

Het IJsselmeer: een voorspelbare bron voor drinkwaterproductie?

MATTHIJS BONTE, VINCENT POST, KOEN ZUURBIER EN ERIC DE VOS

PWN voorziet in Noord-Holland circa 70% van de inwoners in haar voorzieningsgebied van drinkwater gemaakt uit IJsselmeerwater. In recente droge jaren is het IJsselmeer enkele malen verzilt, wat gevolgen had voor de drinkwaterproductie. Dit riep voor PWN de vraag op: 'kunnen we de kwaliteit van IJsselmeerwater bij het innamepunt in Andijk simuleren en voorspellen, en zo ja, met hoeveel dagen vooruit?' Om dit te onderzoeken is een model ontwikkeld dat is gekoppeld aan beschikbare actuele data en prognoses. Hiermee is een verwachting te maken van enkele dagen tot weken vooruit. De betrouwbaarheid van de prognoses zal de komende tijd onderzocht worden. De analyse bracht al wel aan het licht dat lang niet alle benodigde data goed ontsloten zijn, wat een obstakel vormt bij de doorontwikkeling. Het ontwikkelde model is tevens gebruikt om de effectiviteit van een vergroot spaarbekken (de zogenaamde 'klimaatbuffer') te onderzoeken. Uit dit onderzoek blijkt dat de 'klimaatbuffer' een effectief middel is om de effecten van periodieke verzilting van het IJsselmeer op de drinkwaterproductie te mitigeren.

Artikel

Aanleiding

In de zomers van 2017, 2018 en 2022 werd zichtbaar wat de consequenties van langdurige droogte in het Rijnstroomgebied kunnen zijn voor het IJsselmeer. Door het watertekort op het IJsselmeer kon minder water worden gespuid dan in gemiddelde jaren waardoor zoutwater dat bij de schutsluizen in de Afsluitdijk binnenkomt verder het IJsselmeer op kon migreren. Verzilte, windgedreven 'zoutwaterbellen' op het IJsselmeer zorgden ervoor dat IJsselmeerwater bij PWN's innamepunt in Andijk niet meer geschikt was voor productie van drinkwater. Hierdoor werd in een aanzienlijk deel van Noord-Holland de jaargemiddelde norm voor chloride van 150 mg/l in drinkwater overschreden. Ook in 2022 leidde verzilting tot 19 preventieve innamestops bij Andijk, al werd de jaargemiddelde chloridenorm niet overschreden. Voor PWN is meer grip op deze innamebron noodzakelijk. Immers, 70% van de klanten van PWN wordt voorzien van drinkwater geproduceerd uit IJsselmeerwater. Het is dus van belang te weten wat er van deze bron te verwachten valt, zowel morgen als de komende weken, maanden, jaren en zelfs decennia. Die wens/ambitie ligt er voor meerdere parameters, maar gezien de recente jaren heeft zout de prioriteit. Opgemerkt moet worden dat waar hier over zout gesproken wordt, het specifiek over chloride gaat. Dit leidde tot de vraag of verzilting in een systeem als het IJsselmeer in voldoende mate te voorspellen is en in hoeverre deze voorspelling te gebruiken is voor operationele en strategische beslissingen?

Om voorspellingen over de zoutconcentratie in het IJsselmeer te doen, is het van belang om zowel de water- als de zoutbalans zo goed mogelijk in beeld te hebben. Voortbouwend op een eerder model (Bonte en Zwolsman, 2010a en 2010b) zijn opnieuw alle relevante posten daarvoor in beeld gebracht en zijn de benodigde meetreeksen uitgebreid tot en met 2021. Dit artikel beschrijft de databehoeftes en bouw van dit chloridemodel voor het IJsselmeer, het gebruik van dit model in een dashboard bij PWN voor operationele toepassingen, en tot slot het gebruik van het model om de effectiviteit van een extra spaarbekken (de zogenaamde 'klimaatbuffer') te onderzoeken.

Databehoeftes en databeschikbaarheid

De belangrijkste bronnen van zout voor het IJsselmeer zijn het in het Rijnwater opgeloste zout en zeewater dat binnendringt bij de Afsluitdijk (primair via de schut- en spuiscuilen en in mindere mate via de dijkse kwel). Een secundaire bron van zout wordt gevormd door het regionale watersysteem: zout grondwater dat omhoog komt in diepe polders die afwateren op het IJsselmeergebied. Neerslag en verdamping vormen weliswaar geen noemenswaardige posten op de zoutbalans, maar zijn wel belangrijk voor de waterbalans van het IJsselmeergebied. Om de verschillende posten van de water- en zoutbalans goed mee te nemen in de modellering, is een overzicht gemaakt van de databeschikbaarheid ingaand op de volgende vragen:

- Zijn de benodigde historische data beschikbaar?
- Hoe zijn deze data ontsloten (slechts op verzoek, via een website, of via een webservice of Application Programming Interface (API))?
- Zijn er voorspellingen beschikbaar voor deze databronnen (en voor welke termijn)?

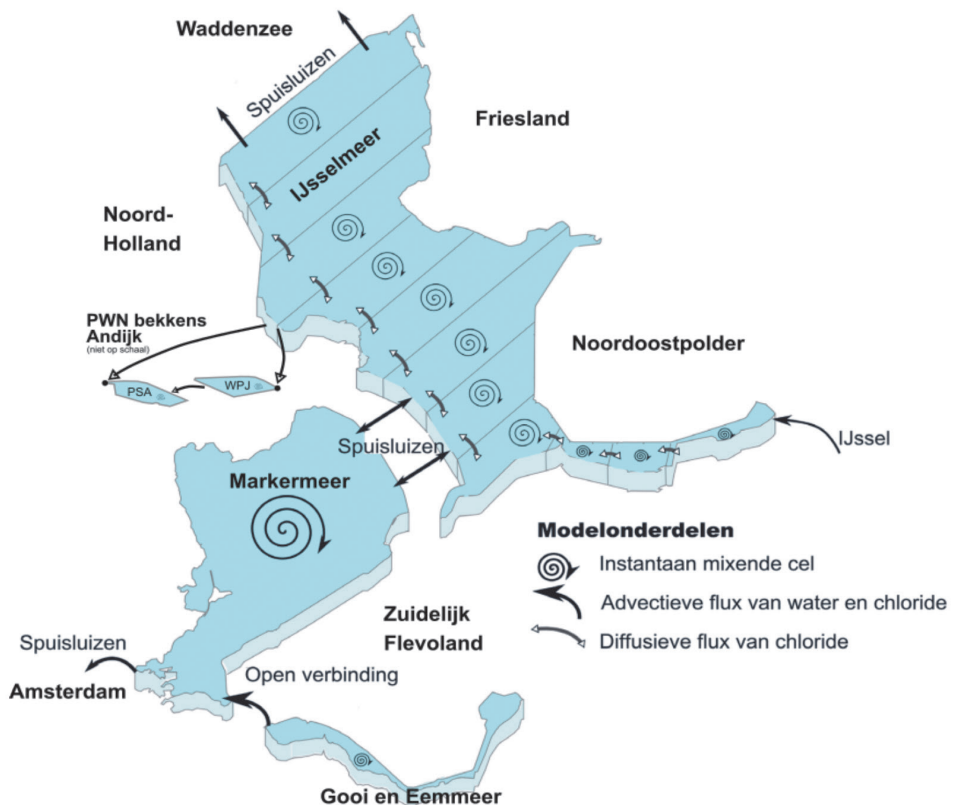
Uit deze data-inventarisatie bleek dat afvoerdata voor de Rijn en IJssel goed online opvraagbaar zijn, inclusief 4- en 14-daagse prognoses. Ook de zoutmetingen op verschillende punten in het IJsselmeer zijn online beschikbaar. Deze data kunnen via een API met een script worden ingeladen, wat automatische verwerking voor een waterkwaliteitsprognose mogelijk maakt. Data van het spuien en de zoutintrusie bij de Afsluitdijk zijn niet online beschikbaar. Voor de zoutvracht over de Afsluitdijk is uitgegaan van de (verouderde) schattingen van Rijkswaterstaat. Deze aanname wordt verder bij de resultaten en modelijking besproken.

Afvoerdata voor het regionale watersysteem op het IJsselmeer en Markermeer zijn beperkt online beschikbaar, al lopen er wel initiatieven om deze situatie te verbeteren. Zo stelt Wetterskip Fryslân de data voor een aantal gemalen beschikbaar via de webservice van Rijkswaterstaat en heeft Waterschap Zuiderzeeland een online dataportaal. Ook is de historische data niet altijd opvraagbaar, wat vooral voor het simuleren van het Markermeer lastig bleek (hier wordt later in het artikel op ingegaan). Verder viel op dat de dataformats sterk uiteenlopen, wat extra werk betekent bij de automatische verwerking en koppeling aan een model. Het samenbrengen en uniformeren van de benodigde data voor voorspellingen van de kwaliteit van het IJsselmeerwater is anno 2023 een flinke klus. Slim Watermanagement ontwikkelt momenteel informatieschermen waarmee deze situatie in de toekomst mogelijk kan worden verbeterd (zie <https://www.slimwatermanagement.nl>).

Modelaanpak

Met de belangrijkste data op een rij kon de volgende stap gezet worden: het simuleren van de chlorideconcentraties. Voor het huidige onderzoek is een eerder ontwikkeld bakjesmodelconcept (Bonte en Zwolsman, 2010a en 2010b) opnieuw opgezet in Python. In de eerdere studie werd een reeks van 1997-2008 doorgerekend. Deze reeks is uitgebreid tot en met december 2021. Bovendien zijn de twee PWN-spaarbekken bij Andijk en hun bedrijfsvoering in het model opgenomen. Dit betreft het bekken voor Pompstation Andijk (PSA, voor drinkwaterproductie te Andijk) en het bekken voor het WRK Waterwinstation Prinses Juliana (WPJ, proceswater en ruwwater voor duininfiltratie). De eigenschappen en aansturing van de bekken kunnen worden gevarieerd. Op die manier kan hun impact worden onderzocht op de ruwwaterkwaliteit. Een alternatieve inlaatsturing van de bekken komt hierbij ook aan de orde. De realisatie van extra buffercapaciteit is gesimuleerd met een extra bakje in het bakjesmodel dat de twee bestaande spaarbekken voedt.

Conceptueel betreft het een eenvoudige water- en zoutbalans waarmee het IJsselmeer wordt gemodelleerd met een cascade van bakjes waarbij uitwisseling van zout tussen de bakjes plaatsvindt door advectie en diffusie (Afbeelding 1).



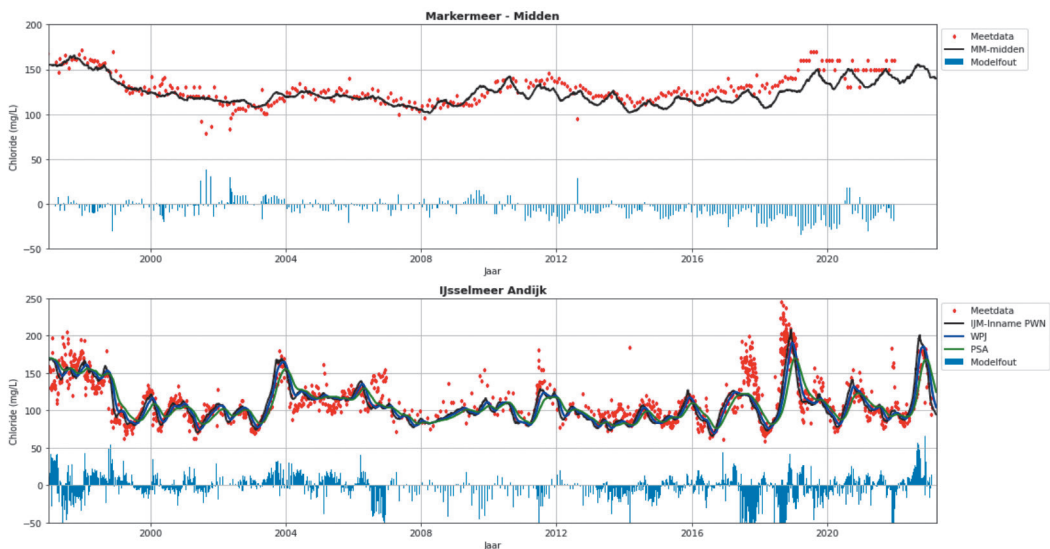
Afbeelding 1: Schematisch overzicht van het IJsselmeergebied zoals geschematiseerd in het bakjesmodel. De twee spaarbekken zijn tevens weergegeven: PSA staat voor Pompstation Andijk (drinkwater) en WPJ staat voor WRK Waterwinstation Prinses Juliana (proceswater en ruwwater voor duininfiltratie).

Het advectieve transport simuleert de doorstroming van het meer voornamelijk gedreven door instroom vanuit de IJssel en uitstroom bij de Afsluitdijksluizen. Met een diffusie-term wordt het effect van windgedreven menging meegenomen. Het Markermeer en Gooi- en Eemmeer worden beiden gemodelleerd met één instantaan mengend bakje. In minder dan 5 seconden kan de berekening worden uitgevoerd op een standaard laptop.

Hoe goed werkt het model met historische data?

Het oorspronkelijke model rekende de periode 1997-2008 door en was geijkt op meetdata voor Andijk door het aantal bakjes en de diffusie-term te variëren. Bij het doorrekenen van het model met de verlengde reeks bleek dat verhoogde zoutconcentraties bij Andijk in de laatste jaren (vanaf 2017) niet goed werden voorspeld (Afbeelding 2). Voor het Markermeer werd vanaf 2010 de chlorideconcentratie structureel te laag berekend.

De meest aannemelijke verklaring voor de hogere chlorideconcentratie bij Andijk is een toename van de zoutvracht over de Afsluitdijk. Deze toename kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van een groei van het aantal schuttingen voor de scheepvaart, of een toename van lekkages bij sluisdeuren als gevolg van slijtage. De beste modelfit op de zoutpieken uit de laatste jaren werd gevonden door een jaarlijkse groeifactor van 3% toe te passen op de geschatte zoutvracht voor de periode 1997-2008. Deze zoutvracht is gebaseerd op schattingen per maand van Rijkswaterstaat die dateren van eind jaren '90. Dit resulteert in een zoutvracht van 72 kg/s in de zomermaanden van 2018. Deze hoeveelheid komt goed overeen met een schatting van 70 kg/s door Boelens e.a. (2023) in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Deze inschatting is tot stand gekomen met het model 'zeesluisformulering' (Deltares, 2019).



Afbeelding 2: Gemeten en berekende chlorideconcentraties bij Andijk en Markermeer Midden – periode 1997-2022 en de PWN-spaarbekkens. De afwijking tussen de gemeten en berekende concentraties is weergegeven middels de blauwe balken. Met een jaarlijkse groei van 3% in de zoutindringing bij de Afsluitdijk per 2009.

De verzilting bij Andijk in de zomers van 2018 en 2020 wordt met deze aanpassingen in zoutvracht bij de Afsluitdijk redelijk goed voorspeld – de verzilting tijdens de zomer van 2017 niet. De oorzaak is niet duidelijk maar kan te maken hebben met een afwijkend sluisbeheer in dat jaar.

Er zaten veel gaten in de meetreeksen van afvoer vanuit de omliggende polders. Dit is opgelost door datareeksen te interpoleren met maandgemiddelde waarden, maar als er juist in een periode met ontbrekende data relatief veel zout polderwater wordt uitgeslagen op het IJsselmeer leidt dit tot een onderschatting van de zoutconcentraties in het model. De bijdrage vanuit de meeste polders lijkt echter te beperkt om de afwijking van 2017 te verklaren. Het incidentele uitslaan van relatief zout water via gemaal Lely vanuit de Wieringermeer richting het IJsselmeer vlakbij Andijk heeft wel sterke doorwerking op de chlorideconcentratie bij Andijk. Dit is goed zichtbaar in de meetdata voor december 2021. Door de grootte van de bakjes in het model wordt deze impact niet goed door het model gesimuleerd.

Voor het Markermeer is de fit tussen de gemeten en gesimuleerde zoutconcentraties voor de uitgebreide reeks minder goed dan voor de oorspronkelijke reeks tot 2007. Een duidelijke oorzaak is niet aan te wijzen maar mogelijk is er een nieuwe bron van zout bijgekomen, of een bestaande niet goed gekwantificeerde bron is groter geworden. Een complicerende factor hierbij is tevens dat de afvoergegevens vanuit Flevoland voor de periode 2008-2013 niet beschikbaar waren. Dit valt samen met het begin van de periode waarin de concentraties met het model onderschat worden. Andere mogelijkheden zijn een toename van verzilting bij de Oranjesluizen vanuit het Noordzeekanaal en het IJ (mogelijk verband houdend met de nieuwe Zeesluis bij IJmuiden) en de aanleg van de Markerwadden (afhankelijk van de herkomst van het zand). Omdat de doorwerking vanuit het Markermeer op het IJsselmeer beperkt is, is er geen poging ondernomen om de modelfit voor het Markermeer te verbeteren.

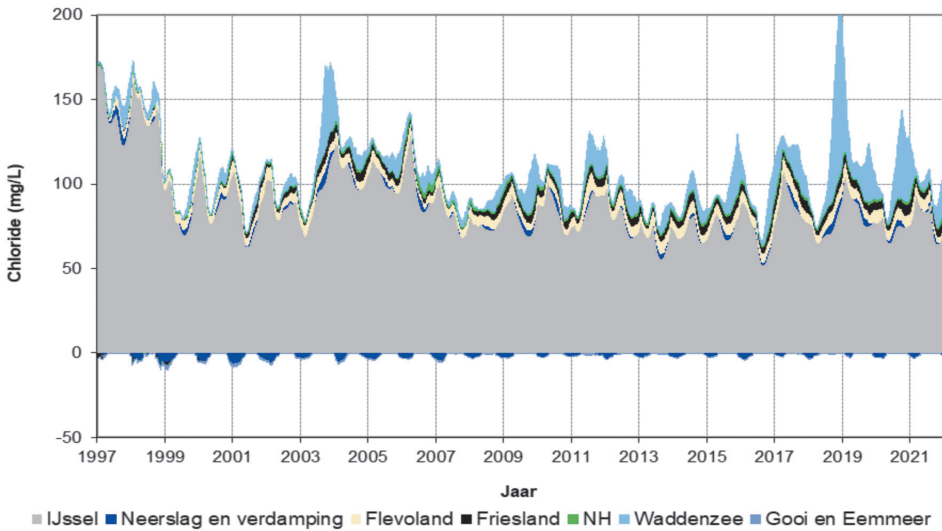
Op hoofdlijnen is de chlorideconcentratie bij Andijk nu te voorspellen. Afwijkingen zijn minder goed te vangen: bijvoorbeeld de (kortdurende) grotere zoutindringing bij de Afsluitdijk en het uitslaan van relatief zout water uit de Wieringermeer dicht bij Andijk bij calamiteiten. Wanneer waarnemingen afwijken van het modelresultaat, kan wel verwacht worden dat er in werkelijkheid ergens een afwijkende situatie optreedt en kan nader onderzoek worden ingezet.

Gebruik model om herkomst zout te onderzoeken: wat doet ertoe?

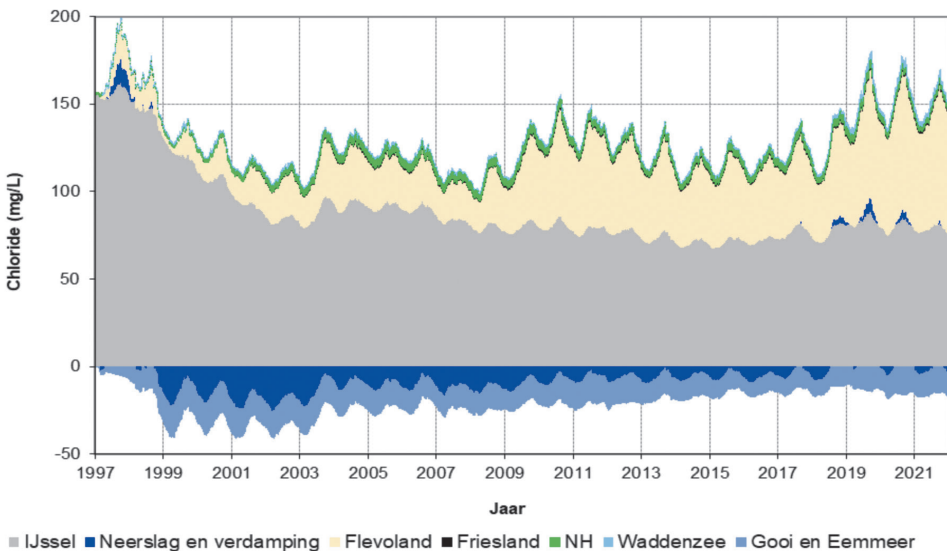
Het model is een goed hulpmiddel om de herkomst van de bronnen voor zout in het IJsselmeerwater bij Andijk te onderzoeken. Het resultaat van deze analyse is getoond in Afbeelding 3 en laat zien dat de belangrijkste bron van zout gedurende meerdere jaren de Rijn is. Door forse terugdringing van zoutlozingen in het Rijnstroomgebied bedraagt het aandeel na het jaar 2000 nog zo'n 60 tot 120 mg/l chloride wanneer het water bij Andijk aankomt. Dit leidt nog niet tot normoverschrijdingen. Het uitmalen van relatief zout polderwater uit met name Flevoland voegt hier nog 5 à 10 mg/l aan toe. Voor uitgeslagen water uit

andere provincies geldt dat minder. Neerslag en verdamping duwen de chlorideconcentratie ook enkele mg/l respectievelijk omlaag en omhoog. Een belangrijk inzicht is dat in droge jaren de indringing vanuit de Waddenzee bij de Afsluitdijk kan zorgen voor tientallen milligrammen tot ruim 100 mg/l chloride extra in het IJsselmeerwater bij Andijk. Dit is daarmee de bepalende zoutbelasting voor het wel of niet overschrijden van chloridenormen in het drinkwater in de zomer en de daaropvolgende maanden. Het herstellen van de zoutbalans bij Andijk is lastig omdat het door de grootte van het IJsselmeer maanden kan duren voordat het zout weer is weggespoeld.

IJsselmeer-Andijk



Markermeer



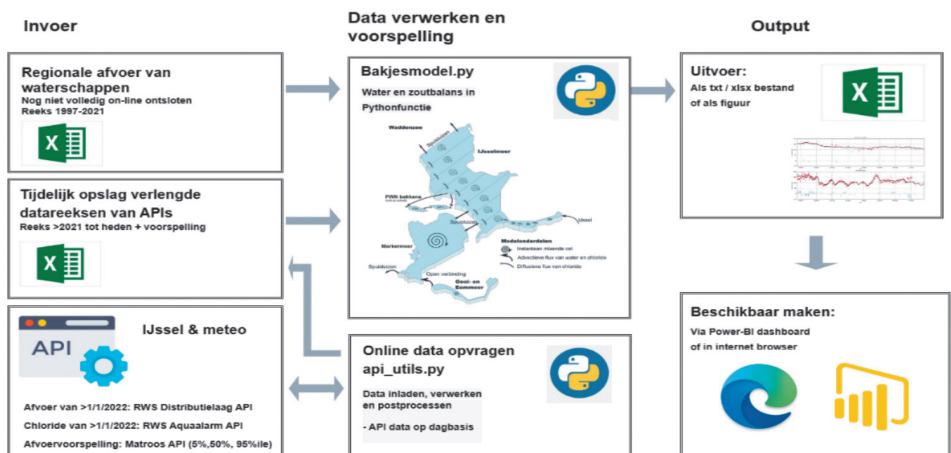
Afbeelding 3: Bijdrage van verschillende bronnen van water en zout aan de berekende chlorideconcentratie in meetpunt Andijk (boven) en meetpunt 'zwaartepunt' Markermeer (onder).

Voor het Markermeer is te zien dat hier ook de IJssel (via de Houtribsluizen) de voornaamste bron van zout is, maar dat de fluctuaties in zoutgehalte in de tijd zijn gedempt. Dit komt door de veel langere verblijftijd in het Markermeer (15 tot 18 maanden in plaats van 3 tot 4 maanden in het IJsselmeer). De belangrijkste bron van verzilting die er bovenop komt is het uitslagwater vanuit Flevoland. Opvallend is de verzoetende werking vanuit het Gooi- en Eemmeer en het neerslagoverschot. Voor het neerslagoverschot valt op dat de verzoetende invloed met de jaren kleiner wordt. Zeker de laatste jaren is het Markermeer gemiddeld aanmerkelijk zouter dan het IJsselmeer.

Prognosetool binnen een Operationeel Dashboard PWN

De bouwstenen zijn nu beschikbaar om op hoofdlijnen voorspellingen te maken van de chlorideconcentratie bij Andijk. Om te zorgen dat prognose tool ook beschikbaar is voor medewerkers van PWN, wordt deze geïntegreerd in een intern operationeel dashboard. Om het model als voorspeller te gebruiken, is het model gekoppeld met een aantal databronnen die realtime beschikbaar zijn en waarvoor prognoses beschikbaar zijn. Om een voorspelling met het model te maken, worden gemeten datareeksen ingevoerd tot de laatst beschikbare dag, en vervolgens verlengd met voorspellingsdata voor zover beschikbaar.

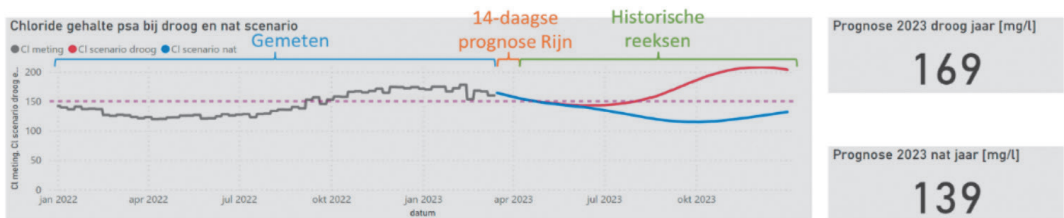
Twee databronnen hebben voorspellingen van 4 tot 14 dagen: Rijnafvoer en meetdata. Voor modelinvoer waarvoor geen voorspellingen of actuele data online beschikbaar zijn, zijn de historische meetreeksen verlengd met maandgemiddelden van de voorgaande meetreeks. Dit betreft vooral de interactie met het regionale watersysteem (uitslagen van poldergemalen). Uitzondering is de zoutvracht over de Afsluitdijk omdat hiervoor een groeiterm is aangenomen van 3% per jaar sinds 1997. Omdat de Afsluitdijk momenteel wordt gerenoveerd, is hier een standstill voor aangenomen waarbij de maandelijkse zoutvracht gelijk wordt gehouden met die van 2022. Afhankelijk van de toekomstige ontwikkelingen zal het mogelijk noodzakelijk zijn deze aanname te herzien. Afbeelding 4 geeft een schematische weergave van hoe het model als voorspeller wordt gebruikt.



Figuur 4: Overzicht van de workflow om data op te vragen en te bewerken, de berekeningen met het bakjesmodel uit te voeren en vervolgens te visualiseren.

Omdat de zichttermijn beperkt is tot twee weken, is de modelprognose uitgebreid tot het einde van 2023 met het scenario voor een nat jaar (2016) en droog jaar (2022). Hierbij zijn weerreeksen en Rijnafvoerreeksen (vertaald naar IJsselafvoer) geplakt aan de verlengde reeks met prognoses voor de komende weken.

Afbeelding 5 geeft het resultaat weer van de modelberekening met prognoses tot 14 dagen en scenario's tot het eind van het jaar 2023. Tevens zijn de berekende jaargemiddelde concentraties in het drinkwater weergegeven voor de twee scenario's (droog jaar en nat jaar), waarbij rekening wordt gehouden met een extra chloridetoevoeging van coagulatiezouten en ionenwisseling in de voorzuivering van PWN. De berekende resultaten laten bijvoorbeeld zien dat als de komende zomer zich vergelijkbaar ontwikkelt als die van 2022, de jaargemiddelde chloridenorm van 150 mg/l mogelijk wordt overschreden.



Afbeelding 5: Gebruik van model als voorspeller, eind maart 2023. De zwarte lijn geeft de metingen tot op de dag dat het dashboard wordt bekeken. De blauwe en rode lijn geven een prognose, berekend met het model. Voor 14 dagen wordt gebruik gemaakt van de voorspellingen voor IJsselafvoer en het weer. Verder vooruit worden historische afvoerdata voor een nat en droog jaar gebruikt.

Vergroten spaarbekkens: de Klimaatbuffer IJsselmeer bij Andijk

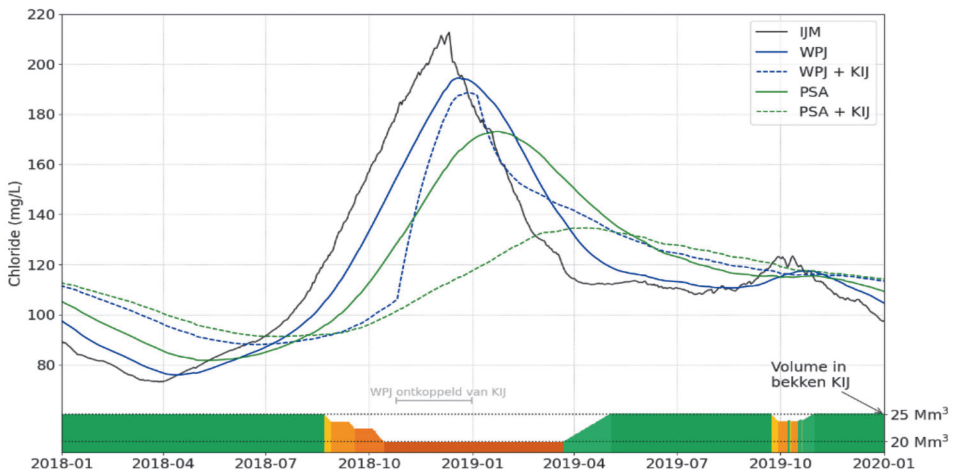
De analyses voor 2023 laten zien dat het risico op het overschrijden van de jaargemiddelde chloridenorm aanzienlijk is. Hoewel dit een bedrijfstechnische norm is en de overschrijding geen directe gezondheidskundige risico's met zich meebrengt, betreft het wel de overschrijding van een wettelijke drinkwaterkwaliteitsparameter. PWN wil daarom de robuustheid van haar drinkwaterlevering tegen verzilting vergroten. Eén van de mogelijkheden hiervoor is het substantieel vergroten van de spaarbekkens met een zogenaamde klimaatbuffer.

Dit heeft een aantal voordelen waarvan de grotere voorraad water de meest evidente is: als langere perioden van verzilting overbrugd kunnen worden, blijft de chlorideconcentratie in het ruwwater lager. Als naast de vergrote buffer ook meer inzicht in de chlorideconcentraties beschikbaar is, kan de inlaat beter worden gestuurd zodat de beschikbare 'bufferperiode' zo effectief mogelijk wordt ingezet om water in perioden met lage chlorideconcentratie in te nemen.

Het resultaat van de verkenningsfase van de Klimaatbuffer IJsselmeer is als uitgangspunt aangehouden voor de modellering van de klimaatbuffer (Fonck e.a., 2022). Dit betekent dat extra bekkens van in totaal 25 Mm³ zijn voorgeschakeld voor de huidige bekkens PSA en WPJ. Door het uitzakken van deze bekkens is er 5 Mm³ 'voorraad' om perioden met verslechterde waterkwaliteit te overbruggen.

Bij toenemende verzilting (volgens het model) wordt een steeds groter deel van deze voorraad ingezet om inname bij hoge zoutconcentraties te voorkomen. Bij een laag waterniveau in het bekken en goede kwaliteit van het IJsselmeerwater (volgens het model) wordt er twee keer zoveel water ingenomen als nodig voor de drinkwatervraag. De extra bekken leveren in zoete perioden zowel aan de bekken PSA als WPJ, zodat beide bekken profiteren van waterkwaliteitsverbetering in de bekken van de klimaatbuffer (met name: minder zwevend en organische stof). In perioden met verzilting (>180 mg/l chloride in IJsselmeer) wordt alleen aan bekken PSA geleverd, omdat daar de impact van verzilting het grootste knelpunt oplevert: overschrijding van wettelijke normen in het gebied dat bediend wordt vanuit Pompstation Andijk. Wanneer de voorraad van de nieuwe bekken binnen de klimaatbuffer is benut, dan wordt er relatief zout water ingenomen omdat de productie van drinkwater door moet gaan. Door het grote buffervolume wordt de verhoogde concentratie wel gedempt.

Het effect van het toevoegen van de voorgenoemde klimaatbuffer is weergegeven in Afbeelding 6. De berekende chlorideconcentraties in de huidige PSA- en WPJ-spaarbekken zijn vergeleken met de concentraties in dezelfde bekken met een voorgeschakelde klimaatbuffer. Te zien is dat de chlorideconcentraties in de PSA- en WPJ-bekken door het grotere bekkenvolume veel meer gedempt worden ten opzichte van het huidige spaarbekken. Door selectieve inname kan de chlorideconcentratie in beide bekken dankzij de klimaatbuffer over het algemeen lager worden gehouden dan in de huidige situatie. Door het PSA-bekken preferent te beleveren vanuit de klimaatbuffer bij hevige verzilting, kan zelfs voorkomen worden dat de chlorideconcentratie in dit bekken boven de 150 mg/l uitkomt. In die perioden zal het WPJ-bekken wel verzilt, maar korter en minder dan in de huidige situatie. De impact hiervan kan PWN dankzij nageschakelde deelstroomontzilting in Heemskerk mitigeren.



Afbeelding 6: Effect van klimaatbuffer IJsselmeer (KIJ) voor de chlorideconcentratie in de bekken WPJ en PSA. IJM: berekende chlorideconcentratie in het IJsselmeer ter plaatse van het inlaatpunt Andijk. WPJ: bekken voor het WRK Waterwinstation Prinses Juliana; PSA: bekken voor het Pompstation Andijk. WPJ+KIJ en PSA+KIJ staan respectievelijk voor de chlorideconcentratie in de WPJ- en PSA-bekken gevoed door een te realiseren klimaatbuffer.

Doordat de sturing van de klimaatbuffer is gebaseerd op de gemodelleerde waarden, wordt de positieve bijdrage mogelijk onderschat: door windgedreven stroming ervaart PWN bij verzilting sterke dynamiek in de chlorideconcentratie bij Andijk en wisselen 'zoete' en 'zoute' dagen elkaar soms af. Het bakjesmodel is niet in staat deze windgedreven variaties goed te simuleren. Het model toont ook aan dat door het grotere bekken de tijd toeneemt om het bekkensysteem 'zoet te spelen' na een verzilting. Zodra het IJsselmeer weer verzoet, kan met extra inname en uitmalen/spuieren de chlorideconcentratie in het bekken verder verlaagd worden. Daarnaast is de verwachting dat door betere voorspellingen in combinatie met de grotere buffer de inname nog beter getimed kan worden. De klimaatbuffer kan dus zeer effectief zijn om chlorideconcentraties in het bekkenwater van PWN te verlagen.

Conclusies en vooruitblik

PWN wil de kwaliteit van zijn belangrijkste bron (het IJsselmeer) beter kunnen voorspellen. Uit dit onderzoek is gebleken dat de chlorideconcentratie nabij de waterinname van PWN bij Andijk over een lange periode goed te simuleren is met een bakjesmodel. Bepaalde verziltingspieken, zoals in de zomer van 2017, worden echter nog gemist. Vermoedelijk komt dit doordat data van belangrijke zoutposten nu niet goed ontsloten zijn. Historische data ontbreken soms of zijn niet online beschikbaar. Dit staat een goede doorontwikkeling van dit soort toepassingen als betrouwbaar operationeel instrumentarium voor PWN in de weg.

Om een prognose voor de chlorideconcentratie nabij Andijk te krijgen, is het bakjesmodel gekoppeld met 5- of 14-daagsvoorspellingen voor het weer en IJsselafvoer. Het is op voorhand lastig te zeggen hoe nauwkeurig de chloridevoorspellingen zullen zijn, omdat de nauwkeurigheid in met name IJsselafvoer zal doorwerken in de chloridevoorspelling. Daarom wordt het model de komende tijd dagelijks automatisch gedraaid waarbij prognoses worden opgeslagen en na een voldoende lange testperiode geëvalueerd. Het model kan nu wel al gebruikt worden om gevoel te krijgen bij de mogelijke bandbreedte van concentraties in het drinkwater in het komende jaar.

Het model is tevens gebruikt om de effectiviteit van de klimaatbuffer te onderzoeken die PWN ontwikkelt. Berekeningen met het bakjesmodel laten zien dat de klimaatbuffer de jaarlijkse fluctuaties in chlorideconcentratie flink dempt zodat de chlorideconcentratie in het PSA-bekken ruim onder de 150 mg/l komt. Selectief innemen (gebruikmakend van zo nauwkeurig mogelijke voorspellingen) en actief doorspoelen van het bekken kunnen de concentratie in het bekken verder verlagen.

Overigens zijn regressiemodellen of *machine learning*-modellen ook zeer kansrijk om chlorideprognoses te maken. Hiervoor wordt verwezen naar het regressiemodel tussen Rijnaafvoer en de chlorideconcentratie bij Andijk (Baggelaar en van der Meulen, 2009) of de machine learning-aanpak die is gebruikt voor chloridevoorspellingen bij de Nieuwe Waterweg (Linneman, 2019)

Referenties

- Bonte, M. en J. J. G. Zwolsman** (2010a) Drinkwaterfunctie en verzilting van het IJsselmeergebied, *Stromingen*, pp. 49–60
- Bonte, M. en J. J. G. Zwolsman** (2010b) Climate change induced salinisation of artificial lakes in the Netherlands and consequences for drinking water production, *Water Res.*, vol. 44, no. 15 doi: 10.1016/j.watres.2010.06.004
- Baggelaar, P. K. en E. C. van der Meulen** (2009) *Historische en toekomstige ontwikkelingen chloridebelasting in het traject Lobith tot Andijk*. RIWA
- Fonck, M., M. Hoppenbrouwers, A. Swank, K. Zuurbier en R. Meijer** (2022) Natúúrlijk Klimaatbuffer IJsselmeer - Bevindingen verkenningfase KIJ. UHZV-6-17593
- Linneman, R.H.** (2019) Predictive analytical model for chloride concentrations in the Port of Rotterdam: for analyzing the effect of human interventions in the Rhine-Meuse Delta'. Sep. 2019. [Online].<http://essay.utwente.nl/79687>
- Boelens, R., M. Spijker, S. van der Heijden en M. van Reen** (2023) Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II Systeemanalyses zoetwater regio IJsselmeer – Markermeer.
- Deltares** (2019) Zoutindringing schut- en spuisluisen, Opzet en verkenning Zeesluisformulering, Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2018. <https://lib-zsf.readthedocs.io/en/latest/index.html>

Summary Lake IJssel: A Predictable Source for Drinking Water Production?

The water company PWN produces drinking water from Lake IJssel, a freshwater lake fed by the Rhine river. In recent dry years, Lake IJssel experienced considerable saltwater intrusion from the Wadden Sea, affecting the production of drinking water. This raised the question whether these salinisation events could be simulated and predicted. To this end we developed a compartmental water and salt mass balance model and connected this with on-line real forecasts for river flow and weather. The analyses did clearly bring to light the considerable differences in data availability between different regional water authorities. Despite the model's relative simplicity, it captured most of the salinity peaks of the foregoing dry summers. The reliability of the forecasted salinity will be evaluated in the coming summers. The model was also used to assess the effectiveness of the planned enlargement of PWN's raw water retention basin. The first tentative results indicate that this can be a very effective measure to mitigate the impacts of temporal salinisation events.

Auteurs

MATTHIJS BONTE

MB-Water

matthijs.bonte@mb-water.nl

VINCENT POST

EDINSI GROUNDWATER

vincent@edinsi.nl

KOEN ZUURBIER

PWN

koen.zuurbier@pwn.nl

ERIC DE VOS

PWN

eric.de.vos@pwn.nl :