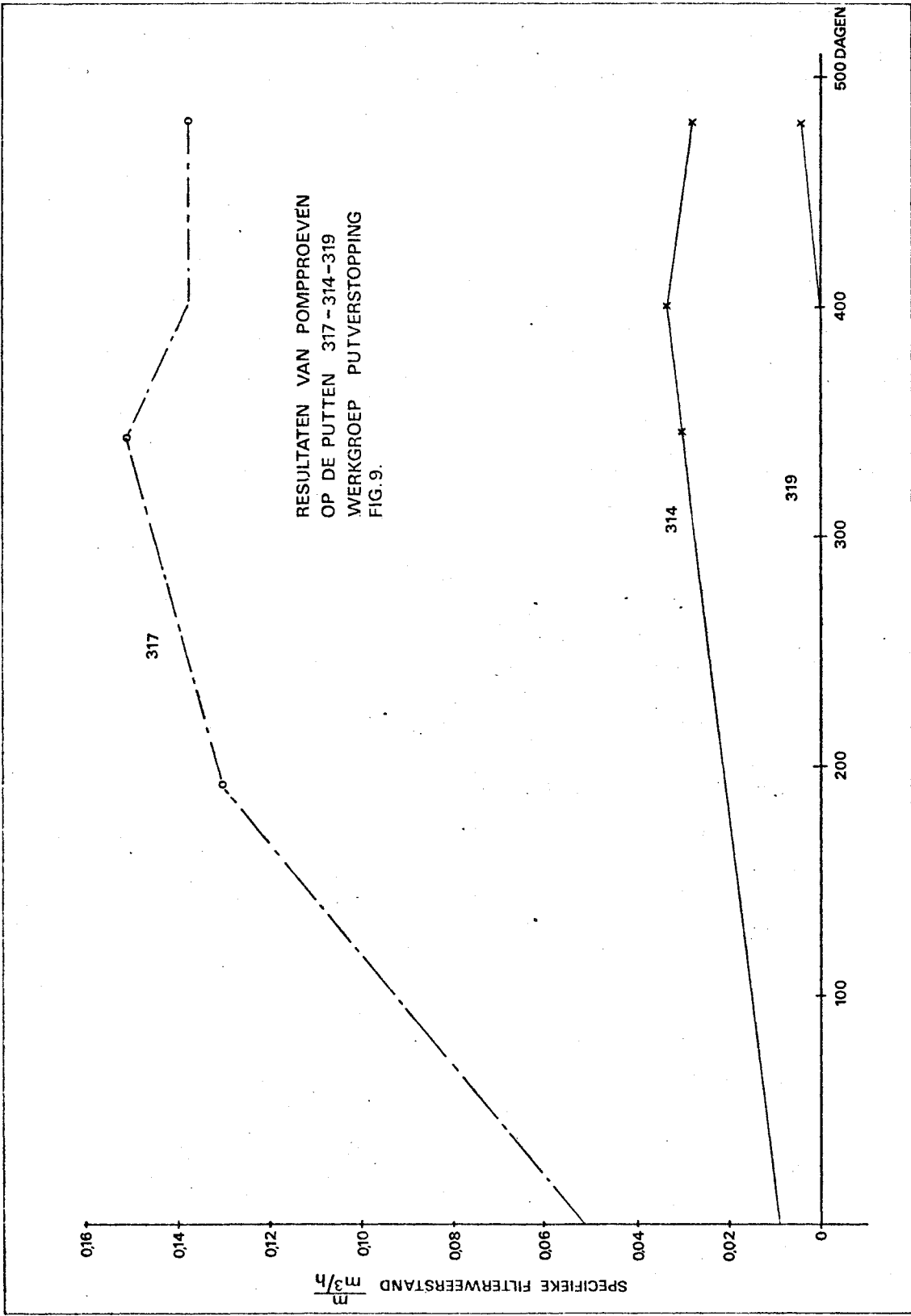
en buitenpeilbuis gemeten werd.

Bij de eerste pompproef bleek de geregenereerde PWN-put (317) een filterweerstand van 18 cm Wk bij $3,5 \text{ m}^3$ per uur te hebben. Beide nieuwe putten (314 en 319) hadden, zoals verwacht werd, bij hetzelfde debiet een verwaarloosbaar kleine weerstand van 3 resp. 0 cm Wk. Na 15 maanden is de filterweerstand van put 317 toegenomen tot ± 50 cm Wk. Dit is veel minder dan verwacht werd omdat bij het PWN één à twee maal per jaar alle putten geregenereerd worden. Bij het onderzoek bleek dat deze regelmatige regeneratie, bestaande uit het losborstelen en verwijderen van het in de put aanwezige ijzerslib, nauwelijks of geen effect sorteerde en daardoor vaak herhaald moest worden. Het PWN heeft in verband hiermee onderzoek verricht om de regeneratiemethode te verbeteren. Als de gegevens van de putverstopping in put 317 representatief zijn voor het hele waterwingebied, mag verwacht worden dat met deze verbeterde regeneratiemethode, bestaande uit het afwisselend onttrekken en terugpompen van het water in de putten, veel minder frekvent geregenereerd hoeft te worden. De specifieke filterweerstand van de drie putten zijn in figuur 9 grafisch uitgezet tegen de tijd dat de putten in bedrijf zijn geweest. Als belangrijkste punt komt hier naar voren, dat de specifieke filterweerstand in put 319 na 15 maanden nog verwaarloosbaar klein is. In put 314 blijkt deze in dezelfde periode opgelopen te zijn tot $0,028 \frac{\text{m}}{\text{m}^3/\text{h}}$ (11 cm Wk bij $3,87 \text{ m}^3/\text{h}$). Hier-

Tabel 8

Pompproefgegevens van de putten 314, 317 en 319

put nr.	datum	debiet (m ³ /h)	waterstanden in m t.o.v. NAP						potentiaal-daling in m van buiten-peilbuis	potentiaal-daling in m van binnen-peilbuis	filter-weerstand (m)	specifieke filter-weerstand ($\frac{m}{\frac{m^3}{h}}$)
			voor het pompen		na 10 min. pompen		binnen peilbuis	buiten peilbuis				
			buiten peilbuis	binnen peilbuis	buiten peilbuis	binnen peilbuis						
314	?-6-73	3.5	+ 1.51	+ 1.51	+ 1.04	+ 1.01	0.47	0.50	0.03	0.009		
317	?-5-73	3.5	+ 1.41	+ 1.41	+ 0.61	+ 0.43	0.80	0.98	0.18	0.051		
319	?-5-73	3.5	+ 1.03	+ 1.03	+ 0.39	+ 0.39	0.64	0.64	0	0		
314	21-11-73	3.7	+ 0.43	+ 0.43	- 0.37	- 0.85	0.80	1.28	0.48	0.13		
314	24-4-74	4.0	- 0.25	- 0.24	- 0.68	- 0.79	0.43	0.55	0.12	0.030		
317	24-4-74	3.84	- 0.31	- 0.31	- 1.54	- 2.12	1.23	1.81	0.58	0.151		
319	24-4-74				alleen weerstand bekend							
314	20-6-74	3.5	- 0.57	- 0.55	- 1.04	- 1.14	0.47	0.59	0.12	0.034		
317	20-6-74	3.48	- 0.70	- 0.68	- 1.55	- 2.01	0.85	1.33	0.48	0.138		
319	20-6-74	3.54	- 1.15	- 1.15	- 1.74	- 1.74	0.59	0.59	0	0		
314	10-9-74	3.87	+ 0.57	+ 0.58	+ 0.09	- 0.01	0.48	0.59	0.11	0.028		
317	10-9-74	3.9	+ 0.32	+ 0.30	- 0.46	- 1.02	0.78	1.32	0.54	0.138		
319	10-9-74	3.75	+ 0.01	+ 0.01	- 0.57	- 0.59	0.58	0.60	0.02	0.005		



uit blijkt dat put 319 (type DWL) inderdaad langzamer verstoopt dan put 314 (type PWN), hetgeen in overeenstemming is met het voorgestelde verstoppingsmechanisme. Anderzijds komt echter weer naar voren dat de putverstopping in de PWN putten een veel langzamer verlopend proces is dan bij de aanvang van het onderzoek op grond van de regeneratiegegevens aangenomen werd.

9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- 1) De putverstopping in het infiltratiegebied van het PWN te Castricum wordt veroorzaakt doordat de putten zowel aerob ijzervrij als anaerob ijzerhoudend water aantrekken.
- 2) Door de gedeeltelijke menging van beide water-soorten in het putfilter ontstaat een milieu waarin ijzerbacterien tot ontwikkeling komen.
- 3) De ijzerbacterien hechten zich aan de wand van het putfilter en veroorzaken een versnelde afzetting van ijzernerlagen (ferri-oxyhydraten), die de filterspleten gaandeweg van boven naar beneden verstoppem.
- 4) Door deze verstopping neemt de filterweerstand van de putten toe met enkele tientallen centimeters waterkolom per jaar.
- 5) Dat de putten in Castricum ondanks deze langzame verstopping een a twee maal per jaar geregenereerd moeten worden komt omdat de gebruikte regeneratiemethode, bestaande uit het schoonborstelen van de put en het verwijderen van het losgemaakte slib, weinig effectief is.
- 6) Tijdens het onderzoek van de Werkgroep is door het PWN een veel effectievere methode toegepast, bestaande uit het afwisselend onttrekken en terugpersen van het water in de putten. De verwachting bestaat dat de regeneratiefrekwentie bij gebruik van deze methode aanzienlijk verminderd kan worden.
- 7) Door de Werkgroep is de putverstopping onderzocht in een put met een tot vlak beneden het maaiveld

doorlopend putfilter, waaruit het water met behulp van een haalbuis onttrokken werd. De onderkant van de haalbuis was zo gesitueerd dat de menging van het aerobe en het ijzerhoudende water pas vlak bij en in de haalbuis optrad. Gebleken is dat de ijzerneerslagen zich nu niet in de filterspleten maar in de veel gemakkelijker schoon te maken haalpijp afzetten.

- 8) Aan de hand van deze ervaringen wordt in bijlage 1 een voorstel uitgewerkt voor een proefneming met gescheiden onttrekking van beide watersoorten, hetgeen gerealiseerd kan worden door in de bestaande putten een PVC pijp met een rubberen flap te hangen.

LITERATUUR

- 1) Putverstopping; mededeling nr. 1 van de Werkgroep Putverstopping door E.J.M. Kobus en J.W. Pieper (1973)
- 2) Kwaliteitsveranderingen bij infiltratie in de duinen; WIRDU rapport door drs. H.J.M. Lips, ir. B. Bulten en ir. J. van Puffelen (1969)
- 3) Kwaliteitsveranderingen door infiltratie; door ir. K.W.H. Leeflang. 17e Vakantiecursus (1965)
- 4) Methods of sustaining good infiltration results, by ir. J. Haasnoot en ir. K.W.H. Leeflang. Proceedings WRA conference Artificial groundwater recharge (1970)
- 5) Berekening van grondwaterstromingsproblemen met behulp van de eindige elementenmethode als handig en effectief gereedschap; ir. T.N. Olsthoorn, H₂O (1975)

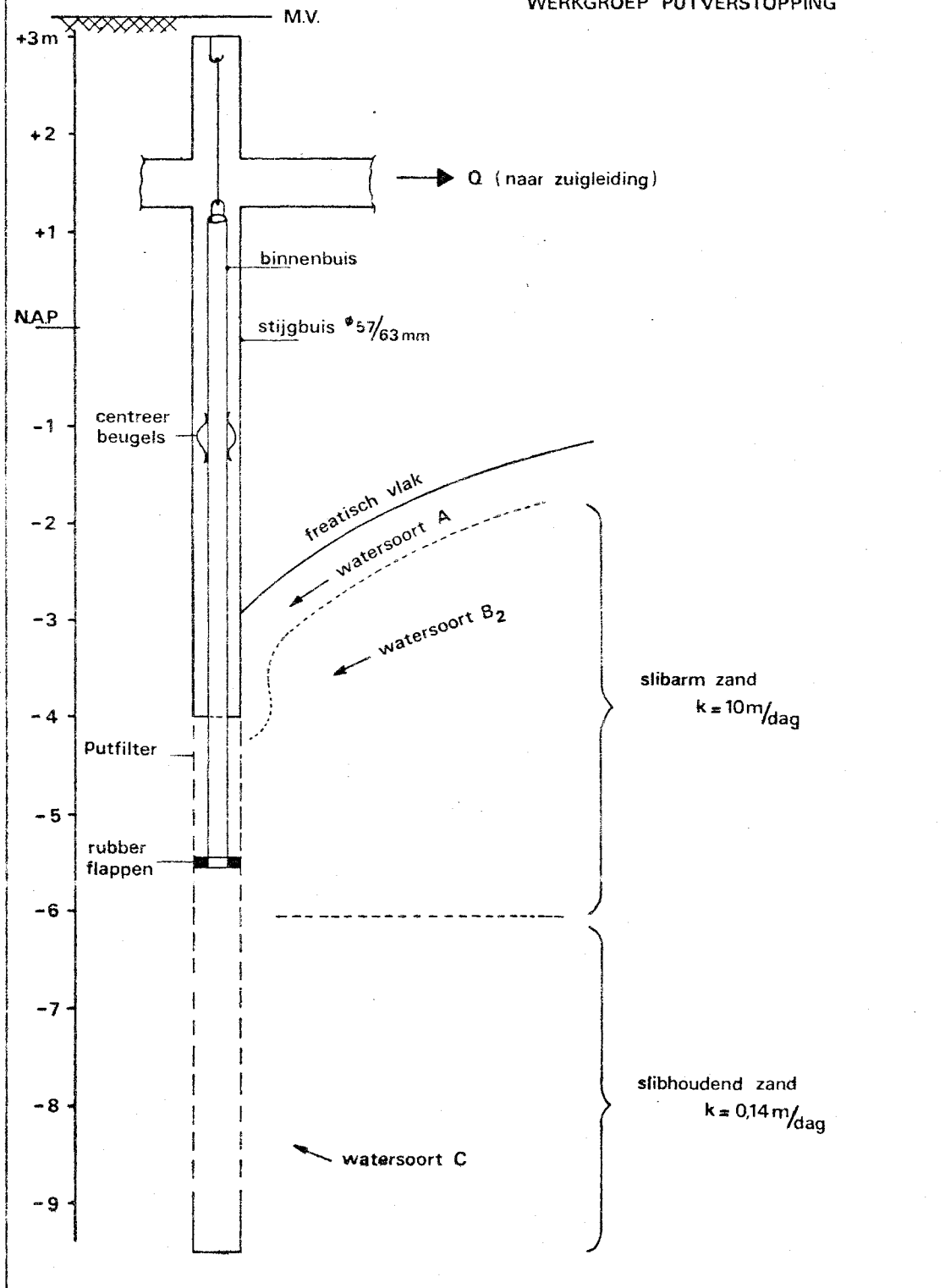
BIJLAGE 1

GESCHEIDEN ONTTREKKING VAN ZUURSTOFRIJK EN IJZER- HOUDEND WATER IN DE BESTAANDE POMPPUTTEN VAN HET PWN TE CASTRICUM

In de figuur is een methode aangegeven met behulp waarvan een gescheiden onttrekking van twee water-soorten gerealiseerd kan worden. In de stijgbuis van de putten is een binnenbuis gehangen. De ruimte tussen het putfilter en de binnenbuis wordt afgesloten door een rubberen flap die aan de onderkant van de binnenbuis bevestigd is. Het water dat het putfilter beneden deze afdichting binnenstroomt wordt door de binnenbuis afgevoerd en het water dat erboven binnenstroomt door de annulaire ruimte tussen het putfilter en de binnenbuis. Teneinde putverstopping te voorkomen moet men in Castricum een scheiding aanbrengen tussen de watersoorten A en C. De daartussen gelegen watersoort B₂ is uit oogpunt van putverstopping vrijwel indifferent omdat hij noch zuurstof noch ijzer in noemenswaardige hoeveelheden bevat. Menging van dit water met watersoort A of met watersoort C zal dus weinig problemen opleveren. De plaats van de onderkant van de binnenbuis is daarom niet erg kritisch. Wel moet hij ruim boven de grens met het slibhoudende zand liggen en ruim beneden de bovenkant van het putfilter. In de figuur reikt de binnenbuis tot 5,5 m beneden NAP. Globaal stroomt dan evenveel water het putfilter boven als onder de rubberen afdichting binnen. De diameter

5/1 200

**GESCHIEDEN ONTTREKING MET BEHULP
VAN BINNENBUIS.
WERKGROEP PUTVERSTOPPING**



van de binnenbuis dient hieraan aangepast te worden. Uiteraard kan men door deze gescheiden onttrekking niet verhinderen dat er na de menging van het aerobe en het ijzerhoudende water ijzerneslagen ontstaan. Deze ijzerneslagen zullen zich echter niet meer in de put of in de binnenbuis afzetten, maar in de zuigleiding, die veel eenvoudiger dan de put zelf schoon te maken is.