

Analyse flowmetingen sleutel voor verbetering grondwaterputten

Benno Drijver (IF Technology)

Mark Janssen Lok (masterstudent Universiteit Utrecht)

De prestaties van een put worden in de praktijk meestal bepaald aan de hand van het specifieke debiet. Een goed specifiek debiet betekent echter niet automatisch dat de put goed is ontwikkeld. Met behulp van flowmetingen kunnen de prestaties van grondwaterputten beter worden beoordeeld. We hebben een model ontwikkeld om een theoretische flowverdeling te berekenen die vervolgens wordt vergeleken met de gemeten flowverdeling. De verschillen kunnen duiden op verstoppingen in bepaalde delen van het filtertraject. Uit een analyse van een aantal flowmetingen blijkt dat verstoppingen in het onderste deel van het filtertraject regelmatig voorkomen. Dit artikel geeft de resultaten van het onderzoek weer, de mogelijke verklaringen en de opties om de flowverdeling te verbeteren.

Flowverdeling

Met de flowverdeling van een put wordt de relatieve bijdrage van elk deel van het bronfilter in beeld gebracht. Als met een debiet van 40 m³ per uur grondwater wordt onttrokken uit een put met een filterlengte van 40 m, dan zou elke meter filter bij een evenredige flowverdeling een bijdrage leveren van 1 m³ per uur. Van beneden naar boven neemt het debiet in de filterbuis dan lineair toe van 0 m³ per uur aan de onderzijde tot 40 m³ per uur aan de bovenzijde. Met een flowmeting wordt de stroomsnelheid in de filterbuis (een maat voor het debiet) bepaald en kan de bijdrage van elk deel van het bronfilter worden bepaald. Uit onze analyse blijkt dat de bijdrage van het onderste deel van het bronfilter in de praktijk regelmatig achterblijft bij de verwachting, wat aangeeft dat verbeteringen mogelijk zijn.

Bij een flowmeting wordt de (verticale) stroomsnelheid in de buis over de gehele lengte van het bronfilter gemeten, terwijl met een constant debiet grondwater wordt onttrokken uit de betreffende put. Uit deze metingen kan worden afgeleid hoeveel water in elk stukje van het bronfilter instroomt. De ervaring van partijen die flowmetingen uitvoeren is dat het regelmatig voorkomt dat het onderste deel van het bronfilter maar weinig water levert (vooral bij lange bronfilters). Dit betekent dat via het bovenste deel van het filter meer water wordt onttrokken dan voorzien. Dit kan relevant zijn voor het functioneren van de betreffende put op lange termijn, omdat de verhoogde stroomsnelheid voor versnelde putverstopping kan zorgen. Verder zouden warme en koude bellen bij warmte-/koude-opslagsystemen zich in dat geval verder uitstrekken ter hoogte van het bovenste deel van het filter, waardoor thermische verliezen door interactie tussen warme en koude bellen toenemen. Om meer inzicht te krijgen in de flowverdeling over de lengte van een bronfilter, zijn flowmetingen verzameld en geanalyseerd.



Figuur 1. Voorbeeld van een 'propeller'-flowmeter

Welke factoren beïnvloeden de verdeling van instroming?

1. Doorlatendheid van de bodemlagen

Allereerst is de doorlatendheid van de bodemlagen op de betreffende diepte van belang. Lagen met een hoge doorlatendheid, zoals grindlagen, leveren meer water dan lagen met een lage doorlatendheid zoals fijn zand. De bijdrage van de verschillende lagen kan worden ingeschat door de informatie over de korrelgrootte te vertalen naar (relatieve) doorlatendheden.

2. Positie van het bronfilter

Minder voor de hand liggend – maar wel relevant – is dat ook de lengte en de positie van het bronfilter ten opzichte van de dikte van het watervoerende pakket van belang is. Als het bronfilter de hele dikte van een watervoerend pakket beslaat (volledig bronfilter) dan is bij een constante doorlatendheid sprake van een (vrijwel) homogene instroming. Als het bronfilter slechts in een deel van het watervoerende pakket staat (partieel bronfilter), dan is de instroming niet meer homogeen. De uiteinden van het bronfilter leveren in die situatie relatief veel water, omdat het water daar zowel horizontaal als verticaal kan toestromen terwijl in het midden van het bronfilter alleen horizontale toestroming plaatsvindt (Hemker, 1999; Houben, 2006). De invloed hiervan kan worden vastgesteld met behulp van een grondwatermodel.

3. Stroming in en om de put

Ook de stroming in en om de put kan van invloed zijn op de flowverdeling. Het grondwater stroomt horizontaal toe, stroomt door het filter, wordt vervolgens afgebogen naar een verticale stromingsrichting en ondergaat tijdens het transport naar boven een versnelling – het debiet dat door de filterbuis stroomt, loopt naar boven toe immers op. Tijdens deze processen gaat energie verloren, wat zich vertaalt in stijghoogteverliezen (drukverliezen). Gevolg is dat boven in het bronfilter een wat grotere verlaging optreedt dan onderin met als resultaat een wat grotere bijdrage van het bovenste deel van het bronfilter aan het totale debiet. In de praktijk is de invloed van deze drukverliezen op de flowverdeling meestal te verwaarlozen, omdat hiermee rekening wordt gehouden bij het ontwerp van de put.

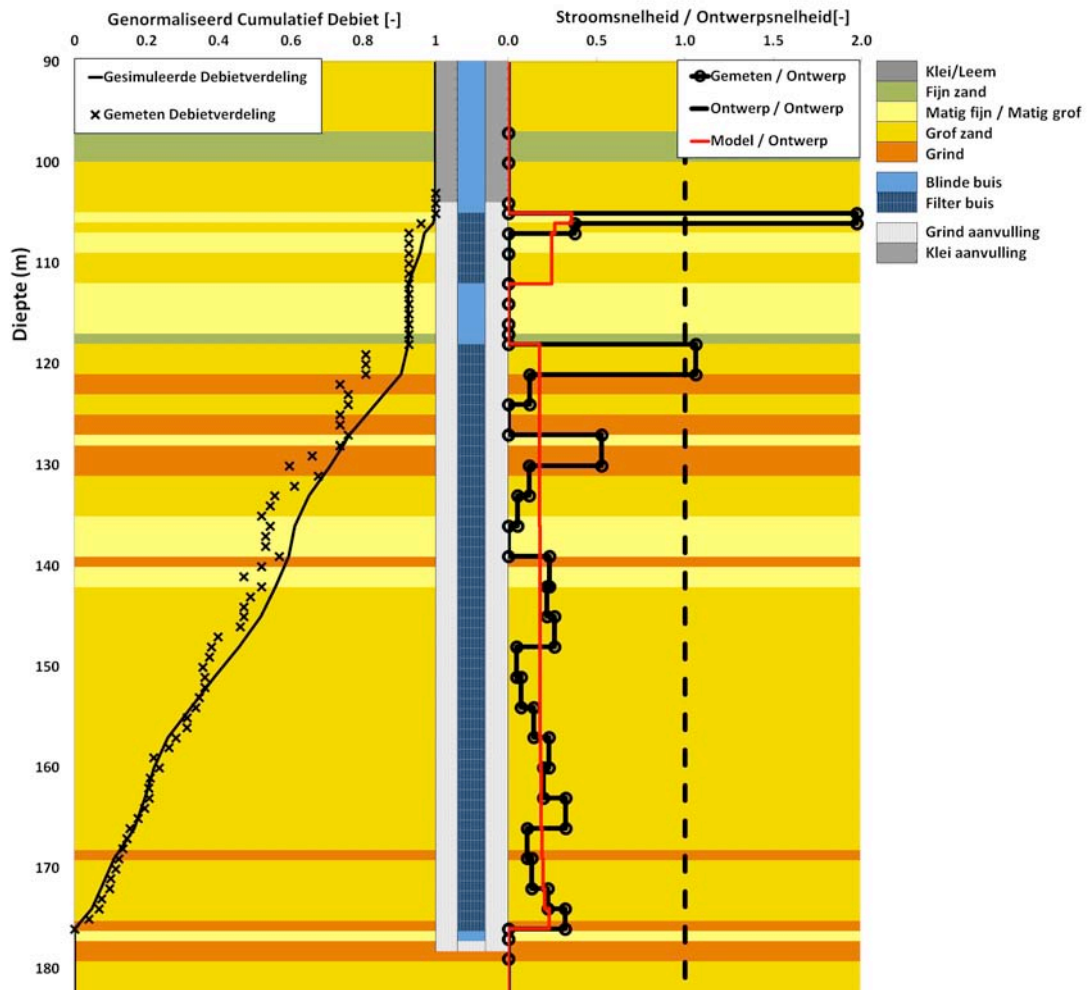
4. Putverstopping

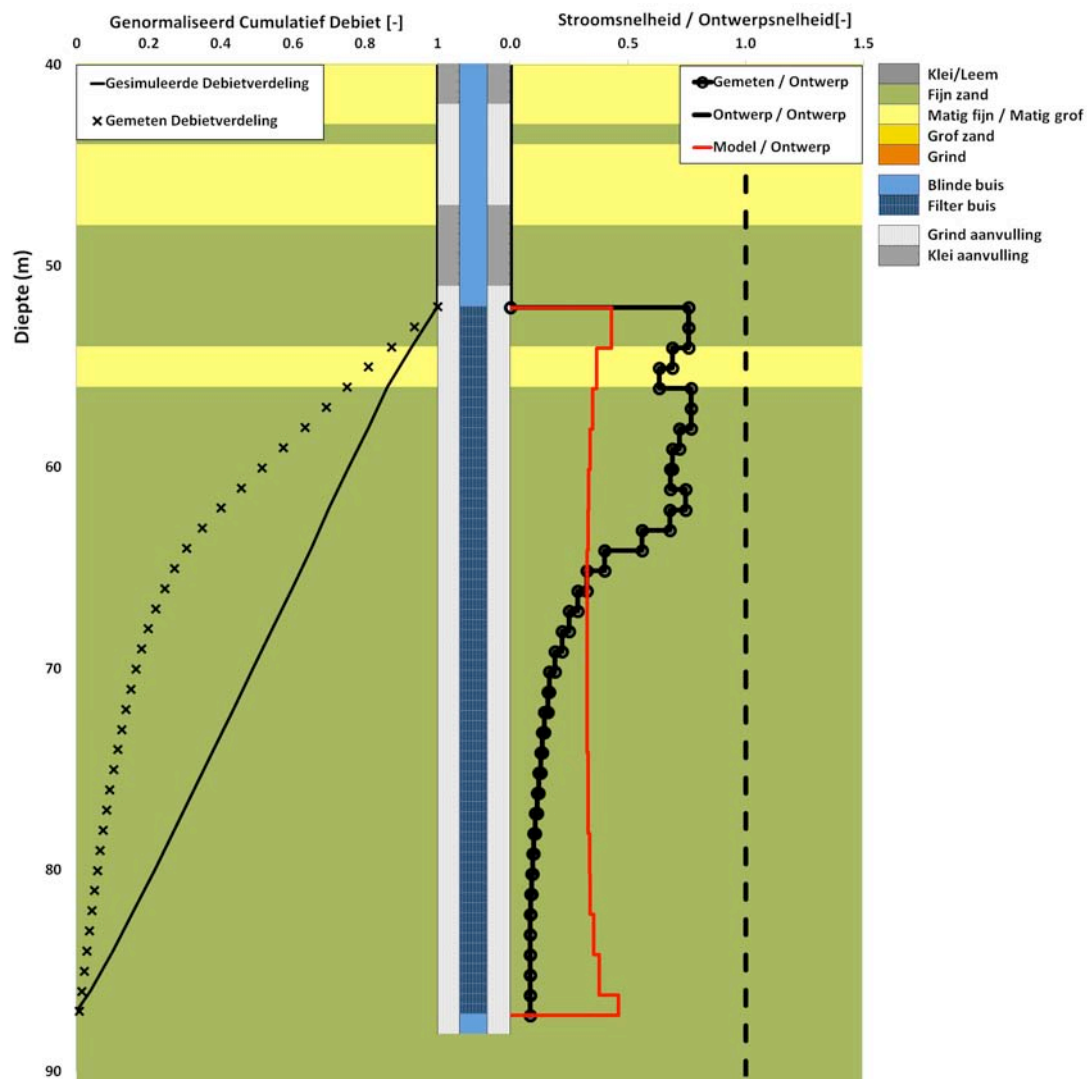
Tenslotte kunnen ook verschillen in de mate van putverstopping over de lengte van het filter een rol spelen. De invloed hiervan is niet op voorhand in te schatten. Om een idee te krijgen van de invloed van de verschillende factoren is een aantal putten waarvan flowmetingen beschikbaar waren nader geanalyseerd met behulp van grondwatermodellen.

Modellerings flowverdeling

In totaal zijn tien putten, waarvan zowel een flowmeting als alle andere benodigde informatie beschikbaar was, geselecteerd voor analyse. Op basis van de boorbeschrijvingen van de betreffende bronnen en de gegevens over de putconstructie hebben we grondwatermodellen gemaakt, waarmee een theoretische flowverdeling is berekend. De berekende flowverdeling en de gemeten flowverdeling komen bij een aantal putten redelijk tot goed overeen. Blijkbaar is het model in deze gevallen goed in staat om de flowverdeling te voorspellen. Bij andere putten blijkt dat bepaalde delen van het filter, vaak onder in de put, duidelijk minder water leveren dan op basis van de modelberekeningen mag worden verwacht. Deze afwijkingen zijn te verklaren door verschillen in de mate van verstopping van de put. Het feit dat deze afwijkingen ook bij nieuwe putten te zien zijn, geeft aan dat de oorzaken moeten worden gezocht in het proces van aanleg en ontwikkeling van de put.

In Figuur 2 (a en b) zijn de resultaten van twee geanalyseerde putten afgebeeld. Aan de linkerzijde van de put is het resultaat van de flowmeting weergegeven (kruisjes). Ook is er een flowverdeling te zien die is afgeleid uit berekeningen met het grondwatermodel van de put (lijn). De rechterzijde toont de stroomsnelheden op de boorgatwand ten opzichte van de toegestane snelheden op basis van de ontwerpnorm voor onttrekkingsputten van BodemenergieNL (voorheen NVOE). De stippellijn geeft de norm aan. De rode lijn is afgeleid uit de modelberekeningen en de zwarte lijn is gebaseerd op de metingen. Onregelmatigheden in de flowmetingen, zoals in het linker plaatje, resulteren in sterke fluctuaties in de zwarte lijn, waardoor de resultaten op detailniveau niet betrouwbaar zijn. De globale trend is echter wel betrouwbaar.





Figuur 2a en 2b. Analyse van de flowmetingen van twee putten. De kruisjes zijn de gemeten waarden en de lijn

In Figuur 2a komt de flowmeting goed overeen met de verwachting op basis van het model. Wat opvalt is dat enkele filtersecties geen bijdrage leveren aan het totale debiet, terwijl dat op basis van het model wel werd verwacht. Bij nadere beschouwing blijkt dat volgens de boorbeschrijving vlak daarboven kleibrokjes zijn gevonden, wat duidt op de aanwezigheid van kleilagen of dunne kleilaagjes in het pakket. Mogelijk zorgt de tijdelijke toename van het kleigehalte in de boorvloeistof door het doorboren van de kleihoudende lagen voor extra afpleistering van de boorgatwand in het traject vlak daaronder. Dit is vervolgens niet volledig verwijderd gedurende het ontwikkelproces. Verder valt op dat de bovenste meters van beide filterstukken onevenredig veel water lijken te leveren in vergelijking met de rest van het filter.

Figuur 2b is een duidelijk voorbeeld van een onevenredige verdeling van het debiet. Het onderste deel levert veel minder water dan mag worden verwacht en in het bovenste deel wordt dat gecompenseerd. Dit fenomeen is bij de helft van de onderzochte putten teruggevonden. Hoewel de stroomsnelheden ten opzichte van de norm bovenin veel hoger liggen dan onderin, wordt in dit geval de berekende stroomsnelheidsnorm niet overschreden.

Welke invloed heeft de aanleg van een put op de flowverdeling?

Tijdens de aanleg van een put kunnen verschillende processen invloed hebben op de uiteindelijke flowverdeling:

1. In het boorgat circuleert de boorvloeistof. Bij de boorkop neemt de boorvloeistof het opgeboorde sediment op en voert het af naar de oppervlakte. Aan de oppervlakte wordt het door bakken geleid, waar het sediment kan bezinken. Vervolgens wordt de boorvloeistof weer teruggevoerd in het boorgat. Doordat bij het bezinken niet alle sediment uit het boorwater wordt verwijderd – klei en fijn zand bezinken niet of veel minder goed dan grof zand en grind – bestaat de boorvloeistof uit een mengsel van water en sediment. Daardoor is de dichtheid van de boorvloeistof hoger dan de dichtheid van het grondwater. De druk in het boorgat neemt daardoor sneller toe met de diepte dan de druk in de doorboorde bodemlagen, met als gevolg dat de overdruk in het boorgat steeds verder toeneemt met de diepte. Een belangrijke consequentie hiervan is dat de filterkoek, die tijdens de aanleg van de put wordt afgezet op de boorgatwand, onder in de put sterker wordt aangedrukt dan elders, waardoor hij moeilijker te verwijderen is. Omdat fijn zand moeilijker bezinkt dan grof zand, is dit effect waarschijnlijk sterker in fijnzandige watervoerende pakketten dan in grofzandige pakketten. Verder loopt de overdruk in diepe boringen verder op dan in ondiepe boringen.
2. Een ander proces dat mogelijk een rol speelt, is het bezinken van het sediment uit de boorvloeistof als de circulatie van de boorvloeistof wordt stopgezet. Dit gebeurt bijvoorbeeld als de boorstangen uit het boorgat worden verwijderd of als de circulatie 's nachts of in het weekend niet op gang wordt gehouden. Het bezonken sediment kan onder in het boorgat voor extra verstopping zorgen.
3. Na het inbouwen en aanvullen van het boorgat wordt de put 'ontwikkeld'. Dat wil zeggen dat de filterkoek, die is achtergebleven op de boorgatwand, weer zo goed mogelijk wordt verwijderd. Daarvoor zijn verschillende methodes. Ontwikkeltechnieken die op de hele put worden toegepast hebben de meeste kans van slagen op de plaatsen waar de filterkoek het zwakst is en/of de stroming het makkelijkst verloopt. Daardoor mag worden verwacht dat boven in de put en/of in de relatief grove delen van het watervoerende pakket het snelst resultaat wordt geboekt. Wanneer bij het ontwikkelingsproces de eerste 'gaten' in de filterkoek zijn gevormd, gaan deze functioneren als zogenaamde preferente stroombanen. Doordat het water de neiging heeft om vooral door de gaten te stromen, neemt de effectiviteit van dezelfde ontwikkeltechnieken ter hoogte van andere delen van de boorgatwand sterk af (Breedveld et al., 2007).

4. Jutteren is één van de meest effectieve ontwikkelmethoden. Hierbij wordt het waterniveau in de put door middel van perslucht geleidelijk verlaagd en enige tijd vastgehouden. Vervolgens wordt de druk weer ontlast, waardoor het waterniveau in de put weer omhoog schiet. Een belangrijk voordeel van jutteren ten opzichte van andere ontwikkeltechnieken is dat de stromingsrichting tijdelijk wordt omgekeerd. Bovendien is bij jutteren korte tijd sprake van zeer hoge stroomsnelheden waardoor materiaal effectief wordt verwijderd. Door de kortstondig zeer grote debieten die bereikt worden bij het loslaten van de druk treden echter ook grote drukverliezen op in de put. Dit initieert een sterke ongelijkheid in de krachtverdeling op de boorgatwand. Om een idee te krijgen van de debieten net na het loslaten van de druk zijn voor een project metingen gedaan en berekeningen uitgevoerd. Het geschatte maximale debiet gedurende het jutterproces lag tussen de 2.000 en 4.000 m³/uur direct na het loslaten van de druk.
5. Hoewel vrijwel altijd sectiegewijze ontwikkelmethoden worden toegepast (sectiegewijs afpompen en/of sectiegewijs rondpompen) kan uit de resultaten worden afgeleid dat deze methoden blijkbaar niet altijd de filterkoek effectief aanpakken om te zorgen voor een goede flowverdeling.

Mogelijke oplossingen

Uit de analyse volgt dat tijdens het boorproces een filterkoek ontstaat die onderin sterker is dan bovenin. Na het ontwikkelen blijkt in veel gevallen nog een relatief grote verstopping achter te blijven in het onderste deel van het filter, vooral in fijnzandige pakketten.

Om een slechte flowverdeling in de put te voorkomen kun je zowel de oorzaak van de hardnekkige filterkoek als de ontwikkelwijze van de put aanpakken.

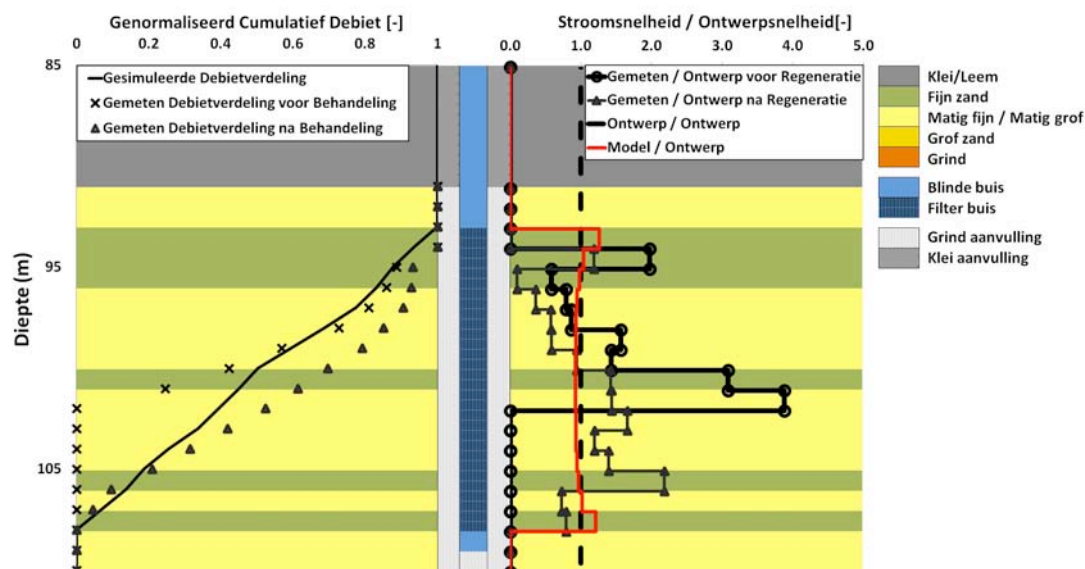
Aanpakken oorzaak

De belangrijkste oorzaak van de verschillen in de sterkte van de filterkoek lijkt de toename van de overdruk in het boorgat met de diepte. Deze toename van de overdruk is het gevolg van de hogere dichtheid van de boorvloeistof, doordat sprake is van een mengsel van water en sediment. Beperken van het gehalte aan sediment kan helpen om de overdruk te beperken en daarmee ook de kans op ongewenste invloeden op de flowverdeling. Om dit te bereiken zou de sedimentverwijdering bovengronds moeten worden verbeterd, bijvoorbeeld door gebruik te maken van filtertechnieken, zoals zeven en cyclonen. In Nederland worden dergelijke technieken momenteel niet toegepast, maar in het buitenland komt dat wel voor.

Aanpakken ontwikkelproces

In het onderzoek is gebleken dat de conventionele ontwikkeltechnieken niet altijd afdoende zijn voor de ontwikkeling van (met name het onderste deel van) putten in fijnzandige aquifers (doorlatende lagen die grondwater bevatten). Het verbeteren van het ontwikkelproces kan van grote waarde zijn. Bij één onderzocht project zijn flowmetingen uitgevoerd na het normale ontwikkelproces.

Toen bleek dat het onderste deel van de put nog verstopt zat, is aanvullend sectiegewijs gejutted en vervolgens opnieuw een flowmeting uitgevoerd. De flowverdeling bleek na het sectiegewijs jutteren (driehoekjes) sterk verbeterd te zijn (Figuur 3). Sectiegewijs jutteren wordt dan ook gezien als een veelbelovende techniek om de flowverdeling in putten te verbeteren.



Figuur 3. Flowverdeling in een put voor (kruisjes) en na (driehoekjes) het toepassen van de ontwikkeltechniek 'sectiegewijs jutteren'.

Conclusie

Flowmetingen kunnen van belangrijke toegevoegde waarde zijn bij het in kaart brengen van de eigenschappen van zowel onttrekkings- als infiltratieputten. In het kader van het onderzoek is een model ontwikkeld waarmee de theoretische flowverdeling over de lengte van het bronfilter kan worden berekend. De vergelijking van deze theoretische flowverdeling met de gemeten flowverdeling kan aanwijzingen geven voor eventuele verstopte zones in de betreffende put. Onze analyse bevestigt de signalen uit de praktijk dat het regelmatig voorkomt dat het onderste deel van het bronfilter maar weinig water levert. Blijkbaar is in het onderste deel van het filtertraject sprake van verstopping. In de betreffende gevallen moet het bovenste deel van het bronfilter de beperkte bijdrage van het onderste deel compenseren. De verhoogde stroomsnelheden in het bovenste deel van de put kunnen leiden tot versnelde verstopping en zodoende nadelig zijn voor de levensduur van de put.

Het feit dat deze verstoppingen ook bij nieuwe putten zijn gevonden, geeft aan dat de oorzaak moet worden gezocht in het proces van aanleg en ontwikkeling van de put. De volgende aspecten zijn hierbij van belang:

Gerelateerd aan het boorproces:

1. De relatief hoge dichtheid van de boorvloeistof leidt tot een niet-homogene filterkoek, die onder in het boorgat lastiger te verwijderen is dan bovenin. Dit effect is sterker in fijnzandige pakketten, omdat fijn zand minder goed bezinkt dan grover zand.
2. Als de circulatie van de boorvloeistof wordt stopgezet, zorgt bezinkend sediment voor extra verstopping in het onderste deel van het boorgat.

Gerelateerd aan het ontwikkelproces:

1. Zodra de verstopping in bepaalde delen van de bron is verwijderd (of verminderd), concentreert de stroming zich in deze delen en wordt het moeilijker om andere delen van het bronfilter te bereiken. Een sectiegewijze aanpak kan dit gedeeltelijk oplossen, maar sectiegewijs afpompen en sectiegewijs rondpompen hebben (blijkbaar) onvoldoende effect in het onderste deel van het filtertraject.
2. Jutten is één van de meest effectieve ontwikkeltechnieken. Door de extreem hoge stroomsnelheden is sprake van grote drukverliezen en zijn de instroomsnelheden in het bovenste deel van het bronfilter veel hoger dan onderin. Jutten heeft hierdoor in het bovenste deel van het bronfilter meer effect dan onderin.

Om de verdeling van het debiet in lange bronfilters te verbeteren zijn er twee mogelijke oplossingen. De eerste is een betere sedimentverwijdering, bijvoorbeeld door de boorvloeistof bovengronds te filteren. De tweede oplossing is het verbeteren van de effectiviteit van het ontwikkelen in het onderste deel van het filtertraject. Sectiegewijs jutten lijkt effectief te zijn, hoewel dat pas bij één project is aangetoond. Verder onderzoek is essentieel om de problematiek stelselmatig aan te kunnen pakken. Daarmee wordt het gebruik van fijnzandige pakketten aantrekkelijker.

Referenties

Breedveld, R., K. van Beek & Doedens, G. (2007). Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal. *H₂O* 2 & 3.

Hemker, C.J. (1999). Transient well flow in layered aquifer systems: the uniform well-face drawdown solution. *Journal of Hydrology* 225 (1999) p. 19-44.

Houben, G.J. (2006). The influence of well hydraulics on the spatial distribution of well incrustations. *Ground Water* 44, no. 5: 668-675.