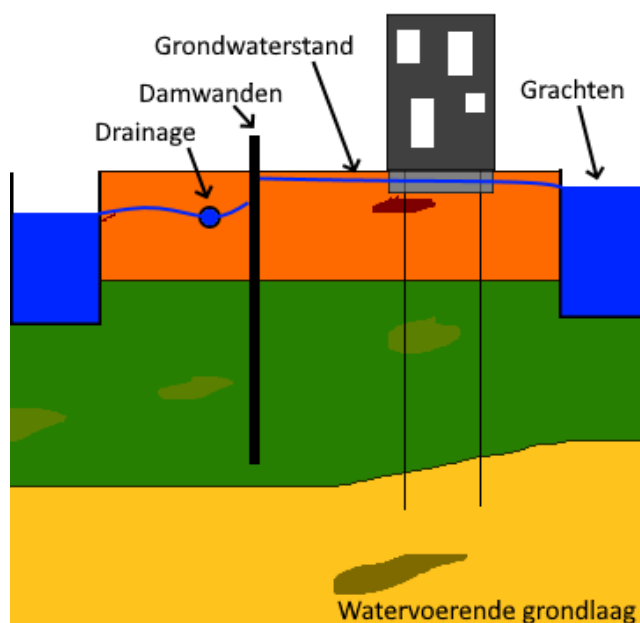


Stedelijk grondwater in Amsterdam; hoe gaan we om met infiltratie, barrièrewerking en klimaatverandering?

Robin Wimmers (Universiteit Utrecht), Thomas Sweijen (Universiteit Utrecht, CRUX Engineering B.V.), Roel Brugman, Guido Meinhardt, Jakob Maljaars (CRUX Engineering B.V.)

Om overlast door het stedelijk grondwater te voorkomen, heeft de gemeente Amsterdam toekomstbestendig beleid geïntroduceerd. Dit beleid wordt per individueel nieuwbouwproject getoetst, terwijl het stedelijk grondwatersysteem beter op wijkniveau of regionaal niveau bekeken kan worden. Daarom wordt in dit artikel de invloed van de barrièrewerking van kelders, Rainproof Amsterdam en klimaatverandering op het grondwatersysteem bestudeerd op wijkniveau. Op basis hiervan wordt een reflectie gegeven over het stedelijk grondwatersysteem.

Het grondwatersysteem in stedelijke gebieden wordt bepaald door de balans tussen natuurlijke processen en menselijk handelen. Zo zijn bodemopbouw, klimaat en diepe grondwaterstanden natuurlijke factoren die de stand van het stedelijk ondiepe grondwater bepalen. Het menselijk handelen is echter ook een zeer bepalende factor, zoals de aanwezigheid van damwanden, infiltratievoorzieningen, wegen, drainages, parken, grachten, kelders en polders (zie afbeelding 1). De balans tussen natuurlijke en menselijke factoren verdient zorgvuldige aandacht, zodat grondwateroverlast voorkomen wordt. Deze balans staat echter juist steeds vaker onder druk als gevolg van verstedelijking (ondergrondse infrastructuur en kelders) en klimaatveranderingen (toenemende buienintensiteit).



Afbeelding 1. Voorbeeld van de verschillende objecten in een complex stedelijk grondwatersysteem als dat van Amsterdam

Amsterdam is een actueel voorbeeld van een stedelijk grondwatersysteem dat onder een vergrootglas ligt en onder druk staat als gevolg van de vernieuwingen in de stad, in combinatie met veel risicovolle objecten, zoals historische bebouwingen en infrastructuur.

Gedreven door het gebrek aan ruimte worden steeds meer kelders aangelegd [1], [2], [3], [4]. Deze vormen een barrière voor het grondwater. Dit wordt ook wel barrièrewerking genoemd [5]. Daarnaast worden steeds vaker infiltratievoorzieningen getroffen om de piekafvoer tijdens hevige buien te bergen in het grondwatersysteem en de riolering te ontzien. Door de toename van het aantal kelders en infiltratievoorzieningen verandert het stedelijk grondwatersysteem, met een verhoogd risico op overlast tot gevolg.

Om dit risico te ondervangen heeft de gemeente Amsterdam het concept van grondwaterneutraal bouwen en het project Rainproof Amsterdam in het leven geroepen.

- **Grondwaterneutraal bouwen.** Dit concept is toegespitst op de barrièrewerking van kelders op het grondwater. In de praktijk betekent dit dat per nieuwbouwproject het effect op het grondwatersysteem wordt getoetst en op basis daarvan eventueel maatregelen worden bedacht (zoals het aanleggen van grindkoffers of gaten in damwanden) [6].
- **Rainproof Amsterdam:** Dit concept streeft ernaar om neerslag op eigen kavel te bergen en, indien mogelijk, te laten infiltreren in de bodem. Op deze manier wordt het grondwatersysteem gevoed met water, terwijl het riool ontzien wordt. In het beleid staat onder andere dat elke kavel een deel van het hemelwater moet bergen, hergebruiken en/of laten infiltreren [7], [8].

Daarnaast zorgt klimaatverandering voor een verschuiving in de neerslagintensiteit en verdamping [9].

Vooralsnog is het beleid voor barrièrewerking en Rainproof Amsterdam toegespitst op individuele kavels en projecten. Echter, de vraag is hoe efficiënt het is om per project te kijken naar verstedelijking en klimaatverandering, of dat het effectiever is om dit op wijkniveau of regionaal niveau te bekijken. Daarom worden in dit artikel de barrièrewerking, het concept van Rainproof Amsterdam en klimaatverandering op wijkniveau bestudeerd, om inzicht te verschaffen in de schaalbaarheid van het stedelijk grondwatersysteem.

Stedelijk grondwatermodel

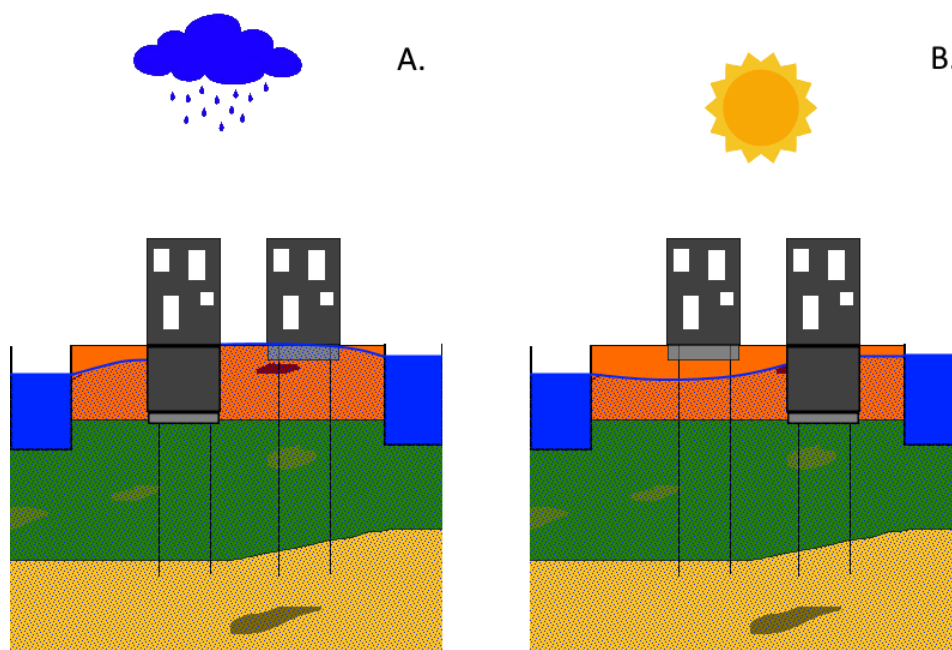
Met een nieuw, door CRUX in samenwerking met UU opgesteld, grondwatermodel is de impact onderzocht van de barrièrewerking, de toename van het aantal infiltratievoorzieningen en klimaatverandering op het stedelijk grondwater van Amsterdam [10]. Het grondwatermodel is opgebouwd op basis van GeoTOP (een bodemmodel van TNO). Met behulp van grondwaterstanden van Waternet is het grondwatermodel gekalibreerd. Op deze manier worden de ruimtelijke variatie en heterogeniteit in de grondwaterstanden en bodemopbouw zo goed mogelijk gemodelleerd.

Daarna zijn alle randvoorwaarden en parameters bepaald voor het grondwatermodel, zoals grachten, meren, neerslag, damwanden, wegen, dakoppervlak et cetera. Dit grondwatermodel onderscheidt zich door de mogelijkheid om deze parameters ruimtelijk in kaart te brengen. Hierdoor worden alle aspecten van het complexe stedelijk grondwater van Amsterdam zo goed mogelijk overgenomen. Het grondwatermodel is opgebouwd via Python en FloPy, waarbij een gemakkelijke uitwisseling is gerealiseerd tussen ruimtelijke data (geoinformatiesystemen) en MODFLOW. Op deze manier kan een gebiedsgericht model gemakkelijk gemaakt worden zonder de complexiteit als gevolg van de heterogeniteit op te geven.

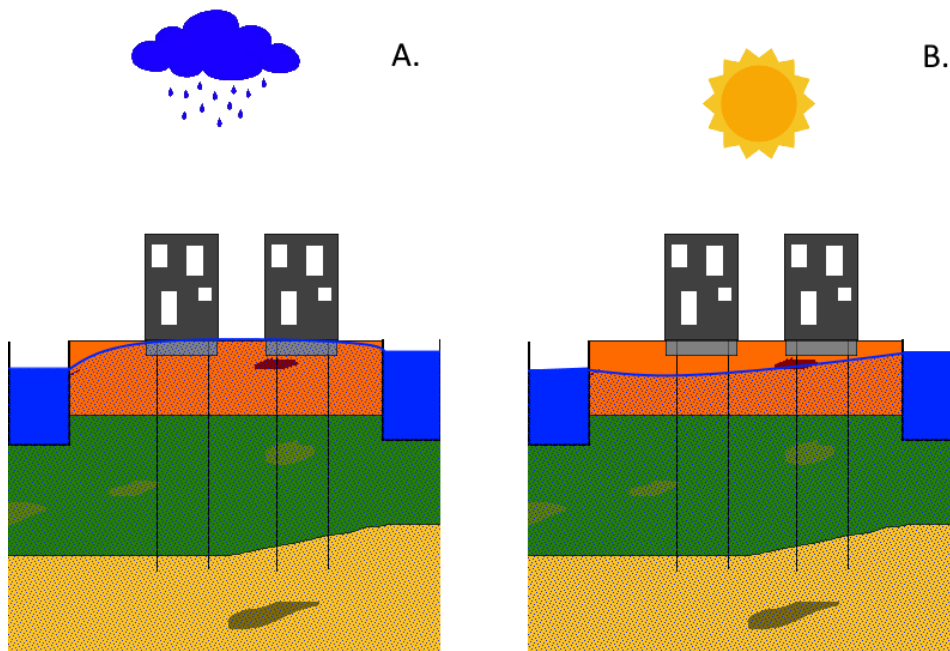
Als voorbeeld zijn drie wijken van Amsterdam onder de loep genomen, namelijk het Museumkwartier-west, Slotervaart-zuid en de Frederik-Hendrikbuurt. Voor elke wijk zijn drie scenario's getoetst waar het gekalibreerde model is aangepast voor:

1. **Barrièrewerking:** Hier worden alle bestaande gebouwen onderkelderd zodat de topzandlaag volledig afgesloten wordt door een kelder. De kelders hebben een diepte van 4,0 meter onder maaiveld. De barrièrewerking heeft als gevolg dat het grondwater niet gemakkelijk naar de grachten of drainages kan stromen, waardoor de grondwaterstand lokaal stijgt (afbeelding 2A). Daarnaast kan het grondwater ook niet gemakkelijk aangevuld worden tijdens droogte, waardoor lokale verlagingen in de grondwaterstand kunnen optreden (afbeelding 2B).
2. **Infiltratievoorzieningen:** De neerslag op bebouwing infiltreert volledig in het ondiepe grondwater (afbeelding 3A). Dit wordt gemodelleerd door neerslag die op gebouwen valt toe te voegen aan de neerslag die op de straten, tuinen en plantsoenen valt en vervolgens in de bodem infiltreert.
3. **Klimaatscenario:** Hierbij wordt uitgegaan van het WH-scenario voor 2085 van het KNMI [9]. Dit betekent dat er structureel 10 procent meer verdamping is en 7 procent meer neerslag. In het grondwatermodel uit zich dit in het verhogen van de gemiddelde neerslag en verdamping met de verwachte toenames. Neerslag en verdamping hebben invloed op de grondwaterstand. Langdurige regenval zorgt voor extra wateraanvoer waardoor de grondwaterstand stijgt (afbeelding 3A). Een lange droge periode kan een verlaging in de grondwaterstand veroorzaken doordat het grondwater verdampt (afbeelding 3B). Naast een gemiddelde toename neemt ook de magnitude toe. In het huidige model is dit effect niet meegenomen.

De impact van de bovengenoemde drie scenario's wordt in een kaart weergegeven als grondwaterstandsveranderingen ten opzichte van de huidige gemiddelde grondwaterstanden. De veranderingen in grondwaterstanden zijn als volgt geclassificeerd: matige grondwateroverlast wordt gedefinieerd als een afname/toename van 20 tot 30 centimeter; grote grondwateroverlast bij een toename/afname van 20 cm.



Afbeelding 2. Schematische weergaven van grondwateroverlast gedreven door barrièrewerking. A: verhoging van de grondwaterstand doordat grondwater niet goed weg kan stromen. Kelders en straten komen onder water te staan. B: verlaging van de grondwaterstand doordat het grondwater niet kan worden aangevuld. Funderingspalen komen droog te staan



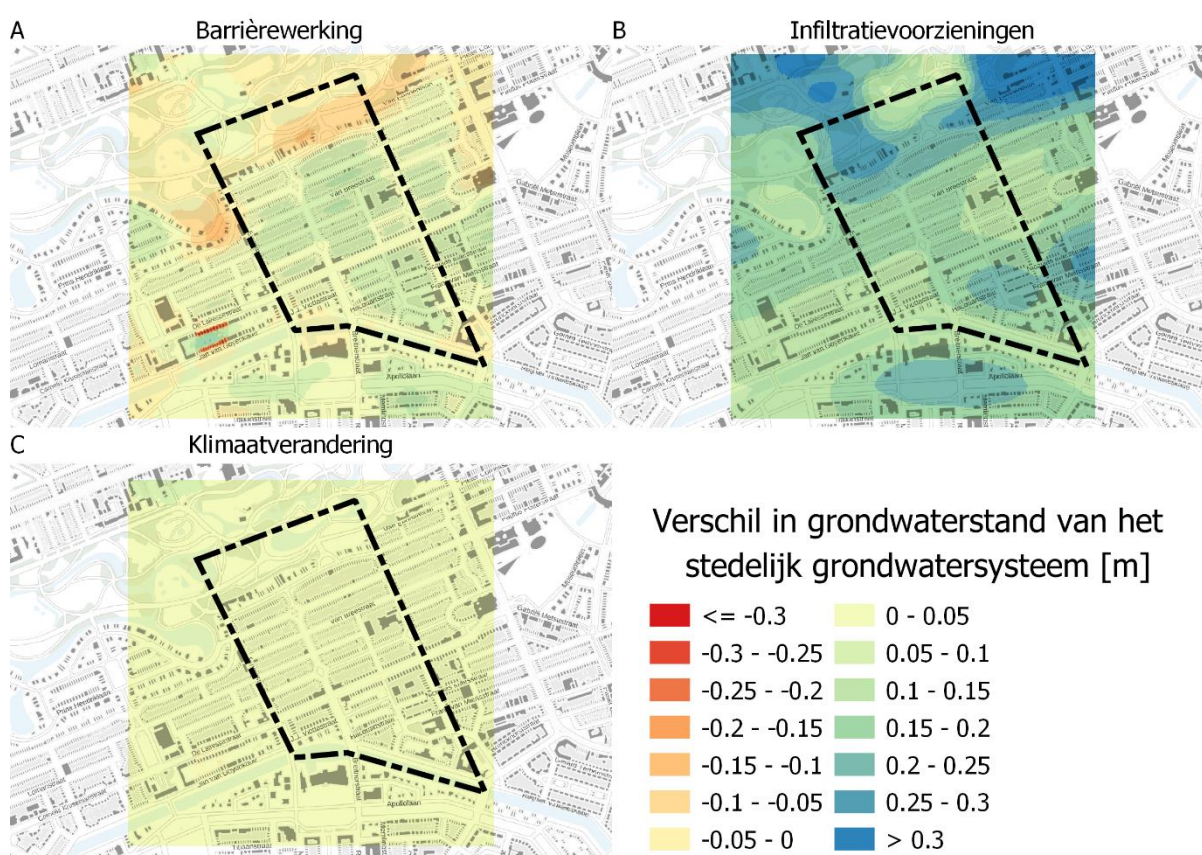
Afbeelding 3. Schematische weergaven van grondwateroverlast gedreven door neerslag en verdamping. A: verhoging van de grondwaterstand door neerslag. Kelders en straten komen onder water te staan. B: verlaging van de grondwaterstand door verdamping. Funderingspalen komen droog te staan

Resultaten en discussie

Museumkwartier-west

Het Museumkwartier grenst in het noorden aan het Vondelpark en in het zuiden aan het Noorder Amstelkanaal. Doordat het Vondelpark een relatief laag polderpeil heeft (NAP -2,45m) in vergelijking met de watergangen in het centrum van Amsterdam (NAP -0,4 meter), is er een grondwaterstroming richting het Vondelpark.

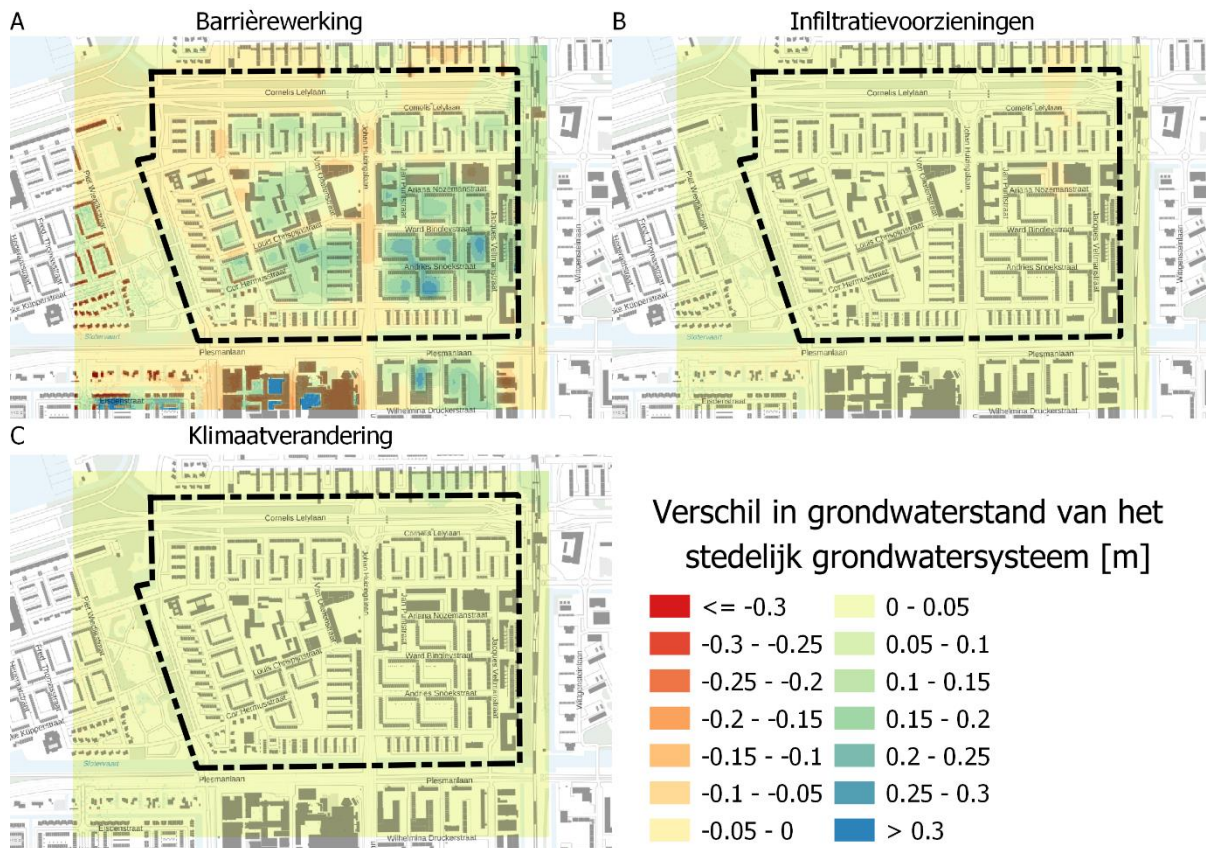
In het geval dat de gebouwen allemaal onderkelderd worden (scenario 1), wordt de grondwaterstroming geblokkeerd. Hierdoor treedt een verlaging van de grondwaterstand op aan de noordzijde van de wijk (afbeelding 4A). In de binnentuinen neemt de grondwaterstand toe. Als alle neerslag echter geïnfiltreerd wordt (scenario 2), ontstaat matige grondwateroverlast in de wijk en in het Vondelpark grote grondwateroverlast (afbeelding 4B). De capaciteit van het huidige grondwatersysteem (drainage en grachten) is niet toereikend om het extra water op te nemen. Het klimaatscenario geeft in de wijk weinig grondwateroverlast of -onderlast (afbeelding 4C).



Afbeelding 4. Overzicht van de gevolgen voor het stedelijk grondwater in de verschillende scenario's voor Museumkwartier-west

Slotervaart-zuid

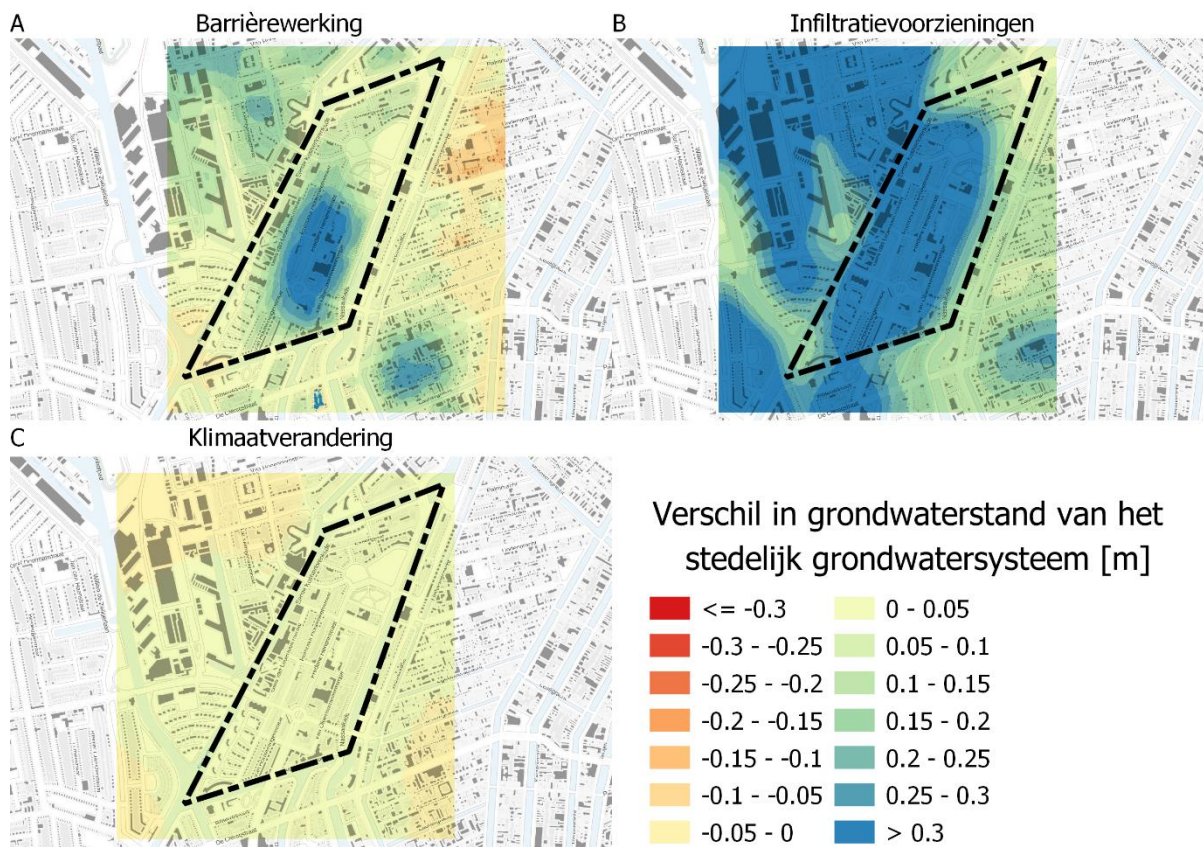
Het onderzoeksgebied Slotervaart-zuid wordt omringd door waterwegen met een waterpeil van NAP-2,45m. Afbeelding 5A laat een stijging zien van het stedelijke grondwater door de plaatsing van kelders, waardoor grote grondwateroverlast optreedt (scenario 1). Vooral tussen gebouwen is een sterke stijging berekend, omdat het water hier ‘gevangen’ zit. Het realiseren van infiltratievoorzieningen (scenario 2; zie afbeelding 5B) heeft weinig effect op de grondwaterstand. Ook klimaatverandering heeft weinig effect (afbeelding 5C).



Afbeelding 5. Overzicht van de gevolgen voor het stedelijk grondwater voor de verschillende scenario's voor Slotervaart-zuid

Frederik-Hendrikbuurt

De Frederik Hendrikbuurt wordt omringd door grachten met een waterpeil van NAP -0,4m. Door de barrièrewerking van kelders (scenario 1) treedt vooral grote grondwateroverlast op in het centrum van de wijk (afbeelding 6A). Als gevolg van de vele panden in de buurt leidt het infiltreren van alle neerslag (scenario 2) tot toename van de grondwaterstand, hierdoor ontstaat grote grondwateroverlast (afbeelding 6B). De wijk ondervindt daarentegen geen significant effecten van de verandering in het klimaat (afbeelding 6C).



Afbeelding 6. Overzicht van de gevolgen voor het stedelijk grondwater voor de verschillende scenario's voor Frederik Hendrikbuurt

Conclusie en toekomst

Het nieuwe grondwatermodel laat zien dat het stedelijk grondwatersysteem van verschillende wijken in Amsterdam anders reageert op barrièrewerking, het infiltreren van neerslag en klimaatveranderingen. Het modelleren van grondwater op wijkniveau kan integraal inzicht verschaffen in de meest kritische veranderingen in het grondwatersysteem. Zo is barrièrewerking niet altijd het grootste probleem van een wijk, maar juist het doelbewust infiltreren van neerslag. Dit betekent dat de toetsing voor barrièrewerking en het treffen van infiltratievoorzieningen juist op wijkniveau bestudeerd dient te worden en niet zozeer op kavelniveau of projectbasis.

Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat het toekomstbestendig maken van het stedelijk grondwatersysteem in Amsterdam complex is en zeker een integrale aanpak verdient, waarbij barrièrewerking en het treffen van infiltratievoorzieningen op wijkniveau getoetst worden. De huidige vorm van klimaatverandering heeft voor alle wijken geen grote gevolgen voor grondwateroverlast. Dit betekent niet dat alle wijken ook klimaatbestendig zijn. Naast een structurele toename in neerslag en

verdamping neemt de magnitude/intensiteit van de regenbuien namelijk ook toe. Voor een compleet beeld zouden deze factoren mee moeten worden genomen in de bepaling van klimaatbestendigheid. Door het hoge detailniveau dat het nieuwe integrale stedelijk grondwatermodel kan behalen, is het uiterst geschikt om een risicoanalyse mee uit te voeren voor de gevolgen van beleid of aanpassing voor het stedelijk grondwatersysteem. Hiermee onderscheidt dit model zich ten opzichte van simpelere grondwatermodellen die voor specifieke projecten worden opgesteld. De combinatie tussen ruimtelijke data (geoinformatiesystemen) en bodemmodellen leidt tot een ruimtelijk variabele weergave van een complex systeem, zoals het stedelijk grondwater van Amsterdam.

Referenties

1. 'Angst bewoners Amsterdam-Zuid lijkt terecht: kelders leiden tot problemen grondwater'. *NRC Handelsblad*, 24 mei 2019
2. 'Zien graven, doet graven: een woonkelder loont in Amsterdam financieel zeer de moeite'. *De Volkskrant*, 27 september 2018
3. Centraal Bureau voor de Statistiek (2019). *Bestaande koopwoningen; gemiddelde verkoopprijzen, regio*.
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83625ned/table?fromstatweb>, geraadpleegd 9 december 2019
4. Centraal Bureau voor de Statistiek (2019). *Voorraad woningen; gemiddeld oppervlak; woningtype, bouwjaarklasse, regio*.
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82550NED/table?fromstatweb>, geraadpleegd 9 december 2019
5. Jong, J. de., Bekking, E. (2019). *Grondwater effecten van onderkeldering in Amsterdam*. Tech. rep. Gemeente Amsterdam
6. Drongelen, O. van (2003). *Richtlijnen ter voorkoming van grondwateroverlast in nieuw bebouwd gebied*. Tech rep. Gemeente Amsterdam.
7. Spaan, K. et. al. (2019). *Regenbestendige Gebiedsontwikkeling Thematische Studie voor Ruimte voor de Stad*. Tech rep. Gemeente Amsterdam.
8. Waternet (2016). *Gemeentelijk Rioleringsplan Amsterdam*, Tech rep. Waternet
9. Klein Tank, A., Beersma, J., Bessembinder, J., Hurk, B. van den & Lenderink, G. (2014). *KNMI 14: Klimaatscenario's voor Nederland*. KNMI, De Bilt
10. Wimmers, R. (2020). *Phreatic groundwater modelling of Amsterdam: A case study on the influence of spatial development on the groundwater system Amsterdam*. Tech. rep. Utrecht University