

# VU Research Portal

## **Cause and prevention of clogging of wells abstracting groundwater from unconsolidated aquifers**

van Beek, C.G.E.M.

2010

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

van Beek, C. G. E. M. (2010). *Cause and prevention of clogging of wells abstracting groundwater from unconsolidated aquifers*. [PhD-Thesis – Research external, graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

## Nederlandse samenvatting

Grondwater dient vele doeleinden: als grondstof voor de openbare en private drinkwatervoorziening, voor de bereiding van bier en frisdranken, en in de landbouw voor irrigatie en vee-drenking. Grondwateronttrekking dient voor stabilisatie van infrastructurele werken, zoals dammen en tunnels, voor drooglegging van bouwputten, en voor reiniging van verontreinigd grondwater. Tegenwoordig wordt grondwater ook gebruikt voor energieopslag.

Grondwater wordt gewoonlijk onttrokken met behulp van putten. Momenteel zijn er waarschijnlijk miljoenen geboorde putten, zowel permanent als tijdelijk. In niet verkitte sedimenten zijn deze putten voorzien van een putfilter met daarboven een putbuis. De ruimte tussen putfilter en boorgatwand is opgevuld met (omstortings)grind. Om kortsluitstroming te voorkomen is de omstorting aan de bovenzijde afgedicht met klei. Om dezelfde reden worden ook doorboorde kleilagen met klei afgedicht. Na de aanleg moet de put worden ontwikkeld: verwijdering van de boorspoeling, gepleisterd op de boorgatwand en ondiep het watervoerend pakket binnengedrongen. Maar werkwaardig genoeg bestaat het criterium voor een ontwikkelde put uit de afwezigheid van zand in het onttrokken grondwater bij gewoonlijk dubbele ontwerp capaciteit, en niet uit een succesvolle verwijdering van boorspoeling..

Na enige tijd kunnen putten verstoppem. Putverstopping wordt gekenmerkt door een afname van de specifieke capaciteit: de onttrekking ( $m^3/h$ ) gedeeld door de afpomping ( $m$ ), het verschil in waterstand in de put tijdens bedrijf en in rust. Bij putverstopping kunnen twee typen worden onderscheiden: verstopping van de spleten van het putfilter: filterspleet- of chemische verstopping, en verstopping van de boorgatwand: boorgatwand of mechanische verstopping. Beide typen zijn gemakkelijk te onderscheiden, aangezien filterspleetverstopping wordt gekenmerkt door een toename van het verschil in waterspiegel binnen en buiten de put, en boorgatwandverstopping door de afwezigheid van een toename van dit verschil.

### *Filterspleetverstopping*

Filterspleetverstopping wordt veroorzaakt door een accumulatie van chemische neerslagen, al of niet vergezeld door biomassa, in de filterspleten. De meest voorkomende vorm van deze neerslagen bestaat uit ijzer(III)hydroxiden. De aanwezigheid van deze neerslagen is niet beperkt tot de filterspleten, maar zij zijn ook bovenstrooms aanwezig in de omstorting, en benedenstrooms op de putwand, en in de onderwaterpomp en terreinleidingen. Neerslagen zullen worden gevormd indien de put twee incompatibele waterkwaliteiten onttrekt. In geval van ijzer(III)hydroxide

neerslagen ondiep grondwater, dat zuurstof bevat, en dieper grondwater, dat ijzer(II) bevat. Bij de vorming van ijzer(III)hydroxide neerslagen kunnen drie oxidatie processen actief zijn: homogene, heterogene en biologische oxidatie. Bij homogene oxidatie worden ijzer(II) en zuurstof gemengd, en slaan ijzer(III)hydroxiden neer. Onder neutrale omstandigheden is dit een traag proces, en de snelheid neemt toe bij toenemende pH en toenemende ijzer(II)- en zuurstofconcentratie. Zodra enig ijzer(III) hydroxide neerslag aanwezig is, zal heterogene oxidatie optreden, gekenmerkt door adsorptie van opgelost ijzer(II) door deze neerslagen en daaropvolgende oxidatie van geadsorbeerd ijzer(II). In dit twee traps proces is de adsorptie eigenlijk snelheidbepalend. Onder neutrale omstandigheden is adsorptie snel, en de snelheid neemt toe met toenemende pH, en met toenemende ijzer(II) en ijzer(III)hydroxide concentratie, of beter ijzer(III)hydroxide oppervlakte. Overal waar omstandigheden ook maar enigszins acceptabel zijn, zullen bacteriën die aan deze omstandigheden zijn aangepast, aanwezig zijn. Bijgevolg, in watervoerende pakketten die zowel zuurstof als ijzer(II) bevatten, zullen IJzerOxiderende Bacteriën (IOB) aanwezig zijn, die vroeger of later zullen worden aangetrokken door de onttrekkingsput. Zodra IOB aanwezig zijn, zal biologische oxidatie optreden, gekenmerkt door adsorptie van opgelost ijzer(II) door de celwanden van IOB en door "Extracellular Polymeric Substance" (EPS) en daaropvolgende oxidatie van geadsorbeerd ijzer(II). De fysiologisch optimale omstandigheden voor IOB worden gekenmerkt door licht zure tot neutrale omstandigheden en lage zuurstof concentratie. Indien zowel ijzer(III)hydroxide neerslagen als IOB aanwezig zijn, bestaat er een sterke competitie om opgelost ijzer(II) tussen heterogene en biologische adsorptie. Volgens deze redenering is de adsorptiesnelheid van opgelost ijzer(II) door enerzijds ijzer(III) hydroxide oppervlakken en anderzijds biologische oppervlakken kritisch, en niet de oxidatie snelheid van geadsorbeerd ijzer(II).

Aanvankelijk zal in een nieuwe put alleen homogene ijzer oxidatie optreden, en dit is een traag proces. Mogelijk gevormde neerslagen zullen worden afgevoerd met het onttrokken grondwater. Deze toestand verandert volledig gedurende rustperioden: gedurende deze perioden is er ruim voldoende reactietijd, en mogelijk zullen bovendien ijzervlokken, indien geaccumuleerd op het scherm van de onderwaterpomp, naar beneden dwarrelen. Bovendien zal, door het opvullen van de afpompingsstrecther rond de put water uit de put via de filterspleten naar de omstorting stromen. Mogelijk aanwezige ijzer(III)hydroxide vlokken kunnen neerslaan en accumuleren in deze spleten en de omstorting. Zodra de onttrekking weer start, zal de vorming van ijzer(III)hydroxide neerslagen worden versneld door het optreden van heterogene oxidatie. IOB bezitten uitstekende hechtende eigenschappen. Zodra zij de put hebben bereikt, zullen zij zich hechten, in het bijzonder gedurende perioden van rust.

Volgens deze redenering wordt filterspleetverstopping dus voorkomen door het putfilter te stellen over een diepte traject met homogene chemische samenstelling. Indien dat niet mogelijk is, kan de verstopping worden vertraagd door continue onttrekking, al of niet met behulp van pompen met variabel toerental, door gebruik te maken van de trage reactiesnelheid. Ten gevolge van deze trage reactiesnelheid zullen neerslagen niet in de filterspleten, maar in de onderwaterpomp en de terreinleidingen neerslaan. Deze aanbeveling betreft niet alleen de vorming van ijzer(III)hydroxide neerslagen, maar van alle trage neerslagreacties.

Continue onttrekking als preventie was al eerder bekend uit ervaring, maar deze redenering geeft een onderbouwing voor deze waarneming.

### ***Boorgatwandverstopping***

Bij het optreden van boorgatwandverstopping zijn deeltjes altijd al verdacht geweest, maar het was niet mogelijk hun aanwezigheid aan te tonen, laat staan hun rol. Bovendien, omdat het watervoerend pakket beschouwd kan worden als een geweldig filter, was hun aanwezigheid ook niet vanzelfsprekend. Zodra de gelegenheid zich voordeed om, met behulp van een commerciële deeltjesteller, deeltjes in onttrokken grondwater te tellen, bleken zij, verrassend, aanwezig.

Bij deze deeltjestellers wordt een "laser" straal door een doorstroomcel gericht, en wordt het aantal schaduwen, samen met hun grootte, geteld op een lichtgevoelige cel aan de andere zijde. Op deze wijze wordt de deeltjesconcentratie, met een ondergrens van 2  $\mu\text{m}$ , samen met de overeenkomende deeltjesgrootteverdeling, verkregen. Vanzelfsprekend zullen alle opake deeltjes schaduwen projecteren, of het nu mineralen, organisch materiaal, bacteriën of ijzer(III)hydroxideneerslagen zijn, maar ook gasbelletjes. Om verwarring met losgeraakt materiaal te voorkomen, zijn in dit onderzoek deeltjestellingen beperkt tot schone putten. Het onttrokken grondwater van deze putten bevat geen zuurstof, en de lage sulfaatconcentraties duiden op het optreden van, afgesloten of actieve, sulfaatreductie.

Deeltjestellingen werden, onder normale bedrijfsomstandigheden, uitgevoerd in onttrokken grondwater verkregen via de monsterkraan op de putkop. Deeltjesconcentraties vertoonden altijd een piek na het aanzetten van de put, en namen snel af tot min of meer stationaire waarden. Deze stationaire concentraties varieerden tussen 2 en 120 deeltjes/ml, met 1 tot 3% deeltjes  $>15 \mu\text{m}$ . Deeltjesconcentratie en deeltjesgrootteverdeling zijn afhankelijk van de onttrekkingssnelheid: hoe groter de snelheid, des te hoger de concentratie en des te grover de deeltjes. Korrelgrootteverdelingen van deeltjes in water worden gewoonlijk beschreven met behulp van de Pareto verdeling. Echter, vergeleken met de Pareto verdeling, zijn deeltjes  $>7 \mu\text{m}$  in het onttrokken grondwater ondervertegenwoordigd.

De deeltjes concentraties zijn in het onttrokken grondwater veel lager dan de concentraties gemeten in grondwater verkregen uit waarnemingsputten. Blijkbaar raakt de deeltjesvoorraad rond onttrekkingsputten uitgeput. Deze uitputting kan worden verklaard door de voortdurende mobilisatie van deeltjes, iedere keer als de pomp wordt aangezet, en waarvan de intensiteit afneemt met toenemende afstand tot de put. Met behulp van de filtratietheorie kan worden aangetoond dat bij gemiddelde snelheden van grondwaterstroming, minerale deeltjes met een diameter van circa  $0,5 \mu\text{m}$  het meest mobiel zijn. Kleinere deeltjes zijn minder mobiel vanwege het optreden van diffusie, en grotere deeltjes vanwege het optreden van sedimentatie. Deze beperkte mobiliteit van grotere deeltjes vormt mogelijk ook de verklaring voor de ondervertegenwoordiging van deeltjes  $>7 \mu\text{m}$  in het onttrokken grondwater.

De piek concentraties lopen op tot enkele duizenden deeltjes/ml, en deze concentraties blijken afkomstig van de boorgatwand. Blijkbaar accumuleren deze deeltjes gedurende de voorgaande onttrekkingsperiode op de boorgatwand, en worden zij gemobiliseerd onder invloed van de versnelling uitgeoefend door het grondwater, dat door het weer aanzetten van de pomp in beweging wordt gebracht. Dit gedrag wordt vertoond door alle putten, verstoppende en niet verstoppende. Uit vergelijking van de lengten van de onttrekkingsperioden en het verloop in afpomping bleek dat lange onttrekkingsperioden resulteerden in een toename van de afpomping, dus in boorgatwandverstopping. Blijkbaar is een startende pomp in staat een bepaald aantal deeltjes te mobiliseren. Indien, gemiddeld, gedurende de voorafgaande onttrekkingsperioden meer deeltjes zijn geaccumuleerd dan het starten van de pomp kan mobiliseren, zal de put beginnen te verstoppelen. En, tegengesteld, indien gemiddeld minder deeltjes zijn geaccumuleerd dan een startende pomp kan mobiliseren, zal geen boorgatwandverstopping optreden. Bijgevolg, preventie van boorgatwandverstopping is dus mogelijk door intermitterende onttrekking. Deze preventiemethode is bevestigd door resultaten van praktijkmetingen.

Opvallend is dat het onttrokken grondwater van alle putten wel deeltjes bevat, maar dat niet alle putten verstoppelen. Mogelijk is de bedrijfsvoering van deze putten zodanig dat zij niet verstoppelen. Het is ook mogelijk dat het onttrokken grondwater minder deeltjes bevat, en/of dat de boorgatwand minder gevoelig is voor accumulatie van deeltjes, bijvoorbeeld door een vollediger ontwikkeling, een grotere putdiameter, of door een grover watervoerend pakket.

Merk op dat de preventiemethoden voor putverstopping tegengesteld zijn voor beide vormen van verstopping: continue onttrekking voor putten kwetsbaar voor filterspleetverstopping, en intermitterende onttrekking voor putten kwetsbaar voor boorgatwandverstopping.

### ***Mineralogie van deeltjes***

Informatie over de morfologie en de chemische samenstelling van deeltjes werd verkregen met behulp van geautomatiseerde Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS). Het was mogelijk deeltjes als mineralen te identificeren door de gemeten chemische samenstelling te vergelijken met de gemiddelde chemische samenstelling in handboeken. Het grootste deel van de deeltjes bestond uit kwarts en calciet met veldspaten, glimmers en kleimineralen en enig pyriet. Pyriet deeltjes waren kleiner dan de overige deeltjes. IJzerhydroxide deeltjes waren niet aanwezig. De minerale samenstelling wordt blijkbaar bepaald door de minerale samenstelling van het watervoerend pakket, als bron van deeltjes, en door de chemische samenstelling van het grondwater, verantwoordelijk voor de chemische stabiliteit. Het was niet mogelijk op een directe manier deeltjes bestaande uit organisch materiaal te identificeren, maar er waren maar een paar deeltjes die geen kationen of silicium bevatten.

Vergeleken met de minerale samenstelling van de korrels van het watervoerend pakket is calciet in de deeltjes oververtegenwoordigd. Aangezien de deeltjesgrootteverdeling en de morfologie van de calcietdeeltjes niet verschilde van die van de kwartsdeeltjes, kan deze oververtegenwoordiging niet worden toegeschreven aan morfologische verschillen. Het verschil kan ook niet worden verklaard door het oplossen van calciet korrels uit de matrix van het watervoerend pakket of van calcietcoatings, aangezien het grondwater verzadigd of oververzadigd is met betrekking tot calciet. Oververzadiging kan leiden tot de vorming van neerslagen, maar de calciet deeltjes waren groter dan de ijzersulfide deeltjes, die zeker als gevolg van oververzadiging zijn gevormd. Bovendien waren niet alle grondwaters oververzadigd met betrekking tot calciet. Resteert het verkrumelen van calciet korrels of coatings onder het gewicht van de bovenliggende bodemlagen, en door trillingen van startende onderwaterpompen, als de meest waarschijnlijke oorzaak. Dit verklaart tevens de oververtegenwoordiging met betrekking tot kwarts: kwarts is veel harder dan calciet, en bijgevolg veel moeilijker te verkrumelen.

Meest verrassend was de aanwezigheid, tot 25%, van deeltjes bestaande uit sulfiden van koper, lood en zink, en deeltjes bestaande uit ijzer met al of niet sporen chroom en nikkel of aluminium. Deze deeltjes worden beschouwd als corrosieproducten van de put en/of monsterkraan op de putkop, en als abrasieproducten van de onderwaterpomp.

### ***Filterspleetverstopping en ontwerpcriteria voor putten.***

Ten slotte werden criteria voor putontwerp geëvalueerd. Deze criteria zijn niet correct en onderling conflicterend: om neerslagen van ijzerhydroxiden en calciet te

voorkomen, mikken zij op het voorkomen van turbulente stroming. Maar afgezien van betere menging heeft turbulente stroming niets te maken met chemische processen: zolang geen oplosbaarheidsproducten worden overschreden en geen hoge reactiesnelheden optreden, zullen geen neerslagen worden gevormd. Van de andere kant staan deze criteria hogere stroomsnelheden toe in grovere watervoerende pakketten. Maar hoe grover een watervoerend pakket, des te lager de stroomsnelheid waar laminaire stroming overgaat in turbulente stroming.

Waarschijnlijk kunnen hogere ontwerpsnelheden worden toegepast, die beginnende turbulentie toelaten. Voor de aanleg van nieuwe putten wordt geadviseerd meer gebruik te maken van ervaringen met bestaande putten of van verwante puttenvelden.