

Datum verslag

18 december 2020

ContactpersoonHuite Bootsma
Timo Kroon**Doorkiesnummer**+31(0)88 335 7262
+31(0)88 335 7806**E-mail**Huite.Bootsma@deltares.nl
Timo.Kroon@deltares.nl**Aantal pagina's**

1 van 13

Datum bespreking

3 december 2020

Vergadering

NHI workshop interactie grondwater - oppervlaktewater

Aanwezig

Ab Veldhuizen, David Brakenhoff, Gerry Roelofs, Hendrik Kok, Huite Bootsma, Jacco Hoogewoud, Jacques Peerboom, Jan van Bakel, Jeroen Ligtenberg, Joost Heijkers, Paul Torfs, Piet Groenendijk, Timo Kroon, Willem Jan Zaadnoordijk, Wim de Lange

1 Inleiding interactie grond- en oppervlaktewater en doelstelling NHI

De ambitie van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium is om alle data en software die nodig is voor de hydrologische modellering de komende jaren op orde te krijgen. Deze ambitie is uitgewerkt in het investeringsplan NHI (zie www.nhi.nu). In dit plan is onder meer voorgesteld om modelgeneratoren te ontwikkelen waarmee data kan worden omgezet naar de benodigde modelinvoer. Dit wordt gedaan voor zowel het grondwater, de onverzadigde zone, als het oppervlaktewater.

Voor de grondwatermodellering vormt de interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater een belangrijke schakel, die bepalend is voor de uitkomsten in de modellering. In Nederland is er doorgaans sprake van een fijn netwerk van drainagemiddelen. In dat geval kan er voor worden gekozen om de drainagemiddelen per modelcel te groeperen in effectieve randvoorwaarden voor het topsysteem, die in grondwatermodel worden geschematiseerd. Over het modelleren van het topsysteem is binnen Nederland diverse malen gepubliceerd hoe dit kan worden gerealiseerd als randvoorwaarde voor een grondwatermodel (Ernst, 1978; Bruggeman – zie Kovar & Rolf, 1978; de Lange 1996, 1998, Groenendijk et al, 2002). In de praktijk worden hiervoor in Nederland verschillende benaderingen gebruikt.

De beschreven formules zijn echter niet altijd voor iedereen goed te doorgronden. Bovendien is de wijze waarop voor de verschillende onderdelen de parameters moeten worden bepaald niet altijd eenduidig. In de praktijk van het modelleren worden bij toepassing van de formules dan ook makkelijk fouten gemaakt, bijvoorbeeld bij het opschalen van weerstanden, of bij het doorsnijden van waterlopen door de deklaag.

Binnen het NHI is eenduidig advies gewenst over de toe te passen concepten voor de interactie grondwater-oppervlaktewater, volgens het huidige inzicht van de deskundigen op dit gebied. Dat advies moet uitsluitend geven over de wijze welke concepten in verschillende omstandigheden in het NHI moeten worden gebruikt. Daarnaast is advies gewenst over de keuzes voor de parameters, en de wijze waarop de informatie het beste kan worden verschaald.

In het NHI is daarom besloten om een expertmeeting (workshop) te houden over dit onderwerp. De workshop moet duidelijkheid geven over de wijze waarop het topsysteem verder moet worden uitgewerkt in het NHI. Deze workshop over de interactie grondwater-oppevlaktewater is gehouden op 3 december 2020.

Voorliggend memo is het verslag van deze workshop. Eerst worden de presentaties en discussies samengevat, vervolgens wordt advies gegeven voor verdere uitwerking van de interactie grondwater-oppevlaktewater binnen het NHI.

2 Overzicht en samenvatting van de presentaties

Voor de workshops zijn diverse inhoudelijke presentaties voorbereid (zie de bijlage), met dank aan de uitgebreide voorbereidende activiteiten, die zijn uitgevoerd in een 'ad hoc consensus hydrologie werkgroep', bestaande uit Wim de Lange, Jan van Bakel, Paul Torfs, Jacco Hoogewoud en Huite Bootsma.

In de inhoudelijke presentaties zijn achtereenvolgens de volgende onderwerpen aan de orde gekomen:

1. Context en probleemschets: een overzicht van de verschillende concepten en bijbehorende beperkingen (*Huite Bootsma*)
2. Een demo van een praktische HTMP-applicatie 'iGrOw' (*Paul Torfs*)
3. Een verdiepende casus voor de zandgronden m.b.t. Ernst, MODFLOW, en iGrOw (*Jan van Bakel*)
4. Een verdiepende casus, "Ernst herziening 2020" (*Wim de Lange*)
5. Een voorbeeld van een python gebaseerde workflow in de praktijk voor het genereren van freatische lekweerstand (*Davíd Brakenhoff*)
6. Verdere beschouwing van de praktische toepassing in NHI (*Huite Bootsma en Jacco Hoogewoud*)

Tijdens en vooral na de presentaties was er ruimte voor vragen, reflectie en discussie met inbreng van alle aanwezigen.

De presentaties kunnen als volgt worden samengevat:

- De ruimtelijke schaal van de fysieke processen die een rol spelen in de grondwater-oppevlaktewater interactie zijn vaak aanzienlijk kleiner dan de schaal van de cellen van de regionale grondwater modellen¹.
- Daarmee is effectieve schaling noodzakelijk, om de kleinschalige processen te "aggregeren" naar schematisaties voor de relatief grove celgrootte voor de verschillende schaalniveaus die we met het NHI willen bedienen. Voor de wijze van 'aggregeren' zijn meerdere analytische benaderingen in gebruik.
- In de voorbereidende werkgroep is - met dank aan Paul Torfs - ook een numerieke code ontwikkeld, genaamd iGrOw, die de stationaire interactie tussen grondwater en oppevlaktewater in 2D berekent. Met de html-applicaties zijn de verschillende benaderingen door een ieder te toetsen.
- Bij zo'n toetsing blijkt dat de benadering die in de handleiding voor de RIVER package in MODFLOW is beschreven, onder slechts beperkte omstandigheden geschikt is.
- In de werkgroep is tevens een meer inzichtelijk analytisch concept ontwikkeld, waarbij het concept van de seriële weerstanden van Ernst verder is uitgewerkt.

¹ Met de kanttekening dat de horizontale stromingscomponent wel het hele stromingsdomein beslaat.

3 Toelichting op de inhoudelijke presentaties

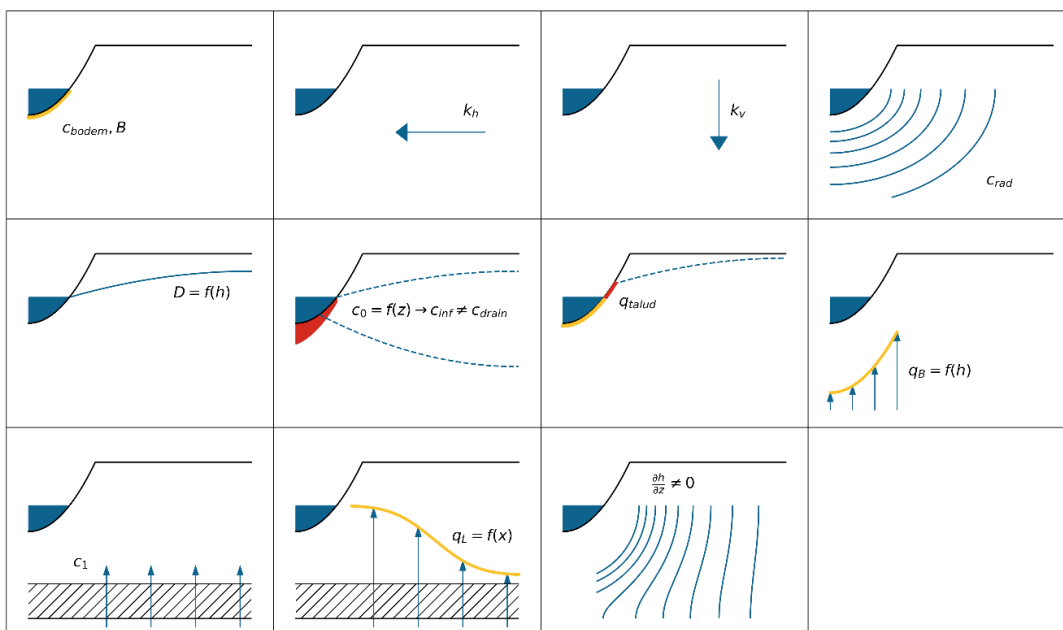
Presentatie 1: Context & probleemschets

Zie bijlage sheet 1 – 31, gepresenteerd door Huite Bootsma

De grondwater-oppevlaktewater interactie is in essentie een schalingsprobleem: als de modelleur hele fijne cellen zou kiezen, dan zou in principe de interactie goed gesimuleerd worden². De cellen van regionale grondwatermodellen zijn in de praktijk echter aanzienlijk groter om de rekentijd te beperken. De interactie wordt geschematiseerd als een zogenaamde ‘Robin randvoorwaarde’: een relatie tussen de grondwaterstand van de cel en de afgevoerde drainageflux, ofwel een Q-h relatie. Zo’n Q-h relatie kan gekarakteriseerd worden met een enkele weerstandswaarde, waarbij de Q-h relatie volledig lineair is. Het is ook mogelijk om een niet-lineaire Q-h relatie met “gestapelde” weerstanden te simuleren.

Voor de interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater zijn in figuur 1 de relevante processen geïdentificeerd die binnen een modelcel kunnen optreden. Vervolgens zijn verschillende analytische benaderingen beschouwd (achtereenvolgens de River package in MODFLOW, Ernst (1962), De Lange (1998) en Bruggeman (1972)).

Per benadering kan worden uiteengezet welke processen of concepten meedoen of worden verwaarloosd (zie de presentatie in de bijlage). Afhankelijk van de omstandigheden kan dit van belang zijn, maar soms is dit niet van belang. Omdat er behoefte was aan toetsing welke processen er wanneer toe doen, is ‘iGrOw’ (interactie Grond Oppervlakte water) ontwikkeld, waarin alle hierboven benoemde processen zijn vertegenwoordigd.



Figuur 1: processen die de interactie tussen grond- en oppervlaktewater beschrijven (van links naar rechts, van boven naar beneden): 1. stroming door de slootbodem, 2 horizontale grondwaterstroming 3. Verticale grondwaterstroming 4. Radiale stroming 5. Opbolling van de grondwaterspiegel 6. Opbouw van de sliblaag 7. Uittredend grondwater 8. Stromingsvariatie door de slootbodem, 9. Dieper gelegen watervoerende pakketten 10. Stromingsvariatie binnen de cel. Zie voor meer informatie de betreffende sheets in de presentatie.

² Hoewel we voor hele fijne cellen de effectieve hydraulische parameters niet kennen; bijvoorbeeld heterogeniteit in de wortelzone van de plant. Ook bij een fijnere schaal blijft een parameterisatieprobleem bestaan.

Presentatie 2: iGrOw html applicatie

Zie bijlage sheet 32 – 50, gepresenteerd door Paul Torfs

Paul introduceert iGrOw; een HTML applicatie om met visuele ondersteuning de grondwater-oppevlaktewater interactie te analyseren. De bijgesloten video's demonstreren de functionaliteit van iGrOw, daarbij komen achtereenvolgens aan bod:

- De muis en menu gedreven modelinvoer;
- Instantaan verversende visuele weergave van het model;
- Accurate weergave van horizontale versus verticale schaal;
- Inspectie van uitkomsten: stijghoogte, fluxrichting, fluxgrootte;
- Schematisatie naar regionale schaal: "Wat als dit in één cel zou plaatsvinden?";
- Tabel gebaseerde invoer en uitvoer voor archivering, of "batch modus";
- De applicatie heeft natuurlijk ook een handleiding!

Geconcludeerd wordt dat de iGrOw applicatie goed inzicht geeft in de verschillende processen die een rol spelen bij de interactie grond- en oppervlaktewater.

De iGrOw applicatie zal vrij ter beschikking worden gesteld aan het NHI, waarbij ook de verwachting wordt uitgesproken dat de applicatie en de hosting in de toekomst verder kan worden beheerd en onderhouden vanuit het NHI. Dit zal worden opgepakt vanuit het NHI. Na afloop van de workshop zullen daarvoor verdere afspraken worden gemaakt hoe dit in de kan worden opgenomen in de website NHI.

Vragen en opmerkingen vanuit het NHI voor de pauze, na de inleidende presentaties

De volgende vragen en opmerkingen komen naar voren na de inleidende presentaties:

- *Ik vraag me af hoe belangrijk het is om zoveel aandacht te besteden aan deze inhoud (deze vraag mag door de vragensteller zelf aan het eind van de bijeenkomst worden beantwoord ...)*
- *De 'beste' benadering hangt sterk samen met het doel van de modellering*
- *De werkelijkheid is niet 3D, maar ook de factor tijd speelt een rol (4D)*
- *Achteraf jammer dat niet nog een aantal 'analytische deskundigen' is aangeschoven, maar ook wel begrip dat het aantal genodigden beperkt is.*
- *Het gaat in feite om de kennis over dit onderwerp op 'een bierviltje voor de 21^e eeuw', maar zodanig dat het ook redelijk rekent ...*
- *Kun je in iGrOw ook wisselen van randvoorwaarden? (flux versus potentiaal?). In iGrOw zijn de randvoorwaarden boven en aan de zijkant vast; op de onderrand kan een dichte onderrand worden gebruikt, maar ook een weerstandslaag met potentiaal in onderliggende aquifer.*

=====

Presentatie 3: Verdiepende casus zandgronden: Ernst, MODFLOW, iGrOw

Zie bijlage sheet 50 – 65, gepresenteerd door Jan van Bakel

Met behulp van iGrOw licht Jan aan de hand van twee casussen voor de zandgronden een aantal processen toe m.b.t. de interactie grondwater-oppervlaktewater, en hoe dit zou uitwerken in een beperkt aantal cellen voor bijvoorbeeld een regionaal grondwatermodel. De 1^e casus betreft een zandgrond met een smalle sloot, met een slootafstand (500 m) die groter is dan de celgrootte van een hypothetisch regionaal grondwatermodel (celgrootte 100 m). De 2^e casus een smalle sloot met een slootafstand van 200 m.

Voor de casussen worden de uitkomsten vergeleken zoals die resulteren uit:

- iGrOw (de “numerieke waarheid”);
- De benadering zoals die beschreven is in de RIVER package van de MODFLOW-handleiding, waarbij het nat oppervlak door de intreeweerstand wordt gedeeld (hierna “MODFLOW-benadering” genoemd);
- Ernst, met aanpassing voor laterale stroming.

De analyse levert de volgende inzichten op:

- De MODFLOW benadering verwaarloost de horizontale weerstand en radiale weerstand binnen de cel met de sloot;
- Dat betekent voor deze casussen dat de grondwaterstand vooral verkeerd wordt berekend in de cel met de sloot, maar minder in de naburige cellen;
- Met de Ernst benadering wordt de juiste celdrainweerstand berekend, mits de Q-h relatie lineair is. Bij smalle sloten is dit niet het geval.
- Als non-lineaire processen een rol gaan spelen - waarbij taluduitstroming boven de slootwaterstand en een ademende natte omtrek de belangrijkste zijn - dan wordt de celdrainweerstand afhankelijk van de drainflux, en overschat de Ernst-benadering de celdrainweerstand.

Presentatie 4: Verdiepende casus “Ernst herziening 2020”

Zie bijlage sheet 66 – 87, gepresenteerd door Wim de Lange

Wim introduceert een analytisch concept (“Ernst herziening 2020”), waarbij de drainageweerstand van de cel is opgebouwd uit seriële weerstanden (zoals Ernst in 1962 ook heeft gedaan voor de drainageweerstand van het hydrologische systeem).

De belangrijkste toevoegingen aan Ernst 1962 zijn:

- Een wiskundige onderbouwing voor het in serie zetten van weerstanden (op basis van superpositie);
- Het toevoegen van een effectieve slootbreedte om het effect van variabele instroming (bij brede sloten) niet te verwaarlozen.
- Een vertaling van het Ernst drainage concept in een modelcel concept voor slootafstanden ongelijk aan de celgrootte leidt tot toevoeging van de laterale weerstand.

Dit levert een aantal overzichtelijke (!) vergelijkingen op, waarmee de deelweerstand berekend kunnen worden. Daarmee kan bepaald worden welke deelweerstand de belangrijkste is en dus welke processen/parameters het belangrijkste zijn.

Uit de analyse met iGrOw en een casus zonder taluduitstroming waarbij gevarieerd wordt in de parameters, wordt het volgende geconcludeerd:

- De totale weerstanden van Ernst herziening 2020 inclusief laterale weerstand komen overeen met die van iGrOw;
- Hoe de verschillende deelweerstanden variëren;
- Wat de MODFLOW RIVER benadering inhoudt voor de cel met de sloot: uitsluitend een intree weerstand zonder effectieve slootbreedte correctie;
- Afhankelijk van de celgrootte en slootafstand dient rekening te worden gehouden met het feit dat MODFLOW wél een horizontale weerstand berekent bij stroming tussen twee knopen;
- Vanwege de laterale weerstand is een celdrain weerstand die is afgeleid door iGrOw uit de drainflux en de grondwaterstand, *niet* zonder meer te gebruiken voor een MODFLOW cel;
- Het belang van de horizontale weerstand werpt ook nieuw licht op het gebruik van de formules van De Lange 1998.

Presentatie 5: Praktijkvoorbeeld van toepassing De Lange 1998 in een python workflow

Zie bijlage sheet 89 – 99, gepresenteerd door David Brakenhoff

David licht een voorbeeld toepassing toe in het kader van het regionale grondwatermodel van Utrecht, op basis van de De Lange 1998-benadering. Dit is uitgewerkt in een python workflow waarmee invoer voor verschillende MODFLOW packages (RIV, DRN, GHB) kan worden aangemaakt. Met de benadering van de Lange kan ook worden verschaald naar verschillende celgrootte.

De voorbeelden maken duidelijk dat het in de praktijk niet altijd eenduidig en eenvoudig is om een analytisch concept – op basis van een twee-dimensionale benadering – voor een vier dimensionaal regionaal grondwatermodel toe te passen. De uitwerking vereist een aantal keuzes, die de modelleur (vooralsnog) zelf moet maken. De volgende dilemma's worden naar voren gebracht:

- Worden de weerstanden gebruikt voor het hele topsysteem of worden effectieve conductances berekend?
- Hoe kan worden omgegaan met meerdere peilen in één cel? En veranderingen daarin over de tijd? (in de benadering is gekozen voor een oppervlakte gewogen gemiddelde peilen per cel).
- Wat als de sloten in meerdere modellen liggen? Welke modellen, k-waarden meenemen? Hoe conductance berekenen?
- Hoe wordt de slootlengte effectief bepaald, zeker als polygonen bijzondere vormen aannemen?

De conclusie is dat de analytische benadering een aantal uitdagingen kent in de praktijk. Het concept van De Lange is uitgewerkt in python tools, maar de toepassing blijft uitdagend. Het kost veel werk en tijd om de methode in te bouwen en in alle gevallen goed af te handelen, en bijv. de celgrootte lijkt nog sterk bepalend te zijn. Afgevraagd wordt of er ook eenvoudigere benaderingen zijn, en of er ook alternatieven zijn, bijvoorbeeld analytische benaderingen, waar je een redelijk resultaat mee kan bereiken.

Na een korte discussie over enkele inhoudelijke aspecten wordt geconcludeerd dat een aantal van deze aspecten aan de orde komt in de laatste deelpresentatie.

Presentatie 6: praktische aspecten bij toepassing in de praktijk

Zie bijlage sheet 100 – 108, gepresenteerd door Huite Bootsma

De afsluitende opmerkingen van Huite sluiten aan bij de presentatie van David: er zijn een hele reeks hordes te nemen voordat een analytisch concept toegepast kan worden in een regionaal grondwatermodel. Voor een aantal van deze hordes zijn er wel handreikingen en in de hydrologische literatuur is ook verantwoording voor keuzes te vinden, maar er zijn ook situaties waarbij dit niet geldt. De literatuur is echter niet gebundeld. Hoewel er veel samenvattende literatuur bestaat m.b.t. de relatie grondwater-oppervlaktewater, bestaat er geen kant-en-klare literatuurlijst of monograaf waarop het toekennen van parameterwaarden eenduidig gebaseerd kan worden, en waarmee deze verantwoord kan worden.

Sommige parameters blijven in de praktijk bijzonder lastig te bepalen. Bij toepassing zal het vaak onvermijdelijk zijn om aan de hand van het eerste modelresultaat aanpassingen te maken / te kalibreren. Begrip van het systeem is dan uiteraard wel van groot belang om de juiste keuzes te maken. Een inzichtelijk concept met seriële weerstanden – die gerelateerd kunnen worden aan specifieke parameters (bijvoorbeeld een verticale doorlatendheid) – zijn ook juist in dat kader wenselijk.

Reflectie van aanwezigen, vragen, opmerkingen en discussie n.a.v. de presentaties

De volgende vragen en opmerkingen komen onder meer naar voren:

- *Waarom kun je niet simpelweg voor elke locatie in Nederland een numeriek model draaien, en zo “op empirische wijze” de Q-h relatie bepalen door de modeluitvoer (fluxen, grondwaterstanden) uit te lezen? Waarom heb je dan nog analytische concepten nodig? Zie ook de eerdere reflectie op dit onderwerp.*
- *Bij zo’n empirische aanpak loop je tegen een aantal zaken aan; hoe ga je om met parameteronzekerheid en kalibratie? Aan welke knoppen ga je dan draaien? Een empirische dataset levert niet per sé inzicht, terwijl systeeminzicht van groot belang is om de uitkomsten op realisme te beoordelen. En hoe ga je dan om met veranderende randvoorwaarden (vb peilaanpassingen, scenario-berekeningen) en verschillende celgrootte ...*
- *Voordat je overgaat naar MODFLOW-invoer, moet je ook het hele formulier van parameterwaarden voorzien.*
- *In MODFLOW kun je ook de radiale weerstand verwerken in de lokale weerstand van de cel.*
- *Welke publicatie van Ernst gaat het precies om? De basis van de formules van Ernst is gelegd in de formules in 1962. Later zijn er nog uitbreidingen geweest.*
- *Wat is effect van nieuwe inzichten van ontbreken van horizontale weerstand, bijv op de landelijke toepassing? Reactie: Dat moet nader worden onderzocht, wel is duidelijk dat er een grote bandbreedte in de invoer is.*
- *Moeten we niet gewoon als alternatief met hoge resolutie rekenen (MODFLOW 6). Reactie: nee, dan moet je naar hele kleine cellen (afhankelijk van de situatie mogelijk kleiner dan 1 meter) om de stroming over slootbodems en talud goed mee te nemen. Drainage buizen, greppels zijn sowieso niet te doen. En we zoeken naar een methode die je idealiter uniform kan toepassen en naar begrip van wat er toe doet: welke parameter combinatie is voor welke situatie in de Q-H relatie van belang. Alleen dan kun je een model met zoveel parameters zinvol kalibreren..*
- *Het gaat er ook om de uitkomsten van de analytische benadering te vergelijken met metingen. Reactie: niet echt; dat zijn slechts hulpmiddelen om je complexe numeriek model van parameterwaarden te voorzien. Uiteindelijk gaat het er om wat relevant is op de regionale schaal.*

- *Je moet voor de toe te passen concepten ook kijken naar de bredere rekenomgeving, en de bijbehorende metingen, bijvoorbeeld ook beschouwen wat het effect is van de interactie met de onverzadigde zone.*
- *Bedenk goed dat NHI meer is dan MODFLOW; uiteindelijk gaat het ook om de bredere toepassing, denk bijvoorbeeld ook aan verbreding naar waterkwaliteit.*
- *Let op gedraineerde gebieden (een groot deel van NL), die moeten niet met dergelijke analytische formules benaderd worden (denk eerder aan benadering met Hooghoudt).*
- *Minstens zo belangrijk als de precieze formule is hoe je de concepten parametrizeert. Hier was oorspronkelijk ook een tweede workshop voor bedacht, maar nog niet ingepland.*
- *Er is meer aandacht voor nodig wat het er nou echt toe doet. Bijvoorbeeld echte Q/h die de veldwaarden representeren, ofwel de metingen versus de formules.*
- *Verder moet ook de context worden gezien waarin we werken, dynamiek in het oppervlaktewater bepalend. Je zou het geheel ook in een goede kalibratiestrategie moeten zien te passen (rekening met alles wat we weten en meten, vb satellietinfo), wellicht in een vervolgworkshop*
- *Reflectie van hoe belangrijk het nou is ...: duidelijk dat er veel samenhang is, vandaag is in ieder geval een duidelijke stap gemaakt “van wetenschap naar waterschap”*
- *Een interessante workshop, laten we dit verder laten bezinken om het ultieme advies te geven hoe verder!*

4 Verdere beschouwing van de lessen van de workshop

Hieronder volgt achteraf een korte reflectie van hetgeen is behandeld in de workshop, waarbij vooral wordt ingegaan op wat dit betekent voor NHI-toepassingen in de praktijk.

We kunnen grofweg de volgende “klassieke parameters” aanwijzen, die van belang zijn om de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater te karakteriseren:

- slootafstand / slootdichtheid
- natte omtrek
- intreeweerstand
- horizontale doorlatendheid van het freatisch pakket
- verticale doorlatendheid van het freatisch pakket
- doorstroomde dikte
- slootpeilen
- slootbodemhoogte
- wel/geen doorsnijding van de deklaag

Dit zijn de parameters die noodzakelijk zijn om bijvoorbeeld de Ernst benadering of de De Lange (1998) benadering toe te passen. Het concept van seriële weerstanden stelt een modelleur in staat om voor een hydrologische modelcontext snel een gevoel te krijgen voor het onderlinge belang van deze parameters.

Maar hiermee wordt nog geen rekening gehouden met de non-lineaire processen, zoals talud-uitstroming of de ‘ademende’ natte omtrek; of een significante gelaagdheid (tweedeling Hooghoudt). Hier zijn ook benaderingen voor te bedenken, of bestaan al bouwstenen voor. Maar al met al is zelfs bij alleen lineair gedrag het toekennen van parameterwaarden voor de interactie grondwater-oppervlaktewater in de praktijk niet eenvoudig en is een goed onderbouwd protocol nodig.

Afhankelijk van de locatie in Nederland spelen ook andere processen voor het gedrag van het topsysteem. In grote delen van Nederland is buisdrainage en/of maaiveld drainage (begreppeling) aanwezig; deze drainage heeft een dominante rol in het “afkappen” van hoge

grondwaterstanden. Dat betekent voor het toekennen van parameterwaarden in zo'n geval, dat:

- het oppervlaktewater niet de enige dominante rol speelt;
- het voor de randvoorwaarde die relevant is in het model (een Q-h relatie) belangrijk is om eerst energie te steken in het van parameterwaarden voorzien van buisdrainage (*Hooghoudt, zie verderop*).

Uiteindelijk moet de integrale (niet-lineaire) Q-h relatie goed beschreven worden. Vanuit die Q-h relatie is dan bijvoorbeeld te beredeneren:

- Welk "drainagesysteem" dominant is (primaire sloten, secundaire sloten, drains, greppels, maaiveld);
- Waar de oorzaak gevonden kan worden als bijvoorbeeld de GLG te laag uitvalt, of de GHG te hoog; welk deel van het systeem doet er daarvoor toe;
- Wat de invloed op bijvoorbeeld GHG is van taludafstroming bij piekafvoeren (een steiler stuk in de Q-h relatie) en wat is een bruikbare methode voor toekenning van parameterwaarden voor een dergelijk proces.

Zo is een goede werkwijze om op basis van een Q-h relatie beschreven met een set seriële weerstanden het gedrag van het topsysteem af te pellen: eerst door te kijken welke drainagesystemen actief en dominant zijn, en vervolgens te kijken welke van de seriële weerstanden dominant zijn.

5 Advies voor verdere uitwerking in het NHI

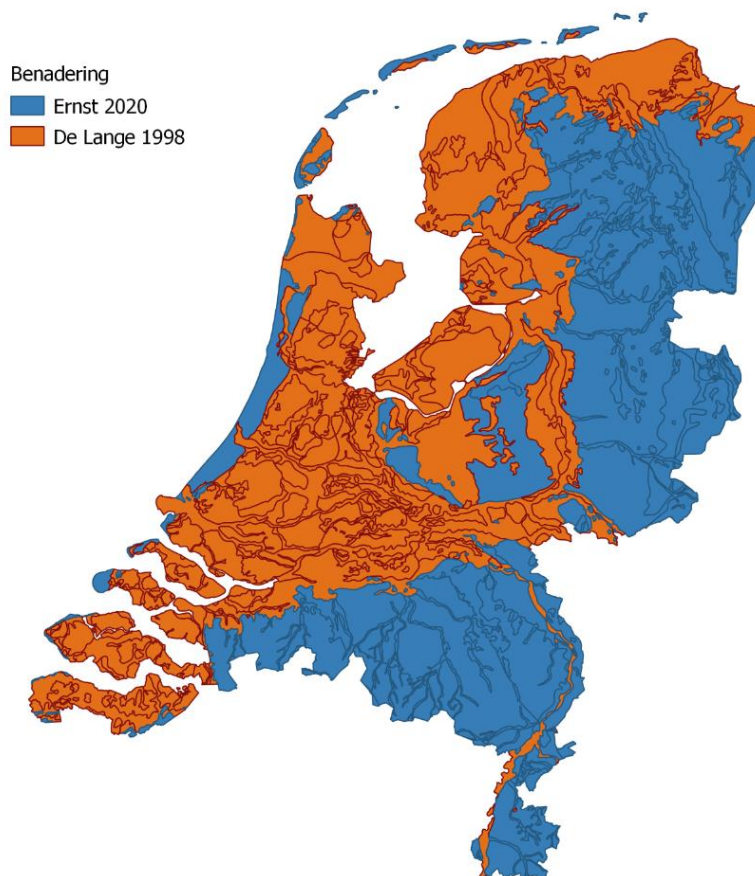
1. Voor de modellering in het NHI wordt met de huidige inzichten de volgende conceptuele benaderingen aanbevolen (zie voor toelichting de textboxes aan het eind):

- Gebruik Ernst herziening 2020 voor een situatie met één (freatisch) watervoerend pakket
- Gebruik de formule van De Lange (1998) voor Holoceen Nederland
- Gebruik Hooghoudt voor gebieden waar buisdrainage dominant is

2. Deze indeling in verschillende benaderingen kan worden ingevuld met behulp van de Hydrotype benadering. Een eerste indruk van zo'n indeling is gegeven in figuur 1. Uit een dergelijke indeling kan worden afgeleid waar de Ernst herziening wordt aanbevolen, en waar de formule van De Lange (1998). Aanbevolen wordt dit verder uit te werken m.b.t. van de 7 hoofdgroepen in de Hydrotypen (Massop et al, 2000, zie dataportaal NHI).

3. Gebruik iGrOw als gereedschap om gevoeligheden verder te verkennen, dit kan leiden tot een aanscherping van de bovengenoemde indeling en de overgang tussen deze formules.

4. Bij kalibratie van NHI toepassingen wordt aanbevolen om eerst vanuit Q-h relaties te redeneren, vervolgens in deelweerstand.



Figuur 1: Indruk voor indeling voor het gedifferentieerd gebruik van de Formule van De Lange (1998) en Ernst (revised, 2020), op basis van de huidige hydrotypen.

Verder wordt m.b.t. de organisatie van de **informatievoorziening** geadviseerd:

5. Ontsluit iGROW via de website van het NHI.

6. Verzamel de relevante literatuur en ontsluit deze via de website van het NHI. In het algemeen geldt dat over veel keuzes al eerder is nagedacht. Een overzicht van deze literatuur helpt de gebruikers in het NHI.

7. Actualiseer de NHI-rapportage uit 2008 (deelrapport freatische lekweerstanden, projectteam NHI, 2008) met de nieuwe inzichten besproken in deze workshop.

Voor **vervolgactiviteiten** wordt geadviseerd:

8. Organiseer een vervolg workshop die dieper ingaat op het toekennen van parameterwaarden en praktische toepassing van de geadviseerde benadering in (regionale en landelijke) grondwatermodellen. Daarbij kunnen de volgende stappen worden gevolgd:

- Verzamel en catalogiseer de bestaande literatuur. Behalve theorie, betrek hier ook vooral veldonderzoek, metingen, enzovoorts, in.
- Scherp de aanbeveling 1 waar nodig aan op basis van aanvullend onderzoek voor situaties met meerdere pakketten.
- Besteed aandacht aan bepaling van conceptuele keuzes uit de basisdata (leggers, peilvakken, hydrotypen, GeoTOP, enzovoorts). Toets dit niet alleen op basis van theorie, maar ook juist door voor de verschillende situaties in Nederland met parameters op fijnere schaal door te rekenen. Een aantal van deze onderwerpen heeft in de presentatie de revue gepasseerd: doorstroomde dikte, slotafstanden, wanneer de Lange 1998 versus Ernst herziening 2020 toepassen, sloten die meer modellagen doorsnijden.
- Ontwikkel benaderingen voor niet-lineairiteiten. Oplossingen kunnen relatief eenvoudig zijn (bijvoorbeeld een parallelle weerstand voor taluduitstroming), en kunnen effectief getoetst worden met behulp van iGrOw.
- Onderzoek en zet op een rijtje welke gemeten data gebruikt kan worden om de gesimuleerde grondwater-oppervlaktewater interactie met metingen te vergelijken ter validatie en kalibratie.

Tot slot wordt geadviseerd

9. De **expertgroep** die betrokken is bij de voorbereiding van de presentaties in te zetten en te **betrekken bij de verdere uitwerking** van dit onderwerp binnen NHI.

10. Binnen het NHI een **community of practice** rond dit onderwerp te organiseren, waarbij de **kennis over dit onderwerp verder wordt overgedragen** aan de nieuwe generatie hydrologen.

Uitbreiding van de formule van Ernst (2020)

$$c_{celdrn} = c_{intree} + c_{radiaal} + c_{horizontaal} + c_{lateraal} + c_{verticaal}$$

Met:

$$c_{intree} = c_{bodem} \frac{W_{cel} + B_{eff}}{B_{eff}}$$

$$B_{effectief} = \frac{B}{F_B}$$

$$\lambda_B = \sqrt{k_h D c_{bodem}}$$

$$F_B = B / 2\lambda_B + \frac{1}{1 + B / 2\lambda_B}$$

$c_{radiaal}$: zie tekstbox De Lange 1998

$$c_{horizontaal} = \frac{W_{cel}^2}{12k_h D} \frac{W_{cel}}{L}$$

$$c_{lateraal} = \frac{W_{cel}^2}{8k_h D} \frac{(L - W_{cel})}{L}$$

Met als Coëfficiënt voor fluxverhouding als $W_{cel} < L$:

$$\frac{q_{cel_Pn}}{q_{cel_totaal}} = \frac{W_{cel} * P_n}{L * P_n} = \frac{W_{cel}}{L}$$

$$c_{verticaal} = \frac{2D}{k_v}$$

Met:

L : gemiddelde slootafstand (zie verderop factor W_{cel} en L)

W_{cel} : cel breedte

D : doorstroomde dikte

k_h : horizontale doorlatendheid

k_v : verticale doorlatendheid

c_1 : weerstand van eerste slecht doorlatende laag

c_{bodem} : weerstand van slootbodem

B : natte omtrek van sloot

P_n : grondwateraanvulling

λ_L : spreidingslengte voor landdeel

λ_B : spreidingslengte voor slootdeel

ω : fractie nat oppervlak in de cel

Textbox: Formule van De Lange (1998)

$$c_{celdrn} = \frac{1}{\frac{\omega}{c_B} + \frac{1-\omega}{c_L}} + c_{rad} - c_1'$$

Met:

$$c_L = (c_{bodem} + c_1')F(x_L) + c_{bodem} \frac{L}{B} F(x_B)$$

$$c_B = \frac{(c_{bodem} + c_1')}{c_L - c_{bodem} \frac{L}{B}} c_L$$

$$c_{rad} = \frac{L}{\pi \sqrt{k_h k_v}} \ln \left(\frac{4D}{\pi B} \sqrt{\frac{k_h}{k_v}} \right)$$

$$c_1' = c_1 + \frac{D}{k_v}$$

Waarbij:

$$\lambda_B = \sqrt{\frac{k_h D c_1' c_{bodem}}{c_1 + c_{bodem}}}$$

$$\lambda_L = \sqrt{c_1' k_h D}$$

$$x_B = \frac{B}{2\lambda_B}$$

$$x_L = \frac{L}{2\lambda_L}$$

$$F_X = X / 2\lambda_X + \frac{1}{1 + X / 2\lambda_X}$$