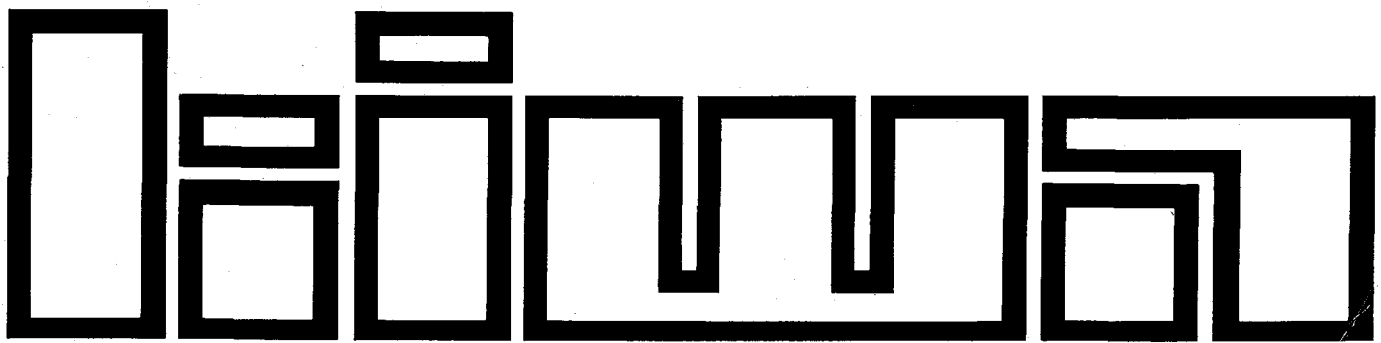


putverstopping



keurings-  
instituut  
voor  
waterleiding  
artikelen  
kiwa n.v.

# PUTVERSTOPPING

door

E.J.M. Kobus en J.W. Pieper

Mededeling nr. 1 van de Werkgroep Putverstopping

Rijswijk (Z.H.), mei 1973

De leden van de Werkgroep Putverstopping zijn:

ir. M.C. Brandes (voorzitter)

ing. P.J. van Winsen (secretaris)

drs. H.J. Boorsma

drs. E.J.M. Kobus

ir. R.P.G. van der Maale

ir. H. Tuinzaad

ir. W.J. Vlasblom

ir. J. Zweegman

## INHOUD

|       |                                                                              |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | INLEIDING                                                                    | 2  |
| 2.    | MECHANISCHE PUTVERSTOPPING                                                   | 4  |
| 2.1   | De keuze van de omstorting en de filterbuis                                  | 5  |
| 2.2   | Beperking van het debiet van een put                                         | 8  |
| 2.3   | Het ontwikkelen van een put                                                  | 11 |
| 3.    | FYSISCH-CHEMISCHE EN MICROBIOLOGISCHE<br>PUTVERSTOPPING                      | 15 |
| 3.1   | Fysisch-chemische putverstopping                                             | 15 |
| 3.1.1 | Putverstopping ten gevolge van ontgassing                                    | 16 |
| 3.1.2 | Putverstopping door chemische oxydatie<br>van bestanddelen in het grondwater | 16 |
| 3.1.3 | Putverstopping door oxydatie van het put-<br>filter (corrosie)               | 17 |
| 3.2   | Microbiologische putverstopping                                              | 19 |
| 4.    | REGENERATIE VAN VERSTOPTE PUTTEN                                             | 26 |
| 4.1   | De mechanische regeneratie                                                   | 26 |
| 4.2   | De chemische regeneratie                                                     | 27 |
| 4.3   | Combinaties van mechanische en chemische<br>regeneratie                      | 28 |
| 5.    | PREVENTIEVE MAATREGELEN                                                      | 30 |
| 6.    | SAMENVATTING                                                                 | 34 |
| 7.    | SUMMARY                                                                      | 37 |
| 8.    | LITERATUUR                                                                   | 40 |

## 1. INLEIDING

Uit een in 1968 gehouden enquête onder Nederlandse waterleidingbedrijven die grondwater distribueren is gebleken dat ongeveer 10% van het grondwater in Nederland gewonnen wordt uit putten die binnen 5 jaar merkbaar verstoppem. Bij circa 46% van de geënquêteerde bedrijven worden putten geregenereerd en vormt putverstopping derhalve een probleem. Aan het regenereren van verstopte putten zijn in het algemeen hoge kosten verbonden, terwijl het succes ervan geenszins bij voorbaat vaststaat. De vraag ligt daarom voor de hand of het niet mogelijk is putverstopping te voorkomen of althans te vermindern zodat de regeneratiefrequentie kleiner kan worden. Daarnaast is het van belang vast te stellen wat de optimale wijze van regenereren bij de verschillende vormen van putverstopping is.

Voor het verkrijgen van meer inzicht op dit gebied is een grondige kennis van de oorzaken, de mechanismen en de bestrijdingsmogelijkheden van de verschillende vormen van putverstopping vereist. In dit rapport is deze kennis, voor zover beschikbaar in de vorm van publicaties of mededelingen, samengevat. Aangezien het merendeel van de recente literatuur over putverstopping van Duitse oorsprong is, is de kans groot dat het accent teveel op de ervaringen valt die men in Duitsland op dit gebied heeft. Dit is te meer een bezwaar daar men ook in Nederland op het gebied van putverstopping over kennis beschikt die, hoewel nog niet geheel uitgekristalliseerd en dientengevolge ook nog niet gepubliceerd, tot andere gezichtspunten dan in

Duitsland heeft geleid. Daarom zijn in dit rapport ook de ervaringen verwerkt van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID) en van enkele Nederlandse waterleidingbedrijven voor zover deze in de Werkgroep Putverstopping naar voren zijn gekomen.

Aangezien het rapport als uitgangspunt voor verder onderzoek is bedoeld, is aangegeven op welke gebieden dit onderzoek zinvol zou zijn. In het rapport wordt onderscheid gemaakt tussen mechanische, fysisch-chemische en microbiologische putverstopping. Hoewel een gescheiden behandeling van deze vormen van putverstopping uit oogpunt van overzichtelijkheid te verkiezen is, dient men zich te realiseren dat deze verschillende vormen van putverstopping in de praktijk veelal gelijktijdig zullen optreden en elkaar bovendien sterk kunnen beïnvloeden.

## 2. MECHANISCHE PUTVERSTOPPING

Bij de grondwaterwinning door middel van putten is in het algemeen een constructie nodig om te voorkomen dat het bodemmateriaal uit de aangrenzende grondlagen wordt meegevoerd. Deze constructie bestaat veelal uit een filterbuis (of putfilter) en een omstorting.

Van mechanische putverstopping spreekt men wanneer de spleten in de filterbuis, of de poriën in of vlak buiten de omstorting, door zand of slib verstopt raken (ref. 12, 34, 44, 45). Het meevoeren van zand of slib (de z.g. verzanding) is een zuiver fysisch proces dat berust op de sleepkracht van de grondwaterstroming. De kans op verzanding kan men beperken door:

- de juiste keuze van de omstorting en de filterbuis,
- beperking van het debiet van de put,
- het verwijderen van slib en fijn zand rondom het filter, door het z.g. ontwikkelen.

Verzanding hoeft niet altijd mechanische putverstopping te veroorzaken. Uit proeven van Geiseler (ref. 26) en Davidenkoff (ref. 19) is nl. gebleken dat de drukval in de omstorting van een put zelfs bij sterke verzanding zeer gering was. Hieruit kan men concluderen dat het zand alleen de z.g. dode ruimte in de poriën, d.w.z. de ruimte die niet voor het watertransport wordt gebruik, opvult.

Omgekeerd zal elke vorm van putverstopping op den duur verzanding kunnen veroorzaken tenzij het debiet van de put verminderd wordt. Door de putverstopping vermindert immers het totale oppervlak dat voor het watertransport beschikbaar is zodat bij constant debiet de snelheid van het water en daarmee

ook de kans op het meeslepen van zand toeneemt.

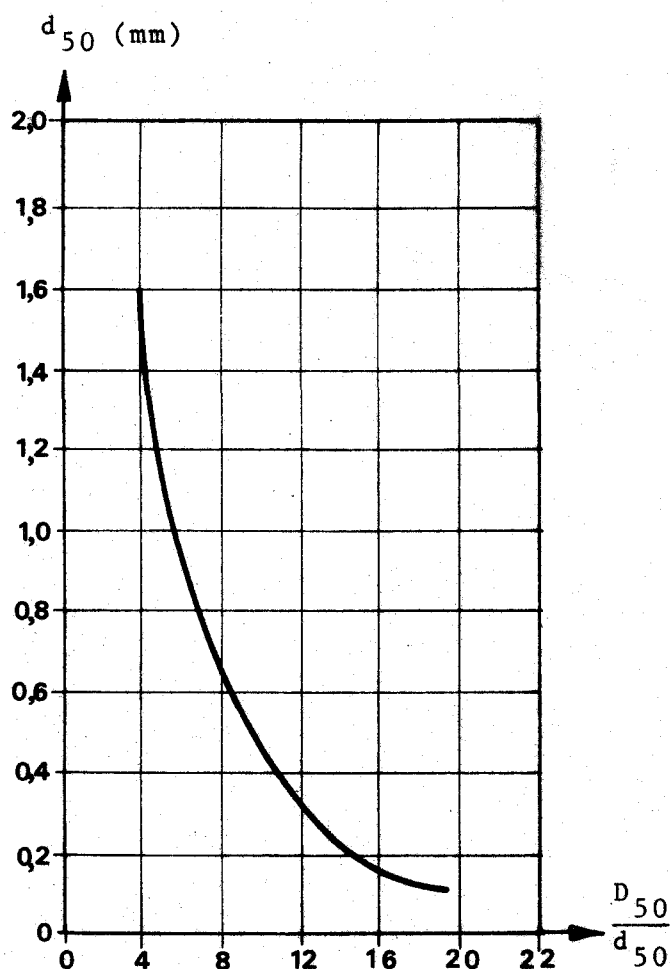
## 2.1 De keuze van de omstorting en de filterbuis

De omstorting en de filterbuis vormen samen de constructie die nodig is om het grondwater te laten binnenstromen zonder dat er zand of slib uit de aangrenzende grondlagen wordt meegevoerd. De aanwezigheid van een omstorting is niet zonder meer vereist. In grindlagen bijvoorbeeld is een putconstructie zonder omstorting zeer wel mogelijk (ref. 17 en 33). Deze formaties komen in Nederland echter zelden voor. In zandformaties zijn putten zonder omstorting alleen mogelijk als men de openingen in de filterbuis zeer klein kiest. In Nederland prefereert men dan in het algemeen een combinatie van een omstorting en een filterbuis met grotere openingen. Als de watervoerende laag uit zeer fijn zand bestaat, worden ook wel meervoudige omstortingen bestaande uit 2 of 3 lagen toegepast. Het aanbrengen van deze meervoudige omstortingen is niet eenvoudig (ref. 9, 33 en 36). Het nuttig effect ervan wordt bovendien door verschillende auteurs betwijfeld (ref. 25 en 33).

De korreldiameter van een omstorting moet aan bepaalde eisen voldoen. Is het hiervoor gebruikte zand of grind te grof, dan bestaat de kans dat tijdens het ontwikkelen teveel zand uit de aangrenzende formatie wordt meegevoerd. Bij minder homogene formaties kunnen dan plaatselijk holten ontstaan met alle risico's van dien (ref. 33). Kiest men de korreldiameter van de omstorting te klein dan bestaat de kans dat de sleuven in de filterbuis door het omstortingsmateriaal in zulke kleine openingen worden verdeeld



dat fijne zand- en slibdeeltjes daar stranden (ref. 29). Op deze wijze kan een begin van mechanische putverstopping ontstaan. Wat dit betreft verdient het aanbeveling de omstorting zo grof mogelijk te maken. In de oudere literatuur wordt in het algemeen als norm gesteld dat de 50 procents korreldiameter van de omstorting ongeveer 4 x zo groot moet zijn als de 50 procents korreldiameter van de aangrenzende grondlagen (ref. 34). (Een x procents korreldiameter,  $d_x$ , wil zeggen dat x % van de korrels een kleinere diameter heeft dan  $d_x$ .) In de meer recente literatuur is een tendens naar grovere omstortingen merkbaar. Hünérberg (ref. 34) adviseert aan de hand van onderzoeken in Berlijn, de 50 procents korreldiameter van de omstorting 4 x zo groot te kiezen als de 85 procents korreldiameter van de formatie. Afhankelijk van de homogeniteit van de watervoerende laag is dit een factor 2 of meer groter dan de oudere norm. Davidenkoff (ref. 19) toont aan dat men niet kan volstaan met het voorschrijven van één bepaalde verhouding tussen de korreldiameter van de omstorting en die van de formatie. Uit zijn onderzoek blijkt dat deze verhouding (de z.g. filterfactor) ook een functie is van de korreldiameter van de formatie. Bij grovere formaties kan men volstaan met een filterfactor van vier. Fijnere formaties blijken echter veel stabielere te zijn zodat de filterfactor veel groter gekozen kan worden (afb. 1). Behalve de korreldiameter blijkt ook de uniformiteit grote invloed op de stabiliteit van de formatie te hebben (ref. 26). In het algemeen is de formatie stabielere naarmate de uniformiteit ervan kleiner is. In dat geval kan de filterfactor dus groter gekozen worden.



afb. 1. De filterfactor als functie van de korreldiameter van de (uniforme) formatie. (Uit ref. 5.)

Gezien het bovenstaande is het niet verwonderlijk dat er geen universele norm bestaat voor de meest efficiënte omstorting. In ref. 36 wordt een overzicht gegeven van een aantal veel gebruikte normen betreffende de dimensionering van de omstorting. Voor verdere gegevens hieromtrent kan men de ref. 1, 5, 11, 25, 26, 34, 54 en 56 raadplegen.

Behalve de omstorting moet ook de filterbuis aan bepaalde eisen voldoen. De openingen in het filter

dienen enerzijds groot genoeg te zijn om het meegevoerde zand en slib door te laten en anderzijds klein genoeg om het omstortingsmateriaal tegen te houden. Men stelt wel dat de openingen dan niet kleiner dan  $\frac{1}{4}$  en niet groter dan  $\frac{1}{3}$  maal de gemiddelde korreldiameter van de omstorting mogen zijn (ref. 37). In de praktijk kiest men de filteropeningen in Nederland vaak groter. Het RID bijvoorbeeld adviseert in het algemeen een omstorting van 1,25 - 1,75 mm bij een spleetbreedte van 1 mm. Horstmeijer geeft in ref. 17 en 33 een uitgebreid overzicht van de gangbare filterbuizen.

## 2.2 Beperking van het debiet van een put

Door beperking van het debiet van een put wordt de snelheid aan het grensvlak van de formatie en de omstorting (de z.g. intredesnelheid) kleiner. De kans op het meeslepen van zand vermindert dan en daarmee ook de kans op mechanische putverstopping. Voor de bepaling van de maximale intredesnelheid hanteert men wel de formule van Sichardt (ref. 64):

$$v_{\max} = \frac{1}{15} \sqrt{k}$$

waarin  $v$  de intredesnelheid in m/sec en  $k$  de doorlaatbaarheid van de watervoerende laag in m/sec is. Ook maakt men wel gebruik van de formule van Gross (ref. 30):

$$v_{\max} = 2 \cdot d_{40}$$

waarin  $d_{40}$  de veertig procents korreldiameter is in

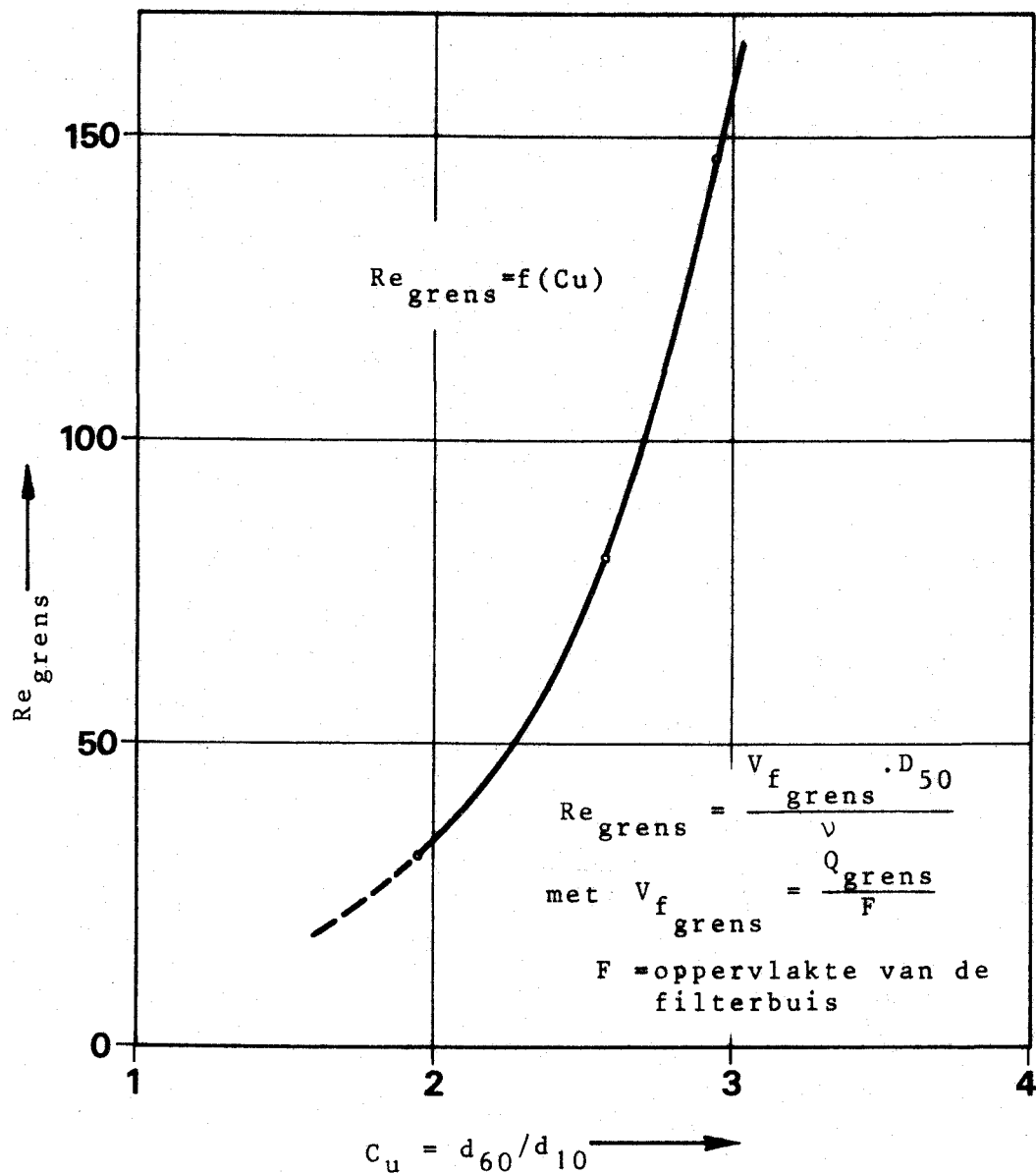
$v_{\max}$  de maximale intredesnelheid is in m/sec. Beide formules geven bij benadering hetzelfde resultaat. Dit is eenvoudig na te gaan als het verband tussen de korreldiameter van de watervoerende laag en de doorlaatbaarheid bekend is. Volgens Allen Hazen geldt bij natuurlijke zanden voor deze relatie bij benadering:

$$k = 11 \cdot 10^3 (d_{10})^2$$

met  $k$  in m/sec en  $d_{10}$  in m. Invullen van deze relatie in de formule van Sichardt geeft dan:

$$v_{\max} = 3,5 \cdot d_{10}$$

Dit is in goede overeenstemming met de formule van Gross voor zanden met een uniformiteitscoëfficiënt ( $d_{60}/d_{10}$ ) van ongeveer 3. In de praktijk kiest men de intredesnelheid in het algemeen nog twee tot drie maal kleiner dan volgens Sichardt en Gross is toegestaan. Het is de vraag of deze snelheidsbeperking uit het oogpunt van zandmeevoer zinvol is bij gebruik van een goed gedimensioneerde omstorting. Hünnerberg (ref. 34) vermeldt bijvoorbeeld proeven waaruit zou blijken dat zelfs bij zeer veel hogere snelheden nog geen zand meegevoerd wordt. De gebruikte proefopstelling doet echter vermoeden dat er grote meetfouten gemaakt zijn (ref. 11). Ook Öllös stelt dat veel hogere intredesnelheden dan thans worden toegepast, geoorloofd zijn (ref. 57). Gegevens over de door hem gebruikte proefopstelling ontbreken zodat de betrouwbaarheid van zijn resultaten onbekend is.



afb. 2. Het Reynolds getal in de omstorting bij beginnende verzanding als functie van de gelijkvormigheidscoëfficiënt. (Uit ref. 26.)

Onderzoekingen van Geiseler wijzen eveneens in de richting van hogere toelaatbare snelheden (ref. 26). Deze auteur bepaalt in een proefopstelling waarin ogenschijnlijk betrouwbare metingen mogelijk moeten

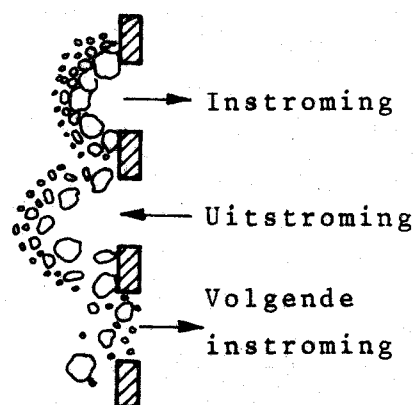
zijn, bij welk Reynolds getal in de omstorting aan het grensvlak met de filterbuis, de formatie instabiel wordt. In het bijzonder bij niet uniforme formaties blijken zeer hoge Reynolds getallen toelaatbaar te zijn (afb. 2). Een bezwaar van deze proeven is dat de meetresultaten slechts sporadisch vermeld worden en bovendien onvolledig verwerkt zijn zodat de experimenten alleen indicatieve waarde hebben.

Hoewel de bovengenoemde publicaties deels onbetrouwbaar en deels nog onvolledig zijn, is toch wel duidelijk dat de formules van Sichardt en Gross geen adequaat antwoord geven op de vraag wat de maximaal toelaatbare snelheid in verband met het meeslepen van zand is. Deze snelheid is zowel een functie van de korreldiameter en de uniformiteit van de watervoerende laag als van de verhouding tussen de korreldiameter van de omstorting en die van de formatie. Het verband tussen deze variabelen is nog zo onvolledig onderzocht dat dit onderwerp zich bij uitstek leent voor verder onderzoek.

### 2.3 Het ontwikkelen van een put

Het ontwikkelen van een put heeft in de eerste plaats ten doel de oorspronkelijke porositeit van de formatie aan het grensvlak met de omstorting te herstellen (ref. 35). Daarnaast tracht men in een zo groot mogelijk gebied rondom de put het aanwezige slib en fijne zand te verwijderen. Men neemt aan dat men op deze wijze de doorlaatbaarheid van de aan de omstorting grenzende bodemlagen kan verbeteren, waardoor het debiet van de put bij gelijkblijvende afpompingsgroter wordt. Bovendien is het mogelijk op deze wijze mechanische putverstopping te voorkomen

als men er tenminste in slaagt het fijne zand en slib over zo'n grote afstand te verwijderen dat er tijdens het normale gebruik van de put geen zand of slibtransport meer plaatsvindt. Wat dit betreft dient men zich te realiseren dat de stroomsnelheid in de onmiddellijke omgeving van de put zal toenemen als er fysisch-chemische of microbiologische putverstopping optreedt. Als dit verstoppingsproces voortschrijdt is zelfs bij de best ontwikkelde put op den duur zandtransport mogelijk.



afb. 3. Brugvorming en het opheffen ervan bij omkeren van de stromingsrichting. (Uit ref. 35.)

Voor het ontwikkelen zijn vele technieken beschikbaar. Bij al deze technieken tracht men de stroomsnelheid in de onmiddellijke omgeving van de put te vergroten. Als de richting van deze stroom steeds hetzelfde is, bestaat er echter gevaar voor brugvorming (afb. 3). De doorlaatbaarheid om het putfilter wordt dan niet groter maar kleiner. Deze brugvorming kan men opheffen door de stromingsrichting

periodiek om te keren. Het eenvoudigste geschiedt dit door intermitterend te pompen. Een overzicht van de gebruikelijke technieken vindt men in ref. 33 en 35. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar ref. 38, 41, 42, 43, 44, 65 en 68. Bij het ontwikkelen van nieuwe putten en het regenereren van mechanisch verstopte putten maakt men soms gebruik van chemicaliën die het slib in fijn verdeelde toestand brengen. Als zodanig worden wel calgon, chloorbleekloog of een oplossing van calgon in chloorbleekloog gebruik (ref. 14, 33, 37, 40, 44, 45 en 66). Chloorbleekloog heeft in feite een dubbele functie omdat het ook voor de desinfectie van een put gebruikt wordt.

Eén van de redenen waarom het ontwikkelen van putten in Nederland niet algemeen wordt toegepast is gelegen in de hoge kosten die eraan verbonden zijn. Deze kosten zijn temeer een bezwaar daar het niet bij voorbaat vaststaat in hoeverre putontwikkeling de opbrengst van de put ook op de lange duur ten goede komt (ref. 11, 29 en 34). Wat dit betreft is het van belang dat het debiet van een put bij gelijkblijvende afpompingslechts weinig toeneemt als men de diameter van de put vergroot. Bedenkt men dat een vergroting van de porositeit van de formatie zelfs op grotere afstand van de put nog belangrijk minder effect heeft dan vergroting van de putdiameter zelf, dan kan men zich afvragen of het wel mogelijk is de opbrengst van een put door ontwikkelen aanzienlijk te vergroten (ref. 29). Nahrgang (ref. 55) stelt dat ontwikkelen alleen zin heeft als de porositeit van de boorgatwand tijdens het boren



aanzienlijk is verminderd. Dit zou zich vooral kunnen voordoen bij spoelboringen omdat de boorgatwand dan door een pleisterlaag bedekt wordt. In hoeverre een pleisterlaag de specifieke opbrengst van een gezogen put vermindert is echter nog een open vraag. Brandes (ref. 10) heeft aan de hand van archiefgegevens onderzocht of er een significant verschil bestaat tussen de specifieke opbrengst van gepulste en gezogen putten. Uit zijn onderzoek blijkt dat dit verschil, indien het al bestaat, in ieder geval kleiner is dan de verschillen die het gevolg zijn van onregelmatigheden in de opbouw van de bodem.

Bovenstaande relativering van het nut van de putontwikkeling berust meer op intuïtie en praktijkervaringen dan op gedegen onderzoek. Gezien de kosten die aan het ontwikkelen van putten verbonden zijn, is onderzoek op dit gebied zeker zinvol. Een belangrijke stap in deze richting is door Geiseler gezet (ref. 26). Uit zijn laboratoriumproeven met een drietal niet uniforme zandmonsters bleek dat echte ontzanding pas bij zeer hoge Reynolds-getallen in de omstorting optreedt. Bij lagere Reynolds-getallen vinden alleen "zandverhuizingen" in de formatie plaats. Ten gevolge van deze "zandverhuizingen" wordt de porositeit van de formatie groter waardoor de specifieke opbrengst van de put stijgt. In hoeverre dit effect ook in de praktijk van belang is, is niet zonder meer duidelijk. De ontzanding blijkt dan immers al bij veel lagere Reynolds-getallen op te treden. Het is niet onmogelijk dat het effect van de bovengenoemde "zandverhuizingen" dan verwaarloosd kan worden bij het effect van de ontzanding.

### 3. FYSISCH-CHEMISCHE EN MICROBIOLOGISCHE PUTVER- STOPPING

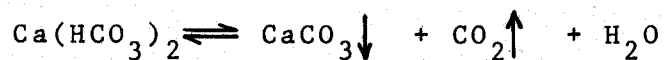
De in dit hoofdstuk beschreven putverstoppingen komen veel vaker voor dan mechanische putverstopping. Dit is wellicht de reden dat over hun aard en bestrijding ook meer bekend is. Terwijl het accent in het verleden vooral op de fysisch-chemische putverstopping werd gelegd, is men tegenwoordig in het bijzonder in de Duitse literatuur van mening dat het merendeel van de putverstoppingen van microbiologische oorsprong is. Een al te strenge scheiding tussen beide vormen van putverstopping is echter weinig zinvol. Zowel fysisch-chemische als microbiologische processen kunnen immers naast elkaar in dezelfde put optreden en elkaars werking beïnvloeden.

#### 3.1 Fysisch-chemische putverstopping

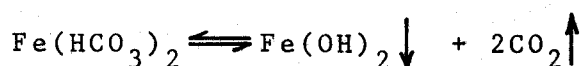
Bepalend voor het al of niet optreden van deze vorm van putverstopping is in de eerste plaats de chemische samenstelling van het grondwater. Daarnaast stelt men wel dat het al of niet voorkomen van turbulente stroming in en vlak buiten de filterbuis van belang is. Volgens een hypothese zouden chemische reacties zoals de oxydatie van ferro- en manganoionen tot onoplosbare oxyhydraten door turbulente stroming versneld worden. Deze turbulentiehypothese is echter tot op heden nooit eenduidig bewezen (ref. 34). In het onderstaande worden drie vormen van putverstopping waarbij fysisch-chemische processen een belangrijke rol spelen, besproken.

### 3.1.1 Putverstopping ten gevolge van ontgassing

Een veel beschreven voorbeeld van deze vorm van putverstopping berust op de verschuiving van het kalk-koolzuurevenwicht:



Zodra ontgassing optreedt en  $\text{CO}_2$  ontwijkt, verschuift het reactie-evenwicht naar rechts waarbij het redelijk oplosbare  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  wordt omgezet in het slecht oplosbare  $\text{CaCO}_3$  dat in de omstorting en in de openingen van de filterbuis kan neerslaan (ref. 7, 8, 27, 29, 38, 52, 53, 59 en 67). Ontgassing zou het gevolg kunnen zijn van een op zichzelf geringe hydrostatische drukverlaging die bij elke in bedrijf zijnde put optreedt (de z.g. afpompings). Verstoppingen ten gevolge van calciumcarbonatafzettingen zijn wel geconstateerd op de Veluwe. Het betrof hier vrij zacht water met een laag gehalte aan koolzuur en organische stoffen (ref. 38). Ontgassing kan behalve het kalk-koolzuurevenwicht ook andere chemische evenwichten beïnvloeden. Bijvoorbeeld:



Het gevormde  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  kan in aanwezigheid van zuurstof verder geoxydeerd worden tot zeer onoplosbare ferri-oxyhydraten. In principe kunnen op deze wijze ook neerslagen van mangaanoxyden ontstaan.

### 3.1.2 Putverstopping door chemische oxydatie van bestanddelen in het grondwater

Bij deze vorm van putverstopping worden in het

grondwater aanwezige ionen geoxydeerd waarbij onoplosbare producten ontstaan die het putfilter of de omstorting kunnen verstoppem. In de praktijk is vooral de oxydatie van ijzer en mangaanionen door in het grondwater opgeloste zuurstof van belang. Hierbij ontstaan neerslagen van ijzer- en mangaanoxyhydraten die tot verstoppingsverschijnselen aanleiding kunnen geven. Dit soort verstopping komt vooral voor als in de put of de omstorting menging plaatsvindt van zuurstofrijk water uit de bovenste grondlagen met zuurstofarm, vaak ijzerhoudend water uit de dieper gelegen lagen (ref. 7, 27, 31, 45 en 59). Een andere mogelijkheid is dat ijzerhoudend grondwater bij het stopzetten van de pomp belucht wordt doordat het water in aanraking komt met de zuurstof in de grondlagen die tijdens het pompen geen water bevatten. Hierdoor kan ontijzering in de grond en in het putfilter optreden. In beide gevallen vindt men in en om de put vaak ijzerbacteriën zodat naast fysisch-chemische ook microbiologische processen een rol spelen.

### 3.1.3 Putverstopping door oxydatie van het putfilter (corrosie)

Corrosie is niet alleen van belang omdat de corrosieproducten verstoppingsverschijnselen kunnen veroorzaken, maar ook omdat de filterbuisopeningen door de corrosie groter kunnen worden waardoor de put kan verzanden en in het ergste geval zelfs kan bezwijken. Of er onder bepaalde omstandigheden corrosie zal optreden is in de eerste plaats afhankelijk van de gebruikte materiaalsoort.

De materiaalsoorten die momenteel het meest gebruikt worden zijn volgens ref. 17 en 33:

### 1. Staal

Stalen putfilters werden in het verleden vaak aangetast door het grondwater. Hierin is verandering gekomen door de ontwikkeling van roestvaste staal-soorten en beschermende bekledingen. Een bezwaar van beschermende bekledingen is dat de putfilter-openingen ten minste 1,5 mm moeten bedragen, wil men er zeker van zijn dat het staal overal behoorlijk bekleed is. Verder kunnen kunststofbekledingen onder ongunstige omstandigheden (soms onder, soms boven water) na langere tijd dermate verouderingsverschijnselen gaan vertonen dat van de beschermende bekledingen niets meer overblijft.

Corrosie-ervaringen met stalen putfilters vindt men in ref. 15, 51 en 52.

### 2. Koper en koperlegeringen

Vele putten in Nederland hebben koperen putfilters. Deze kunnen worden aangetast wanneer er zuurstof-insluitingen in het materiaal zitten en wanneer er koolstofresten op het metaaloppervlak zijn achtergebleven. De kans op aantasting is vooral aanwezig wanneer het onttrokken grondwater een geringe hardheid heeft ( $<1$  meq.), een tamelijk hoge pH ( $>8$ ) en een vrij hoog zuurstofgehalte ( $>6$  mg/l).

Corrosie-ervaringen met koperen putfilters vindt men onder meer in ref. 3, 51 en 52.

### 3. Kunststof

Sedert het einde van de zestiger jaren heeft dit materiaal, in het bijzonder PVC, veel andere putfiltermaterialen waaronder ook koper en staal verdrongen. Slechts daar waar hoge eisen aan de sterkte worden gesteld, bijvoorbeeld bij zeer lage grond-

waterstanden of daar waar gevreesd moet worden voor grondverschuivingen zal men in Nederland nog geen kunststof toepassen. De voordelen van dit materiaal zijn:

- het is in hoge mate bestand tegen elke vorm van aantasting door water;
- het is licht van gewicht waardoor de putfilters gemakkelijk en snel te monteren zijn;
- het is goedkoop (ref. 53).

Corrosie-ervaringen met de verschillende putfiltermaterialen vindt men verder in ref. 3, 12, 18, 39, 51 en 52. Voor een gedeelte zijn deze ervaringen slechts van historisch belang omdat de corrosieproblemen bij putfilters in de laatste jaren ten gevolge van de ter beschikking gekomen resistente materiaalsoorten vergaand zijn opgelost (ref. 34).

### 3.2 Microbiologische putverstopping

Kenmerkend voor deze vorm van putverstopping is dat bij de vorming van de verstoppende afzettingen micro-organismen betrokken zijn. In de praktijk blijken vooral afzettingen van ijzer- en mangaanoxyhydraten veelvuldig voor te komen. Bij een in 1968 gehouden enquête onder de Nederlandse waterleidingbedrijven die grondwater distribueren werd ongeveer 90% van het totale aantal gemelde verstoppingen door ijzerafzettingen veroorzaakt (ref. 24). Hoewel deze afzettingen in principe op zuiver fysisch-chemische wijze kunnen ontstaan, blijken in de meeste van deze verstopte putten ijzerbacteriën voor te komen. Over de rol die deze ijzerbacteriën bij de oxydatie van ferroionen spelen, zijn de meningen verdeeld. Dit is niet verwonderlijk als men bedenkt dat er ver-

schillende soorten, zowel heterotrofe als chemoautotrofe ijzerbacteriën bestaan die ieder op een andere wijze bij de oxydatie van ferroionen betrokken zijn.

In West-Duitsland zijn er sinds 1954 door het Berlijnse waterleidingbedrijf onderzoeken verricht naar de aard, de oorzaak en de bestrijdingsmogelijkheden van deze vorm van putverstopping (ref. 11 en 34). De Fachausschuss van de DVGW "Wasserfassung und Wasseranreicherung" heeft het "Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene" in 1961 de opdracht verstrekt na te gaan of de door het Berlijnse waterleidingbedrijf gevonden resultaten ook elders in West-Duitsland van kracht waren. Het onderzoek bestond o.a. uit de volgende onderdelen:

- fotografisch onderzoek met een onderwatercamera waarmee tot op 100 meter diepte kleurenfoto's gemaakt konden worden;
- microbiologisch onderzoek met behulp van op verschillende plaatsen in de put gehangen glasplaatjes;
- chemisch onderzoek van het op verschillende plaatsen in het filter binnenstromende grondwater;
- meting van de drukverschillen tussen een peilfilter in de omstorting en een peilfilter in de formatie vlak buiten de omstorting.

Bij de onderzoeken werd gevonden dat putverstoppingen in West-Duitsland meestal van microbiologische aard zijn. De meest voorkomende bacteriën waren ijzerbacteriën (*Gallionella* en *Leptothrix*). De afzettingen begonnen meestal in de filterspleten en op de filterwand. Na enige tijd werden daar dikke samenhangende vlokken gevormd die het doorstroomde filterbuisoppervlak verminderden (ref. 11, 31, 32, 34 en 46). Op grond van de onderzoekresultaten werd

het DVGW Merkblatt W131 "Hinweise zur Verhütung der biologischen Brunnenverockerung" samengesteld (ref. 22). Daarin wordt gesteld dat er voor het ontstaan van microbiologische verstopping moet worden voldaan aan de volgende vier voorwaarden:

1. de aanwezigheid van ijzer- en mangaanbacteriën;
2. de aanwezigheid van tweewaardige ijzer- en mangaanionen;
3. de overschrijding van een bepaalde waarde van de redoxpotentiaal;
4. een verhoging van de stromingssnelheid.

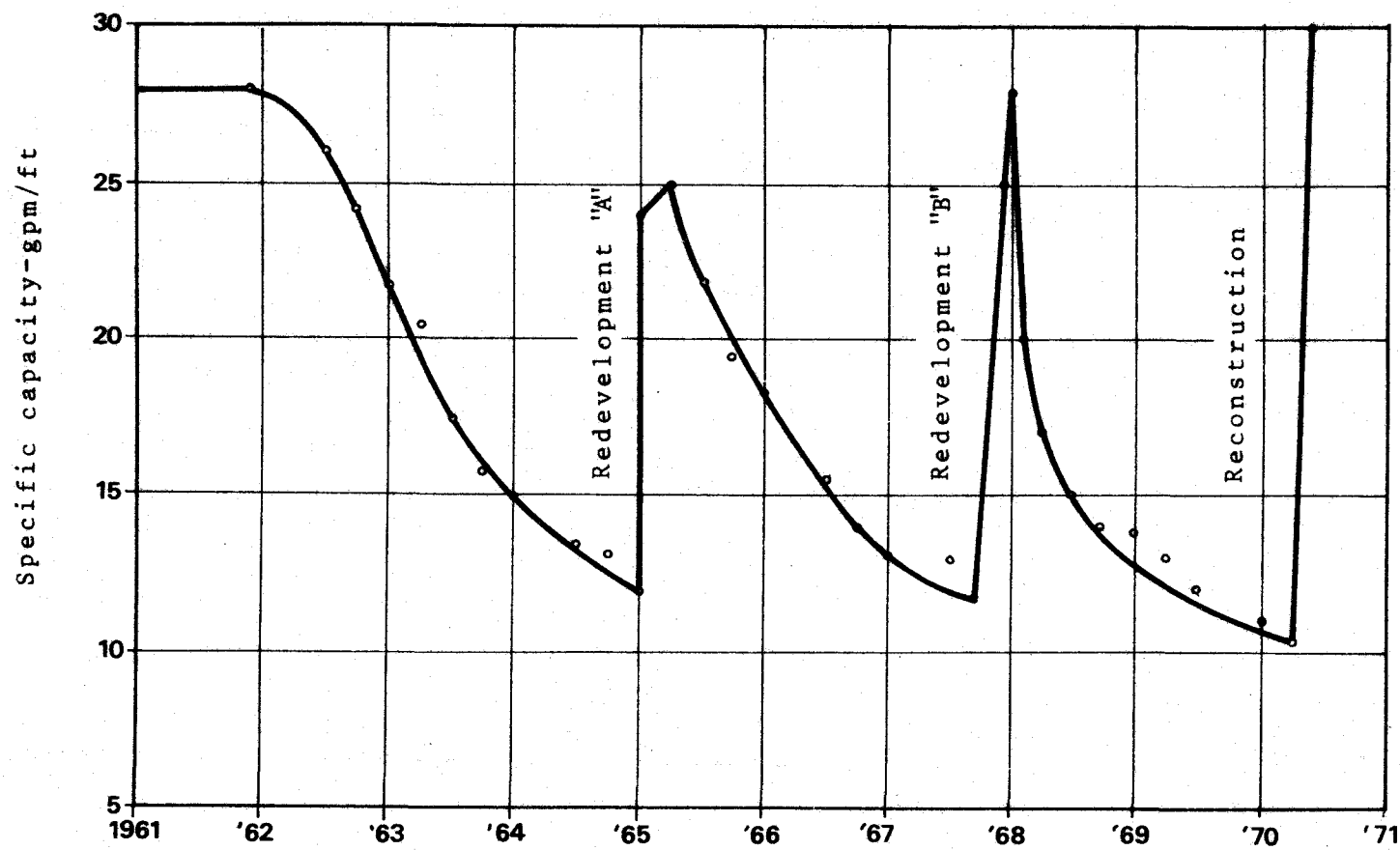
ad 1.

Voor ijzer- en mangaanbacteriën die bij putverstopping een rol spelen worden in de literatuur de volgende levenscondities vermeld (ref. 29, 31, 32 en 51):

- a. de aanwezigheid van ijzer en mangaan;
- b. de aanwezigheid van zuurstof;
- c. een pH tussen de 5,4 en 7,2.

Het blijkt dat de ene bacteriesoort meer zuurstof nodig heeft dan de andere. Een grenswaarde werd niet gevonden. Ongunstig voor de ontwikkeling van deze bacteriën zijn hoge concentraties aan opgeloste zouten en hoge sulfaat- en chloridegehalten (ref. 51 en 53). In afb. 4 (ref. 51 en 53) is de vermindering van de putopbrengst ten gevolge van de groei van ijzerbacteriën grafisch uitgezet tegen de tijd. Na perioden van ongeveer drie jaar bleek de verstopping dusdanig te zijn dat geregenereerd moest worden. Er wordt wel gesteld dat ijzerbacteriën zich niet kunnen ontwikkelen op koperen putfilters vanwege de toxische eigenschappen van het koper. In de praktijk is alleen gebleken dat bij putten die slechts een





afb. 4. Het effect van putverstopping door ijzerbacteriën (*Gallionella*) op de specifieke opbrengst van een put. (Uit ref. 51 en 53.)

gedeelte van de tijd in gebruik zijn koperen putfilters remmend kunnen werken op de bacteriëngroei (ref. 53).

ad 2.

Voor stilstaand water wordt in ref. 22 en 31 een minimum concentratie van 1,6 mg/l  $\text{Fe}^{2+}$  opgegeven. Voor stromend water geldt een lagere concentratie (0,2-0,5 mg/l  $\text{Fe}^{2+}$ ) omdat daar een continue toevoer is. Een minimum waarde voor de benodigde concentratie aan tweewaardige mangaanionen is niet bekend.

ad 3.

Volgens Duitse onderzoeken is de kans op microbiologische putverstopping groot als de redoxpotentiaal van het opgepompte water 10 mV  $\pm$  20 mV is bij een pH-waarde van ongeveer 7. De rH-waarde, een factor waarin de redoxpotentiaal en de pH-waarde zijn samengebracht, is dan  $\geq 14,5 \pm 0,5$  (ref. 22, 31, 32 en 34). Uit de ervaringen in Duitsland is gebleken dat de bacterie-ontwikkeling des te sterker is naarmate de rH-waarde hoger boven de grenswaarde ligt (zie de tabel van afb. 5, ref. 31 en 32). Wanneer de waarden in het grensgebied liggen moet ten minste gerekend worden op een gedeeltelijke putverstopping (ref. 22). Het nut van de redoxpotentiaal van het opgepompte water als maatstaf voor het al of niet optreden van ijzerverstopping wordt in het bijzonder door het RID sterk betwijfeld (ref. 11, 60 en 61). De voornaamste reden hiervoor is dat veel putten die last van ijzerverstopping hebben behalve anaëroob ijzerhoudend water ook een geringe hoeveelheid aëroob water aantrekken. Bij menging van deze twee water-soorten wordt de zuurstof uit het aërobe water verbruikt om het ijzer uit het anaërobe water te oxyderen.

Afb. 5. Verband tussen de redoxpotentiaal van het opgepompte water en microbiologische putverstopping. (Uit ref. 31 en 32.)

| Location          | Well No | Oxidation-reduction potential mV | rH    | pH   | Condition              |
|-------------------|---------|----------------------------------|-------|------|------------------------|
| Mannheim-Käfertal | 18      | + 89                             | 18.11 | 7.55 | Considerable deposit   |
|                   | "       | +90                              | 18.28 | 7.52 | "                      |
|                   | 24      | +114                             | 19.06 | 7.6  | "                      |
| Hanau             | "       | +129                             | 19.56 | 7.6  | "                      |
|                   | 2       | +109                             | 17.39 | 6.85 | "                      |
|                   | "       | +100                             | 16.78 | 6.7  | "                      |
|                   | 1       | +106                             | 17.18 | 6.8  | "                      |
| Nordhorn          | "       | +139                             | 18.10 | 6.7  | "                      |
|                   | 29      | - 81                             | 11.14 | 6.94 | Clean                  |
|                   | "       | - 91                             | 10.42 | 6.75 | "                      |
| Hünxe             | 5       | + 64                             | 16.37 | 7.1  | Deposit                |
|                   | "       | + 59                             | 15.79 | 6.9  | "                      |
|                   | 6       | + 69                             | 17.13 | 7.4  | "                      |
|                   | "       | + 99                             | 17.75 | 7.2  | "                      |
| München Gladbach  | 4       | +204                             | 20.10 | 6.6  | Considerable deposit   |
|                   | "       | +219                             | 20.41 | 6.5  | "                      |
|                   | 5       | +230                             | 21.18 | 6.7  | "                      |
|                   | "       | +249                             | 21.42 | 6.5  | "                      |
| Krefeld           | 1a      | + 54                             | 16.22 | 7.2  | deposit                |
|                   | "       | + 74                             | 16.70 | 7.1  | "                      |
|                   | 2a      | + 84                             | 17.04 | 7.1  | "                      |
|                   | "       | +100                             | 17.38 | 7.0  | "                      |
| Beelitzhof        | 22      | - 36                             | 13.64 | 7.43 | No incrustation        |
|                   | 21      | + 4                              | 14.99 | 7.43 | "                      |
|                   | 20      | - 36                             | 13.58 | 7.4  | "                      |
|                   | 19      | - 36                             | 13.56 | 7.39 | "                      |
|                   | 18      | - 40                             | 13.54 | 7.45 | "                      |
|                   | 17      | - 26                             | 13.88 | 7.38 | "                      |
|                   | 16      | - 26                             | 13.94 | 7.41 | "                      |
|                   | 15      | - 36                             | 13.66 | 7.44 | "                      |
|                   | 14      | - 41                             | 13.51 | 7.45 | "                      |
|                   | 13      | - 31                             | 13.73 | 7.39 | Incrustation beginning |
|                   | 12      | - 6                              | 14.52 | 7.36 | "                      |
|                   | 11      | 0                                | 14.92 | 7.46 | No incrustation        |
|                   | 10      | - 31                             | 13.77 | 7.41 | "                      |
| Jungfernheide     | V,1     | + 19                             | 15.5  | 7.43 | Deposit                |
|                   | V,2     | + 64                             | 17    | 7.42 | "                      |
|                   | EII,1   | - 51                             | 13.25 | 7.49 | Clean                  |
|                   | EII,6   | - 11                             | 13.94 | 7.16 | "                      |
|                   | EI,1    | - 21                             | 14.19 | 7.45 | "                      |
|                   | EI,2    | - 22                             | 14.44 | 7.41 | "                      |
|                   | EI,8    | + 19                             | 15.34 | 7.35 | "                      |
|                   | EI,9    | + 49                             | 16.43 | 7.39 | Deposit                |
|                   | EI,10   | +194                             | 21.20 | 7.32 | "                      |
|                   | EI,11   | +169                             | 20.36 | 7.32 | "                      |
|                   | EI,12   | 0                                | 14.72 | 7.36 | "                      |
|                   | 1       | +123                             | 19.4  | 7.60 | "                      |

Het opgepompte water is dan vrijwel volledig anaëroob en heeft waarschijnlijk een lage redoxpotentiaal zodat men ten onrechte zou concluderen dat er geen gevaar voor ijzerverstopping is.

ad 4.

De verhoogde instroomsnelheid is in het algemeen aanwezig. Het blijkt dat hogere stromingssnelheden de ontwikkeling van de betreffende ijzer- en mangaanbacteriën bespoedigen.

Behalve ijzer- en mangaanbacteriën kunnen ook sulfaatreducerende bacteriën microbiologische putverstopping veroorzaken. Deze bacteriën reduceren sulfaat tot sulfide waardoor neerslagen, bijvoorbeeld van FeS kunnen ontstaan (ref. 31, 32, 38 en 53). In Nederland komt deze vorm van putverstopping betrekkelijk zelden voor.

#### 4. REGENERATIE VAN VERSTOPTE PUTTEN

Putverstopping kan men zowel op mechanische als op chemische wijze trachten op te heffen. Bij ernstige vormen van putverstopping zijn echter alleen regeneratiemethoden bestaande uit een combinatie van mechanische en chemische reiniging effectief.

##### 4.1 De mechanische regeneratie

Hierbij worden voornamelijk toegepast:

1. Het reinigen met staalborstels en zwabbers, gevolgd door schoonpompen (ref. 11, 44 en 66).
2. De luchtliftmethode en de drukstootmethode.

Bij deze methoden wordt schoksgewijs een korte, sterke stroming naar de put opgewekt waardoor de verstoppende afzettingen worden losgemaakt. Bij de luchtliftmethode (ref. 11) wordt van tijd tot tijd de afvoerleiding van het water afgesloten waardoor de druk oploopt. Na plotselinge opening van de afvoerleiding ontstaat dan een korte sterke stroming naar de put. Bij de drukstootmethode (ref. 58) wordt met behulp van perslucht de waterspiegel in de put over een afstand van circa 10 m omlaagedrukt. Daarna neemt men plotseling de druk weg waardoor weer een kortstondige sterke stroming naar de put ontstaat. Na deze methode moet weer worden schoongepompt om de losgemaakte afzettingen te verwijderen.

3. Het spuiten van water in het putfilter.

Dit kan sectiegewijs gebeuren door het water door een zogenaamde spuitklos in de filterspleten te spuiten (ref. 9).

#### 4.2 De chemische regeneratie

Bij de chemische regeneratie tracht men de verstoppende afzettingen met behulp van chemicaliën op te lossen. Zoutzuur wordt hiervoor het meest gebruikt (ref. 38, 44, 50, 53 en 66). Om aantasting van het putfilter te voorkomen moet dan een inhibitor worden toegevoegd (0,2% hexamethyleentetramine). In het algemeen is een zoutzuurconcentratie van 30% effectief. Bij aanwezigheid van veel organische verbindingen wordt de zoutzuurbehandeling wel gevolgd door een behandeling met zwavelzuur (ref. 35). Ook andere zuren (bijvoorbeeld: mierenzuur, hydroxyazijnzuur en salpeterzuur) worden wel incidenteel gebruikt. Oxaalzuur zou effectief zijn bij de verwijdering van bruinsteen (ref. 38) terwijl vast koolzuur wel gebruikt is bij het bestrijden van kalkafzettingen (ref. 9). In enkele gevallen is een behandeling met  $\text{SO}_2$  effectief gebleken (ref. 12, 44 en 66). Behalve van zuren maakt men ook wel gebruik van dispersiemiddelen zoals Aquadene (ref. 51). Meestal betreft het hier polyfosfaten. Een bezwaar van deze fosfaten zou kunnen zijn dat ze een voedingsbodem voor bacteriën kunnen vormen. Slijmvorming van microbiologische oorsprong kan vaak effectief verwijderd worden door de put te chloren. Hiervoor zijn veel hogere concentraties nodig dan voor desinfectie. Voor hetzelfde doel kan ook van het veel duurdere waterstofperoxide gebruik worden gemaakt (ref. 28). In het algemeen verdient het aanbeveling de chemische behandeling zoveel mogelijk sectiegewijs uit te voeren en de chemicaliën onder druk door het putfilter in de omstorting te persen (ref. 11, 36, 38 en 66).

#### 4.3 Combinaties van mechanische en chemische regeneratie

Het aantal combinaties van de bovenbeschreven chemische en mechanische reinigingsmethoden is vrijwel onbeperkt. Sommige bedrijven hebben op het eigen bedrijf afgestemde regeneratiemethoden ontwikkeld. Andere bedrijven maken gebruik van de ervaring van boorbedrijven en laten de putten door hen regenereren. Een voorbeeld van een op het eigen bedrijf ontwikkelde methode is de bij de Berliner Wasserwerke gebruikte methode van Krems (ref. 11, 47 en 48). Deze methode bestaat uit de volgende onderdelen (ref. 11):

- mechanische reiniging met staalborstels gevolgd door het uitpompen van het losgemaakte vuil;
- opwekking van een schoksgewijze stroming met behulp van de luchtliftmethode;
- sectiegewijs zuren met 60 liter zoutzuur per sectie van 0,5 meter. Daarbij wordt het zuur met perslucht in de omstorting geperst. Deze handeling wordt alleen aanbevolen in die gedeelten van het filter waar met de onderwatercamera ijzer- en mangaanafzettingen zijn geconstateerd;
- sectiegewijs schoonpompen van de put na 24 uur;
- montage van de onderwaterpomp en proefpompen.

Bij deze methode heeft de ervaring geleerd dat een zuurbehandeling zonder de voorafgaande twee reinigingen weinig effect heeft. Omgekeerd zou mechanische reiniging alleen ook weinig effectief zijn (ref. 11). De methode wordt aanbevolen in ref. 31 en 32.

Een voorbeeld van een regeneratiemethode die door een boorbedrijf wordt verricht is de "spuitklosmethode" (ref. 66). Deze methode bestaat uit de volgende handelingen:

- borstelen, gevolgd door schoonpompen;
- water onder hoge druk door een spuitklos in de filterspleten spuiten, daarna schoonpompen;
- het opwekken van een schoksgewijze stroming naar de put toe met behulp van perslucht;
- zuurbehandeling.

Niet alle putten zijn te regenereren. Men dient er bovendien rekening mee te houden dat de putregeneratie meestal slechts een tijdelijke toestandsverbetering tot gevolg heeft wanneer niet voldoende preventieve maatregelen worden getroffen (ref. 9).



## 5. PREVENTIEVE MAATREGELEN

Daar men in verreweg het merendeel der gevallen te maken krijgt met microbiologische verstopping zijn de preventieve maatregelen meestal gericht op het voorkómen van deze vorm van verstopping. Wacht men daarmee tot de putopbrengst terugloopt dan is het te laat (ref. 11 en 31). In het DVGW-Merkblatt W131 (ref. 22) wordt geadviseerd vóór of kort na de ingebruikname van de put vast te stellen of er gevaar is voor microbiologische putverstopping zodat tijdig met de preventieve maatregelen begonnen kan worden. De preventie van microbiologische putverstopping zal het meest effectief zijn als men kan voorkomen dat de bacteriën die bij de verstopping een rol spelen zich in de put kunnen ontwikkelen. Eén van de maatregelen die daarvoor geopperd zijn is een drastische beperking van het voedsel-aanbod van de bacteriën door het debiet van de put te verlagen (ref. 12, 38 en 53). Tuinzaad betwijfelt het nut van een dergelijke maatregel (ref. 29) omdat de kans groot is dat de putverstopping niet voorkomen maar slechts vertraagd wordt. Halveert men bijvoorbeeld het debiet van een put dan duurt het wellicht tweemaal zo lang voordat deze put geregeneerd moet worden. Voor dezelfde productie heeft men nu echter tweemaal zoveel putten nodig zodat er per schoonmaak ook tweemaal zoveel putten geregenereerd moeten worden. Het voordeel is dan op zijn minst twijfelachtig.

Een betere methode voor preventie van microbiologische putverstopping blijkt het toevoegen van bacteriedodende chemicaliën te zijn. Hiervoor worden

meestal oplossingen van hypochloriet (chloorkalk en chloorbleekloog) gebruikt (ref. 11, 28 en 53) terwijl incidenteel behandelingen met waterstofperoxide worden toegepast. De gassen chloor en chloordioxide worden ook wel gebruikt ondanks het bezwaar dat men hiervoor goed opgeleid personeel nodig heeft omdat de kans op ongevallen groot is (ref. 11 en 22). Soms blijkt een chloorbehandeling niet te helpen. Er wordt wel verondersteld dat de kiemen van de bacteriën zich dan in het slib in leven kunnen houden (ref. 44). Men dient zich echter te realiseren dat er, ook als alle bacteriën in het slib gedood zijn, weer nieuwe bacteriën met het toestromende grondwater aangevoerd kunnen worden zodat opnieuw een begin van putverstopping kan ontstaan.

Ter preventie van putverstopping kan men continue een bepaald chloorgehalte in de put handhaven of wel van tijd tot tijd gedurende een korte periode een hoger chloorgehalte in de put tot stand brengen. In het eerste geval, de continue preventie, is volgens ref. 28 en 60 een chloorgehalte nodig van 0,1-0,2 ppm. De moeilijkheid bij deze continue preventie is dat het opgepompte water geen restchloor mag bevatten, hetgeen vooral bij discontinue bemaling moeilijk te verwezenlijken is. In ref. 51 wordt een continue chloordosering buiten de omstorting door middel van een ring van hulpputjes om de centrale put beschreven. Met deze methode zijn echter geen bevredigende resultaten bereikt. Betere resultaten worden bereikt met de discontinue chloring. Het voordeel daarbij is dat de aanwezigheid van restchloor in het opgepompte water eenvoudig is te verhelpen door net zo lang schoon te pompen totdat het water geen restchloor meer bevat. In ref. 39 wordt aanbevolen reeds

tijdens het boren met het chloren te beginnen. Uit ref. 28 blijkt dat eenmaal gevormde ijzerbacteriekolonies snel afsterven in een geconcentreerde hypochlorietoplossing (chloorconcentratie 300 ppm, contacttijd 18 uur). Een behandeling met peroxide plus fosfaten bleek bij de betreffende onderzoeken nog effectiever ( $H_2O_2$  concentratie 100 ppm, contacttijd 2 uur); zie de tabel van afb. 6 (ref. 28). In het

Afb. 6. Time for bacteria to dislodge from stick after exposure to hydrogen peroxide solutions. (Uit ref. 28.)

| concentration<br>of solutions<br>mg/l | time for |                      |
|---------------------------------------|----------|----------------------|
|                                       | $H_2O_2$ | phosphate + $H_2O_2$ |
| 50                                    | 8 Hr     | 5 Hr                 |
| 100                                   | 3,5 Hr   | 2 Hr                 |
| 200                                   | 65 Min   | 60 Min               |
| 300                                   | 20 Min   | 25 Min               |
| 600                                   | 10 Min   | 7 Min                |

DVGW-Merkblatt W131 (ref. 22) wordt aanbevolen de putten waarvan vastgesteld is dat ze vatbaar zijn voor microbiologische putverstopping éénmaal per maand te chloren en wel zodanig dat gedurende 24 uur een chloorconcentratie van 1 g/l in de put gehandhaafd wordt. In ref. 11 wordt bericht over de gunstige uitwerking van een dergelijke maandelijkse chloorbehandeling, toegepast door het Berlijnse waterleidingbedrijf. De betreffende putten zouden pas na 10 jaar weer aan regeneratie toe zijn.

Het lijkt erop dat de kans op microbiologische putverstopping aanzienlijk gereduceerd wordt wanneer men tijdig begint met een periodieke chloor-

behandeling (ref. 11). In ref. 58 wordt erop gewezen dat deze verstopping misschien ook te voorkomen is wanneer dagelijks een kortstondige, sterke stroming wordt opgewekt in de directe nabijheid van de put.

Gezien het veelvuldig voorkomen van ijzerverstopping in Nederland is onderzoek naar efficiënte en bij voorkeur goedkope preventie- en regeneratiemethoden zinvol. Alvorens deze methoden te ontwerpen dienen voldoende gegevens over oorzaak en karakter van de ijzerverstopping verzameld te zijn. Vooral de invloed van menging van aëroob water uit de bovenste grondlagen en anaëroob ijzerhoudend water uit de diepere lagen, op het ontstaan van ijzerverstopping dient nagegaan te worden. Een bevestiging van deze door het RID gepropageerde hypothese kan van groot belang zijn voor het ontwerpen van putconstructies waarbij de kans op ijzerverstopping gering is.

## 6. SAMENVATTING

van  
PUTVERSTOPPING

door

E.J.M. Kobus en J.W. Pieper

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de oorzaken, de mechanismen en de bestrijdingsmogelijkheden van putverstopping. Wat betreft de aard van de putverstopping wordt onderscheid gemaakt tussen mechanische, fysisch-chemische en microbiologische verstoppingen.

Van mechanische putverstopping spreekt men wanneer de verstopping door zand of slib wordt veroorzaakt. Men kan deze vorm van putverstopping voorkomen als men verhindert dat er zand of slib door de grondwaterstroming naar de omstorting en het putfilter wordt getransporteerd. Hiertoe stelt men in het algemeen bepaalde eisen aan het maximale debiet van een put en aan de korreldiameterverhouding tussen het materiaal van de omstorting en dat van de aangrenzende grondlagen (de z.g. filterfactor). Gebleken is dat bij de thans geldende normen op dit gebied onvoldoende of in het geheel geen rekening gehouden wordt met de eigenschappen van de watervoerende laag (korreldiameter, uniformiteit). Verder onderzoek ten einde het verband vast te stellen tussen de eigenschappen van de watervoerende laag, de filterfactor en de in verband met het meeslepen van zand toegestane stroomsnelheid, is gewenst. De uitkomsten van dit onderzoek kunnen ook van nut zijn om een beter inzicht te krijgen in het effect van het z.g. "ontwik-

kelen" van putten.

Fysisch-chemische putverstopping kan bijvoorbeeld optreden als er door de hydrostatische drukverlaging in de onmiddellijke nabijheid van een in bedrijf zijnde put gas kan ontwijken. Komt op deze manier  $\text{CO}_2$  vrij, dan kunnen neerslagen van  $\text{CaCO}_3$  ontstaan. Deze vorm van putverstopping komt in Nederland betrekkelijk zelden voor. Fysisch-chemische putverstopping kan ook veroorzaakt worden door corrosie van het putfilter of door chemische oxidatie van bestanddelen in het grondwater. Vaak spelen hier echter behalve chemische ook microbiologische processen een rol zodat niet meer van zuiver fysisch-chemische putverstopping gesproken kan worden.

De in Nederland meest voorkomende vorm van putverstopping is de microbiologische putverstopping. De verstoppende afzettingen zijn meestal ijzer- of mangaanoxyhydraten. In de Duitse literatuur stelt men dat microbiologische putverstopping door ijzer- en mangaanafzettingen alleen kan vóórkomen als de redoxpotentiaal van het opgepompte water een bepaalde waarde overschrijdt. In Nederland wordt deze theorie door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening in twijfel getrokken. De reden voor deze twijfel is dat veel putten behalve ijzerhoudend anaëroob water ook aëroob water uit de bovenste grondlagen aantrekken. Bij menging van deze twee watersoorten blijkt de kans op microbiologische putverstopping groot te zijn. Dit ondanks het feit dat het  $\text{O}_2$  gehalte en waarschijnlijk ook de redoxpotentiaal van het opgepompte water in het algemeen zeer gering is omdat alle zuurstof verbruikt is voor de oxydatie van ijzerionen.

Bij de regeneratie van verstopte putten kan men

gebruik maken van chemische en mechanische hulpmiddelen. Voor de bestrijding van ernstige vormen van putverstopping is in het algemeen alleen een combinatie van een chemische en een mechanische reiniging effectief.

Bij de preventie van microbiologische putverstopping wordt veel gebruik gemaakt van bacteriedodende middelen (voornamelijk hypochlorietoplossingen). Wat betreft de uitvoeringsvorm kan men onderscheid maken tussen continue en discontinue dosering van chemicaliën. Onderzoek naar goedkope en efficiënte methoden ter preventie van microbiologische putverstopping is zinvol omdat deze vorm van putverstopping in Nederland veelvuldig voorkomt en omdat de regeneratie van eenmaal verstopte putten kostbaar is. Hierbij dient behalve aan chemische methoden ook aandacht besteed te worden aan mechanische methoden.

## 7. SUMMARY

of

### INCRUSTATION OF WELLS

by

E.J.M. Kobus and J.W. Pieper

This report gives a review of incrustation of wells and points out some of the problems requiring further research. So far as the kind of incrustation is concerned, a distinction has been drawn between mechanical, physical-chemical and microbiological incrustation.

One can speak of mechanical incrustation of wells when the clogging is caused by sand or silt. This form of incrustation will not appear when sand or silt is prevented of being transported by the flow of ground water to the well. For this purpose one generally makes certain demands upon the maximal yield of a well and upon the grain size relation between the gravel pack and the aquifer (the so-called screening factor). From at present applied norms in this field it appears that insufficient or no allowance at all has been made for the properties of the aquifer (grain size, uniformity). A further investigation in order to determine the relation between the properties of the aquifer, the screening factor and the permitted entrance velocities in view of the movement of sand into the well is desired. The results of this investigation can be of use to gain a better insight into the effect of the so called "development" of wells.

Physical-chemical incrustation of wells can appear when gas escapes due to the reduced pressure nearby



an operating well. When  $\text{CO}_2$  escapes, insoluble carbonates can encrust the well screen and the gravel pack. In the Netherlands this form of incrustation occurs comparatively seldom. Physical-chemical clogging can also be caused by corrosion of well screens or by oxidation of chemical substances in the ground water. In this case however microbiological processes can also play a part beside chemical processes.

The most occurring form of incrustation of wells in the Netherlands is of microbiological origin. The incrustations usually consist of iron or manganese oxyhydrates. In German literature it is said that microbiological clogging by iron and manganese deposits only occur when the oxidation-reduction potential of the pumped-up water passes a certain value. In the Netherlands this theory is questioned by the Gouvernement Institute for Drinking Water Supply. The reason for this doubt is that many wells attract, beside ferruginous anaerobe water, also aerobe water from the top ground layers. The chance of microbiological incrustation seems to be great when these two types of water are mixed. Nevertheless, the  $\text{CO}_2$  content and probably also the oxidation-reduction potential of the pumped-up water is generally very small because all oxygen has been consumed by the oxidation of iron ions.

For the renovation of encrusted wells one can make use of chemical and mechanical means. To stop serious forms of incrustation, only a combination of a chemical and a mechanical cleaning will generally be effective.

For the prevention of microbiological clogging one often makes use of bactericides (especially hypochlo-

rite solutions). So far as the use of these chemicals is concerned one can draw a distinction between a continuous and a discontinuous dosage. It would be useful to investigate inexpensive and efficient methods for the prevention of microbiological incrustation because in the Netherlands this kind of incrustation occurs frequently and because renovation of encrusted wells is expensive. Apart from chemical methods one herewith should also pay attention to mechanical methods.

## 8. LITERATUUR

(Een verklaring van de gebruikte tijdschriftafkortingen vindt men op blz. 49.)

1. Anacker, H, Riempp, G.

Stand und Entwicklungstendenzen im Ausbau von Bohrbrunnen mit Kiesschüttung für die Wasserversorgung.

WWT 18 (1968) 11/12, p. 369-375.

2. Andrews, G.N.

Chemical cleaning of porous concrete wells.

JAWWA 39 (1947)8, p. 729-733.

3. Bennison, E.W.

Operation and maintenance of water wells.

WSW 97 (1950)4, p. 163-166.

4. Bieske, E.

Das neue Normblatt DIN 4923. Drahtgewebe im Brunnenbau.

BBR 23 (1972)12, p. 441-444.

5. Bieske, E.

Das neue Normblatt DIN 4924. Filtersande und Filterkiese für Brunnenfilter (Februar 1972).

BBR 23 (1972)7, p. 241-243.

6. Bieske, E.

Nold Brunnenfilter Buch, Stockstadt (1962).

7. Boorsma, H.J.  
Chemische Vorgänge an Grundwasserfassungen.  
GWf 98 (1957)18, p. 440-442.
8. Boorsma, H.J., Jansen, M.A., Haasnoot, J.  
Zur Frage der Dimensionierung von Bohrbrunnen.  
GWf 100 (1950)2, p. 33-36.
9. Bos, H.M.  
Winning van grondwater; derde vakantiecursus in  
drinkwatervoorziening.  
Water 35 (1951)25, p. 289-295.
10. Brandes, M.C.  
Vergelijking tussen gepulste en gezogen putten.  
Commissie Putten: R-PU 72-6.
11. Brandes, M.C., Vlugt, J.C. van der  
Verslag van een studiereis in Duitsland (13 april  
tot 1 mei 1969). Onderwerp: Putverstopping.  
Werkgroep Putverstopping: R-PV 72-15.
12. Briggs, G.F.  
Corrosion and incrustation of well screens.  
JAWWA 41 (1949)1, p. 67-74.
13. Busch, K.F., Luckner, L.  
Standardisierung der Brunnenbemessung in der DDR.  
BBR 22 (1971)8, p. 279-282.
14. Caplan, L.R.  
Increasing well yields with calgon treatment.  
WSW 101 (1953)12, p. 474-477.

15. Clarke, F.E.  
Détermination du degré de corrosion dans les puits et moyens de la combattre.  
Tr. Cebedeau 20 (1967)288, p. 445-454.
16. Commissie Putten: R-PU 70-20 *Vergaderingsstuk nr 12 niet aangenomen*  
Samenvatting van de 12e vergadering.
17. Constructie van de put. *Mededeling nr 48 van het K.W.*  
~~Commissie Putten: R-PU 71-6.~~
18. Crépines  
Filtrantes pour puits artésiens résistant à la corrosion.  
La Techn. de l'eau (1962)185, p. 51-55.
19. Davidenkoff, R.  
Dimensionierung von Kiesschüttungsfiltern im Brunnenbau.  
BBR 19 (1968)1, p. 15-20.
20. DIN 4922 (Entw. 1970)  
Stahlfilterrohre für Bohrbrunnen mit Schlitzbrückenlochung und Laschenverbindung.
21. Dolak, E.A.  
Erosion und Deformation um Tiefbrunnen.  
GW 23 (1969)1, p. 17-20.
22. DVGW-Merkblatt W131 (1970)  
Hinweise zur Verhütung der biologischen Brunnenverockerung.

23. Efficiency of well screens and gravel packs:  
Final report of research panel no. 6.  
JIWE 23 (1969)6, p. 355-368.
24. Enquête Commissie Putten.  
Werkgroep Putverstopping: R-PV 72-4.
25. Fuchs, G.  
Die wirksamste Abstufung von Künstlichen Kies-  
schüttungen in den Filterstrecken bei Bohrbrunnen.  
Institut. für Wasserbau und Wasserwirtschaft der  
Techn. Univ. Berlin. Mitt. Nr. 60, 1963.
26. Geiseler, W.D.  
Über die Strömungsvorgänge bei Vertikalfilter-  
rohrbrunnen mit einfachen Kiesschüttungen unter  
besonderer Berücksichtigung der Leistungssteige-  
rung durch Entsandern.  
Berlin, 1966 (Dissertation).
27. Gerb, L.  
Chemische Vorgänge an Grundwasserfassungen.  
GWf 97 (1956)14, p. 607-610.
28. Grainge, J.W., Lund, E.  
Quick culturing and control of iron bacteria.  
JAWWA 61 (1969)5, p. 242-245.
29. Grondwateronttrekking door middel van een put  
of van series putten.  
Werkgroep Putverstopping: R-PV 72-6.

30. Gross,  
Handbuch der Wasserversorgung, München, 1928.
31. Hässelbarth, U., Lüdemann, D.  
Biological incrustation of wells due to mass development of iron and manganese bacteria.  
Wat. Treatm. Exam. 21 (1972)1, p. 20-29.
32. Hässelbarth, U., Lüdemann, D.  
Die biologische Verockerung von Brunnen durch Massenentwicklung von Eisen- und Manganbakterien.  
BBR 18 (1967)10, p. 363-368; (1967)11, p. 401-406.
33. Horstmeier, A.J.N.  
Techniek van de waterwinning; afwerking van het boorgat.  
Sticht. postakad. vorm. gez. techn. 1968-1969;  
cursus winning van grondwater.
34. Hünerberg, K.  
Neue Erkenntnisse bei Bau und Betrieb von Brunnen.  
GWf 108 (1967)32, p. 919-923.
35. Huisman, L.  
Groundwater recovery, Mac Millan (1972).
36. Hunter Blair, A.  
Well screens and gravel packs; a technical review of commercial and theoretical literature.  
WRA Techn. Paper 64 (1968).
37. International course in hydraulic engineering;  
lecture notes for course subject 27:

Commissie Putten: R-PU 67-2.

38. Jansen, M.A., Boorsma, H.J.  
Onderzoek naar de oorzaak en de mogelijkheid van  
opheffing van putverstoppingen.  
Water 41 (1957)10, p. 127-132; (1957)1, p. 150-155.
39. Johnson, E.E.  
Ground water and wells; E.E. Johnson Inc. Minne-  
sota (1966).
40. Kleber, J.P.  
Well cleaning with calgon.  
JAWWA 42 (1950)5, p. 481-484.
41. Koenig, L.  
Effects of stimulation on well operating costs  
and its performance on old and new wells.  
JAWWA 52 (1960)7, p. 1499-1512.
42. Koenig, L.  
Relation between aquifer permeability and improve-  
ment achieved by well stimulation.  
JAWWA 53 (1961)5, p. 652-670.
43. Koenig, L.  
Survey and analysis of well stimulation performance.  
JAWWA 52 (1960)3, p. 333-350.
44. Kooymans, J.  
Onderhoud en herstel van putten.  
Water 35 (1951)9, p. 89-92.



45. Kooymans, J.  
Verstopping van putten.  
Water 42 (1958)9, p. 195-198.
46. Krems, G.  
Biologische Verockerung von Brunnen durch Massen-  
entwicklung von Eisen- und Manganbakterien.  
GWf 109 (1968)50, p. 1409.
47. Krems, G.  
Regenerierung und Leistungssteigerung von Rohr-  
brunnen.  
Wasserf. Ausspr. Tag. 1958, p. 51-62.
48. Krems, G.  
Die Westberliner Wassergewinnung; Fragen der Brun-  
nenalterung und -regenerierung.  
Wasser und Boden 13 (1961)5, p. 143-146.
49. Kruysse, J., Hogenboom, J.  
Pompfilters.  
Water 35 (1951)15, p. 160-161.
50. Linn, G.L.E.  
Maintaining well production by chemical cleaning.  
JAWWA 46 (1954)6, p. 534-540.
51. Mogg, J.L.  
Practical corrosion and incrustation guide lines  
for water wells.  
Groundwater 10 (1972)2, p. 6-11.

52. Mogg, J.L.  
What experience teaches us about corrosion.  
The Johnson Drillers Jrnl. 1971 maart/april,  
p. 1-3.
53. Mogg, J.L.  
What experience teaches us about incrustation.  
The Johnson Drillers Jrnl. 1971 mei/juni, p. 3-4.
54. Nahrgang, G.  
Über die Anströmung von Vertikalbrunnen mit freier  
Oberfläche im einformig homogenen sowie im ge-  
schichteten Grundwasserleiter.  
Schriftenreihe des Deutschen Arbeitskr. Wasserf.  
e. V. (DAW) Heft 6, 1965.
55. Nahrgang, G.  
Über theoretische Überlegungen über Leistungsstei-  
gerungen beim Entsanden von Bohrbrunnen.  
BBR 14 (1963)8, p. 340-342.
56. Nahrgang, G.  
Über die Anströmung von Wasserfassungen im Locker-  
gestein als Grundlage für Bau und Betrieb von  
Brunnenanlagen und für die Bemessung von Schutz-  
zonen.  
GWF 107 (1966)46, p. 1299-1308.
57. Öllos, G.  
Symposium University Budapest, 1966.
58. Proefneming bestrijding putverstopping.  
Werkgroep Putverstopping: R-PV 72-17.

59. Riempp, G.  
Brunnenverockerung an Vertikalbrunnen.  
WWT 14 (1964)4, p. 109-113.
60. RID  
Brief GH 2404/48 Bron.  
Commissie Putten: R-PU 71-4.
61. RID  
Jaarverslagen 1967-1970.
62. RID  
Proefneming bestrijding putverstopping.  
Werkgroep Putverstopping: R-PV 72-17.
63. Schweissfurth, R.  
Manganoxydierende Mikro-organismen in Trinkwasserversorgungsanlagen.  
GWF 113 (1972)12, p. 562-572.
64. Sichardt, W.  
Das Fassungsvermögen vor Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, Berlin (1928).
65. Stramel, G.J.  
Maintenance of well efficiency.  
JAWWA 57 (1965)8, p. 996-1010.
66. Tjaden, H.J.  
Regenereren pompputten; cursus winning van grondwater.  
Stichting Postak. Vorm. Gez. Techn. 1968-1969.

67. Truelsen, C.

Bohrbrunnen - Dimensionierung zur Verhinderung  
ihrer Verockerung und Verkrustung.

GWF 99 (1958)8, p. 185-188.

68. Useful life of water wells, a panel discussion.

JAWWA 39 (1947)1, p. 32-40.

69. Weber, E.

Beitrag zur Bestimmung der optimalen Schütt-  
korngrösse bei Hochleistungsbrunnen.

GWF 104 (1963)4, p. 97-101.

Verklaring van gebruikte tijdschriftafkortingen:

BBR - Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau  
GWF - Gas- und Wasserfach  
GWW - Gas Wasser Wärme  
JAWWA - Journal American Waterworks Association  
JIWE - Journal Institution of Water Engineers  
WSW - Water Sewage Works  
WWT - Wasserwirtschaft - Wassertechnik