

Klein FDM model tussen analytische oplossing en Grondwatersimulator, dat voor elke plek in Vlaanderen interventies voor de Voortoets kan simuleren

T.N.Olsthoorn

Nov. 8, 2025

1 Intro

De Voortoets is een digitaal instrument van de Vlaamse Overheid, Agentschap Natuur en Bos, om aanvragen voor een vergunning betreffende een ingreep in het grondwatersysteem te bespoedigen. Doel is een snelle screening via een website om te bepalen of een voorgenomen ingreep gevolgen kan hebben voor beschermende gebieden en op grond daarvan al dan niet een dieper gaand onderzoek behoeft naar effecten. De huidige Voortoets beperkt zich tot het analytisch berekenen van de veranderingen van de grondwaterstand die het gevolg is van de ingreep. Dit geldt ook voor het hier voorgestelde kleine Eindige Differentie Model, dat de voorlopige naam **Vtfdm** draagt (Voortoets Finite Difference Model).

Na het invullen op de bewuste website van essentiële concrete kenmerken van de voorgenomen ingreep, waaronder type, locatie, omvang en diepte, opgelegde verlaging, onttrekking, wordt een tijdsafhankelijke berekening uitgevoerd van de te verwachten verlaging van de grondwaterstanden in de ruime omgeving van de ingreep. Deze verlaging vervolgens getoetst aan de ligging van beschermde gebieden, waarna een beoordeling volgt of er een nadere studie nodig is vooraleer de aanvraag in behandeling wordt genomen.

Om de Voortoets eenvoudig te houden, maken de berekeningen binnen de Voortoets gebruik van relatief eenvoudige wiskundige formules, die in het algemeen slechts toepasbaar zijn voor gestileerde situaties. Zulke beperkingen vloeien voort uit de vereenvoudigingen waaraan de omgeving moet worden onderworpen om de formule ze toepasbaar te maken. Dit hoeft overigens geen beperking te zijn aangezien een expliciete eis bij de ontwikkeling van de Voortoets was dat zij eenvoudig toepasbaar is.

Een alternatief is gebruik te maken van de „Grondwatersimulator” die voor geheel Vlaanderen is ontwikkeld. Deze houdt rekening met de geologie en het oppervlaktewater zoals dat daadwerkelijk in Vlaanderen voorkomt. Een nadeel van de Grondwatersimulator voor de Voortoets is zijn grotere complexiteit, die hem zeer geschikt maakt voor nader onderzoek maar minder voor snelle screening op een website.

Verbeteringen van de bestaande Voortoets, zodanig dat de berekeningen eenvoudig blijven maar toch beter rekening houden met lokale omstandigheden, zouden meer geavanceerde wiskundige formules kunnen vereisen of een keuze binnen de Voortoets van welke wiskundige formule(s) toepasbaar zijn in de specifieke situatie van een willekeurige aanvraag. De mogelijkheden langs deze weg zijn beperkt en maken de Voortoets bovendien erg complex, zonder uiteindelijk voldoende algemeen te kunnen worden. Een hier voorgesteld alternatief zou wel aan de eisen van eenvoud, snelheid en voldoende algemene toepasbaarheid kunnen voldoen. Dit alternatief bestaat uit het binnen enkele seconden automatisch genereren van een eenvoudig eindig differentiemodel van beperkte omvang rondom de voorgenomen ingreep. Het voordeel is dat zo’n model in tegenstelling tot analytische formules wel goed rekening kan houden met complexe stelsel van oppervlaktewater dat men rond een ingreep aantreft. De hierna uitgewerkte aanpak baseert zich op de gegevens uit de Grondwatersimulator, zodat het daarmee feitelijk consistent is, maar desondanks eenvoudig blijft. Doel is zo’n model automatisch voor elke willekeurige plek in Vlaanderen binnen een beperkt aantal seconden te genereren, door te rekenen en de uitkomsten te presenteren.

2 Motivatie en stapsgewijze opzet

Motivatie is de eis tot eenvoud. Bovendien is al in de onderbouwing van de huidige Voortoets gesteld dat de berekeningen beperkt zullen worden tot het freatisch pakket. Door hieraan het oppervlaktewater als bovenrandvoorwaarde toe te voegen krijgen we een complete vereenvoudigde benadering van het grondwatersysteem, dat goed in een eenvoudig numeriek tijdsafhankelijk model kan worden gevat. Aangezien het bij de Voortoets gaat om de effecten van de voorgenomen ingreep op het grondwater kan worden volstaan met het berekenen van de verlagingen (veranderingen) van de grondwaterstanden in de ruime omgeving van de ingreep. Door de berekening tot verlagingen (veranderingen) te beperken is het niet nodig om de complexe omgevingsdetails in dit model op te nemen. Situaties met droogvallend oppervlaktewater ten gevolge van de ingreep zijn dan ook niet inbegrepen, hoewel in principe wel mogelijk.

De aanpak is als volgt:

- Aanvrager vult op de website de voor zijn ingreep verlangde gegevens in die de interventie eenduidig definiëren. De website genereert een interventie bestand in **.json** formaat zoals door AGT is toegepast in zijn proefberekeningen waarin 45 verschillende interventies zijn uitgewerkt. Hiermee kan het model eenduidig worden opgezet en doorgerekend.
- Het lokale model wordt gegenereerd waarbij de lokale laagopbouw en laageigenschappen worden ontleend aan de gegevens van de Grondwatersimulator voor deze locatie. Het krijgt een standaard omvang, bijvoorbeeld 15x15 km. De gelaagdheid is uniform in overeenstemming met die van de Grondwatersimulatie op deze locatie. De laageigenschappen zijn ook uniform, net zoals ze dat trouwens ook in de Grondwatersimulator zijn. Hoewel de Voortoets zich wil beperken tot het freatisch pakket kan voor dit model even gemakkelijk de volledige gelaagdheid worden meegenomen.
- Het oppervlaktewater binnen het lokale model wordt geknipt uit een bestand voor heel Vlaanderen en wordt gebruikt in de cellen van het model die door dit oppervlaktewater worden doorsneden. De „conductantie” (Eng. conductance) wordt berekend uit de lengte aan oppervlaktewater binnen elke modelcel maal een standaard breedte van 5 m en gedeeld door een standaard weerstand van 5 d. Dit zijn keuzen die ongetwijfeld tot discussie zullen leiden. Voorlopig wordt voor het oppervlaktewater de publiek beschikbare Open Street Map gebruikt van heel België.
- De berekening wordt tijdsafhankelijk doorgerekend. In principe voor een jaar, daarbij de opgegeven variaties van de onttrekking of verlaging volgend. Seizoenale onttrekkingen en bouwputbemalingen duren in de regel korter dan een jaar.
- De resultaten worden samengevat en gepresenteerd. Dit gaat in de vorm van een aantal grafieken. Een grafiek geeft de verlagingcontouren voor een geschikt moment. De tweede grafiek geeft het verloop van de verandering van de grondwaterstand en stijghoogtes ter plekke van het receptorpunt, meestal het centrum van de ingreep. De derde grafiek geeft het verloop van de debieten. Afzonderlijk zijn dit het debiet van punten met een opgelegde verlaging, het debiet van punten met een gegeven onttrekking of infiltratie, het debiet dat onttrokken wordt aan het oppervlaktewater en het debiet dat door de berekende grondwaterstandsveranderingen vrijkomt uit berging. Ook wordt een tekst gegenereerd waarin de interventie is vastgelegd en het verloop van deze debieten wordt getabelleerd.

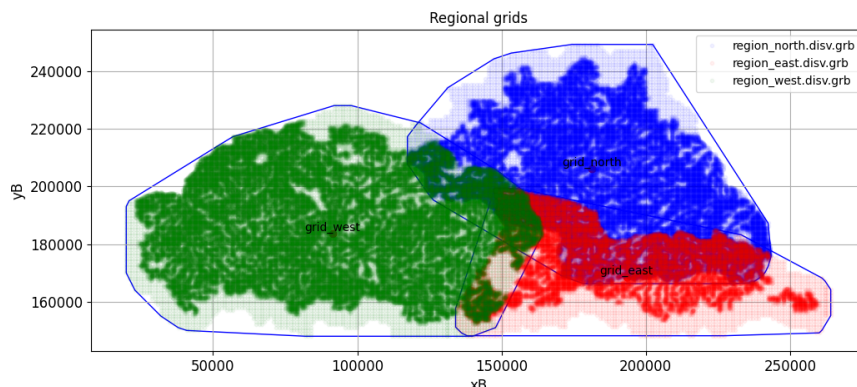
De verlaging zal in de regel niet de (dichte, gesloten) rand van het model bereiken. Dit kan worden gecontroleerd aan het verlagingenbeeld. Mocht de verlaging wel de rand van het model bereiken dan kan de berekende verlaging als worst-case worden beschouwd, of men concludeert dat nader onderzoek nodig is, of men kiest een ruimer model worden gekozen. Maar een modelomvang van 15x15 km blijkt in het merendeel van de gevallen ruim genoeg.

3 Implementatie

3.1 Relatie met de Grondwatersimulator

Het eindige differentiemodel wordt gebaseerd op de gegevens van de Grondwatersimulator. Deze heeft drie regionale modellen die 'W', 'N' en 'E' (west, noord en oost) zijn genoemd. Fig. 1 laat de knooppunten van

deze drie modellen zien.



Figuur 1: Knooppunten van de drie regionale grids van de Grondwatersimulator met omhullende. Coördinaten zijn van de nationale Belgische projectie EPSG:31370.

De door Modflow gegenereerde binaire grid-bestanden (.grb bestanden) zijn beschikbaar. Deze kunnen door **Flopy** worden ingelezen, waarna hun gegevens kunnen worden opgevraagd. Dit betreft in essentie de coördinaten van de knooppunten (Fig. 1), van de celmiddenen als ook de laagopbouw bij elke cel.

Elk van de regionale modellen van de Grondwatersimulator heeft een vaste laagopbouw. Een model heeft 13, het tweede 14 het derde 15 lagen. De laagopbouw is binnen een model overal hetzelfde, dus alle lagen komen overal binnen het model voor. Alleen waar zij in de werkelijkheid afwezig zijn, is de betreffende laagdikte gelijk aan nul. Dit is een zeer consequente en gemakkelijk te interpreteren opzet.

De 15 voorkomende geologische lagen hebben de volgende namen:

['A0100', 'A0210', 'A0220', 'A0230', 'A0240', 'A0250', 'A0300', 'A0400', 'A0500', 'A0600', 'A0700', 'A0800', 'A0900', 'A1000', 'A1100']

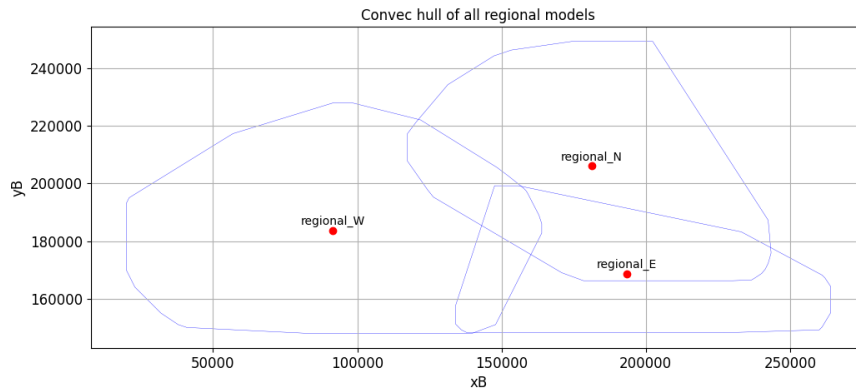
Deze lagen komen in de regionale modellen altijd in deze volgorde voor, beginnend met 'A0100'. Als een regionaal model minder dan 15 lagen heeft, dan ontbreken de laatste van de rij.

Voor het genereren van een lokaal model is een hulpbestand gemaakt met daarin belangrijke eigenschappen van de drie regionale modellen. Van elk model is de zogenoemde „convex hull” (kortste omtrek rond het modelnetwerk). Voorts is daarin het zwaartepunt van alle knooppunten opgenomen (Afb. 2).

Omdat de laagopbouw in elk model consistent is, en de bodemeigenschappen binnen de Grondwatersimulator constant zijn over het hele model, zijn deze direct toegevoegd aan de modelinformatie in het hulpbestand. Dit betreft de parameters '**k**', '**k33**', '**ss**' en '**sy**', die zijn getrokken uit de **.npf** en **.sto** bestanden van de drie regionale modellen. Voor 15 lagen gaat het slechts om hoogstens 60 getallen per model.

3.2 Gegevens voor het lokale model

Via dit hulpbestand kunnen nu gemakkelijk voor elk willekeurige locatie in Vlaanderen de bodemopbouw en de laageigenschappen worden verkregen. Dit werkt als volgt. Gegeven de coördinaten van het centrum van de voorgenomen interventie, kan op basis van de opgeslagen modelomtrek direct worden opgevraagd in



Figuur 2: Kortste omtrek om de drie regionale modelnetwerken en centrale punten van deze omhulsels

welk regionaal model de locatie ligt. Wanneer de locatie in twee deels overlappende regionale modellen ligt, wordt het model gekozen waarvan de locatie het dichtst bij het centrum van het model ligt. Een alternatief is om het model te kiezen waarin de locatie het verst van de omtrek ligt. Hiermee is het regionale model bekend waar de locatie in ligt. Dan worden de coördinaten van de celcentra opgevraagd uit het betreffende binaire gridbestand, en wordt gekeken welke cel zich het dichtst bij de locatie bevindt. Van deze cel wordt de laagopbouw opgevraagd en gebruikt voor het te genereren eindige differentiemodel. De lokale laagopbouw volgt dus uit de lagen in het regionale model waarvan de dikte niet nul is. Van deze lagen worden ook de laageigenschappen opgevraagd. Hiermee is de zijn het centrum, de laagopbouw en de laageigenschappen van het te genereren lokale eindige differentiemodel bekend.

3.3 Netwerk voor het lokale model

Hierna wordt het netwerk in het horizontale vlak gegenereerd voor het lokale model. De meeste ingrepen hebben een zogenoemd interventiepolygon, zoals de omtrek van een bouwput, een verhard oppervlak. Er wordt een rechthoekig netwerk met cellen van 10x10 m gemaakt waar de interventiepolygon geheel in past. Daarbuiten neemt de celwijdte vanaf 10 m toe met een factor 1.25 per kolom of rij cellen. Ieds dergelijks gebeurt wanneer een interventie een of meer putten of retourputten omvat. De gezamenlijke putten vormen dan het interventiepolygon.

Met deze gegevens kan het hele lokale modelnetwerk worden gegenereerd.

Het model is rondom gesloten en moet dus groot genoeg zijn. Gekozen is voor 15x15 km.

3.4 De randvoorwaarden

De randvoorwaarden van het model worden gevormd door enerzijds de interventie zoals een onttrekking of een bemaling, en anderzijds het oppervlaktewater.

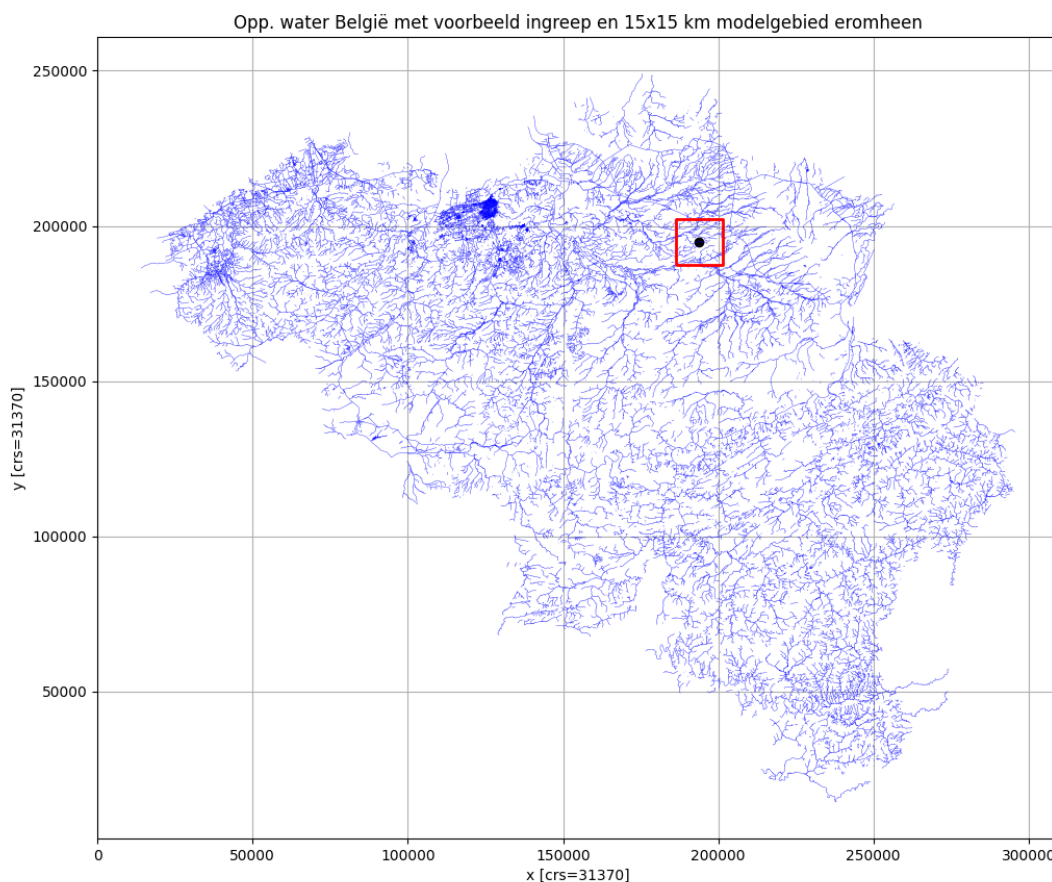
De door te rekenen interventie moet worden omgezet naar randvoorwaarden voor het model. Voor putten en retourputten is dat steeds een gegeven onttrekking of infiltratie in de cel waarin zich de put bevindt. Voor bemalingen is dat een opgelegde verlaging binnen de cellen die deel uitmaken van de bouwput. Voor een te verhard oppervlak is dat een onttrekking gelijk aan het neerslagoverschot in de cellen die tot het

verharde oppervlak behoren. Een verharding zonder retourwater impliceert immers dat een deel van het neerslagoverschot aan het grondwatersysteem wordt onttrokken.

Elke interventie gaat gepaard met een tijdpad. Steeds wordt per interventieobject zoals een bronbemaling of een put de verlaging of onttrekking opgegeven vanaf een bepaald moment. Een verlaging, bijv. gespecificeerd als $[[0, 1.5], [183, 0]]$ betekent dat deze start met 1.5 m op $t = 0$, en weer terug gaat naar 0 op $t = 183$ d. Een dergelijk schema kan onbeperkt worden uitgebreid. Voor putten wordt een plaats van de verlaging het debiet opgegeven en voor verharde oppervlakken het percentage, maar steeds op dezelfde manier.

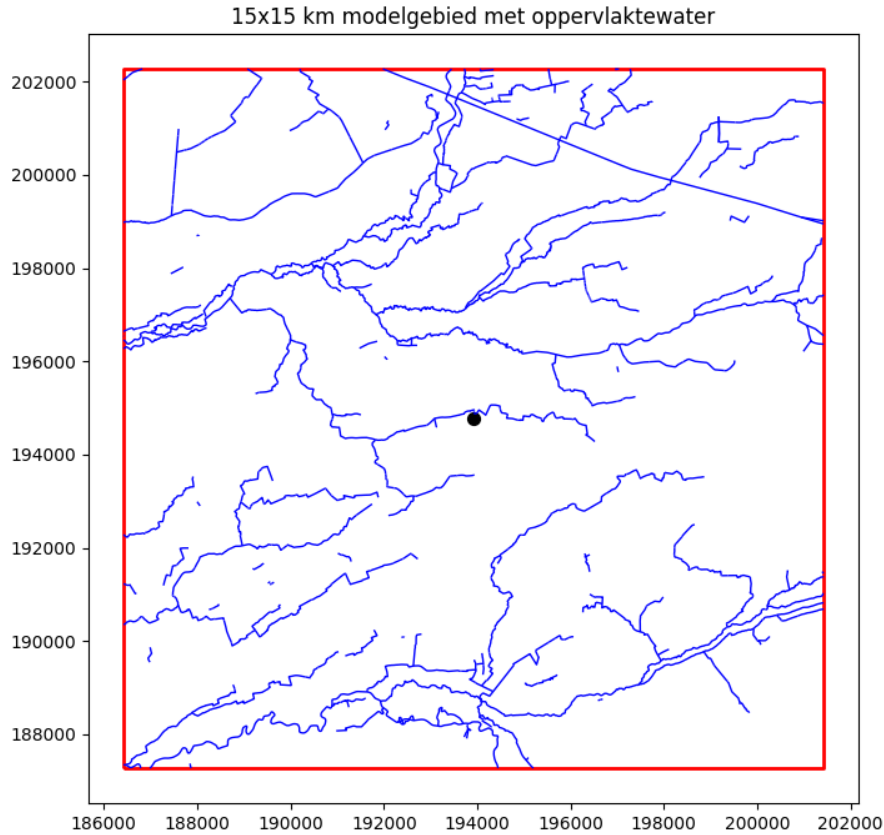
3.5 Het oppervlaktewater

Het oppervlaktewater is een belangrijke randvoorwaarde die speciale aandacht verdient. Het oppervlaktewater bepaalt hoever de verlagingcontouren uiteindelijk zullen reiken. Op korte termijn is dat vooral de berging. Het oppervlaktewater, de waterlopen, worden als vast beschouwd; zij hebben vast peil en vallen ook niet droog tijdens de simulatie. Voor het oppervlaktewater worden de waterlopen van de Open Street Map gebruikt (Afb. 3). Dit vectorbestand is zo goed als compleet en accuraat, behalve voor wateroppervlakken. Het bevat echter geen gegevens over de eigenschappen van de waterlopen. Voor de breedte en bodemweerstand zijn derhalve voorlopig standaardwaarden worden gekozen, namelijk 5 m en 5 d.



Figuur 3: Oppervlaktewater in België (coördinatensysteem EPSG:31370) met locatie van voorbeeld-ingreep ($x = 193919$, $y = 194774$), en modelgebied van 15x15 km rondom

Het oppervlaktewater binnen het lokale model wordt uit dit nationale vectorbestand geknipt (zie fig. 4).

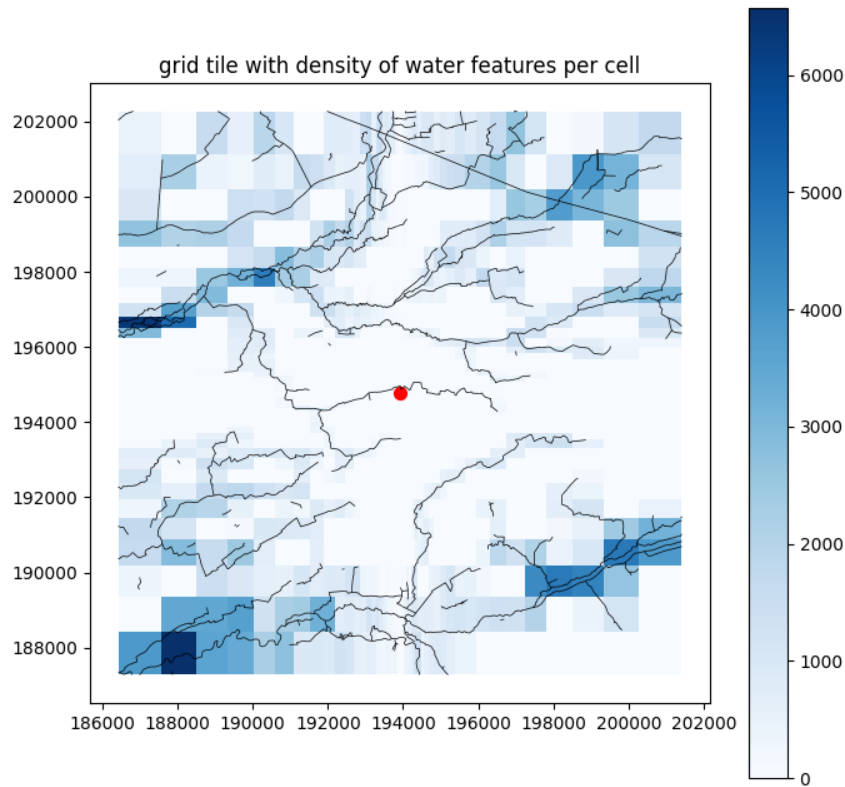


Figuur 4: Omvang van een lokaal model, 15x15 km rondom het centrum van de ingreep locatie ($x = 193919$, $y = 194774$)

In een volgende stap wordt het oppervlaktewater binnen het lokale model gesneden met het voor dit lokale model gegenereerde netwerk van cellen dat uit kolommen en rijen bestaat. Dit levert de lengte aan waterlopen binnen elke modelcel op (Fig. 5). Deze lengte L met de gekozen breedte b en bodemweerstand c van de waterlopen levert de zogenoemde conductantie ($C = Lb/c$ [m²/d]) die de factor die de interactie bepaalt tussen modelcel en het oppervlaktewater als zogenoemde (Dit is de General Head Boundary (GHB) van Modflow.

3.6 Beginvoorwaarde

Het lokale model rekent alleen de verlagingen/verhogingen uit ten gevolge van de interventie. Om deze reden wordt de stijghoogte van al het oppervlaktewater op nul gezet en geldt dit ook voor de stijghoogte aan het begin van de simulatie. Absolute grondwaterstanden kunnen alleen worden berekend wanneer ook de waterstanden van het oppervlaktewater bekend zijn en de beginstijghoogte in het gehele model.



Figuur 5: 15x15 km vlak met zichtbaar modelnetwerk, oppervlaktewater en totale lengte aan oppervlaktewater per modelcel in kleur. De locatie van de ingreep is in het centrum ($x = 193919$, $y = 194774$)

3.7 Berekening

Vervolgens wordt het model tijdsafhankelijk doorgerekend. Dit gaat in een aantal tijdstappen die met een vaste factor, meestal 1.25 groeien tot een volgend moment waarop een verlaging of onttrekking verandert. Vanaf dat moment wordt verder gerekend waarbij weer begonnen wordt met een kleine tijdstap die weer groeit met dezelfde factor. Enzovoort. De tijdstappen zijn dus niet constant, en steeds vanaf een wijziging van een van de randvoorwaarden wordt de berekening voortgezet beginnend met een kleine tijdstap.

3.8 Modelcode

De berekeningen worden uitgevoerd met een in Python geschreven Eindig Differentie Model, **fdm3t**, dat beschikbaar is via

<https://github.com/Olsthoorn/tools/tree/master/fdm/src>

Het model rekent tijdsafhankelijk, praktisch zoals Modflow 5, gebaseerd op een netwerk dat bestaat uit rijen, kolommen en lagen, eveneens zoals bij Modflow 5. Het accepteert de specificatie onttrekkingen, vaste stijghoogten en zogenoemde general head boundaries en gaat er ook vanuit dat het doorlaatvermogen van de lagen constant is. Dit houdt het model lineair en snel. Er ook een versie die tevens RIV en DRN randvoorwaarden kent als in Modflow en wel variabele laagdikten aan kan, maar dat is hier niet nodig. Uiteraard kan later besloten te worden voor de berekening direct Modflow te gebruiken.

Na de berekeningen zijn de resultaten beschikbaar in een zogenoemde dictionary. Deze bevat de tijd, het netwerk, de stijghoogten en de verschillende soorten debieten.

3.9 Resultaten

De resultaten kunnen op verschillende manieren worden gepresenteerd. Momenteel is dat

1. Verloop grafische van de stijghoogte in alle lagen voor het „receptor punt”, het centrum van de interventie.
2. Het grafische verloop van de verschillende debietsoorten voor het hele model: Totaal onttrokken (of geïnfilteerd), totale uitwisseling via punten met vaste stijghoogte (zoals van de bouwput), totale uitwisseling met het oppervlaktewater, en totale uitwisseling met de berging.
3. Een tekst bestand met de debieten per tijdstap.
4. Een platte grond van het model met daarop de interventie (putten, bouwput, bouwsleuven e.d.), het oppervlaktewater (sloten, beken, kanalen, rivieren) en de berekende verlaging op het moment dat de verlaging weer naar nul gaat of de onttrekking staaft danwel na 365 dagen.
5. Een specificatie van de interventie.

4 Voorbeeld

Fig. 6 geeft een voorbeeld van een ingreep met verlaging binnen een bemalingscontour („dewatering-polygon”_ omringd door retourputten. De verlagingen zijn getekend voor de tijd waarop de onttrekking aan het oppervlaktewater maximaal is, dat wil zeggen, het moment waarop de verlagingen maximaal zijn. Dit moment valt hier op $t = 200$ d. Het model netwerk is ingetekend om een beeld te hebben van hoe fijn of grof dit is. Verder zijn de interventies weergegeven, te weten de omtrek van het ontwateringsvlak (de bouwput) en de retourputten. Putten zijn alleen zichtbaar wanneer ze zich in het bovenste watervoerende pakket bevinden; dat is hier het geval, maar bij een aantal permanente winningen niet. Dit kan altijd worden aangepast. De figuur laat duidelijk zien hoe groot de invloed van het oppervlaktewater is.

Fig. 7 geeft het verloop van de verlaging in het receptorpunt voor alle modellagen. De blauwe lijn is de verlaging in laag 0. Dit is duidelijk de opgelegde verlaging in de bouwput. De oranje lijn is de verlaging in de laag daaronder.

Fig. 8 toont het verloop van de debieten. Dit zijn achtereenvolgens:

Qfh (fh=fixed head, CHD in Modflow). Dit is het totale debiet [m^3/d] via cellen met opgelegde verlaging. Hier is dit de onttrekking door de gehele bouwput.

Qfq (fq = fixed Q, WEL in Modflow). Hier is dit het totale debiet [m^3/d] van de retourputten.

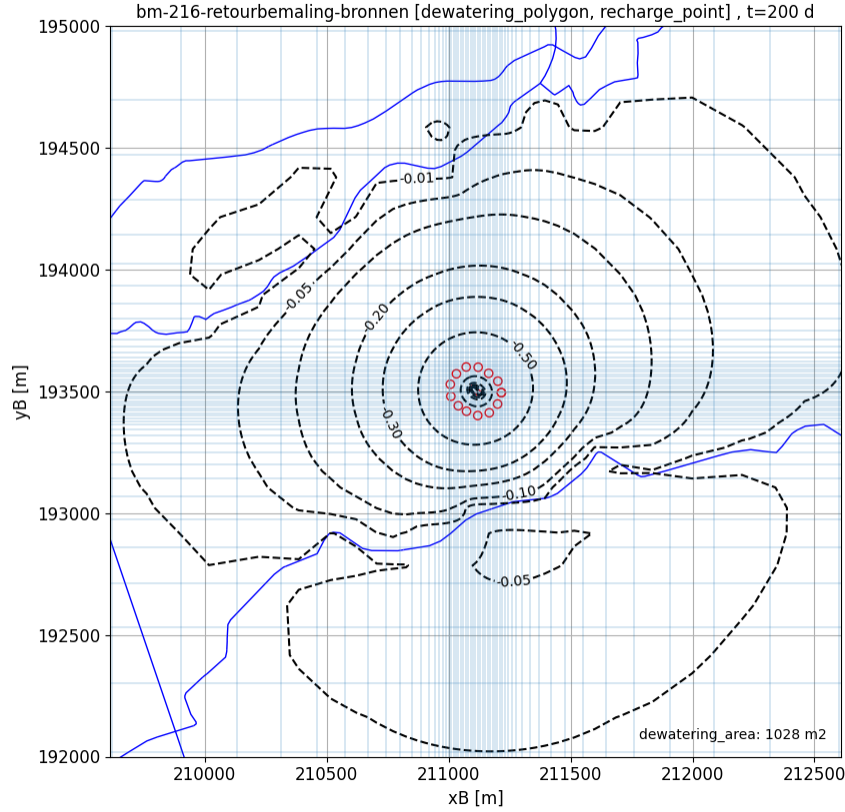
Qghb (ghb = general head boundary, GHB in Modflow). Hier het totale debiet [m^3/d] vanuit het oppervlaktewater naar het grondwater.

Qsto (sto = storage, STO in Modflow). Het totale debiet [m^3/d] vanuit de berging.

De som van deze debieten is altijd nul.

De **Qfq** (putten) is gering, maar is zoals gespecificeerd. De **Qghb** loopt geleidelijk op omdat bij toenemende verlaging de voeding vanuit het oppervlaktewater ook geleidelijk toeneemt. Het maximum ligt in dit geval bij $t = 200$ d; dit is het moment waarvoor de contourlijnen zijn weergegeven in fig. 6.

Het debiet van de cellen met opgelegde verlaging, **Qfh**, vertoont een piek op $t = 0$ wanneer de verlaging plotseling wordt opgelegd en opnieuw op $t = 183$ wanneer de verlaging even plotseling weer naar nul wordt gebracht. De uitkomst is correct omdat in theorie een plotselinge verlaging op het moment zelf een oneindig groot debiet teweeg brengt. In de werkelijkheid wordt een dergelijke verlaging pas na een paar dagen bereikt



Figuur 6: Berekende verlaging [m] voor een verlaging binnen de omtrek van een bouwput omringd door retourputten. Het moment van maximale verlaging is hier 200 d. De blauwe lijnen zijn waterlopen.

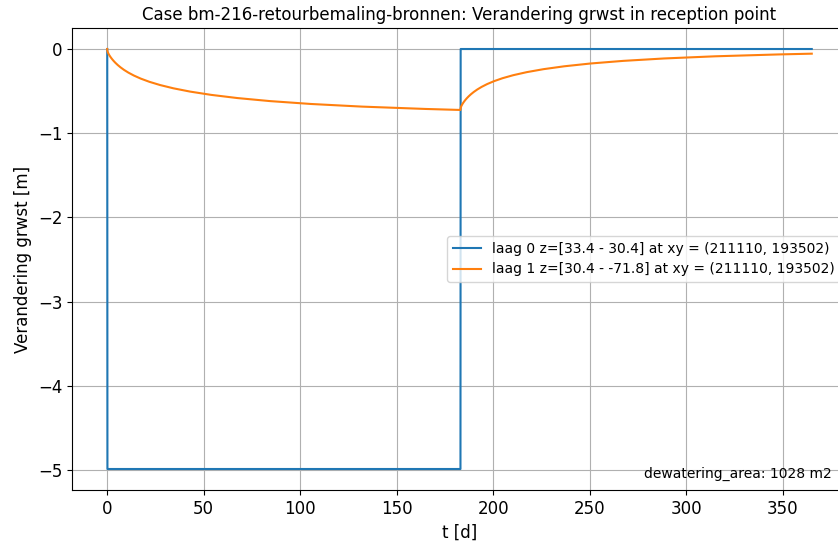
via het bemalen met bronnen. In dat geval neemt de Q_{fq} geleidelijk toe maar is de Q_{fq} constant en gelijk aan het debiet van de bemaling (minus retourputten). In theorie komt al het water ogenblikkelijk na een plotselinge verlaging uit de berging. Vandaar dat ook Q_{sto} pieken vertoont op de momenten waarop de verlaging plotseling verandert. Deze pieken zijn even groot maar tegengesteld aan die van Q_{fh} .

De tabel hierna geeft de debieten voor elke tijdstap.

Op dezelfde wijze zijn alle 45 voorbeeld interventies doorgerekend en gepresenteerd.

5 Conclusie

We kunnen met een eenvoudig Eindig Differentie Model de verlaging/grondwaterverandering door een willekeurig ingreep op een willekeurige plek binnen Vlaanderen uitrekenen op basis van de laagopbouw en de laagegenschappen die de Grondwatersimulator voor die locatie bevat. In die zin is de berekening consistent met de Grondwatersimulator. Het lokale model houdt echter geen rekening met het verloop van de laagdikte, de opbouw ter plaatse van de ingreep wordt in het gehele lokale model aangehouden. Het lokale model houdt geen rekening met verschillen tussen de breedte en bodemweerstand van waterlopen. Evenmin kunnen waterlopen binnen het lokale model droogvallen. Voorts is het doorlaatvermogen constant en verandert dus ook niet bij een verlaging in het freatische pakket. Tenslotte is geen rekening gehouden met eventuele

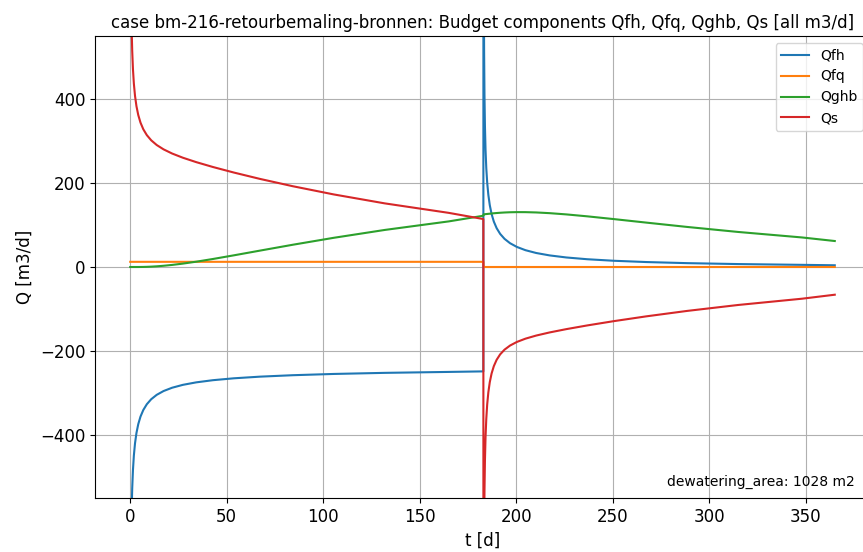


Figuur 7: Verlaging in het receptorpunt (centrum van de bouwput)

gedeeltelijke penetratie van putten. De filterlengte van putten is in het lokale model gelijk aan de dikte van de laag waaruit zij onttrekken.

De hier voorgestelde aanpak biedt ten opzichte van de Grondwatersimulator het voordeel van eenvoud en snelheid, maar mist de nuance van het oppervlaktewater, ruimtelijk variabele pakketdikte en dynamische pakketdikte. Ten opzichte van analytische berekeningen biedt het lokale model het voordeel rekening te kunnen houden met het voorkomen van oppervlaktewater waardoor het een duidelijk betere representatie van de werkelijke verlaging geeft dan met analytische oplossingen mogelijk is.

Het lokale model rekent alle voorbeeldsituaties met de daarin gespecificeerde uiteenlopende interventietypen zonder meer door. De tijd voor het genereren en doorrekenen van het model ligt in de orde van 18 seconden. De meeste tijd kost het selecteren van het oppervlaktewater uit het vectorbestand voor heel België voor het lokale model. Afhankelijk van de hoeveelheid oppervlaktewater en het verloop in de tijd van de sterkte van de ingreep zit er wat variatie in de totale duur, maar 18 seconden is een goede richtlijn op de Macbook Pro, met kloksnelheid 2.3 Ghz op een 8 core Intel processor met 16MB SSD. Wellicht dat Modflow wat sneller rekent, maar veel winst valt er niet te halen door de tijd die het snijden van het waterlopenbestand vergt.



Figuur 8: Verloop van de debieten

Tabel 1: Debieten voor case bm-216-retourbemaling-bronnen [m3/d]

1	Model	water	budget					
3	it	t1	t2	Qfh	Qfq	Qs	Qghb	Q
	0	0.0	0.1	−4998	12	4985	−0	0
5	1	0.1	0.2	−939	12	927	−0	0
	2	0.2	0.4	−764	12	751	−0	0
7	3	0.4	0.6	−656	12	644	−0	0
	4	0.6	0.8	−582	12	570	−0	0
9	5	0.8	1.1	−527	12	515	−0	0
	6	1.1	1.5	−484	12	472	−0	0
11	7	1.5	2.0	−449	12	437	−0	0
	8	2.0	2.6	−420	12	407	0	0
13	9	2.6	3.3	−395	12	383	0	0
	10	3.3	4.3	−374	12	362	0	0
15	11	4.3	5.4	−356	12	344	0	0
	12	5.4	6.9	−340	12	328	0	0
17	13	6.9	8.7	−327	12	314	0	0
	14	8.7	11.0	−315	12	302	1	0
19	15	11.0	13.8	−304	12	290	2	0
	16	13.8	17.4	−295	12	280	3	0
21	17	17.4	21.8	−287	12	270	5	0
	18	21.8	27.4	−281	12	260	8	0
23	19	27.4	34.3	−275	12	250	13	0
	20	34.3	43.0	−269	12	238	19	0
25	21	43.0	53.8	−265	12	225	28	0
	22	53.8	67.4	−261	12	210	39	0
27	23	67.4	84.3	−258	12	192	53	0
	24	84.3	105.5	−255	12	173	70	0
29	25	105.5	131.9	−252	12	151	88	0
	26	131.9	165.0	−250	12	129	109	0
31	27	165.0	183.0	−249	12	114	122	0
	28	183.0	183.1	4749	0	−4875	125	0
33	29	183.1	183.2	691	0	−816	125	0
	30	183.2	183.4	516	0	−641	126	−0
35	31	183.4	183.6	408	0	−534	126	0
	32	183.6	183.8	334	0	−460	126	0
37	33	183.8	184.1	279	0	−405	126	0
	34	184.1	184.5	236	0	−362	126	0
39	35	184.5	185.0	201	0	−327	126	0
	36	185.0	185.6	172	0	−298	127	−0
41	37	185.6	186.3	147	0	−274	127	0
	38	186.3	187.3	126	0	−254	127	−0
43	39	187.3	188.4	108	0	−236	128	0
	40	188.4	189.9	92	0	−221	129	0
45	41	189.9	191.7	79	0	−208	129	−0
	42	191.7	194.0	67	0	−197	130	−0
47	43	194.0	196.8	57	0	−187	130	−0
	44	196.8	200.4	48	0	−178	131	−0
49	45	200.4	204.8	40	0	−171	131	0
	46	204.8	210.4	33	0	−163	130	0
51	47	210.4	217.3	28	0	−156	128	0
	48	217.3	226.0	23	0	−148	125	−0
53	49	226.0	236.8	18	0	−139	121	0
	50	236.8	250.4	15	0	−129	114	0
55	51	250.4	267.3	12	0	−118	106	0
	52	267.3	288.5	9	0	−105	95	0
57	53	288.5	314.9	7	0	−90	83	0
	54	314.9	348.0	5	0	−75	70	0
59	55	348.0	365.0	4	0	−66	62	0