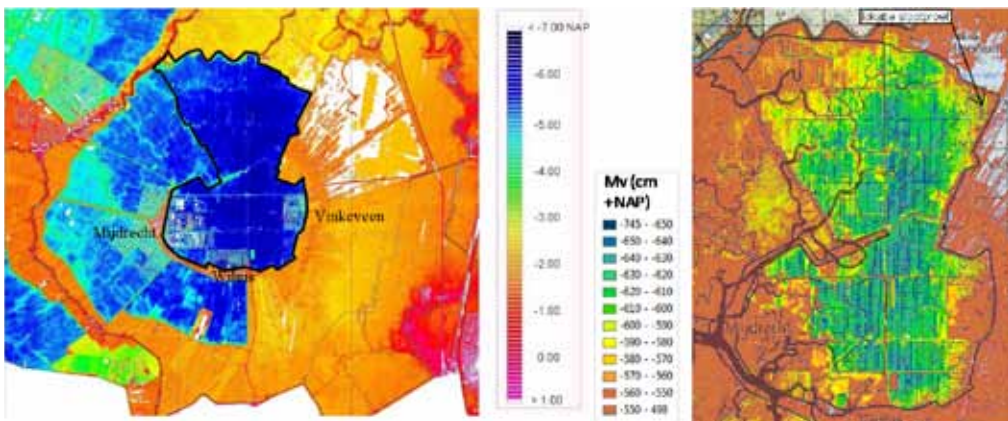

Groot Mijdrecht: inzicht in functioneren wellen

W.J. Zaadnoordijk¹, J. Velstra², A.J.J. Vergroesen³, J. Mankor⁴

Inleiding

Polder Groot Mijdrecht is een droogmakerij in het uiterste noordwesten van de provincie Utrecht. Het is een van de diepste droogmakerijen van Nederland met een diepteligging van ruim zes meter beneden NAP. De polder ligt zo'n 4,5 meter lager dan de oostelijker en noordelijker gelegen veenpolders (zie figuur 1, links). Ten zuiden en westen liggen minder diep gelegen droogmakerijen en ook wat onverveende 'bovenlanden'.



Figuur 1: Hoogteligging van Polder Groot Mijdrecht en omgeving met getijdereken (naar Mankor en Hartog, 2008 en Bennema, 1953) en de locatie van de slootproef.

Door de diepe ligging ten opzichte van de omgeving én door een deklaag met lage weerstand, stroomt zeer veel grondwater naar Groot Mijdrecht. Gemiddeld bedraagt de kwel ongeveer 5,75 mm/d over de hele polder. Dit komt neer op circa 42 miljoen m³ per jaar (plus 4,6 miljoen m³ per jaar neerslagoverschot). Verreweg de meeste kwel komt binnen via wellen in de sloten (meer dan 80%). Praktisch alle wellen treden op in de sloten omdat daar de deklaag het dunst is. Langs de oost- en zuidrand kwelt zoet water op. Dat is infiltratiewater uit de omliggende veenpolders. In het midden komt brak water boven (ruim 5000 mg Cl/l). Het uitslagwater van Groot Mijdrecht heeft een gemiddelde chlooridegehalte van circa 1100 mg/l. Het brakke water is 'fossiel' zeewater dat ongeveer 6000

1 Royal Haskoning, Rotterdam

2 Acacia Water, Gouda

3 Deltares, Delft

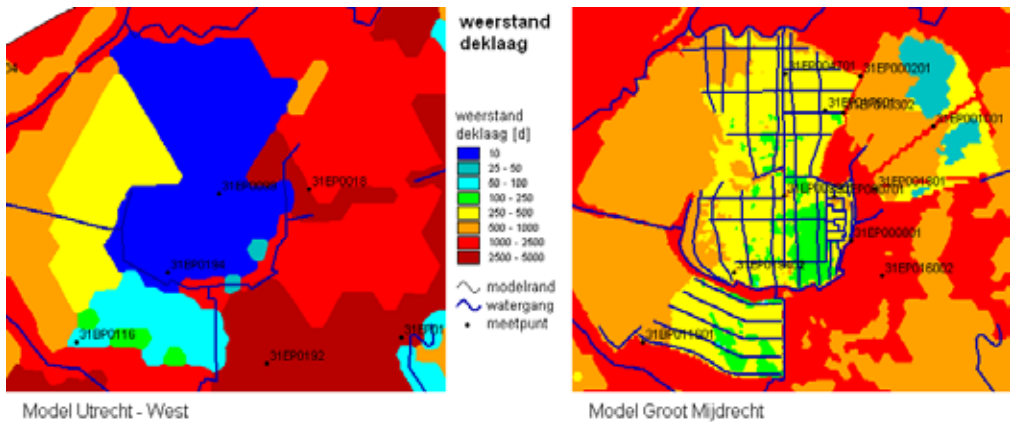
4 Provincie Utrecht, Utrecht

jaar geleden aan de rand van de toenmalige ‘Waddenzee’ onder invloed van dichtheidsstroming is geïnfilteerd. De getijdekreken van deze ‘Waddenzee’ zijn goed herkenbaar als verhogingen in het maaiveld (Bennema, 1953; zie figuur 1, rechts).

Een gemaal aan de Noordkant van Groot Mijdrecht pompt de grote hoeveelheid brak water naar de Waver, van waar het voornamelijk naar de Amstel stroomt, maar ook andere delen van de boezem van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht kan bereiken. Dit vormt ’s zomers een probleem wanneer andere polders water inlaten vanuit de boezem. Verder kent het oostelijk deel van de polder een grote bodemdaling, vooral door de oxidatie van veen. Als deze met peilverlagingen gecompenseerd zou worden, bestaat het risico dat nog meer brak water op de boezem moet worden geloosd. Dit zijn de belangrijkste redenen geweest voor de provincie Utrecht en het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht om een onderzoek te starten naar de toekomstmogelijkheden voor Groot Mijdrecht (Mankor en Hartog, 2008). Voor dit onderzoek zijn diverse modellen opgezet en verbeterd, waaronder een grondwatermodel.

In het grondwatersysteem van Groot Mijdrecht spelen de wellen een belangrijke rol. De wellen zijn in eerste instantie niet expliciet in grondwatermodellen geschematiseerd (bijvoorbeeld IWACO, 1992 en 1994). Ze zijn toen impliciet in de deklaagweerstand verwerkt. De deklaagweerstand moest toen in een stationaire ijking teruggebracht worden tot slechts enkele dagen om een sluitende waterbalans mogelijk te maken. Toen in 2002 de grondwaterstand in Groot Mijdrecht ook tijdsafhankelijk gesimuleerd werd bleek deze lage deklaagweerstand te weinig fluctuatie van de freatische grondwaterstand op te leveren en is gezocht naar een meer expliciete schematisatie van de wellen.

De wellen zijn in de eerste tijdsafhankelijke versie van het model opgenomen door fictieve wellende waterlopen te definiëren en deze samen met de hoofdwatergangen water direct uit het eerste watervoerend pakket te laten onttrekken (Vergroesen, 2007). De fictieve waterlopen zijn de blauwe lijnen in het rechterdeel van figuur 2, die toegevoegd zijn ten opzichte van het linkerdeel van deze figuur. In combinatie met toevoeging van de fictieve waterlopen voor de wellen is de deklaagweerstand voor de diffuse kwel verhoogd tot waarden passend bij de samenstelling en dikte van de deklaag (figuur 2) waardoor zowel de bemalingsgegevens als de dynamiek in de stijghoogten goed konden worden benaderd (van den Broek e.a., 2003).



Figuur 2: Deklaagweerstand rond Groot Mijdrecht in het eerste stationaire model met impliciete wellen (links) en het eerste tijdsafhankelijke model met expliciete - fictieve - wellen (rechts)

In het eerste tijdsafhankelijke model wordt via de modelinvoer bepaald in welke waterlopen wellen optreden. Zodoende bleef de vraag onbeantwoord hoe de kwelfluxen zullen veranderen als er grote hydrologische ingrepen gedaan worden. De commissie Remkes, bestaande uit onafhankelijke deskundigen, heeft de situatie in Groot Mijdrecht beoordeeld en achtte het inzicht in het functioneren van de wellen onvoldoende om een goede afweging voor de toekomststrategie voor Groot Mijdrecht te maken (Remkes, 2008). De provincie Utrecht en Waternet hebben naar aanleiding hiervan twee nieuwe onderzoeken in samenhang uitgevoerd: 1) veldwerk door Acacia en de VU (Velstra e.a., 2008) en 2) modelanalyse door Royal Haskoning, Acacia Water en Deltares (Zaadnoordijk e.a., 2008). Dit artikel belicht de inzichten in het functioneren van de wellen in Groot Mijdrecht die de onderzoeken hebben opgeleverd, alsmede de hierop gebaseerde schematisatie van de wellen in het model.

Materiaal en Methode

Voor het gedrag van de wellen zijn twee aspecten onderscheiden: 1) het optreden van wellen en 2) de welflux als er wellen optreden. Een criterium voor het optreden van wellen is nodig om de vraag te kunnen beantwoorden waar wellen optreden na uitvoering van grote hydrologische ingrepen. De grootte van de welflux moet kunnen worden beschreven om de verandering in de waterbalans te kunnen voorspellen.

De eenvoudigste aanname is dat er volledige kortsluiting optreedt tussen het watervoerend pakket enerzijds en de sloot of het freatisch water anderzijds. Een verfijning daarvan is de aanname van een constante weerstand: een lineair verband tussen de welflux en het verschil van stijghoogte in het watervoerend pakket en ondiepe waterstand. Op deze manier kan verder worden gegaan met een niet-lineair verband, zoals bij turbulente stroming in leidingen optreedt en waarbij de weerstand toeneemt bij een grotere welflux.

Intuïtief heeft het optreden van wellen te maken met de dikte of het gewicht van de deklaag, vergelijkbaar met het opbarstcriterium dat gebruikt wordt bij het ontwerp van de bemaling van bouwputten (zie bijvoorbeeld Fraanje, 1974). Het gewicht van de deklaag is te relateren aan de dikte van de deklaag en de aandelen klei en veen, zoals we

die kunnen afleiden uit boringen. Deze aspecten van de deklaag zijn sterk heterogeen en er mag worden verwacht dat ze significant variëren tussen de beschikbare boringen. Aangezien wellen op de plekken met het geringste deklaaggewicht ontstaan, zal een lager gewicht dan de gemiddelde waarde die uit de boringen wordt afgeleid maatgevend zijn. Vermenigvuldiging van het deklaaggewicht met een factor kleiner dan 1 brengt dit tot uiting. We noemen dit in het vervolg de ‘welfactor’.

Als we verder veronderstellen dat wellen optreden in de sloten, kunnen we de flux van de wellen koppelen aan het slootoppervlak. De flux is dan evenredig met de slootbreedte en omgekeerd evenredig met een welweerstand per slootoppervlak. Deze welweerstand per slootoppervlak is daarmee een effectieve waarde voor de modelberekeningen, die wij niet hebben gekoppeld aan de fysische eigenschappen van een individuele wel.

Dit leidt tot de volgende wellenregel:

$$q = \begin{cases} 0 & (\varphi < fw + h) \\ b \frac{\varphi - (fw + h)}{c} & (\varphi \geq fw + h) \end{cases} \quad (1)$$

Waarin q de wellenflux naar de kwellende sloot [$\text{m}^3/\text{m}'/\text{d}$], b de slootbreedte [m], φ de stijghoogte onder de deklaag [m NAP], f de welfactor [-], w het overgewicht van de deklaag ten opzichte van water uitgedrukt in waterkolom [m], h de oppervlaktewaterstand in de sloot [m NAP] en c de welweerstand per slootoppervlak [d] is.

De breedte van de sloten is redelijk te bepalen uit topografische informatie en luchtfoto's zoals beschikbaar op Google Earth. De welfactor f en de welweerstand c zijn de resterende parameters in de wellenregel en worden als ijkparameters gebruikt. De resultaten zijn vervolgens gevalideerd aan de hand van de resultaten uit het veldonderzoek.

Het veldonderzoek is gericht op metingen waarmee direct en indirect informatie over het functioneren van de wellen bepaald kunnen worden. Aandachtspunten hierbij zijn de relatie tussen stijghoogte en flux, de relatie tussen grondwater en oppervlaktewater en de zoutbelasting door de wellen, relatief ten opzichte van de belasting door de diffuse kwel. Het veldwerk heeft bestaan uit:

- Slootproef: afvoermetingen vanuit een afgedamde sloot in een sterk wellend gebied, hèt middel om inzicht in fluxen en de lineariteit van wellen in Mijdrecht te krijgen;
- Geleidbaarheidsmetingen (EC) van het oppervlaktewater: een goedkope bepaling die inzicht geeft in chloridegehaltes;
- Ondiepe boringen en sonderingen: extra inzicht in samenstelling en weerstandsverdeling binnen de deklaag;
- Diepere sonderingen met elektrische-geleidsbaarheidsbepaling: meer inzicht in de bodemopbouw en het chloridegehalte tot een diepte van ongeveer 60m.

In de eerder beschreven wellenregel wordt uitgegaan van een lineaire $Q(h)$ -relatie van de wellen als de stijghoogte groter is dan een drempelhoogte. Om de $Q(h)$ -relatie voor een wellende sloot in Groot Mijdrecht te toetsen is een slootproef uitgevoerd in een sloot waarin een sterke kwelflux is vastgesteld en tevens wellen zijn waargenomen (zie voor de locatie figuur 1). In de sloot is een schot geplaatst met een verstelbare v-notch. Met

deze v-notch kan de waterstand in de sloot worden gevarieerd en kan de afvoer van de sloot bij de ingestelde waterstand worden bepaald (zie figuur 3).

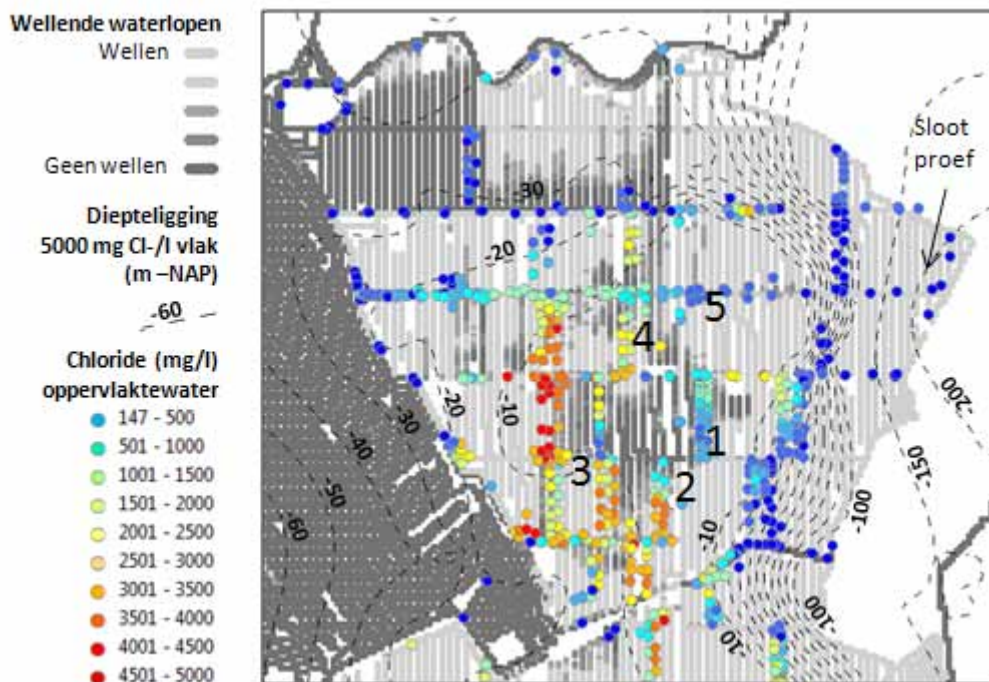


Figuur 3: Plaatsing van het meetschot waarbij de afzonderlijke V-notch segmenten nog zichtbaar zijn (links); verwijderen van een V-notch segment (rechts).

De afgedamde sloot heeft een lengte van 200 m en de breedte varieert tussen 3 en 4 meter. De hoogte van de v-notch is met segmenten telkens 15 cm in hoogte aangepast. De waterhoogte bovenstrooms van de meetopening is met een diver bepaald en hieruit is de flux afgeleid.

Resultaten

Het veldwerk bevestigde het beeld van de chlorideconcentraties in de ondergrond, zoals dat in eerder onderzoeken is vastgesteld: de hoogste concentraties rond de 5000 mg/l in het centrale deel van Groot Mijdrecht en zoet water aan de oostkant langs de Vinkeveense Plassen. De geleidbaarheidsmetingen in het oppervlaktewater laten een enigszins afwijkend beeld (zie figuur 4). In een aantal sloten in het centrum van het noordelijke deel van Groot Mijdrecht is een relatief lage geleidbaarheid – ofwel relatief zoet water – gemeten, terwijl daar de chloridegehalten in het grondwater juist hoog zijn.



Figuur 4: Noordelijke deel van polder Groot Mijdrecht met chloridegehalten van het oppervlaktewater, diepteligging 5000 mg Cl-/l en als achtergrond de berekende aan- of afwezigheid van wellen volgens de wellenregel.

De nummers 1 - 5 in figuur 4 geven locaties weer waar een laag chloridegehalte voor het oppervlaktewater is gemeten in een gebied waar het grondwater onder de deklaag zout is. We beschouwden dit in eerste instantie als anomalieën totdat in voorlopige modelsimulaties met de wellenregel ter plaatse geen wellen werden berekend, terwijl het model rondom wel wellen berekende. De interpolatie tussen de deklaagdikte en – samenstelling in de boringen leverde hier een groter deklaaggewicht op, waardoor het model ter plaatse geen wellen simuleerde.

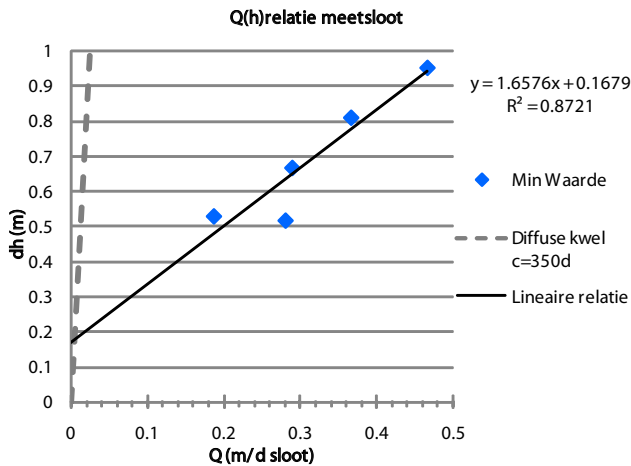
Locatie 5 is een hoofdwatergang waar de lokale kwel in het oppervlaktewater sterk is verdund door de grote afvoer van zoet kwelwater uit de zone langs de Vinkeveense Plassen. De metingen op deze locatie geven dus geen beeld van de lokale mengverhouding tussen zoet neerslagwater en zout kwelwater. De locaties 1 – 4 zijn perceelssloten waar alleen de lokale kwel mengt met het neerslagwater. Het aandeel van de kwel is hier kennelijk zo klein dat deze sterk wordt verdund door het neerslagwater. Dit is een sterke aanwijzing dat hier inderdaad geen wellen aanwezig zijn.

De wellenregel berekent het optreden van wellen op basis van het overgewicht van de deklaag. Zoals eerder aangegeven liggen de getijdekreeken net iets hoger dan de omgeving (zie figuur 1). Hierdoor is het overgewicht groter, wat nog wordt versterkt door de zandiger samenstelling. Door het grotere overgewicht treden daarom lokaal geen wellen op.

Met deze bevestiging van de wellenregel, is overgegaan tot de ijking van het aangepaste model. De twee ijkparameters van de wellenregel, de welfactor en de welweerstand, zijn ruimtelijk en temporeel constant verondersteld. De waarden zijn gekalibreerd aan het uitmaaldebiet en het gebied waar binnen Groot Mijdrecht wellen optreden, waarbij ook is gekeken naar het chloridegehalte in het uitgemalen water. Doordat dit meerdere onafhankelijke grootheden zijn kunnen de welfactor en welweerstand beide worden bepaald. Dit resulteerde in een welfactor van 0,35 en een welweerstand van 1,29 dag per vierkante meter wellend gebied. De verbreiding van de wellen in de waterlopen bij deze parameters is voor het noordelijk deel van Mijdrecht weergegeven in figuur 4 met de grijze lijnen in de achtergrond.

Ten tijde van de ijking was de slootproef nog niet uitgevoerd. De resultaten zijn dus niet bij de ijking gebruikt, maar zijn gebruikt bij validatie van het model. De locatie van de slootproef is aangegeven in figuur 4. In het afgedamde slootsegment zijn zes wellen waargenomen op basis van verkleuring van de bodem, ijzerneerslag en/of temperatuur-anomalieën. Gezien het slechte doorzicht in de sloot en de beperkte uitstroming van een wel is het waarschijnlijk dat er meer dan zes aanwezig zijn.

Figuur 5 laat voor de verschillende hoogten van de v-notch met segmenten van 15cm de stabiele waarde van de flux zien op de horizontale as. De hoogte van het meetschot is op de verticale as uitgezet als de bijbehorende overdruk van de diepe stijghoogte, zoals die is afgeleid uit de peilbuis in het watervoerend pakket en de waterhoogte in de sloot.



Figuur 5: Slootproef: Q(h) relatie voor de wellende sloot

Met uitzondering van het tweede punt bij een overdruk van 0,5 meter liggen de punten vrijwel op een rechte lijn. Het afwijkende punt is bepaald uit de eerste meetperiode na het installeren van de stuw. Waarschijnlijk was de situatie nog onvoldoende gestabiliseerd. De meetproef wordt momenteel voortgezet waarbij de planken van het meetschot een hoogte hebben van 7,5 cm waardoor meer punten worden verkregen. De in de grafiek getoonde lineaire relatie ondersteunt het karakter van de aangenomen wellenregel met een drempelhoogte en een constante weerstandswaarde. De weerstand bij deze lijn

is ongeveer 1,6 d en als we de lijn extrapoleren lezen we af dat er een minimale overdruk van ongeveer 0,2 m nodig is voor een flux.

Discussie

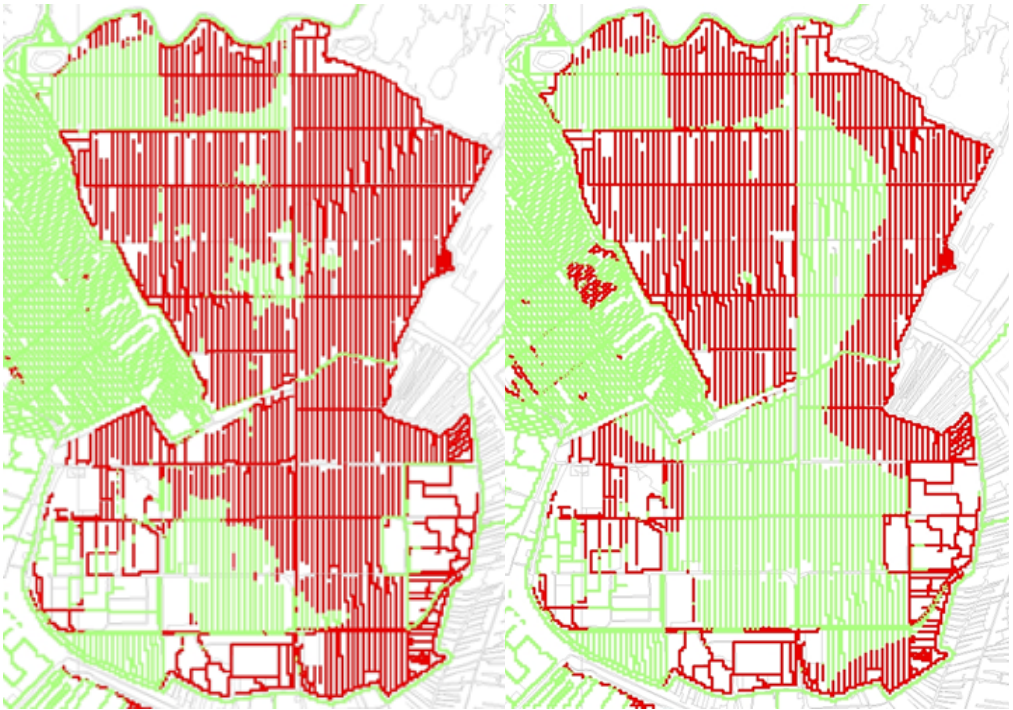
De $Q(h)$ -relatie uit de slootproef is niet direct vergelijkbaar met de wellenregel. De flux Q uit de slootproef omvat namelijk ook diffuse kwel naast de flux van de wellen. Ook spelen de discretisatie van het model en de afstand van de peilbuis waarmee de stijghoogte is gemeten mogelijk een rol. Dit is niet nader onderzocht.

We kunnen de bijdrage van de diffuse kwel verwijderen uit de $Q(h)$ -relatie uit de slootproef door de diffuse kwel te benaderen op basis van de modelparameters. Laten we aannemen dat de gemeten slootflux in de formule uit figuur 5 ($dh = c' Q + dh_0 = 1,6576 Q + 0,1679$) is samengesteld uit een welflux en diffuse flux en dat de diffuse flux evenredig is met dh ($Q_{\text{diffuus}} = dh/c_{\text{diffuus}}$). De evenredigheidsconstante kunnen we benaderen door de deklaagweerstand van ongeveer 350 d te delen door een toestromingsfactor die gelijk is aan de verhouding tussen de perceelsbreedte van 50 m en de slootbreedte van ongeveer 3,5 m: $c_{\text{diffuus}} = 24,5$ d. Hiermee kan voor de welflux worden afgeleid: $Q_{\text{wel}} = (dh - dh_{\text{wel}}) / c_{\text{wel}} = (dh - 0,18\text{m}) / 1,8$ d. Deze afleiding geeft de maximale invloed van de diffuse kwel bij de deklaagweerstand uit het model. De bijdrage van de diffuse kwel is dus zeer beperkt in de hoek van Groot Mijdrecht waar de grootste kwelfluxen optreden.

De waarde van 1,8 d heeft dezelfde orde van grootte als de geijkte waarde van 1,29 d in de wellenregel van het model. De welfactor van 0,35 komt in dit gebied overeen met een drempelwaarde voor het optreden van wellen van ongeveer 0,08 m, wat ook als orde van grootte overeenkomt met de geschatte 0,18 m uit de slootproef. Gezien het feit dat deze hoek van Groot Mijdrecht niet representatief is voor heel Groot Mijdrecht vanwege de grote kweldruk en dunne deklaag én het feit dat de waarden uit de wellenregel constant zijn verondersteld voor het hele gebied, versterkt deze analyse van de slootproef het vertrouwen in de gehanteerde wellenregel.

De wellen in Groot Mijdrecht treden vrij diffuus op in tegenstelling tot bekende wellen in de polders Noordplaspolder, Nieuwkoop en de Haarlemmermeer (de Louw e.a. 2004 en 2007). De wellen in deze polders zijn individueel herkenbaar. Ze voeren zand mee en zijn gekoppeld aan lokale lage weerstandswaarden van de deklaag samenhangend met zandige geulafzettingen. Deze wellen zullen meer vergelijkbaar zijn met het fenomeen van 'piping' zoals dat kan optreden bij dijken en kunstwerken. Hierbij is de hydraulica van de stroming in de wel waarschijnlijk van groter belang. Ook is de kans groter dat hysteresis optreedt: dat een grotere overdruk nodig is om een wel te doen ontstaan en dat een veel kleinere overdruk voldoende is om de wel actief te houden. In deze gevallen zijn andere $Q(h)$ -relaties denkbaar dan degene die nu voor Groot Mijdrecht een goede overeenstemming met metingen oplevert.

De toevoeging van de wellenregel aan het bestaande model heeft als doel toekomststrategieën van Groot Mijdrecht beter te kunnen simuleren. De locatie van wellen heeft niet langer ingevoerd te worden. Het model berekent immers waar wellen op zullen treden, waar wellen zullen verdwijnen en waar nieuwe wellen zullen ontstaan. Als voorbeeld is hier een vergelijking gemaakt tussen de huidige situatie en één van de toekomststrategieën, genaamd 'Plan de Venen' (zie figuur 6).



Figuur 6: Wellende watergangen (donkerrood) in de huidige situatie (links) en strategie Plan de Venen (rechts).

Plan de Venen behelst het opzetten van het peil in het noord-oostelijk en het centraal-zuidelijke deel van Groot Mijdrecht met een halve meter. Door de peilopzet worden de wellen in het centrale deel dichtgedrukt. Langs de Vinkeveense Plassen blijft de kweldruk zo groot dat de wellen actief blijven. In het noorden van Groot Mijdrecht worden net ten westen van de peilverhoging juist extra wellen berekend omdat hier de kweldruk toeneemt door de naastgelegen peilverhoging.

Conclusie

Het grondwatermodel van Groot Mijdrecht is uitgebreid met een wellenregel. Veldmetingen bevestigen het karakter van de wellenregel met een drempelhoogte en een constante weerstand, alsmede de verbreiding van de wellen binnen het gebied. De wellenregel maakt het mogelijk om voor toekomststrategieën te bepalen waar wellen zullen verdwijnen en waar wellen zullen verschijnen. Ook berekent het model de bijbehorende totale kwelfluxen van de wellen en de diffuse kwel. Zoals het veldwerk het modelleren ondersteunde, zo was het model essentieel bij het ontwerp en interpreteren van het veldwerk: meten is weten, modelleren is begrijpen.

De hier gepresenteerde wellenregel is ontwikkeld op basis van de ervaringen in Mijdrecht, waar de wellen in zeer grote aantallen in de sloten optreden. Zodoende kunnen de wellen hier worden beschreven per strekkende meter waterloop en behoeft geen

individuele wellen te worden gemodelleerd. De lineaire wellenregel van Groot Mijdrecht is daardoor niet zonder meer toepasbaar in andere gebieden.

Referenties

- Bennema, J. (1953)** *Pyriet en koolzure kalk in de droogmakerij Groot Mijdrecht.*
- Broek, T. van den, T. Vergroesen, K.J. van Heeringen en C. van Genuchten (2003)** *De blauwe motor van het Parklandschap; Royal Haskoning, Rotterdam, 12 december 2003.*
- Fraanje, M.J. (1974)** *Bronbemaling; Elsevier, Amsterdam.*
- IWACO (1992)** *Grondwaterbeheer Midden Nederland, modellering watersystemen; Iwaco, Rotterdam.*
- IWACO (1994)** *Ecohydrologisch Onderzoek De Ronde Venen; Iwaco, Rotterdam.*
- Louw, P. de, R. Bakkum, H. Folkerts en H. van Hardeveld (2004)** *Het effect van waterbeheer op chloride- en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in Polder de Noordplas; TNO, Utrecht.*
- Louw, P. de, G. Oude Essink en P. Maljaars (2007)** *Achtergrondstudie kwelreductietechnieken; TNO, Utrecht.*
- Mankor, J. en P. Hartog (2008)** *Verkenning Water Groot-Mijdrecht Noord, tweede fase; Provincie Utrecht.*
- Remkes, J.W., K. d'Angremond, M. Donze, R.A. Feddes, P. Vellinga en P. Huisman (2008)** *Water en Bodemdaling in Groot-Mijdrecht; Onderzoekscommissie Water en Bodemdaling Groot-Mijdrecht Noord.*
- Velstra, J., R. van Diepen, M. Hoogmoed, K. Groen en M. Groen (2008)** *Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht Noord; Acacia Water en Vrije Universiteit, Gouda.*
- Vergroesen, T. (2007)** *Beschrijving grondwatermodel Groot Mijdrecht; WL|Delft Hydraulics, Delft.*
- Zaadnoordijk, W.J., J. Velstra en T. Vergroesen (2008)** *Grondwateronderzoek Verkenning Water Groot Mijdrecht Noord, tweede fase; Royal Haskoning, Acacia Water en Deltares, Rotterdam.*