



Drinkwatersector is voorbereid op klimaatverandering

Edu Dorland, Claudia Agudelo-Vera, Niels Hartog, Rosa Sjerps, Erwin Vonk, Flip Witte, Bas Wols (KWR Watercycle Research Institute)

Onderzoek van KWR toonde aan dat klimaatverandering invloed heeft op diverse facetten van de toekomstige drinkwatervoorziening. Voorbeelden zijn een toename van enkele organische microverontreinigingen in de grote rivieren, mogelijke problemen met de waterkwaliteit in de stedelijke omgeving als gevolg van hogere bodemtemperaturen en een toename van de watervraag. Ook is gekeken naar maatregelen. Zo is onderzocht welke typen bodempassagesystemen kunnen worden gebruikt om de verwijdering van organische microverontreinigingen te verbeteren. Daarnaast is een model ontwikkeld waarmee de dynamische ontwikkeling van ecosystemen (en ecosysteemdiensten zoals grondwateraanvulling) kan worden berekend.

KWR Watercycle Research Institute (KWR) heeft als onderdeel van het bedrijfstakonderzoek (BTO) van de drinkwatersector gedurende vijf jaar onderzoek verricht naar de belangrijkste risico's en kansen van klimaatverandering voor de drinkwatersector. Dit onderzoek, uitgevoerd onder begeleiding van de BTO-themagroep Klimaatbestendige watersector, heeft de kennis vergroot van de effecten van klimaatverandering op een groot aantal facetten van de drinkwatervoorziening. Dit artikel beschrijft de effecten op de chemische en microbiologische kwaliteit van het oppervlaktewater, op de kwaliteit en aanvulling van het grondwater, op het distributienet, op de biologische stabiliteit van het drinkwater, op natuur en op variaties in het leidingwaterverbruik.

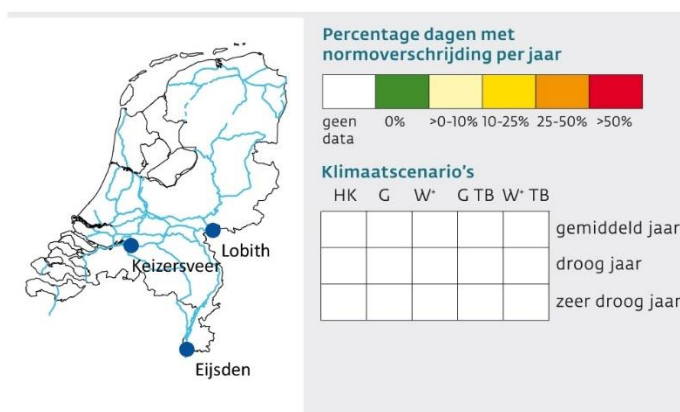
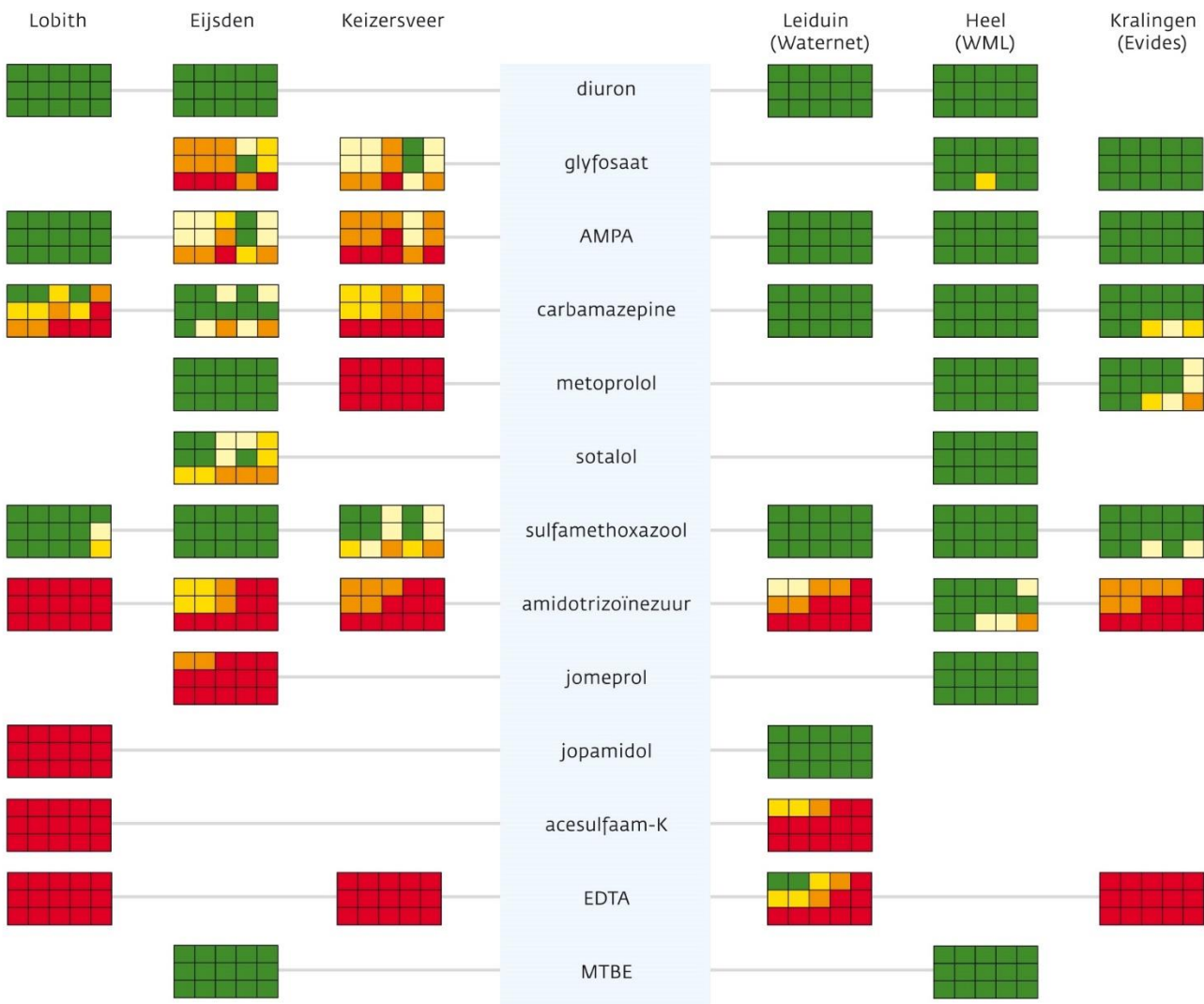
Chemische en microbiologische kwaliteit van oppervlaktewater

Nederlands drinkwater wordt voor 40 procent geproduceerd uit oppervlaktewater. Nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen uit de landbouw kunnen in oppervlaktewater terechtkomen, net als medicijnresten en industriële stoffen die via afvalwaterstromen op het oppervlaktewater worden geloosd.

Een veranderd stoffengebruik en klimaatverandering beïnvloeden de toekomstige waterkwaliteit. Zo zal door de vergrijzing de emissie van geneesmiddelen en röntgencontrastmiddelen naar het oppervlaktewater toenemen. De effecten van toenemende emissies op de waterkwaliteit worden versterkt door lage rivierafvoeren, die naar verwachting in een veranderend klimaat steeds vaker en langduriger zullen optreden. Uit de projecties van KWR [1] blijkt dat toekomstige (zichtjaar 2050) concentraties van een aantal relevante organische microverontreinigingen in de Rijn en Maas de streefwaarden uit het Europees Rivierenmemorandum voor oppervlaktewater als bron van drinkwater zullen overschrijden (zie afbeelding 1). Sporen van enkele organische microverontreinigingen kunnen in het drinkwater doordringen. Deze projecties bieden drinkwaterbedrijven en waterbeheerders inzicht in de mate en duur van overschrijdingen van stoffen bij de innamepunten van oppervlaktewater onder de verschillende klimaatscenario's, zodat tijdig maatregelen kunnen worden genomen.

Prognose ruwwater

Prognose reinwater



Prognose ruwwater
Overschrijding ERM-streefwaarde voor oppervlaktewater als bron van drinkwater (Europees Rivierwatermemorandum, 2013): 1 ug/L voor AMPA, acesulfaam-K, EDTA en MTBE en 0,1 ug/L voor alle overige stoffen

Prognose reinwater
Overschrijding ERM-streefwaarde na verwijdering stof afhankelijk van huidige locatie-specifieke zuiveringsrendement

Toelichting klimaatscenario's
HK Huidig Klimaat
G G scenario: gematigde klimaatverandering (KNMI, 2006)
W+ W+ scenario: snelle klimaatverandering (KNMI, 2006)
TB Verwachte toekomstige stofbelasting

Afbeelding 1. Het percentage dagen met overschrijdingen van streefwaarden in het jaar 2050 voor drie locaties, in relatie tot verschillende klimaatscenario's [1]

Deze inzichten hebben geleid tot vervolgstudies door het Deltaprogramma in samenwerking met Rijkswaterstaat en andere partijen. Een van de vervolgstudies betreft de effectiviteit van waterkwaliteitsverbetering door de aanvoer van Waalwater naar de Maas [2]. Het andere onderzoek betreft de effecten van droogte op de drinkwatersector, hieronder kort toegelicht.

In het kader van het Deltaprogramma Zoetwater wordt in 2021 een nieuwe deltabeslissing Zoetwater vastgesteld. Hierin worden afspraken over waterbeschikbaarheid gemaakt en wordt de voorkeursstrategie Zoetwater geactualiseerd. Om goede beleidsafwegingen te kunnen maken, hebben beleidsmakers inzicht nodig in de baten van zoetwatermaatregelen.

KWR heeft samen met Deltares en het economisch adviesbureau Ecorys de gevolgen van zoetwatertekorten voor de drinkwater- en industriese sector gekwantificeerd en deze vertaald naar economische effecten. Hieruit bleek dat de bestudeerde drinkwaterbedrijven, indien er geen aanvullende maatregelen als bronbescherming worden getroffen, genoodzaakt zijn maatregelen te nemen. Extra investeringen zijn dan nodig om tijdens tekorten aan schoon zoetwater in de drinkwatervraag te kunnen blijven voorzien. Deze inzichten, in combinatie met de bepaalde welvaartseffecten, bieden beleidsmakers handvatten voor het maken van beleidsafwegingen rond de zoetwaterverdeling.

Bodempassage: niet alleen voor verbetering van microbiologische kwaliteit

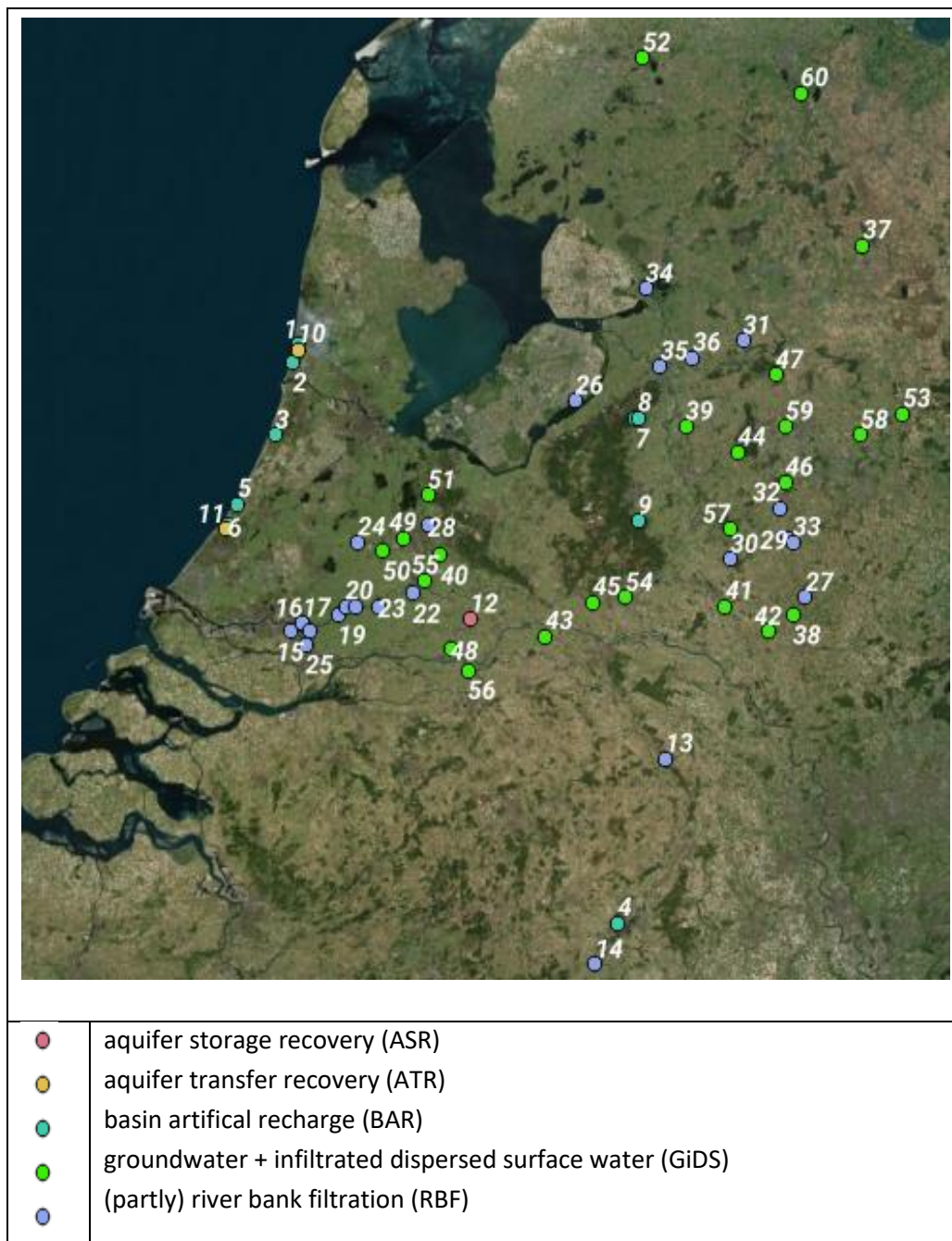
De verwijdering van organische microverontreinigingen (OMV), en de omzettingsproducten daarvan, is een belangrijke uitdaging bij de productie van drinkwater uit oppervlaktewater. De hierboven beschreven effecten van klimaatverandering en vergrijzing op de concentraties van OMV zullen de noodzaak van deze zuiveringsstap verder vergroten. Bodempassage wordt gewoonlijk ingezet als voorbehandelingsstap, primair gericht op verwijdering van deeltjes en bacteriën. Bodempassage kan echter ook bijdragen aan de verwijdering van OMV. Dit wordt nu nog gezien als een bijkomend voordeel, maar er zou ook actief op gestuurd kunnen worden door het toepassen van zogenoemde 'engineering-maatregelen'. Voorbeelden hiervan zijn het toevoegen van een reactieve laag aan het bodempakket of gebruik maken van variaties in redoxcondities. Voorbeelden hiervan zijn een reactieve laag en het toepassen van opeenvolgende variaties in redoxcondities.

Door middel van literatuuronderzoek en interviews bij de drinkwaterbedrijven [3] is in kaart gebracht welke typen bodempassagesystemen er in Nederland zijn (zie afbeelding 2) en welke engineering-maatregelen kunnen worden toegepast om de verwijdering van OMV te verbeteren. De bodempassagesystemen zijn ingedeeld in vijf categorieën:

- 1) basin artificial recharge (BAR),
- 2) aquifer transfer recovery (ATR),
- 3) aquifer storage recovery (ASR),
- 4) river bank filtration (RBF) en
- 5) groundwater + infiltrated dispersed surface water (GiDS)

BAR heeft in dit rapport betrekking op de duininfiltratiegebieden of infiltratiebekkens zoals die in Heel of Epe/Schalterberg. ATR omvat de diepinfiltratie van water via een put. Dit water wordt vervolgens getransporteerd door de bodem en uit een andere put onttrokken. ASR is in principe gelijk aan ATR, met het verschil dat hier het water wordt geïnfiltrerd en onttrokken uit dezelfde put. Hier wordt het water dus tijdelijk opgeslagen in het bodempakket om het weer terug te winnen wanneer er behoefte

aan is. RBF is oeverfiltratie waarbij het water uit een rivier of meer door de oever wordt getransporteerd en vervolgens wordt onttrokken. De laatste categorie, GiDS, beschrijft freatische grondwaterwinningen die een deel oppervlaktewater aantrekken.



Afbeelding 2. Verspreiding van type bodempassagesystemen in Nederland (per 2017) [3]

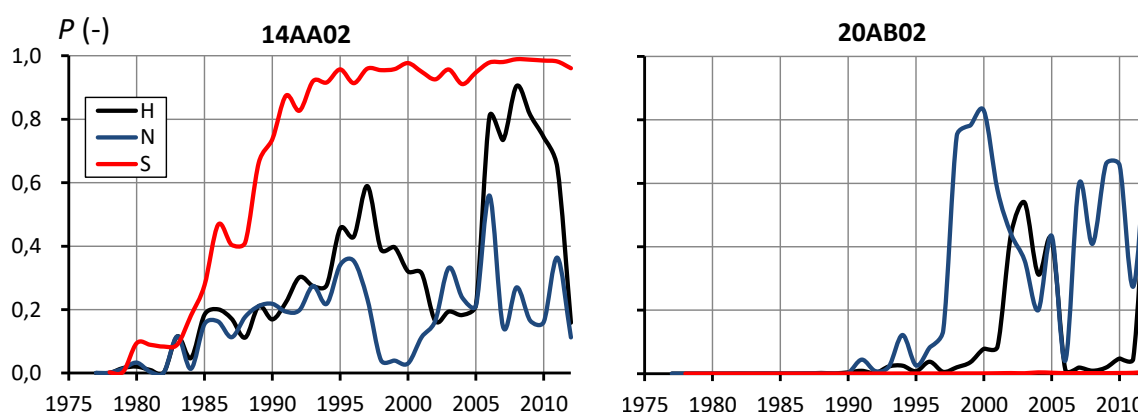
Vervolgens zijn twee cases verder uitgewerkt, namelijk 1) het toepassen van selectieve inname in combinatie met diepinfiltratie in de Amsterdamse Waterleiding Duinen (AWD) voor het vergroten van de buffercapaciteit (Waternet) en 2) het verwijderen van de sliblaag op de oever in Heel (WML). Voor de casus AWD blijkt een selectieve inname in combinatie met tijdelijke opslag een aanzienlijke reductie (12-87%, afhankelijk van de stof) in OMV-belasting op de nazuivering te kunnen bewerkstelligen (indien in 5 maanden tijd circa 100 Mm³ (≈ jaarproductie) wordt ingenomen). Wanneer dit echter

alleen wordt ingezet als calamiteitenbuffer (tijdelijk opslaan van kleiner volume, slechts 1-2 Mm³), dan zijn de reducties in OMV-belasting verwaarloosbaar. Bodemslibruiming resulteert in een langere oxische zone in de oever. Indien een stof goed kan afbreken onder oxische omstandigheden kan een langere verblijftijd in deze zone dus positief bijdragen aan de verwijdering. Volgens modelsimulaties resulteert het verwijderen van de sliblaag in meer verwijdering van cafeïne, dimethoat, DIPE, jopamidol, metformine, pyrazool en urotropine, maar minder verwijdering van atrazine en desfenylchloridazon.

Grondwateraanvulling en -kwaliteit

Net als bij oppervlaktewater is de kwaliteit van grondwater, de andere belangrijke bron voor drinkwaterproductie, onderhevig aan de effecten van klimaatverandering. Een sturende factor hierin is de rol van vegetatie. Klimaatverandering, in combinatie met atmosferische stikstofdepositie, kan leiden tot een verandering van de vegetatiesamenstelling. Dit brengt op haar beurt veranderingen teweeg in grondwateraanvulling en, via nitraatuitspoeling, in grondwaterkwaliteit.

Om deze relaties te ontrafelen is een eendimensionaal ecosysteemmodel ontwikkeld, PROBE-3. Dit model berekent de droogte op hellingen door rekening te houden met de hoeveelheid ontvangen zonnestraling. De vegetatiesamenstelling in het model is ook afhankelijk van de ouderdom van het systeem: de bodem wordt steeds rijker aan organische stof en zuurder. Hoe dit proces verloopt, hangt af van het (micro-)klimaat en de aanvoer van stikstof vanuit de lucht. De samenhang tussen water, bodem en vegetatie is gesimuleerd door modellen aan elkaar te koppelen die de relevante processen binnen deze drie compartimenten beschrijven: respectievelijk SWAP [4], CENTURY [5] en de vegetatiemodule van PROBE [6]. Dit modellentrio, tezamen PROBE-3 geheten, berekent de dynamische ontwikkeling van het ecosysteem, inclusief de daaraan verbonden ecosysteemdiensten (biodiversiteit, grondwateraanvulling en reductie van N-uitspoeling). Het model is gevalideerd aan de hand van gegevens over duinen waarvan het begin van de successie, vanaf een kale bodem, bekend is. De huidige versie van PROBE-3 kan door natuurbeheerders (waaronder drinkwaterbedrijven) worden gebruikt om potenties voor vegetatietypen te verkennen en het beheer eventueel aan te passen (zie afbeelding 3). De komende jaren wordt het model in het BTO verder ontwikkeld, zodat het met vertrouwen kan worden ingezet in studies voor het beleid en beheer van hogere zandgronden op de lange termijn. De kennis die is ontwikkeld in dit project is ook van belang voor de *Waterwijzer Natuur*, een initiatief van STOWA om te komen tot een wetenschappelijk goed onderbouwd, breed gedragen model voor vegetatiedoelen [7].



Afbeelding 3. Ontwikkeling (uitgedrukt als kansrijkdom P) van twee plantengemeenschappen gedurende 38 jaar van vegetatieontwikkeling (successie) op een vlakke bodem (H) en op een noord- (N) en zuidhelling (S) van een kalkarm duin: Duin-Buntgras-associatie (14Aa02) en Associatie van Eikvaren en Kraaihei (20Ab02) [8]

Fysieke kwetsbaarheid leidingnet

Klimaatverandering kan mogelijk voor meer leidingstoringen zorgen [9]. Ook voor het vervangen van leidingen, een proces met een tijdschaal van 100 jaar, is het daarom van belang rekening te houden met de effecten van klimaatverandering. Waterbedrijven hebben kennis nodig van de oorzaken waardoor leidingen van uiteenlopende materialen bezwijken. In dit onderzoek zijn de invloeden van zettingen, droogte, temperatuur, wind en drukvariaties op de betrouwbaarheid van ondergrondse waterleidingen in beeld gebracht. Met behulp van verschillende databronnen (weergegevens, satellietgegevens van zettingen, grondgegevens, leidingnetgegevens en storingsgegevens) is onderzocht welke verbanden er bestaan tussen het weer en leidingstoringen [10].

Hieruit is gebleken dat met name leidingen van asbestcement (AC) – die het meest gevoelig zijn voor hoge temperatuur – meer storingen zullen gaan vertonen bij een warmer wordend klimaat. Voor gietijzeren leidingen – vooral gevoelig voor lage temperatuur – zal het aantal storingen juist afnemen. Ook drogere zomers kunnen leiden tot zettingen en daarmee tot leidingfalen. Hoewel ook zware stormen tot leidingfalen kunnen leiden, is de verwachting dat klimaatverandering hier weinig effect op zal hebben, omdat de voorspelde verandering in windsnelheid klein is volgens de KNMI-klimaatscenario's. Wel zullen er 's zomers meer extreme buien gaan optreden, maar de effecten daarvan zijn meer lokaal van aard en zullen niet leiden tot significant meer leidingbreuken in een jaar. Omdat de komende decennia de temperatuurgevoelige AC-leidingen zullen worden vervangen door leidingen van een ander materiaal is de verwachting dat de mogelijke effecten van klimaatverandering op het ondergrondse distributienet over het algemeen klein zullen zijn. Specifieke klimaatmaatregelen om falen in het leidingnet te voorkomen zijn dan ook niet nodig. Wel blijft de toename van drogere periodes en daarmee gepaard gaande zettingen een aandachtspunt.

Drinkwatertemperatuur in het leidingnet

De drinkwatertemperatuur in het leidingnet wordt vrijwel volledig bepaald door de bodemtemperatuur rond de waterleiding, die vrijwel altijd op ongeveer 1 meter diepte ligt. Hotspots zijn plekken in de drinkwaterinfrastructuur waar op enig moment de temperatuur hoger is dan 25°C, het maximum zoals vastgelegd in het Drinkwaterbesluit. Een langdurig hoge temperatuur beïnvloedt de groei van micro-organismen in het water, vaak met negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit.

Hotspots treden vooral op bij een combinatie van veel (in)directe zonnestraling, droge zandbodem, tegels als bodembedekking en antropogene warmtebronnen, zoals warmtenetwerken, ondergrondse hoogspanningskabels en restwarmte van industriële processen. In warme zomers kan de bodem rond leidingen gemakkelijk een aantal dagen tot boven 25 °C opwarmen. Zo zijn in 2016 in een Nederlandse stad bodemtemperaturen boven de 25°C (max. 27°C) geregistreerd. Door het vergelijken van meerdere locaties is vastgesteld dat er in stedelijke gebieden ondergrondse hittestress optreedt en dat in sommige locaties met ongunstige condities (d.w.z. zand als bodemtype, zon, tegels en antropogene bronnen) ondergrondse hotspots ontstaan.

Veranderingen in antropogene warmtebronnen, zoals meer warmtedistributienetwerken, kunnen daarom lokaal grote gevolgen hebben voor de bodemtemperatuur. Deze veranderingen zijn gekoppeld aan de energietransitie en daarmee nog zeer onzeker. Als er geen actie wordt ondernomen zullen de gevolgen van klimaatverandering en de verwachte toename in antropogene warmtebronnen merkbaar worden binnen een aantal decennia. Simulaties [11] tonen aan dat hotspots in 2050 enkele weken per jaar drinkwatertemperaturen boven 25°C zullen veroorzaken, waardoor de waterkwaliteit meer onder druk zal komen te staan (zie tabel 1). Om ook in de toekomst klimaatbestendig te zijn, is langetermijnbeleid noodzakelijk. Daarom is het belangrijk dat er nu maatregelen worden genomen om in 2030 of 2050 een klimaatbestendige stad te bereiken.

Een combinatie van maatregelen is nodig om de stijging van de bodem- en drinkwatertemperatuur in het net te voorkomen. Praktische oplossingen zijn: leidingen leggen aan de schaduwkant van de straat, warmtebronnen vermijden of leidingen dieper leggen. Andere, meer integrale oplossingen zijn het vergroenen van steden, meer schaduw creëren en water langer vasthouden in de stad.

De komende jaren moeten er duidelijke richtlijnen komen om het beheer van de ondergrond te stroomlijnen en te zorgen dat alle infrastructuurbeheerders (waaronder water- en energiebedrijven, gemeenten en waterschappen) daaraan intensief samenwerken.

Tabel 1. Aantal dagen dat de drinkwatertemperatuur in drie stedelijke gebieden hoger is dan 25°C, gebaseerd op bodemtemperatuursimulaties op 1 m diepte voor een zomer met een hittegolf in 2012 en volgens KNMI klimaatscenario's G en W+ voor 2050 [10]

	Aantal dagen Temp. drinkwater >25° Tijdens een jaar met een (verwachte) hittegolf in de zomer		
	2012	2050 (G)	2050 (W+)
Peri-urbane wijken	0	0	0
Gemiddeld stad	0	0	7
Hot-spots in de stad	9	49	83

Drinkwaterverbruik

Wanneer men denkt aan de effecten van klimaatverandering, komen vaak als eerste waterkwaliteitsaspecten en waterbeschikbaarheid naar voren. Dat klimaatverandering ook effecten op de watervraag heeft, was tot voor kort minder duidelijk. Drinkwaterbedrijven maken bij belangrijke strategische keuzes, zoals het plannen van hun productiecapaciteit, gebruik van de zogeheten dagpiekfactor. Dit is het extreme dagverbruik dat statistisch gezien eens in de tien jaar wordt overschreden. Een accurate schatting van deze piekfactor is van groot belang om over- en onderdimensionering te voorkomen. Omdat de watervraag sterk wordt beïnvloed door het weer, is het belangrijk te weten hoe klimaatverandering deze beïnvloedt.

In dit onderzoek is de invloed van diverse klimaat- en vakantiespreidingsscenario's op zowel de gemiddelde als de extreme watervraag onderzocht voor de zichtjaren 2050 en 2085. Eerst zijn met een statistisch model relaties gelegd tussen de meteorologische omstandigheden, vakantie-afwezigheid en de watervraag. Vervolgens is een zogeheten *peak-over-threshold*-extremewaardenmodel gebruikt om uit de voorspelde watervraag voor 2050 en 2085 de dagpiekfactor af te leiden. De toename in watervraag blijkt in 2050 als gevolg van klimaatverandering en vakantiespreiding tussen de scenario's en voorzieningsgebieden onderling te variëren tussen -0,2 en +3,1 procent. De dagpiekfactor (extreme watervraag) neemt in 2050 toe binnen een bandbreedte van -2,9 tot +21,3 procent.

Met deze statistisch onderbouwde inschatting (bandbreedtes) kunnen waterbedrijven voor hun eigen voorzieningsgebieden vaststellen of de effecten van deze scenario's belangrijke gevolgen hebben voor hun infrastructuur, watervoorraden en investeringen. Om structurele effecten te bepalen kunnen de uit dit onderzoek afgeleide dagfactoren gecombineerd worden met aanvullende factoren, zoals demografische trends (vergrijzing), economische ontwikkeling, waterbesparing en stedelijke ontwikkeling.

Conclusie: gevolgen voor de drinkwatersector

Uit dit vijfjarige BTO-onderzoeksprogramma is gebleken dat klimaatverandering invloed heeft op diverse facetten van de drinkwatervoorziening. Met deze kennis is de drinkwatersector beter in staat om risico's het hoofd te bieden, maar ook om kansen te benutten. Inspelen op klimaatverandering is immers een van de belangrijke thema's voor drinkwaterbedrijven die een duurzame en toekomstbestendige drinkwatervoorziening willen bereiken.

Tot slot zijn meer informatie over onze onderzoeken en verwijzingen naar achterliggende rapporten te vinden in een interactief rapport. Zie daarvoor <https://www.kwrwater.nl/klimaatbestendige-watersector/index.html>

Referenties

1. Sjerps, R. & Zwolsman, G. (2016). *Verbetering prognose waterkwaliteit bij innamepunten van oppervlaktewater voor de drinkwatervoorziening*. KWR BTO rapport 2016.105.
2. Sjerps, R. et al. (2016). 'Wateraanvoer van Waal naar Maas: gunstig voor de waterkwaliteit?' *H₂O-online*, 16 november 2016.
3. Bertelkamp, C., Hartog, N & Stuyfzand, P (2018). *Bodempassage Nieuwe Stijl (BoNuS) Verkenning van actievere mogelijkheden voor inzet van bodempassage ter verlaging waterzuiveringsinspanning*. KWR BTO rapport 2018.063.
4. Dam, J.C. van, Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. & Kroes, J.G. (2008). Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone J.*, 7, 640-653.
5. Fujita, Y. et al. (2013). Towards a proper integration of hydrology in predicting soil nitrogen mineralization rates along natural moisture gradients. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 302-312.
6. Witte, J.P.M. et al. (2015). A probabilistic eco-hydrological model to predict the effects of climate change on natural vegetation at a regional scale. *Landscape Ecology*, 30, 835–854.
7. http://waterwijzer.stowa.nl/achtergronden/Waterwijzer_Natuur.aspx, geraadpleegd op 20 juni 2018.
8. Fujita, Y., Bartholomeus, R.P. & Witte, J.P.M. (2016). *PROBE-3: A succession model for ecosystem services*. KWR BTO rapport 2016.071.
9. Wols, B.A., Moerman, A., Thienen P. (2015). 'Effecten van klimaatverandering op drinkwaterdistributie in kaart gebracht'. *H₂O online*, 9 juli 2015.
10. Wols, B.A., Summeren, J. van, Mesman, G., Raterman, B. (2016) *Fysieke kwetsbaarheid leidingen voor klimaatverandering*. KWR BTO 2016.016.
11. Agudelo-Vera, C.M. (2018). *Aanpak om de hotspots in het leidingnet terug te dringen*. KWR BTO rapport 2018.024.