

Verslag van de bijeenkomst zoet en zout grondwater op 1 december 2023 bij PWN in Velsersbroek

VINCENT POST

De Salt Water Intrusion Meeting (SWIM) is een conferentie die al sinds 1968 wordt georganiseerd, in de regel eens in de twee jaar. Corona gooide in 2020 echter roet in het eten en ook de bijeenkomst die voor oktober 2023 gepland stond in Israël, moest op het laatste moment afgeblazen worden vanwege de aanval van Hamas. Gelukkig gloort er nog steeds hoop voor de SWIM, want collega's in Barcelona hebben aangeboden om de conferentie in 2025 te organiseren. Om niet zo lang te hoeven wachten, besloten Bas des Tombe (PWN), David Brakenhoff, Frans Schaars (beiden van Artesia) en ondergetekende een bijeenkomst in Nederland te organiseren. Deze vond plaats op 1 december in het hoofdkantoor van PWN in Velsersbroek en werd naast Nederlandse deelnemers bezocht door collega's uit Duitsland, België, Vietnam en Italië. Op het programma stonden een twaalfstal presentaties, ingedeeld in de klassieke SWIM-thema's: (i) Solutions to prevent salinization, (ii) Geophysics, (iii) Modelling en (iv) Fieldwork.

Verslag

De eerste presentatie werd verzorgd door promovendus Simon Kreipl (TU Delft) die, samen met Acacia Water, de ondergrondse opslag van drainagewater ten behoeve van landbouw op Texel onderzoekt. Vanwege de relatief geringe dikte en doorlatendheid van het watervoerende pakket en het hoge zoutgehalte van het grondwater, is er voor gekozen om het systeem van een horizontale injectieput te voorzien. Tijdens zijn presentatie toonde Simon de resultaten van analytische en numerieke (SEAWAT) modellen waarmee hij de stroming van en naar de horizontale put heeft gemodelleerd. Deze resultaten heeft hij vergeleken met een model met een serie verticale putten, waarbij het infiltratiedebiet per eenheid van putlengte hetzelfde was als in het model met de horizontale bron. Uit deze vergelijking bleek dat de *recovery efficiency* van de horizontale put beter was dan die van de verticale putten. Daarnaast bleken bij de verticale putten dichtheidseffecten een grotere rol te spelen dan bij de horizontale put.

De presentatie van David Brakenhoff (Artesia) ging over een puttenveld in een brak watervoerend pakket op de grens van de Veluwe en de IJsselvallei waar de drinkwateronttrekking eind jaren 1980 verminderd moest worden omdat de chlorideconcentraties begonnen te stijgen. Door de afname van de onttrekking stabiliseerden de concentraties zich, maar het puttenveld draait sindsdien op slechts ongeveer de helft van de vergunde capaciteit. Om te onderzoeken of het mogelijk is om meer water te onttrekken, is een modelstudie met MODFLOW

6 uitgevoerd. Het model is eerst geijkt op de gemeten zoutconcentraties. In een van de putten was in de metingen een plotselinge toename van de chlorideconcentratie te zien, opmerkelijk genoeg terwijl de put uit stond. Uit de modelresultaten bleek dat dit het gevolg was van verticale kortsluitstroming van zout grondwater door het putfilter. Na de kalibratie is het model gebruikt om verschillende mogelijkheden tot uitbreiding te vergelijken. Het verkorten van de bronfilters vertraagt het moment waarop de drinkwaterlimiet voor chloride wordt overschreden met slechts twee jaar. Het verder uit elkaar plaatsen van bronnen lijkt een effectievere manier om de onttrekking in de toekomst uit te breiden.

Teun van Dooren (KWR & TU Delft) doet promotieonderzoek in het kader van het FRESHMAN-project. Hierin wordt onderzocht of het mogelijk is om brak grondwater dat zich onder de zoetwaterlens in de duinen bevindt, te onttrekken voor drinkwaterbereiding. Tijdens zijn presentatie ging Teun in op een SEAWAT-model van een zoetwaterlens waaruit grondwater wordt onttrokken. De resultaten lieten zien dat een continue onttrekking ter grootte van acht procent van de grondwateraanvulling leidt tot een overschrijding van de drinkwaterlimiet voor chloride. Wanneer de onttrekking niet continu was, in het model gesimuleerd door zes maanden onttrekking gevolgd door zes maanden zonder onttrekking, trad verzilting sneller op. In modellen met een tweede onttrekkingsfilter, direct onder de productieput zelf, in de overgangszone tussen zoet en zout grondwater, bleek de breedte van deze overgangszone toe te nemen naarmate het filter op grotere diepte werd geplaatst. Daarnaast liet het model zien dat hoe dichter de brakwateronttrekking zich bij de productieput bevindt, hoe beter hij de productieput beschermt tegen verzilting. De brakwaterput onttrekt dan wel meer zoetwater. Als de onttrekking van de productieput in het model werd verdubbeld, dan moest de onttrekking van de brakwaterput meer dan twee keer zo hoog worden om verzilting van de productieput te voorkomen.

Na de eerste koffiepauze, waarin uitgebreid werd gediscussieerd over de voorgaande presentaties, begon Theo Olsthoorn (Waternet & TU Delft) zijn presentatie over de laboratoriumproeven die voormalig directeur van de Amsterdamse Waterleidingduinen Pennink aan het begin van de twintigste eeuw uitvoerde. Hiermee toonde hij onder andere aan dat grondwater onder de drainagekanalen verticaal omhoog kan stromen, iets wat in die tijd nog ter discussie stond. Verder was hij (terecht) bang voor 'opkegeling' van zout grondwater onder de onttrekkingsputten en waarschuwde dat de watervoorziening voor Amsterdam hierdoor in gevaar zou kunnen komen. Met laboratoriumexperimenten (waarin hij in plaats van zeewater melk gebruikte) liet Pennink zien dat als er laterale grondwaterstroming is, het zoute grondwater een putfilter niet onderin bereikt maar via de zijkant. Uit verticale profielen van de elektrische geleidbaarheid in putfilters, gemeten door Van Haren in de jaren 1950, bleek ook in het veld dat in een aantal putten de hoogste zoutgehaltes niet onderin maar juist hoger in het filter voorkomen. Theo kon zowel de experimenten van Pennink als de veldwaarnemingen met SEAWAT reproduceren. De simulaties met SEAWAT lieten ook duidelijk zien dat het stopzetten van een verzilte onttrekking kan leiden tot

verziltzing van stroomafwaarts gelegen putten, omdat het opgekegelde zoute grondwater met de stroming wordt meegevoerd.

Cong-Thi Diep (Universiteit Gent) doet promotieonderzoek in het stroomgebied van de rivier de Luy in Vietnam. Haar presentatie ging over het gebruik van geofysische methoden om het kleigehalte van watervoerende pakketten te schatten waarin zich zout grondwater bevindt. In het veld is langs zeven raaien de elektrische geleidbaarheid (met behulp van ERT, *electrical resistivity tomography*) en *normalized chargeability* (met behulp van IP, *induced potential*) gemeten. De ERT-metingen kwamen goed overeen met metingen met een EM-39 sonde in boorgaten. Daarnaast heeft ze met behulp van sedimentmonsters uit boringen verbanden vastgesteld tussen de geleidbaarheid van water en sediment voor verschillende typen zand en mengsels van klei en zand. Hiermee kon de gemeten geleidbaarheid langs de raaien worden omgerekend naar watergeleidbaarheid. Met behulp van *kriging* zijn de resultaten omgezet naar kaarten van zowel watergeleidbaarheid als kleigehalte.

In een gezamenlijke presentatie bespraken Alessandro Signora en Stefano Galli (Universiteit van Milaan) de mogelijkheden van het verzamelen van geofysische gegevens vanuit een boot. Dit is een elektromagnetische methode in het tijd domein (TEM), genaamd FloaTEM. Grote voordeel van deze methode, naast het feit dat je de ondergrond onder waterlichamen in kaart kunt brengen, is de grote snelheid waarmee gegevens kunnen worden verzameld. Per dag kan meer dan 30 km worden gevaren. Een tweetal praktijkvoorbeelden werd getoond. Het eerste betrof de metingen op de rivier de Po in Italië. De FloaTEM is daar vergeleken met andere TEM-metingen (langs de oevers), SkyTEM en ERT+IP. Eén van de onderzoeksvragen was of je met het FloaTEM-systeem zoutwaterintrusie onder de rivier kunt vaststellen. Dat bleek inderdaad het geval: waar zout grondwater werd gevonden, bestond een goede overeenkomst met de SkyTEM-metingen. De FloaTEM-data hebben een hogere resolutie in het ondiepe deel. Het tweede praktijkvoorbeeld dat werd getoond, betrof de recent verzamelde metingen bij Andijk, waar getracht is om met FloaTEM de locatie van kleilagen onder het IJsselmeer vast te stellen. In twee dagen is in totaal 65 km lijnlengte in kaart gebracht. De resultaten lieten zien dat waar de kleilaag ontbreekt, zoetwater vanuit het IJsselmeer in de ondergrond infiltreert. Door de FloaTEM-metingen te combineren met (meer tijdrovende) geo-elektrische (ERT) metingen en de metingen gelijktijdig te interpreteren (*joint inversion*) kan plaatselijk meer detail worden verkregen.

Mark Bakker (TU Delft) bracht de aanwezigen na de lunch op de hoogte van de laatste ontwikkelingen op het gebied van het SWI (*seawater intrusion*) package voor MODFLOW 6. Aan de hand van voorbeelden liet hij een aantal mogelijkheden zien. Voor een langgerekt eiland met een breedte van 2 km vergeleek hij de MODFLOW 6-oplossing met de exacte oplossing. De numerieke oplossing onderschat de diepte van het grensvlak enigszins, vanwege de manier waarop de dikte van de zoetwaterlens wordt meegenomen (door hiervoor de dikte van de stroomopwaarts gelegen cel te nemen). Naast stationaire situaties kan het SWI package ook niet-stationaire berekeningen uitvoeren. Hiervoor wordt een vol-

ledig impliciet rekenschema gebruikt, wat altijd stabiel is maar de grootte van de tijdstappen beïnvloedt wel de nauwkeurigheid. De stroming van het zoute grondwater wordt ook berekend. Mark liet zien dat bij verzoeting de stijghoogte van het zoute water eerst omhooggaat, en daarna weer terugzakt richting zeeniveau. Ook kan met het model het effect van variaties in grondwateraanvulling worden berekend. Deze effecten resulteren in beweging van de interface, maar beweging wordt gedempt naarmate de breedte van het eiland toeneemt.

Gu Oude-Essink (Deltares en Universiteit Utrecht) gaf in zijn bijdrage zijn visie over het nut van het gebruik van grootschalige numerieke modellen in kustgebieden. Met als voorbeeld de Mekongdelta in Vietnam betoogde hij niet te wachten met het in beeld brengen van de effecten van overexploitatie totdat er een geïjkt model beschikbaar is. Ook op basis van modellen die nog in ontwikkeling zijn, kunnen al toekomstscenario's worden geschetst waarmee het beleid kan worden aangescherpt. Door een aantal ontwikkelingen is het mogelijk om steeds grotere modellen te maken: *parallele codes*, *airborne EM mapping*, beter begrip van paleohydrologie, meer open data beschikbaar (ook via *text mining* in combinatie met kunstmatige intelligentie), geavanceerdere 3D-interpolatiemethodes, zoals *indicator kriging* en *scripted modelling* in Python.

Marieke Paepen (Universiteit Gent) begon haar presentatie met een korte introductie van haar studiegebied: het strand bij De Panne in België. Hier treedt op verschillende plekken grondwater uit en de vraag is welke factoren bepalen waar dit gebeurt. Heterogeniteit speelt een rol maar de locatie van winningen mogelijk ook. Met modellen tracht Marieke hier inzicht in te krijgen. Om te beginnen heeft ze de grondwaterstroming gemodelleerd langs dwarsdoorsneden loodrecht op de kust. Het effect van het getij is daarbij meegenomen door de gemiddelde grondwaterstand langs de bovenrand van het model op te geven. Het effect van verschillende modelparameters, zoals de horizontale en verticale doorlatendheid evenals de ligging van kleilagen, op de diepte van zoutindringing op het strand en de positie van de kwelzone bij de laagwaterlijn. Verrassend genoeg zorgde een lagere grondwateraanvulling in de duinen voor het verschuiven van de kwelzone in zeewaartse richting, maar dit kon verklaard worden doordat in deze situatie meer zeewater infiltreert onder het strand. Na afloop werd nog druk nagepraat over de manier waarop de vaste stijghoogte op de bovenste modelrand precies geïmplementeerd moet worden in SEAWAT.

Gudrun Massmann van de Universiteit van Oldenburg gaf een overzicht van het DynaDeep-onderzoeksproject dat momenteel in uitvoering is op het Duitse Waddeneiland Spiekeroog. In tegenstelling tot veel andere plaatsen waar grondwaterstroming op de grens van land en zee wordt bestudeerd, is dit een locatie met zeer dynamische condities. Dat wil zeggen dat golf- en windwerking voor een verandering van de morfologie zorgen, wat een sterke uitwerking heeft op de grondwaterstroming die wordt gedreven door het overstromen en droogvallen van het strand tijdens getijdencycli en stormvloed. Het project heeft tot doel om de invloed van deze dynamiek op de biogeochemische processen onder het strand beter te begrijpen. De onderzoekslocatie is uitgerust met een grote verscheidenheid aan instrumenten, zoals peilbuizen, een SAMOS-sys-

teem (een soort van zoutwachterkabel) en een meetplatform in zee waarop ook drie camera's zijn geïnstalleerd om de verandering van de morfologie van het strand te kunnen bepalen. Verder worden met drones elke zes weken luchtopnames gemaakt en wordt met behulp van ERT-metingen en -sonderingen de geleidbaarheid van de ondergrond gemeten. Geochemici en microbiologen bestuderen de snelheid van biochemische omzettingsprocessen en de rol van micro-organismen daarin. Integratie van de kennis van de verschillende disciplines komt tot stand door de processen te simuleren met transportmodellen waarin ook de biogeochemische reacties worden gesimuleerd.

Voorafgaand aan de presentatie van Pieter Stuyfzand over het dateren van zout grondwater onder de Amsterdamse Waterleidingduinen, gaf Philip Nienhuis (Waternet) een toelichting op de motivatie voor dit onderzoek. Waternet wil klaar zijn om antwoorden te kunnen geven op vragen die worden gesteld over het toevoegen van kunstmatige infiltratie aan het huidige duininfiltratiesysteem. Hiervoor wordt een grondwatermodel gebruikt, maar het model heeft problemen om de zoet-zoutverdeling in de diepe lagen langs de kust goed te simuleren. Het zoute grondwater onder de zoetwaterlens heeft in het verleden minder aandacht gekregen dan het zoete grondwater in de lens. Pieter benadrukte dat de interesse in het gebruik van zout grondwater als bron voor drinkwater op verschillende plaatsen in Nederland een andere reden is om er meer onderzoek naar te doen. Voor het dateren van het zoute grondwater onder de Amsterdamse Waterleidingduinen zijn monsters genomen vanuit diepe peilbuizen, zo diep mogelijk onder de overgangszone met zoet grondwater, zodat er zo min mogelijk sprake is van menging. Er zijn twee transecten bestudeerd van de Noordzee tot aan de Haarlemmermeer, waarlangs de ouderdom is bepaald met de Koolstof-14 (^{14}C) methode. De gevonden leeftijden varieerden tussen 1000 en 6000 jaar langs beide transecten. Het zuidelijke transect is sterker beïnvloed door terugschrijdende erosie van de kustlijn, wat de verschillen in gevonden leeftijden tussen beide transecten zou kunnen verklaren. Maar gelaagdheid, grondwateronttrekking en menging en diffusie spelen ook een rol. Hoewel de geochemische reacties die de ^{14}C concentratie beïnvloeden goed bekend en relatief eenvoudig zijn, vormt het feit dat de Holocene afzettingen nog steeds een significante ^{14}C concentratie bezitten, een moeilijkheid bij het afleiden van de leeftijden. Desondanks lijken de gevonden patronen in grote lijnen overeen te stemmen met de reistijden die zijn bepaald met stroombaanberekeningen langs dwarsdoorsnedes van het bestaande grondwatermodel.

Linh Pham Dieu van de Universiteit Gent doet, net als de eerdere spreekster Cong-Thi Diep, onderzoek naar het zoute grondwater in de vallei van de rivier de Luy in Vietnam. Droogte is hier een probleem: in de droge tijd valt er vrijwel geen regen waardoor de bodem sterk uitdroogt. Haar studie bestond uit het verzamelen van veldgegevens en doen van modelberekeningen om het grondwatersysteem beter te begrijpen. Met behulp van geofysische metingen is getracht de zoet-zoutverdeling in de ondergrond vast te stellen, en de chemische samenstelling van het grondwater is geanalyseerd om patronen van kationuitwisseling te ontdekken. Hieruit is geconcludeerd dat het zoute grondwater afkomstig is van transgressies uit het verleden.

De laatste presentatie van de dag kwam voor rekening van Frans Schaars (Artesia) die het probleem van het meten van stijghoogtes in een gebied waar zowel zoet- als zout grondwater voorkomt aan de kaak stelde. De afgelopen jaren is de ontwikkeling van de zoetwaterlens onder de nieuw aangelegde Hondsbosche Duinen (bij Petten) gevolgd door een of twee keer per jaar een boorgatmeting te verrichten. Dit wordt gedaan met een elektromagnetische inductietool die in verschillende peilbuizen naar beneden wordt gelaten. De toename van de gemeten formatieweerstand toont de verzoeting aan. De metingen laten zien dat het waterpeil in peilbuizen met filters in het zoute grondwater in de tijd toeneemt. Dit zou kunnen komen doordat zoetwater door lekkage in de peilbuis stroomt, waardoor de dichtheid afneemt en een hogere waterkolom nodig is om dezelfde tegendruk te geven. Door de druk op twee dieptes in de peilbuis te meten, kon de gemiddelde dichtheid van het water in de peilbuis tussen de twee loggers worden bepaald. Met deze dichtheid kan de zoetwaterstijghoogte berekend worden. Het gebruik van de gemiddelde dichtheid resulteert in een hogere zoetwaterstijghoogte dan het gebruik van de dichtheid ter plaatse van het filter. Dit probleem speelt naar verwachting op veel plaatsen, dus het is belangrijk iets te weten over de dichtheidsverdeling van het water in de peilbuis.

Tijdens de gesprekken in de pauzes en de afsluitende borrel werd het duidelijk dat alle aanwezigen het wegvallen van de SWIM als een groot gemis ervaren. In Duitsland organiseert de geologische dienst van Bremen jaarlijks een bijeenkomst die ook wel de "mini-SWIM" wordt genoemd. Het voorstel om dat ook in Nederland te gaan doen, werd met een overgrote meerderheid van stemmen aangenomen. Daarom is alvast besloten om in het najaar van 2024 opnieuw een bijeenkomst te organiseren.

Auteur

VINCENT POST
Edinsi Groundwater
vincent@edinsi.nl