

Tracers bij oevergrondwaterwinning

Martin de Jonge (Vitens), Gijsbert Cirkel (KWR Watercycle Research Institute)

Hoe kort doet het oppervlaktewater erover om de drinkwaterputten te bereiken? Als de verblijftijden bij een winning van oevergrondwater kort lijken, willen we graag preciezer weten hoe kort. Allereerst om de verwijdering van bacteriën en virussen te kunnen schatten. Maar ook om de doorbraak van organische microverontreinigingen te kunnen voorspellen, bijvoorbeeld bij een verontreinigingspiek in het langsstromende oppervlaktewater. De spreiding in verblijftijden van het oevergrondwater is de basis voor dergelijke schattingen. Bij de winning Eibergen is een proef met uitgevoerd met twee tracers.

Hoe lang grondwater er over doet om van A naar B te stromen is vaak lastig vast te stellen. Grondwater vormt een driedimensionaal 'lichaam', dat op sommige plaatsen gevoed wordt, en waaraan op andere plaatsen onttrokken wordt. Hierdoor gaat het grondwater stromen in de poriën van de bodem. Het stromingspatroon dat ontstaat wordt mede bepaald door de stromingsweerstand van de verschillende bodemlagen. Door veranderingen in bijvoorbeeld onttrekkingen of het neerslagpatroon kan het stromingspatroon ook wijzigen in de tijd.

Met een hydrologisch model kan het stromingspatroon in beeld worden gebracht. In het gemodelleerde stromingsveld kunnen stroombanen van A naar B worden berekend. Het model geeft aan welk pad wordt afgelegd en hoe lang een waterdeeltje daarover doet. Dergelijke modellen leunen zwaar op de bodemgegevens van (vaak slechts enkele) boringen en aannames over peil en drainageweerstand van sloten en rivieren.

Een oevergrondwaterwinning bestaat uit een puttenveld in de buurt van een rivier. Er bestaan ook varianten met wateraanvoer via een slotenstelsel of vijvers. Vanuit deze oppervlaktewateren vindt infiltratie plaats naar het grondwater, dat na enige tijd in het puttenveld wordt opgepompt. Voor de bedrijfsvoering is het van belang te weten hoe lang een waterdruppel onderweg is vanuit het oppervlaktewater naar de winput. Het stromingspatroon rond het puttenveld moet dus nauwkeurig worden gemodelleerd. Zeker voor de schaal van een oeverwinning (meestal enkele honderden meters tot enkele kilometers) zijn de bodemgegevens vaak schaars. IJking van modellen vindt vaak alleen plaats op stijghoogtes, meestal niet op debieten of verblijftijden. Kortom: de berekende verblijftijden kunnen niet meer dan een grove benadering van de werkelijkheid zijn.

Tracers

Met *tracers* is het mogelijk verblijftijden in het grondwater vast te stellen. Tracers zijn makkelijk te volgen stoffen, isotopen of organismen die met het water meestromen en waarmee de stroming van grondwater dus te volgen is. Er kan gebruik worden gemaakt van natuurlijke of kunstmatige tracers. Natuurlijke tracers zijn al in het water aanwezig en hebben een kenmerkend patroon, bijvoorbeeld een seizoensdynamiek of een trendbreuk. Het voordeel is dat dit op veel plaatsen over een reeks van jaren te meten en volgen is. Het nadeel is dat ingangssignalen vaak een onregelmatig patroon kennen en bijvoorbeeld door menging in grondwater al gauw hun signaalwaarde verliezen. Vaak wordt daarom ook gebruik gemaakt van kunstmatig geïntroduceerde tracers. De onderzoeker heeft dan controle over het ingangssignaal, dat qua tijd en plaats precies af te stemmen is op het vraagstuk. Zowel voor

natuurlijke als kunstmatige tracers voor bepaling van verblijftijden geldt dat ze zich conservatief moeten gedragen: er mag geen sprake zijn van binding aan de bodem of omzetting.

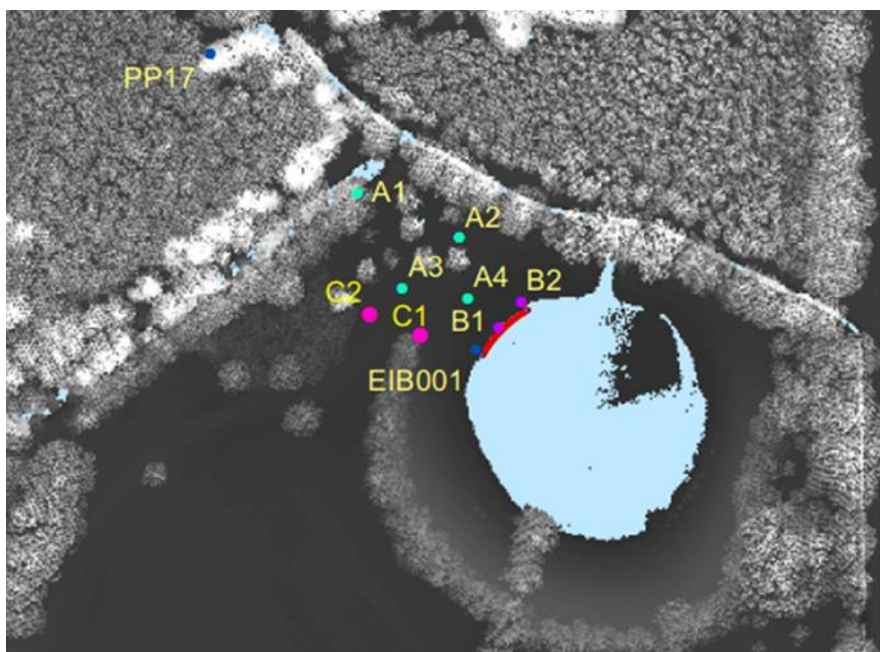
Bij de keuze van de hoeveelheid van een (kunstmatige) tracer speelt verder een rol dat er geen ecologische schade mag ontstaan en in het opgepompte water geen drinkwaternorm mag worden overschreden. Anderzijds moet de tracer ook na flinke verdunning nog detecteerbaar zijn in het grondwater. Verder mag er geen dichtheidsstroming ontstaan (waardoor een deel van de tracer zich vanaf een heel andere plek zou gaan verspreiden). Bovendien moet de dosering in korte tijd kunnen plaatsvinden. In praktijk levert dit nogal wat beperkingen op voor een veldexperiment met tracers.

Proef met tracers bij winning Olden-Eibergen

Drinkwaterbedrijf Vitens wint op een dertigtal locaties grondwater met daarin een aandeel geïnfiltreerd oppervlaktewater. Voor deze winningen is de wens het risico op doorbraak van micro-organismen en organische microverontreinigingen beter te kunnen schatten. Met lokale en regionale hydrologische modellen werden stroombaanberekeningen uitgevoerd om op deze locaties verblijftijden vanaf het oppervlaktewater naar het puttenveld te kunnen schatten. Daaruit volgden verblijftijden van minimaal enkele maanden tot enkele jaren.

Bij de winning Olden-Eibergen is als pilot een tracerproef uitgevoerd. Op deze locatie in Gelderland wordt oppervlaktewater vanuit de rivier de Berkel aangevoerd en geïnfiltreerd in enkele vijvers in de nabijheid van de winputten. De vijvers worden zoveel mogelijk op een constant peil gehouden. Het wateraanvoersysteem is primair aangelegd om negatieve effecten van grondwaterpeilverlaging door de winning op omliggende landbouw en natuur te compenseren. De naam van de zuidelijke vijver, het 'Oog van Zonderwijk' (genoemd naar de Wageningse hoogleraar plantencologie prof. Piet Zonderwijk), verraadt deze doelstelling.

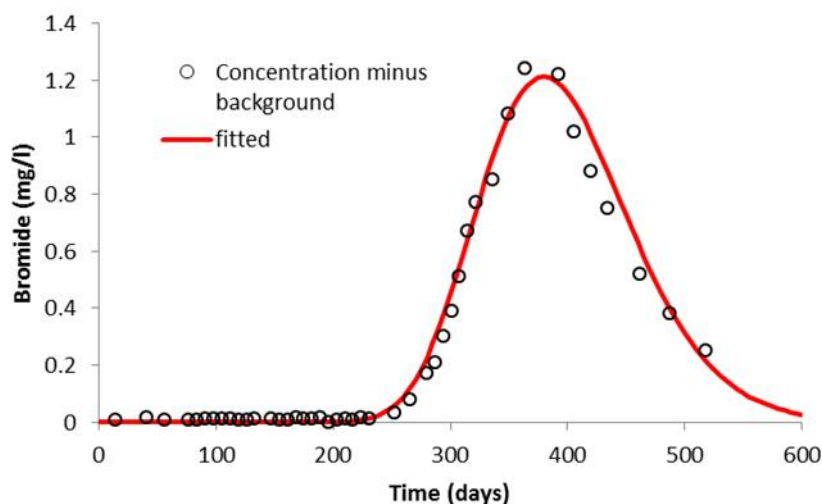
De tracerproef richtte zich op de winput die het (op basis van modelberekeningen en waterkwaliteit verwachte) grootste aandeel infiltratiewater aantrekt: winput 17 (zie afbeelding 1). Vooraf zijn de verblijftijden tussen infiltratievijvers en winputten ingeschat met een hydrologisch model. In het regionale AMIGO-model werden de sloot- en vijverpeilen en de drainageweerstand aangepast aan de lokale gegevens. Toch werd daarmee nog een te geringe bijdrage van oppervlaktewater berekend (vergeleken met de verpompte hoeveelheid) en een lange verblijftijd, tussen 2 en 6 jaar. Met een eenvoudig analytisch model met radiale stroming werd een kortste verblijftijd van 3 maanden bepaald.



Afbeelding 1. Situatiekaart Olden-Eibergen met infiltratievijver, drain voor dosering tracer, winput 17 en tussenliggende monitoringbuizen. De codes van deze buizen staan ook vermeld in afbeelding 3

Na afweging van een groot aantal tracers [1] bleven twee stoffen over voor een tracerproef: bromide en nafhionaat. Beide zijn conservatief, relatief onschadelijk en tot in lage concentraties goed detecteerbaar. Bromide is al veelvuldig toegepast in tracerexperimenten elders, maar voor veel kortere reistijden. Nafhionaat, een fluorescerende stof, is veel minder bekend. Het heeft ten opzichte van bromide als voordeel dat het tot lagere concentraties detecteerbaar is en daarom in een klein volume te doseren. Het bleek echter onmogelijk voor beide stoffen een concentratie te kiezen die bij dosering in de vijver geen ecologische schade zou veroorzaken en toch voldoende detecteerbaar zou zijn in de winput. Daarom is gekozen voor een *second-best* doseermethode: toediening via een drainagebuis direct langs de vijveroever. Er werd 4 m³ van een oplossing van bromide en nafhionaat gedoseerd binnen enkele uren.

Behalve in de winput was het gewenst ook in het tussenliggende gebied de doorbraak van de tracers te volgen, vooral om een betere indruk te krijgen van de heterogeniteit van de doorstroomde bodemlagen. Daartoe werden met een sonische boormethode 8 buizen met monitoringfilters geplaatst. Bij sonisch boren wordt een mantelbuis met hoogfrequente trilling in de grond gebracht. De ongestoorde boorkernen leveren een nauwkeurig beeld van de laagopbouw. Het dwarsprofiel in afbeelding 3 geeft daarvan een indruk. Op basis van verwachte doorbraak is per monitoringfilter een monsterprogramma opgesteld. Ook in de winput en in gemengd ruw is de doorbraak van de tracers gevolgd.



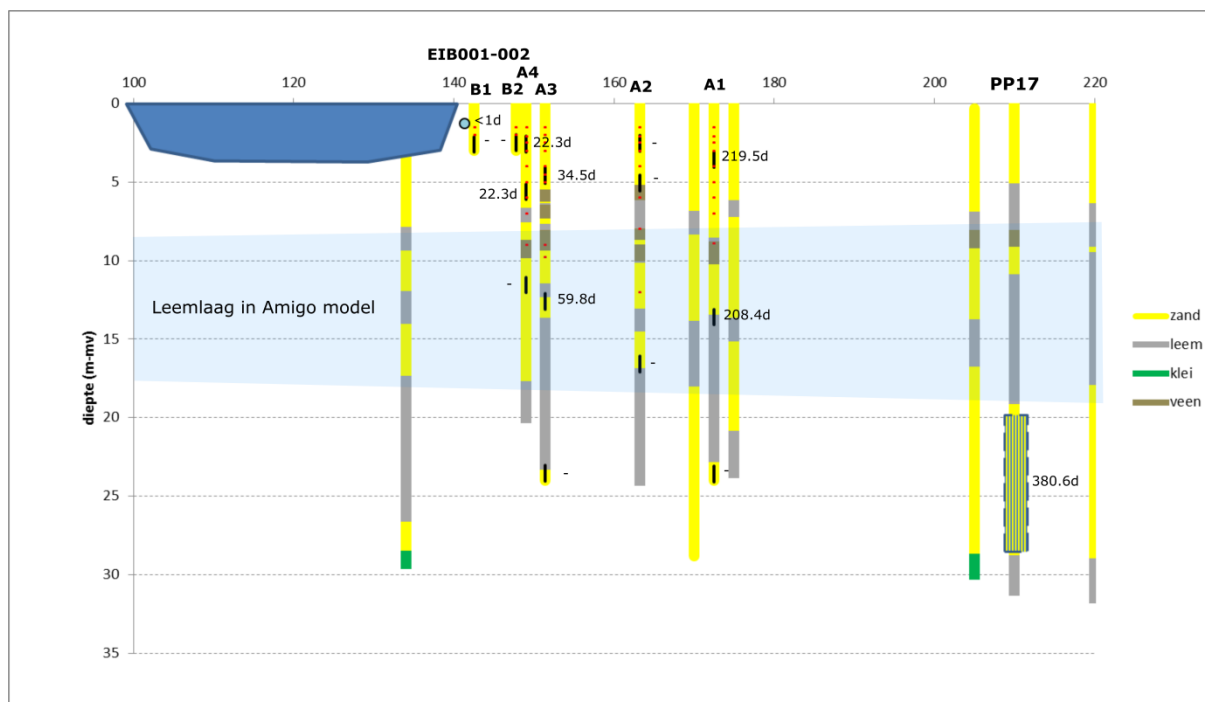
Afbeelding 2. Doorbraakcurve van bromide in winput 17. Fitting met CXTFIT

Resultaten

De analyseresultaten van bromide leverden voor de meeste monitoringfilters duidelijke doorbraakcurves op. Nafhionaat bleek met de fluorescentiemeter echter een vrij hoge analysegrens (ca. 50 µg/l) te hebben, waardoor detectie alleen in enkele monitoringfilters mogelijk was. In de pompput was de concentratie zo laag dat de fluorescentie van allerlei andere organische verbindingen detectie onmogelijk maakte.

Het belangrijkste resultaat van de tracerproef is de doorbraakcurve van bromide in winput 17, met een piek bij 380 dagen (zie afbeelding 2). De doorbraak begon na ongeveer 250 dagen.

Voor de tussenliggende monitoringfilters is ook een doorbraakcurve bepaald. Door fitten met CXTFIT [2] konden het piekmoment, de stroomsnelheid en de dispersiviteit - een maat voor de verspreiding van stoffen vanwege stroming in een bodemlaag - van de tracer per filter worden berekend. In de dwarsdoorsnede zijn de piekmomenten aangegeven. De stroomsnelheid bij de verschillende filters varieerde tussen 17 en 62 cm/dag en de dispersiviteit tussen 15 en 50 cm. Deze getallen gelden dus voor de afgelegde weg van de tracer voordat dit monitoringfilter bereikt werd. De spreiding in de getallen laat zien dat de eigenschappen van de diverse bodemlagen enigszins uiteenlopen, maar geen orde-grootteverschillen laten zien.



Afbeelding 3. Dwarsdoorsnede van infiltratievijver tot pompput 17. De doseerdrain is aangegeven als blauwe stip. Bij de monitoringfilters staat de tijdsduur (in dagen) aangegeven dat de tracer zijn piekmoment bereikte

Uit het gevonden patroon blijkt dat de grondwaterstroming vanuit de vijver naar winput 17 veel trager verloopt dan volgens het analytische model voor radiale stroming werd verwacht, maar wel sneller dan berekend met het numerieke model. Uit de complexere patronen in de doorbraken in de tussenliggende monitoringfilters blijkt dat de tracerwolk zich soms in een grillig patroon heeft verspreid. De invloed van de heterogeen opgebouwde leem- en veenlagen blijkt aanzienlijk. Verder lijkt er een seizoensinvloed te zijn door versterkte opbolling van het grondwater rondom de infiltratievijver, waardoor de stromingsrichtingen variëren in de tijd. Dit bemoeilijkt de interpretatie van de doorbraakcurves. Dit neemt niet weg dat de doorbraak in de winput volgens een keurige curve verloopt. De heterogeniteit van de bodem leidt blijkbaar niet tot een grillige doorbraak. De invloed van 'kortsluitstroming' (snelle stroming door enkele zeer goed doorlatende lagen) is blijkbaar niet relevant voor deze winput.

Conclusies

Een eerste conclusie betreft de bruikbaarheid van de toegepaste tracers. Voor de situatie bij Olden-Eibergen bleek bromide een geschikte tracer te zijn. Vanwege de gekozen analysemethode bleken de resultaten voor nafhionaat helaas niet bruikbaar. Met een andere analysemethode, bijvoorbeeld vloeistofchromatografie met een massaspectrometer (LC-MS), is nafhionaat waarschijnlijk veel nauwkeuriger te bepalen.

Een tweede conclusie betreft de verblijftijden bij de winning Olden-Eibergen. Op basis van de tracerproef met bromide kon worden aangetoond dat het water uit de Berkel na infiltratie vanuit een vijver gemiddeld 380 dagen nodig heeft om de dichtstbijzijnde pompput te bereiken, met een spreiding tussen minimaal 250 en maximaal 600 dagen. Dit is langer dan verwacht en voldoende voor het verwijderen van bacteriën en virussen. Ook konden met doorbraakcurves in monitoringfilters het

stromingspatroon en de dispersie in het complex opgebouwde lagenpakket inzichtelijk worden gemaakt. De invloed van kortsluitstroming blijkt beperkt.

Referenties

1. Cirkel, D.G. & Schans, M. L. van der (2014). *Betrouwbare en betaalbare tracerproeven, Toepasbaarheid van kunstmatige tracers bij hydrologische vraagstukken rond drinkwaterwinningen* Rapport BTO 2014.007, KWR
2. Toride, N., Leij, F. J. & Genuchten, M. Th. van (1995). *The CXTFIT Code for Estimating Transport Parameters from Laboratory or Field Tracer Experiments*, Version 2.0. Research Report No. 137, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.