

Grondverdringend in de bodem brengen van glasvezelkabels voor temperatuurmetingen

Kees-Jan van der Made (Wiertsema & Partners), Ruben Calje (Artesia) Mark Bakker (TU Delft) Frans Schaars (Artesia), Sander de Haas en Ed Rasenberg (PWN)

Temperatuurveranderingen van grondwater zijn geschikt om de stroming van het grondwater te bepalen. Met glasvezelkabels is de temperatuur zeer nauwkeurig te bepalen. Een sondeerwagen kan de glasvezelkabels in direct contact met de ondergrond aanbrengen tot een diepte van tientallen meters. Deze nieuwe methode veroorzaakt slechts een geringe verstoring van de ondergrond en is relatief goedkoop. Experimenten met het actief opwarmen van grondwater met een speciale opwarmkabel laten een duidelijk temperatuursignaal zien in nabijgelegen meetpunten.

De grondwatertemperatuur verschaft informatie over de uitwisseling tussen grondwater en oppervlaktewater [1]. Bij voldoende temperatuurmetingen komen ook de doorlatendheid van de ondergrond en de stroomsnelheid van het grondwater in beeld. Kennis van de variatie van de grondwaterstroomsnelheid in de ondergrond is belangrijk, bijvoorbeeld bij het monitoren van de verspreiding van verontreinigingspluimen, om te checken of er wel voldoende afbraak is tussen bron en winput, of bij de opslag van koude en warmte in de ondergrond bij WKO systemen.

Vroeger bepaalde men de grondwatertemperatuur met een gevoelige thermometer in een peilbuis [2]. Tegenwoordig gebruikt men automatische drukopnemers of soortgelijke sensoren. Een nieuwe methode om de temperatuur nauwkeurig en efficiënt te meten is met glasvezelkabels en een DTS-machine (Distributed Temperature Sensing). De DTS-machine stuurt een laser door de glasvezelkabels en uit de weerkaatsing van de laser wordt de temperatuur langs de kabel bepaald. Een goede DTS-machine bepaalt de temperatuur langs de kabel tot op een honderdste graad nauwkeurig. DTS vindt steeds vaker toepassing in de waterwereld [3,4], temeer daar de glasvezelkabel kilometers lang mag zijn en maar een paar euro per meter kost. Zo zijn glasvezelkabels op de bodem van oppervlaktewater gelegd, in ondiepe sleuven in de ondergrond gegraven, rondom putten gewikkeld en in boorgaten neergelaten [5,6]. Bij meting in een boorgat moet men overigens wel nagaan of de temperatuur in de peilbuis representatief is voor de temperatuur van het grondwater en of er geen significante beweging van water in de peilbuis is.

In dit artikel presenteren we een nieuwe techniek om glasvezelkabels tot op een diepte van tientallen meters in de ondergrond aan te brengen met een sondeerwagen. Dat heeft drie grote voordelen ten opzichte van het aanbrengen in een boorgat.

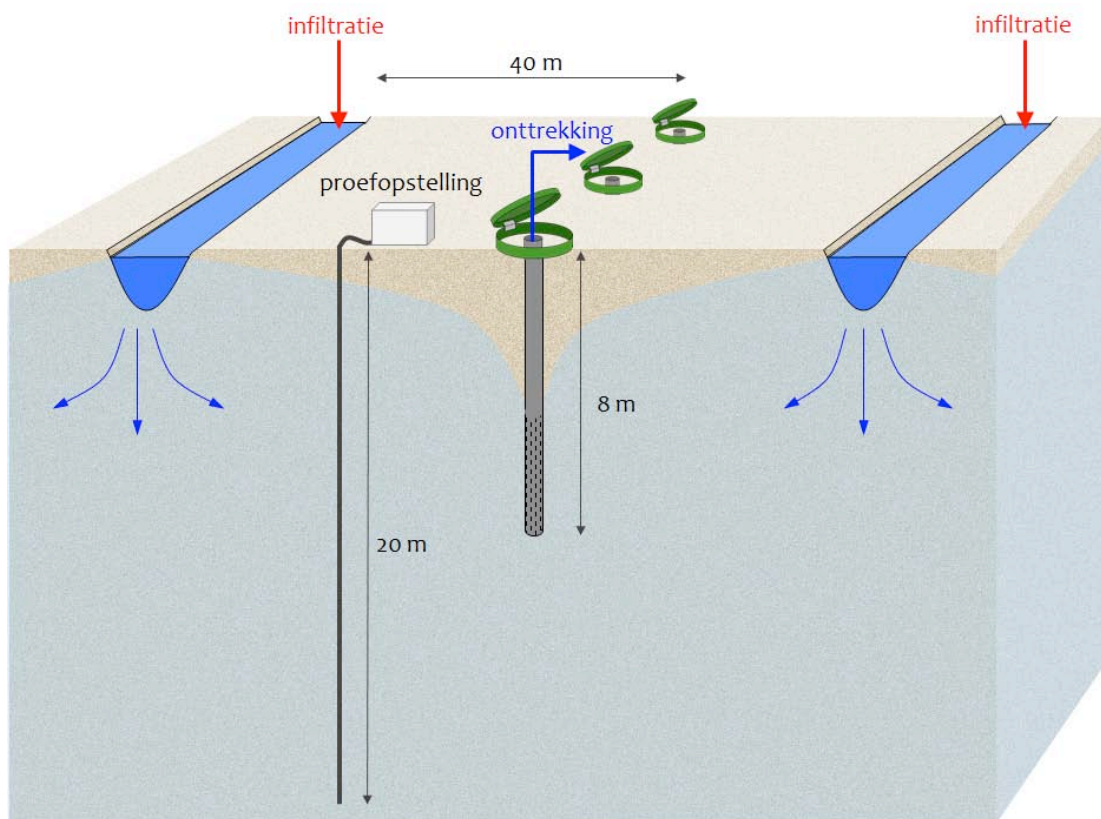
1. De sondering veroorzaakt slechts een geringe verstoring van de ondergrond.
2. De glasvezelkabel komt in direct contact met de ondergrond.
3. Het is vele malen goedkoper dan het boren van een gat.

De techniek is toegepast in het duinwaterwingebied van PWN nabij Castricum, waar glasvezelkabels geïnstalleerd zijn in een raai tussen een infiltratieplas en een rij winputten.

Fluctuaties in de temperatuur van het water in de infiltratieplas zorgen voor een behoorlijke variatie van de temperatuur in de ondergrond. Bij één van de glasvezelkabels is ook een opwarmkabel meegesondeerd. Door het aanzetten van de opwarmkabel stijgt de temperatuur van het grondwater. Metingen van de temperatuur in nabijgelegen glasvezelkabels verschaffen vervolgens informatie over de grondwaterstroomsnelheid op verschillende dieptes.

Proeflocatie

De proeflocatie ligt in het duinwaterwingebied Castricum in het Noordhollands Duinreservaat. In dit gebied past PWN open infiltratie toe: voorgezuiverd water infiltreert via enkele meters diepe kanalen (infiltratiepanden) in de ondergrond. Tussen de kanalen liggen circa 8 m diepe putten die het geïnfiltreerde water weer oppompen (afbeelding 1). De bovenste 10 meter van de ondergrond bestaat uit matig fijne duin- en strandzanden. Lokaal komen veenlaagjes voor. Daaronder bevinden zich fijnzandige en siltige strandvoetafzettingen. De stroming in het bovenste watervoerende pakket is grotendeels horizontaal, van infiltratiekanaal naar onttrekkingsput.



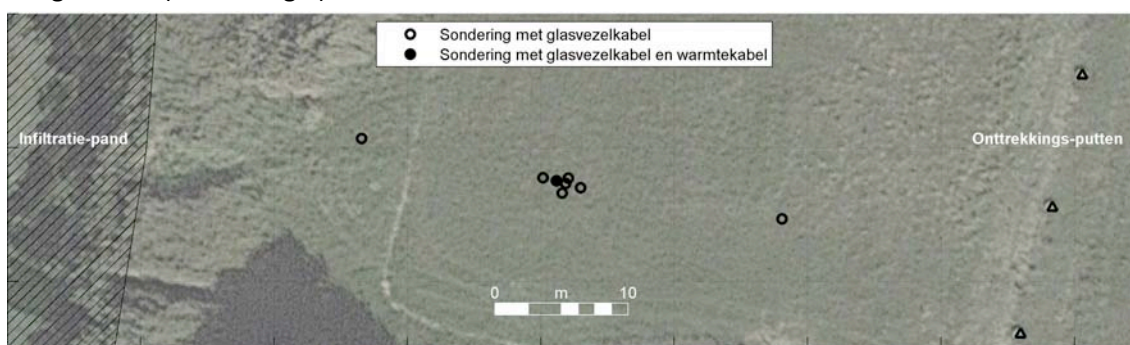
Afbeelding 1. Schematische doorsnede van het infiltratiegebied met meetlocatie

Vóór het aanbrengen van de glasvezelkabels is de lokale bodemopbouw bepaald met een elektrische sondering. Een sondeervoertuig drukt daarvoor een stalen buis met een buitendiameter van 36 mm met een snelheid van 2 centimeter per seconde in de bodem. Dit gebeurt met hydraulische vijzels waarbij het sondeervoertuig het benodigde tegengewicht levert. Aan de onderzijde van de stalen buis bevindt zich het meetlichaam (conus) met een kegelvormige punt. Het meetlichaam bevat verschillende soorten sensoren. Tijdens het

indrukken wordt iedere 2 centimeter de diepte, de helling van het meetlichaam, de weerstand die de conus ondervindt en de plaatselijke wrijving op de mantel van de conus gemeten en digitaal opgeslagen. Voor de sondering op de testlocatie is tevens de waterspanning gemeten om een nauwkeuriger beeld te krijgen van de bodemsamenstelling van de verschillende grondlagen. De operator leest de meetwaarden real time af op een beeldscherm in de sondeerwagen, om in het veld de bodemopbouw te verifiëren en de diepte van de glasvezelkabels eventueel aan te passen. De sondeergegevens op de proeflocatie bevestigen dat de ondergrond met name uit zand bestaat en dat vanaf 8 meter diepte stoorlaagjes voorkomen die de lokale grondwaterstroming beïnvloeden.

Meetopstelling

Langs een raai tussen de infiltratieplas en de putten zijn zeven glasvezelkabels in de grond gesondeerd tot een diepte van circa 16 meter en één glasvezelkabel met opwarmkabel tot 20 meter. De opwarmkabel bevindt zich midden tussen het pand en de put, met een cluster van 5 kabels op 1 á 2 meter afstand er omheen. Ook is bovenstrooms (midden tussen opwarmkabel en pand), en benedenstrooms (midden tussen opwarmkabel en put) een glasvezelkabel aangebracht (afbeelding 2).



Afbeelding 2. Locatie van de meetpunten ten opzichte van het infiltratiepand en de onttrekkingsputten

Met elke sondering is een dubbele streng van glasvezelkabels geïnstalleerd, met een lus aan de onderkant. Dit maakt het mogelijk om de temperatuur te meten door een laser in twee richtingen door de kabel te sturen, wat een nauwkeuriger resultaat oplevert dan in één richting meten. Bovendien zijn alle kabels dan aan elkaar te verbinden, zodat één lange kabel ontstaat en je de temperatuur in één keer op alle locaties kunt meten.

Vanwege de beperkte binnendiameter van de sondeerstangen moet de kabel onder in een meetlus een scherpe bocht maken. Hiervoor is een speciale 'bent-tolerable' kabel ideaal. Laboratoriumtests bevestigden dat deze kabel nagenoeg dubbel gevouwen kon worden zonder significant signaalverlies. De opwarmkabel is een standaard kabel (220V), zoals die gebruikt wordt voor bijvoorbeeld wegdekverwarming of in een hobby-terrarium. De kabel heeft een lengte van 20 meter en een vermogen van 30 Watt per meter.

Voor het aanbrengen van de glasvezelkabels zijn eenvoudige appendages gebruikt zoals een stalen punt (kegel 60 graden, zie afbeelding 3), een pvc-huls met een ronde spie en een holle stalen buis waar de huls in past. De glasvezellussen bevonden zich tijdens het op diepte brengen binnen in de holle stalen sondeerstangen. Na het bereiken van de gewenste diepte zijn de stangen weer getrokken. De punt komt hierbij los uit de stalen buis en blijft op diepte

achter. Omdat de glasvezellus is vastgemaakt aan de stalen punt (afbeelding 3) blijft deze eveneens in de bodem achter.



Afbeelding 3. De glasvezellus, vastgemaakt aan de stalen kegelpunt
De buis wordt weer opgehaald, de kegel met glasvezellus blijft in de bodem achter.

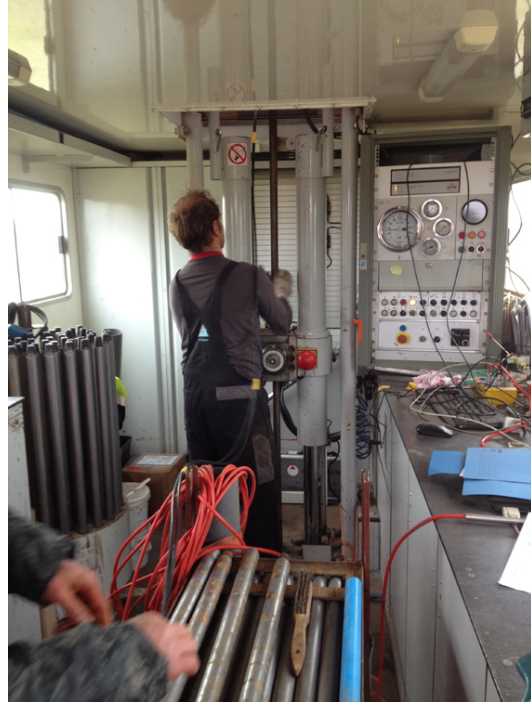
Na het aanbrengen van de glasvezelkabels en opwarmkabel zijn de kabels getest. Vervolgens zijn alle glasvezelkabels onderling verbonden tot één lange meetstreng en zijn de kabels handmatig ondergronds weggewerkt. De twee uiteinden van de glasvezelkabel en de voeding van de warmtekabel komen uit in de nabijgelegen pompkelder van PWN, waar ook de DTS-machine staat. Voor de temperatuur-kalibratie staat aan het begin en einde van de meetstreng een ijsbad (grote koelbox met water en ijs) en een warmwaterbad (doos met verwarmingselement en een aquariumpompje om stratificatie tegen te gaan). Aan maaiveld doet niets vermoeden dat er geavanceerde temperatuurmetingen plaatsvinden (afbeelding 4a, b, c).



Afbeelding 4a. Impressie van de werkzaamheden: de sondeerwagen in de duinen
Eerste resultaten metingen



Afbeelding 4b. De kabels worden ondergronds richting een pompkelder gevoerd

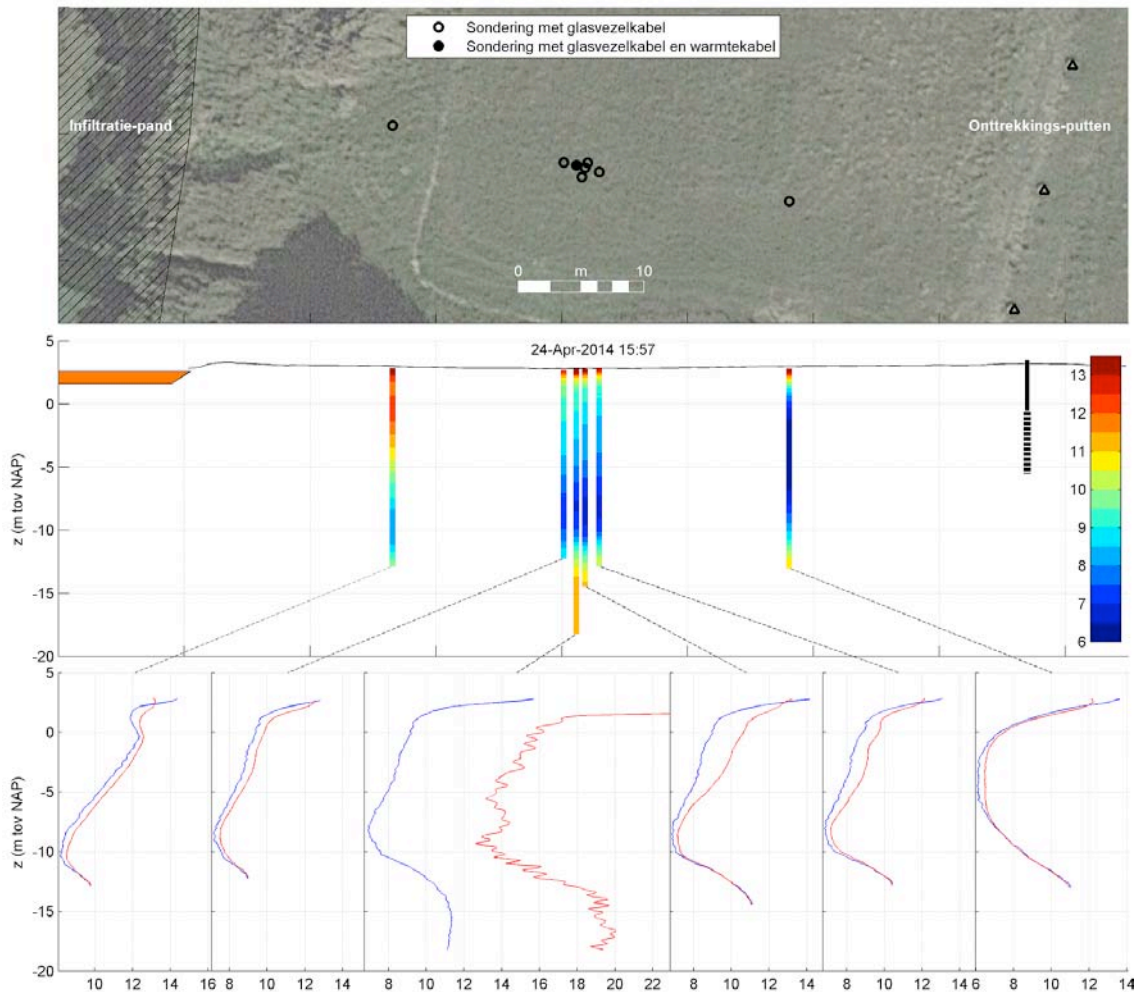


Afbeelding 4c. De operator verlengt de sondeerstang rond de glasvezelkabel

De variatie van de temperatuur met de diepte op 24 april 2014 is getoond in afbeelding 5. Elke 13 centimeter is met een kleur de gemeten temperatuur weergegeven. Ook zonder dat de warmtekabel aan staat, is al een bijzondere verdeling van de temperatuur te zien. Dit heeft alles te maken met de unieke locatie, waar de productie van drinkwater de grondwaterstroming bepaalt. Boven in het profiel, in de onverzadigde zone, is de temperatuur ruim 12 °C. Dit komt door de hoge buitentemperatuur voorafgaand aan de meting. Van het infiltratiepand (links) naar de onttrekkingsputten (rechts) neemt de temperatuur van het ondiepe grondwater af: hoe langer geleden het water geïnfilteerd is, hoe kouder het water is. De metingen later verder zien dat de temperatuur afneemt met de diepte. Het minimum wordt bereikt op -10 m NAP. Deze minimumtemperatuur verschilt tussen de sonderingen (van 6 tot 8 °C). Beneden de -10 m NAP neemt de temperatuur weer toe tot ongeveer 11 °C.

Na het meten van de initiële temperatuurverdeling is de opwarmkabel aangezet. Van elk sondeergat in de raai is in afbeelding 5 de temperatuurverdeling getekend vóór het aanzetten van de opwarmkabel (blauw) en nadat de opwarmkabel vier dagen aan stond (rood). De opwarmkabel warmt de grond en het grondwater direct langs de opwarmkabel op met gemiddeld 8 °C. Op ongeveer 1 meter benedenstrooms van de opwarmkabel is de opwarming goed waarneembaar in de zone tussen +2 en -5 m NAP. In de kabel 2 meter benedenstrooms warmt het grondwater op rond dezelfde diepte, maar begint de opwarming pas anderhalve dag later. Dieper dan -5 m NAP warmt het grondwater veel minder op. Dit is een aanwijzing dat het grondwater hier anders stroomt.

Het proces van infiltratie en onttrekking ging vanzelfsprekend gewoon door in de vier dagen dat de opwarmkabel aan stond. Dit proces veroorzaakt ook een temperatuursverandering van het grondwater. Het effect is het best te zien in het meetpunt halverwege het infiltratie pand en de opwarmkabel (de grafiek helemaal links onder in afbeelding 5). Het blijkt dat in de vier dagen van de meting het grondwater een paar tienden van een graad opwarmt omdat er warmer infiltratiewater langs stroomt. Dit is een belangrijk proces om mee te nemen bij de vertaling van temperatuurmetingen naar grondwaterstroming.



Afbeelding 5. Temperatuurverloop met de diepte

Boven: ligging van de meetpunten. Midden: temperatuurverdeling in de startsituatie (kleurschaal in graden Celcius). Onder: temperatuur in graden Celcius als functie van de diepte in de startsituatie (blauwe lijn) en na 4 dagen verwarmen (rode lijn).

Conclusies

Een nieuwe methode kan glasvezelkabels op een grondverdringende manier aanbrengen in de ondergrond voor het meten van de temperatuur van het grondwater. Een dubbele glasvezelkabel, met een lus aan de onderkant, wordt met een sondeerwagen aangebracht. De glasvezelkabels staan in direct contact met de ondergrond; de ondergrond zelf wordt slechts

minimaal verstoord. Metingen met de glasvezelkabel laten een behoorlijke variatie zien van de temperatuur met de diepte, onder andere veroorzaakt door variaties van de temperatuur van het water in de infiltratieplas. Uit de metingen blijkt dat er een goed direct contact is van de meetkabels met de ondergrond en dat er geen verticale stroming langs de kabels optreedt. Bij één glasvezelkabel is gelijktijdig ook een opwarmkabel aangebracht. Deze kabel warmt het grondwater in vier dagen zo'n 8 graden op. De glasvezelkabels op 1 en 2 meter benedenstrooms meten ook een verhoogde temperatuur, maar de opwarming is hier minder groot en treedt op met een vertraging. De grondwaterstroming varieert heel duidelijk met de diepte, zowel qua richting als qua grootte. Het vervolgonderzoek richt zich op het kwantificeren van de stromingssnelheid en richting, twee bepalende factoren voor de grondwaterkwaliteit.

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt dankzij een subsidie in het kader van het MIT-R&D samenwerkingsproject binnen het cluster Watertechnologie van de Topsector Water. De suggesties en assistentie van Koen Hilgersom en Olivier Hoes bij het project, met name bij het lassen van de glasvezelkabels, worden zeer gewaardeerd.

Literatuur

1. Anderson, M. (2005). Heat as a Groundwater Tracer. *Ground Water* 43(6), 951-968.
2. Peters, J.H., van Dalen, W., Steinmetz, J.J (1984). Temperatuurmetingen bruikbaar bij onderzoek naar verbreiding van infiltratiewater uit persputten. *H2O* 17-4, 68-72.
3. Selker, J. S., L. Thevenaz, H. Huwald, A. Mallet, W. Luxemburg, N. van de Giesen, M. Stejskal, J. Zeman, M. Westhoff, and M. B. Parlange (2006), Distributed fiber-optic temperature sensing for hydrologic systems, *Water Resour. Res.*, 42
4. Doornenbal, P., Sommer, W., Dionisio Pires, M., Mesdag, C., Pothof, I. (2014). Stroomsnelheid bepalen door temperatuurmetingen met opwarmglasvezelkabels. *H2O-online* 1-7.
5. Becker M.W., Bauer, B., Hutchinson, A. (2013). Measuring Artificial Recharge with Fiber Optic Distributed Temperature Sensing. *Groundwater* 51(5), 670-678.
6. Liu, G., Knobbe, S., Butler Jr., J. J. (2013). Resolving centimeter-scale flows in aquifers and their hydrostratigraphic controls. *Geophysical Research Letters* 40, 1098–1103.