



Kees van Beek, Kiwa Water Research

Rob Breedveld, Vitens A&D

Marc Baemans, 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^{3),5)}. 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 sedimentatie⁴⁾. 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.

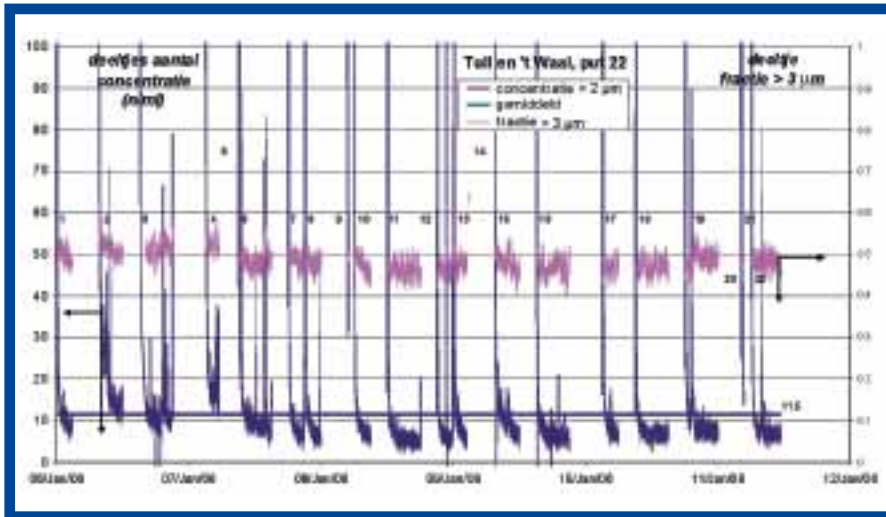
Deeltjesconcentratie

Onderstaande afbeeldingen tonen het verloop van de concentratie deeltjes

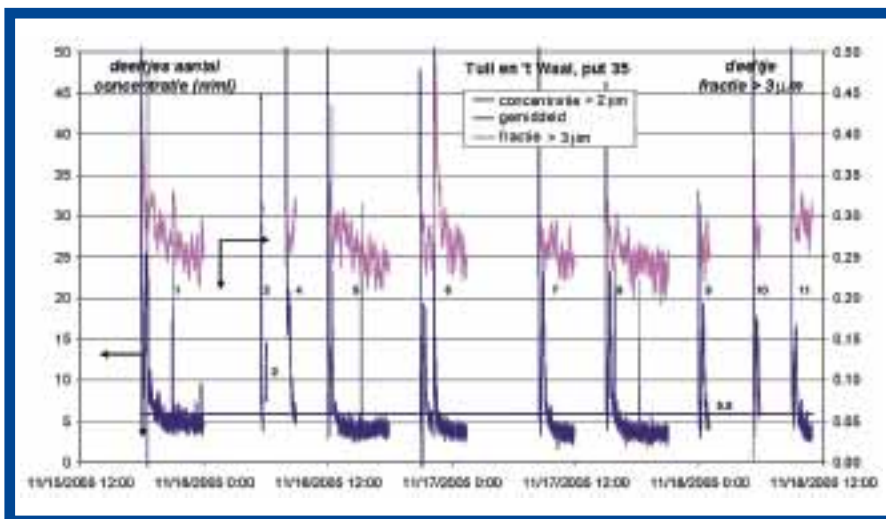
> 2 µm en de fractie deeltjes >3 µm in het onttrokken grondwater gedurende de onttrekkingsperioden in twee uiterste putten; de oude, verstopte put 22 en de nieuwe, maximaal ontwikkelde put 35.

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 onttrekkingsperioden 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):

$$(A_N)_{obw} = \frac{Q}{2\pi rL} \frac{(Q_{spec})_{opt}}{(Q_{spec})_{act}} \{(C_N)_{aquifer} - (C_N)_{putkop}\}$$

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.

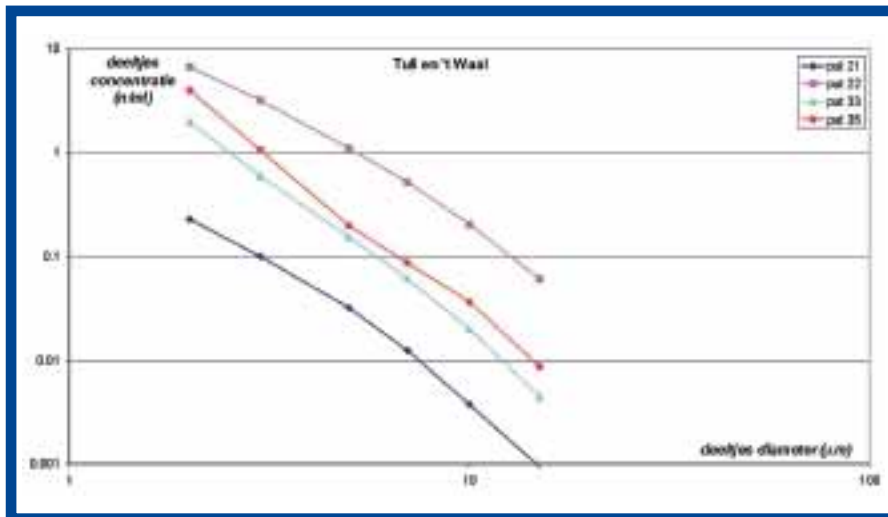
Door het aanschakelen van de onderwaterpomp wordt op deeltjes in de omgeving van de put een versnellingskracht uitgeoefend en gedurende de onttrekking een erosieve kracht. Om een indruk te verkrijgen van deze 'krachten' is gewerkt met de flux over de open boorgatwand (is de flux over de boorgatwand gecorrigeerd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

$$v_{obw} = \frac{Q}{2prL} \frac{(Q_{spec})_{opl}}{(Q_{spec})_{act}}$$

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-logaritmisch 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.