

Een verbeterd model voor chlorideprognoses op basis van rivierafvoeren bij Lobith en Eijsden

Tessa Pronk, Jelmer Nijp (KWR water), Meinte Blaas, Roel Burgers (Rijkswaterstaat)

Naar aanleiding van de droge zomer van 2018 hebben Rijkswaterstaat en het ministerie van Infrastructuur en Milieu samen met VEWIN en RIWA-Rijn een nieuw model opgesteld om chlorideconcentraties in de Rijn bij Lobith en de Maas bij Eijsden te kunnen voorspellen. Dit is belangrijk omdat zoutconcentraties in de rivieren toenemen in perioden van droogte en dan schade kunnen veroorzaken aan natuur en landbouwgewassen. Bovendien kunnen ze tot problemen leiden voor de inname van drinkwater of proceswater. Het nieuwe model geeft accuratere voorspellingen dan voorgaande modellen en berekent ook onzekerheden. Dit is behulpzaam bij interpretatie en risico-afwegingen in de praktijk.

Zouten, vooral chloride, komen van nature voor in zowel zoet rivierwater als zeewater, zij het dat in zoetwater de concentraties ongeveer een factor 100 lager zijn. Natuur, landbouwgewassen, drinkwaterwinning en andere gebruikers zijn ingesteld op deze lage chlorideconcentraties. Een verhoging van concentraties boven bepaalde referentie- en normwaarden (verzilting) kan tot schade leiden aan die zoetwaterfuncties. Tijdens perioden van droogte in het stroomgebied van een rivier nemen de concentraties per saldo toe.

Chloride is met de huidige zuiveringstechnieken alleen tegen hoge kosten te verwijderen. De capaciteit van de ontziltingsinstallaties die in Nederland voorhanden zijn is beperkt. Als de referentie- en normwaarden voor drinkwater en oppervlaktewater bij een te hoge concentratie niet gehaald worden, zijn maatregelen nodig, zoals bijmengen of overstappen op water met een lager chloridegehalte uit andere bronnen (bijvoorbeeld grondwater). Omdat tijdens een droge periode de chlorideconcentraties in het rivierwater nagenoeg niet te beïnvloeden zijn (enkele internationale afspraken over antropogene lozingen daargelaten) en alternatieve bronnen tijdens droogte zo spaarzaam mogelijk ingezet worden, is het handig een zo betrouwbaar mogelijke prognose van de chlorideconcentratie te kunnen geven.

Naar aanleiding van de droge zomer van 2018 concludeerde de Beleidstafel Droogte [1] dat alle belanghebbenden gebaat zijn bij een onderling consistent beeld van de prognose van een tijdelijke overschrijding van de chloridenorm. De Beleidstafel adviseerde daarom een verbetering en uniformering van de voorspellingsmodellen die tot dan toe gebruikt werden. Rijkswaterstaat en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) zijn in 2019 samen met de vereniging van Drinkwaterbedrijven VEWIN en de vereniging van rivierwaterbedrijven RIWA-Rijn een studie gestart bij KWR water om voor zowel de Maas als de Rijn de op dat moment verschillende modellen te uniformeren en actualiseren. Uitgangspunten waren een data-analyse en basisaannames over de dynamiek van chlorideconcentraties in het watersysteem.

Omgang met normwaarden chloride

Op voorspraak van de Beleidstafel Droogte [1], heeft het ministerie van I&W samen met drinkwaterbedrijven een Handleiding Chloridenormering Drinkwater(bronnen) opgesteld [2]. Maximaal toegestane chlorideconcentraties voor drinkwater en inname water zijn gedefinieerd op basis van achteraf vast te stellen jaargemiddelden (150 mg/l Cl⁻). Het is niet altijd mogelijk of effectief om een tijdelijke overschrijding tegen te gaan, wanneer naar alle waarschijnlijkheid nog steeds voldaan kan worden aan de jaargemiddelde norm van 150 mg/l. Bovendien kan het handelingsperspectief tijdens droogte erg beperkt zijn. Betrouwbare en gedeelde prognoses van omvang en duur van de overschrijding van de chlorideconcentraties zijn in de handleiding van centraal belang. Acties kunnen bij milde overschrijding bestaan uit het informeren van watergebruikers. Op basis van de handleiding dient sowieso actie ondernomen te worden indien de daggemiddelde chlorideconcentratie 200 mg/l overschrijdt; bijvoorbeeld tijdelijk overstappen op andere bronnen. Deze waarde van 200 mg/l sluit aan bij normen die in het Infiltratiebesluit worden genoemd en wat in het Rijnverdrag wordt gehanteerd als signaalwaarde voor het oppervlaktewater aan de Duits-Nederlandse landsgrens (meetstations Lobith-Bimmen). Wat betreft milieu is voor chloride een maximaal toelaatbaar risico (MTR-waarde) van 200 mg/l afgeleid voor langdurige (chronische) blootstelling. Bij overschrijding van een milieukwaliteitseis is de waterbeheerder verplicht maatregelen te formuleren én toe te passen.

Wat beïnvloedt de chlorideconcentratie in de Rijn en de Maas?

Chloride wordt een conservatieve stof genoemd omdat de concentratie ervan niet door biologische of fysisch-chemische processen in het water wordt beïnvloed. De concentratie hangt alleen af van de hoeveelheid chloride die in de rivier komt (de vracht) en de mate van verdunning.

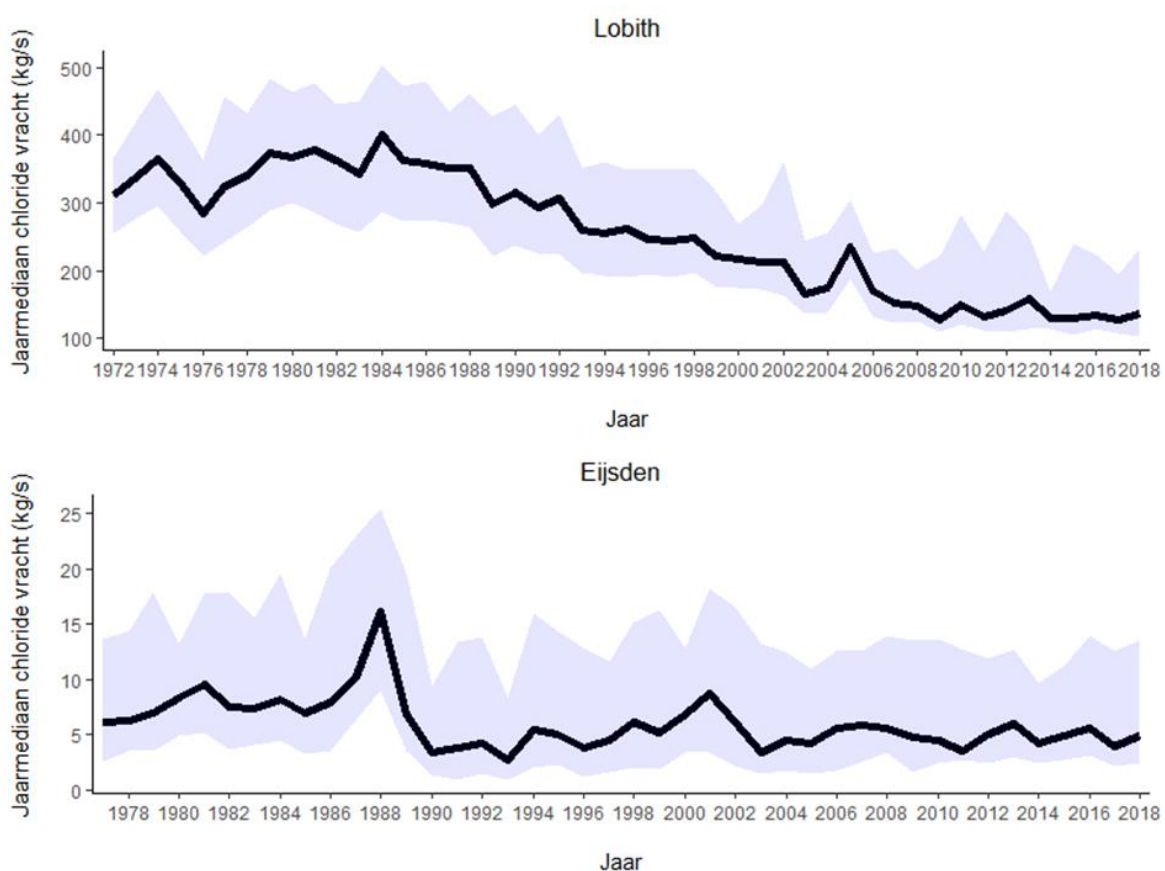
Chloride komt van nature in gesteenten voor, vooral in de vorm van zouten. Deze zouten zijn zeer goed oplosbaar in water. Door afstroming van neerslag langs en door de bodem lost een hoeveelheid zout op die vervolgens wordt afgevoerd via de rivier. Bij een hogere afvoer als gevolg van neerslag stroomt er meer water over land af, waardoor de chloridevracht toeneemt. De natuurlijke chloridevracht beweegt dus grotendeels mee met de rivierafvoer. De concentratie blijft min of meer gelijk [3]. Een ander deel van de natuurlijke zouten is afkomstig van atmosferische depositie. Door deze processen is er altijd chloride aanwezig in rivierwater.

Daarnaast draagt de mens bij aan de zoutbelasting van de rivieren door bemesting, scheepvaart, afvalwaterlozingen, gladheidsbestrijding, mijnbouw en andere industriële activiteiten [3], [4], [5]. De door mensen veroorzaakte chloridecomponent in de Maas is waarschijnlijk laag ten opzichte van de natuurlijke vracht. De chloridevracht in de Rijn is sinds 1895 toegenomen, onder andere door lozingen van bruinkoolmijnen en de industrie in het Ruhrgebied. In eerste instantie werden de zouten direct geloosd in de Rijn, maar dankzij inspanning van onder andere de Nederlandse staat ten behoeve van milieu- en drinkwaterbelangen is dit in het Rijnzoutverdrag verboden. De zoutbelasting van de Rijn neemt daardoor sinds de jaren '90 weer geleidelijk af. De chlorideconcentratie wordt ook beïnvloed door incidentele industriële lozingen of incidenten van andere aard, zoals gladheidsbestrijding. De zoutvracht door menselijke invloeden is grotendeels onafhankelijk van de rivierwaterafvoer. Bij lagere afvoeren wordt deze minder verdund, waardoor de chlorideconcentratie stijgt.

Trends en patronen uit meetgegevens

Het water van de Rijn en de Maas komt Nederland binnen bij respectievelijk Lobith en Eijsden. Deze locaties kennen een uitgebreid historisch meetprogramma waarin, onder andere, chloride en debiet worden gemeten [6], [7], [8].

In afbeelding 1 is de ontwikkeling van de jaargemiddelde chloridevracht en de jaarlijkse bandbreedte uitgezet van de jaren '70 van de vorige eeuw tot en met 2018. De recente gemiddelde vracht in de Rijn bij Lobith is ongeveer 130 kg/s. In de Maas bij Eijsden is de chloridevracht tot 1988 iets hoger dan in de periode daarna (afbeelding 1a). Dit kan worden toegeschreven aan de hogere waterafvoer tussen 1977 en 1988 (niet getoond). Dat betekent dat de chloridevracht in de Maas bij Eijsden sinds lange tijd schommelt rond de 5 kg/s.

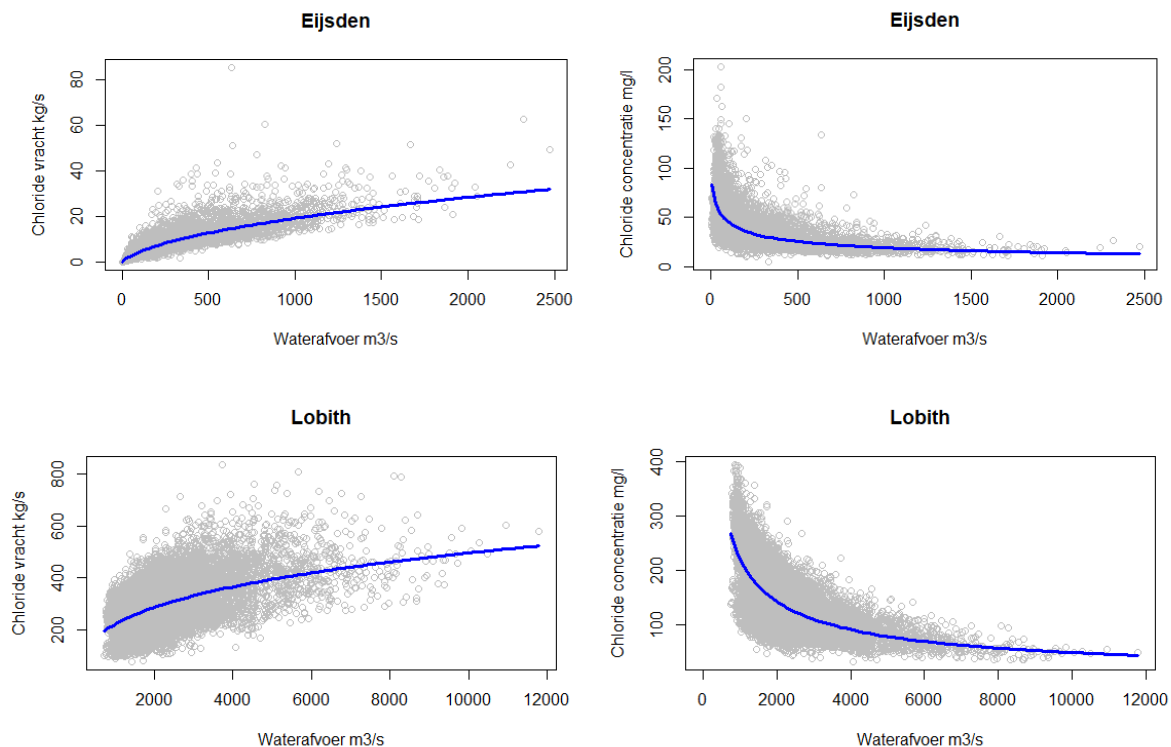


Afbeelding 1. Jaarmediaan chloridevracht in Lobith (boven) van 1972 en in Eijsden (onder) van 1977 tot en met 2018. NB: a en b zijn op verschillende schaal weergegeven. De blauwe band laat het 90-percentiel van alle metingen in het betreffende jaar zien en de zwarte lijn weerspiegelt de mediaan [6]

In de periode tot begin jaren '90 van de vorige eeuw is bij Lobith een grotere spreiding van de chloridevracht te zien aan weerszijden van de mediaan. In de periode daarna neemt de mediane zoutvracht af en resteren er vooral uitschieters naar boven. Dat wijst erop dat de chloridevracht weer meer richting het natuurlijke patroon gaat met daar bovenop nog wel incidentele emissies.

Naast de langjarige trend in historische chloridevracht is in de KWR-studie gekeken naar factoren op kortere tijdschalen die de chloridevracht kunnen beïnvloeden. Dit zijn seizoensinvloeden, temperatuur (verdamping, smelt van gletsjers en sneeuw, bevroering) en direct effect van regenval

(lokale afspoeling). Industriële en socio-economische emissies vielen buiten de reikwijdte van dit onderzoek, maar deze zijn impliciet meegenomen in de factoren ‘jaar’, ‘dag in de week’, ‘maand’ en ‘dag in het jaar’. Deze kunnen trends vertonen als gevolg van veranderingen in milieubeleid en vergunningen voor industrie en landbouw. Naast deze variabelen is ook de chloridevracht in relatie tot waterafvoer nader bekeken. De meeste eerdere modellen veronderstelden een lineair verband op basis van een afvoer-onafhankelijke (grotendeels menselijke) vracht en een natuurlijke vracht die recht evenredig varieert met de afvoer. Afbeelding 2 (links) laat zien dat een dergelijke lineaire relatie te eenvoudig is: de chloridevracht neemt snel toe bij lage waterafvoer maar steeds minder snel bij hogere waterafvoer.



Afbeelding 2. Chloridevracht (links) en -concentratie (rechts) 1972/1977-2018, uitgezet tegen waterafvoer. De blauwe lijn is het resultaat van een lineaire regressie van het logaritme van chloridevracht tegen het dubbele logaritme van waterafvoer, zonder aanvullende variabelen

Het model

Op basis van bovengenoemde patronen in de data is een aantal modelvarianten onderzocht. De optimale relatie voor de chloridevracht in Lobith en Eijsden is bepaald door de variabelen stuk voor stuk toe te voegen of weg te laten. De relatie tussen het dubbele logaritme van de waterafvoer en het logaritme van de chloridevracht bleek de belangrijkste. Onder andere lokale regenval, temperatuur, maand en jaar leverden een kleine maar significante bijdrage aan de variatie. Het toevoegen van deze extra verklarende factoren moet wel afgewogen worden tegen toepasbaarheid van het model voor operationele verwachtingen. Uiteindelijk is een modelvariant gekozen waarin de nauwkeurigheid zo goed mogelijk is, maar zo weinig mogelijk extra factoren nodig zijn die zelf ook weer voorspeld moeten worden, zoals temperatuur en neerslag. Het voorgestelde model heeft uiteindelijk alleen een verwachting van de waterafvoer bij de grens nodig en informatie over de maand en dag in de maand. Deze tijdcomponenten geven de seizoenfluctuatie weer.

Resultaten

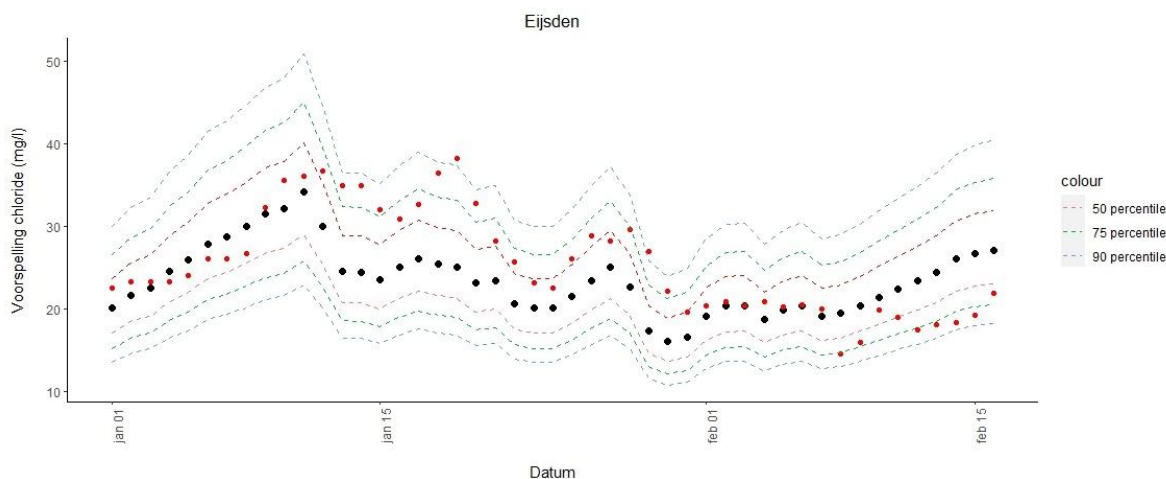
Het model kan voor Lobith de chlorideconcentratie gemiddeld met 90% nauwkeurigheid voorspellen, (gemiddeld absoluut afwijkingpercentage t.o.v. de werkelijke waarde); voor Eijsden is die nauwkeurigheid 80%. Extreem hoge en lage chlorideconcentraties zijn vooral voor locatie Eijsden minder nauwkeurig te voorspellen dan minder extreme waarden. Het zou kunnen dat deze extreme waarden niet aan de hand van waterafvoer voorspeld kunnen worden omdat ze het gevolg zijn van incidentele emissies, bovenop de vracht die verklaard kan worden met seizoensvariatie en waterafvoer.

Het is belangrijk te weten dat in dit type model de chlorideconcentratie niet oneindig blijft stijgen als de waterafvoer zeer klein wordt, wat bij de eerdere lineaire benadering wel het geval was. Het omslagpunt ligt bij Eijsden tussen 85 en 160 mg/l bij een waterafvoer tussen 3 en 10 m³/s, niet ver beneden de laagste gemeten waarden bij Eijsden. Mogelijk wordt dit fenomeen veroorzaakt doordat bij zeer lage afvoer bepaalde zoutbronnen de rivier niet meer bereiken.

Bij Lobith is het bestaan van dit omslagpunt vooralsnog een theoretisch fenomeen, omdat er historisch geen waterafvoeren zijn waargenomen die zo laag zijn. Bij de Rijn is er juist nog een potentieel voor (zeer) hoge chlorideconcentraties bij lage (grotweg <750 m³/s) debieten.

De modeluitspraken zijn over het algemeen redelijk nauwkeurig. Een enkele voorspelling van de chlorideconcentratie geeft echter geen volledig beeld. Sommige voorspellingen zijn zekerder dan andere omdat het model sommige fenomenen beter verdisconteert dan andere. De hier gepresenteerde modelafleiding levert naast de verwachtingswaarde ook betrouwbaarheidsmarges voor de afzonderlijke voorspellingen. In afbeelding 3 is een voorbeeld gegeven van het gebruik van de berekende betrouwbaarheidsmarges (predictie-intervallen) rond gemodelleerde waarden in de Maas voor de eerste anderhalve maand van 2021. Ook is weergegeven hoe de observaties uit die periode afwijken van de modelschattingen. In afbeelding 3 is te zien hoe in de tweede helft van januari 2021 de werkelijke chlorideconcentratie hoger was dan de modelschatting. Dit kan veroorzaakt worden door het gebruik van strooizout in combinatie met snel smeltende sneeuw en regen in die periode. In de daaropvolgende aanhoudende vorstperiode is de neerslag (sneeuw) niet gesmolten en afgevoerd, wat mogelijk weer de verklaring is voor de gemodelleerde overschatting rond half februari. Deze afwijkingen zijn het gevolg van de keuze voor een simpel en gemakkelijk te operationaliseren model. Het predictie-interval maakt duidelijk hoe groot de afwijkingen zijn die kunnen voorkomen.

De onzekerheid in de verwachting van de waterafvoer zelf is in dit voorbeeld niet meegenomen. Die zal zeker een rol spelen wanneer het model wordt ingezet om, op basis van afvoerverwachtingen uit een stroomgebiedsmodel, een uitspraak te doen over toekomstige concentraties. De onzekerheid in de afvoer ten gevolge van, vooral, onzekerheid in de weersverwachting zal een extra bandbreedte introduceren, die groter wordt naarmate er verder in de toekomst gekeken wordt.



Afbeelding 3. Voorbeeld van chloridevoorspellingen voor een periode in winter 2021. Zwarte stippen geven de uitspraak van het model weer op basis van waargenomen rivierafvoer, zonder dat daarin de variabele ‘vorst’ in combinatie met ‘regenval’ is meegenomen. Rode stippen zijn de waargenomen chlorideconcentratie. De gekleurde lijnen geven de predictie-intervallen bij de voorspelling: buitenste (blauw) 90% (5- tot 95-percentielen), middelste (groen) 75% (12.5 tot 87.5-percentielen), binnenste (rood) 50% (25 tot 75-percentielen). Hoe breder deze banden, hoe onzekerder de voorspelling

De operationeel waterbeheerder kan met behulp van predictie-intervallen informatie geven aan gebruikers. Die kunnen op basis daarvan een afweging maken om bepaalde maatregelen wel of niet te nemen. Voorbeeld: de verwachting geeft voor een bepaald moment in de nabije toekomst een chlorideconcentratie aan die iets lager is dan 200 mg/l. Uit de predictie-intervallen is de kans af te leiden dat de waarde van 200 mg/l bij deze waarde toch overschreden zal worden. De grens voor ingrijpen kan door een waterbeheerder gesteld worden op, bijvoorbeeld, een kanswaarde van 20% dat de grens van 200 mg/l wordt overschreden. Dit betekent dat dan in één op de vijf gevallen deze grenswaarde inderdaad overschreden wordt bij die voorspelde waarde. De toe te passen kanswaarde kan afhankelijk worden gemaakt van de ‘cost/loss’-ratio: een afweging van kosten van al dan niet noodzakelijk ingrijpen, ten opzichte van de opgetreden schade en maatregelen indien niet wordt ingegrepen.

Conclusies en vooruitblik

Inzicht in de trend en voorspelbaarheid van chlorideconcentraties in rivierwater op basis van afvoerverwachtingen zijn noodzakelijk om bij (dreigende) overschrijdingen van de norm tijdens lage afvoeren tijdige en effectieve maatregelen te treffen. De hier besproken relatie tussen verklarende variabelen en chlorideconcentratie biedt een referentie voor de locaties Eijsden en Lobith. Met de afgeleide relaties in het model kan de ontwikkeling van de chlorideconcentraties in het oppervlaktewater op zowel korte (dagen) als langere termijn (jaren) worden geschat. De relatie kan dus ook bruikbaar zijn bij het opstellen van klimaatscenario’s. Hierbij moet er wel rekening mee worden gehouden dat de onderliggende systeemkenmerken, zoals minerale verwerking, toevoer van smeltwater etc. en menselijke vrachten nu in de regressie zijn mee-gemodelleerd. Een regressiemodel legt immers verbanden op basis van opgetreden statistiek. Een model gebaseerd op processen, daarentegen, kan ook verandering in deze processen meenemen, bijvoorbeeld landgebruik, socio-economische ontwikkeling in het stroomgebied et cetera. Een dergelijk model is

complexer en vraagt meer invoergegevens die niet altijd even goed beschikbaar zijn, of aannames die gepaard kunnen gaan met grote onzekerheden. Bovendien is een procesmodel lastiger te operationaliseren dan een enkele vergelijking.

Wat betreft de door menselijk handelen veroorzaakte vrachten is er ook nu nog sprake van voortschrijdend beleid, met name in Duitsland, om vrachten te reduceren door sluiting van steenkoolmijnen [7]. De zomer van 2018 was in dit verband ook uitzonderlijk vanwege maatregelen in het internationale stroomgebied om zoutlozingen tijdelijk te stoppen vanwege de lage waterstand [9]. Het model kan lastig met dit soort incidenten omgaan. Dit verklaart mede de extra onzekerheid in de voorspelling. Daar is weinig anders aan te doen dan rekening te houden met dit soort gebeurtenissen bij de interpretatie van verwachtingen en besluiten om eventueel maatregelen te nemen bij lage afvoeren.

De informatie met betrekking tot de onzekerheid in de waterafvoer is voorhanden bij de operationele waterbeheerder Rijkswaterstaat, die met uit meerdere modellen samengestelde ('ensemble'-) verwachtingen werkt. Het advies is dat het hier gepresenteerde model wordt toegevoegd aan de ensemble-verwachtingen, zodat op basis van evaluatie gedurende een bepaalde testperiode de effectieve predictie-intervallen zijn in te schatten.

Het nieuwe geüniformeerde regressiemodel [10] geeft een verbeterde voorspelling in vergelijking met andere modellen voor locaties Lobith en Eijsden, op basis van de waargenomen waterafvoer en de datum. Extreem hoge en lage chlorideconcentraties blijven echter wel minder nauwkeurig te voorspellen dan meer gematigde waarden. De toevoeging van een gekwantificeerde onzekerheid in de voorspelling geeft juist ook daarom nuttige handvatten voor beheerders, om kansen op overschrijdingen te evalueren bij het opstellen van verwachtingen van concentratie op basis van operationele afvoerverwachtingen.

Referenties

1. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019). *Nederland beter weerbaar tegen droogte*. Eindrapportage Beleidstafel Droogte. December 2019. <file:///C:/Users/Jape2/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/fc563bfa-8fde-4d6f-8954-cf346ec99dd1/2019261596.01+Eindrapportage+Beleidstafel+Droogte.pdf>
2. Helpdesk Water (2019). *Handleiding Normering Chloride Drinkwater(bronnen) Werkversie Helpdesk Water juli 2019*. <https://www.helpdeskwater.nl/@214714/handleiding-chloridenormering-drinkwater-bronnen/>
3. Bruijn, F.A. de, Mazijk, A. van (2003). *Klimaatinvloeden op de kwaliteit van het Rijnwater, Startdocument Klimaatproject RIWA*. RIWA-Rijn rapport.
4. Zwolsman, J.J.G., Bokhoven, A.J. van (2007). 'Impact of summer droughts on water quality of the Rhine river: a preview of climate change?' *Water Sci. Technol.* (2007) 56 (4): 45–55. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.535>
5. Bonte, M. (2009). *Drinkwaterfunctie Markermeer en verzilting IJsselmeergebied*. BTO 2009.041(s). Rapport KWR.
6. RIWA-Rijn database, Nieuwegein. Beschikbaar op aanvraag.
7. RWS servicedesk-data. Beschikbaar op aanvraag via <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata-en-waterberichtgeving/waterdata>

8. Aqualarm. <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/waterkwaliteit/maatregelen-waterkwaliteit/aqualarm>
9. ICBR (2021). *Chloriderapport, Concentraties en emittenten overzicht 2018*. https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/NL/rp_NI_0286.pdf
10. Pronk, T.E. (2021). *Actualisatie regressiemodel voor chlorideconcentraties bij Lobith en Eijsden*. KWR Rapport 2021.045 <https://edepot.wur.nl/541247>