



KWR 07.017
maart 2007

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal

Samenvatting



KWR 07.017
maart 2007

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal

Samenvatting

© 2007 Kiwa Water Research
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of openbaar
gemaakt, in enige vorm of op
enige wijze, hetzij
elektronisch, mechanisch,
door fotokopieën, opnamen,
of enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de uitgever.

Kiwa Water Research
Groningehaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Tel. 030 606 95 11
Fax 030 606 11 65
www.kiwawaterresearch.eu

Colofon

Titel

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't
Waal
Samenvatting

Projectnummer

30.6043.400

Projectmanager

Jan Willem Kooiman

Opdrachtgever

Vitens Midden-Nederland

Kwaliteitsborger(s)

Marc Balemans, Gerda Sullman

Auteur(en)

Kees van Beek (Kiwa WR), Rob Breedveld (Vitens
A&D), Marc Balemans (Kiwa WR), Gertjan Doedens
(Vitens MN) en Nico van der Wurf (Vitens MN)

Dit rapport is verstrekt aan de opdrachtgever en is openbaar

Voorwoord

Aanleiding: verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal

Het puttenveld Tull en 't Waal van Hydron Midden-Nederland (thans Vitens) verstopt ernstig. Wegens verbouwing en grootschalige aanpassing wil Vitens nagaan of het mogelijk is om het puttenveld "verstoppingsvrij" te maken. Binnen het BTO, het BTS putverstoppingsonderzoek en afzonderlijke adviesopdrachten is hiervoor een methodiek uitgedacht. Achtergronden en aanpak zijn beschreven in 'Putverstopping en deeltjes in grondwater: diagnose en aanzet voor therapie' (BTO 2005.046). Binnen het project 'naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal' wordt deze methodiek getoetst wat resulteert in concrete adviezen aan Vitens om de putverstopping op het puttenveld Tull en 't Waal te beheersen.

Met ingang van 1 oktober 2006 zijn Hydron Midden-Nederland en Hydron Advies en Diensten samengegaan met Vitens. In deze rapportage is er voor gekozen om de oude benaming te gebruiken, aangezien het inhoudelijke onderzoek voor 1 oktober 2006 uitgevoerd en afgerond was.

Deze rapportage

De voorliggende rapportage bevat 4 artikelen over het onderzoek en de resultaten naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal. De reeks bestaat uit 2 artikelen in H₂O (40) 2 en 2 artikelen in H₂O (40) 3 van 2007 en vormt de samenvatting van het onderzoek.

Deze rapportage

In voorliggende rapportage is de uitvoering van de experimenten met de daarbij verkregen resultaten op puttenveld Tull en 't Waal gedurende de periode januari tot oktober 2005 vastgelegd. Het betreft de resultaten van de aanleg van de putten 33, 34 en 35, de achtergronden en implementatie van de putschakeling en de meting van de specifieke volumestroom van alle putten.

Opdracht aan Kiwa Water Research

Hydron heeft Kiwa Water Research opdracht gegeven om na te gaan hoe het puttenveld Tull en 't Waal 'verstoppingsvrij' gemaakt kan worden, het benodigde onderzoek hiervoor uit te voeren en praktische handreikingen op te stellen.

De belangrijkste opbrengst van dit project is een advies voor een optimale bedrijfsvoering (onttrekkingscapaciteit en schakelfrequentie) van de pompputten op Tull en 't Waal, gericht op een minimale verstopping.

Uitgevoerde werkzaamheden

Om te komen tot het hiervoor genoemde resultaat zijn op puttenveld Tull en 't Waal gedurende de periode juni 2004 – juli 2006 de volgende metingen uitgevoerd:

- in alle putten continue meting van de stijghoogten. Uit de resultaten van deze metingen kan het verloop van de afpompings worden bepaald,

- continue registratie van de putschakelingen. Uit de resultaten van deze registratie kan de tijdsduur van de afzonderlijke onttrekkings- en rustperioden worden berekend,
- deeltjestellingen. Om de verkregen resultaten van bovengenoemde metingen te kunnen verklaren en te onderbouwen zijn regelmatig deeltjestellingen uitgevoerd.

De resultaten van de gegevens zijn niet alleen afzonderlijk maar juist in samenhang geïnterpreteerd. De voortgang van het onderzoek, de resultaten en vervolgstappen zijn voortdurend besproken en geëvalueerd met de betrokken medewerkers, en in workshops gepresenteerd.

Rapportage

De resultaten van het gehele onderzoek is in 5 rapportages beschreven. De verkregen resultaten van de metingen zijn geëvalueerd en in drie rapporten vastgelegd:

- KWR 06.076 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal; Resultaten van uitgevoerde experimenten bij aanleg en bedrijfsvoering (januari - oktober 2005);
- KWR 06.077 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal; Putverstopping, deeltjes en schakelen (uitgevoerde metingen januari - december 2005);
- KWR 06.078 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal; Gedrag van deeltjes bij bedrijfsvoering (uitgevoerde metingen t/m juli 2006).

In het tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer H₂O is een artikelenreeks gepubliceerd over het onderzoek, de aanleiding, de aanpak *en* de resultaten. De reeks bestond uit 4 artikelen in H₂O 2 en 3 van 2007 en is te beschouwen als de samenvatting van het onderzoek. Een bundeling van deze 4 artikelen is in een apart rapport opgenomen:

- KWR 07.017 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal; Samenvatting.

Om de resultaten van het onderzoek ook voor de overige medewerkers van Hydron Midden-Nederland gemakkelijk toegankelijk te maken, is een zakboekje opgesteld. Hierin zijn tevens richtlijnen voor chemische putverstopping opgenomen:

- KWR 06.079 Richtlijnen voor het voorkomen en beheersen van putverstopping.

Projectteam

De werkzaamheden zijn uitgevoerd door een projectteam bestaande uit medewerkers van Hydron Advies en Diensten, Hydron Midden-Nederland en Kiwa Water Research.

Het projectteam bestond uit:

Gertjan Doedens -Regiomanager en Opdrachtgever Hydron-Midden Nederland

Floor Oskam - Teamleider Hydron Midden- Nederland

Nico van der Wurf - Procesauditor Hydron Midden- Nederland

Paul Niekus -Proceauditor Hydron Midden- Nederland

Rob van der Horst –Procesauditor Hydron Midden- Nederland
Rob Breedveld – Specialist Watervoorziening, Hydron Advies en Diensten
Martijn Tas – Gegevensverwerking stijghoogtemetingen, Hydron Advies en Diensten

Jan Willem Kooiman – Projectmanager Kiwa Water Research (tot februari 2005)

Marc Balemans – Projectmanager (vanaf februari 2005), Adviseur putmanagement Kiwa Water Research

Kees van Beek – Expert putverstopping en deeltjes Kiwa Water Research

Hendrik Beverloo – Veldmedewerker, uitvoering deeltjestellingen Kiwa Water Research

Inke Leunk – Hydroloog, data handling Kiwa Water Research

Tenslotte

Tijdens uitvoering van het onderzoek zijn de inzichten voor preventie en beheersing van mechanische putverstopping verder ontwikkeld. Deze inzichten zijn mede door inzet van het projectteam tot stand gekomen. Wij zijn de leden van het projectteam zeer erkentelijk voor hun inzet en de discussies. Wij danken Hydron Midden-Nederland voor de geboden mogelijkheden om deze opdracht uit te kunnen voeren.

April 2007

Marc Balemans

Kees van Beek.

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Voorwoord | 1 |
| | Inhoud | 5 |
| 1 | Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (1); Pompputten van de toekomst? | 7 |
| 2 | Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (2); carrousel putschakelschema | 13 |
| 3 | Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (3); putverstopping en putschakelen | 19 |
| 4 | Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (4); deeltjesbalans en gedrag van deeltjes in onttrokken grondwater | 25 |

1 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (1); Pompputten van de toekomst?



Rob Breedveld, Vitens A&D



Kees van Beek, Kiwa Water Research



Gertjan Doedens, Vitens MN

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (1): Pompputten van de toekomst?

Puttenveld Tull en 't Waal (Vitens Midden-Nederland) heeft ernstig te lijden van mechanische verstopping (verstopping van de boorgatwand).

Mechanische verstopping kan op twee manieren worden tegengegaan: door de boorgatwand minder met deeltjes te belasten (door regelmatig te schakelen en/of door de capaciteit van de onderwaterpomp te verkleinen) en door de filterwerking van de boorgatwand te minimaliseren (zodat deeltjes in het onttrokken grondwater de boorgatwand gemakkelijk kunnen passeren). Dit laatste is mogelijk door zo schoon mogelijk te boren en/of door de put maximaal te ontwikkelen. Toen op puttenveld Tull en 't Waal drie pompputten moesten worden aangelegd, is voor de tweede optie gekozen. In ontwerp, constructie en aanleg zijn de nieuwste inzichten toegepast. Het putfilter werd alleen in de grofste gedeelten van het pakket geplaatst, en de put werd maximaal ontwikkeld. Een onverwachte ervaring was dat het zeer onvoordelig is een boorgat op einddiepte een weekend open te laten staan. In vier artikelen wordt dat hele proces beschreven. In deze H₂O staan de eerste twee artikelen. In H₂O nummer drie staan de laatste twee artikelen.

De putten van puttenveld Tull en 't Waal verstopten ernstig door accumulatie van deeltjes op de boorgatwand (mechanische verstopping). De snelheid van verstopping wordt enerzijds bepaald door de belasting van de boorgatwand met deeltjes en anderzijds door de filterende eigenschappen van de boorgatwand. De belasting van de boorgatwand met deeltjes is gelijk aan:

$$B_N = Qc_N$$

Hierin is:

B_N : belasting van de boorgatwand met deeltjes (aantal/h)

Q : onttrekking door de onderwaterpomp (m^3/h)

c_N : concentratie van deeltjes in toestromend grondwater (aantal/ m^3)

De filterende eigenschappen van de boorgatwand worden bepaald door zijn 'weerstand': hoe kleiner het oppervlak van de boorgatwand, hoe kleiner de poriehalzen (kleinste opening tussen elkaar rakende zandkorrels) en hoe groter de concentratie deeltjes (hoe kleiner de rotonde en hoe groter

het verkeersaanbod), des te moeilijker kunnen deeltjes passeren. Hoe groter de 'weerstand' des te meer deeltjes, die door het toestromende grondwater worden meegevoerd, op de boorgatwand zullen achterblijven. De 'weerstand' van de boorgatwand wordt onder andere bepaald door de niet verwijderde afpleistering van de boorgatwand en door de niet verwijderde hoeveelheid boorspoeling die in de formatie is doorgedrongen. Bij gekozen putontwerp (boorgatdiameter en capaciteit van de onttrekking) ligt de belasting van de boorgatwand met deeltjes dus vast; het effect van deze belasting op het optreden van putverstopping wordt bepaald door de putontwikkeling.

Uitgangspunten

Onder het motto 'baat het niet, dan schaadt het niet' zijn in het verleden zeer lange putfilters toegepast, waarbij het putfilter ook fijnzandige gedeelten omvatte. Echter, het gebezigde adagium is niet correct: het meest fijnzandige gedeelte van het putfilter bepaalt wel de grofte van het omstortingsgrind en daarmee ook de spleetwijdte van het filter. Sporadisch is in verticale richting een variërende grofheid van het omstortingsgrind toegepast, die overeenkwam

met de grofheid van het pakket. Bovendien, hoe fijner de diameter van het omstortingsgrind, des te kleiner de diameter van de poriehalzen, des te fijner het materiaal dat als verontreiniging van de boorspoeling, zoals fijn zand, kleibrokken of vezels organisch materiaal, op de boorgatwand is afgezet, dat de omstorting kan passeren (van Beek, 2002). Om te komen tot een put met een minimale weerstand van de boorgatwand zijn twee benaderingen gevolgd, namelijk filterstelling alleen in de grofste delen van het watervoerend pakket en maximaal ontwikkelen.

Putaanleg

De putten zijn gedurende de periode april-mei 2004 aangelegd met behulp van de zuigboor-luchtlift methode. Bij het boren is geen gebruik gemaakt van bentoniet, maar wel van CMC (carboxymethylcellulose). Bij het boren zijn geen bijzondere voorzieningen getroffen voor het verwijderen van fijn zand etc: er is gebruik gemaakt van een bezinkbak, er is geen zandseparator toegepast.

Bij de filterstelling zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De put dient circa 20 m filter te bevatten.

| | put 33 | | put 34 | | put 35 | |
|--------------------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| | datum | Q_{spec} ($m^3h^{-1}m^{-1}$) | datum | Q_{spec} ($m^3h^{-1}m^{-1}$) | datum | Q_{spec} ($m^3h^{-1}m^{-1}$) |
| oplevering boor- ondernemer | 29 apr '04 | 32,0 | 11 mei '04 | 39,6 | 24 mei '04 | 49,3 |
| eerste behandeling met | CBL* | | H ₂ O ₂ ** | | CBL | |
| na 1e chemische behandeling | 13 mei '04 | 50,1 | 7 juni '04 | 54,1 | 3 juni '04 | 60,0 |
| tweede behandeling met | CBL | | CBL | | H ₂ O ₂ | |
| na 2e chemische behandeling | 28 juni '04 | 50,2 | 16 juni '04 | 54,0 | 14 juni '04 | 61,9 |
| na ingebruikname | 9 juni '05 | 52,1 | 8 juni '05 | 59,5 | 7 juni '05 | 65,4 |
| | 29 sep '05 | 48,5 | 6 okt '05 | 62,6 | 5 okt '05 | 66,8 |
| | juni 2006 | 49,5 | juni 2006 | 62,2 | juni 2006 | 66,3 |

* CBL: chloorbleekloog, ** H₂O₂: waterstofperoxide

Tabel 1: Overzicht van de specifieke volumestromen (in m^3/h per meter afpompings) van de putten 33, 34 en 35, na oplevering, chemische ontwikkeling en ingebruikname.

- De M-factor van het watervoerend pakket dient minimaal 300 μm te zijn, en in een gelaagd pakket niet minder dan 220 μm .
- Om verticaal transport tussen de filterdelen te voorkomen, worden naast de blinde delen kleipropen geplaatst.
- Voor ingebruikname is in iedere put een flowmeting uitgevoerd. Mocht de put verstopten, dan wordt weer een flowmeting uitgevoerd en kan door vergelijking van beide resultaten het verstopte traject worden bepaald. De regeneratie kan dan zeer gericht worden uitgevoerd.

Maximale putontwikkeling

Putten worden in Nederland ontwikkeld met behulp van mechanische methoden: geforceerd afpompen, dat wil zeggen met een capaciteit aanzienlijk groter dan de bedrijfs capaciteit, sectiegewijs afpompen, frequent schakelen, met behulp van meerdere secties rondpompen, al of niet gecombineerd met tegelijkertijd een kleine capaciteit afpompen, etcetera. Op deze wijze wordt dagenlang, en soms wekenlang, gewerkt.

Toch zijn er al jarenlang voldoende aanwijzingen dat op deze wijze een put niet volledig wordt ontwikkeld. Deelder (1978) voerde laboratoriumexperimenten uit met kleine grondkolommen gevuld met formatie materiaal afgedekt met boorspoeling en vervolgens omstortingsgrind. Door vervolgens over deze kolommen een groot drukverschil aan te leggen, ontstonden in de boorspoeling enkele kleine gaten, en daar bleef het bij. Deze situatie is vergelijkbaar met een metalen vergiet: het water stroomt door de gaten weg. Vervolgens is het niet meer mogelijk over de boorgatwand een groot drukverschil aan te leggen, waardoor

op het resterende boorspoelingsmateriaal geen grote hydraulische kracht kan worden uitgeoefend.

Onvolledige ontwikkeling van putten wordt door meerdere waarnemingen in de praktijk bevestigd.

- Na ingebruikname verbetert de specifieke volumestroom van een put. De mate van verbetering is vaak niet bekend, doch bedraagt waarschijnlijk 10 à 30 procent en soms nog wel meer. Blijkbaar is het schakelen van de onderwaterpomp onder bedrijfsomstandigheden al voldoende om de put na ingebruikname nog te verbeteren (van Beek et al., in prep.).
- Na regeneratie is de specifieke volumestroom van de put soms groter dan bij oplevering (van Beek, 1982). Dit is alleen maar mogelijk indien de put tijdens regeneratie verder wordt ontwikkeld. Dit wordt door praktijkwaarnemingen bevestigd: regelmatig worden tijdens het schoonpompen van de put na (chemische) regeneratie restanten kleispoeling en CMC verwijderd.
- Een enkele keer zijn na mechanische ontwikkeling putten ook nog chemisch behandeld. Zo bleek het niet mogelijk een put die met een zware spoeling was aangelegd, mechanisch te ontwikkelen. Chemische behandeling gaf wel succes (van Beek en Sprong, 1983). Ook een put die mechanisch was ontwikkeld, gaf chemisch nog een verbetering van circa 25 procent (van Beek, 1982).
- De nieuwe putten op puttenveld Tull en 't Waal zijn eerst volgens de gebruikelijke methode ontwikkeld. Deze methode bestond uit geforceerd pompen gevolgd door intermitterend pompen (frequent

schakelen van de onderwaterpomp). Na oplevering zijn de putten vervolgens door Vitens MN chemisch behandeld, als waren zij verstopt. Bij deze 'regeneratie' zijn waterstofperoxide (H₂O₂) en chloorbleekloog (CBL) in wisselende volgorde toegepast.

- Volgens de fabrikant (van der Horst, 2003, persoonlijke mededeling) is CMC onder anaërobe omstandigheden niet, dan wel zeer slecht, afbreekbaar. Wel wordt CMC door H₂O₂ omgezet. CBL is in het experiment opgenomen omdat het als regeneratiemiddel voor mechanische verstopping wordt toegepast.
- De toegepaste chemicaliën en hun volgorde en de resultaten zijn in bovenstaande tabel samengevat.

Uit bovenstaande tabel kunnen meerdere conclusies worden getrokken:

- Bij oplevering bestaan tussen de drie putten grote verschillen in specifieke volumestroom. Deze verschillen hangen samen met het laten open staan van het boorgat. Het blijkt dat het boorgat op einddiepte van put 33 gedurende vijf nachten open heeft gestaan en het boorgat van put 34 gedurende twee nachten. Nadat van put 35 de einddiepte was bereikt, is nog dezelfde dag het putfilter geplaatst.
- Chemische ontwikkeling van de putten na mechanische ontwikkeling levert nog een aanzienlijke verbetering van de specifieke volumestroom. Deze verbetering is het grootst bij de (slechte) put 33.
- Bij de gebruikte hoeveelheden chemicaliën heeft de tweede behandeling geen effect.

- Hoewel waterstofperoxide in staat is CMC chemisch aan te tasten, en zo te verwijderen, laten bovenstaande resultaten geen verschil in resultaat zien tussen chloorbleekloog en H_2O_2 . Na ingebruikneming verbeteren de putten 34 en 35 nog enigszins (5 à 10 procent). Blijkbaar zijn de putten na de chemische behandelingen nog niet volledig ontwikkeld. Opvallend is het achterblijven van de niet met H_2O_2 behandelde put 33.

Slotbeschouwing

Chloorbleekloog is effectief voor de verwijdering van klei, door peptisatie, en van humus (natuurlijk organisch materiaal), door oxidatie. H_2O_2 is effectief voor de verwijdering van CMC en van humus. De werking van CMC berust op de vorming van een netwerk waarin klei- en humusdeeltjes

worden gevangen. H_2O_2 tast het netwerk van CMC aan, waardoor deze klei- en humusdeeltjes vrij komen. CBL tast klei- en humusdeeltjes aan, maar laat het netwerk van CMC onaangestast. Net zoals CMC bij de aanleg van putten in staat is deeltjes uit de boorspoeling op de boorgatwand tegen te houden, zal het bij de onttrekking aanwezige deeltjes in het toestromende grondwater op de boorgatwand tegenhouden. Om deze redenen verdient H_2O_2 bij het ontwikkelen van putten de voorkeur boven CBL. In de praktijk blijken putten na ingebruikname te verbeteren (met 25 tot soms 50 procent). De putten zijn inmiddels 1,5 jaar in bedrijf en gedurende deze periode niet verbeterd noch verslechterd. Dit betekent dat de putten inderdaad maximaal waren ontwikkeld, en dat putverstopping beheersbaar is.

LITERATUUR

- 1) Van Beek, C.G.E.M., R.J.M. Breedveld and P.J. Stuyfzand (in prep.): Diagnosis, regeneration and prevention of two types of well clogging, Groundwater.
- 2) Van Beek, C.G.E.M. (2002): Mechanische putverstopping: Oorzaak, preventie en kostenbesparing, *H₂O* 35 (18) 37-39.
- 3) Van Beek, C.G.E.M. (1982): Regeneratie van verstopte winputten, *H₂O* 15 (15) 370-377.
- 4) Van Beek, C.G.E.M. en D. Sprong (1983): Wat te doen wanneer een put te weinig water levert: Het ontwikkelen van een put te Oudega, *H₂O* 16 (15) 343-347.
- 5) Deelder, C. (1978): Het skineffect, *H₂O* 10 (23) 522-525. van der Horst, P. (2003): persoonlijke mededeling.
- 6) *H₂O* 10 (23) 522-525. van der Horst, P. (2003): persoonlijke mededeling.

2 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (2); carrousel putschakelschema



Nico van der Wurff, Vitens MN
 Kees van Beek, Kiwa Water Research
 Rob Breedveld, Vitens A&D
 Gertjan Doedens, Vitens MN

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (2): carousel putschakelschema

Puttenveld Tull en 't Waal (Vitens Midden-Nederland) heeft ernstig te lijden van mechanische verstopping (verstopping van de boorgatwand). Mechanische verstopping kan op twee manieren worden tegengegaan: door de boorgatwand minder met deeltjes te belasten (door regelmatig te schakelen en/of door de capaciteit van de onderwaterpomp te verkleinen) en door de filterwerking van de boorgatwand te minimaliseren (zodat deeltjes in het onttrokken grondwater de boorgatwand gemakkelijk kunnen passeren). Dit laatste is mogelijk door zo schoon mogelijk te boren en/of door de put maximaal te ontwikkelen.

In deze tweede bijdrage van vier wordt op de eerste mogelijkheid ingegaan: aan de belasting van de boorgatwand met deeltjes kan een grens worden gesteld door de put per afzonderlijke periode niet langer dan een vooraf ingestelde duur te laten onttrekken. Om dit te bereiken was het nodig een instrument voor de bedrijfsvoering te ontwikkelen. Deze ontwikkeling resulteerde in een carousel putschakelschema.



Pompstation Tull en 't Waal met op de voorgrond put 20.

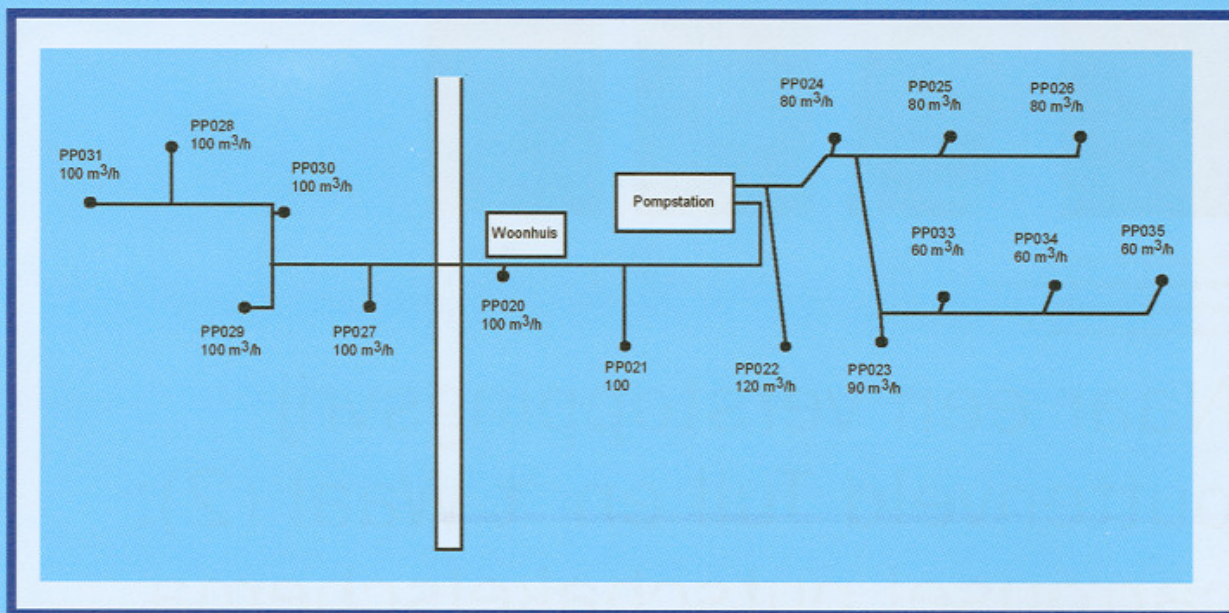
Voor het bedrijven van puttenvelden bestaan vele verschillende schakelschema's. Vele randvoorwaarden beïnvloeden de keuze van een putschakelschema. Te noemen zijn het al of

niet aanwezig zijn van een reinwaterkelder, en indien aanwezig de grootte van deze kelder, en de politiek met betrekking tot het niveau in de reinwaterkelder: moet de kelder altijd gevuld zijn of ademt het niveau mee

met de vraag. Belangrijk is ook het al of niet aanwezig zijn van verschillen in chemische samenstelling van het grondwater dat door de individuele putten wordt onttrokken. Verdere randvoorwaarden zijn de aard en de omvang van de zuivering, het aantal ruwwaterleidingen, het al dan niet aanwezig zijn van verschillen in capaciteit van de putten en mogelijk nog andere locatiespecifieke omstandigheden. Bovendien dienen putten regelmatig in bedrijf te zijn vanwege de bacteriologische betrouwbaarheid van het onttrokken grondwater.

Om het optreden van mechanische putverstopping tegen te gaan, komt daar voor puttenveld Tull en 't Waal nog een randvoorwaarde bij: een beperking van de maximale duur van een onttrekkingsperiode, zodat op die wijze een maximum kan worden gesteld aan het aantal geaccumuleerde deeltjes op de boorgatwand.

Het bleek in de praktijk niet mogelijk een dergelijk programma met de hand in te stellen: door onvoorziene situaties bleken sommige putten regelmatig zeer lang continu te onttrekken, terwijl andere putten niet of nauwelijks in bedrijf kwamen. Om een betere greep op de belasting van alle



Afb. 1: Plattegrond van puttenveld Tull en 't Waal, met capaciteit van de geïnstalleerde onderwaterpompen.

| Carrousel | Putten | Niveaugroepen reinwaterkelder | | | | | | | | |
|-----------|------------|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 20, 21, 22 | X | | | X | | | X | | |
| 2 | 24, 25, 26 | | | | | X | X | | | X |
| 3 | 23, 27, 28 | X | | | | | X | | | X |
| 4 | 29, 30, 31 | | | X | | | | X | | X |
| 5 | 33, 34, 35 | | X | | X | | | | X | |

Tabel 1: Indeling van de putten in carrousel en groepen. Het gearceerde gedeelte geeft de normale dagelijkse onttrekking weer.

putten te verkrijgen, werd daarom besloten een automatisch putschakelschema te ontwikkelen.

Puttenveld Tull en 't Waal

Afbeelding 1 toont het puttenveld Tull en 't Waal. Het puttenveld bestaat uit 15 putten, die op twee ruwwaterleidingen leveren. De afbeelding laat zien dat de capaciteit van de putten niet gelijk is. De vermelde capaciteit is de capaciteit in de praktijk, waarbij rekening is gehouden met de geïnstalleerde capaciteit van de onderwaterpomp, wrijvingsverliezen in de leidingen en opvoerhoogte, en met het elkaar wegdrukken tijdens bedrijf.

Carrousel putschakelschema

Om aan de voorwaarden te voldoen dat alle putten regelmatig in bedrijf zijn, en dat een maximale duur voor een onttrekkingsperiode niet wordt overschreden, is een carrousel putschakelprogramma ontwikkeld. Daartoe zijn de putten in vijf carrousel van drie putten ingedeeld, en zijn

in de reinwaterkelder negen niveaugroepen onderscheiden. Een en ander is in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1 moet als volgt worden gelezen: eerst wordt niveaugroep 1 ingeschakeld, bestaande uit twee putten, één uit carrousel 1 en één uit carrousel 3. Vervolgens wordt groep 2 ingeschakeld, bestaande uit één put van carrousel 5. Bij verdere vraag naar water wordt groep 3 ingeschakeld, enzovoorts.

Gewoonlijk kan overdag met de groepen 1 t/m 4 worden volstaan, groep 5 schakelt af en toe bij. De groepen 6 t/m 9 zijn nauwelijks in bedrijf; de groepen 6 en 7 schakelen aan bij calamiteiten, zoals brand. Bij het stijgen van het waterniveau in de RWK schakelen de putten uit volgens het principe: laatste in, eerste uit.

Binnen een carrousel worden de putten momenteel per drie uur kloktijd gerouleerd. Als voorbeeld is in tabel 2 deze roulatie voor carrousel 1 weergegeven.

Deze tabel moet als volgt worden gelezen: indien op dag 1 tussen 0 en 3 uur water wordt gevraagd zal als eerste groep 1 met put 20 inkomen. Indien bij toenemende watervraag groep 4 wordt aangesproken zal put 21 inkomen, en bij nog verder toenemende vraag tenslotte groep 7 met put 22. Tussen 3 en 6 uur zal als eerste put 21 inkomen, vervolgens put 22 en tenslotte put 20. In het voorgaande is al vermeld dat groep 1 vooraan staat en groep 7 nagenoeg achteraan, zodat groep 7 nauwelijks in bedrijf komt. Als dus op dag 1 om 3 uur put 20 van groep 1 verhuist naar groep 7, zal deze put zeer waarschijnlijk uitschakelen, en zal put 21 inschakelen, en indien deze put al draait put 22. In de praktijk zal binnen carrousel 1 een put dus maximaal 6 uur aan één stuk draaien, en vervolgens dus minimaal 3 uur rust hebben. Dit zal niet het geval zijn op dagen met grote vraag wanneer ook groep 7 staat ingeschakeld. Merk ook op dat de schakeling per dag varieert: de schakeling op dag 1 van 0 tot 3 uur is niet gelijk aan de schakeling op dag

| groep | Dag | Kloktijd (uur) | Niveaugroep | | |
|-------|-----|----------------|-------------|----|----|
| | | | 1 | 4 | 7 |
| 1 | | 0-3 | 20 | 21 | 22 |
| | | 3-6 | 21 | 22 | 20 |
| | | 6-9 | 22 | 20 | 21 |
| | | 9-12 | 20 | 21 | 22 |
| | | 12-15 | 21 | 22 | 20 |
| | | 15-18 | 22 | 20 | 21 |
| | | 18-21 | 20 | 21 | 22 |
| | | 21-24 | 21 | 22 | 20 |
| 2 | | 0-3 | 22 | 20 | 21 |
| | | 3-6 | 20 | 21 | 22 |
| | | 6-9 | 21 | 22 | 20 |
| enz | | enz | | | |

Tabel 2: Voorbeeld van de putschakeling binnen carrousel 1.

| Carrousel | Put | Bedrijfsuren per maand | | | | | | |
|-----------|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| | | 2005 | | | | | 2006 | |
| | | sep | okt | nov | dec | apr | mei | jun |
| I | 20 | 418 | 409 | 372 | 422 | 315 | 274 | 288 |
| I | 21 | 373 | 410 | 364 | 408 | 293 | 366 | 303 |
| I | 22 | 360 | 390 | 361 | 380 | 294 | 260 | 299 |
| II | 24 | 35 | 49 | 33 | 15 | 0 | 0 | 17 |
| II | 25 | 15 | 30 | 20 | 1 | 1 | 2 | 16 |
| II | 26 | 28 | 39 | 25 | 20 | 0 | 1 | 15 |
| III | 23 | 231 | 245 | 249 | 240 | 240 | 315 | 217 |
| III | 27 | 274 | 259 | 236 | 266 | 238 | 215 | 286 |
| III | 28 | 221 | 237 | 247 | 237 | 238 | 271 | 262 |
| IV | 29 | 176 | 194 | 156 | 175 | 151 | 134 | 153 |
| IV | 30 | 166 | 187 | 155 | 172 | 153 | 139 | 146 |
| IV | 31 | 156 | 192 | 152 | 177 | 152 | 129 | 161 |
| V | 33 | 337 | 370 | 320 | 359 | 231 | 210 | 243 |
| V | 34 | 359 | 377 | 311 | 379 | 231 | 212 | 251 |
| V | 35 | 316 | 304 | 305 | 344 | 258 | 211 | 215 |

Tabel 3: Bedrijfsuren per put per maand.

2 van 0 tot 3 uur, enzovoorts. Met andere woorden: ook binnen een carrouselgroep rouleren de putten. Binnen een carrousel zullen de putten dus nagenoeg gelijk belast worden. Dit wordt in tabel 3 bevestigd door vergelijking van het aantal bedrijfsuren per put en per maand.

Deze carrousel schakeling heft alle beperkingen van het handmatig schakelen op. Alle putten zullen niet langer dan een vooraf ingestelde tijd draaien; in dit geval 3 uur, en op dagen met een grotere drinkwatervraag 6 uur. Alleen op piekdagen, wanneer ook de niveaugroepen 8 en 9 worden aangesproken, worden de putschakelingen onderdrukt. En vanwege de verschuiving per dag komen alle putten regelmatig in bedrijf.

De regelmatige onttrekking door de putten wordt onderbroken door het spoelen van de filters. De zuiveringsfilters worden in de nacht tussen 03.00 en 06.00 uur gespoeld. Een spoelbeurt duurt 22 minuten, en per nacht worden altijd twee filters gespoeld. De filters worden met reinwater gespoeld, waardoor

het niveau in de kelder zakt, en een put uit de eerste niet draaiende groep zal worden ingeschakeld. Omdat de nachtproductie van Tull en de capaciteit van de groepen bekend zijn, kan geschat worden welke groep dat zal zijn. Dit blijkt groep 3 te zijn, bestaande uit de putten 29, 30 en 31. De consequentie van de carrousel schakeling is wel dat voor het spoelen binnen het 'klokvenster' van drie uur een put kan worden ingezet, die kort tevoren was uitgeschakeld.

Mogelijkheden

Op het gepresenteerde carrousel schakelschema zijn in de praktijk nog allerlei variaties mogelijk. In het voorgaande is gekozen voor een indeling in carrousel met een zeer verschillende belasting, namelijk in de maand december 2005 van 400 uur in carrousel I tot 15 uur in carrousel II. Uit verstoppingsoogpunt kan, om de putten gelijk te belasten, worden gekozen om ook de carrousel iedere twee of drie maanden te laten rouleren. De verstoppingsgevoeligheid van alle putten zal op een puttenveld niet

gelijk zijn. Van dit verschil in gevoeligheid kan gebruik worden gemaakt door de minst verstoppingsgevoelige putten samen te voegen in de zwaarst belaste carrousel en de meest verstoppingsgevoelige putten in de minst belaste carrousel.

Slotbeschouwing

Met behulp van een carrousel putschakelschema kan in de praktijk aan de onttrekkingsduur van een put een maximum worden gesteld. Op deze wijze wordt een maximum gesteld aan de belasting van de put met deeltjes, waardoor mechanische verstopping wordt tegengegaan. Binnen een carrousel putschakeling zijn nog meerdere variaties mogelijk, zoals een zo gelijk mogelijke belasting van alle groepen of rotatie van de carrouselgroepen.

3 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (3); putverstopping en putschakelen



Kees van Beek, Kiwa Water Research
 Rob Breedveld, Vitens A&D
 Marc Baemans, Kiwa Water Research
 Gertjan Doedens, Vitens MN

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (3): putverstopping en putschakelen

Puttenveld Tull en 't Waal (Vitens Midden-Nederland) heeft ernstig te lijden van mechanische verstopping (verstopping van de boorgatwand). Mechanische verstopping kan op twee manieren worden tegengegaan: door de boorgatwand minder met deeltjes te belasten (door regelmatig te schakelen en/of door de capaciteit van de onderwaterpomp te verkleinen) en door de filterwerking van de boorgatwand te minimaliseren (zodat deeltjes in het onttrokken grondwater de boorgatwand gemakkelijk kunnen passeren). Dit laatste is mogelijk door zo schoon mogelijk te boren en/of door de put maximaal te ontwikkelen. In deze bijdrage wordt op de eerste mogelijkheid ingegaan, namelijk de relatie tussen het optreden van putverstopping en putschakelen. Putverstopping kan worden voorkomen door het toepassen van de juiste putschakeling. Niet alleen de duur van de afzonderlijke onttrekkingsperiodes blijkt van belang, maar ook de duur van de rustperiodes tussen de onttrekkingen. Tevens blijkt uit het onderzoek dat een 'gezonde' put zonder problemen tijdelijk 'overbelast' mag worden. Het beschreven onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Vitens MN en het BTO Putmanagement, waarbij gebruik is gemaakt van resultaten van het BTS-onderzoek. In 2006 heeft IWA voor het onderzoek naar putmanagement, waaronder het hier beschreven concept van putschakelen om putverstopping te voorkomen, een Innovation Award uitgereikt aan de participanten van het BTS-onderzoek en BTO-onderzoek, waaronder Oasen, Vitens (toen nog Hydron), WML, Brabant Water, VMW, TU Delft en Kiwa Water Research. Dit is het derde artikel in een reeks van vier. De eerste twee artikelen zijn in de vorige H₂O verschenen.

Op meerdere puttenvelden, onder andere Noordbergum¹⁾ en Heel²⁾, is gebleken dat er een verband bestaat tussen schakelfrequentie van de onderwaterpomp en optreden van (mechanische) putverstopping. Langdurige continue onttrekkingen leiden tot een toename van de afpompings- en dus tot putverstopping en kort durende onttrekkingen tot een gelijk blijven van de afpompings- of tot enige verbetering. Uit resultaten van deeltjestellingen bleek dat de concentratie van deeltjes in het onttrokken grondwater kort na het starten van de onderwaterpomp een maximum vertoont, om vervolgens te naderen naar een evenwichtsconcentratie. Dit is echter de concentratie na filtratie over de boorgatwand en is dus kleiner dan de concentratie in het aanstromende grondwater. Door het aanzetten van de onderwaterpomp

wordt de omgeving van het putfilter (boorgatwand) verstoord, waardoor deeltjes die gedurende de voorgaande onttrekkingsperiode op de boorgatwand zijn geaccumuleerd worden gemobiliseerd en door het onttrokken grondwater worden afgevoerd. Zolang (gemiddeld) de deeltjes die gedurende een onttrekkingsperiode op de boorgatwand zijn geaccumuleerd, door het aanzetten van de onderwaterpomp bij de daaropvolgende onttrekkingsperiode weer volledig worden verwijderd, zal geen verstopping optreden. Is dat niet het geval, dan zal putverstopping optreden. Een en ander is toegelicht in afbeelding 1 op de volgende bladzijde.

Bepaling van de afpompings

In alle putten van puttenveld Tull en 't Waal zijn drukhoogtemeters ingehangen, die elk half uur de drukhoogte registreren.

Deze drukopnemers worden maandelijks uitgelezen. Uit het verschil in drukhoogte tijdens rust en tijdens bedrijf kan de afpompings worden berekend.

Putverstopping wordt gedefinieerd als een afname van de specifieke volumestroom Q_{spec}

$$Q_{spec} = \frac{Q}{\Delta s}$$

Hierin is:

Q_{spec} : specifieke volumestroom (m³/h per m afpompings)

Q : onttrekking door de put (m³/h)

Δs : afpompings (m)

Zolang de onttrekking door de put gelijk blijft, is een afname in de specifieke volumestroom recht evenredig met een toename in de afpompings. Daarom is in het vervolg

gewerkt met de afpompingsmaat voor het optreden van putverstopping. Afbeelding 2 toont het verloop van de afpompingsmaat voor put 22.

Putschakeling

Bij het begin van de experimenten in januari 2005 werd put 22 'vooraan' gezet. Op deze manier werd de bedrijfsvoering van put 22 leidend en van de overige putten volgend. Daardoor week de werkelijke bedrijfsvoering weinig af van de gewenste bedrijfsvoering. Na augustus 2005 werd de carrousselschakeling operationeel, waardoor alle putten volgens een vast schema schakelden⁶¹. Op puttenveld Tull en 't Waal worden de schakelingen van de putten geregistreerd. Uit deze schakelingen kan de duur van de afzonderlijke onttrekkings- en rustperiodes worden afgeleid. Dit maakt controle van het opgelegde schakelschema mogelijk.

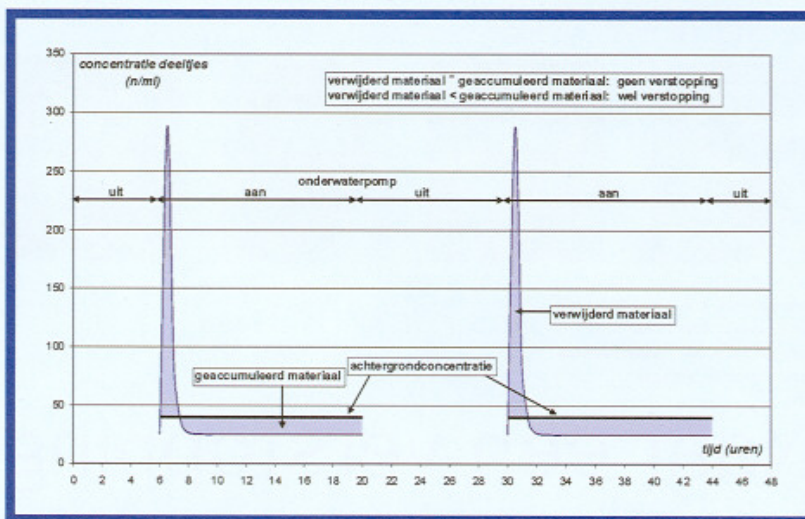
Putverstopping en putschakeling

Uit afbeelding 2 blijkt dat het verloop van de afpompingsmaat (putverstopping) gedurende de periode van 1 januari 2005 tot 1 juli 2006 varieert. Aanvankelijk neemt de afpompingsmaat scherp toe, om vervolgens weer bijna tot de oorspronkelijke waarde terug te keren. Deze variatie in afpompingsmaat hangt samen met het putschakelen. Het beeld is op het einde iets geflatteerd, omdat gedurende de periode februari-maart 2006 de onderwaterpomp van 120 m³/h werd vervangen door een pomp van 100 m³/h. Afbeelding 2 illustreert duidelijk de relatie tussen duur van de afzonderlijke onttrekkingsperiodes en het optreden van putverstopping. Ten gevolge van de lange onttrekkingsperiodes begin 2005 neemt de afpompingsmaat snel toe. Als de duur van deze periode wordt verkort tot drie uur, neemt de afpompingsmaat af. Uit extrapolatie van het verloop van de afpompingsmaat voor en na de miswijzing, ontstaat de indruk dat de omslag van toename naar afname vrijwel direct is opgetreden.

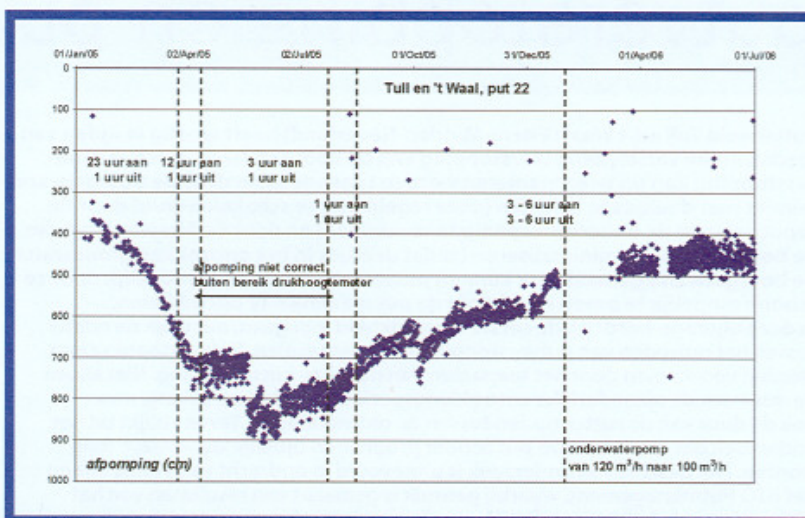
Zoals reeds vermeld, is gedurende de periode februari-maart 2006 een pompproef op de put uitgevoerd, waarbij gedurende zeven dagen continu met wisselende capaciteit is onttrokken. Uit de afbeelding blijkt dat deze continue onttrekking geen nadelig effect op de afpompingsmaat heeft gehad. Deze pompproef werd uitgevoerd terwijl de put zich aan het verbeteren was. Blijkbaar kan een put in goede conditie zonder nadeel tijdelijk worden 'overbelast'.

Deeltjesbalans

Afbeelding 3 toont voor put 22 het verloop van de concentratie deeltjes > 2 µm en de schakelingen, zowel van put 22 als van de overige putten. Uit de afbeelding blijkt dat de put in bedrijf is geweest gedurende drie uur en vervolgens twee maal gedurende zes uur. Deze perioden van drie en zes uur hangen samen met de ingestelde carrousselperiode. Uit afbeelding 3 blijkt dat het verloop van de deeltjesconcentratie regelmatig wordt verstoord. De oorzaak van deze verstoringen is onduidelijk; willekeurige verstoringen door falen van de apparatuur door vuile detector etc. en niet-willekeurige verstoringen door het aan- (of uit-)schakelen

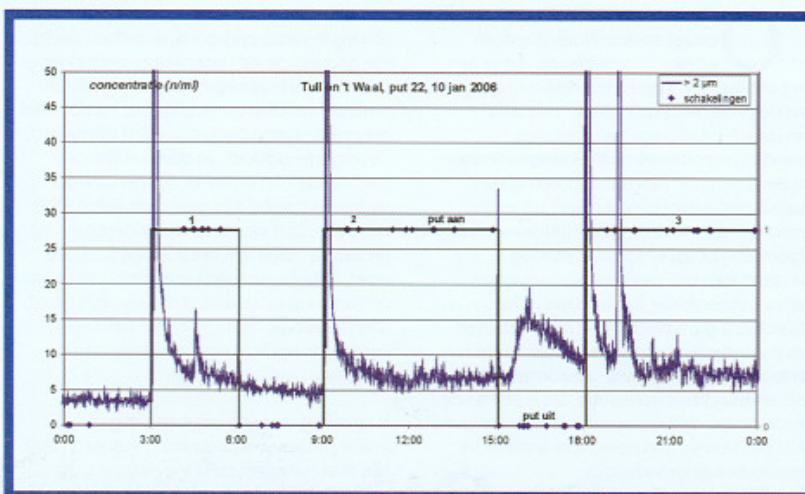


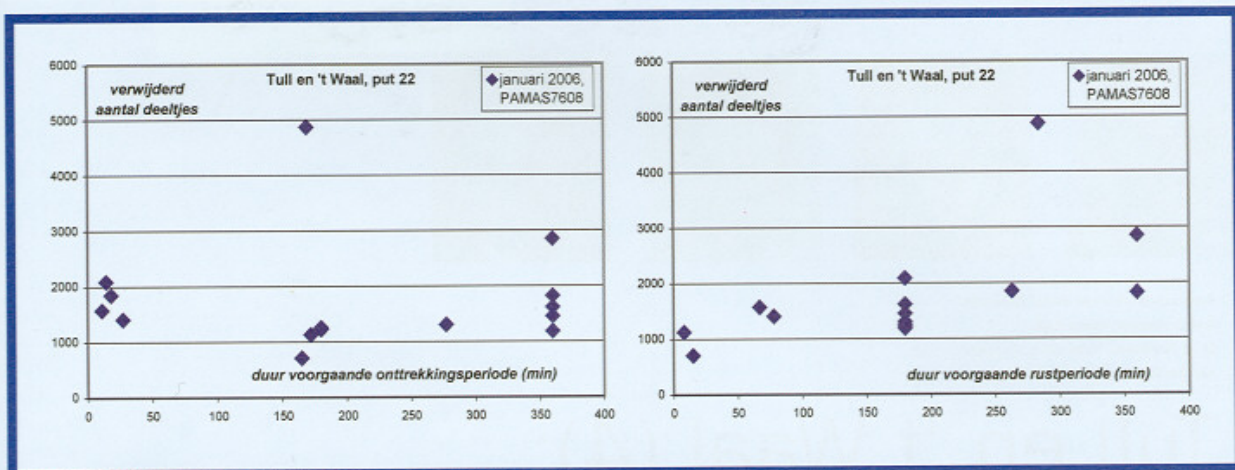
Afb. 1: Voorbeeld van een verloop van de concentratie deeltjes in onttrokken grondwater. Zolang de verwijderde hoeveelheid deeltjes bij aanschakelen van de onderwaterpomp gemiddeld gelijk is aan de geaccumuleerde hoeveelheid tijdens voorgaande onttrekking, zal geen putverstopping optreden.



Afb. 2: Verloop van de afpompingsmaat. Tevens is de duur van de afzonderlijke onttrekkings- en rustperiodes weergegeven.

Afb. 3: Verloop van de concentratie van deeltjes > 2 µm in het grondwater gedurende onttrekking en de drie onttrekkingsperiodes.





Afb. 4: Aantal deeltjes dat bij een schakeling wordt verwijderd, uitgezet zowel tegen de duur van de voorgaande onttrekkingsperiode als de voorgaande rustperiode.

van omringende putten of van putten aangesloten op dezelfde ruwwaterleiding.

De oppervlakte onder de 'piek' in de deeltjesconcentratie na aanzetten van de onderwaterpomp is een maat voor het aantal verwijderde deeltjes. Merk op dat de deeltjesconcentratie idealiter geleidelijk verloopt naar een evenwichtswaarde. Het begin van deze evenwichtswaarde is niet exact te bepalen. De berekening van het verwijderde aantal deeltjes bevat dus een mate van willekeur.

Afbeelding 4 toont het aantal deeltjes dat bij een schakeling wordt verwijderd, uitgezet zowel tegen de duur van de voorgaande onttrekkingsperiode als de duur van de voorgaande rustperiode.

Uit afbeelding 4 blijkt dat het per schakeling verwijderde aantal deeltjes varieert tussen 1.000 en 2.000. Tevens blijkt dat er geen relatie bestaat tussen het verwijderde aantal deeltjes en de duur van de voorgaande onttrekkingsperiode, maar dat er wel een zwakke lineaire relatie bestaat tussen het aantal deeltjes en de duur van de voorgaande rustperiode.

Uit onderzoek aan steekmonsters over de boorgatwand is bekend dat bij mechanische verstopping deeltjesbruggen worden gevormd^{4,5,7}. Deze deeltjesbruggen worden in stand gehouden door de kracht van het aanstromende water en groeien aan onder invloed van de meegevoerde deeltjes. Zodra aan een put niet meer wordt onttrokken, valt de kracht van het aanstromende water weg en zullen de gevormde deeltjesbruggen uit elkaar beginnen te vallen. Hoe langer de rustperiode, des te meer deeltjesbruggen uit elkaar vallen. Dat mechanisch verstopte putten door stilstand aanzienlijk verbeteren is al lang bekend².

Het is niet zo dat een put na vijf minuten rust weer kan worden bijgezet. Niet alleen de duur van de afzonderlijke onttrekkingsperiode is van belang, maar ook de duur van de afzonderlijke rustperiodes.

Conclusie

Uit het voorgaande blijkt dat de afpomping (verstopping van de put) sterk is gerelateerd met de putschakeling. Niet alleen de duur

van de afzonderlijke onttrekkingsperiodes is van belang, maar ook de duur van de afzonderlijke rustperiodes. Bovendien blijkt dat een put in goede conditie tijdelijk kan worden 'overbelast'.

Er zijn aanwijzingen dat het voordelig is het putschakelprogramma regelmatig te veranderen. Dit kan gemakkelijk worden verkregen door de carouselgroepen binnen het carrouselprogramma te laten rouleren⁶. Naast de hier beschreven putschakeling beïnvloeden ook nog andere, niet of minder te beïnvloeden, factoren het optreden van putverstopping. Te noemen zijn verdeling van de deeltjesconcentratie en van de weerstand over de boorgatwand over de lengte van het putfilter en onderlinge beïnvloeding van de putten.

LITERATUUR

- 1) Van Beek C., A. Oosterhof, R. Breedveld en B.-R. de Zwart (2004). Zelfregenererende pompputten, frequent schakelen voorkomt mechanische putverstopping. H₂O nr. 18, pag. 36-38.
- 2) Van Beek C. en M. Brandes (1977). Regeneratie van putten. H₂O nr. 24 pag. 546-551.
- 3) Juhász-Holterman M., M. Balemans en C. Jansen (2004). Beter inzicht in putverstopping door flowmetingen en hoogfrequente stijghoogtemetingen. H₂O nr.17, pag. 29-31.
- 4) Oosterhof A. (2005). Evaluatie regeneraties en onderzoek putverstopping puttenveld Ritskebos te Noordburgum. Rapport Vitens.
- 5) Timmer H., J. Verdel en A. Jongmans (2000). Verstopping putten door van nature aanwezig materiaal. H₂O nr. 20, pag. 24-26.
- 6) Van der Wurf N., C. van Beek, R. Breedveld en G. Doedens (2007). Naar een verstoppingvrij puttenveld Tull en 't Waal (2): Carrousel putschakelschema. H₂O nr. 2, pag. 51-53.
- 7) De Zwart A. (2007). Theoretical and experimental study of well clogging processes in the vicinity of water supply wells. Proefschrift TU Delft.

4 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (4); deeltjesbalans en gedrag van deeltjes in onttrokken grondwater



Kees van Beek, Kiwa Water Research
 Rob Breedveld, Vitens A&D
 Marc Balemans, Kiwa Water Research
 Gertjan Doedens, Vitens MN

Tull en 't Waal (4): deeltjesbalans en gedrag van deeltjes in onttrokken grondwater

Om aanbevelingen voor een verstoppingsvrij puttenveld goed te kunnen onderbouwen, is informatie over het gedrag van deeltjes nodig. Informatie over dit gedrag kan worden verkregen door deeltjestellingen. Op basis van de resultaten van deze tellingen kunnen uitspraken worden gedaan, bij voorbeeld over de verstoppingsgevoeligheid van putten. Mechanische putverstopping kan worden voorkomen indien gemiddeld bij het aanschakelen van de onderwaterpomp de deeltjes worden verwijderd die gedurende voorgaande onttrekkingsperiode op de boorgatwand zijn geaccumuleerd. Deze hypothese is nu met behulp van deeltjesbalansen bevestigd. Het beschreven onderzoek is in opdracht van BTO Putmanagement en Vitens MN uitgevoerd, waarbij gebruik is gemaakt van resultaten van het BTS onderzoek. Dit is het laatste uit een serie van vier artikelen, waarvan de eerste twee in H₂O nummer 2 van dit jaar stonden.

In Nederland kunnen twee typen putverstopping worden onderscheiden, namelijk chemische of filterspleetverstopping en mechanische of boorgatwandverstopping. Mechanische verstopping wordt veroorzaakt door een accumulatie van deeltjes op de boorgatwand. Deze deeltjes zijn van nature in (anaeroob) grondwater aanwezig en bestaan uit natuurlijk materiaal, zoals kleimineralen, organische stof, kwarts en kalk^{31,51}. Naar verwachting zullen de grootste deeltjes het meest bijdragen aan het optreden van verstopping. Daarom komt het goed uit dat tellers op de markt zijn die aantallen deeltjes met bijbehorende diameter tellen. De ondergrens voor de diameter van de getelde deeltjes bedraagt 2 µm. Uit de literatuur blijkt dat filtratie van deeltjes met een diameter kleiner dan 1 µm wordt bepaald door diffusie en van deeltjes groter dan 1 µm door interceptie en sedimentatie⁵⁰. Mechanische krachten die op deeltjes in (stromend) grondwater werken, omvatten zwaartekracht, opwaartse drijfkracht en sleepkracht (erosiekracht) ten gevolge van versnelling bij het aanzetten van de onderwaterpomp

en ten gevolge van continue onttrekking. De richting van deze laatste kracht valt samen met de stromingsrichting van het grondwater naar de dichtstbijzijnde put, maar werkt ook tangentieel onder invloed van omringende putten. De deeltjestellingen worden uitgevoerd aan het onttrokken grondwater via de monsterkraan op de putkop. Het aldus bemonsterde grondwater is dan watervoerend pakket, boorgatwand, omstorting, putfilter, onderwaterpomp, stijgleiding, monsterkraan en monsterslang gepasseerd. Gedurende dit gehele traject kan de concentratie van deeltjes worden beïnvloed door interactie met oppervlakken en door de mechanische actie van de onderwaterpomp. Ondanks deze mogelijke interacties wordt aan deze methode de voorkeur gegeven boven monsterneming via bijvoorbeeld een waarnemingsput, omdat vanwege het grote doorstroomvolume de productieput schoon is en/of snel een evenwicht is bereikt.

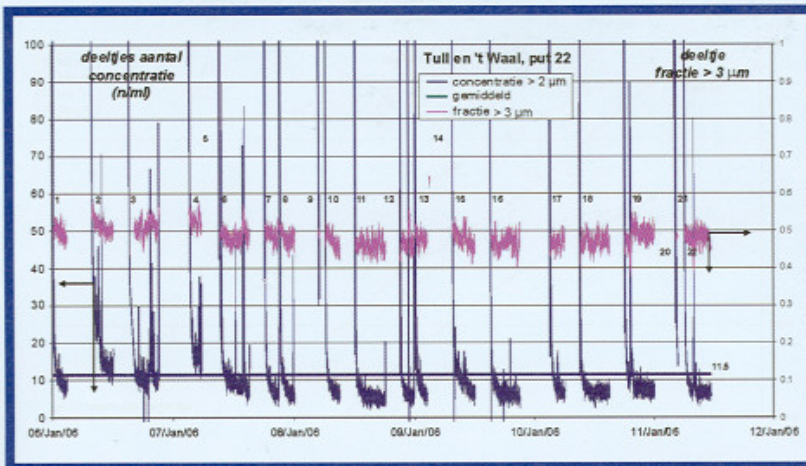
Deeltjesconcentratie

Onderstaande afbeeldingen tonen het verloop van de concentratie deeltjes

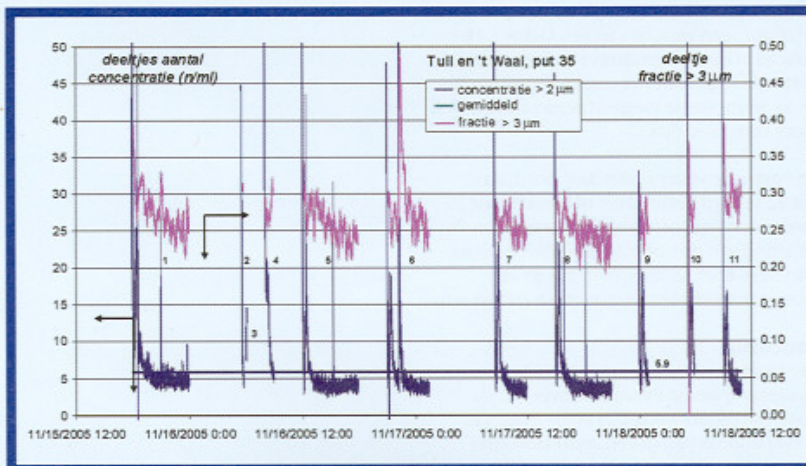
> 2 µm en de fractie deeltjes >3 µm in het onttrokken grondwater gedurende de onttrekkingsperiodes in twee uiterste putten; de oude, verstopte put 22 en de nieuwe, maximaal ontwikkelde put 35.

Uit afbeelding 1 en 2 blijkt dat bij het aanzetten van de onderwaterpomp de concentratie aanvankelijk hoog is en snel afneemt tot een vrijwel constante lage waarde. Deze lage waarde is echter niet altijd gelijk. Deze aanvankelijke hoge concentratie wordt veroorzaakt door mobilisatie van deeltjes, die gedurende voorgaande onttrekkingsperiodes op de boorgatwand zijn geaccumuleerd.

Opvallend zijn de vele verstoringen. De oorzaak is onbekend; zij kunnen veroorzaakt zijn door onderlinge beïnvloeding van de putten (put 22 is midden op het puttenveld gelegen, put 35 aan de rand), maar ook door instabiliteit van de teller of vervuiling van de sensor. De verschillen in concentratieniveau aan het eind van elke meting worden waarschijnlijk veroorzaakt door variaties in weerstand in de ruwwaterleiding (het



Afb. 1: Verloop van de concentratie deeltjes >2 µm en de fractie deeltjes >3 µm in het onttrokken grondwater gedurende de beschouwde periode in put 22. De nummers geven de individuele onttrekkingsperiodes aan. Tevens is de berekende gemiddelde concentratie weergegeven.



Afb. 2: Verloop van de concentratie deeltjes >2 µm en de fractie deeltjes >3 µm in het onttrokken grondwater gedurende de beschouwde periode in put 35. De nummers geven de individuele onttrekkingsperiodes aan. Tevens is de berekende gemiddelde concentratie weergegeven.

aantal putten dat tegelijk op dezelfde leiding levert).

Alle gemeten deeltjes zijn afkomstig uit het watervoerend pakket. Indien we aannemen dat gedurende de gehele meetperiode het aantal deeltjes, dat is geaccumuleerd op de boorgatwand, gelijk is gebleven (de put is niet verstopt en niet verbeterd), is het mogelijk een gemiddelde achtergrondconcentratie te berekenen, namelijk door het aantal deeltjes te sommeren en te delen door het aantal waarnemingen.

De gemiddelde achtergrondconcentratie deeltjes >2 µm in put 22 is dan gelijk aan 11,5/ml. Uit de laatste waarden van de lange meetreeksen, onder andere 11, 16, 18, 19 en 22 is een gemiddelde (laagste) concentratie berekend. Deze waarde varieert tussen 5,3 en 7,6/ml. Aannemende dat in meerdere tellingen nog geen constante waarde was bereikt, zal de correcte waarde zich aan de onderzijde van het traject bevinden en bijvoorbeeld gelijk zijn aan 6,0 deeltjes/ml >2 µm. Dat betekent dat bij deze put (11,5-6,0)/11,5 x 100% = 50% van de meegevoerde deeltjes op de boorgatwand wordt afgefilterd.

Op dezelfde wijze kan voor put 35 een laagste gemiddelde concentratie deeltjes worden berekend. Deze waarde bedraagt 3,6/ml. Dat betekent dat bij deze put (5,9-3,6)/5,9 x 100% = 40% van de meegevoerde deeltjes op de boorgatwand wordt afgefilterd.

Uit bovenstaande volgt dat blijkbaar ongeveer de helft van de aangevoerde deeltjes op de boorgatwand wordt afgefilterd.

De hoeveelheid deeltjes die per oppervlakte eenheid open boorgatwand wordt afgefilterd is gelijk aan (de oppervlakte open boorgatwand is de oppervlakte van de boorgatwand gecorrigeerd voor putverstopping):

$$(A_{N})_{obw} = \frac{Q}{2prL} \left(\frac{Q_{spec}^{opt}}{Q_{spec}^{act}} \right) \{ (C_N)_{aquifer} - (C_N)_{putkop} \}$$

Hierin is:

(A_N)_{obw}: aantal deeltjes afgefilterd per oppervlakte eenheid open boorgatwand per tijdseenheid (n.h⁻¹.m⁻²)

Q: onttrekking door de put (m³/h).

r: straal van het boorgat (m)
L: lengte van het putfilter (m)
(Q_{spec})_{opt}: specifieke volumestroom bij oplevering (m³.h⁻¹.m⁻¹)
(Q_{spec})_{act}: actuele specifieke volumestroom (m³.h⁻¹.m⁻¹)
(C_N)_{aquifer}: (berekende) concentratie deeltjes in het toestromende grondwater (n/m³)
(C_N)_{putkop}: (gemeten) concentratie deeltjes in het onttrokken grondwater (n/m³)

Berekening leert dat bij put 22 per m² open boorgatwand 41,2x10⁶ deeltjes/uur worden afgefilterd, en bij put 35 3,6x10⁶ deeltjes. Op de boorgatwand van de oude, vaak geregenereerde, half verstopte put 22 worden dus meer dan tienmaal x zo veel deeltjes afgefilterd dan op de boorgatwand van de nieuwe, maximaal ontwikkelde put 35. Door het grotere aantal deeltjes is put 22 gevoeliger voor verstopping dan put 35.

Deeltjesbalans

Het aantal deeltjes geaccumuleerd op de boorgatwand is gelijk aan:

$$A_N = Q \{ (C_N)_{aquifer} - (C_N)_{putkop} \} \Delta t$$

Hierin is:

A_N: aantal deeltjes afgefilterd op de boorgatwand (n)
Δt: gemiddelde duur van een onttrekkingsperiode (h)

Het aantal deeltjes gedurende een schakelperiode van drie uur afgefilterd op de boorgatwand van put 22 bedraagt: 120 x (11,5 - 6,7) x 10⁶ x 3 = 1735 x 10⁶, en bij put 35: 60 x (5,9 - 4,0) x 10⁶ x 3 = 344 x 10⁶. Uit van Beek et al. (in druk) blijkt dat bij put 22 per schakeling 1.000 à 2.000 x 10⁶ deeltjes worden verwijderd en bij put 35 500 à 900 x 10⁶. Vergelijking leert dat de geaccumuleerde en verwijderde aantallen deeltjes met elkaar overeen komen, zeker als rekening wordt gehouden met de onzekerheden in de gehanteerde concentraties deeltjes.

Het optreden van mechanische putverstopping wordt verklaard door een verstoring van de balans van geaccumuleerde deeltjes tijdens onttrekking en gemobiliseerde deeltjes tijdens het aanschakelen van de pomp. Deze verklaring is nu door resultaten van deeltjesbalansen bevestigd.

Deeltjesgrootteverdeling

Aan de diameter van de meegevoerde deeltjes wordt een bovengrens gesteld door de grofte van het watervoerend pakket: de maximale diameter van een deeltje wordt bepaald door de diameter van de poriehalzen van de aquifermatrix en/of de boorgatwand. Hoe groter de diameter van de poriehalzen, des te groter de maximale deeltjesdiameter. In de praktijk ligt de maximale diameter voor deeltjes in onttrokken grondwater op 20 à 40 µm.

Het grovere omstortingsgrind bezit wijdere poriehalzen en kan daardoor geen belemmering vormen voor het transport van de aangevoerde deeltjes.

In afbeelding 1 en 2 is ook de fractie deeltjes met de diameter >3 µm (ten opzichte van de concentratie deeltjes >2 µm) weergegeven. Uit beide afbeeldingen blijkt dat de fractie deeltjes >3 µm voor de putten 22 en 35 zeer verschillend is, namelijk respectievelijk 0,48 en 0,25. Uit afbeelding 2 blijkt tevens dat de fractie deeltjes > 3 µm met toenemende onttrekkingsduur afneemt. Dit is in lijn met de verwachting: bij het aanzetten van de onderwaterpomp treedt een verstoring van de omgeving van het putfilter op, waarna vervolgens de grovere deeltjes het eerst zullen sedimenteren.

Afbeelding 3 toont de relatie tussen deeltjes diameter en deeltjes concentratie. Zo bevat het onttrokken grondwater van put 21 minder dan 0,001 deeltje/ml met een diameter groter dan 15 µm en 0,1 deeltje/ml met een diameter groter dan 3 µm.

Uit bovenstaande afbeelding blijkt dat het verloop van de curven van put 21 en put 22 nagenoeg evenwijdig is, evenals voor put 33 en 35. Een evenwijdig verloop van curven duidt op een gelijke deeltjesgrootteverdeling.

Aangezien het niet waarschijnlijk is, dat de voorraad deeltjes in het watervoerend pakket rond put 21 en 22 een andere korrelgrootteverdeling bezit dan rond put 33 en 35, moet dit verschil samenhangen met een verschil in putconstructie of bedrijfsvoering. De putten 21 en 22 zijn oud en half verstopt, de putten 33 en 35 nieuw en maximaal ontwikkeld. Verwacht mag worden dat ten gevolge van verstopping alleen de grofste delen van het watervoerend pakket nog water leveren. Bij de verstopte putten 21 en 22 zijn daarom op de boorgatwand alleen de poriehalzen met een grote diameter nog open en de poriehalzen met een kleine diameter verstopt. Dit in tegenstelling tot de nieuwe putten 33 en 35 waar op de boorgatwand zowel de poriehalzen met een grote en met een kleine diameter open zullen zijn. Het optreden van verstopping leidt in de deeltjesgrootteverdeling dus naar een verschuiving naar een groter aandeel grove deeltjes. Het verschil in deeltjesgrootteverdeling tussen enerzijds de verstopte putten 21 en 22 en anderzijds de nieuwe putten 33 en 35 hangt dus samen met mate van putontwikkeling en van putverstopping.

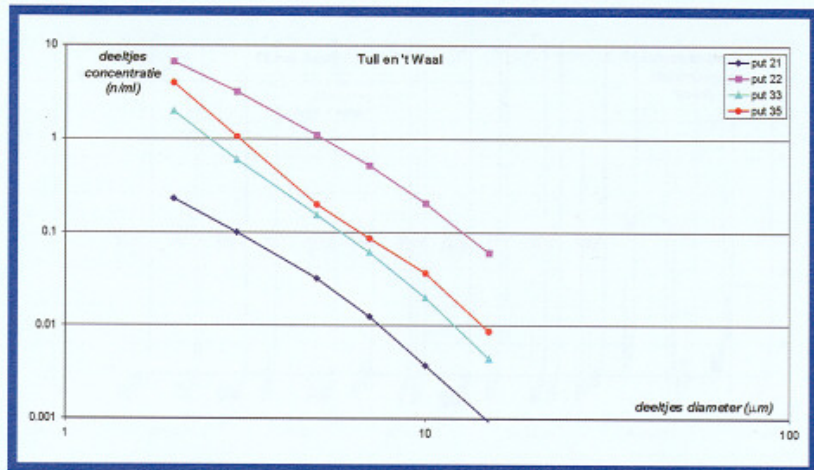
Door het aanschakelen van de onderwaterpomp wordt op deeltjes in de omgeving van de put een versnellingskracht uitgeoefend en gedurende de onttrekking een erosieve kracht. Om een indruk te verkrijgen van deze 'krachten' is gewerkt met de flux over de open boorgatwand (is de flux over de boorgatwand gecorrigeerd voor putverstopping):

$$V_{obw} = \frac{Q}{2\pi rL} \frac{(Q_{spec})_{opi}}{(Q_{spec})_{act}}$$

Hierin is:

V_{obw} : flux over de open boorgatwand ($m^3 \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$)

Substitutie van de waarden voor de putten 22 en 35 leert dat de flux over de open boorgatwand voor put 22 gelijk is aan 6,9



Afb. 3: Relatie tussen deeltjesconcentratie en deeltjesgrootte voor de aangegeven putten, berekend uit de gemiddelden van de 20 laatste waarnemingen van (langere) onttrekkingsreeksen, dubbel-logarithmisch weergegeven.

$m^3 \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$, en voor put 35 gelijk aan $0,99 m^3 \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$; een verschil van een factor 7. Het verschil in deeltjesgrootteverdeling in het onttrokken grondwater tussen de putten 22 en 35 wordt mede toegeschreven aan dit grote verschil in flux.

De volgende vraag wordt dan: wordt aan put 22 te hard onttrokken, of kan aan put 35 harder worden onttrokken? Afgaande op de belasting van de boorgatwand met deeltjes (van Beek et al., 2005) kan in put 35 een grotere onderwaterpomp worden gehangen.

Conclusie

Deeltjesconcentratie en deeltjesgrootteverdeling geven informatie over de mate van putontwikkeling en de mate van putverstopping en geven informatie voor de bedrijfsvoering van putten. Hierbij kan gedacht worden aan een objectieve maat voor de verstoppingsgevoeligheid van putten (aantal deeltjes dat per tijdseenheid per oppervlakte eenheid boorgatwand wordt afgefilterd) en de capaciteit van de (onderwater)pomp. Bovendien bleek het mogelijk de werkhypothese voor het optreden van mechanische putverstopping te bevestigen.

LITERATUUR

- 1) Van Beek C., R. Breedveld, M. Balemans en G. Doedens (2007). Naar een verstoppingvrij puttenveld Tull en 't Waal (3). Putverstopping en putschakelen. H₂O nr. 3, pag. 29-31.
- 2) Van Beek C. (2005). Deeltjestellingen in onttrokken grondwater. Evaluatie van metingen tot 2003. Kiwa BTO 2005.049 (s).
- 3) Oosterhof, A. (2005). Evaluatie regeneraties en onderzoek putverstopping puttenveld Ritskebos te Noardburgum. Rapport Vitens.
- 4) Stumm W. (1992). Chemistry of the solid-water interface, processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems. Wiley-Interscience. New York.
- 4) Timmer H., J. Verdel en A. Jongmans (2000). Verstopping putten door van nature aanwezig materiaal. H₂O nr. 20, pag. 24-26.