



## Toepassing van systeemkennis voor de watertransitie

*Sija Stofberg, Marjolein van Huijgevoort, Henk Krajenbrink, Klaasjan Raat, Ruud Bartholomeus (KWR)*

**Water Systeemen denken en systeem dynamisch modelleren kunnen worden gebruikt om de complexe dynamiek van watersystemen beter te begrijpen, begrijpelijk te maken voor belanghebbenden en de systeemkennis in te bedden in een veranderproces. Door verschillende mogelijke maatregelen te vergelijken voor verschillende gebiedstypen, kan de samenhang tussen combinaties van maatregelen en gebiedskenmerken worden onderzocht en kunnen kansrijke oplossingsrichtingen van elkaar worden gescheiden.**

De beheerders van regionale watersystemen staan voor grote uitdagingen. Recente jaren hebben een voorproefje geboden van extreme weersomstandigheden, die naar verwachting steeds vaker gaan voorkomen. Daarnaast is het landgebruik steeds intensiever geworden en zijn er grootschalige opgaven in het stedelijk en landelijk gebied (zoals woningbouw, stikstof, biodiversiteit). In het kader van de watertransitie werken verschillende partijen samen om het Nederlandse watersysteem voor te bereiden op huidige en toekomstige uitdagingen, waaronder zoetwatervoorziening, droge voeten en voldoende waterkwaliteit.

Dergelijke uitdagingen vragen zowel om zorgvuldige (stakeholder)processen als om bruikbare kennis van het watersysteem. Deze onderdelen kunnen niet los van elkaar worden gezien: de kennis van het watersysteem (systeemkennis) moet voldoende toegankelijk zijn om gebruikt te kunnen worden in de processen, terwijl kennis van de belangen en behoeften van stakeholders (normatieve kennis) nodig is om te zien hoe deze zich verhouden tot de eigenschappen van het watersysteem, waardoor de systeemkennis betekenis krijgt [1]. Door deze typen kennis op een goede manier samen te brengen, bijvoorbeeld in een *public design*-proces, kunnen ze elkaar versterken en toegepast worden in veranderprocessen (transitiekennis).

### **Water in de circulaire economie (WiCE)**

Hoe speelt kennis van regionale watersystemen hierin een rol? Enerzijds is systeemkennis nodig die geschikt is om de vraagstukken in watersystemen te helpen begrijpen en mogelijke oplossingsrichtingen op waarde te schatten. Anderzijds is het belangrijk dat deze kennis voldoende toegankelijk is voor stakeholders.

De afgelopen jaren is binnen het programma Water in de Circulaire Economie (WiCE) van de Nederlandse waterbedrijven en het Vlaamse De Watergroep in samenwerking met diverse andere partijen (bedrijfsleven, overheden) onderzoek gedaan naar methoden waarmee de systeemkennis op een goede manier meegenomen kan worden in een veranderproces. In dit artikel worden de resultaten beschreven van dit (en gerelateerd) onderzoek. Het artikel richt zich voornamelijk op vraagstukken rondom waterkwantiteit.

### **Belang van een systeemaanpak**

Vraagstukken in regionale watersystemen overschrijden vaak de grenzen van traditionele 'deelsystemen' (bijv. waterketen, oppervlaktewater, grondwater). Zo kan gebrek aan

grondwateraanvulling samenhangen met het landgebruik en kan grondwateroverlast of -tekort niet los gezien worden van de kenmerken van het af- en ontwateringssysteem.

Ook het verkennen van oplossingsrichtingen vraagt om een meer holistische systeemaanpak, omdat maatregelen uit verschillende deelsystemen ('van douchekop tot stuw') vergeleken moeten worden om vast te kunnen stellen of er mogelijk nieuwe verbindingen tussen sectoren en deelsystemen ontstaan (bijv. hergebruik van hemelwater of restwater). Daarnaast kunnen maatregelen ongunstige bijwerkingen hebben of doorwerken buiten de eigen toepassing, bijvoorbeeld als gevolg van gebiedskenmerken of combinaties met andere maatregelen. Een eenvoudig voorbeeld: grootschalige (landbouw)onttrekkingen kunnen in het ene gebied weinig kwaad, maar kunnen in andere gebieden leiden tot periodiek droogvallende beken.

Een drempel bij systeemvraagstukken is dat de processen en relevante tijdschalen sterk kunnen verschillen tussen de verschillende systeemcomponenten/waterstromen, of dat de vele variaties en details het zeer complex maken. Dit vormt een belemmering voor communicatie met stakeholders. *Systeemdenken* is een methode waarmee complexe systeemvraagstukken onderzocht kunnen worden. De focus ligt hierbij op het beschrijven en begrijpen van de verschillende onderdelen van een systeem en de verbanden tussen de verschillende onderdelen. Hierbij richt men zich op de belangrijkste processen en interacties, en worden details achterwege gelaten. Met deze methode kunnen ook dynamische systemen, zoals watersystemen, worden onderzocht (systeemdynamica) en gemodelleerd (systeemdynamisch modelleren, SDM).

## **Toepassen van systeemdenken op watersystemen**

### ***Beschrijven en beredeneren***

Het (grofweg) beschrijven en visualiseren van (onderdelen van) watersystemen maakt inzichtelijk welke waterstromen en -voorraden er zijn, hoe groot deze zijn, en hoe deze samenhangen met andere systeemcomponenten. In een coproductie tussen stakeholders en experts wordt een gezamenlijk 'verhaal' neergezet, dat als startpunt dient om oplossingen te verkennen [2], [3].

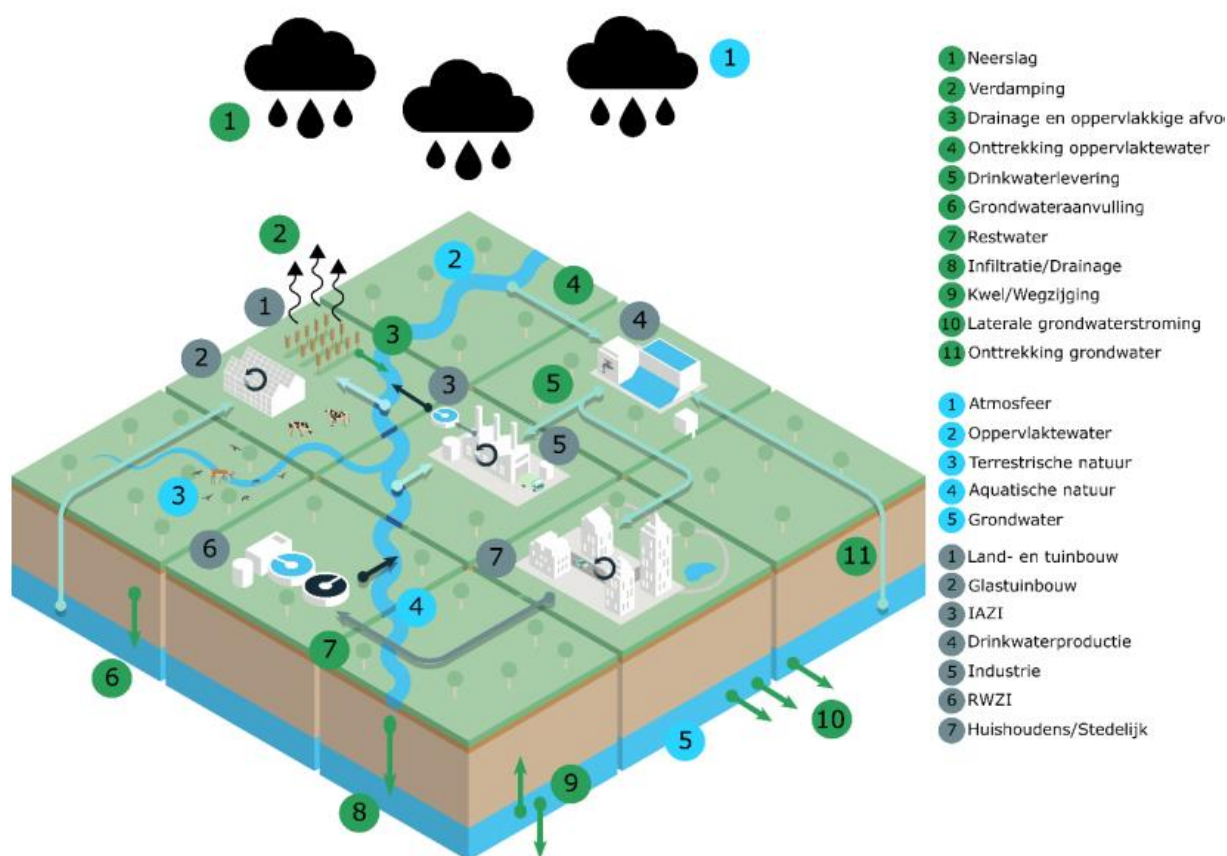
Het overzicht van waterstromen en -voorraden (afbeelding 1) van een regionaal watersysteem dient als 'kapstok' voor gesprekken over de mogelijke effecten van bepaalde omstandigheden en de verkenning van mogelijke maatregelen. Er kan bijvoorbeeld verkend worden wat de impact van een bepaalde maatregel is op de stromen in het systeem, simpelweg door deze in de balans op te nemen. Daarnaast kan algemene en gebiedsspecifieke kennis gebruikt worden om de mogelijke effecten van verschillende soorten maatregelen te verkennen [4]. Ook is het mogelijk om met deze kennis (grofweg) te beredeneren op welke systeemcomponenten bepaalde ingrepen kunnen doorwerken.

### ***Modelleren***

In een aantal gevallen geeft het beschrijven en beredeneren van watersysteemprocessen onvoldoende inzicht. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer er interacties tussen grondwater en oppervlaktewater meespelen, waarbij effecten van bepaalde gebeurtenissen (zoals neerslag of droogte) een meer of minder vertraagd effect hebben. Ook kunnen complexe feedbackrelaties in de waterketen en het watersysteem ervoor zorgen dat de gevolgen van veranderingen niet (eenvoudig) beredeneerd kunnen worden. Bijvoorbeeld: wat zou er gebeuren met de afvoer van een beek als we in een gebied zeer veel drinkwater zouden besparen? Zou de afvoer afnemen, doordat er minder

effluent op de beek wordt geloosd? Of zou dit gecompenseerd worden door een toename van de basisafvoer, doordat er minder grondwater gewonnen wordt?

Dit soort vragen kunnen beantwoord worden met rekenen en modelleren. Veel gangbare modellen zijn echter niet goed geschikt voor dit soort systeemvraagstukken, omdat ze vooral gericht zijn op slechts één deelsysteem (in grondwatermodellen worden oppervlaktewaterstanden vaak opgelegd), geen dynamische interacties tussen deelsystemen meenemen en/of zeer lange rekentijden kennen. In dit onderzoek is gekeken wat er minimaal nodig is om watersystemen als geheel beter te begrijpen en hoe deze kennis kan worden gebruikt bij dit soort vraagstukken.



Afbeelding 1. Voorbeeld van een conceptueel model van een watersysteem met waterstromen (groene stippen), hydrologische componenten (lichtblauwe stippen) en antropogene componenten (grijze stippen)

### Verkenning van watersysteemmodellering

Om watersystemen als geheel te kunnen simuleren, is begrip van verschillende belangrijke processen in watersystemen noodzakelijk, variërend van bepalende factoren voor verdamping tot de samenstelling van effluent. In dit onderzoek is deze kennis gebundeld, waarbij onderscheid is gemaakt tussen normatieve kennis (belangen en behoeften van stakeholders) en de kenmerken van de stromen en voorraden van de verschillende onderdelen van watersystemen [5]. Ook is geïnventariseerd welke trends er spelen rondom deze onderdelen en wat voor interventies worden overwogen om waterbeschikbaarheid te verbeteren. Met behulp van deze kennis is voor verschillende casussen geëxperimenteerd met systeemdynamische modellen van (delen van) watersystemen. In deze modellen worden watersysteeminteracties op relatief eenvoudige wijze gesimuleerd, waarbij gebruik

wordt gemaakt van een waterbalansaanpak en standaardvergelijkingen. Door het watersysteem relatief grof te benaderen en geen/zeer weinig ruimtelijke variatie op te nemen, blijven de modellen eenvoudig genoeg om de uitkomsten begrijpelijk en herleidbaar te houden. De uitkomsten kunnen daarmee inzicht geven in de werking van 'typische' watersystemen en de globale gevolgen van eventuele veranderingen daarin.

Een eerste variant van een dergelijk model is ontwikkeld als 'back-engine' voor de serious game Aqua Ludens [6], waarin processen in het Groningse watersysteem nagebootst worden met een waterbalansmodel in Excel. In het spel kunnen spelers de gevolgen zien van bepaalde (klimaat)scenario's en ingrepen in het watersysteem op verschillende variabelen die samenhangen met de behoeften van verschillende stakeholders, zoals de watervoorziening voor drinkwater en industrie, landbouwopbrengsten en wateroverlast. Bij de ontwikkeling van dit model is gebruik gemaakt van een dataset van waterstromen in Groningen en afstemming met een brede groep stakeholders.

In daaropvolgende verkenningen zijn enkele modellen ontwikkeld in Vensim (Ventana Systems Inc.), software die bedoeld is om systeemdynamische modellen te ontwikkelen en bijvoorbeeld gevoeligheidsanalyses uit te voeren. Aanvankelijk zijn voor twee casussen uit het EU-project 'B Watersmart' modellen gemaakt van onderdelen van watersystemen in Vlaanderen, waarbij de focus vooral lag op het begrijpen van de waterketen [7]. Er werd onderzocht welke effecten nieuwe bronnen en zuiveringstechnieken op drinkwaterproductie zouden kunnen hebben en wat de effecten kunnen zijn van opvang en hergebruik van stedelijk hemelwater. In deze casussen lag de nadruk vooral op de waterbalans-aanpak en de verhoudingen tussen waterstromen die variëren over de tijd.

In een volgende casus is in meer detail gekeken naar de interactie tussen de waterketen en het hydrologische watersysteem en is onderzocht hoe grootschalige waterbesparing en -hergebruik in huishoudens (volgens het concept 'SUPERLOCAL' [8]), in combinatie met het afkoppelen van hemelwater, doorwerken in het watersysteem [9]. Dergelijke maatregelen zorgen voor minder drinkwatergebruik en leiden daarmee tot een kleinere effluentstroom. In een 'typisch' gebied op de hoge zandgronden kunnen de effecten op het watersysteem twee kanten op werken: enerzijds treden hogere grondwaterstanden op als gevolg van minder grondwaterwinning (als er lokaal drinkwater wordt gewonnen) en toename van infiltratie van overtollig hemelwater. Anderzijds neemt de afvoer van oppervlaktewater af als gevolg van een kleinere effluentstroom. Dat laatste kan ongunstig zijn tijdens droge perioden, aangezien een lage afvoer (of geen afvoer) nadelig is voor de aquatische ecologie. Er kan echter ook interactie optreden tussen de effecten: de hogere grondwaterstanden kunnen leiden tot meer basisafvoer. Hoe de uiteindelijke hoeveelheid beekafvoer over de tijd zich verhoudt tot de oorspronkelijke situatie hangt af van verschillende factoren, waarvan er enkele in de modelstudie zijn verkend. De resultaten laten zien dat het van lokale systeemkenmerken (met name van het grondwatersysteem) afhangt of ingrijpende besparingsmaatregelen gunstig of juist ongunstig uitwerken op het lokale oppervlaktewatersysteem.

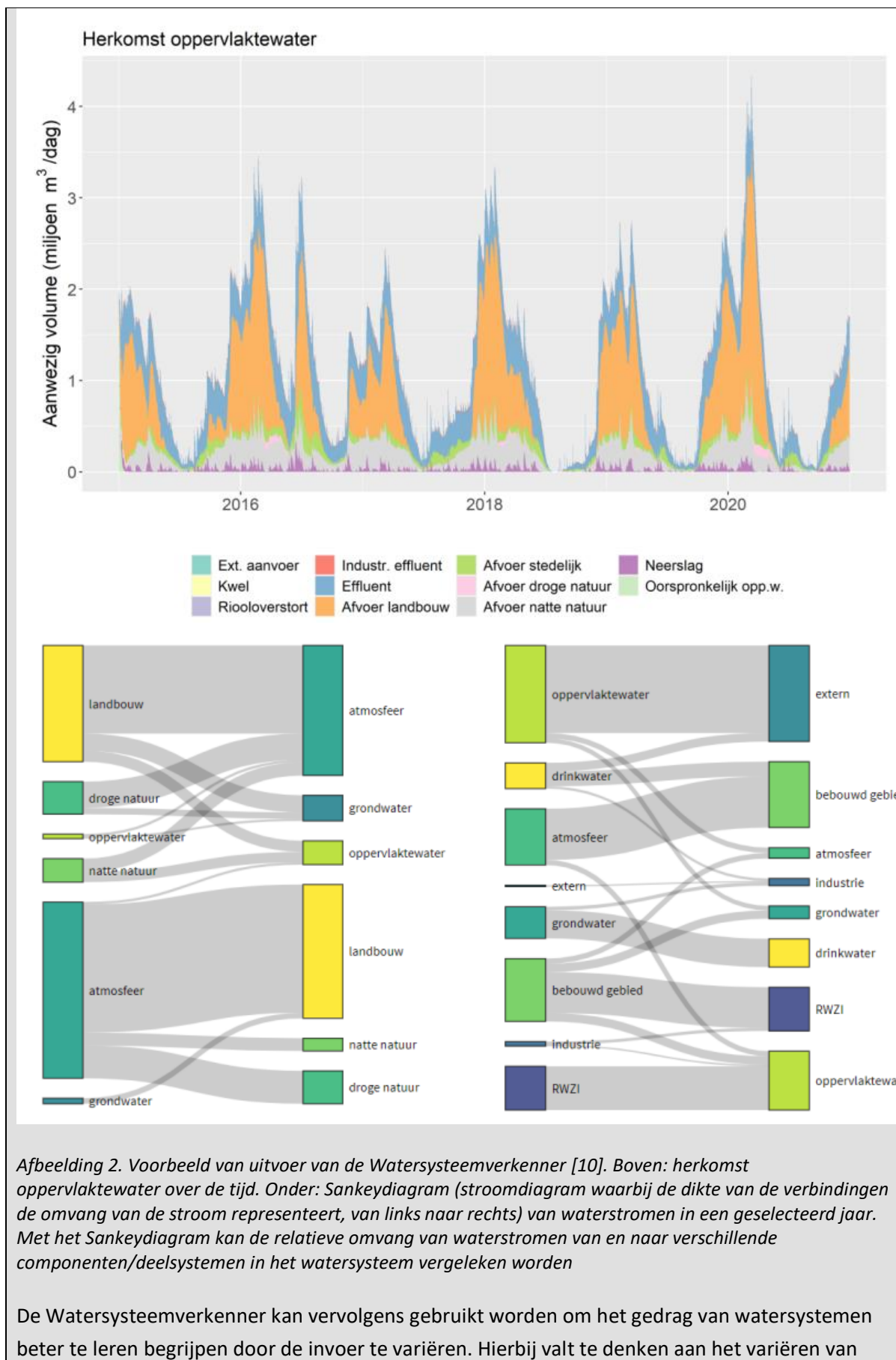
Ondanks de sterke versimpeling bleek het uitdagend om meer dan enkele delen van een watersysteem in Vensim te modelleren vanwege de snel toenemende modelcomplexiteit bij het combineren van deelsystemen. Daarom is voor een volgende casus een generiek model gebouwd, de 'Watersysteemverkenners' (zie kader). Met dit model zijn voor een landschap op de zuidelijke hoge zandgronden verschillende maatregelen voor het vergroten van de waterbeschikbaarheid verkend: hergebruik van RWZI-effluent in de landbouw, infiltratie van RWZI-effluent in

grondwateronafhankelijke gebieden, verhogen van slootbodems en infiltreren van oppervlaktewater tijdens de wintermaanden [10]. Bij de analyse van de resultaten is met name gekeken naar grondwateraanvulling en lage beekafvoeren. Daarnaast zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd naar de effecten van de maatregelen bij verschillende gebiedskenmerken. De resultaten laten zien dat alle onderzochte maatregelen in het onderzochte type gebied in verschillende mate kunnen bijdragen aan grondwateraanvulling. Het risico op lage afvoeren als gevolg van de maatregelen neemt juist toe wanneer grondwaterstanden niet verhoogd worden. De resultaten laten ook zien dat niet voor type watersysteem dezelfde effecten op het watersysteem hebben en dat omgevingskenmerken bepalen of het uiteindelijke effect van een maatregel gunstig of juist ongunstig is.

#### **De Watersysteemverkenner**

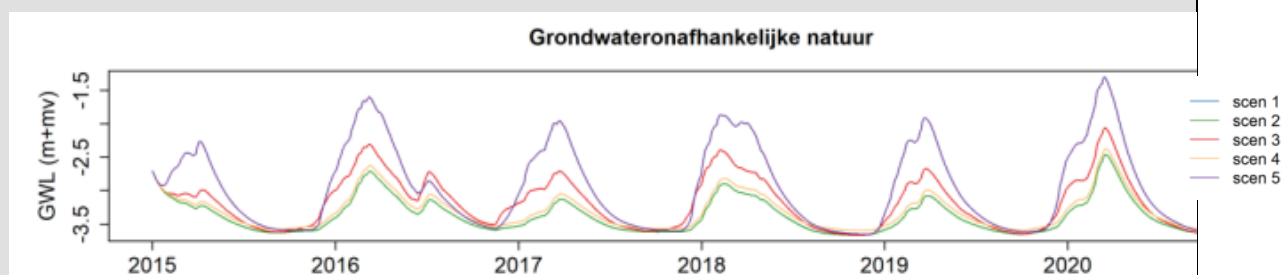
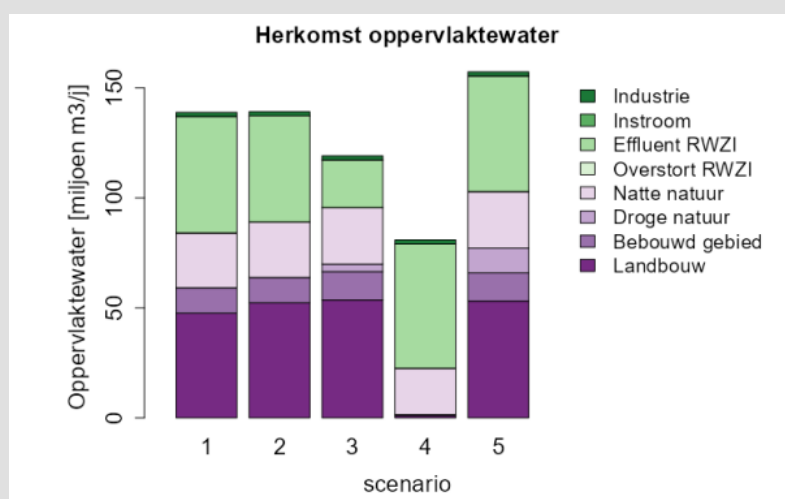
De Watersysteemverkenner is een model dat gebruikt kan worden om interacties binnen regionale watersystemen (bijvoorbeeld een klein stroomgebied of een poldergebied) te simuleren, waarbij zowel de waterketen als het watersysteem (met meerdere typen landgebruik) wordt meegenomen. Het model is (vergeleken met andere hydrologische modellen) relatief eenvoudig qua opzet, zonder ruimtelijke discretisatie (de verdeling van een modeldomein in kleinere onderdelen, waartussen bijvoorbeeld stroming berekend kan worden). Waar mogelijk wordt een waterbalansaanpak toegepast. Voor een aantal processen (onverzadigde zone, grondwater-oppervlaktewaterinteracties en vrij afwaterend oppervlaktewater) worden gedetailleerdere methoden toegepast, om recht te doen aan de (niet-lineaire) interacties. In de interface van de Watersysteemverkenner kan invoer gekozen worden en uitvoer bekeken en vergeleken.

De Watersysteemverkenner simuleert voor vrij afwaterende en poldergebieden de waterstromen en -voorraden van de verschillende systeemcomponenten over een gekozen tijdsperiode (afbeelding 2). De invoerdata betreffen veel verschillende onderdelen van het watersysteem en de waterketen, maar zijn goed samen te stellen uit openbare bronnen en eventuele (groe) aannames.



type landgebruik of de drainagekenmerken. Ook kan de gebruiker experimenteren met verschillende (combinaties van) maatregelen, waaronder nieuwe verbindingen tussen gebruiksfuncties. De uitvoer van de verschillende simulaties is eenvoudig te vergelijken (afbeelding 3). Hierbij kan gekozen worden tussen alle stromen en voorraden uit het watersysteem en de waterketen.

De Watersysteemverkenner is op dit moment toegepast op één testcasus. Voor toepassing in de praktijk is verdere ontwikkeling en procesvalidatie nodig. Dit wordt onder andere opgepakt in het programma Water in de Circulaire Economie (WICE).



Afbeelding 3. Voorbeelden van vergelijkende uitvoer van de Watersysteemverkenner [10] voor vijf scenario's waarin verschillende maatregelen zijn vergeleken. Boven: de herkomst van het oppervlaktewater (gemiddeld over de tijd). Onder: de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld (GWL) voor één van de typen landgebruik, in dit geval grondwateronafhankelijke natuur (zoals hoger gelegen bos en heide). 1. referentiescenario van een landschap op de hoge zandgronden zonder maatregelen; 2. hergebruik van effluent in de landbouw (geen effect voor deze variabele); 3. infiltratie van gezuiverd effluent in grondwateronafhankelijke natuur; 4. verhogen van slootbodems met 30 cm.; 5. infiltreren van oppervlaktewater in grondwateronafhankelijke natuur in de wintermaanden

### Geleerde lessen

De resultaten laten zien dat systeembenaderingen verschillende inzichten kunnen bieden die van pas kunnen komen bij watersysteemvraagstukken: ze leveren een beter begrip op van processen in en wisselwerkingen tussen verschillende systeemonderdelen, net als in de verwachte impact van mogelijke maatregelen. Het is hierbij belangrijk te beseffen dat deze methoden op relatief groot detailniveau worden toegepast: er kunnen conclusies mee worden getrokken over bepaalde typen gebieden en verschillende kenmerken vergeleken, maar de ruimtelijke details ontbreken om iets te

zeggen over specifieke locaties. Systeembenaderingen kunnen gebruikt worden in (public design-) processen om vraagstukken behapbaar en bespreekbaar te maken en in een relatief vroeg stadium zinvolle en minder zinvolle maatregelen van elkaar te onderscheiden. Ze zijn geen vervanging voor detailuitwerking in een latere fase van een proces.

Bij de verkenning van maatregelen is het belangrijk om expliciet stil te staan bij de keuze van criteria/ uitvoervariabelen die worden vergelen. Er zijn namelijk zeer veel variabelen die (indirecte) effecten ondervinden, maar het is nodig om juist die variabelen te kiezen die raken aan relevante belangen en behoeften van stakeholders. In de praktijk is het daarom gewenst dat stakeholders in een vroeg stadium worden betrokken, iets waar deze aanpak zich goed voor leent. Ook moeten criteria die vanzelfsprekend lijken (bijvoorbeeld droge voeten) niet over het hoofd worden gezien.

### Tot slot

Systeendenken en systeemdynamisch modelleren bieden mogelijkheden om interacties in watersystemen beter te begrijpen, en effecten van maatregelen (in relatie tot gebiedskenmerken) te verkennen. Deze methoden kunnen worden toegepast in processen om vraagstukken en mogelijkheden te verkennen, waarbij zowel experts als stakeholders betrokken zijn.

De in dit artikel gepresenteerde cases betreffen eerste demonstraties van de methoden op het gebied van waterkwantiteit, en bieden een kapstok voor verdere uitwerking en ontwikkeling. Er zijn vervolgvragen voor de verdere ontwikkeling van de Watersysteemverkenner en de validatie ervan voor verschillende typen gebieden, in samenwerking met de praktijk. Onder de uitdagingen vallen bijvoorbeeld een goede (visuele) koppeling tussen hydrologische variabelen met belangen en behoeften van stakeholders en een uitbreiding van de methode om ook waterkwaliteit mee te kunnen nemen.

### Referenties

1. Alphen, H.J. van (2022). *WiCE: van onderzoeksprogramma naar netwerk*. KWR 2022. <https://www.kwrwater.nl/actueel/wice-van-onderzoeksprogramma-naar-gemeenschap/>
2. Stofberg, S.F., Koenders, M., Brakkee, E.A., Bartholomeus, R.P. (2023). 'Gezamenlijke watersysteemverkenning als eerste stap in de toekomstige drinkwatervoorziening van Drenthe'. *H2O-Online*, 9 mei 2023. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/gezamenlijke-watersysteemverkenning-als-eerste-stap-in-de-toekomstige-drinkwatervoorziening-van-drenthe>
3. Stofberg S.F., Pronk, G.J., Huijgevoort, M.H.J. van, Raat, K., Bartholomeus, R.P. (2023). 'Werken aan waterbeschikbaarheid: inzichten en uitdagingen'. *H2O-Online*, 9 mei 2023. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/werken-aan-waterbeschikbaarheid-inzichten-en-uitdagingen>
4. Stofberg, S.F., Brakkee, E.F. (2022). *Effecten watermaatregelen in beeld*. KWR, Nieuwegein, 2022. <https://www.brabant.nl/-/media/29623fbd46104b5284683b2d9bd2ab9b.pdf>
5. Stofberg S.F., Huijgevoort, M.H.J. van, Krajenbrink, H.J., Brakkee, E.A. (2024). *Interventies in het watersysteem. Achtergrondkennis en methoden om de doorwerking van maatregelen in het regionale watersysteem te analyseren*. KWR, Nieuwegein, 2024 <https://library.kwrwater.nl/publication/71685755/interventies-in-het-watersysteem/>
6. Aalderen, N. van, Stofberg, S.F., Broeke, J. van den, Toly, A. van, Dijkstra, B. (2024). 'Spelend aan de slag met de watertransitie: serious game Aqua Ludens'. *H2O-Online*, 17 juli 2024.



<https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/spelend-aan-de-slag-met-de-watertransitie-serious-game-aqua-ludens>

7. Lykou, A. et al. (2023). *B-WaterSmart. Deliverable 3.5: The water cycle modelling and assessment solutions toolkit, B-WaterSmart.*

8. Bouziotas D. et al. (2019). 'Towards Circular Water Neighborhoods: Simulation-Based Decision Support for Integrated Decentralized Urban Water Systems' (Open Access). *Water*. 11 (2019) art. no. 1227.

9. Krajenbrink, H.J., Stofberg, S.F. (2023). *Effect van waterbesparing in stedelijk gebied op het regionale watersysteem. Casus SUPERLOCAL*. KWR, Nieuwegein, 2023

<https://library.kwrwater.nl/publication/71379162/effect-van-waterbesparing-in-stedelijk-gebied-op-het-regionale-watersysteem-casus-superlocal/>

10. Stofberg, S.F., Huijgevoort, M van. (2024). *Inzicht in het watersysteem door toepassing van een systeemmodel*. KWR, Nieuwegein, 2024. <https://library.kwrwater.nl/publication/71685248/inzicht-in-het-watersysteem-door-toepassing-van-een-systeemmodel/>