

Verlag van de NHV-najaarsbijeekomst 'Zoet en zout grondwater'

VINCENT POST

Op 21 November 2024 vond in het Cultuurhuis Garenspinnerij, Gouda de NHV-najaarsbijeekomst 'Zoet en zout grondwater' plaats. De dag werd bezocht door ruim 60 deelnemers. Zij werden getrakteerd op 15 presentaties door sprekers uit Nederland, België, Duitsland en Italië. De verscheidenheid aan onderwerpen was groot. Zo stond het ochtendprogramma in het teken van veldstudies, terwijl het middagprogramma vooral gevuld was met presentaties over modellen.

Verlag

Anouk Gevaert (Acacia Water) begon de dag met een presentatie over een proeflocatie in Zeeland waar getracht wordt de beschikbaarheid van zoetwater te verhogen door ondergrondse opslag. De verbreiding van het geïnjecteerde zoete water wordt gemeten met behulp van peilbuizen en CVES-metingen (*continuous vertical electrical soundings*). In 2023 en 2024 is 4400 en 4800 m³ van het geïnfilterde water onttrokken. De CVES-metingen laten zien dat, voordat er onttrekking plaatsvond, het zoete water voorkwam tot op een slecht doorlatende laag op 11 m diepte. Tijdens de onttrekkingsfase in 2023 was de elektrische geleidbaarheid (EGV) in de peilbuizen stabiel. Aan het einde van het irrigatieseizoen in 2024 leek het zoutgehalte iets toe te nemen aan de onderkant van de zoetwaterlens. Aan de rand van het perceel nam de EGV toe naar 1,8 mS/cm. De reden hiervoor is niet precies duidelijk.

Teun van Dooren (KWR) gaf in zijn presentatie een update van zijn promotieonderzoek naar de mogelijkheid om drinkwater met brak grondwater te produceren. De proef vindt plaats in het wingebied van Dunea. Waterbalansberekeningen laten zien dat er tijdens het onttrekken van brak grondwater (1000 m³/u) vooral zoet grondwater naar de put stroomt (640 m³/h). De rest is zout grondwater. In de pilot kan brak grondwater van verschillende dieptes worden onttrokken. Na 1,5 jaar is zichtbaar dat het zoete grondwater nabij de onttrekking naar beneden wordt getrokken en dat de overgangszone dunner wordt. Na drie maanden rust werd vier maanden lang zoet grondwater onttrokken, wat leidde tot *upconing* onder de onttrekkingsput. Het zoutgehalte van het onttrokken water steeg uit boven de drinkwaterlimiet. Door tegelijkertijd brak grondwater te onttrekken, kan de stijging van het zoutgehalte van het water in de zoete put verminderd worden.

Ook Simon Kreipl (TU Delft) presenteerde een update van zijn promotieonderzoek. Hij werkt aan de opslag van zoetwater op de proeflocatie in de Eijerlandpolder op Texel. Hier wordt voorgezuiverd water geïnfiltreerd en onttrokken vanuit één horizontale bron. Het oorspronkelijke grondwater heeft een hoog zoutgehalte (tot 100% zeewater). De transmissiviteit van het pakket is aan de lage kant (40 - 60 m²/d) vergeleken met de aanbevolen minimale waarde voor ASR-projecten (93 m²/d). De put ligt op 14 m diepte, parallel daaraan staan meerdere peilbuizen met filters op verschillende dieptes. Het systeem functioneert nu 2 jaar. In de jaren 2022/2023 is 21.500 m³ geïnfiltreerd en in 2023/2024 16.000 m³. Daarvan is 3.200 m³ en 6.900 m³ onttrokken in de groeiseizoenen. Verstopping van de voorbehandeling zorgde voor verstoringen van het experiment. De verzoeting tijdens de injectiefase was zichtbaar in de peilbuizen en geofysische metingen. Tijdens de onttrekkingsfase trad verzilting op, in twee peilbuizen zelfs tot waarden hoger dan het oorspronkelijke zoutgehalte. Desondanks bleef het onttrokken water uit de horizontale bron zoet.

Jeroen November (iFlux) begon zijn presentatie met een uitleg over het meetstelsel van iFlux dat in het veld het specifiek debiet (Darcy snelheid) meet met een *microfluid flow chip*. Deze chip werkt met een warmtepuls en uit het verschil in temperatuur tussen sensoren op de chip kan de grootte en de richting van de grondwaterstroming worden bepaald. Het stelsel is toegepast in het wingebied Solleveld van Dunea waar de waterscheiding verschuift door de aanleg van de Zandmotor. Hierdoor bestaat het risico dat vervuiling uit een stortplaats uit de Tweede Wereldoorlog in de richting van de winning stroomt. Om dit te voorkomen is een drain onderaan de duinvoet geplaatst. Het bestaande monitoringsnetwerk is uitgebreid met iFlux-sensoren. Deze zijn geplaatst langs vier transecten loodrecht op de kust op verschillende dieptes tot 8 m onder maaiveld. Om de gemeten flux te corrigeren voor artefacten die ontstaan door het meten in een boorgat, moet het boorgat een diameter hebben van precies 150 mm. Daarom is gekozen voor *sonic drilling* of handmatig pulsen waar dat niet mogelijk was vanwege Natura 2000 regels. De werking van de sensoren is gecontroleerd door de stromingsrichting te bepalen met een driehoeksmeting van stijghoogtes. Dit leverde een verschil op van minder dan 10 graden in de stromingsrichting. De metingen van de iFlux-sensoren waren ook consistent met andere waarnemingen, zoals het uitvallen van de drain onderaan de duinvoet.

Ronnie Hollebrandse (Provincie Zeeland) bood een inkijkje in de manier waarop in Zeeland het zoutgehalte van het grondwater gemeten wordt. Op provincie-schaal is de zoet-zoutverdeling al goed in beeld gebracht in het FRESHM project. Vanwege de kosten van die metingen is het echter goed om een alternatief te hebben om veranderingen in het zoutgehalte te kunnen monitoren. De ambitie van de provincie is om op 40 locaties te gaan meten. Hiervoor worden klassieke zoutwachterkabels ingezet. Daarom is samen met studenten meer onderzoek gedaan naar de precieze werking hiervan. Dit is onder andere gedaan door een kabel in te graven in een grote tank gevuld met zand. Gelijktijdig zijn op de beoogde monitoringslocaties geleidbaarheidsonderzoeken gedaan. Voor het uitlezen van de zoutwachterkabels is (ook weer met studenten) de multiflexmeter ontwikkeld die in 2017 de Waterinnovatieprijs heeft gewonnen. Deze is doorontwikkeld en wordt

nu in het veld ingezet om ook grondwaterstanden te meten. De metingen worden telemetrisch verzonden middels een LoRa-netwerk dat de provincie zelf heeft aangelegd. De data komen binnen via het opensourcedashboard SensorBucket en worden ook doorgestuurd naar het *formation resistance* dossier van de BRO. Alle software is via GitHub beschikbaar.

Vincent Post (Edinsi Groundwater, tevens auteur van dit verslag) liet in zijn presentatie zien dat er in het Nederlandse kustgebied grondwater voorkomt dat een hoger zoutgehalte heeft dan dat van de Noordzee. Dit wordt hypersalien grondwater genoemd. Ook in Vlaanderen is dit het geval. Over het ontstaan hiervan is relatief weinig bekend. Een studie op het eiland Læsø in Denemarken heeft laten zien dat het zoutgehalte van grondwater onder kwelders kan oplopen tot wel vijf keer dat van lokaal zeewater. Dit komt doordat de kwelder bij hoogwater overstroomt, waardoor er in de zomer plassen met extreem zout water ontstaan die in de bodem zakken. Ook in Nederland en Duitsland wordt hypersalien grondwater regelmatig in kwelders aangetroffen. Omdat kwelders in de recente geologische geschiedenis veelvuldig voorkwamen in ons kustgebied, ligt het voor de hand te veronderstellen dat de hypersaliene grondwatervoorkomens daar zijn ontstaan.

Arjan van Wachtendonk (Waternet) begon zijn presentatie met een overzicht van de geschiedenis van de waterwinning in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Tussen 1854 en 1904 werden hiervoor talrijke kanalen gegraven. De vraag naar drinkwater oversteeg al gauw de capaciteit. Daarom werd onderzocht of het mogelijk was om ook grondwater te winnen uit putten van circa 30 m diep. Ondanks het risico op verzilting werd gestart met het boren van putten langs de bestaande kanalen. Al gauw bleek er, zoals al werd gevreesd, sprake te zijn van *upconing* van zout grondwater. Daarom werd in 1957 gestart met kunstmatige infiltratie met water vanuit de Lek. Ondanks de kunstmatige infiltratie ging het zoutgehalte van de putten niet omlaag. De reden hiervoor was dat het geïnfiltreerde rivierwater vanwege de zoutlozingen bij de kalimijnen ongeveer net zo hoog was als dat van het onttrokken water. De chloridegehalten worden nu elke vijf jaar gemeten om het zoet-zoutgrensvlak in de gaten te houden en bij te houden hoe het geïnfiltreerde zoete water zich in de ondergrond verspreidt. De verzamelde tijdreeksen laten zien dat het zoet-zoutgrensvlak door kunstmatige infiltratie weer werd teruggedrongen. Dit is echter een proces dat decennia duurt.

Na de lunch was het de beurt aan Wouter Deleersnyder (KU Leuven) om het publiek deelgenoot te maken van de uitdagingen bij het inverteren van *airborne EM*-metingen. Hij deed dit aan de hand van een voorbeeld uit het Belgische kustgebied. Volledige 3D-inversies zijn rekenkundig helaas nog steeds veel te zwaar. Tijdens zijn promotie aan de universiteit van Gent heeft Wouter getracht om de inversieproblemen op te lossen door gebruik te maken van verschillende technieken. Dit behelsde kunstmatige intelligentie maar ook *tunable regularization*, waarmee stapsgewijze dan wel vloeiende overgangen (en alles daartussenin) van de elektrische weerstand gemodelleerd kunnen worden. Door het uitvoeren van Monte Carlo simulaties werd duidelijk dat, voor de voorbeelddataset, de diepte van het 1.500 mg/L chloride grensvlak een grote onzekerheid heeft.

Alessandro Signora (University of Milan) nam ons mee naar de *Bookpurnong floodplain* in Zuid-Australië waar in 2015, 2022 en 2024 geofysische metingen zijn gedaan met SkyTEM. Hij liet zien dat je de gegevens van verschillende jaren niet afzonderlijk mag inverteren en vervolgens vergelijken. In plaats daarvan moeten de drie verschillende jaren tegelijkertijd geïnverteerd worden om artefacten te voorkomen. Metingen lieten zien dat de weerstand onder de rivier veranderde in de tijd. Waar op geringere diepte verzoeting optrad, was op grotere diepte sprake van verzilting, en andersom. De waargenomen verzoeting (2022) en verzilting (2024) vielen samen met hogere en lagere waardes van de *standardized stream flow index* (SSFI). Vanwege de duidelijke samenhang tussen de geofysische metingen en de rivierafvoer pleitte Alessandro voor samenwerking tussen geofysici en hydrogeologen bij dit soort studies.

De rest van de middag was ingeruimd voor modellen. Mark Bakker (TU Delft) gaf een update van het *seawater intrusion package* (SWI) voor MODFLOW 6. Het oplossen van interface flow is in MODFLOW 6 eenvoudiger dan in eerdere versies omdat de niet-lineaire vergelijkingen opgelost kunnen worden met de Newton solver. Het SWI-package maakt gebruik van *upstream weighting* van zoet- en zoutwaterdikte en lost de vergelijkingen op met een volledig impliciet eindig differentieschema. Het grote voordeel ten opzichte van modellen waarin stoftransport wordt gesimuleerd is dat het SWI-package veel sneller kan rekenen. Een berekening met een stabiele interface is in enkele seconden voltooid. Als voorbeelden van toepassingen liet Mark de vorming van een zoetwaterlens zien in een synthetisch model met drie lagen, maar ook een model van Terschelling met vijf lagen (drie watervoerende pakketten gescheiden door 2 slecht doorlatende lagen).

Ilja America- van den Heuvel (Deltares) verricht momenteel promotieonderzoek binnen het Delta Wealth-project. Ilja's onderzoek richt zich op regenwaterlenzen in Zeeland. In Zeeuws Vlaanderen, Walcheren, Noord Beveland en Schouwen Duiveland is geen externe aanvoer van zoetwater. De landbouw is daarom grotendeels afhankelijk van regenwaterlenzen. De vraag is hoe duurzaam deze lenzen in de toekomst zullen zijn als bron van water. Dit is onderzocht met behulp van tweedimensionale modellen in SEAWAT. De processen die in het model werden gesimuleerd zijn *runoff* evenals gewasverdamping. Het model is gekalibreerd op meetgegevens uit het verleden en vervolgens gebruikt om klimaatscenario's mee door te rekenen. Uit de modellen volgt dat de diepte van het zoet-zoutgrensvlak gecorreleerd is met de neerslaghoeveelheid in de winter, maar ook met de laagste grondwaterstand in de vorige zomer. Ook bleek dat bij toekomstige scenario's de lengte van de periode waarin zoet grondwater beschikbaar is, afnam bij een afname van de neerslag. Het moment in het jaar waarop de zoetwatervoorraad uitgeput raakt, leek echter nauwelijks te veranderen.

Patrick Haehnel (Oldenburg University) liet in zijn presentatie zien hoe hij PESTPP-IES had ingezet om een groot aantal parameters te kalibreren van een SEAWAT-model van een deel van het Duitse eiland Norderney. De hydraulische doorlatendheden zijn slechts rondom de pompstations bekend. Voor het grootste deel van het model moeten ze daarom worden geschat op basis van de geologische opbouw. De eerste stap bestond uit het modelleren van enkel de zoetwaterlens met een stationair model. Hiermee zijn de schattingen van de doorlatendheden, bergingscoëfficiënten en dispersiviteiten bepaald. Vervolgens is PESTPP-IES ingezet om de onzekerheid van de berekende stijghoogtevariaties in de tijd te reduceren. Het model was daarna in staat om de dynamiek (die veroorzaakt wordt door de watervraag in de zomer, variaties in de grondwateraanvulling, maar ook door maandelijks fluctuaties van het getij) goed te simuleren. Het model onderschatte echter de gemeten stijghoogtes, waardoor het ook de ligging van het grensvlak te ondiep berekende.

Net als Teun van Dooren ging Gu Oude Essink (Deltares) in op de mogelijkheden om brak grondwater te onttrekken en na ontzilting te gebruiken als drinkwater. De vraag die hij daarbij stelde was hoe goed een model de zoutgehalten van het onttrokken grondwater kan simuleren. Hiervoor liet hij de resultaten zien van een SEAWAT-model met een put in het centrum. Rond de put was het model sterk verfijnd. Het model was gekalibreerd met behulp van de gegevens die verzameld waren tijdens de pilotfase van de brakwaterwinning van Dunea. Vervolgens werd het model ingezet om 30 jaar vooruit te kijken. Ook is de gevoeligheid bepaald van een aantal modelparameters (doorlatendheden en de anisotropie daarvan) en is het effect van verschillende combinaties van zoet- en brakwateronttrekking onderzocht.

Stephan Seibert (Oldenburg University) toonde de modelresultaten van een reactief transportmodel van een *subterranean estuary* (grofweg gezien het grondwatersysteem onder het strand) waarin de stroming en het stoftransport sterk worden beïnvloed door de dynamische condities aan het oppervlak. Deze omvatten veranderingen in de grondwateraanvulling maar ook overstroming van het strand door stormvloeden en de verandering van de strandmorfologie door erosie en sedimentatie. Het doel van het model was om te bepalen welke chemische processen een dominante rol spelen en hoe de continue verandering van de grondwaterstroming daarop ingrijpt. Hierbij is vooral gekeken naar het verbruik van O_2 en NO_3 door de afbraak van organisch materiaal, maar ook naar secundaire processen zoals mineraalevenwichten. De modellering van de geochemische reacties is gedaan met PHT3D met SEAWAT als onderliggende simulator voor het stoftransport. De resultaten laten zien dat het voor O_2 en NO_3 weinig uitmaakt of de complete set van alle mogelijke chemische reacties worden meegenomen in het model. Voor stoffen als Fe en PO_4 maakt het juist een groot verschil. In de dynamische modellen veranderden de concentraties van O_2 en NO_3 direct onder het strandoppervlak sterk in de tijd. Variaties van ijzer- en sulfideconcentraties vonden vooral plaats in de diepere gedeeltes.

De laatste presentatie van de dag werd gegeven door Ignacio Farias Gutierrez (Utrecht University). Het doel van zijn promotieonderzoek is om grondwater- en oppervlaktewatermodellen te integreren op zowel lokale als regionale schaal. De eerste stap in zijn onderzoek was om de zoet-zoutversie van het landelijke hydrologische model (LHM) te verfijnen. Zoals verwacht mag worden, leidt het verfijnen van het grid tot een meer gedetailleerde berekende zoet-zoutverdeling. In een tweede stap heeft hij de tijdstap gevarieerd waarmee de grondwateraanvulling wordt berekend. In totaal zijn acht verschillende scenario's beschouwd. De variabiliteit van de berekende fluxen wordt groter naarmate de tijdsresolutie fijner wordt. Zo wordt de snelheid waarmee water via drains wordt afgevoerd bepaald door de tijdstap. Hierdoor verandert ook de hoogte van de grondwaterspiegel en zo wordt ook het volume zoet grondwater en de dikte van de overgangszone tussen zoet en zout grondwater beïnvloed.

Het NHV-najaarssymposium was de tweede editie van de zoet-zoutbijeenkomst die in 2023 voor het eerst georganiseerd werd. De aanleiding was toen het uitvallen van de Salt Water Intrusion Meeting (SWIM) vanwege de gebeurtenissen in Israël. In juni van dit jaar vindt voor het eerst sinds 2018 weer een SWIM plaats, dit keer in Barcelona. Veel Nederlanders zullen die bezoeken. Toch lijkt er veel animo te zijn om ook in 2025 weer een zoet-zoutbijeenkomst in Nederland te organiseren. In Nederland zullen we wel nooit uitgepraat raken over dit onderwerp.

De presentaties die door de sprekers zijn vrijgegeven, kunt u downloaden via <https://www.nhv.nu/activiteit/nhv-najaarsbijeenkomst-zoet-en-zout-grondwater/>

Auteurs

VINCENT POST
Edinsi Groundwater
vincent@edinsi.nl