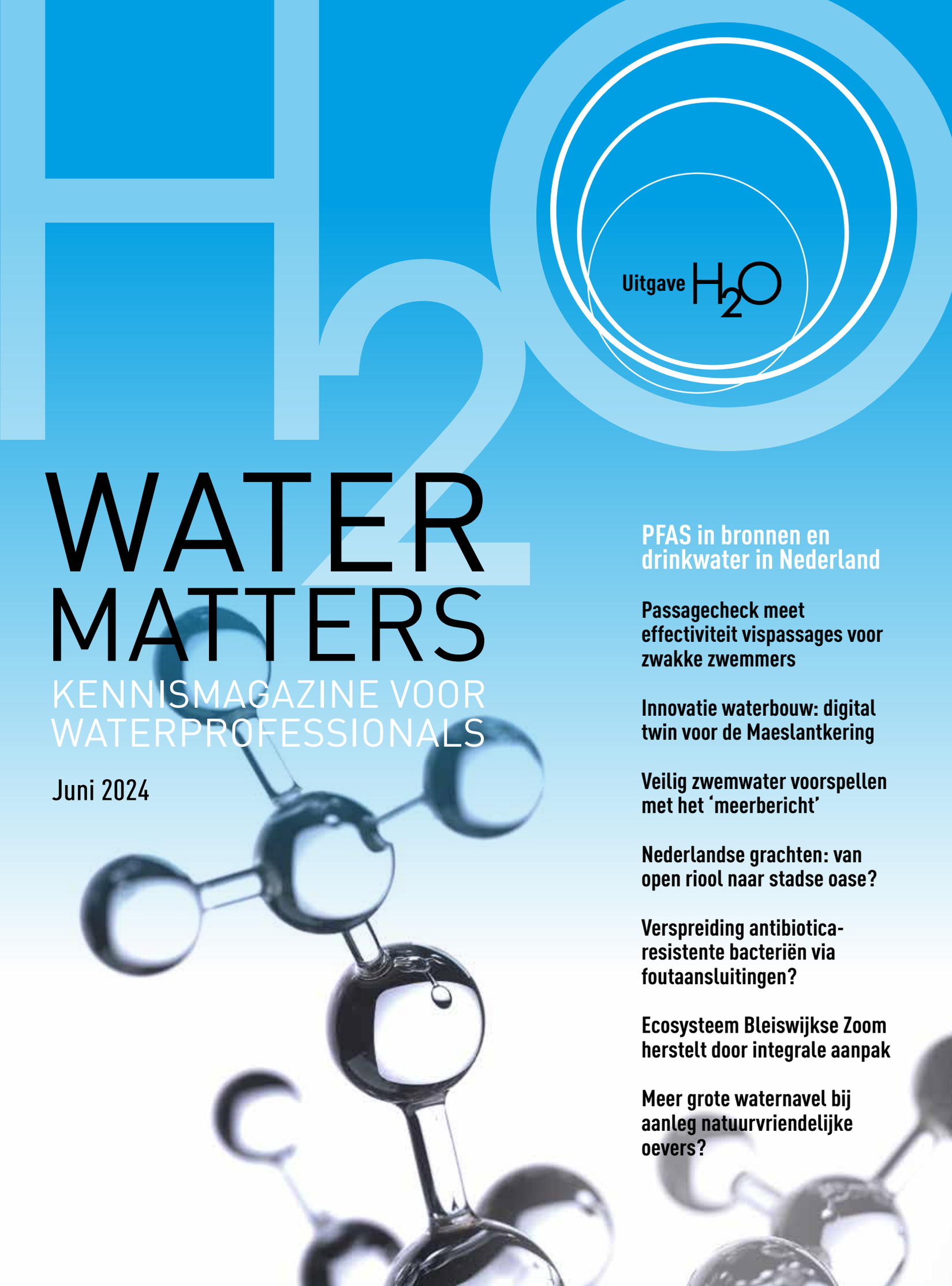
Uitgave H_2O

WATER MATTERS

KENNISMAGAZINE VOOR WATERPROFESSIONALS

Juni 2024



PFAS in bronnen en drinkwater in Nederland

Passagecheck meet effectiviteit vispassages voor zwakke zwemmers

Innovatie waterbouw: digital twin voor de Maeslantkering

Veilig zwemwater voorspellen met het 'meerbericht'

Nederlandse grachten: van open riool naar stadse oase?

Verspreiding antibiotica-resistente bacteriën via foutaansluitingen?

Ecosysteem Bleiswijkse Zoom herstelt door integrale aanpak

Meer grote waternavel bij aanleg natuurvriendelijke oevers?

Onderzoek met zicht op praktische toepassing

Hoe door een integraal plan de nutriëntenconcentraties flink dalen en waterplanten sterk toenemen in de Bleiswijkse Zoom

Voor u ligt de achttiende editie van Water Matters, het kennismagazine van vakblad H_2O. U treft acht artikelen aan over uiteenlopende onderwerpen, geschreven door waterprofessionals op basis van gedegen onderzoek.

Bij de beoordeling heeft de redactieraad bestaande uit deskundigen uit de sector, een selectie gemaakt waarbij is gekeken naar een duidelijke relatie met de dagelijkse praktijk in de watersector, de opzet van Water Matters. Onderzoek, resultaten en bevindingen vormen de basis voor artikelen die nieuwe kennis, inzichten en technologieën beschrijven met zicht op praktische toepassing.

In deze editie van Water Matters leest u hoe nutriëntenconcentraties flink zijn gedaald en waterplanten sterk zijn toegenomen in de Bleiswijkse Zoom. Het water- en groengebied werd jarenlang geplaagd door blauwalgen, maar voldoet nu bijna aan de doelen van de Kaderrichtlijn Water. Met dank aan een integraal plan opgesteld op basis van een systeemanalyse met behulp van de ecologische sleutelfactoren.
Voorts vindt u artikelen over de ontwikkeling van een digital twin voor de Maeslantkering, de passagecheck waarmee het functioneren van vispassages kan worden verbeterd, de ecologische staat van de Nederlandse grachten, het effect van snelgroeiende uitheemse grote waternavel op natuurvriendelijke oevers en de impact van foutaansluitingen in hemelwaterstelsels op antibiotica-resistent oppervlaktewater. Voorts een inventarisatie van PFAS in oppervlaktewater, grondwater en drinkwater (naar schatting zijn minstens 17.000 locaties in Europa verontreinigd) en het Meerbericht, een voorspelling van veilig zwemwater.

Water Matters is, evenals het vakblad H_2O, een initiatief van Koninklijk Nederlands Waternetwerk (KNW), het onafhankelijke kennisnetwerk voor en door Nederlandse waterprofessionals. Leden van KNW krijgen Water Matters twee keer per jaar gratis als bijlage bij hun vakblad H_2O.
De uitgave van Water Matters wordt mogelijk gemaakt door vooraanstaande spelers in de Nederlandse watersector. Deze Founding Partners zijn Deltares, KWR Watercycle Research Institute, Royal HaskoningDHV en Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). Met de uitgave van Water Matters willen de participerende instellingen nieuwe, toepasbare waterkennis toegankelijk maken.

U kunt Water Matters ook digitaal lezen op H_2O-online (**www.h2owaternetwerk.nl**). Daarnaast is deze uitgave als digitaal magazine ook in het Engels beschikbaar via dezelfde website of via **www.h2o-watermatters.com**.
De Engelstalige artikelen kunnen vanuit het digitale magazine op H_2O-online worden gedeeld. Voorts zijn artikelen uit eerdere edities terug te vinden op de site.

Veel leesplezier met deze editie. Wilt u reageren? Laat het ons weten via **redactie@h2o-media.nl**

Monique Bekkenutte
Uitgever (Koninklijk Nederlands Waternetwerk)

Huib de Vriend
Voorzitter redactieraad Water Matters

COLOFON
Water Matters is een uitgave van Koninklijk Nederlands Waternetwerk (KNW) en wordt mogelijk gemaakt door Deltares, KWR Watercycle Research Institute, Royal HaskoningDHV en de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).

UITGEVER
Monique Bekkenutte (KNW)
HOOFDREDACTEUR
Bert Westenbrink
EINDREDACTIE
Nico van der Wel,
Mirjam Jochemsen
REDACTIEADRES
Koningskade 40
2596 AA Den Haag
redactie@h2o-media.nl
REDACTIERAAD
Huib de Vriend (voorzitter),
Thomas ter Laak,
Joachim Rozemeijer,
Sigrid Scherrenberg,
Michelle Talsma,
Jeroen Veraart
VORMGEVER
Onno de Haan,
Ronald Koopmans
DRUK
Veldhuis Media, Raalte

INHOUD

Vispassagecheck 4
Hoe vispassages werken en waar verbeterpunten liggen

PFAS 8
Drinkwaterbronnen staan bloot aan PFAS

Maeslantkering 12
Met digital twin kennis en kunde op peil houden

Veilig zwemwater 16
AlgenRadar met weersverwachtingen (‘meerbericht’) verbetert zwemadviezen

Stadswater 20
Biodiverse grachten stoten minder broeikasgassen uit

Antibiotica-resistentie (ABR) 24
Verspreiding ABR bacteriën via foutaansluitingen hemelwaterafvoer?

Recreatieplas 28
Door blauwalgen geplaagde Bleiswijkse Zoom herstelt door integrale aanpak

Invasieve exoot 32
Grote waternavel belemmert aanleg natuurvriendelijke oevers niet



Foto: Martijn Schiphouwer

Gemaal Schoute vanaf de buitenzijde. In het midden de spuikoker c.q. vispassage. Op de voorgrond de detector (links) en collector (rechts)

AUTEURS



Martijn Schiphouwer (RAVON)



Maurice Kooiman (RAVON)



Sanne Ploegaert (RAVON)



Peter Jol (Hoogheemraadschap van Delfland)

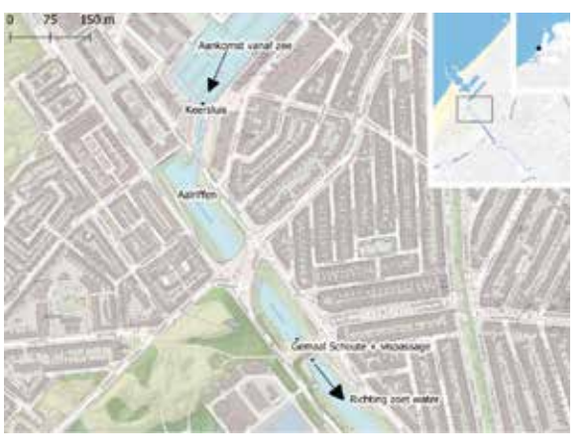


Wil van der Ende (Hoogheemraadschap van Delfland)

PASSAGECHECK: AANDACHT VOOR EFFECTIVITEIT VAN VISPASSAGES VOOR ZWAKKE ZWEMMERS

Tientallen gemalen en sluizen langs de kust zijn voorzien van vispassages om de intrek vanaf zee van glasalen (jonge aal) en driedoornige stekelbaarzen mogelijk te maken. Het aanleggen van vispassages is kostbaar en vaak werken ze niet optimaal. Met de 'Passagecheck' is het mogelijk om vast te stellen hoe vispassages het doen en hoe het beter kan.

Glasaal is een 'zwakke zwemmer' die moeite heeft om in het voorjaar vanuit zee de zoete binnenwateren te bereiken, vanwege de vele sluizen en gemalen. Om hier meer over te leren en om knelpunten op te sporen, startte RAVON in 2017 met de Passagecheck: een gestandaardiseerde bepaling van de effectiviteit van vispassages voor glasaal (en driedoornige stekelbaars). Inmiddels hebben we bijna 20 locaties onderzocht. Dit artikel gaat over de casus Scheveningen.



Afbeelding 1. Ligging van het complex in Scheveningen. Pijlen geven intrekrichting voor glasaal weer.



Foto: Martijn Schiphouwer

Afbeelding 2. Glasaal gemarkeerd met enkele rode VIE-tag

Vispassage in Scheveningen

In Scheveningen wordt water uit de Delflandse Boezem naar de Noordzee afgevoerd via Gemaal Schoute. 550 meter verderop richting zee ligt de Keersluis, die oorspronkelijk altijd dicht bleef behalve bij het afvoeren van water. In 2011 is een onder het gemaal gelegen spuikoker in gebruik genomen als 'vissluis'. In het vismigratieseizoen ging dat als volgt:

- 's nachts draaide het gemaal bij juist getij even met open Keersluis, zodat de vissen het gemaal konden bereiken;
- aansluitend ging de Keersluis dicht en werd het peil tussen gemaal en Keersluis opgezet door het gemaal te laten draaien;
- daarna ging de spuikoker één keer 20 minuten open waarbij water, hopelijk met trekvissen, terug naar de boezem stroomde.

In 2017 is de effectiviteit van deze passage voor glasaal onderzocht [1]. Een primeur voor Nederland was de toepassing van VIE-tags (visible implant elastomer): een glasaal krijgt dan een onderhuids kleurmerkje met een fluorescerend elastomeer. Gemerkte glasalen werden gevolgd middels vangtuigen voor en achter de Keersluis. Er werden vijf groepen glasaal gemerkt, in totaal 1322 exemplaren.

Uit de vangsten is berekend dat er in 2017 circa 94.000 glasalen bij het complex aankwamen. De intrek verliep niet efficiënt; in acht dagen kwam minder dan 1 procent in de fuik aan de boezemzijde van de vispassage terecht. Glasalen hoopten zich op vóór de Keersluis en de dichtheden in de boezem waren te laag.

Verbetertraject 2019

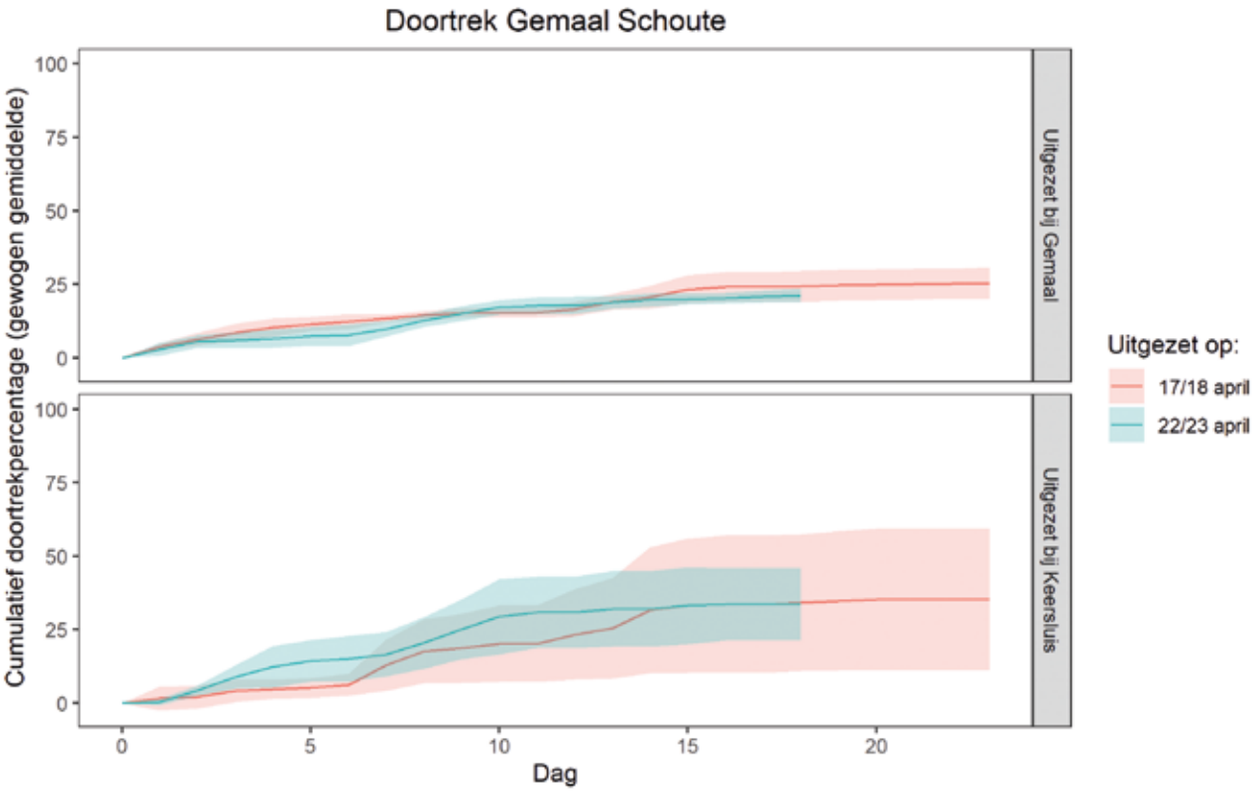
De resultaten uit 2017 leidden tot verschillende verbeteringen. De eerste maatregel was om de Keersluis zoveel mogelijk open te houden. Dat kan buiten het stormseizoen (15 maart-15 oktober) en als waterstanden en zoutgehaltes het toelaten. Ook is in de spuikoker een lokstroompomp geplaatst die water uit de boezem in de spuikoker pompt, tot aan een schuif halverwege. Daarnaast is de automatisering aangepast. Dagelijks in de avondschemering wordt een uur lang voorbemalen met één gemaalpomp (ca. 300 m^3/min). Daarna begint een cyclus van één uur:

- de spuikoker gaat aan de buitenzijde open en de lokstroompomp begint te pompen (max. 6,75 m^3/min bij 1450 toeren). Zoet water stroomt naar buiten richting de (open) Keersluis, vis kan tegen de stroom in de spuikoker inzwemmen;
- na 30 minuten stopt de lokstroompomp en de spuikoker gaat weer dicht;
- dan gaat de schuif in de spuikoker 30 minuten omhoog, de spuikoker loopt leeg richting boezem en de vissen kunnen het zoete water bereiken;
- deze cyclus wordt tot zonsopkomst herhaald.

De nieuwe inrichting was begin 2020 gereed. Meteen na de start van het intrekseizoen merkten vrijwilligers veranderingen op bij hun wekelijkse tellingen (in het kader van 'Samen voor de Aal', sinds 2015). Bij de Keersluis vingen ze veel minder glasaal, bij Gemaal Schoute juist veel meer. Kortom de glasaal zwom beter door naar het gemaal.

Passagecheck 2021

In 2021 deden we gedetailleerd onderzoek aan de intrek van glasaal middels de 'Passagecheck'. Doel was het vaststellen van het 'aanbod' aan glasaal, het evalueren van de passage efficiëntie in de nieuwe situatie en het bepalen van eventuele vervolgstappen.



Afbeelding 3. Succesvolle intrek van groepen die zijn uitgezet bij de Keersluis (8 groepen) en bij Gemaal Schoute (10 groepen) via de vispassage naar de boezem, gevangen met de opvangfuik aan de boezemzijde van het gemaal

Op verschillende locaties en momenten werden 24 unieke met VIE-tag gemerkte groepen losgelaten, in totaal 2762 glasalen. Hiervan zijn er 452 losgelaten aan de buitenzijde van de Keersluis, 2060 aan de buitenzijde van Gemaal Schoute en 250 aan de boezemzijde in de spuikoker van de vispassage. Zowel aan de buitenkant van het gemaal als aan die van de Keersluis werd een glasaal**collector** ingezet; een soort 'stofzuiger' die water filtert en zodoende glasaal vangt. Bovendien werd op beide plekken door vrijwilligers intensief gevist met een kruisnet. Aan de buitenkant van het gemaal werd bovendien een glasaal**detector** ingezet: een goot met klimsubstraat en een lokstroompje waar glasaal actief in klimt. De boezemzijde van de vispassage werd voorzien van een grote fijnmazige fuik om doortrekkende glasaal op te vangen. Om het functioneren van de vispassage te duiden en gedrag te observeren hebben we onderwaterbeelden gemaakt en stroomsnelheden gemeten. Ook zijn registraties van de instellingen en draaitijden van gemaal, Keersluis en vispassage uitgelezen.

Nieuwe inzichten

Uit merk-terugvangst statistiek bleek dat er in 2021 zo'n 125.000 glasalen aankwamen in Scheveningen. De Keersluis vormt, omdat deze meestal open staat, geen belemmering meer. Bij het gemaal hoopten de glasalen zich op, wat ook bleek uit de vangsten van vrijwilligers. De migratie door het hele complex ging langzaam, maar in de eerste acht dagen veel succesvoller dan in 2017: ongeveer 7,2 procent tegen 0,8 procent in 2017, op basis van een directe vergelijking van gemerkte groepen die bij de Keersluis zijn gevangen/losgelaten en doortrokken naar de boezem. Uiteindelijk trok ongeveer 29 procent van alle glasaal succesvol door via de vispassage.
Uit onderwaterbeelden en metingen van stroomsnelheden blijkt dat glasalen fysiek gezien goed konden passeren, maar problemen ondervonden met hun oriëntatie als gevolg van wisselende stromingspatronen tijdens de sluiscyclus.
Veel glasalen 'verdwenen' in de vispassage. Dat gebeurde hoogstwaarschijnlijk door aanzuiging in de lokstroompomp (die zich in de spuikoker bevindt), wat tot sterfte leidt. Tot slot bleek de ingestelde cyclus niet goed te functioneren. Er vonden per nacht meestal slechts twee cycli van twee maal 30 minuten plaats (soms zelfs maar één), en er waren regelmatig storingen waardoor de vispassage een nacht niet werkte.

Verbetering

De belangrijkste aanbevelingen zijn het verplaatsen van de aanzuiging van de lokstroompomp naar buiten de vispassage, en het vaker (acht keer per nacht) laten draaien

van de vismigratiecyclus. Hierdoor stijgt de passage efficiëntie voor glasaal potentieel van 29 naar 75 procent, zo blijkt uit doorrekeningen. Daarnaast is er nog 'finetuning' mogelijk: de lokstroom dichter bij de vismigratieschuif plaatsen, de opening van de spuikoker vergroten en de vispassage in het seizoen langer 'openstellen'. Bij implementatie van deze maatregelen is het opnieuw belangrijk om nauwkeurig de effecten te toetsen.

Vispassages doen het niet vanzelf goed

De Passagecheck in Scheveningen toont aan dat ook na de aanleg van een vispassage aandacht voor vismigratie hard nodig is. Deze bevindingen staan niet op zichzelf, bij vrijwel alle onderzochte vispassages is grote verbetering mogelijk. Gemiddeld geldt voor glasaal dat slechts circa 25 procent succesvol passeert, waarbij de minst presterende passage nog niet één procent doorliet en de beste boven de 80 procent uitkwam. Voor driedoornige stekelbaars, ook een zwakke zwemmer, gelden vergelijkbare resultaten.

Dankzij vele onderzoeken zijn de afgelopen jaren allerlei knelpunten opgespoord. Het gaat zowel om ontwerpfouten (zoals een verzamelbak die niet goed leegloopt) als om verkeerd afgestelde automatisering. Vaak werken vispassages in cycli, waarbij de tijdsinstellingen (te lang) en het aantal herhalingen (te weinig) niet goed aansluiten op wat goed werkt voor trekvissen. Ook kunnen de vissen zich in de passages niet goed oriënteren. Soms is de lokstroom te sterk of te turbulent, of hij ligt op de verkeerde plek. In zout water stijgt een zoete lokstroom soms verticaal omhoog, waarbij vis de duik naar beneden niet wil maken. Tot slot zijn er regelmatig technische problemen en storingen. Een opmerkelijk voorval was het optreden van supersaturatie van het water met zuurstof, door een pomp die lucht aanzoog. Vissen vormden daarbij luchtbellen in hun weefsels.

Conclusie

Idealiter moet een vispassage niet alleen de tolerantiegrenzen van de vis respecteren, het ontwerp moet ook naadloos aansluiten op het instinctieve gedrag. Kennis daarover is onmisbaar bij het evalueren van vispassages en in ontwerptrajecten. Dan kunnen waterbeheerders de komende jaren nog een flinke slag slaan in het vergroten in de populaties van aal en andere trekvissen!

Met dank aan de vrijwilligers van Team Scheveningen (Samen voor de Aal) en aan Wageningen Marine Research, Visserijbedrijf W.J. den Boer en Visserijservice Nederland.

Martijn Schiphouwer, Maurice Kooiman, Sanne Ploegaert (*RAVON*); Peter Jol, Wil van der Ende (*Hoogheemraadschap van Delfland*)

SAMENVATTING

Tientallen gemalen en sluizen langs de kust zijn voorzien van vispassages om de intrek van trekvissen mogelijk te maken. Met de 'Passagecheck' is het mogelijk om heel precies te onderzoeken hoe vispassages functioneren en waar verbeterpunten liggen, specifiek voor glasaal en andere 'zwakke zwemmers'. Zo toonde onderzoek aan de vispassage in Gemaal Schoute (Scheveningen) aan dat van de 125.000 glasalen die in 2021 aankwamen, bijna 30 procent het zoete water bereikte. Dit kan omhoog naar 75 procent als de passage acht keer per nacht open gaat, het hele intrekseizoen kan blijven werken en aanzuiging van de lokstroom wordt aangepast. Ook bij andere vispassages bleken verbeteringen mogelijk, zowel in het ontwerp als in de afstelling.

BRONNEN

1. Griffioen, A.B. et al. (2018). Aalonderzoeken Hoogheemraadschap van Delfland: efficiëntie van glasaalintrek bij gemaal Schoute. Rapport C007/18. Wageningen Marine Research (WUR)/ RAVON Nijmegen.
2. Schiphouwer, M. et al. (2022). Landinwaartse migratie van glasaal via Scheveningen. Passagecheck complex Keersluis en Gemaal Schoute. Projectnummer 2020.053. RAVON, Nijmegen.
3. Kooiman, M. & S.M.A., Ploegaert (2020). Samen voor de Aal; Kruisnetmonitoring Zuid-Holland 2015-2020. Projectnummer 2019.051. Stichting RAVON, Nijmegen.
4. www.ravon.nl/passagecheck



Foto: RIWA-Rijn

RIWA-Rijn in Nieuwegein; hier wordt rivierwater ingenomen voor drinkwaterproductie

AUTEURS



Mohammad Sadia
(Universiteit van Amsterdam)



Annemarie P. van Wezel
(Universiteit van Amsterdam)



Thomas L. ter Laak
(Universiteit van Amsterdam en KWR Water)

PFAS IN BRONNEN EN DRINKWATER IN NEDERLAND

PFAS zijn een grote en diverse groep organische fluorverbindingen. Ze worden op grote schaal toegepast: in zeer veel producten, van kleding en anti-aanbak pannen tot mobiele telefoons, maar ook in de lucht- en ruimtevaartindustrie. PFAS zijn moeilijk afbreekbaar ('forever chemicals'), hopen zich op in de voedselketen en worden zelfs aangetroffen in menselijk bloed [1]. Ze worden in verband gebracht met verschillende gezondheids-problemen. Naar schatting minstens 17.000 locaties in Europa zijn ermee verontreinigd [2].

Veel PFAS zijn goed in water oplosbaar en moeilijk afbreekbaar, of ze worden afgebroken tot oplosbare en moeilijk afbreekbare stoffen. PFAS komen via lucht, afvalwater en afval in het milieu. Doordat de verwijdering in rwzi's en bij drinkwaterproductie niet altijd effectief is [3], verspreiden ze zich makkelijk in de waterketen. Vooral kleine PFAS met korte (C4-C6) en ultrakorte (C2-C3) koolstofketens zijn zeer lastig te verwijderen [4]. Mensen worden in Nederland vooral via voedsel blootgesteld, maar ook, zij het in lage concentraties, via drinkwater [5].
In 2021 onderzochten we PFAS-verbindingen in drinkwaterbronnen en gezuiverd drinkwater in het kader van PERFORCE3, een groot EU-onderzoeksproject over PFAS.

Onderzoeklocaties

Op achttien drinkwaterproductielocaties in Nederland zijn zowel de bron (elf oppervlaktewater; zeven grondwater) als het geproduceerde drinkwater bestudeerd. Naast conventionele technieken als flocculatie en beluchting worden op sommige locaties ook geavanceerde technieken zoals actieve kool/ozon of Uv-licht plus waterstofperoxide gebruikt.

Alle onderzochte locaties staan bloot aan verontreinigingen door menselijke activiteiten. Bij de oppervlaktewateren zijn dat bijvoorbeeld de landbouw of afvalwaterzuiveringen. Bij de grondwaterbronnen kan het gaan om lokale (historische) industriële activiteiten, landbouw, infiltrerend oppervlaktewater of historische stortplaatsen. Bovendien zijn ze niet of beperkt afgeschermd door moeilijk doordringbare kleilagen. De zeven geselecteerde grondwaterlocaties zijn dan ook niet representatief voor de 187 Nederlandse grondwaterbronnen.

De elf locaties die oppervlaktewater gebruiken zijn wel representatief, namelijk voor oppervlaktewater in dichtbevolkte en sterk geïndustrialiseerde delta's zoals West-Nederland.

PFAS-analyse

De watermonsters zijn geëxtraheerd op de Universiteit van Amsterdam en geanalyseerd met een nieuw ontwikkelde methode. Hiermee kunnen veel verschillende PFAS-verbindingen in zeer lage concentraties worden gemeten [4].

Tabel 1. De bestudeerde PFAS

TFA$^{u\text{-}short}$	PFHxS$^{20, 4}$	PFDoDS^{20}	PFOA$^{20, 4}$
PFPrA$^{u\text{-}short}$	PFHpS^{20}	PFTrDS^{20}	PFNA$^{20, 4}$
PFPrS$^{u\text{-}short}$	PFOS$^{20, 4}$	PFBa^{20}	PFDA^{20}
PFEtS$^{u\text{-}short}$	PFNS^{20}	PFPeA^{20}	PFUnDA^{20}
PFBS^{20}	PFDS^{20}	PFHxA^{20}	PFDoDA^{20}
PFPeS^{20}	PFUnDS^{20}	PFHpA^{20}	PFTrDA^{20}

u-short = ultrakorte PFAS / 4 = EFSA 4 PFAS / 20 = Drinkwaterbesluit 20 PFAS

In deze studie onderscheiden we drie groepen PFAS (zie de tabel):

- ***20-PFAS***, twintig PFAS uit het Drinkwaterbesluit;
- ***4-PFAS***, vier stoffen waarvoor de Europese Voedsel en Warenautoriteit (EFSA) een niet-bindend advies voor toelaatbare wekelijkse inname heeft afgeleid. Over deze vier is veel bekend, o.a. qua toxicologie. Ze behoren ook tot de groep 20-PFAS en zijn daarin de belangrijkste (o.a. PFOA en PFOS);
- ***ultrakorte PFAS***, vier stoffen met koolstofketens van twee of drie koolstofatomen. Deze stoffen vallen buiten de andere twee categorieën.

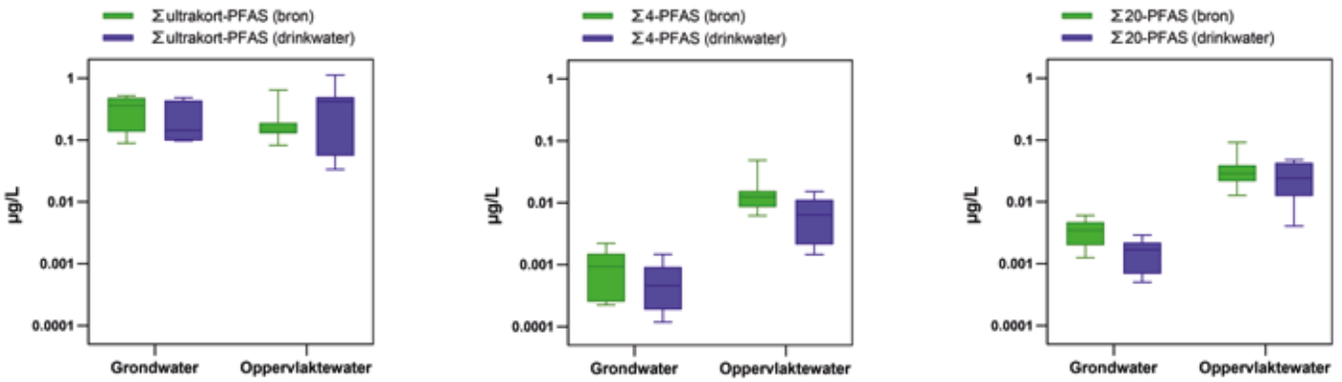
Bronnen en drinkwater

De grafieken laten de gesommeerde concentraties van de drie PFAS-groepen in drinkwater en drinkwaterbronnen zien. Let op: de y-assen hebben een logaritmische schaal om de grote concentratieverschillen te kunnen visualiseren.

Hoewel het om kwetsbare winningen gaat, scoren de grondwaterlocaties qua PFAS beter dan de oppervlaktewaterlocaties. De opgetelde concentraties van de 4-PFAS van de EFSA én van de 20-PFAS uit het Drinkwaterbesluit zijn significant hoger in het ruwe en gezuiverde drinkwater uit oppervlaktewater ($p < 0{,}001$).

Ultrakorte PFAS

Ultrakorte PFAS domineren in het grondwater en het oppervlaktewater van de onderzochte bronnen: de concentraties liggen een factor 10 tot 100 hoger dan bij de andere PFAS-groepen. Opvallend genoeg verschillen de concentraties in grondwater en oppervlaktewater niet. Trifluorazijnzuur (TFA), de kleinste en best in water oplosbare PFAS, kom het meeste voor, met gehaltes tussen 90 tot 521 nanogram per liter in de grondwaterbronnen en 82 tot 641 nanogram per liter in de oppervlaktewaterbronnen. TFA beslaat daarmee gemiddeld 76 procent van de gemeten PFAS in oppervlaktewater en het bijbehorende drinkwater en zelfs 95 procent in grondwater en drinkwater geproduceerd uit grondwater. Als het in deze studie over ultrakorte PFAS gaat, betreft dit dus vooral TFA.

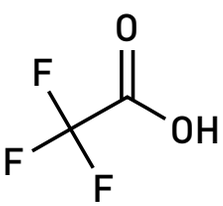


Afbeelding 1. Gesommeerde concentraties van ultrakorte PFAS, de 4-PFAS van het EFSA en de 20-PFAS uit het Drinkwaterbesluit van 7 grondwaterwinningen en 11 oppervlaktewaterwinningen (monstername lente 2021, elk monster in drievoud geanalyseerd)

Natuurlijke bronnen van TFA zijn niet bekend [6]. TFA kan door atmosferische depositie in oppervlaktewater en na uitspoeling in grondwater terecht komen. Daarnaast is TFA een eindafbraakproduct van veel PFAS-stoffen die gedeeltelijk afbreekbaar zijn, waaronder geneesmiddelen, polymeren, biociden en gewasbeschermingsmiddelen.

Zuiveringsrendement

De grafieken tonen ook de concentratieniveaus voor en na zuivering (resp. groen en blauw). De verwijdering is voor de 4-PFAS van de EFSA gemiddeld 66 procent en bovendien significant ($p < 0,05$). Voor de som van de 20 PFAS ($p = 0,17$) en de ultrakorte PFAS ($p = 0,25$) is de verwijdering echter niet significant. Al eerder bleek dat dat PFAS met kortere koolstofketens moeilijker uit water te verwijderen zijn [7]. De verwijderingsrendementen verschilden tussen de productielocaties, ook als de locaties dezelfde zuiveringstechnieken toepasten.



Afbeelding 2. Molecuulstructuur van trifluorazijnzuur (TFA)

Risico's

De menselijke blootstelling aan PFAS via voedsel is het grootst. Een kleiner deel verloopt via drinkwater [5]. Desondanks roept de aanwezigheid van PFAS in (bronnen van) drinkwater vragen op over emissieroutes, humane blootstelling en mogelijke effecten. De normen voor PFAS in drinkwater worden geregeld bijgesteld door voortschrijdend inzicht. Grenswaarden in de wettelijk bindende Drinkwaterrichtlijn (EU-Drinking Water Directive) zijn aanmerkelijk minder streng dan de waarden voor de 4-PFAS uit het EFSA-advies.

Richtlijnen

De Drinkwaterrichtlijn kent twee criteria. Het eerste stelt een grens van maximaal 100 nanogram per liter voor het totaal van twintig geselecteerde PFAS (20-PFAS); het andere stelt een grens van 500 nanogram per liter voor alle PFAS (totaal-PFAS). Beide criteria mogen van de EU worden gebruikt. Wij kiezen hier voor de 20-PFAS omdat het onmogelijk is alle PFAS te meten en niet duidelijk is welke PFAS daaronder vallen. Volgens de OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) zijn er 4.730 PFAS terwijl het Environmental Protection Agency in de VS 14.735 PFAS in de toxiciteitsdatabase heeft zitten, en de Open Chemistry database (PubChem) stelt dat er theoretisch meer dan zes miljoen PFAS zijn. In ons onderzoek vonden we in drinkwater geen enkele overschrijding van de somnorm voor de 20-PFAS. Wel overschreden negen van de elf drinkwatermonsters uit oppervlaktewater het (strengere maar niet bindende) EFSA-advies voor de 4-PFAS, zoals eerder ook geconstateerd door het RIVM [5]. Samenvattend: het drinkwater geproduceerd uit de onderzochte grondwaterbronnen voldoet aan de bindende richtlijn én het EFSA-advies. Drinkwater uit oppervlaktewater voldoet echter niet altijd aan het EFSA-advies. Drinkwaterbedrijven spannen zich hier al wel voor in.

Uitdagingen
Ondanks deze positieve resultaten zijn PFAS-verontreinigingen in grondwater toch een grote uitdaging. Dit komt door het milieugedrag van deze stoffen en doordat sanering van met PFAS verontreinigd grondwater zeer complex is. Voor drinkwater uit grond- én oppervlaktewater is waakzaamheid geboden. Onze resultaten laten zien hoe belangrijk het is om bij beoordeling en beheer van de waterkwaliteit rekening te houden met een breed scala aan PFAS. Daarnaast is duidelijk hoe belangrijk het is om de productie en emissie te beperken. Dit zal zowel bronnen van drinkwater als het milieu in bredere zin beschermen, en voorkomt dat PFAS uiteindelijk in ons drinkwater én ons voedsel terechtkomen.

Maatregelen bij de bron én in de waterketen
Op dit moment ligt een Europees restrictievoorstel voor alle PFAS klaar, afkomstig van vijf Europese landen waaronder Nederland [8]. Het eerdere verbod van PFOS uit 2008 (voor veel toepassingen) heeft geleid tot lagere concentraties in de grote rivieren. Een restrictie heeft dus op de middellange termijn een positief effect op de oppervlaktewaterkwaliteit. Wel wordt nog steeds PFOS in rivierwater aangetroffen.
Hoe een restrictie de concentraties in grondwater zal beïnvloeden is erg afhankelijk van de situatie. Grondwater zit meestal lang in de bodem voordat het wordt opgepompt voor de productie van drinkwater. Bovendien zijn PFAS ook nog gedeeltelijk gebonden aan bodemdeeltjes of aanwezig in historische bodemverontreinigingen. Daardoor zal een restrictie pas op veel langere termijn positief uitwerken op de grondwaterkwaliteit.
Door nu productie en gebruik beperken voorkom je dus een groter probleem in de toekomst. Ondertussen is het zaak om emissies, niveaus in lucht, bodem, voedsel en drinkwaterbronnen te blijven monitoren. Ook is verbetering van waterbehandelingstechnieken nodig om de emissie (afvalwaterzuivering) en humane blootstelling (drinkwaterzuivering) te beperken.

Mohammad Sadia (*Universiteit van Amsterdam*), Annemarie P. van Wezel (*Universiteit van Amsterdam*) en Thomas L. ter Laak (*Universiteit van Amsterdam en KWR Water*)

BRONNEN

1. Göckener B. et al. (2020). Human biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances in German blood plasma samples from 1982 to 2019, Environment International 2020: 145.
2. Dagorn G. et al. (2023). 'Forever pollution': Explore the map of Europe PFAS contamination, Paris, France: Le Monde; 2023, p. 7.
3. Eschauzier C. et al. (2011). Impact of Treatment Processes on the Removal of Perfluoroalkyl Acids from the Drinking Water Production Chain, Environmental Science & Technology 2011.
4. Sadia M. et al. (2023). Occurrence, Fate, and Related Health Risks of PFAS in Raw and Produced Drinking Water, Environ. Sci. Technol.
5. Tweede kamer (2021). Brief van de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat en de ministers voor Medische Zorg en van Infrastructuur en Waterstaat, kst-28089-190, https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-28089-190.pdf; Published June 4 2021.
6. Freeling F. & Björnsdotter M. K. (2023). Assessing the environmental occurrence of the anthropogenic contaminant trifluoroacetic acid (TFA), Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 2023: 41: 100807.
7. Rahman, M.F. et al. (2014). Behaviour and fate of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: A review. Water Research 50, 318-340.
8. ECHA (2023). PFAS restriction proposal. ECHA/NR/23/04. https://echa.europa.eu/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal.

SAMENVATTING

Dit artikel gaat over PFAS in oppervlaktewater en grondwater, en in drinkwater dat daaruit geproduceerd wordt (op achttien productielocaties in Nederland). De somnorm voor twintig PFAS uit het Drinkwaterbesluit werd nergens overschreden. Wel overschreden de meeste drinkwatermonsters uit oppervlaktewater de (strengere) drempelwaarde voor vier veel voorkomende PFAS die de Europese Voedsel en Warenautoriteit heeft geadviseerd. Speciaal punt van zorg zijn de ultrakorte PFAS. De bestaande normen en adviezen gaan niet over deze stoffen terwijl ze verreweg het meeste voorkomen, en dan vooral trifluorazijnzuur (TFA). Het is zaak om PFAS in lucht, bodem, voedsel en drinkwaterbronnen te monitoren en emissies te verminderen. Ook is verbetering van zuivering nodig om de humane blootstelling (drinkwaterzuivering) en de emissie (afvalwaterzuivering) te beperken.



Foto: Rijkswaterstaat

De Maeslantkering bij Hoek van Holland

AUTEURS



Luc Ponsioen
(Aveco de Bondt/ TU Delft)



Bas Jonkman
(TU Delft)



Alexander Bakker
(Rijkswaterstaat)

DIGITALE INNOVATIE IN DE WATERBOUW: EEN DIGITAL TWIN VOOR DE MAESLANTKERING

Stormvloedkeringen worden maar weinig gebruikt maar ze moeten het wel altijd doen. De Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg ging voor het eerst automatisch dicht bij de stormvloed op 21 december 2023, 26 jaar na ingebruikname. Tot die tijd ging het alleen om proefsluitingen of sluitingen door ingreep van de beheerder. Hoe zorgen we voor de benodigde kennis en kunde om de kering in conditie te houden? Rijkswaterstaat onderzoekt de mogelijkheden van een simulator, ofwel een *digital twin*.

De Maeslantkering bestaat uit twee enorme deuren die op de oevers in een soort droogdok staan. Bij sluiting gaan de deuren dicht, drijvend op het water. De deuren, nu een kerende wand, lopen vol met water en zinken af om te landen op een drempelconstructie op de bodem. Als de kering weer opengaat, worden de deuren leeggepompt en varen ze weer het droogdok in. Een computersysteem 'beslist' of er gesloten wordt en ook de

sluiting verloopt automatisch, met bedieningspersoneel als back-up.
In de huidige tijd is het bijna vanzelfsprekend dat digitalisering een sleutelrol kan spelen bij de borging en overdracht van kennis over stormvloedkeringen. Hoewel digitalisering in de praktijk best lastig is, zijn er tal van goede voorbeelden. Rijkswaterstaat, de TU Delft en Aveco de Bondt hebben samen de toepassingen van een digital twin voor stormvloedkeringen verkend, met als casestudy de Maeslantkering.

Nut en noodzaak
Om de Maeslantkering operationeel te houden wordt een strikt risico gestuurd asset management toegepast genaamd ProBo ('Probabilistisch Beheer en Onderhoud'). Dit is erg kennisintensief omdat de kering uniek en complex is en zelden gebruikt wordt. Rijkswaterstaat heeft net als andere organisaties het probleem om jonge technische werknemers aan te trekken en voor langere tijd te binden. Dat zit het structureel overdragen van kennis in de weg. De veiligheid van keringen is wel geborgd, maar kansen om het beheer te verbeteren worden wellicht gemist. Digital twins hebben hiervóór in bijvoorbeeld de luchtvaart, ruimtevaart, maakindustrie en offshore-industrie hun waarde bewezen. Een onderzoek naar de toepassing voor stormvloedkeringen was daarom een logische stap.
Een *digital twin* is een digitale replica van een fysiek systeem in een softwaremodel. Vanuit een user interface (vaak een 3D model of GIS omgeving) worden data gevisualiseerd, kan het fysieke object worden gemonitord en zijn simulaties mogelijk. Een digital twin bevat dus niet alleen visualisatie mogelijkheden, maar wordt ondersteund door rekenmodellen waarmee op de achtergrond een bredere interpretatie van de data mogelijk is. Hieruit kunnen acties volgen (door mensenhanden of geautomatiseerd) om het fysieke object aan te passen. Het is een veelbelovende technologie, die echter nog nauwelijks wordt toegepast in de waterveiligheidssector. En dit terwijl verschillende *Proof of Concept* studies de potentie aangetoond hebben.
Voor het maken van een prototype van een digital twin van de Maeslantkering moest kennis uit drie gebieden worden geïntegreerd: 1) organisatorische en gebruikersbehoeften; 2) werking van de kering (civiele-, werktuigbouwkundige-, en elektrotechniek); 3) ICT-architectuurontwerp.

Vier toepassingen waarbij een digital twin toegevoegde waarde kan hebben:
1. Betere efficiëntie van kennis- en informatiemanagement
2. Kostenbesparing door betere monitoring van de kering
3. Beter risicobeheer met modellen en data-analyse
4. Inzicht bieden in het gedrag van de kering tijdens sluiting

Naar een prototype
Op basis van ontwerpeisen uit een vooronderzoek, hebben we een digital twin prototype gebouwd. Hierbij maakten we gebruik van Unity voor de visuele 3D-animatie, en Python scripts voor datakalibratie en het koppelen van externe modellen. Die externe modellen zijn:
- een hydrostatisch krachtenmodel
- een sluitbetrouwbaarheid model
- een pomp prestatiemodel.

De Unity omgeving functioneert als user interface waarin een 3D data-animatiemodel is geïntegreerd met data-visualisatie en data-analyse panels. Met dit prototype is het mogelijk om het sluiten van de kering in 3D na te spelen op basis van gemeten of gesimuleerde data.
De focus in het prototype ligt op de kerende wand van de Maeslantkering. Dat leidde tot de keuze om niet alle gemeten parameters van een sluiting (6400 in totaal) te verwerken. We beperken ons nu met name tot waterstanden op de Nieuwe Waterweg, waterstanden in de dertien compartimenten van de kerende wand, pompvermogens van de circa 35 pompen (per wand) en de positie van de kerende wand (horizontaal, verticaal en rotatie).
De gekoppelde modellen en de geautomatiseerde data-analyse leveren direct inzicht in de staat van de gerelateerde onderdelen. Dat maakt het mogelijk om het beheer van de kering efficiënter te maken. Als voorbeeld: een falende pomp kan voorspeld worden op basis van metingen van het pompvermogen en het debiet. Vervolgens is er direct een analyse over de invloed van de falende pomp op de kering als geheel. Als die qua betrouwbaarheid weinig verliest, is reparatie mogelijk en snelle (en dure) vervanging niet nodig.
Het gekoppelde hydrostatische krachtenmodel geeft een indruk van de krachten die werken tijdens het sluitproces. Uiteraard nog niet volledig, maar het kan al wel de basisprincipes van krachtenwerking verduidelijken aan nieuwe medewerkers. In toekomstige versies wordt hierin steeds meer detaillering mogelijk, wat zeer gewenst is om de krachten die werken op de kering scherp in beeld te krijgen.

Gebruikers
Het prototype is getest onder een brede groep potentiële gebruikers binnen Rijkswaterstaat. Hieruit bleek al snel dat de digital twin inderdaad een sleutelrol kan spelen in de kennisopslag en -overdracht, bijvoorbeeld als het gaat om krachtenwerking. Het is belangrijk om terug te kunnen kijken op sluitingen, hoe ze plaatsvonden en welk onderhoud en welke vervangingen er zijn gedaan. Dit om



Afbeelding 1. User interface van het digital twin prototype, met in het midden een animatie van het sluiten van de kering (testsluiting 2020). Onderaan: bedieningspanelen voor simulaties. Boven: aanklikbare panelen voor aanvullende informatie zoals waterstanden, positie van de kering, pomp-gegevens enz. Rechts: 'live' waarden van de parameters inclusief de optie om meer informatie op te zoeken.

vooruit te kunnen kijken en te voorkomen dat incidenten zich herhalen. Met het prototype is het al mogelijk om gebaseerd op metingen het sluitproces van de kering keer op keer na te bootsen. Door deze digitaal opnieuw af te spelen, kan het gedrag van de kering (bijvoorbeeld scheefstand van de kerende wand of prestatie van onderdelen) in verschillende hoogwatersituaties worden geanalyseerd. Afwijkingen in het (digitale) gedrag worden sneller waargenomen en indien noodzakelijk kunnen protocollen aangepast worden.
De testers vonden de digital twin veelbelovend voor het algehele asset management van de kering, van het automatiseren van data-analyses voor onderhoud tot het simuleren van 'what if' scenario's. De mogelijkheden zijn nu nog beperkt maar in volgende versies is uitbreiding van deze functionaliteiten zeker mogelijk.

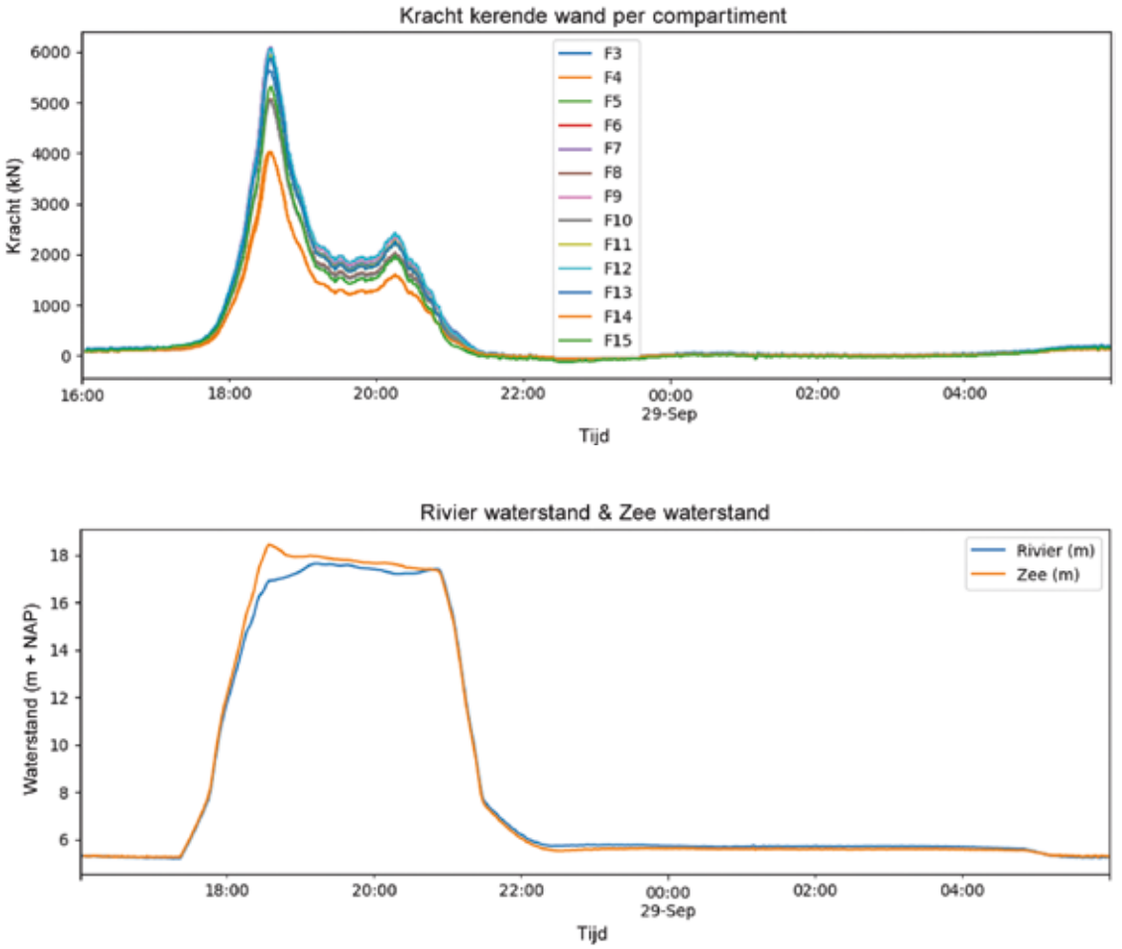
Uitdagingen

Het blijkt mogelijk om met de nu op de markt beschikbare hardware en software een grootschalige digital twin voor de Maeslantkering te bouwen. Om een echte volledige digital twin te kunnen draaien, is binnen Rijkswaterstaat nog wel verbetering van hard- en software nodig, vooral op het gebied van cyberbeveiliging.
Hoewel de testers grosso modo positief zijn, zijn vooral uitvoerende technici nog enigszins terughoudend. Het grootste deel van de asset management organisatie van de Maeslantkering is echter enthousiast. Bovendien blijkt een grootschalige digital twin ook financieel haalbaar: een indicatieve *business case* geeft aan dat een digital twin binnen vijf jaar kosteneffectief is. Doorontwikkeling van het prototype ligt daarom voor de hand, waarbij een goede aansluiting bij gebruikersbehoeften (de uitvoerende technici!) veel aandacht zal vragen.
De grootste uitdaging voor implementatie is dan ook niet zozeer de techniek maar het meekrijgen van de organisatie. Een digital twin impliceert een nieuwe 'way of working', wat in eerste instantie vaak leidt tot weerstand. Door het gebruikersperspectief voorop te stellen en in kleine stappen verder te werken, is voortgang echter zeker mogelijk.

Hoe nu verder?

De uitdagingen voor Rijkswaterstaat rondom kennismanagement en beheer van stormvloedkeringen zijn met digital twins echt niet direct opgelost. Ze kunnen zeker helpen, want de keringen zelf produceren genoeg data om digital twins te kunnen voeden en te blijven verbeteren.

Bij gebruik van de digital twin werk je vanuit een 3D-model van de kering. Bij het draaien van een scenario zie je de kering bewegen o.b.v. gemeten of gesimuleerde data. Krachten die spelen worden middels pijlen weergegeven en de kerende wand kan doorzichtig worden gemaakt om te zien hoe de deuren zich vullen met water. Ook zie je hoe de armen draaien tijdens het afzinken van de kerende wand. Tijdens de simulatie kan aanvullende informatie worden opgevraagd, bijvoorbeeld in de vorm van datavisualisatie, documentatie of video's.



Afbeelding 2. Een voorbeeld van data die gemeten en berekend worden met de modellen die gekoppeld zijn aan de digital twin. Boven: hydrostatische kracht op de kerende wand (berekend); onder: waterstanden aan de zee- en rivierzijde (gemeten).

Het onderzoek van de afgelopen twee jaar vormt een goede basis voor doorontwikkeling. De betrokkenen zien een duidelijke meerwaarde en digital twins zijn technisch, financieel en organisatorisch haalbaar. Het is nu aan Rijkswaterstaat om hiermee verder mee aan de slag te gaan. Deze kennis is niet alleen waardevol voor Nederland maar ook elders in de wereld. Digital twins kunnen al in de ontwerpfase worden meegenomen om beheer en onderhoud van keringen te versterken. Dit zou bijvoorbeeld kunnen bij de nieuwe stormvloedkering die nabij Houston, Texas, voor het US Army Corps of Engineers wordt ontwikkeld.

Luc Ponsioen (*Aveco de Bondt/ TU Delft*), Bas Jonkman (*TU Delft*), Alexander Bakker (*Rijkswaterstaat*)

BRONNEN

1. Ponsioen, L.A. et al. (2023). Investigation and development of a Digital Twin for the Maeslant barrier: Exploring the application of digital twins in the maintenance and operation of storm surge barriers. EngD research report. http://resolver.tudelft.nl/uuid:532df076-927d-4a07-8114-def359198c90

SAMENVATTING

Rijkswaterstaat, TU Delft en Aveco de Bondt ontwikkelden een prototype van een digital twin voor de Maeslantkering. In het prototype is een 3D-animatiemodel geïntegreerd met datavisualisatie panelen en simulatiemodellen. Het prototype heeft functionele toepassingen, zoals analyse van sluitingen (krachtswerking, functioneren van pompen), kennisoverdracht en verbeteren van (risico)beheer en onderhoud. Het prototype is getest onder gebruikers, die de meerwaarde erkennen voor kennis- en informatiemanagement en ook voor verbeteren van beheer en onderhoud. Een grootschalige digital twin voor de Maeslantkering blijkt haalbaar, ondanks uitdagingen zoals cyberbeveiliging. Een grootschalige implementatie vereist verdere ontwikkeling en betere afstemming op gebruikersbehoeften van technici en toekomstige gebruikers.



Het Meerbericht: informatiebord bij het Wylerbergmeer

AUTEURS



Miguel Dionisio Pires
(Deltares; Aeres Hogeschool Almere)



Peter Siegmund
(Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut)



Sven Teurlincx
(Nederlands Instituut voor Ecologie)



Dedmer van de Waal
(Nederlands Instituut voor Ecologie; Universiteit van Amsterdam)



Marc Weeber
(Deltares)

HET MEERBERICHT: VOORSPELLEN VAN VEILIG ZWEMWATER

's Zomers groeit in vele Nederlandse meren de hoeveelheid blauwalgen. Waterbeheerders kunnen op basis van periodieke bemonstering een waarschuwing of negatief zwemadvies geven. De hoeveelheid blauwalgen varieert echter sterk naar plaats en tijd, onder andere door de weersomstandigheden. Hierdoor kan het water tussen twee bemonsteringen in, ondanks een waarschuwing of negatief advies, toch veilig zijn, of juist onveilig zónder waarschuwing of negatief zwemadvies. Kan AlgenRadar helpen de zwemadviezen betrouwbaarder te maken?

De huidige praktijk is die van het Blauwalgprotocol 2020 [1]. Dit protocol geeft richtlijnen voor het opstellen van zwemadviezen: de waterbeheerder meet (twee)wekelijks de blauwalgconcentraties, en baseert hierop de zwemadviezen: waarschuwing (12-75 µg/L), negatief zwemadvies (>75 µg/L). Lastig is dat je hiermee altijd achter de feiten aan loopt. Het zou beter zijn als de blauwalgconcentraties voorspeld kunnen worden. Daarvoor is AlgenRadar in ontwikkeling (zie kader). Algenradar koppelt de periodieke metingen van blauwalg aan historische gemiddelde weergegevens uit eerdere jaren.

Deltares, het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) en het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW) werken samen aan verbetering van AlgenRadar. In dit project onderzoeken we of AlgenRadar de blauwalgconcentraties beter kan voorspellen door niet *historische* weergegevens te gebruiken, maar de gegevens van de actuele weersverwachting. Dit artikel presenteert de eerste resultaten van zo'n blauwalgverwachting gemaakt op basis van de weersverwachting, oftewel 'meerbericht'.
Om te controleren of een meerbericht inderdaad beter klopt met de realiteit in het veld, worden de uitkomsten van het model vergeleken met (hoogfrequente) metingen in het veld (Paterswoldsemeer).

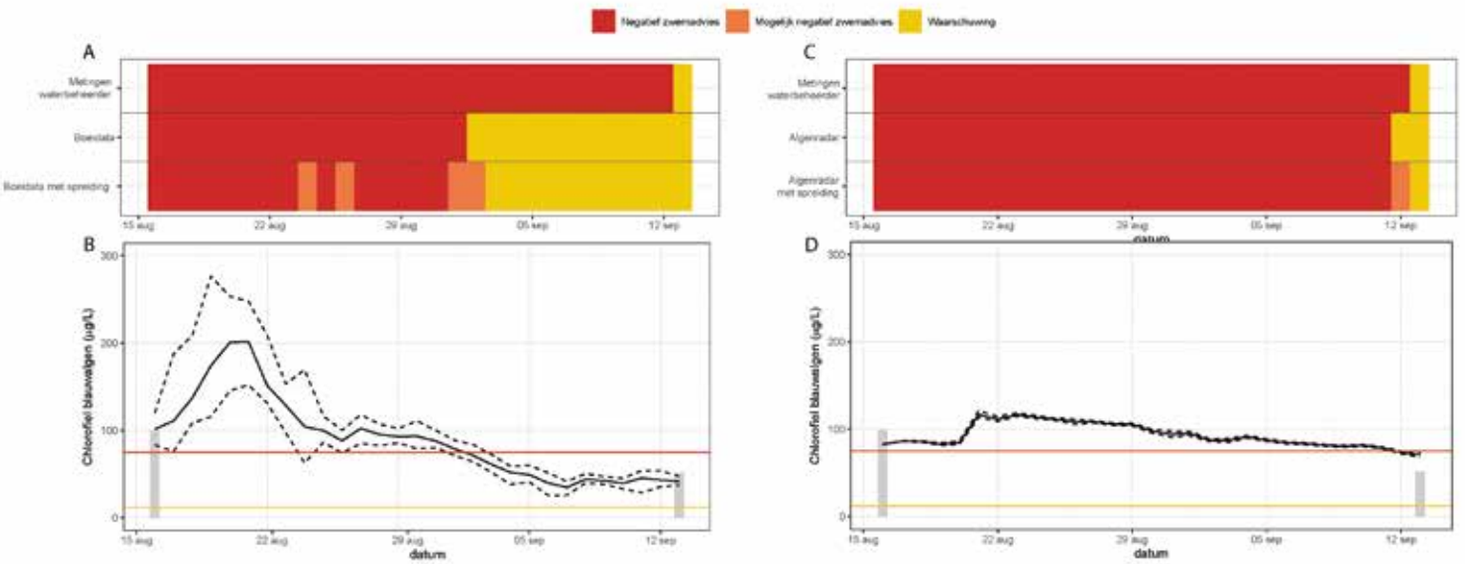
In het veld
We hebben daarvoor in het zwemseizoen van 1 mei tot 1 oktober 2022 hoogfrequente metingen gedaan van blauwalgen en andere relevante parameters in twee Nederlandse meren: het Paterswoldsemeer bij Groningen en het Wylerbergmeer bij Nijmegen. De hoogfrequente metingen in het Paterswoldsemeer zijn vergeleken met de bemonstering door het Waterschap Noorderzijlvest en het blauwalgverwachtingsmodel AlgenRadar.
Voor de hoogfrequente metingen van dit project gebruikt NIOO-KNAW twee nieuwe meetboeien. Deze bepalen op een diepte van 50 centimeter iedere 10 minuten de concentraties van blauwalgen en totaal-chlorofyl-a op basis van metingen van fluorescentie, zuurstof, zuurgraad en geleidbaarheid. De boeien worden gevoed door een zonnepaneel en sturen ieder uur de gegevens naar een server, vanwaar de gegevens kunnen worden geanalyseerd. Ze geven zo een bijna *real-time* beeld van de verschillende parameters, en daarmee inzicht in de dagelijkse dynamiek van blauwalgen.

Weerpluim
Het KNMI beschikt over gecombineerde ('ensemble'-) verwachtingen van de temperatuur en andere meteorologische grootheden – de 'weerpluim' [3]. Het gaat om 51 afzonderlijke verwachtingen, die samen een goed beeld geven van het mogelijke weer in de komende twee weken. De ensembleverwachting geeft zo naast de verwachting zelf ook de onzekerheid van die verwachting. De ensembleverwachting en de (volgens het Blauwalgprotocol gestandaardiseerde) blauwalgmetingen worden in AlgenRadar ingevoerd.

Adviezen op basis van boeimetingen en modellen
De boeimetingen laten een dagelijkse dynamiek zien tussen half augustus en half september 2022 (afbeelding 1). Direct na de start van de metingen neemt de blauwalgconcentratie toe voor ongeveer een periode een week,

ALGENRADAR

De AlgenRadar is nog in ontwikkeling. Het is een datagedreven model van Deltares dat blauwalgverwachtingen produceert op basis van blauwalgmetingen en meteorologische data (windsnelheid, luchttemperatuur en zonnestraling) [2]. Eerder werden verwachtingen door AlgenRadar alleen gemaakt op basis van weersgemiddelden van eerdere jaren. In dit project wordt voor het eerst gebruikgemaakt van de actuele weersverwachting. Zo krijgt de blauwalgverwachting een mate van onzekerheid mee die gekoppeld is aan de onzekerheid in de weersverwachting – de blauwalgpluim. In de verwachtingen is gevisualiseerd in hoeverre risiconiveaus (waarschuwing of negatief zwemadvies) zijn overschreden (afbeelding 1).
Soms kunnen blauwalgen nabij de oevers zorgen voor extra overlast door het vormen van drijflagen. Dat laatste is het gevolg van waterbeweging en leidt tot extreem hoge concentraties. Dit verschijnsel kan niet door AlgenRadar worden voorspeld aangezien waterbeweging niet in het model zit. Wel is het mogelijk om op basis van de AlgenRadar-verwachting al voordat de overlast begint maatregelen te nemen, zoals doorspoelen of een peroxidebehandeling. Ook voor het testen van de effectiviteit van maatregelen is AlgenRadar te gebruiken.



Afbeelding 1. Zwemadviezen volgens de normen van Blauwalgenprotocol 2020 [5], op basis van hoogfrequente boeimetingen (A, B) en op basis van (vijfdaagse) AlgenRadar-blauwalgverwachtingen (C, D) voor het Paterswoldsemeer van 15 augustus tot 13 september 2022. Doorgetrokken zwarte lijnen (B,D) geven daggemiddelden, gestippelde lijnen het minimum en maximum. De grijze staafjes geven de blauwalgconcentraties zoals door de waterbeheerder [5].

wat leidt tot een negatief zwemadvies (afbeelding 1A, B). Na deze periode nemen de concentraties af en zou, op basis van de boeimetingen, rond begin september het advies veranderen naar een waarschuwing. Het model met de blauwalgverwachting van AlgenRadar laat op basis van de vijfdaagse weersverwachting een vergelijkbaar patroon zien, maar nu blijft de concentratie tot vlak voor het eind van de gemeten periode hoog, met een negatief zwemadvies voor bijna de gehele periode tot gevolg. De boeimetingen laten ook enige variatie gedurende de dag zien, waarbij in sommige gevallen de laagste gemeten waarden op een ander advies zouden uitkomen dan wanneer het gemiddelde wordt gebruikt.

Modelresultaten

De modelresultaten van AlgenRadar blijven bijna de hele periode van 15 augustus tot 1 september boven het niveau van een negatief zwemadvies. Zoals eerder gezegd berekent AlgenRadar de concentraties aan blauwalgen op basis van meteorologie en metingen aan blauwalgen. Voor dat laatste zijn de in dit geval maandelijks beschikbare metingen van het waterschap gebruikt. De meest recente metingen wegen het zwaarst mee in het bepalen van toekomstige concentraties. In afbeelding 1D is te zien dat de meting half augustus hoog is (grijze staafje). In combinatie met de voor blauwalgen gunstige weersomstandigheden (hoge temperatuur, veel instraling en weinig wind) leidt dat ertoe dat de modelresultaten in de hele periode tot half september hoog bleven. Het model past immers de verwachtingen pas aan zodra er nieuwe blauwalg-meetgegevens binnenkomen, en die kwamen in deze periode niet. In de toekomst zullen data van de meetboeien ingezet kunnen worden. Dit kan echter pas over een aantal jaar, omdat voor het kalibreren van de AlgenRadar tot nu toe een historische meetreeks nodig is van minimaal zes jaar. Deze termijn kan verkort worden door frequenter te meten met de meetboei.

Meerwaarde van boeimetingen

De boeimetingen laten zien dat de concentratie blauwalgen meer kan variëren dan zichtbaar is met de minder frequente bemonsteringen in het veld. In dit geval leidt dat tot een overschatting van het risico in de tweede helft van de meetperiode. Het Blauwalgenprotocol 2020 schrijft (twee)wekelijkse metingen voor. Als dat wordt opgevolgd, is het aannemelijk dat ook voor de tweede periode het afgegeven advies beter overeen zou komen met de boeimetingen, en dus met de werkelijke situatie. Voor de beperkte dynamiek tijdens zo'n korte meetperiode zal standaard-monitoring dan ook toereikend zijn. Mogelijk neemt de dagelijkse dynamiek toe in de beginfase van blauwalgenbloei en/of sterkere variatie in het weer. Dan kunnen de boeimetingen uitkomst bieden door op afstand direct zicht te geven op de situatie bij een

zwemwaterlocatie. Daarnaast kan monitoring mogelijk zelfs gestuurd worden op basis van dergelijke boeimetingen, waarbij aanvullende veldmetingen kunnen worden gedaan op het moment dat de boei een verandering in advies geeft.

Meerbericht en klimaatverandering

Door klimaatverandering stijgt de temperatuur. De verwachting is dat daardoor ook de overlast door blauwalgen zal toenemen. Hierdoor zullen mogelijk zwemlocaties vaker en langer gesloten zijn. Tegelijkertijd is er meer behoefte aan verkoeling. Met een meerbericht kunnen waterbeheerders het risico op normoverschrijding van tevoren nauwkeuriger bepalen. Daardoor kan men effectiever en risico-gestuurd bemonsteren – dus met minder kosten en inspanning –, kunnen eerder eventuele maatregelen worden genomen en kunnen zwemwaterlocaties mogelijk vaker open blijven.

Vervolgwerk

Als het meerbericht in de praktijk gebruikt gaat worden zouden de boeimetingen geïntegreerd kunnen worden in het verwachtingsmodel, zodat de zekerheid voor de korte termijn groter wordt. Daarnaast kan de betrouwbaarheid van de verwachting getest worden voor verschillende omstandigheden, zoals de diepte en grootte van een plas, of de hoeveelheid blauwalgen. Ten slotte zou een dashboard nuttig zijn dat de meetgegevens en de modelverwachtingen direct weergeeft. Dan kun je bijna *real-time* de blauwalgconcentraties zien, én de verwachting voor de komende dagen. Zodoende kan de monitoring worden gestuurd, bijvoorbeeld door niet te bemonsteren als de situatie volgens de verwachting ongewijzigd blijft.

Voor een nog betere verwachting van de risico's zou het verwachtingsmodel moeten worden uitgebreid met gifstofconcentraties. Het zijn immers de door de blauwalgen uitgescheiden gifstoffen die het gezondheidsrisico vormen [4].

Dit project is gefinancierd vanuit het Innovatiebudget Digitale Overheid 2021 onder de naam Voorspellen Veilig Zwemwater, projectnummer 1500025049091. Het project is uitgevoerd onder toezicht van stakeholders van Leisurelands, Waterschap Rivierenland, Waterschap Noorderzijlvest, en de Unie van Waterschappen.

Miguel Dionisio Pires (*Deltares; Aeres Hogeschool Almere*), Peter Siegmund (*Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*), Sven Teurlincx (*Nederlands Instituut voor Ecologie*), Dedmer van de Waal (*Nederlands Instituut voor Ecologie; Universiteit van Amsterdam*), Marc Weeber (*Deltares*)

SAMENVATTING

Bij zomerse blauwalgenbloei kunnen zwemwaterbeheerders een waarschuwing of negatief zwemadvies geven. De hoeveelheid blauwalgen varieert echter sterk in plaats en tijd, onder andere door de weersomstandigheden. Hierdoor kan het gebeuren dat het zwemadvies tussen twee bemonsteringen in tijdelijk niet aansluit bij de werkelijke waterkwaliteit. Met een verwachting van blauwalg kan de bemonstering risicogestuurd worden, en kan het zwemwater na overlast eerder weer open. In dit project is een eerste stap voor zo'n verwachting gezet. In het zwemseizoen van 2022 zijn hoogfrequente metingen gedaan van blauwalg en andere relevante parameters in twee meren in Nederland. De metingen zijn vergeleken met een verwachting met het AlgenRadar model – een 'meerbericht' –, gebaseerd op laagfrequente metingen door het waterschap en gedetailleerde weersverwachtingen.

BRONNEN

1. Schets, F.M., et al. (2020), Blauwalgenprotocol 2020, RIVM-briefrapport 2020-0107. DOI 10.21945/RIVM-2020-107
2. Deltares: Algenradar voorspelt algenbloei, https://cms.deltares.nl/assets/common/downloads/Flyer-Algenradar-voorspelt-algenbloei-1.pdf
3. KNMI: Weer- en klimaatpluim en Expertpluim, https://www.knmi.nl/nederland-nu/weer/waarschuwingen-en-verwachtingen/weer-en-klimaatpluim
4. Van de Waal, D.B., et al. (2023), Risicobeoordeling van blauwalgen: snel, nauwkeurig of beide? Water Matters no. 17, december 2023.



Bloemgracht in Amsterdam, 2019

AUTEURS



Koen Pelsma
(Deltares)

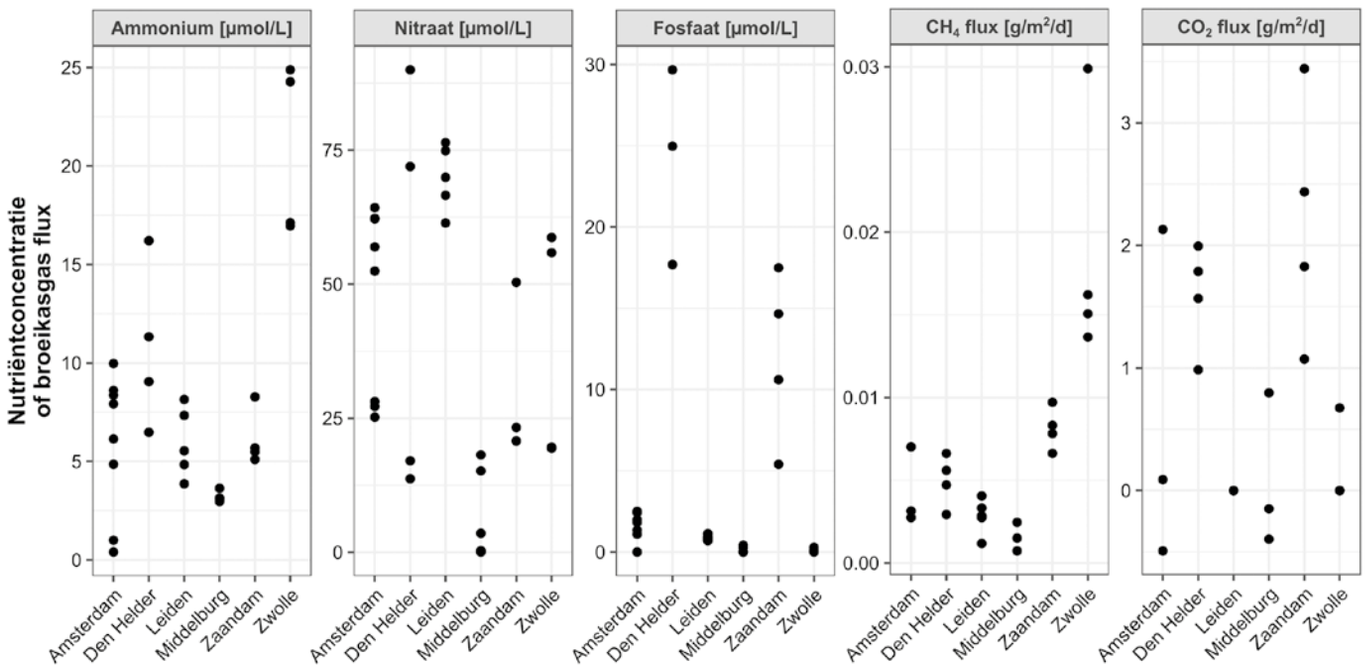


Wouter van der Star
(Deltares)

NEDERLANDSE GRACHTEN: VAN OPEN RIOOL NAAR STADSE OASE?

De Nederlandse grachten verfraaien het stadsbeeld en bieden inwoners van steden als Amsterdam, Utrecht en Groningen vertier en verkoeling op hete dagen. Niet al dat stadswater is even schoon. Sommige grachten raken overgroeid met algen of kroos, andere zijn ondoorzichtig en bruin door omgewoeld slib. Zeker, de grachten zijn schoner dan een eeuw geleden, maar er valt nog veel te verbeteren. Voor de ecologie en ook voor het klimaat.

In Nederland is er tussen de 100 en 250 km^2 aan stadswater [1]. Hieronder vallen de Amsterdamse grachten, maar ook kleine slootjes, beekjes en vijvers in woonwijken. Stadswater is dus niet altijd een gracht met bakstenen kademuren, maar kan ook een oever van gras hebben in een stadspark. Het is belangrijk om te begrijpen welke factoren een rol spelen in het ecologisch functioneren van grachten. Een grote onbekende is de broeikasgasuitstoot van stadswater. Van landbouwsloten en ondiepe meren in Nederland weten we dat ze een bron zijn van de broeikasgassen koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4). Van stadswater weten we daar vrijwel niets over.



Afbeelding 1. Meetresultaten van de verschillende grachtensteden die indicatief zijn voor de waterkwaliteit. Elke stip geeft een puntmeting weer van de concentraties en uitstoot in de bemonsterde stad. Methaan (CH_4)- en CO_2-fluxen geven de diffuse uitstoot weer op de dag van bemonstering. Bovenstaande data zijn een verzameling van verschillende meetcampagnes [1].

Koolstofkringloop

Broeikasgasuitstoot uit water is het resultaat van microbiële processen. In een gebalanceerd ecosysteem nemen algen en waterplanten nutriënten (zoals nitraat en fosfaat) op en gebruiken die om te groeien. Daarbij leggen ze ook CO_2 vast. Als de biomassa sterft, wordt hij afgebroken door bacteriën in het water en in de bovenste sliblaag. Hiervoor is zuurstof nodig. De bacteriën zetten de biomassa om in nieuwe bacteriën (eigen reproductie), en er komt weer CO_2 vrij. Het dieper gelegen deel van de biomassa blijft in de bodem en wordt, in die zuurstofarme omgeving, langzaam afgebroken tot methaan. In de bovenste lagen van het slib kan dit methaan weer worden omgezet naar CO_2 door bacteriën die methaan 'eten': methanotrofen. Als deze balans door opwarming of door overmatige toevoeging van nutriënten (dus veel biomassa) verstoord wordt, verschuift de balans naar een systeem met minder zuurstof maar een hogere zuurstofvraag. Een groter aandeel van de biomassa wordt dan omgezet naar CH_4. De overmaat aan CH_4 ontsnapt dan voornamelijk via bellen, waardoor de methanotrofen geen kans krijgen het om te zetten naar CO_2. Het methaan komt daarmee in de atmosfeer. Daar wordt het weliswaar sneller afgebroken dan CO_2, maar het is een 27 keer sterker broeikasgas dan CO_2 [2].

Onze vraag

Hoewel je daar niet direct aan denkt, zijn microben dus heel belangrijk voor de biodiversiteit. Ze breken een groot deel van het organisch materiaal af, of verwijderen stikstofverbindingen door deze om te zetten in stikstofgas. Microbiologische activiteit is zo mede bepalend voor waterkwaliteit en uitstoot van broeikasgassen.
Om een beter beeld te krijgen van de microbiologische activiteit in stadswater zijn in zes Nederlandse steden de grachten figuurlijk onder de microscoop gelegd. In het lab en in het veld zijn de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater gemeten en is de mogelijke CH_4-uitstoot bepaald.

We zien: grachten zijn divers en stoten methaan uit

In verschillende veldwerkcampagnes tussen 2019 en 2022 is de diffuse uitstoot van CH_4 en CO_2 gemeten met drijvende kamers op het wateroppervlak (afb. 1 en 2). Wat direct opvalt, is de grote spreiding tussen de verschillende steden. Fosfaatconcentraties en CO_2-fluxen zijn het hoogst in Den Helder en Zaandam. In Amsterdam en Middelburg werd er – omgekeerd dus – juist CO_2 opgenomen uit de atmosfeer door algen in het water. Dit is te verklaren door de zonnige condities tijdens het meten en het seizoen (lente). De verschillen in fosfaat-, nitraat-



Afbeelding 2. Foto's van (1) een meetkamer om broeikasgasuitstoot te meten, (2) biofilms op de kadewanden en (3, 4) voorbeelden van een gracht met meerdere oppervlakken voor biofilms

en ammoniumconcentraties zijn opvallend, maar lastig te verklaren. Alle metingen zijn uitgevoerd tussen maart en juli en in het centrum van de steden. Lozing van nutriënten bij een riooloverstort zou een verklaring kunnen zijn voor het fosfaat, maar is niet heel waarschijnlijk omdat er geen hevige regenval was tijdens de meetdagen.

De methaanuitstoot lijkt beperkt (behalve een uitschieter in Zwolle), maar is omgerekend naar CO_2-equivalenten bijna even hoog als de gemiddelde gemeten CO_2-uitstoot (1 g/m^2/d). En CO_2 is direct beschikbaar voor planten om vastgelegd te worden en kan opgelost blijven als bicarbonaat. CH_4 echter is slecht oplosbaar in water, waardoor gasbellen een belangrijke bron van uitstoot zijn. Die zijn niet gemeten in dit onderzoek, dus het is aannemelijk dat de daadwerkelijke uitstoot hoger ligt dan we nu in de metingen van diffuse flux zien.

Biofilms die methaan eten

Een typerend kenmerk van grachten en ander stedelijk water is de kademuur. In stadsvijvers en -slootjes bestaan de kademuren uit houten planken, in de binnenstad zijn ze voornamelijk van baksteen. Op de kademuren vormt zich bij een weinig variërend waterpeil een slijmlaag (biofilm) die ook wel perifyton genoemd wordt. Dit is een complex ecosysteem van mossen, cyanobacteriën, heterotrofe bacteriën en protisten. Met DNA-analyse van alle bacteriën op de kademuur zijn er onder andere methanotrofe bacteriën gevonden [1]. Het bleken in vier steden dezelfde typen bacteriën te zijn. In Zwolle was op een plek zelfs 9% van alle bacteriesoorten op de kademuur methanotroof.

Op de kadewanden in Leiden en Middelburg is het verhaal anders. De grachten van Leiden, bijvoorbeeld het Rapenburg en de Oude Vest, werden getypeerd door hoog doorzicht en waterplanten op de bodem. Opvallend is ook dat hier fosfaat- en ammoniumconcentraties laag waren, net als de methaanuitstoot. In Middelburg staat het merendeel van het water in directe verbinding met de Westerschelde. Het water is dan ook zout (circa 20 ppt), wat de koolstofcyclus beïnvloedt. Daardoor heeft zout water over het algemeen een lagere methaanuitstoot dan zoet water [3]. De CO_2-opname uit de lucht wijst op actieve fotosynthese en dit was ook visueel te zien door veel algen in het water. Of het stadswater in Middelburg ondanks de invloed van de Noordzee veel CH_4 zal uitstoten als de algen afsterven, is een relevante vraag voor vervolgonderzoek.

Conclusies en aanbevelingen

Met wereldwijd stijgende temperaturen en een grotere behoefte aan open water in de stad, zullen de grachten niet snel verdwijnen uit het typisch Nederlandse stadslandschap. Een toekomstbestendig beleid voor het stedelijk water begint bij het begrijpen van de processen die onze leefomgeving beïnvloeden. De uitstoot van broeikasgassen is slechts één stukje van de puzzel. Dit onderzoek maakt duidelijk dat de menselijke invloed op het stadswater niet alleen de nutriëntenconcentraties heeft verhoogd, maar ook bijdraagt aan de koolstofvoetafdruk. Een holistische blik op de aanpak voor stedelijke waterkwaliteit is nodig.

Stedelijk water is een gemaakte omgeving, die we zelf kunnen beïnvloeden. Dat biedt perspectief. We kunnen bijvoorbeeld de waterstand en stroomsnelheid aanpassen en nutriëntenbronnen aanpakken. Tijdens de coronapandemie is dankzij het vaarverbod in de binnenstad van Amsterdam een verbetering van het doorzicht gemeten [4]. Al snel kregen waterplanten de kans, wat aantoont dat snelle verbetering in de waterkwaliteit mogelijk is.

Afspoeling van nutriënten van straat naar oppervlaktewater door regenval kan niet helemaal voorkomen worden, maar een lozing vanuit het riool vaak wel.

Periodiek de stroming aanpassen in een binnenstad kan helpen om (blauw)algenbloei te voorkomen, de broeikasgasuitstoot te verminderen en waterplanten een kans te geven. Meer waterplanten en minder scheepvaart is ook fijn voor vissen en waterinsecten. Waterplanten hebben bovendien niet alleen effect op het water, maar ook op de bodem. Via de wortels kunnen planten zuurstof uitscheiden, waardoor de CH_4-uitstoot vermindert.
Een directe aanbeveling is dan ook om de doorstroming binnen de stad kunstmatig te verhogen. Het is een vrij eenvoudige maatregel die veel positieve effecten kan hebben.
Om een betere afweging te maken wat betreft broeikasgasuitstoot is kennis over de jaarverdeling en de uitstoot via bellen nodig. Voor de waterkwaliteit is het ook belangrijk te identificeren waar in het stedelijk waternetwerk de bronnen van nutriënten liggen.

Gemeenten met aandacht voor het beheer van hun stadswater slaan twee vliegen in één klap: een aangenamere leefomgeving in de stad door hogere waterkwaliteit en biodiversiteit, en een lagere broeikasgasuitstoot.

Met dank aan Cornelia Welte en Mike Jetten (Radboud Universiteit) en Joshua Dean (University of Bristol).

Koen Pelsma, Wouter van der Star (*Deltares*)

BRONNEN

1. Pelsma, K. A. J. (2023). *Hidden beneath the surface: microbial methane cycling in Dutch urban canals* (Doctoral dissertation, Radboud University). https://hdl.handle.net/2066/299121
2. Forster, P. et al. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 923–1054. DOI:10.1017/9781009157896.009
3. Saunois, M. et al. (2019). The global methane budget 2000–2017. *Earth System Science Data Discussions*, 2019, 1-136. DOI:10.5194/essd-12-1561-2020
4. H2O Actueel (28 mei 2020). Amsterdamse grachten helderder dan ooit dankzij coronamaatregelen https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/amsterdamse-grachten-helderder-dan-ooit-dankzij-coronamaatregelen.

SAMENVATTING

De ecologische staat van stadswater staat onder druk door een toename aan nutriënten en klimaatverandering. Dit kan gepaard gaan met een verhoogde uitstoot van methaan en kooldioxide. In zes Nederlandse steden is de broeikasgasuitstoot gemeten in het voorjaar en de microbiologische samenstelling bepaald. Bijna alle grachten stoten methaan uit, terwijl kooldioxide soms wordt opgenomen. Grachten met meer biodiversiteit stoten minder broeikasgassen uit. Ook kunnen kadewanden fungeren als een habitat voor methanotrofe bacteriën. Het verbeteren van de kwaliteit van het stadswater zal niet alleen de biodiversiteit verbeteren, maar ook de impact van stadswater op het klimaat.



Monstername uit een hemelwaterafvoer-put; daarachter de bus die de foutaansluitingen aan het opsporen is

AUTEURS



Rémy Schilperoort
(P4UW)



Jeroen Langeveld
(P4UW)



Heike Schmitt
(RIVM)



Hetty Blaak
(RIVM)



Martijn Klootwijk
(Gemeente Breda)



Bert Palsma
(STOWA)

VERHELPEN VAN FOUTAANSLUITINGEN: MINDER ANTIBIOTICA-RESISTENTE BACTERIËN IN HET OPPERVLAKTEWATER?

Verontreinigd oppervlaktewater is mogelijk een bron van besmetting van mensen met antibiotica-resistente (ABR) bacteriën. Bekend is dat deze bacteriën in het water kunnen komen via rwzi-effluent en overstorten vanuit gemengde rioolstelsels. In hoeverre dragen ook foutaansluitingen in (gescheiden) hemelwaterstelsels bij?

Besmetting met ABR-bacteriën (transmissie) treedt op als mensen in contact komen met besmet oppervlaktewater, bijvoorbeeld als recreant. ABR-bacteriën komen op verschillende manieren in het oppervlaktewater terecht. Bijvoorbeeld door afspoeling van dierlijke mest vanuit de veehouderij of door lozing van humaan afvalwater via rwzi-effluent en overstorten van gemengde rioolstelsels. Onduidelijk is de rol van lozingen door foutaansluitingen in gescheiden rioolstelsels. Nu er steeds meer gescheiden stelsels komen, wordt duidelijkheid hierover belangrijker.

Bemonsteringsdatum		Locatie	Analyse
Vóór verwijderen foutaansluitingen (2019)	5, 11, 18 juni	3x oppervlaktewater (O1, O2, O3) 5x hemelwaterstelsel (1, 6, 12, 19, 23)	E. Coli, ESBL-EC, DNA (Mens-, hond- en vogelspecifiek)
	25, 26, 27, 28 november	3x oppervlaktewater (O1, O2, O3) 22x hemelwaterstelsel (1 t/m 22)	DNA (Mensspecifiek)
Ná verwijderen foutaansluitingen (2022)	19, 20, 21 september	3x oppervlaktewater (O1, O2, O3) 5x hemelwaterstelsel (1, 6, 12, 19, 23)	E. Coli, ESBL-EC
	19, 20, 21, 22 september	3x oppervlaktewater (O1 – O3) 21x hemelwaterstelsel (1 t/m 20 en 23)	DNA (Mensspecifiek)

Tabel 1. Monstername: data, locaties en uitgevoerde analyses

De rol van foutaansluitingen

Door foutaansluitingen bij gescheiden rioolstelsels, bijvoorbeeld verwisselde huisaansluitingen, kan ongezuiverd afvalwater onbedoeld via het regenwaterstelsel in het oppervlaktewater terechtkomen. Foutaansluitingen kunnen daarmee een bron zijn van fecale verontreiniging met de daarin aanwezige ABR-bacteriën. Eerder onderzoek [1] heeft ABR-bacteriën in oppervlaktewater aangetoond. Omdat invloeden van landbouw, rwzi-effluent en gemengde overstorten afwezig waren, werden foutaansluitingen als meest waarschijnlijke bron aangewezen. De vraag is of dat terecht is.

Dit artikel beschrijft de resultaten van een onderzoek naar de relatie tussen foutaansluitingen in gescheiden hemelwaterstelsels en de aanwezigheid van (ABR-) bacteriën in het ontvangende oppervlaktewater. Hiervoor werd in één gebied de waterkwaliteit onderzocht vóór en ná het opsporen en verhelpen van de foutaansluitingen.

Onderzoeksgebied

Onderzoeksgebied 'Heuvel' ligt in een woonwijk in het zuidwesten van Breda. Het gebied had oorspronkelijk een gemengd rioolstelsel, maar is recent voorzien van aparte vuilwater- en hemelwaterstelsels. Het onderzochte regenwaterdeel (totale buislengte circa 4,5 km) voert onder vrij verval af naar één van de negen uitlaten op een centrale vijver. De uitlaten zijn voorzien van terugslagkleppen om instroom vanuit de vijver naar het stelsel te voorkomen. Het ontvangende oppervlaktewater in de wijk (de vijver Talmazone en de Turfvaart) is klein en daardoor gevoelig voor de effecten van foutaansluitingen. Verder benedenstrooms in de Aa of Weerijs en in het centrum van Breda zijn plannen voor recreatie bij en in het oppervlaktewater, wat een goede waterkwaliteit extra belangrijk maakt.

Op basis van inspectieresultaten en meldingen bestond het vermoeden dat er één of meer foutaansluitingen in het hemelwaterstelsel zaten. In dit onderzoek zijn inderdaad meerdere foutaansluitingen aangetroffen. Ze werden opgespoord met de DTS-techniek (distributed temperature sensing): glasvezelkabels die tijdelijk in het riool worden aangebracht meten de temperatuur in het hemelwaterriool. Foutaansluitingen verraden zichzelf met plotselinge temperatuurvariaties. Op basis van het zo waargenomen lozingspatroon zijn de foutaansluitingen geclassificeerd: meerdere huishoudens met toilet, een huishouden met toilet, anders (zonder toilet). De locaties en de categorieën van de aangetroffen foutaansluitingen zijn weergegeven in afbeeldingen 1 en 2.

Fecale verontreinigingen

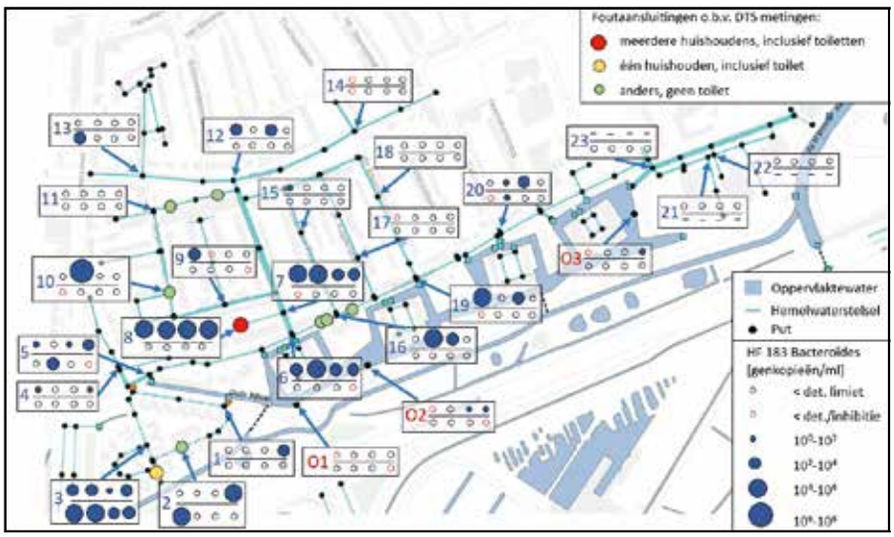
Voor het onderzoek naar fecale verontreinigingen zijn monsters genomen gelijkmatig verspreid over het hemelwaterstelsel (locaties 1 t/m 23) en het oppervlaktewater (locaties O1 t/m O3). De monsters werden geanalyseerd op *E. coli* en op ESBL-EC.

E. coli is de standaard indicatorbacterie voor fecale verontreiniging. De bacterie komt voor in de darmen en ontlasting van alle warmbloedige dieren, dus ook van mensen.

ESBL-EC is een antibiotica-resistente variant van *E. coli*. Die resistentie kan voor problemen zorgen bij de behandeling van infecties. Ongeveer 5% van alle Nederlanders is drager van ESBL-EC. De resistente bacterie komt ook frequent voor bij honden (ca. 11%) en watervogels (ca. 16%). Verder wordt ESBL-EC ook regelmatig aangetroffen in de darmen en mest van landbouwhuisdieren, vooral bij pluimvee, vleesvarkens en vleeskalveren [2, 3, 4, 5].

Bronopsporing

De aanwezigheid van *E. coli* of ESBL-EC in een watermonster duidt op de aanwezigheid van fecale verontreiniging. De herkomst van die verontreiniging kan bepaald



Afbeelding 1. Analyseresultaten mens-specifiek DNA per locatie vóór verhelpen foutaansluitingen (vier monsternames in november 2019, de bovenste rij bolletjes) en na verhelpen foutaansluitingen (vier monsternames in september 2022, onderste rij). De blauwe pijlen wijzen de plek van de monsternames aan.

worden met DNA-analyse. In dit onderzoek is een gen (HF183) van de bacteriesoort *Bacteroides dorei* gebruikt als indicator voor humane feces, een DNA-fragment van een vogelspecifieke *Helicobacter* voor die van vogels, en het mitochondriaal DNA van de hond voor hondenfeces.

In drie rondes van elk drie of vier dagen zijn monsters uit het hemelwaterstelsel en van het oppervlaktewater genomen: twee rondes (in juni en november 2019) vóór het verhelpen van foutaansluitingen, en een ronde (in september 2022) na het verhelpen. Alle watermonsters zijn onderzocht op de aanwezigheid van humane feces. Alleen de monsters van juni 2019 (dus vóór het verhelpen van foutaansluitingen) zijn daarnaast ook geanalyseerd op feces van vogels en van honden. Zie tabel 1.

Aanwezigheid mens-, vogel-, en hond-specifiek DNA

Mens-specifiek DNA is aangetroffen in 44% van de monsters die zijn genomen vóór het verhelpen van foutaansluitingen, en dan vooral dicht bij de fout-aansluitingen (zie afbeelding 1, per locatie de bovenste rij bolletjes). Ná het verhelpen (onderste rij bolletjes) is het mens-specifieke DNA alleen nog aangetroffen nabij één foutaansluiting die (nog) niet verholpen was (geel bolletje nabij locaties 2 en 3). Het effect van het verhelpen van een grote foutaansluiting (meerdere huishoudens met wc's) is goed zichtbaar op locatie 8, en in benedenstroomse richting locaties 7 en 6: alle monsters bevatten hoge concentraties *Bacteroides* vóór het verhelpen en zijn negatief ná het verhelpen.

Bij de monsternameronde in juni 2019 is hond-specifiek DNA gevonden in 6 van de 15 monsters uit het hemelwaterstelsel (40%); in de monsters van het oppervlaktewater vonden we het niet. Vogel-specifiek DNA is alleen aangetroffen in één oppervlaktewatermonster.

Aanwezigheid *E. coli* en ESBL-EC

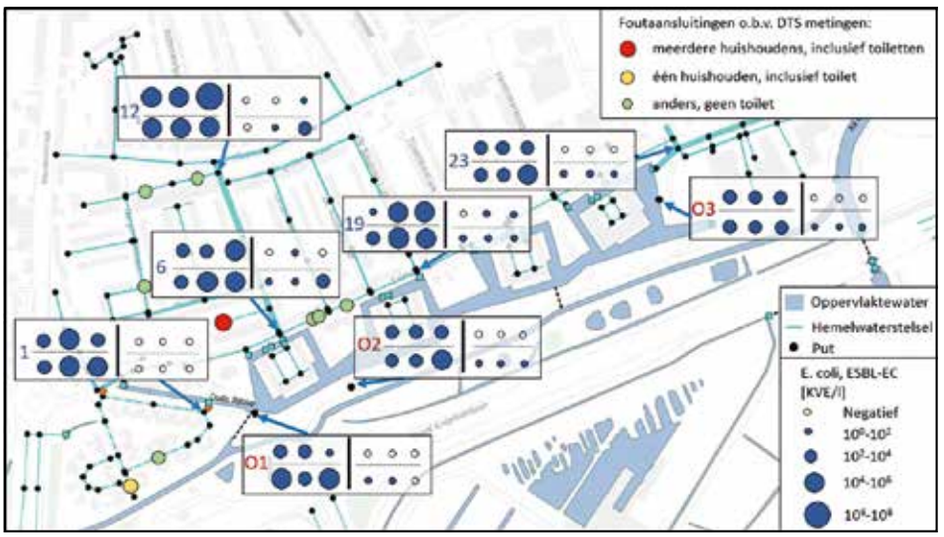
Afbeelding 2 toont per locatie de concentraties *E. coli* en ESBL-EC vóór verhelpen van foutaansluitingen (bovenste rij bolletjes) en ná verhelpen (onderste rij). Opvallend is dat de concentraties van beide niet afnemen ná het verhelpen van de foutaansluiting. Voor ESBL-EC neemt het percentage positieve monsters zelfs toe van circa 20% tot circa 80%.

De DNA-analyses hebben laten zien dat het centrale deel van het stelsel na het verhelpen van foutaansluitingen nagenoeg geen sporen van humane ontlasting meer bevatte. Dat desondanks ESBL-EC juist wijder verspreid is (en de concentraties *E. coli* niet afnemen) suggereert dat andere bronnen dan humaan afvalwater (ook) bijdragen aan de aanwezigheid van deze bacteriën. Een mogelijke bron van de antibiotica-resistente ESBL-EC is hondenpoep. De aanwezigheid van hondenpoep in het hemelwaterstelsel is voor de monsters uit september 2022 (na verhelpen) niet bepaald, maar ongeveer de helft van de eerdere monsters uit juni 2019 bevatte wel honden-DNA. Drie van de vier monsters die positief waren op ESBL-EC in juni 2019 waren óók positief voor honden-DNA.

Discussie en conclusies

Het onderzoek laat zien dat mens-specifiek DNA in hoge concentraties aanwezig is vóór de reparatie van foutaansluitingen, en erná nagenoeg afwezig. De reparaties voorkomen dus de lozing van humaan afvalwater op het hemelwaterstelsel.

E. coli en ESBL-EC echter zijn voor en na het verhelpen van foutaansluitingen in ongeveer gelijke mate in de monsters aanwezig. Van deze bacteriën is dus géén duidelijke afname gevonden. De *E. coli* en ESBL-EC in het hemelwaterstelsel zijn daarmee waarschijnlijk niet (alleen) afkomstig geweest uit het afvalwater door foutaansluitingen. Mogelijk is de bron hondenpoep die



Afbeelding 2. Analyseresultaten per locatie voor E. coli (links) en ESBL-EC (rechts) vóór verhelpen foutaansluitingen (bovenste rij bolletjes) en ná verhelpen foutaansluitingen (onderste rij). Monsternames: driemaal vóór verhelpen foutaansluitingen (in november 2019) en driemaal na verhelpen foutaansluitingen (in september 2022). De blauwe pijlen wijzen de plek van de monsternames aan.

met de regen afstroomt naar het hemelwaterstelsel. Honden zijn bekende dragers van ESBL-EC en hond-specifiek DNA is in een aantal monsters uit het hemelwaterstelsel aangetoond.
De aanwezigheid van *E. coli* en ESBL in de regenwaterafvoer wijst dus niet per se op de aanwezigheid van foutaansluitingen. Aanvulling met DNA-analyse op humane markers is nodig. Aandachtspunt bij dit type onderzoek is het uitvoeren van meerdaagse monstercampagnes om de invloed van toevallige uitschieters (zoals op locatie 10: één sterk positief resultaat voor *Bacteroides*; de overige drie dagen negatief) te beperken.

Het verhelpen van foutaansluitingen zal de emissie van (ABR-)bacteriën uit hemelwaterstelsels zeker verminderen, maar andere bronnen, zoals bijvoorbeeld afspoeling van hondenpoep, spelen mogelijk ook een rol bij de lozing van (ABR-)bacteriën op oppervlaktewater.

Rémy Schilperoort, Jeroen Langeveld (*P4UW*), Heike Schmitt, Hetty Blaak (*RIVM*), Martijn Klootwijk (*Gemeente Breda*) en Bert Palsma (*STOWA*)

BRONNEN

1. Schilperoort et al. (2017). Antibioticaresistente bacteriën in stedelijk water en de rol van foutaansluitingen. Vakblad H2O Water Matters, december 2017, 12-15
2. Van der Bunt et al. (2019). Prevalence, risk factors and genetic characterisation of extended-spectrum beta-lactamase and carbapenemase-producing Enterobacteriaceae (ESBL-E and CPE): a community-based cross-sectional study, the Netherlands, 2014 to 2016. *Euro Surveill* 24(41). DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2019.24.41.1800594
3. Van der Bunt et al. (2020). Faecal carriage, risk factors, acquisition and persistence of ESBL-producing Enterobacteriaceae in dogs and cats and co-carriage with humans belonging to the same household. *J. Antimicrob Chemother* 2020:75 (342-350). DOI: 10.1093/jac/dkz462
4. Veldman et al. (2013). Characteristics of Cefotaxime-Resistant Escherichia coli from Wild Birds in The Netherlands. *Applied and Environmental Microbiology 79* (24), 7556-7561. DOI: 10.1128/AEM.01880-13
5. Mevius et al. (Ed.) (2018). Rapport ESBL-Attributieanalyse (ESBLAT): Op zoek naar de bronnen van antibioticaresistentie bij de mens. TKI Agri & Food.

SAMENVATTING

Antibiotica-resistente (ABR) bacteriën komen via verschillende routes in het oppervlaktewater terecht. Naast rioolwaterzuiveringen en gemengde overstorten zijn foutaansluitingen bij gescheiden stelsels een mogelijke bron. Onderzoek in een klein hemelwaterstelsel met bekende foutaansluitingen heeft laten zien dat het verhelpen van de foutaansluitingen wél leidde tot het (bijna) verdwijnen van mens-specifiek afvalwater in het stelsel, maar níet gepaard ging met een forse afname van de hoeveelheid *E. coli* en de antibiotica-resistente variant ESBL-EC. Daarmee komen andere bronnen in beeld, zoals de afspoeling van dierlijke uitwerpselen (bijvoorbeeld hondenpoep), als mogelijke bron van (ABR-)bacteriën.



Foto: JP Schilder bv

Het toedienen van Phoslock aan de Bleiswijkse Zoom

AUTEURS



Marit Meier
(hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard)



Anne Rutgrink
(hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard)



Vincent Blom
(hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard)



Jeroen Mandemakers
(Witteveen+Bos)



Miquel Lurling
(Wageningen Universiteit)



Said Yasseri
(Limnological Solutions International)

INTEGRALE AANPAK BLEISWIJKSE ZOOM GEEFT ECOSYSTEEMHERSTEL

Het drukbezochte water- en groengebied Bleiswijkse Zoom in het Zuid-Hollandse Rottemerengebied werd jarenlang geplaagd door blauwalgen en de bijbehorende negatieve zwemadviezen. Ook voldeed de Bleiswijkse Zoom niet aan de doelstellingen van de KRW. Om het ecosysteem te herstellen naar een stabiel heldere toestand met ondergedoken waterplanten, is een integrale systeemaanpak toegepast. Wat zijn de effecten van de genomen maatregelen?

Oude situatie

Jarenlang had de Bleiswijkse Zoom, een rond 1970 gegraven recreatieplas van ruim 14 hectare nabij Rotterdam, een vast waterpeil. Er werd water ingelaten vanuit de Rotte om de plas op peil te houden en om het achterliggende peilgebied van water te voorzien. Het aangevoerde water was nutriëntenrijk, waardoor het water in de plas hypertroof was. Boven een voedselrijke baggerlaag was het water algenrijk en troebel. De oevers waren veelal beschoeid en steil, met weinig ruimte voor goede oeverbegroeiing. De macrofauna in de plas bestond vooral uit negatieve indicatorsoorten en er was een hoge biomassa aan vis, waarvan het grootste deel bodemwoelend was. Waterplanten waren vrijwel afwezig.

Gebruikte onderzoeksmethoden

Om zicht te krijgen op het waterkwaliteitsprobleem in de Bleiswijkse Zoom, heeft het hoogheemraadschap met een systeemanalyse [1] de Ecologische Sleutelfactoren (ESF) [2] onderzocht. Hieruit kwam naar voren:

- de externe fosfaatbelasting (totaal-P) was te hoog; deze lag met 7 milligram P/m^2/dag boven de kritische grenzen: 5,0 mg P/m^2/d voor een 'omslag van helder naar troebel' en 3,0 mg P/m^2/d voor een 'omslag van troebel naar helder'. Het fosfaat was vooral afkomstig uit inlaatwater, kwelwater en uit- en afspoeling;
- het lichtklimaat voldeed niet. Het doorzicht werd beperkt door algen en zwevende stof (door de bodemwoelende vis);
- de nalevering van fosfaat uit de onderwaterbodem was hoog (3,5 mg P/m^2/d) [3].

Een verlaging van de externe P-belasting tot ónder de onderste kritische grens - voor een omslag van troebel naar helder plantenrijk water - bleek niet haalbaar. Een combinatie van bron-, systeem- en interne maatregelen was nodig om de belasting te verlagen tot 'tussen de kritische grenzen'. Om een omslag 'van troebel naar helder' te forceren, werd daarnaast de visstand uitgedund en de nalevering van fosfaat door de waterbodem omlaag gebracht.

Maatregelen

Het hoogheemraadschap koos ervoor om eerst in te zetten op maatregelen die gericht zijn op het verminderen van de productiviteit van het water (ESF 1), daarna op het verbeteren van het lichtklimaat (ESF 2) en ten slotte op het verminderen van de productiviteit van de waterbodem (ESF 3). Er is dus vooral ingezet op bronmaatregelen die de belasting reduceren en maatregelen om een definitieve omslag naar een heldere toestand mogelijk te maken. De robuustheid van het systeem wordt aangepakt door het instellen van een flexibel peil en het uitbreiden van de oeverzone met helofyten.

Maatregel 1: beperken inlaatwater uit de Rotte

Door aanleg van een bypass fungeert de Bleiswijkse Zoom niet langer als doorvoersysteem. Het voedselrijke Rottewater gaat nu onder de plas door naar het achterliggende peilgebied. Daarnaast is de waterbehoefte van de Bleiswijkse Zoom sterk gereduceerd door het instellen van een flexibel peil dat maar liefst 55 centimeter kan variëren. Vooral regen zorgt nu voor aanvulling, en alleen bij zeer lage waterstanden wordt nog water uit de Rotte gebruikt. De vermindering van de inlaat naar praktisch nul leidt tot een afname van externe fosfaatbelasting met bijna 2 milligram P/m^2/d. Bovendien is de grote peilmarge positief voor de vegetatie: oeverbegroeiing breidt zich op natuurlijke wijze uit, en door het minder diepe water in de zomer kan licht makkelijker doordringen tot de bodem. Ook worden geen algen meer ingevoerd via inlaatwater.

Maatregel 2: aanleg extra oeverzones

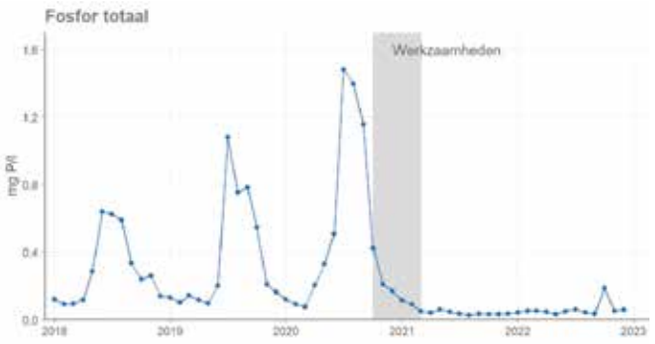
Door de aanleg van meer natuurvriendelijke oevers en natuurlijke uitbreiding van bestaande rietoevers (door verwijderen beschoeiing in combinatie met een flexibel peil) heeft de plas een groter zuiverend vermogen en heeft het systeem extra draagkracht gekregen. Dit maakt de plas robuuster, de eerder genoemde kritische grenzen komen hoger liggen.

Maatregel 3: verminderen opwoeling door vis

De behoorlijk hoge visstand (423 kg/ha) werd gedomineerd door bodemwoelende karper en brasem [4]. Dat was negatief voor het lichtklimaat maar ook past deze visstand niet bij de nieuwe, voedselarme situatie. Uitdunning is uitgevoerd tot maximaal 15 kg/ha plankton etende vis en 30 kg/ha bodemwoelende vis [5]. Voor de hengelsport zijn enkele grote karpers behouden. Overtollige vissen zijn - in overleg met de hengelsportfederatie - verhuisd naar geschikte hengelwateren.

Maatregel 4: aanpak nalevering bodem

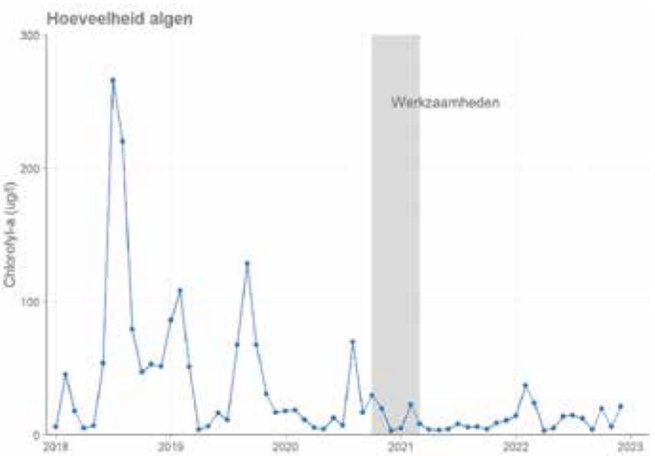
Door te baggeren is de fosfaatnalevering [3, 6] met 60 procent verlaagd, van gemiddeld 3,5 naar 1,5 milligram P/m^2/d. Om te zorgen dat fosfaat niet meer vrijkomt uit de vaste waterbodem, is Phoslock gebruikt. Phoslock is met lanthaan gemodificeerde klei, die het resterende fosfaat in de waterkolom en nog vrijkomend fosfaat bindt en vastlegt.



Afbeelding 1. Fosfaatconcentraties in de Bleiswijkse Zoom voor en na de maatregelen

Maatregel 5: Beheer en onderhoud
De belasting van het watersysteem is verminderd door overhangende takken en een deel van de vele bladerrijke bomen direct langs het water weg te halen. Afstroming van (kwel)water vanaf de dijk wordt beperkt door een verhoogd wandelpad langs de plas.

De externe en de kritische fosfaatbelasting
Minder inlaatwater leidt vanzelfsprekend tot een afname van externe fosfaatbelasting van de plas (afname van bijna 2 mg P/m²/d). De keerzijde is, dat de verblijftijd van water in de plas flink toeneemt, waardoor de kritische fosfaatbelasting lager wordt. Daarnaast heeft het baggeren geleid tot een iets grotere waterdiepte, met eveneens een verlaging van de kritische fosfaatbelasting tot gevolg. Zo daalde de bovenste kritische grens ('van helder naar troebel') van 5,0 naar 2,9 milligram P/m²/d. Een herberekening waarin het effect van alle maatregelen is meegewogen, laat zien dat de externe fosfaatbelasting nu rond deze bovenste kritische grens ligt [8].



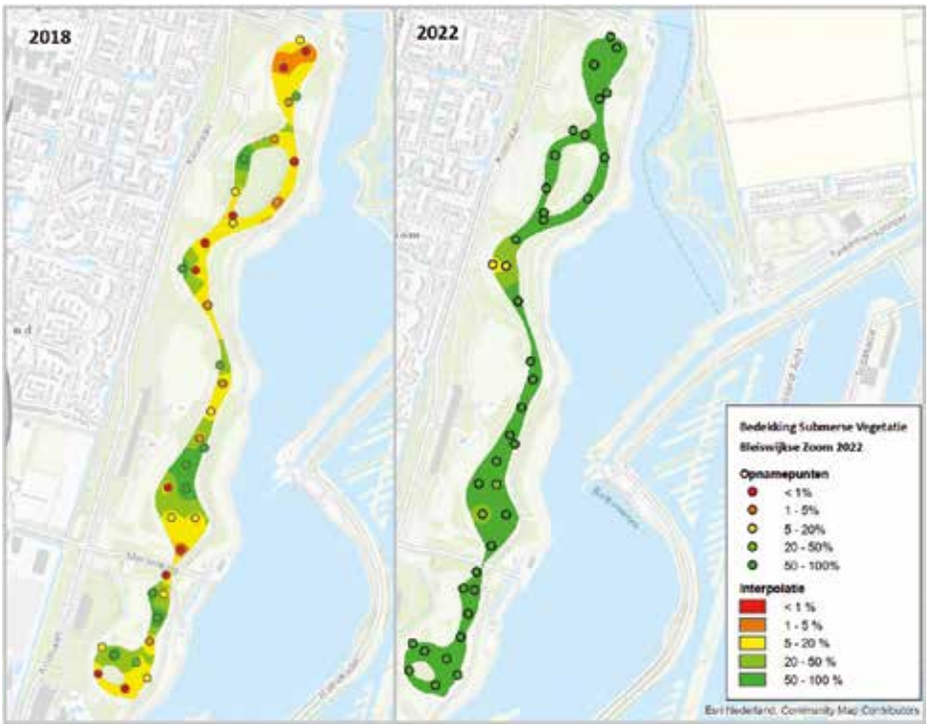
Afbeelding 2. Chlorofyl-a concentraties in de Bleiswijkse Zoom voor en na de maatregelen

Nutriënten
Vóór de maatregelen waren er seizoensgebonden schommelingen van fosfaatconcentraties. In de zomer waren de concentraties hoger dan in de winter door nalevering uit het bodemslib. Na de maatregelen zijn deze fluctuaties verdwenen (afbeelding 1). Ook de totaalconcentratie stikstof is gedaald en grote schommelingen blijven uit. Hierdoor is de hoeveelheid algen sterk afgenomen (afbeelding 2).

Water en oeverplanten
Door de maatregelen zijn de omstandigheden voor ondergedoken waterplanten sterk verbeterd, met een spectaculaire toename van de bedekking tot gevolg. Uit de jaarlijkse monitoring blijkt dat deze submerse begroeiing is toegenomen van gemiddeld 30 procent in 2018 naar gemiddeld 85 procent in 2022. In 2022 waren *Elodea nutallii* (smalle waterpest) en verschillende *Chara*-soorten (kranswieren) de dominante soorten.

Zwemwater en KRW-doelen
Het kost tijd voordat de maatregelen helemaal zijn doorgewerkt op het ecosysteem. In de zwemwatermonitoring zien we positieve ontwikkelingen. Blauwalgenbloei is nooit volledig te voorkomen, maar de kans erop is nu laag. In 2020-2022 zijn geen negatieve zwemadviezen afgegeven voor algen of bacteriologische verontreiniging. De KRW-monitoring laat zien dat de ecologie positief reageert op de nieuwe omstandigheden. Algen nemen af, waterplanten nemen toe en de visstand past zich langzaam aan.

Conclusie
De interventie in de Bleiswijkse Zoom laat zien dat het mogelijk is om een ecosysteem te herstellen van een troebele algenrijke toestand naar een heldere toestand met veel waterplanten. De systeemanalyse gaf de onderbouwing voor de maatregelen, gericht op reductie van de externe en interne nutriëntenbelasting en op vergroting van draagkracht van het ecosysteem.
Nutriëntconcentraties zijn sterk afgenomen, plantengroei is toegenomen, het water is helder geworden en de zwemwaterkwaliteit is verbeterd. Het hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard blijft de



Afbeelding 3. De bedekking door ondergedoken waterplanten in de Bleiswijkse Zoom nam na 2018 toe tot 50 à 100% (groen; NB het grote water rechts zijn de Rottemeren)

ecologische ontwikkeling volgen en kan zo nodig in de toekomst instandhoudingsbeheer toepassen. De Bleiswijkse Zoom voldoet nu bijna aan de KRW-doelen en onze verwachting is dat met een verdere natuurlijke ontwikkeling alle KRW-doelen gehaald zullen worden.

Marit Meier, Anne Rutgrink en Vincent Blom (*hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard*), Jeroen Mandemakers (*Witteveen+Bos*), Miquel Lurling (*Wageningen Universiteit*) en Said Yasseri (*Limnological Solutions International*)

BRONNEN

1. Witteveen+Bos (2013). Systeemanalyse recreatiewateren. Report nr. RT722-1
2. Stowa (z.j.). Ecologische Sleutelfactoren voor stilstaande wateren. Op www.stowa.nl, geraadpleegd 6 mei 2024
3. Smolders, F. & van Mullekom, M. (2015). Bodem- en Hydrochemisch onderzoek Bleiswijkse Zoom. B-WARE
4. Niemeijer, B. & Mies, J. (2018). KRW visstandonderzoek HHSK. ATKB
5. Kampen, J. & Kleppe, R. (2021). Eindrapportage afvissing Bleiswijkse Zoom. ATKB Waardenburg Rapportnummer 20180840/rap02
6. Yasseri, S. & Mucc,i M. (2019 en 2020). Bleiswijkse Zoom, Releasable Phosphorus from Bleiswijkse Zoom Sediments Assessment for a Phoslock application. LSI-Limnological Solutions International, report for HHSK
7. Janse, J.H. et al. (2010). Estimating the critical phosphorus loading of shallow lakes with the ecosystem model PCLake: sensitivity, calibrations and uncertainty. Ecological Modelling 221(4):654–665.
8. Witteveen+Bos (2021). Update water- en stoffenbalans Bleiswijkse Zoom.
9. HHSK (2023). Waterkwaliteitsrapportage 2022.
10. HHSK (2023). Rapportage Bleiswijkse Zoom

SAMENVATTING

De Bleiswijkse Zoom is een water- en groengebied met een officieel aangewezen zwemwaterlocatie. Jarenlang kampte de zwemlocatie in het zwemseizoen met bloei van blauwalgen en de bijbehorende negatieve zwemadviezen. Om de zwemwaterkwaliteit te verbeteren en de KRW-doelen te halen is een integraal plan opgesteld op basis van een systeemanalyse met behulp van de ecologische sleutelfactoren. De maatregelen waren gericht op reductie van nutriëntenbelasting en het vergroten van de draagkracht. Deze aanpak blijkt te werken: nutriëntenconcentraties zijn flink gedaald en waterplanten zijn sterk toegenomen. In de nieuwe situatie voldoet de Bleiswijkse Zoom al bijna aan de KRW-doelen. De verwachting is dat door verdere natuurlijke ontwikkeling de waterkwaliteit binnen afzienbare tijd voldoet aan alle KRW-doelen.



Waterschap De Dommel, natuurvriendelijke oever Vossenbergweg

AUTEURS



Elske Koppenaal
(FLORON)



Michiel Verhofstad
(FLORON)



Max van de Ven
(Waterschap De Dommel)



Bart Brugmans
(Waterschap Aa en Maas)



Carlo Rutjes
(Waterschap Aa en Maas)



Bram Spierings
(Waterschap Aa en Maas)

IS AANLEG VAN NATUURVRIENDELIJKE OEVERS RISICOVOL BIJ AANWEZIGHEID VAN GROTE WATERNAVEL?

In Nederland worden veel natuurvriendelijke oevers (nvo's) aangelegd om de ecologische waterkwaliteit van onder andere sloten en kanalen te verbeteren. Op sommige van deze locaties is de invasieve uitheemse waterplant grote waternavel aanwezig. De soort groeit vanuit de oever het water op. Onder gunstige condities heeft grote waternavel een (zeer) hoge groeisnelheid en kan hij inheemse (water)planten en onderwaterleven overwoekeren. Heeft het aanleggen van een nvo hierop een versterkend effect?

Grote waternavel kan de ecologische toestand negatief beïnvloeden [1], maar wat gebeurt er met de ecologie van watergang en oever als er op locaties met grote waternavel een nvo wordt aangelegd?
Onze hypothese was dat door de aanleg van een nvo er een grotere habitat voor grote waternavel ontstaat. Met andere woorden: dat de grote waternavel meer gaat woekeren en de ecologische waarde juist vermindert. We verwachtten dat dit sterker zou gelden bij een zeer flauwe helling en minder bij steilere oevers. Het onderzoek bestaat uit een literatuurstudie, het bevragen van waterbeheerders en een veldinventarisatie van macrofauna en macrofyten [2]. Dit artikel beschrijft de resultaten van de veldinventarisaties.

Kwaliteitsvariabele (verschil nvo-referentie)	Heel flauw (flauwer dan 1:6)	Matig flauw (tussen 1:3 en 1:6)	Steil (steiler dan 1:3)	Ondiepe Plasberm	Totaal
aantal nvo-trajecten	6	3	3	1	13
Waterplanten-EKR	0,06	-0,11	0,01	-0,87	0,00
aantal plantensoorten	5,64	-4,56	1,28	3,00	2,08
aantal plantensoorten oeverzone	4,58	-4,67	0,72	-1,33	1,10
aantal plantensoorten waterzone	1,08	-0,22	0,39	-0,67	0,49
totale plantbedekking oeverzone	1,64	4,78	-2,17	-2,67	1,15
totale plantbedekking waterzone	2,58	-3,44	6,72	-2,00	1,79
Quickscanscore macrofauna	2,33	-5,00	-4,00	-2,67	-1,21
aantal taxa macrofauna*	-0,25	-3,44	-0,67	-2,00	-1,22
bedekking grote waternavel (m^2)	0,33	35,33	42,33	200,00	43,40
besmetting grote waternavel (%)	-0,33	7,11	10,56	23,33	5,72
besmettingsbreedte grote waternavel	0,33	-10,00	-7,00	25,00	-2,50

Tabel 1. Vergelijking nvo's met hun referentie (gepaarde t-test)
Een positieve waarde betekent een gemiddelde verhoging van de kwaliteitsvariabele bij de nvo ten opzichte van zijn referentie. Een negatieve waarde (oranje) betekent een gemiddelde verlaging. Een groene vulling geeft een significante relatie aan ($p < 0,05$). Voor de plasberm was geen statistische toetsing mogelijk, aangezien er slechts één plasberm in het onderzoek zat.

Aanpak

We hebben watergangen geselecteerd waar grote waternavel al aanwezig was en waar de nvo al enkele jaren eerder was aangelegd. De vegetatie heeft zich daar dus al enkele jaren kunnen ontwikkelen. Het project liep niet lang genoeg om de ontwikkeling van nieuwe nvo's te volgen.

Er zijn vier typen nvo's geïnventariseerd: heel flauw, matig flauw, steil, en ondiepe plasberm. Elk nvo-traject is vergeleken met een nabijgelegen niet heringericht referentietraject in hetzelfde gebied (beide trajecten circa 100 m lang). Aangezien het grootste effect werd verwacht in flauw hellende nvo's zijn deze het meest bemonsterd. Op de meetgegevens van nvo en referentie is statistiek losgelaten (gepaarde t-test) om het gemiddelde effect van de herinrichting op grote waternavel en op de ecologische kwaliteit te bepalen. Daarna is geanalyseerd of er verschil was tussen de verschillende nvo-typen in ecologische kwaliteit en of hoeveelheid grote waternavel (repeated measure ANOVA). Er waren maar weinig trajecten per oevertype beschikbaar, wat de resultaten van deze laatste test onzekerder maakt.

De ecologische kwaliteit werd bepaald aan de hand van de volgende parameters: Ecologische KwaliteitsRatio van de waterplanten (waterplanten-EKR; gebaseerd op soortsamenstelling van water- en oeverzone, en bedekking per groeivorm), QuickScanScore voor de macrofauna (QS-score, gebaseerd op een aantal indicerende (hoofd-) groepen, het aantal plantensoorten in de oever- en waterzone, het aantal macrofauna-families, en de hoeveelheid grote waternavel. Aangezien de vegetatie in soorten, bedekking en hoogte kan verschillen in de tijd, is er door Aquon op drie momenten geïnventariseerd: in augustus 2022 en juni en september 2023. In het eerste jaar zijn er tien nvo's met bijbehorende referentietrajecten onderzocht, in het tweede jaar zijn daar nog drie heel flauwe nvo's met referentie aan toegevoegd, zie tabel 2 [2].

Resultaten

Vegetatie

Alleen bij heel flauwe nvo's is het totaal aantal plantensoorten significant hoger dan in de referentie (gepaarde t-toets; tabel 1). Dit is grotendeels toe te schrijven aan de oeverzone; in de waterzone zijn gemiddeld niet meer soorten waterplanten gevonden dan bij de referentie. Voor alle andere nvo-typen is er tussen de nvo en de referentie geen significant verschil in de kwaliteitsvariabelen. Ook de hoeveelheid grote waternavel was in de nvo's gemiddeld niet verschillend van de referentie (gepaarde t-toets; tabel 1).

De hoeveelheid grote waternavel verschilde daarnaast ook niet statistisch significant tussen de verschillende nvo-typen onderling (ANOVA analyses; $p>0,05$). De waterplanten-EKR, de diversiteit van planten en de macrofauna verschilden ook niet significant tussen nvo-typen. Let wel, dat het aantal trajecten per type nvo beperkt was voor deze ANOVA-analyses.

			EKR-score planten			QS-score Macrofauna		
traject nr	traject type	oevertype	aug. 2022	juni 2023	sept. 2023	aug. 2022	jun-23	sept. 2023
1,1	referentie	steil						
1,2	nvo	heel flauw						
2,1	referentie	steil						
2,2	nvo	heel flauw						
3,1	referentie	steil						
3,2	nvo	heel flauw						
4,1	referentie	steil						
4,2	nvo	matig flauw						
4,3	referentie	steil						
4,4	nvo	matig flauw						
5,1	referentie	steil		NA				
5,2	nvo	steil		NA				
5,3	referentie	steil		NA				
5,4	nvo	steil		NA				
6,1	referentie	steil						
6,2	nvo	matig flauw						
6,3	nvo	plasberm ondiep						
6,4	nvo	steil						
7,1	Referentie	steil	NA			NA		
7,2	nvo	heel flauw	NA			NA		
8,1	referentie	steil	NA			NA		
8,2	nvo	heel flauw	NA			NA		
8,3	nvo	heel flauw	NA			NA		

Tabel 2. EKR flora en QS-score macrofauna, per traject en meetmoment Bij de trajectnummers geeft het eerste cijfer het gebied aan, het tweede het traject. NA = niet opgenomen. Trajecten 7 en 8 zijn pas in 2023 toegevoegd aan het project.

goed
matig
ontoereikend
slecht

In de meeste trajecten was de bedekking met grote waternavel beperkt. Eén gebied valt op door relatief veel grote waternavel (trajectnrs. 6.1-6.4 in tabel 2). In dit gebied zijn alle nvo-types behalve heel flauwe onderzocht. Voor de matig flauwe oever en de plasberm was de hoeveelheid grote waternavel groter dan bij hun referentie. Het aantal plantensoorten in de oever- en waterzone was echter toch min of meer vergelijkbaar (vrij laag) voor de (alle) nvo's en de referentie.

De meeste onderzochte trajecten scoorden niet goed (tabel 2), wat echter niet per se volledig aan de aanwezigheid van grote waternavel is toe te schrijven. Trajecten met een lage waterplanten-EKR herbergen namelijk vaak een dominante, verstoringstolerante soort als riet.

Macrofauna

Voor de Quickscan-score en het aantal macrofaunafamilies uit deze Quickscan is er gemiddeld geen statistisch significant verschil gevonden tussen de nvo's en hun referentietraject. De QS-score macrofauna was hoger voor steile dan voor heel flauwe nvo's (ANOVA, p=0,00095). Hetzelfde geldt voor het aantal families (ANOVA, p=0,00069). Dit lijkt niet direct toegeschreven te kunnen worden aan de aanwezigheid van grote waternavel. De positieve correlatie tussen de QS-score macrofauna en de aanwezigheid van grote waternavel verklaart slechts een minimale fractie van de variatie van de QS-score (R2 = 0,0405).

Over het algemeen scoren alle oevertypen ook in de QS-scan macrofauna 'matig' tot 'slecht' (tabel 2). De reden hiervoor is binnen dit project niet onderzocht.

Variatie over de tijd

Het valt op dat de waterplanten-EKR's van de drie meetmomenten een hele EKR-klasse van elkaar kunnen verschillen. De QS-score verschilt tussen de meetmomenten minder dan de waterplanten-EKR, maar ook hier valt soms een traject op een ander meetmoment in een andere QS-klasse. Mogelijk was het weer in 2022 gunstiger voor de positieve indicatorsoorten dan 2023, of was het een effect van factoren als successie, maaibeheer of timing van de opname. Momenteel (voorjaar 2024) doet Witteveen en Bos onderzoek naar de KRW-methoden.

Conclusie en discussie

In dit onderzoek is in de nvo's gemiddeld niet meer grote waternavel gevonden dan in het nabijgelegen niet-heringerichte referentietraject. Ook is er tussen nvo en referentie gemiddeld geen verschil in totaal aantal plantensoorten (m.u.v. heel flauwe nvo's), waterplanten-EKR- of Quickscan-score macrofauna. Vrijwel alle in dit onderzoek onderzochte locaties (nvo's én referenties) scoorden niet goed op de EKR-maatlatten voor planten en Quickscan-macrofauna.

Hiermee is dus niet aangetoond dat grote waternavel sterk profiteert van een specifiek oeverprofiel, al is een

plasberm mogelijk risicovol (trajecten 6.1-6.4). Een heel flauwe nvo heeft wel veel ruimte, wat een voordeel is voor de diversiteit aan oeverplanten (dit onderzoek en landelijk onderzoek [3]). De waterzone lijkt niet direct van een nvo te profiteren qua ecologische waarde.

Op de onderzoekslocaties is grote waternavel altijd beheerd. Het is niet bekend hoe dominant grote waternavel zonder dit beheer zou zijn, daarom wordt beheer wel aangeraden. Vooral beheer met aandacht voor de ontwikkeling van planten in de waterzone en het vermijden van kale plekken in de oever rond de waterlijn is van belang. Grote waternavel fragmenteert vrij gemakkelijk en kan open plekken daardoor goed (her)koloniseren [4].

Op basis van ons onderzoek is te verwachten dat de aanleg van een nvo in deze gebieden met grote waternavel gemiddeld genomen niet leidt tot een negatief effect op de EKR, maar dat de aanleg alleen niet voldoende is om de ecologische doelen te halen. Het is zaak dat randvoorwaarden zoals een goede waterkwaliteit en beheer op orde zijn. Grote waternavel wordt gezien als een soort van voedselrijk water [4].
Herinrichting kan ook een kans bieden om de exoot te verwijderen en met nazorg blijvend te onderdrukken of te verwijderen. Hier is echter meer onderzoek voor nodig. Voorkom te allen tijde dat de soort zich door de werkzaamheden (via fragmenten) verder verspreid.

Met dank aan Waterschap De Dommel en waterschap Aa en Maas voor de financiering van dit onderzoek. Verder danken we de betrokken medewerkers van Aquon en van de waterschappen voor hun input.

Elske Koppenaal en Michiel Verhofstad (*FLORON*), Max van de Ven (*Waterschap De Dommel*), Bart Brugmans, Carlo Rutjes en Bram Spierings (*Waterschap Aa en Maas*).

BRONNEN

1. Hussner, A. E. & Lösch, R. (2007). Growth and photosyntheses of Hydrocotyle ranunculoides L. fil. in Central Europe. *Flora* 202: 653-660. DOI:10.1016/j.flora.2007.05.006
2. Koppenaal, E.C. & Verhofstad, M. (2024). Grote waternavel: onderzoek naar kansen en risico's in natuurvriendelijke oevers. FLORON-tussenrapport 2021.183.e1.
3. Verhofstad, M.J.J.M. et al. (2022). Kunstmatig natuurlijk. Een evaluatie van de meerwaarde van natuurvriendelijke oever. Floron rapportnr. FL.2017.034.e3 - gegevens: 2017 t/m 2021.
4. Walsh, G.C. et al. (2013). Persistence of floating pennywort patches (Hydrocotyle ranunculoides, Araliaceae) in a canal in its native temperate range: Effect of its natural enemies. Aquatic Botany 110: 78-83. DOI:10.1016/j.aquabot.2013.05.011

SAMENVATTING

FLORON onderzocht samen met de waterschappen Aa en Maas en De Dommel of de aanwezigheid van grote waternavel afbreuk doet aan een natuurvriendelijke oever. Daartoe is gekeken naar de effecten op vegetatie en macrofauna bij nvo's met verschillende steilheid in watergangen met over het algemeen beperkte ecologische kwaliteit. Gedurende twee jaar zijn 13 paren van nvo en nabijgelegen niet-heringerichte referentie (beide besmet met de exoot) onderzocht.

Gemiddeld was er geen significant verschil in de EKR- en QS-scores van de nvo's en hun referentie. Op de nvo's met brede, flauwe oevers zijn wel meer plantensoorten aangetroffen dan op de oever van de referenties. Het onderzoek geeft geen duidelijke aanwijzingen dat de aanleg van nvo's in een met grote waternavel besmette watergang voor extra risico's zou zorgen in de onderzochte gebieden. Wel wordt actief beheer gericht op grote waternavel geadviseerd.

Het kennismagazine Water Matters van H_2O is een initiatief van

Koninklijk Nederlands Waternetwerk
Onafhankelijk kennis(sen)netwerk voor en door Nederlandse water-professionals.

Water Matters wordt mogelijk gemaakt door

Deltares
Onafhankelijk kennisinstituut op het gebied van water, ondergrond en infrastructuur. Wereldwijd wordt gewerkt aan slimme innovaties, oplossingen en toepassingen voor mens, milieu en maatschappij.

KWR Water Research Institute
Instituut voor toegepast wetenschappelijk wateronderzoek dat kennis genereert en samenbrengt voor innovaties in en optimaal beheer van de waterketen.

Royal HaskoningDHV
Onafhankelijk internationaal advies-, ingenieurs- en projectmanagement-bureau, dat samen met klanten en partners een bijdrage levert aan een duurzame samenleving.

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)
Kenniscentrum van regionale waterbeheerders in Nederland, dat zorgt voor het ontwikkelen, bijeenbrengen, delen en implementeren van kennis die nodig is om de opgaven waar waterbeheerders voor staan, goed uit te voeren.