
Zijn er ook buiten Polder Groot Mijdrecht wellende sloten?

Willem Jan Zaadnoordijk¹

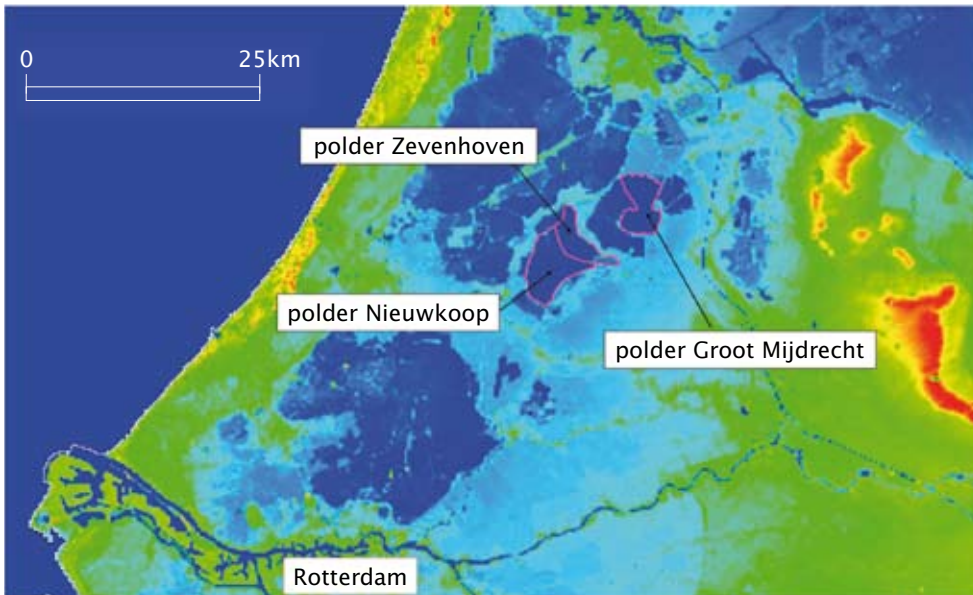
Inleiding

Polder Groot Mijdrecht is een diepe polder in het veengebied van West-Utrecht. De kwel in de polder is zeer sterk en het grootste deel van de kwel stroomt via een kortsluitstroming van het watervoerend pakket door de bodem onder de sloten direct de sloten in. Dit wordt stroming door wellen genoemd. Het aantal wellen is zo groot dat het geen zin heeft individuele wellen te beschouwen, maar dat het praktischer is om onderscheid te maken tussen wellende sloten en sloten zonder wellen (Zaadnoordijk e.a., 2009).

De wellen spelen een belangrijke rol in de waterhuishouding van polder Groot Mijdrecht en zorgen er voor dat ondanks de grote hoeveelheid kwel in de polder, de freatische grondwaterstanden een relatief grote dynamiek hebben en de kwel de wortelzone niet bereikt.

De vraag dringt zich op in hoeverre de voor Polder Groot Mijdrecht afgeleide wellenregel ook toepasbaar is om het voorkomen en gedrag van wellende sloten in andere gebieden te beschrijven. Daarom is de wellenregel toegepast voor twee nabijgelegen polders waar recent modelonderzoek is uitgevoerd: Polder Nieuwkoop en Polder Zevenhoven (voor ligging zie afbeelding 1). In Polder Nieuwkoop komen wellen voor, terwijl er in Polder Zevenhoven geen wellen bekend zijn. Bij de toepasbaarheid is onderscheid gemaakt in de formule van de wellenregel enerzijds en de waarde van de parameters anderzijds.

¹ **Royal Haskoning** (Rotterdam), nu KWR-instituut voor waterketenonderzoek (Nieuwegein)
WillemJan.Zaadnoordijk@KWRwater.nl



Afbeelding 1: Ligging polders Groot Mijdrecht, Zevenhoven en Nieuwkoop met als ondergrond de maaiveldhoogte verlopend van blauw (laag) naar rood (hoog) en open water weergegeven met helder blauw.

Wellenregel Groot Mijdrecht

Zaadnoordijk e.a. (2009) presenteren een beschrijving van de wellen in polder Groot Mijdrecht met twee parameters. De wellenregel geeft de kwel per strekkende meter sloot q :

$$q = \frac{b(\varphi - h_w)}{c_w} \quad (\varphi > h_w) \quad (1)$$

$$q = 0 \quad (\varphi \leq h_w)$$

Waarin b de breedte van de sloot is, φ de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de deklaag, c_w de welweerstand per eenheid slootoppervlak en het welniveau h_w gegeven wordt door:

$$h_w = h + f_w d_d \gamma_d \quad (2)$$

Het welniveau is hoger dan de oppervlaktewaterstand h en de mate daarvan is evenredig met de welfactor f_w , de deklaagdikte d_d en de volumieke massa van de deklaag γ_d . De dimensieloze welfactor bepaalt de overdruk die nodig is om een sloot te doen wellen. Is de overdruk in het watervoerend pakket ten opzichte van de slootwaterstand minder, dan welt de sloot niet. Is hij hoger, dan welt de sloot wel. De parameters van de wellenregel zijn de welweerstand c_w en de welfactor f_w .

Voor de waarden van deze parameters is voor Polder Groot Mijdrecht de aanname gedaan dat ze uniform zijn binnen het modelgebied en dat ze constant zijn in de tijd. Daardoor konden de waarden bepaald worden met behulp van een beperkt aantal gegevens:

- Uitmaaldebiet van de polder, waarvan een lange historie bekend is;
- Verbreiding van de wellen, waarin inzicht is verkregen door veldonderzoek.

De resulterende $q(\varphi)$ -relatie voor een wellende sloot is geverifieerd met een slootproef. Een doodlopende sloot is afgedamd met een meetstuw die in hoogte gevarieerd kon worden. De resulterende slootwaterstanden, stijghoogten en debieten over de stuw zijn geregistreerd (Velstra e.a., 2008).

Methode

De bestaande Triwaco-modellen voor Polder Zevenhoven (Royal Haskoning, 2010) en Polder Nieuwkoop (Royal Haskoning, 2005) zijn aangepast om de toepassing van de wellenregel mogelijk te maken. Hiervoor zijn de waterlopen binnen het aandachtsgebied expliciet als lijnelementen in het rekennetwerk opgenomen met een dusdanige verdichting van het netwerk dat zich ook tussen de waterlopen rekenknopen bevinden. Verder zijn deze waterlopen als potentieel wellende sloten actief gemaakt in het model. Na een eerste berekening met de welfactor en welweerstandwaarde van het Groot-Mijdrechtmodel, zijn deze parameters van de wellenregel zodanig gevarieerd dat het uitmaaldebiet van de polder gelijk is aan de verwachte waarde. Hierbij is 1 als bovengrens aangehouden voor de welfactor, bij hogere waarden is geen geotechnisch evenwicht meer in een simpele verticale een-dimensionale beschouwing. Hogere waarden dan 1 zijn mogelijk bij cohesieve grond als het hogere gewicht van de oever de slootbodem extra stabiliseert.

Resultaten Polder Zevenhoven

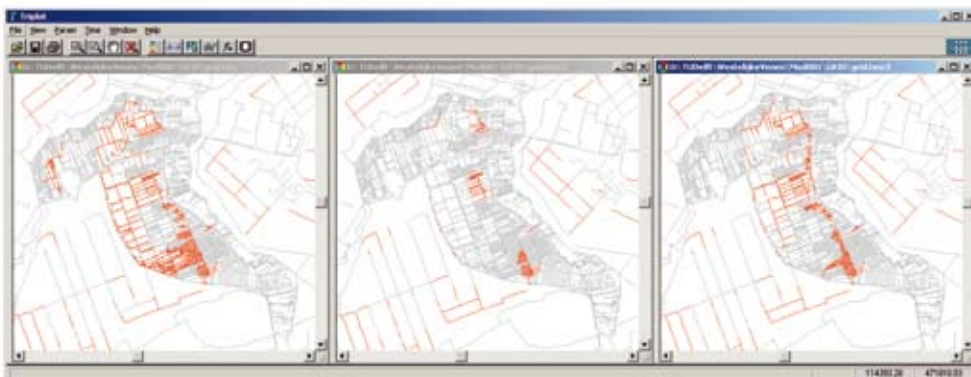
De voornaamste polder binnen het gebied van de Westelijke Venen is polder Zevenhoven. Toepassing van de wellenregel met de parameterwaarden van Groot Mijdrecht suggereert dat op grote schaal wellen op zouden treden. Er zijn echter geen wellen in de polder bekend en bovendien is het nieuw berekende uitmaaldebiet veel hoger dan het uitmaaldebiet uit het basismodel dat geijkt is op basis van gegevens van Waternet.

Er zijn echter aanwijzingen dat het werkelijke uitmaaldebiet hoger is dan destijds is aangenomen. Voor deze verkenning is uitgegaan van een 10% hogere waarde. Dit is nog steeds veel lager dan de nieuw berekende waarde. Vervolgens zijn de parameters van de wellenregel zodanig aangepast dat het berekende uitmaaldebiet gelijk is aan de gecorrigeerde praktijkwaarde van 14 miljoen m³/jaar.

De welweerstand is bepaald bij welfactor van 0,7 en 1, en niet bij de oorspronkelijke waarde 0,35 uit het Groot-Mijdrechtmodel omdat elke reële welweerstand een hoger uitmaaldebiet opleverde. Tabel 1 geeft een overzicht van debiet en de welparameters. Afbeelding 2 geeft weer waar wellende sloten optreden (rood) en welke sloten niet wellen (grijs) bij de combinaties uit tabel 1.

	Welfactor f	Welweerstand c	Q [10 ⁶ m ³ /jr]
Wellenregel	[-]	[d]	
Geen (uitgangsmodel)	–	–	13,03
Uitmaaldebiet plus marge 10%			14,33
Parameters Groot Mijdrecht	0,35	1,01	24,12
Aangepaste f en c	1	3,8	14,33
Aangepaste f en c	0,7	12,9	14,33

Tabel 1: Berekend uitmaaldebiet voor polder Zevenhoven.



Afbeelding 2: Wellende sloten (rood) voor parameters Groot Mijdrecht (links) en twee varianten geijkt op uitmaaldebiet (midden $f=1$, $c=3,8$ en rechts $f=0,7$, $c=12,9$).

Voor de parameterwaarden van Groot Mijdrecht wordt een erg hoog debiet berekend en wellen de sloten in een groot deel van de polder. Als wellen pas optreden als het geotechnisch evenwicht verstoord wordt, berekent het model een paar geïsoleerde lokaties met wellende sloten. Bij een lagere welfactor van 0,7 zijn deze vlekken groter geworden en aaneengesloten.

Resultaten Polder Nieuwkoop

In het basismodel voor Polder Nieuwkoop is de weerstand van de deklaag vlakdekkend verminderd om de hogere flux door de wellen te simuleren als onderdeel van de berekende diffuse kwel en daarmee een realistisch uitmaaldebiet te bepalen. Voor de toepassing van de wellenregel is deze weerstandsreductie ongedaan gemaakt en is de oorspronkelijk ingeschatte deklaagweerstand weer in het model ingebracht.

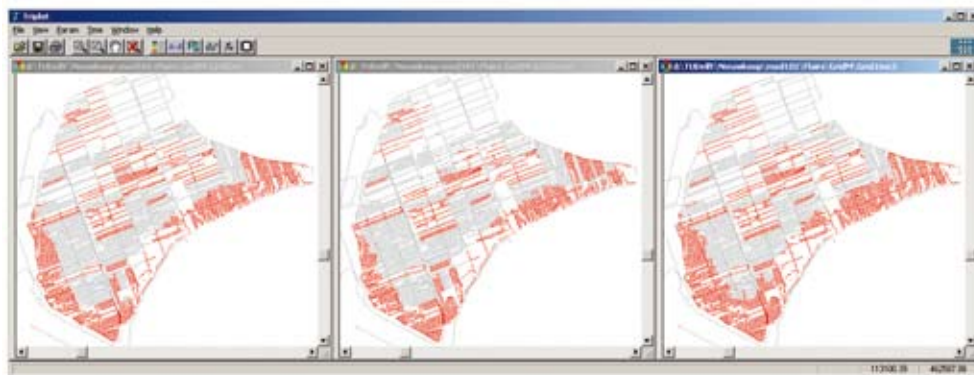
Ook voor Polder Nieuwkoop geeft de wellenregel met de parameters zoals die voor Groot Mijdrecht bepaald zijn een veel hoger uitmaaldebiet dan ingeschat en dan in het basismodel (ondanks de aangepaste deklaagweerstand hierin).

De welfactor is vervolgens aangepast en hierbij zijn waarden van de welweerstand zodanig gekozen dat het berekende uitmaaldebiet weer de waarde van het basismodel heeft.

Tabel 2 geeft deze resultaten weer. De welweerstand is niet geijkt bij een welfactor van 0,35, maar alleen bij hogere waarden, omdat bij de waarde 0,35 uit het Groot-Mijdrechtmodel geen reële welweerstand gevonden kon worden die het gewenste uitmaaldebiet opleverde voor Polder Nieuwkoop. De bijbehorende afbeelding 3 laat zien waar de wellen optreden voor de verschillende combinaties van de welparameters.

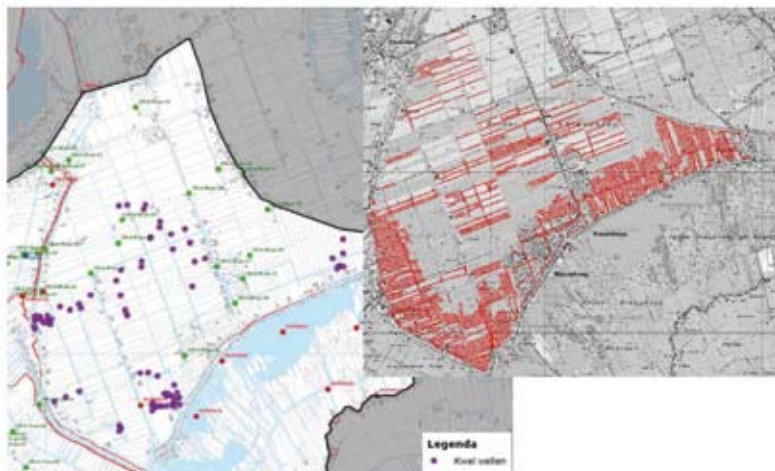
	Welfactor f	Welweerstand c	Q [10 ⁶ m ³ /jr]
Wellenregel	[-]	[d]	
Geen (uitgangsmodel)	–	–	27,30
Parameters Groot Mijdrecht	0,35	2	41,14
Aangepaste f en c	1	4,6	27,26
Aangepaste f en c	0,7	7,83	27,27

Tabel 2: Berekend uitmaaldebiet voor polder Nieuwkoop.



Afbeelding 3: Wellende sloten (rood) voor parameters Groot Mijdrecht (links) en twee varianten geijkt op uitmaaldebiet (midden f=1, c=4,6 en rechts f=0,7 en c=7,8).

Volgens de berekeningen is de verbreiding van de wellen voor Polder Nieuwkoop veel minder gevoelig voor de parameterwaarden dan bij Polder Zevenhoven (en bij Polder Groot Mijdrecht). Het Hoogheemraadschap Rijnland heeft bekende wellen in een kaart opgenomen (kaart 17 in Rijnland, 2008) en deze sluit voor zover de inventarisaties van reiken aan bij de hier berekende verbreiding (zie afbeelding 4).



Afbeelding 4: Bekende wellen (paars - bron: Rijnland, 2008) en berekende wellende sloten (rood).

Discussie

Modeltechnisch is de wellenregel, die voor Groot Mijdrecht is afgeleid, geïkt en geïverifieerd aan veldwerk, eenvoudig toe te passen voor andere gebieden. De Groot-Mijdrechtwaarden van de parameters geven voor Polder Zevenhoven en Polder Nieuwkoop onrealistisch hoge kwelfluxen.

Bij vasthouden van de Groot-Mijdrechtwaarde van de welfactor moet de welweerstand zeer hoog worden gekozen om een realistisch uitmaaldebiet te berekenen. Als de welweerstand van Groot Mijdrecht wordt overgenomen, moet juist de welfactor beduidend groter gemaakt worden dan 1. Dit laatste is niet realistisch, omdat dit zou betekenen dat de deklaag onder de sloot een veel hogere wateroverdruk zou kunnen weerstaan dan het totale gewicht boven het watervoerend pakket, zonder dat wellen optreden. Een welfactor van 1,1 komt immers overeen met de gangbare veiligheidsfactor voor opbarsten die bij bouwputten gehanteerd wordt. Opbarsten is een groot-schaliger bezwijkmechanisme van de bodem dan het ontstaan van de kortsluiting tussen sloten en het watervoerend pakket van wellende sloten, waarbij lokaal structuurverlies van de slootbodem optreedt zonder dat bodemmateriaal opgedrukt wordt. Derhalve lijkt het niet realistisch om een veel hogere welfactor in de wellenregel te hanteren.

Daarom is er voor gekozen om de welfactor te verhogen in de twee onderzochte modellen ten opzichte van de Groot-Mijdrechtwaarde, maar niet hoger dan 1. Hierbij bleek nog steeds de welweerstand verhoogd te moeten worden om een realistisch uitmaaldebiet te berekenen (zie tabel 3). Als de welfactor verdubbeld wordt moet de welweerstand ongeveer een factor 10 verhoogd worden voor deze polders. De welweerstand moet ongeveer verviervoudigd worden als de welfactor gelijk gemaakt wordt aan 1.

Wellenregel	Welfactor f [-]	Welweerstand c [d]
Polder Groot Mijdrecht	0,35	1,0
Polder Zevenhoven	0,7 á 1	12,9 á 3,8
Polder Nieuwkoop	0,7 á 1	7,8 á 4,6

Tabel 3: Parameters wellenregel.

Voor Polder Zevenhoven zijn geen wellen bekend, maar de voorspelde verbreiding met de wellenregel is zeker bij een welfactor van 1 zo gering dat er wellende sloten in deze polder voorkomen maar dat ze nooit opgemerkt zijn. Gericht veldonderzoek kan hier wellicht meer inzicht in verschaffen. Als er wellende waterlopen worden gevonden, kunnen de welparameters goed geïjkt worden aan de verbreiding. De verbreiding is namelijk sterk gerelateerd aan het te hanteren parameterbereik.

Voor Polder Nieuwkoop sluit de berekende verbreiding voor het gehele parameterbereik aan bij de bekende verbreiding van wellen. De verbreiding biedt hier dus geen houvast voor verdere ijking van de welparameters. Hier kan meer inzicht verkregen worden door de kwelrelatie voor een wellende sloot te bepalen in een slootproef zoals in Polder Groot Mijdrecht is uitgevoerd (Velstra e.a., 2008).

Nadere analyse van Groot Mijdrecht laat zien dat de marge voor een uniforme welfactor in het model ligt tussen 0,3 en 0,5. De welfactor van 0,3 levert met een weerstand van 1,1d het juiste debiet maar een te klein niet-wellend gebied). Bij een welfactor van 0,5 moet de weerstand op 0,76d gezet worden om het juiste uitmaaldebiet te simuleren, maar bij deze combinatie van waarden lijkt de verbreiding van de wellen te gering. Lineaire regressie van de stationaire debieten bij de slootproef levert een lokale waarde voor welfactor van 0,89 met 0 tot 1,8 als 95%- betrouwbaarheidsinterval bij aanname van normale verdeling. De lokale waarde voor de welweerstand van de sloot is volgens deze regressie gelijk aan 1,7d, waarbij het 95%-betrouwbaarheidsinterval loopt van 1,3 tot 2,1d. De marge van de uniforme welfactor in het model is klein in vergelijking met die uit de slootproef. Gecombineerd met de resultaten van de andere modellen suggereert dit de welfactor ruimtelijk varieert. Om dit met succes in een van de genoemde modellen te kunnen implementeren is meer inzicht nodig in deze wellende sloten en waar hun voorkomen en debiet van afhangt. Dit inzicht kan bijvoorbeeld worden verkregen door afvoeren te bepalen van meer (kleinere) gebieden. Afhankelijk van de resultaten zouden de welfactor en welweerstand gekoppeld kunnen worden aan de dikte van de deklaag, het gehalte aan klei en veen, de structuur van het veen, etc.

De beschreven wellende sloten zijn niet direct een route waarlangs kwel met extra hoge chlorideconcentraties het oppervlaktewater bereikt. Het veldonderzoek bij Groot Mijdrecht heeft uitgewezen dat de concentraties van de kwel in de wellende sloten dezelfde zijn als de concentraties in de omringende diffuse kwel (Velstra e.a., 2008). De verwachting is dat dit ook geldt voor de Westelijke Venen en Polder Nieuwkoop. Indirect zorgen de wellende sloten wel voor hogere chlorideconcentraties. Door de wellende sloten is de totale hoeveelheid kwel veel groter dan als er alleen diffuse kwel is. Het grondwatersysteem dat de kwel voedt reikt daardoor dieper in

de ondergrond. Zodoende wordt meer oud brak grondwater uit de diepere ondergrond aangetrokken. De extra kwel uit de ondiepere (intussen ver)zoete systemen verdunt het diepere water nog wel, maar kan deze zoutbron niet ongedaan maken.

Afsluiting

De gepresenteerde resultaten leiden tot de conclusie dat de “Groot-Mijdrechtwellenregel” toegepast kan worden bij de Westelijke Venen en polder Nieuwkoop. Hierbij is het noodzakelijk om de coëfficiënten in de wellenregel aan te passen om geloofwaardige debieten en verbreiding van de wellende sloten te berekenen.

Bij polder Nieuwkoop is enige validatie mogelijk doordat hier wellen gedocumenteerd zijn. Vraag aan gebiedskenners is of het voorkomen van wellen ook binnen de Westelijke Venen reëel is.

Dit artikel is grotendeels gebaseerd op analyses tijdens een studieverlof vanuit Royal Haskoning, dat de auteur heeft doorgebracht aan de Technische Universiteit Delft. Hierbij is gebruik gemaakt van de educatieve Triwaco-licentie van de TU Delft en van modellen die door Royal Haskoning zijn opgesteld in opdracht van het Hoogheemraadschap Rijnland en Waternet. Dank is verder verschuldigd aan Maarten Ouboter van Waternet en Dolf Kern van Rijnland voor hun stimulans en aangedragen aandachtspunten. Ook dank aan Marc Vissers voor zijn opmerkingen die resulteerden in een extra verbetering van het artikel.

Referenties

Rijnland (2008) Watergebiedsplan Nieuwkoop e.o.; Hoogheemraadschap van Rijnland, Leiden, Augustus 2008

Royal Haskoning (2005) Beschrijving Triwaco-model WAP; projectnummer 9t0486.A0, Royal Haskoning, Rotterdam, 2005

Royal Haskoning (2010) Beschrijving Triwaco-model Polder Zevenhoven; projectnummer 9v8508.C0, Royal Haskoning, Amsterdam, 2010

J. Velstra, R. van Diepen, Merel Hoogmoed en Michel Groen (2008) Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht Noord; projectnummer 282, Acacia Water, Gouda, 2/8/2008

W.J. Zaadnoordijk, J. Velstra, A.J.J. Vergroesen en J. Mankor (2009) Groot Mijdrecht: Inzicht in functioneren wellen; Stromingen, jaargang 15, nummer 2, pagina 31-40, 2009