

Waterkwaliteitsstresstest: gevolgen van klimaatverandering op sleutfactoren gekwantificeerd

Marloes van der Kamp (Witteveen+Bos), Twan Cals (Wageningen University & Research), Maarten Ouboter (Waternet), Sebastiaan Schep (Witteveen+Bos)

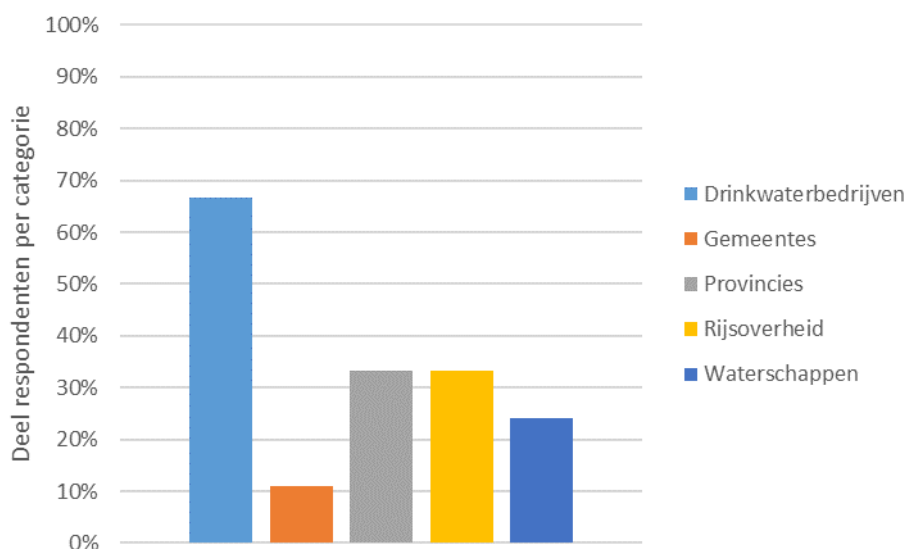
Het klimaat verandert. In stresstesten worden de gevolgen van klimaatverandering voor de waterkwaliteit maar beperkt meegenomen. Uit enquêtes blijkt dat veel waterbeheerders dit een gemis vinden en behoefte hebben aan een stresstest voor waterkwaliteit. Dit artikel beschrijft een prototype waterkwaliteitsstresstest, waarmee de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit systeemspecifiek en kwantitatief in kaart worden gebracht. Deze methode bouwt voort op de Ecologische Sleutfactoren. Met deze methode kan de omvang van het effect worden bepaald, kunnen maatregelen worden afgeleid om gevolgen van klimaatverandering te mitigeren en kan een onderbouwing voor het wel/niet halen van KRW-doelen worden gegeven.

Klimaatverandering heeft een steeds grotere impact op ons dagelijks leven. De afgelopen drie jaar leidden extreme hittegolven bijvoorbeeld tot slaap- en concentratieproblemen en zorgde droogte voor een verlaagde waterdruk en droogvallende beken. Extreme neerslag veroorzaakte op diverse plaatsen in Nederland wateroverlast. De verwachting is dat de impact van klimaatverandering in de toekomst toe zal nemen. Daarom wordt er door overheden hard gewerkt om de impact te beperken. Om de schade als gevolg van klimaatverandering te beperken is het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) in het leven geroepen. Dit plan streeft naar een klimaatbestendige en waterrobuuste inrichting van Nederland in 2050 [1]. De eerste stap in het DPRA is om kwetsbaarheden bloot te leggen voor de thema's wateroverlast, hitte, droogte en overstromingen. Hoewel ook de waterkwaliteit mogelijk verslechtert door klimaatverandering, blijft deze grotendeels buiten schot. Daarom is het idee ontstaan om een kwantitatief instrument te ontwikkelen dat de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit in beeld brengt: een zogeheten 'waterkwaliteitsstresstest', voortbouwend op de methodiek van de Ecologische Sleutfactoren [2]. Het idee van deze methode is dat de omvang van het effect kan worden bepaald, maatregelen kunnen worden afgeleid om gevolgen van klimaatverandering te mitigeren en dat aan de hand van deze methode een onderbouwing voor het wel of niet halen van KRW-doelen kan worden gegeven. Dit artikel beschrijft een eerste aanzet van deze methode: waterkwaliteitstresstest 1.0. Aan de hand van twee casussen wordt de toepassing geïllustreerd.

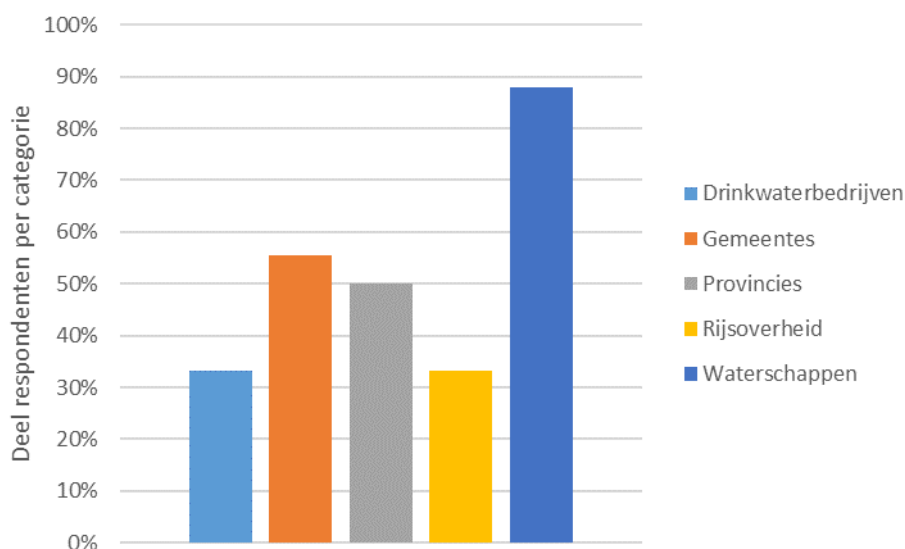
Behoeftte aan een waterkwaliteitsstresstest

Om in beeld te krijgen of er behoefte is aan een dergelijk instrument is in het voorjaar van 2020 een enquête uitgevoerd onder waterschappen, provincies, gemeentes, de Rijksoverheid en drinkwaterbedrijven [3]. Uit de enquête, die door 49 respondenten werd ingevuld, kwam naar voren dat de gevolgen van klimaatverandering voor de waterkwaliteit niet of nauwelijks in kaart worden gebracht (afbeelding 1). Er is bovendien weinig zicht op de kwantitatieve effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit. Ten slotte is er onduidelijkheid over de gevolgen van/op het huidige (KRW-) beleid en welke (aanvullende) maatregelen genomen kunnen worden om effecten van

klimaatverandering te mitigeren. De behoefte aan een instrument wordt in dit licht onderschreven (afbeelding 2) [3], [4].



Afbeelding 1. Het deel van de respondenten op de enquête dat aangeeft de effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit in kaart te brengen

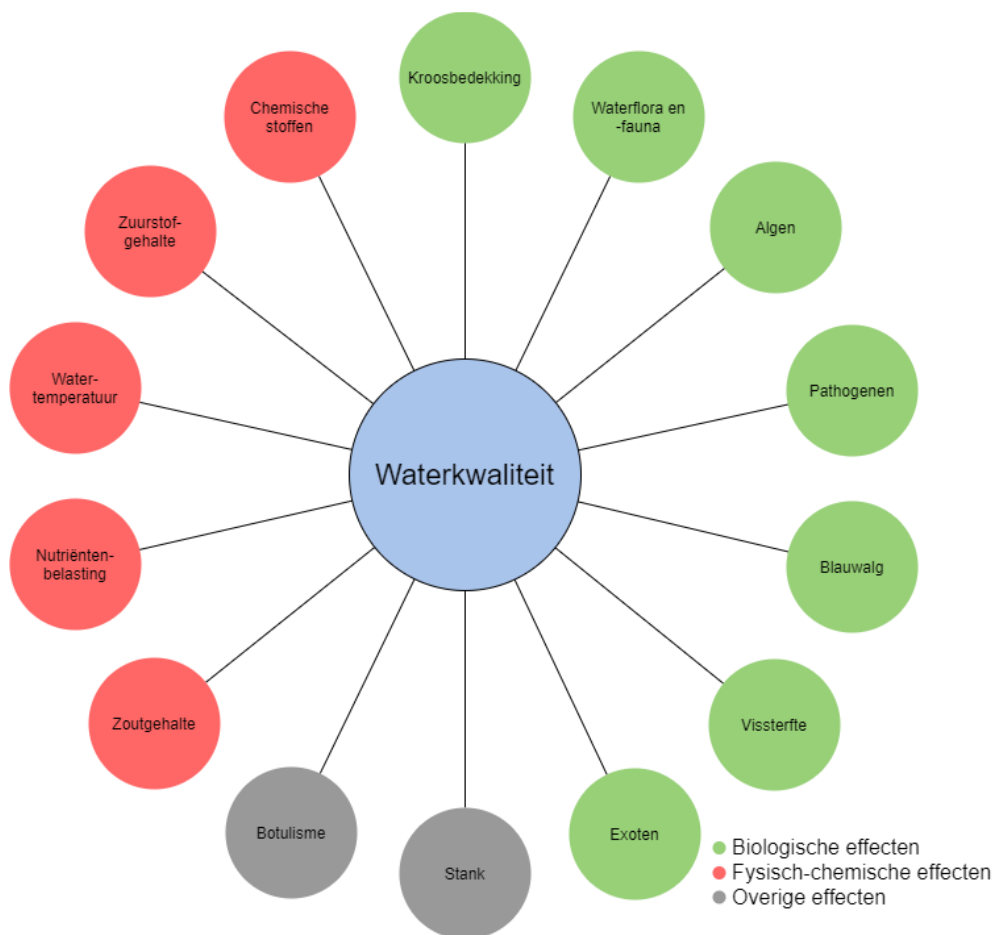


Afbeelding 2. Het deel van de respondenten op de enquête dat aangeeft behoefte te hebben aan aanvullende tools en methoden om de gevolgen van klimaatverandering op de waterkwaliteit in kaart te brengen

Opbouw van een stresstest

In het DPRA worden de gebieden die kwetsbaar zijn voor klimaatverandering in kaart gebracht met stresstesten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Klimateffectatlas (<https://www.klimateffectatlas.nl>), waarin per thema verschillende aspecten ('klimateffecten') doorgerekend worden voor de huidige situatie en voor 2050 volgens het WH-scenario van het KNMI [1], het meest extreme van de KNMI'14-scenario's. Voorbeelden van klimateffecten in de Klimateffectatlas zijn de zomerse neerslag voor het thema wateroverlast en de gevoelstemperatuur voor het thema hitte.

Maar welke indicatoren zijn nu belangrijk voor de waterkwaliteit? Deze vraag is meegenomen in de enquête. Uit de responses kwam een breed scala aan mogelijke indicatoren, zowel fysisch-chemische als biologische [3]. De meest genoemde indicatoren zijn weergegeven in afbeelding 3.



Afbeelding 3. Parameters die uit de enquête onder waterbeheerders naar voren kwamen als belangrijke elementen om in het kader van klimaatverandering in beeld te brengen

Gevolgen klimaatverandering voor de waterkwaliteit

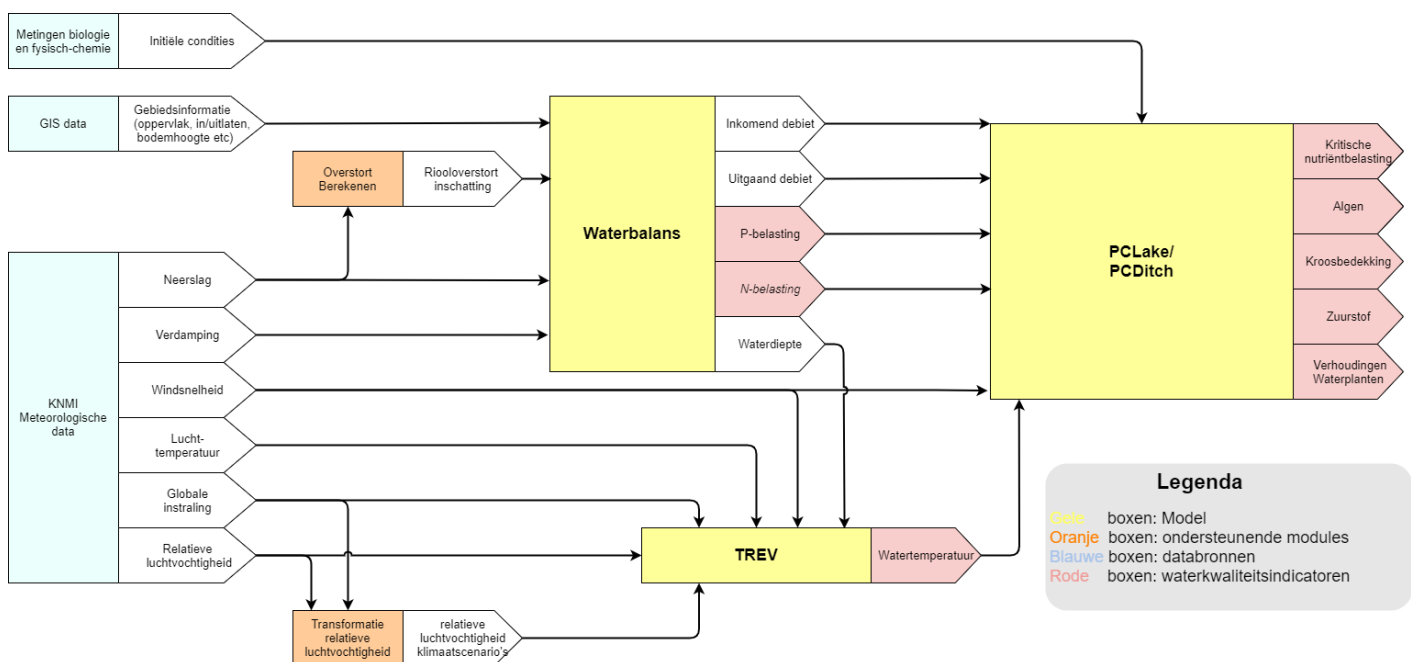
Het bepalen van de gevolgen van klimaatverandering voor de waterkwaliteit is relatief complex. Veranderingen in neerslag, temperatuur en droogte dragen allemaal indirect bij aan een verandering van de waterkwaliteit. Een toename van extreme buien vergroot bijvoorbeeld de instroom van nutriënten en schadelijke stoffen naar het oppervlaktewater via onder andere uitspoeling en riooloverstorten. Een toename in watertemperatuur zorgt voor een lager zuurstofhoudend vermogen en een toename van de bacteriologische activiteit in de waterbodem, met als gevolg mobilisatie van nutriënten. Langdurige droogte zorgt voor uitzakkende waterpeilen, toename van verblijftijden en/of meer aanvoer van water en stoffen in watersystemen waar inlaat mogelijk is. Doordat de verschillende factoren en processen elkaar versterken kan klimaatverandering leiden tot sterke afname van de waterkwaliteit. Voorbeelden van gevolgen zijn een toename van (blauw)alg, kroos en exoten, maar ook vissterfte en in algemene zin een afname in biodiversiteit en recreatieve waarden. Welke processen doorslaggevend zijn, is gebiedsspecifiek. Niet alle wateren zijn even gevoelig.

Waterkwaliteitsstresstest 1.0

In nauwe samenwerking met Waternet is een eerste prototype stresstest ontwikkeld en getest op een casus. Om dicht bij de belevingswereld van waterbeheerders te blijven is ervoor gekozen de methode te ontwikkelen in de context van een systeemanalyse. Hierbij is aangesloten bij het raamwerk van de Ecologische Sleutelfactoren (ESF) dat ontwikkeld is voor de diagnose van een watersysteem [2], [5]. Met de stresstest kan zowel een eenvoudige analyse worden gemaakt van gevolgen van klimaatverandering door een vergelijking van de nutriëntenbelasting met de kritische belasting, als een voorspelling van de waterkwaliteitsontwikkeling als gevolg van klimaat.

Door enkele beproefde tools en methoden slim aan elkaar te koppelen, verbeteren en automatiseren, is op een eenvoudige, betrouwbare en reproduceerbare wijze een eerste kwantitatieve, gebiedsspecifieke inschatting van het effect van klimaatverandering te maken. Vanwege het verkennende karakter is er bij de ontwikkeling van de stresstest 1.0 voor gekozen om met name op de effecten van klimaatverandering op de eerste drie ESF's te focussen. Deze drie ESF's gaan over het vóórkomen van ondergedoken waterplanten [5]. Hierbij is er aandacht voor fysisch-chemische (nutriënten, watertemperatuur, zuurstofgehalte) en biologische aspecten ((blauw)algen, waterplanten en kroos). Het prototype kan al naar gelang de behoefte uitgebreid worden, bijvoorbeeld met een module voor de af- en uitspoeling van milieuvreemde stoffen.

Een belangrijk onderdeel van de waterkwaliteitsstresstest is de koppeling van verschillende rekenmodellen (met een modelketen): eerst worden de waterstromen geanalyseerd, vervolgens wordt de fysisch-chemische waterkwaliteit in kaart gebracht en ten slotte wordt met een ecologisch model een inschatting gemaakt van implicaties voor het ecosysteemfunctioneren. Een overzicht van de relatie tussen deze instrumenten is weergegeven in afbeelding 4. Drie instrumenten spelen hierbij een hoofdrol: de waterbalans, een vereenvoudigde warmtebalans (het model TREV) en de ecologische modellen PCLake en PCDitch (zie kader).



Afbeelding 4. Modelketen als basis voor de waterkwaliteitsstresstest 1.0

Drie instrumenten voor de waterkwaliteitsstresstest

- *De waterbalans* is een bakjesmodel dat voor een waterlichaam de belangrijkste waterstromen in kaart brengt op basis van neerslag en verdamping, kwel en wegzijging en peilbeheer met in- en uitlaten [6]. Daarnaast kunnen de nutriëntstromen in kaart gebracht worden door (vaste) nutriëntconcentraties te koppelen aan de individuele waterstromen. Hierbij kan onzekerheid worden ingebouwd en weergegeven door met een minimale en maximale nutriëntconcentratie te werken. Op grond hiervan wordt de nutriëntenbelasting berekend.
- *TREV*: de watertemperatuur wordt berekend met een pythonvertaling van het model TREV. Dit is een module binnen het hydraulische transportmodel DUFLOW, dat met een eenvoudige benadering de watertemperatuur inschat [7]. De watertemperatuur is op zichzelf een relevante parameter en vormt tevens belangrijke input voor PCLAKE / PCDITCH.
- *PCLAKE / PCDitch*: het effect op het aquatische ecosysteem wordt verkend met de voedselwebmodellen PCLake en/of PCDitch [8]. Deze modellen simuleren de belangrijkste ecologische processen in (ondiepe) meren (PCLake) en lijnvormige wateren (PCDitch) aan de hand van een vereenvoudigd voedselweb, waarin de belangrijkste functionele groepen zijn vertegenwoordigd. In PCLake en PCDitch komen twee alternatieve stabiele toestanden voor: helder en plantenrijk aan de ene kant; en troebel, algenrijk en plantenarm aan de andere kant. Bij een hoge nutriëntbelasting kan het systeem omslaan van een heldere naar een troebele toestand [8], [9]. Het punt waar dit gebeurt wordt de kritische (nutriënten)belasting genoemd. Om van een troebele naar een heldere toestand te gaan zal de belasting ook weer onder een kritische belasting moeten komen. Door interne terugkoppelingen brengt het systeem weerstand tegen deze veranderingen, waardoor hysteresis optreedt. Dit houdt in dat de kritische belastingen van troebel naar helder en andersom niet dezelfde zijn. Met behulp van PCLake en PCDitch worden deze kritische belastingen benaderd. Een vergelijking van de nutriëntenbelasting met de kritische belastingen geeft zicht op de robuustheid van het systeem.

De waterkwaliteitsstresstest is eenvoudig toe te passen. Er is een aantal basale kenmerken van het gebied (oppervlak polder, aandeel water, minimum en maximumpeil, etc.) en meteorologische data nodig. Voor de meteorologische data kan worden uitgegaan van transformatie op basis van gedefinieerde klimaatscenario's, bijvoorbeeld de KNMI'14-scenario's [10], [11], of van zelf opgestelde reeksen. Door de modeluitkomsten voor de toekomstige gesimuleerde situatie te vergelijken met de huidige situatie wordt duidelijk of klimaatverandering gevolgen hebben op de fysisch-chemische en ecologische waterkwaliteit.

Eerste resultaten - casus Middelpolder

Casusgebied

Om de hierboven beschreven methode te ontwikkelen en toetsen is een casus gebruikt in de Middelpolder in het beheergebied van waterschap Amstel, Gooi en Vecht (Waternet). Dit is een gebied in het noorden van Amstelveen, dat in het oosten afvoert op de Amstel en wordt gevoed door neerslag, kwel en inlaatwater uit de Amstel of vanuit de Buitendijkse Buitenveldertse polder in het westen. De waterkwaliteit in de Middelpolder is wisselend: in het westen is de waterkwaliteit goed doordat het gevoed wordt met een overschot aan gedefosfateerd water uit de Buitendijkse Buitenveldertse polder. In het overig deel van de polder is de waterkwaliteit echter matig door overstorten van gemengd riool en diverse bronbemalingen voor ondergrondse activiteit. Dit resulteert in een grote algenbloei in het oostelijk deel van het stedelijk gebied.

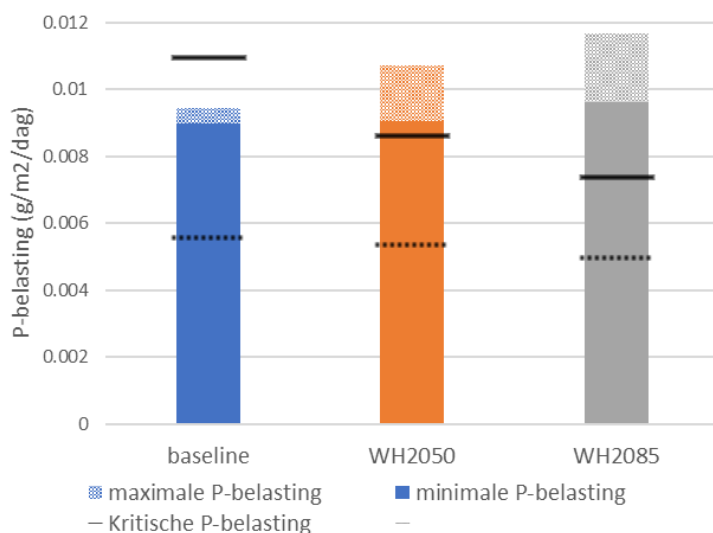
Scenario's

De Middelpolder is een slotensysteem en zodoende is er in eerste instantie gekozen om de mogelijkheden van het ecologische model PCDitch te verkennen in de modelketen. Hierbij is uitgegaan van een fosfaatlimiterend systeem, waarin de nutriëntbelasting wordt uitgedrukt in de P-belasting. De uitkomsten van drie gerunde scenario's zijn onderling vergeleken: een referentiescenario, WH2050 en WH2085. Het referentiescenario loopt van 1995 tot april 2020 en is gebruikt ter indicatie van de huidige toestand en als benchmark om gesimuleerde klimaatscenario's mee te vergelijken. Met WH2050 wordt het WH-scenario voor het jaar 2050 bedoeld, dat is berekend met het transformatieprogramma van het KNMI. In WH2050 nemen de jaarlijkse gemiddelde temperatuur en de jaarlijkse neerslagsom toe, maar neemt de neerslag in de zomer juist af. Het WH2050-scenario wordt ook bij de andere stresstesten (in de Klimateffectatlas) toegepast. WH2085 volgt hetzelfde principe als WH2050, maar dan voor het jaar 2085. Het beschrijft een extremere vorm van klimaatverandering met een verdere stip op de horizon.

Verandering robuustheid als gevolg van klimaat

In beide klimaatscenario's neemt de P-belasting toe ten opzichte van de huidige situatie (afbeelding 5). Dit komt doordat een toename in neerslag in deze scenario's leidt tot meer nutriënternuitspoeling naar het oppervlaktewater en doordat piekbuien tot meer riooloverstorten leiden. Daarnaast moet zomers meer water worden ingelaten om het water op peil te houden, waardoor de P-belasting ook stijgt. De grootte van deze toename is afhankelijk van de daadwerkelijke P-concentratie in het inlaatwater. Voor het gemak is in deze studie uitgegaan van een P-concentratie in het inlaatwater tussen de 0,3 (minimum) en 1,0 mg/L (maximum).

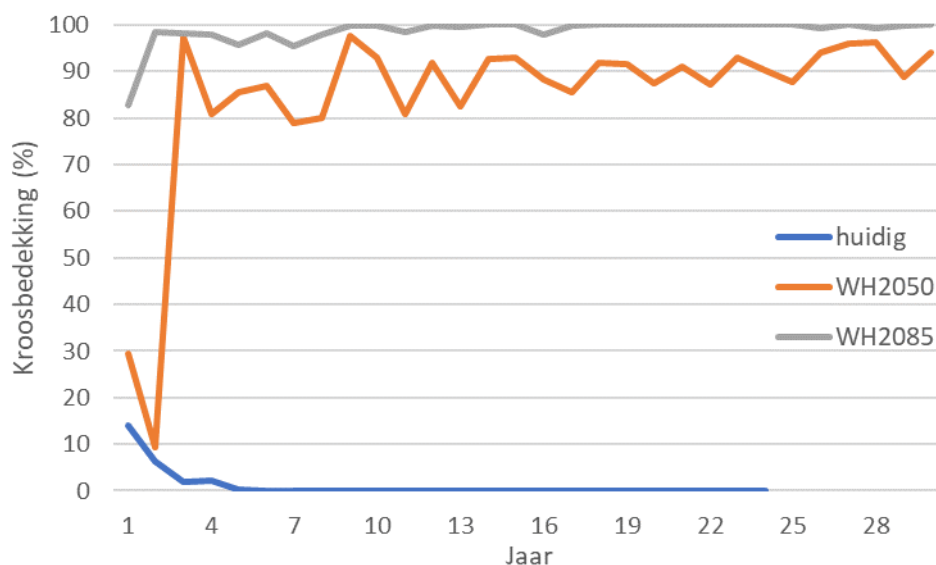
Klimaatverandering werkt echter twee kanten op. Niet alleen neemt de nutriëntbelasting toe, ook de draagkracht van het systeem neemt af. Dit is te zien aan de dalende kritische P-belastingen in afbeelding 5. De totale robuustheid van het systeem neemt hiermee sterk af. Afbeelding 5 geeft de externe belasting ten opzichte van de kritische P-belasting. Voor het gemak zijn de jaargemiddelden gepresenteerd.



Afbeelding 5. De met de waterkwaliteitsstresstest voorspelde jaarlijkse gemiddelde P-belasting in de Middelpolder tegenover de kritische P-belasting in de huidige (baseline-) situatie en bij twee klimaatscenario's

Voorspelling van de waterkwaliteitsontwikkeling

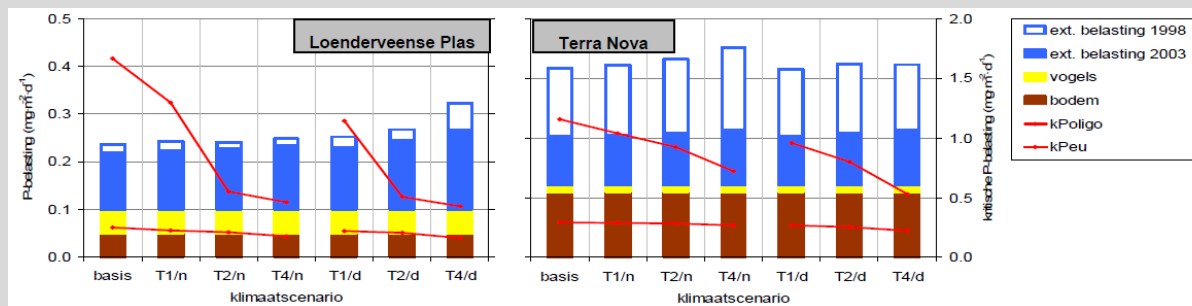
Doordat de P-belasting toeneemt en de draagkracht afneemt, wordt een verslechtering van de fysisch-chemische en ecologische waterkwaliteit verwacht als gevolg van klimaatverandering. Dit is nader onderzocht en geïllustreerd aan de hand van een langetermijnsimulatie voor kroosbedekking. Afbeelding 6 laat zien dat de kroosbedekking als gevolg van klimaatverandering naar verwachting sterk toeneemt. De bedekking met ondergedoken waterplanten zal juist afnemen (geen afbeelding).



Afbeelding 6. De met de waterkwaliteitsstresstest voorspelde zomerse kroosbedekking in %, op basis van meetreeksen in het huidige scenario en op basis van klimaattransformaties in het WH2050- en WH2085-scenario. Het uitgangspunt is een sloot met een lage kroosbedekking

Casus Loenderveen

In 2009 is een systeemanalyse inclusief verkenning van klimaateffecten uitgevoerd voor de Loenderveense plassen en Terra Nova [12], [13]. De gebruikte methode lijkt op die in dit artikel. Ook in deze studie komt naar voren dat klimaatverandering leidt tot afname van de robuustheid van het systeem: toenemende externe P-belasting en afnemende kritische belastingen (afbeelding 7). Dit heeft als gevolg dat het op termijn in veel wateren moeilijker zal zijn om de heldere plantenrijke toestand te handhaven en extra maatregelen getroffen moeten worden voor het behoud of herstel van een goede ecologische toestand.



Afbeelding 7. P-belasting tegenover kritische P-belastingen (kPoligo en kPeu) in Loenderveense plassen en Terra Nova bij verschillende scenario's

Conclusie

Klimaatverandering heeft waarschijnlijk grote gevolgen voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. Toch brengen waterbeheerders deze gevolgen nog nauwelijks (kwantitatief) in beeld. In dit artikel is een eerste prototype 'waterkwaliteitsstresstest 1.0' gepresenteerd waarmee de klimaateffecten betrouwbaar kwantitatief in beeld kunnen worden gebracht. De prototype stresstest kan reeds toegepast worden op verschillende type watersystemen, zowel in stedelijk als in landelijk gebied. Desgewenst kan dieper op de materie ingegaan worden, bijvoorbeeld door in te zoomen op tijdseffecten. De stresstest vormt hiermee zowel een goede basis voor een 'quick-scan' van kwetsbaarheden en klimaateffecten als voor een meer diepgaande analyse.

De toepassing op de casus Middelpolder gaf vertrouwen in de methode en toonde aan dat:

- het mogelijk is om met de prototype stresstest de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit (voedselrijkdom, waterplanten, etc) te simuleren, waarmee er een ordegrootte-inschatting van het effect verkregen kan worden;
- klimaatverandering veel impact kan hebben op de robuustheid van systemen doordat het zorgt voor een verhoging van de nutriëntbelasting én een afname van de draagkracht. Daarnaast nemen de watertemperatuur en lichtintensiteit toe waardoor de ecologische draagkracht van het systeem tevens afneemt. Dit leidt in het geval van de Middelpolder tot een omslag van een deel van het watersysteem van helder naar kroos en algen.

De waterkwaliteitsstresstest blijkt een waardevol en bruikbaar instrument voor het verkrijgen van een eerste inzicht in het effect van klimaatverandering. Dit inzicht kan waterbeheerders helpen om maatregelen te evalueren, prioriteren en vervolgens te acteren. Dit inzicht helpt inzichtelijk te maken of waterkwaliteitsdoelen (KRW en overig water) in het licht van klimaatverandering nog wel haalbaar zijn, en/of extra inzet van maatregelen nodig is. Tevens is het mogelijk om het effect van

klimaatmaatregelen die vanuit andere relevante thema's worden genomen, zoals afkoppeling van regenwater op de waterkwaliteit, in beeld te brengen.

Aanbevelingen

De in dit artikel gepresenteerde stresstest betreft een eerste aanzet en kan al naar gelang de wens en relevante problematiek eenvoudig doorontwikkeld en uitgebouwd worden, omdat uitgegaan is van een modulaire opzet. Geadviseerd wordt deze doorontwikkeling vorm te geven in nauwe samenspraak met waterbeheerders en experts aan de hand van casussen. Zo krijgen waterbeheerders voldoende antwoord op vragen. Door een gezamenlijke aanpak kan er een uniforme, breed toepasbare en geaccepteerde methode ontwikkeld worden, waarbij het voor de hand ligt aan te blijven sluiten bij de ESF-methodiek. Aspecten waarop doorontwikkeling voor de hand ligt betreffen:

- de doorontwikkeling en toepassing van alternatieve klimaatscenario's. Voor waterkwaliteit zijn immers variaties (nat/droog, warm/koud door het jaar heen) en het moment van timing erg belangrijk. Gedacht kan worden aan uitbreiding met meer extreme jaren, waarbij de jaren 2018 t/m 2020 als referentie kunnen dienen;
- het uitbreiden van de waterkwaliteitsstresstest op het vlak van chemie en gezondheid. Klimaatverandering zorgt voor een toename van af- en uitspoeling van milieuvreemde stoffen en de kans op botulisme. Daarnaast beïnvloedt het ook het watergebruik. Waar wenselijk kan de stresstest op deze onderdelen aangevuld worden;
- het verder uitwerken van gevolgen van klimaatverandering op bodemprocessen en andere processen relevant voor nutriënten. Een belangrijke bron van nutriënten is immers de af- en uitspoeling vanuit percelen.
- de ontwikkeling van een eenvoudige visualisatie van de resultaten die aansluiten bij de belangrijkste maatschappelijke vragen.

Referenties:

1. Deltaprogramma. (2020). *Doorwerken aan de delta: nuchter, alert en voorbereid*.
2. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (2015). *Ecologische sleutelfactoren in het kort*. STOWA-rapport 2015-31.
3. Cals, T. (2020). *Waterkwaliteit en klimaatverandering: Op weg naar een stresstest voor de waterkwaliteit*. Stageverslag Internship Environmental System Analysis, Wageningen University & Research.
4. Wageningen University & Research (2020). *Water quality stresstest rural area 1.0*. Academic consultancy training, Wageningen University & Research.
5. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (2015). *Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie. Toepassing van de ecologische sleutelfactoren 1,2 en 3 in de praktijk*.
6. Mandemakers, J., Collombon, M., Ouboter, M., & Talsma, M. (2019). 'Ecologische watersysteemanalyse: Waterbalans geeft inzicht', *H2O-Online*, 21 augustus 2019
7. Aalderink, H. (1996). 'Procesbeschrijvingen DUFLOW Watertemperatuur'. In Aalderink, R. *Duflow waterkwaliteits-procesbeschrijvingen* (p. 24). Wageningen University & Research, STOWA.
8. Janse, J. (2005). *Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches*. PhD dissertation, Wageningen University & Research.

9. Jaarsma, N., Klinge, M., & Lamers, L. (2008). *Van helder naar troebel... en weer terug*. STOWA Rapport: 2008-04.
10. Klein Tank, A., Beersma, J., Bessembinder, J., Hurk, B. van den, & Lenderink, G. (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt, KNMI
11. *Transformatieprogramma KNMI*.
http://www.klimaatscenario.nl/toekomstig_weer/transformatie/index.html
12. Schep, S. A. (2010). *Ecologische modellering Loenderveense Plas en Terra Nova*. Deventer: Witteveen+Bos; LN4-1.
13. Schep, S.A., Heerdt, G. ter, Janse, J., Ouboter, M. (2008). 'Possible effects op climate change on ecological functioning of shallow lakes, Lake Loenderveen as a case study'. *AGRIS*.
<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201700046791>