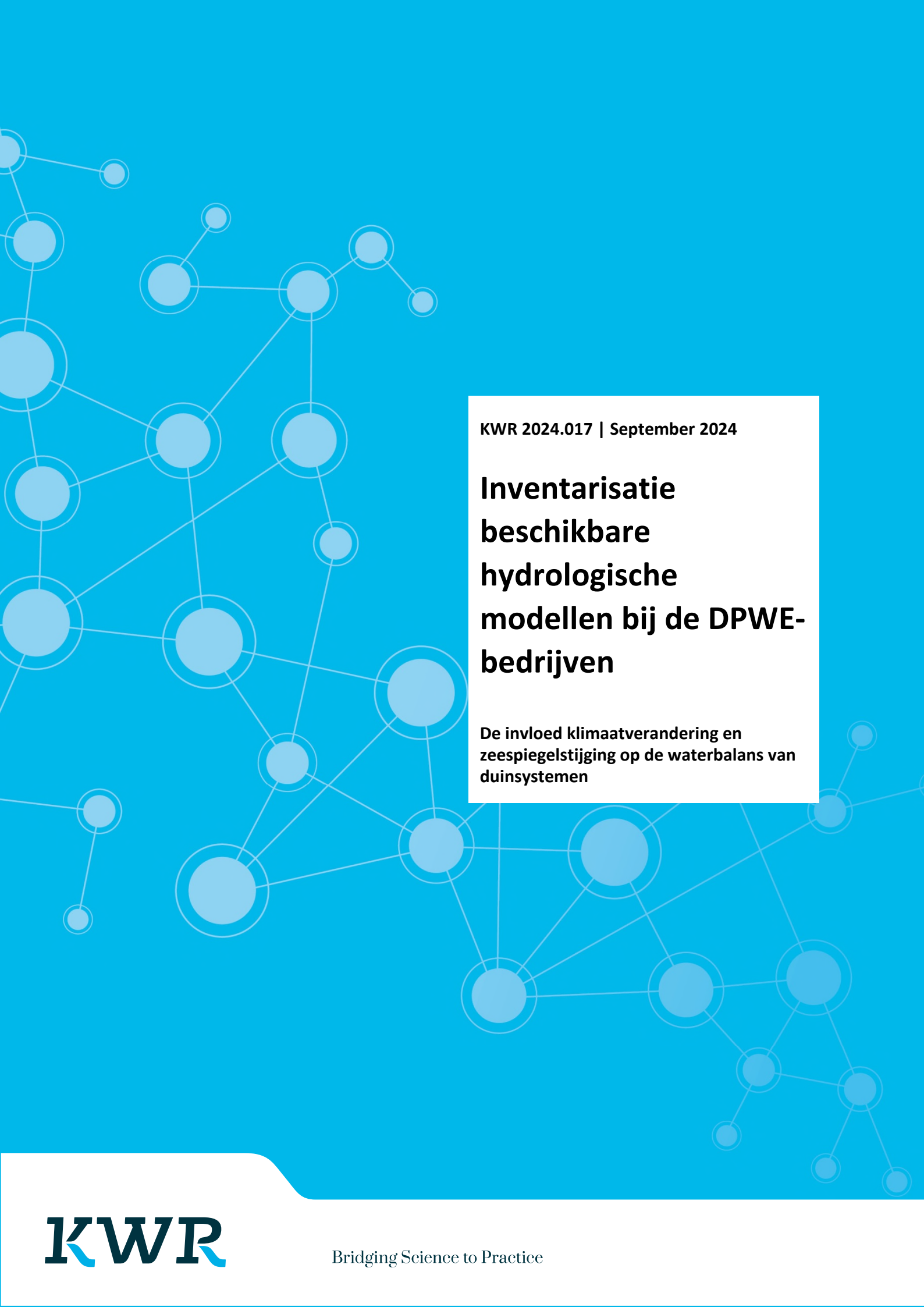




KWR 2024.017 | September 2024

Inventarisatie beschikbare hydrologische modellen bij de DPWE- bedrijven

De invloed klimaatverandering en
zeespiegelstijging op de waterbalans van
duinsystemen

Colofon

Inventarisatie beschikbare hydrologische modellen bij de DPWE-bedrijven

invloed klimaatverandering en zeespiegelstijging op de waterbalans van duinsystemen

KWR 2024.017 | September 2024

Opdrachtnummer

404339.009

Projectmanager

Edu Dorland

Opdrachtgever

DPWE

Auteurs

Sharon Clevers MSc

Kwaliteitsborger

Dr. ir. Gijsbert Cirkel

Verzonden naar

DPWE Begeleidingsgroep Bronnen.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Keywords

Hydrologische modellen, zeespiegelstijging, duinwinnings

Jaar van publicatie

2024

Meer informatie

Sharon Clevers

T +31 30 606 9645

E Sharon.Clevers@kwrwater.nl

PO Box 1072

3430 BB Nieuwegein

The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

KWR

September 2024 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Inhoud

Colofon	2
Inhoud	3
1 Inleiding	4
2 Methode	5
3 Resultaten	6
3.1 Huidige modelcode en huidige ontwikkelingen	6
3.2 Modelgebieden	7
3.3 Zoet-zout grensvlak en topsysteem in de modellen die op dit moment ontwikkeld worden	7
3.4 Toekomstplannen	8
4 Conclusie en aanbevelingen	Error! Bookmark not defined.
5 Literatuur	10

1 Inleiding

Gevolgen van klimaatverandering, zoals verandering in weerpatronen en zeespiegelstijging, kunnen grote effecten hebben op de zoetwaterbel en waterbalans van duinsystemen. Het is nog onbekend hoe dit gaat doorwerken op de duinwaterwingebieden. Dit is mede afhankelijk van het gevoerde kust- en waterbeheer (Stuyfzand et al, 2010; IJf, 2022). Kamps (2008) heeft onderzocht wat de effecten zijn van een zeespiegelstijging van 25 cm tot 2050 voor de Amsterdamse Waterleidingduinen. Met het AMWADU-model vond hij een gemiddelde grondwaterspiegelstijging van 35 cm die tot 1,5 km vanaf de kustlijn doorwerkt. Het is voor de DPWE-bedrijven relevant om de invloed van zeespiegelstijging op de waterbalans in de duinen te modelleren om zo de effecten op duinwaterwinningen te bepalen. Om inzicht te krijgen in de bij de DPWE-bedrijven beschikbare hydrologische modellen om deze processen in de duinsystemen te analyseren, zijn interviews uitgevoerd met specialisten op het gebied van modelleren bij de vier drinkwaterbedrijven. Tijdens de interviews is gevraagd welke modelcodes de bedrijven momenteel gebruiken, en met welk doel deze gebruikt worden. Daarnaast is gevraagd hoe de factoren zoals zoet-zoutgrensvlak en grondwateraanvulling in deze modellen wordt meegenomen. Tot slot is gevraagd wat de plannen zijn voor toekomstige ontwikkeling van deze modellen.

Dit rapport is een aanvulling op de rapportage van Cirkel & Aggenbach (2024), waarin een literatuurstudie is uitgevoerd naar de belangrijkste processen en methodes voor het simuleren van ecohydrologische effecten van zeespiegelstijging en klimaatverandering op duinsystemen. Doel van de aanvullende studie is inzicht te krijgen in de bij de DPWE-bedrijven beschikbare modellen om de genoemde processen in de duinsystemen te analyseren. Door de uitkomsten van de model inventarisatie te combineren met de studie van Cirkel & Aggenbach (2024) is te bepalen in hoeverre de DPWE-bedrijven bruikbare tools hebben voor het berekenen van de in de literatuur beschreven hydrologische effecten van zeespiegelstijging en effecten van klimaatverandering op zoetwatervoorraad en duinvalleien.

In het volgende hoofdstuk worden de geïnterviewden en interviewvragen gepresenteerd. De resultaten van de interviewgesprekken zijn in hoofdstuk 3 uitgewerkt. In hoofdstuk 4 staan de conclusies die hieruit getrokken kunnen worden en enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

2 Methode

Voor dit onderzoek zijn interviews uitgevoerd met specialisten op het gebied van hydrologische modellen bij de DPWE-drinkwaterbedrijven. De volgende specialisten zijn geïnterviewd:

1. Jeroen Daniels: adviseur bronbescherming bij Evides, geïnterviewd op 27-9-2023
2. Bas des Tombe: hydroloog bij PWN, geïnterviewd op 27-9-2023
3. Pierre Kamps: hydroloog bij Waternet, geïnterviewd op 29-9-2023
4. Franck Hogervorst: adviseur tactisch beheer/hydrologie bij Dunea, geïnterviewd op 29-9-2023

Tijdens de interviews zijn de volgende vragen besproken:

1. Welke modelcode gebruiken jullie? Werken jullie bijvoorbeeld met MODFLOW5, MODFLOW6, Triwaco, of iets anders?
2. Gebruiken jullie één algemeen model? Of modellen voor verschillende doelen?
3. Zijn jullie bezig het model/de modellen te veranderen of nieuwe modellen op te zetten? Zo ja, met welke modelcode?
4. Voor welke gebieden hebben jullie regionale modellen beschikbaar? Hebben jullie bijvoorbeeld ook modellen voor niet waterwingebieden?
5. Hoe ga jullie om met het zoet-zout grensvlak in het model: reken je dichtheidsafhankelijk of zit het er met truc in? Zo ja, hoe dan?
6. Hoe wordt het topsysteem meegenomen? En hoe zit specifiek de verdamping en grondwateraanvulling erin? Is de grondwateraanvulling meegenomen via neerslag, verdamping en gewasfactoren of via een bodemvochtbakje, onverzadigde zone model (Hydrus, Metaswap, Swap)?
7. Wat zijn jullie toekomstplannen voor het model/de modellen? Zijn er nog processen die jullie zelf herkennen in het topsysteem die nu nog niet worden meegenomen in het model, maar die jullie in de toekomst wel gaan toevoegen?

In het volgende hoofdstuk wordt de informatie die bij de geïnterviewden is opgehaald besproken. Hierbij wordt aangegeven in hoeverre dit verschilt of overeenkomt tussen de vier DPWE-bedrijven.

3 Resultaten

3.1 Huidige modelcode en huidige ontwikkelingen

De huidige modelcodes die door de DPWE-bedrijven gebruikt worden zijn gebaseerd op Triwaco, MicroFEM en MODFLOW. Evides heeft in verschillende studies gebruik gemaakt van modellen in Triwaco, deze achten ze zelf niet meer bruikbaar aangezien deze gedateerd zijn. Bij PWN zijn gebieds-specifieke modellen opgezet die gebruikmaken van MicroFEM en van Triwaco. Ook hiervan wordt aangegeven dat deze modellen verouderd zijn. Bij Waternet zijn de huidige modellen waarmee gerekend wordt in MODFLOW2000 opgesteld. Dunea gebruikt op dit moment iMOD5.5– MODFLOW 2005/ Seawat, voor het diepe systeem met dichtheidstroming, en Triwaco 4 voor het ondiepe systeem met een bakjesmodel.

Aangezien de DPWE-bedrijven zien dat de huidige modellen (deels) verouderd zijn, lopen er op dit moment ontwikkelingen voor nieuwe modellen/omzetting naar nieuwe modelcode. Voor Evides, Waternet en PWN worden deze nieuwe modellen ontwikkeld in MODFLOW6, benaderd via Python (nlmod en FloPy). Dunea heeft een recent MODFLOW5-Seawat model voor het diepere systeem gebouwd en zal het huidige Triwaco4 model voor het ondiepe systeem gaan vervangen. De hiervoor te gebruiken modelcode is nog geen uitgemaakte zaak. Mogelijke codes zijn MODFLOW6 en Feflow 8 omdat de toekomstige behoeften daarmee mogelijk het makkelijkst kunnen worden ingevuld. Een nadeel van Feflow is dat de Nederlandse adviesbureaus er minder mee werken. Er is echter wel veel internationale beschikbare expertise beschikbaar is.

Momenteel is Evides bezig met het opzetten van grondwatermodellen voor de duinwinningsgebieden Ouddorp en Haamstede in MODFLOW6. Dit zijn de enige twee winningsgebieden van Evides in de duinen. Naar verwachting worden deze modellen in Q1 2024 opgeleverd. Op termijn wil Evides voor de rest van de winningsgebieden, zoals Baanhoek, soortgelijke modellen laten maken. Het doel waarom Evides deze modellen ontwikkelend is om inzichtelijk te maken hoe het infiltratiewater zich in de duinen verspreidt. In de toekomst hopen ze hier ook de effecten van zeespiegelstijging mee in beeld te kunnen brengen.

PWN werkt momenteel aan modellen in MODFLOW6. Samen met HHNK bouwen ze een grondwatermodellerings-framework, NHFLO genaamd. In dit framework worden alle grondwatermodellen en enkele tools om bedrijfs-eigen data te interpreteren ondergebracht. Met NHFLO hebben ze de mogelijkheid om vanuit basisdata modellen te bouwen met op te geven discretisatie in tijd en ruimte (detail en begrenzing), zodat afhankelijk van het doel een passend model kan worden gemaakt. De modellen krijgen parameters en randvoorwaarden toegewezen door gebruik te maken van python-package nlmod basisdata (KNMI, REGIS, etc.). Het doel is om voor iedere toepassing een modelscript in NHFLO op te stellen waarmee het grid en de relevante processen ingesteld kunnen worden. Samenwerking vindt nu plaats tussen PWN, Waternet, HHNK om de verdamping en de onverzadigde zone beter in de modellen te krijgen.

3.2 Modelgebieden

Tijdens de interviews is gevraagd voor welke gebieden de DPWE-bedrijven modellen beschikbaar hebben en of ze ook modellen voor de niet-waterwingebieden hebben. Evides heeft geen modellen van niet-waterwingebieden, het staat ook niet op de planning van Evides om hiervan modellen te maken. De modellen bevatten wel de binnenduinenranden en een ruim gebied daarbuiten. PWN werkt aan MODFLOW6 modellen voor enkele wingebieden (Noord-Hollands Duinreservaat en Nationaal Park Zuid-Kennemerland), maar wel met het gehele duingebied en binnenduinenrand tot ruim in de polder inbegrepen. Hier hebben ze momenteel ook de Triwaco modellen van. Waternet heeft momenteel een MODFLOW2000 model van de AWD (groot regionaal model van Noordzeekanaal tot aan Katwijk aan zee). Ze hebben hiervan een basismodel (grof netwerk) en een verfijnd model voor specifieke vragen over het infiltratiegebied. Waternet heeft geen model voor het buitengebied. Dunea heeft modellen (zowel diep als ondiep systeem) gericht op alle drie de wingebieden. Het modeldomein is echter groter en beslaat het volledige duingebied rond de wingebieden en de achterliggende polders.

3.3 Zoet-zout grensvlak en topsysteem in de modellen die op dit moment ontwikkeld worden

3.3.1 Zoet-zout grensvlak

Bij Evides wordt om het zoet-zout-grensvlak in de MODFLOW6 modellen mee te nemen een initiële som gebruikt om de zoetwaterbel te laten ontwikkelen. Met een volledig zoute beginsituatie krijgt de zoetwaterbel modelmatig ruim 250 jaar de tijd zicht te ontwikkelen. Te Ouddorp bleek dit voldoende lang te zijn om te komen tot een stabiele situatie. Te Haamstede is de zoetwaterbel na 250 jaar nog onvoldoende ontwikkeld. In vervolg onderzoek moet er rekening mee worden gehouden dat deze uitgangssituatie verder moet worden doorgerekend. Beschikbare zoet-zout verdelingen uit het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) of het Zeelandmodel (voor Haamstede) bleken niet te voldoen vanwege lokale artefacten in de verdeling en een verschil in verticale discretisatie.

MODFLOW6 kan dichtheidsafhankelijk rekenen met volgens Bas des Tombe voldoende nauwkeurigheid voor regionale modellen. Maar deze ziet PWN nog niet geschikt voor detailstudies naar upconing en ASR-systemen vanwege de numerieke dispersie bij hogere stroomsnelheden. PWN zit in de afrondende fase voor de ontwikkeling van een vereenvoudigd zoet/zout model. Dit project wordt mede gefinancierd door HHNK. Het doel van dit project is het implementeren van zoet/zout functionaliteiten in nlmod en om een vereenvoudigd model op te leveren waarmee HHNK en PWN intern vragen kunnen ophalen voor een gedetailleerdere studie. Het topsysteem wordt momenteel bij PWN zeer-sterk-vereenvoudigd meegenomen in de modellen.

Het zoet-zout grensvlak wordt bij Waternet momenteel meegenomen met SWI1, met de upgrade gaan ze over naar SWI2 en Seawat. Waternet ziet er meerwaarde van in om dit zo te houden bij de overgang naar MODFLOW6. Bij Dunea wordt voor dichtheidsafhankelijke berekeningen op dit moment gebruik gemaakt van MODFLOW5-Seawat.

3.3.2 Topsysteem

Het topsysteem wordt in het huidige Waternet-model meegenomen door gebruik te maken van ONZAT in combinatie met de UZR-package. Hierin wordt een vaste grondwaterstand (stationaire dikte onverzadigde zone), de bodemeigenschappen, dikte wortelzone en gewasfactor per vegetatiesoort meegenomen. Hiermee heeft Waternet de grondwateraanvulling berekend voor 10 vegetatietypes en voor verschillende diktes van onverzadigde zone. Dit dient als input voor het grondwatermodel. De invloed van klimaatverandering is hierbij mee te nemen door de input factoren van ONZAT te veranderen. Maar een koppeling naar verandering van de vegetatie zit hier niet in. Waternet is nog aan het verkennen of bij de overgang naar MODFLOW6 een andere onverzadigde zone package nodig is.

HHNK, PWN en Waternet hebben samen een onderzoek laten uitvoeren naar de beste methodes om het topsysteem te modelleren. PWN neigt naar de UZF6 package of een bakjes model met terugkoppeling. Belangrijke redenen hiervoor zijn de beperkte metingen en validatiemiddelen en de wens om over-parametrisatie te beperken.

Voor het freatische systeem maakt Dunea vooralsnog gebruik van het Triwaco 4 model. In de regel gaat het hierbij om stationaire berekeningen met een versimpeld topsysteem. In het verleden zijn er met Triwaco wel tijdsafhankelijk berekeningen met Metaswap koppeling uitgevoerd. Hoewel het MODFLOW5-Seawat model theoretisch ook in staat is om freatische systeem door te rekenen, is eerst een verbeterslag ten aanzien van schematisatie en parameterisatie noodzakelijk. Een eerste verbeterslag wordt hiervoor uitgevoerd. Dunea is daarnaast van plan voor het topsysteem naast de grootschalige gebiedsmodellen ook detailsimulaties uit te voeren met Hydrus of Seep/W.

3.4 Toekomstplannen

Tot slot is de geïnterviewden gevraagd naar de lange termijn toekomstplannen voor de modellen. Hierbij is specifiek ingegaan plannen om de processen die in de duinen spelen in relatie tot klimaatverandering en zeespiegelstijging nog beter te kunnen modelleren.

Het toekomstplan van Evides is om de effecten van klimaatverandering door te rekenen in de bestaande modellen. Evides wil het effect daarvan op drinkwaterwinning en hoe zoetwaterbel zich ontwikkeld onderzoeken.

PWN heeft veel geïnvesteerd in de onverzadigde zone modelleringen. Er ontbreekt nog een terugkoppeling naar het grondwater. Zoals in de sectie hierboven genoemd inventariseert PWN de mogelijkheid voor een UZF6 package of een bakjes model met terugkoppeling. Er ontbreekt daarnaast een pragmatische aanpak voor overland flow. In de duingebieden van PWN zijn grote stukken duin die af en toe blank komen te staan en afstromen. Dit is dus een proces dat een significante rol kan spelen. Daarnaast is de ruimtelijke variatie in infiltratiesnelheid in de panden voor PWN ook nog onzeker.

Het toekomstplan van Waternet is om de grondwaterstroming boven maaiveld beter in het model krijgen, verder willen ze ook schijnspiegels in het model gaan stoppen. Ze gaan daarnaast onderzoeken hoe ze data van SkyTEM-metingen in het model kunnen verwerken.

Bij Dunea worden plannen gemaakt om te onderzoeken in hoeverre de verdampingsrandvoorwaardes afwijken van de werkelijkheid. Dit is een blinde vlek op dit moment. Hiervoor wil Dunea neerslagstations uitbreiden met lysimeters en bodemvocht sensoren. Hiermee wil Dunea de huidige situatie beter in beeld brengen en uiteindelijk de effecten klimaatscenario's kunnen doorrekenen. Daarnaast worden bij Dunea in de nabije toekomst op verschillende locaties Hydrus 2D en 3D modellen opgezet in samenhang met passende monitoring. Voor toekomstige vragen over zoet-zout grensvlak, upconing onder diepe bronnen, brakwaterwinning en het berekenen van afstroming richting zee en binnenland gaat Dunea de parameterisatie en schematisatie verbeteren zodat ook het ondiepe systeem in detail dynamisch gesimuleerd kan worden. Het is nog onduidelijk of Dunea hiervoor kiest voor Feflow of Modflow 6/Seawat een besluit hierover wordt waarschijnlijk in het komende jaar genomen.

3.5 Kennisbehoeften

De belangrijkste openstaande kennisvragen die door de bedrijven worden genoemd hebben betrekking op het topsysteem. Het gaat hierbij allereerst om de methode waarmee de actuele verdamping en grondwateraanvulling (tijdsafhankelijk) wordt berekend en geparameteriseerd en hoe deze berekeningen worden gekoppeld aan het regionale grondwatermodel. Daarnaast is ook het belang van oppervlakkige afstroming onderkent waarbij vooralsnog een pragmatische aanpak om dit in de modellen mee te nemen ontbreekt. Tenslotte is er behoefte aan kennis over de ruimtelijke variabiliteit van infiltratie vanuit de infiltratiepanden, de effecten van schijnspiegels en over de implementatie van SkyTEM-metingen in de modellen.

4 Literatuur

Cirkel, D.G. & C. Aggenbach (2024) Gevolgen zeespiegelstijging en klimaatverandering op zoetwaterbel en duinvalleien, Literatuurstudie. KWR 2024.073. KWR Water B.V., Nieuwegein.

IJf, Stéfanie (2022) De toekomst van ons duinlandschap, presentatie op Dag van de duinen – 17 September 2022 Deltares.

Kamps, P. W. J. T., Nienhuis, P., & Witte, J. P. M. (2008). Effects of climate change on the water table in the coastal dunes of the Amsterdam Water Supply. In Proceedings MODFLOW. 2008.

Stuyfzand, P.J., Haan, M. de, Hofs, B. (2010) Gevolgen van kustverbreding en klimaatverandering voor duingrondwater, kunstmatig infiltraat, drinkwater en het duinecosysteem. KWR 09.092. KWR Water B.V., Nieuwegein.