



Hoe ver moet de waterkwaliteit verbeteren om de ecologische KRW-doelen te kunnen halen?

Niels Evers, Mirte Schipper (Royal HaskoningDHV), Ineke Barten, Mark Scheepens (waterschap De Dommel)

Zware metalen (en dan met name cadmium) en ammonium blijken een sterke relatie te vertonen met een vijftal macrofaunasoorten in beken. Boven bepaalde drempelwaarden verdwijnen gewenste beeksoorten en blijven soorten over die indicatief zijn voor een slechte waterkwaliteit. De gevonden drempelwaarden zijn niet altijd in overeenstemming met KRW-normen, maar sluiten wel beter aan op de lokale situatie en doelen. Nog niet alle beken voldoen aan deze drempelwaarden. Zo is de aanvoer van cadmiumrijk water vanuit België een aandachtspunt dat vraagt om afstemming en maatregelen. Terugdringing van de ammoniumconcentraties vraagt om het continueren van (Kallisto-)maatregelen in de waterketen en RWZI's.

Waterschappen staan voor de uitdaging om in 2027 te voldoen aan de waterkwaliteitsdoelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Op dit moment zijn er nog vrijwel geen waterlichamen in Nederland die aan alle KRW-doelen voldoen [1]. In de meeste waterlichamen gaat het gelukkig wel de goede kant op en zorgen genomen maatregelen ervoor dat de chemische en biologische waterkwaliteit verbetert. Zo is in veel beeksystemen de waterkwaliteit sinds de jaren negentig verbeterd [2], onder andere door inrichtingsmaatregelen (vooral beekherstel), maatregelen in de waterketen (verbeteringen op RWZI's, vermindering overstorten) en het extensiveren van beheer en onderhoud (maaien en baggeren).

Vaak is echter onduidelijk hoeveel extra inspanning nodig is om de KRW-doelen in 2027 te halen, en welke inspanningen het meest kosteneffectief zijn. Dit drieluik van artikelen presenteert een methodiek die verduidelijking geeft. Voor een uitgebreid overzicht van de analyses en resultaten, zie [3].

Het eerste artikel toont aan dat de ecologische toestand van een aantal beken significant is verbeterd in de afgelopen 10 tot 15 jaar, maar dat de KRW-doelen in 2027 nog niet overal worden gehaald [4]. Dit vraagt om aanvullende maatregelen, naast de reeds geplande maatregelen. Het tweede artikel toont aan dat inrichting en beheer de belangrijkste stuurvariabelen zijn, maar dat ook waterkwaliteit in sommige beken het bereiken van de ecologische doelen in de weg staat [5].

Dit derde artikel gaat dieper in op de waterkwaliteit. Welke waterkwaliteit is nodig om de ecologische KRW-doelen te halen? Specifiek wordt ingegaan op drempelwaarden voor cadmium en ammonium.

KRW-maatlatten voor macrofauna in beken

Als maat voor de biologische toestand is gebruik gemaakt van de KRW-maatlat voor macrofauna [6]. De Ecologische Kwaliteitsratio (EKR) is de uitkomst uit de maatlat, een score tussen 0 (slecht) en 1 (zeer goed/referentie). De doelstelling voor de meeste beken is 0.6.

De maatlat werkt met deelmaatlatten, gebaseerd op indicatieve soorten (negatieve, positieve en kenmerkende soorten). Deze kunnen ook worden gebruikt voor het analyseren van relaties tussen abiotische stuurvariabelen en de ecologische kwaliteit.

Dominant negatieve soorten kunnen in groten getale voorkomen bij een slechte waterkwaliteit en/of veel (zuurstofarm)slib. Positief dominante soorten kunnen ook in grote aantallen voorkomen, maar dan bij een goede waterkwaliteit en veel stroming. Een belangrijk soortgroep hieruit vormen de vlokreeften (*Gammarus* sp.).

De kenmerkende soorten komen eveneens voor bij een goede waterkwaliteit, veel stroming en veel variatie in substraat. Het grote verschil met de positief dominante soorten is dat kenmerkende soorten meestal in (veel) kleinere aantallen voorkomen. De kenmerkende soorten werken het sterkst door in de eindscore (EKR) van de maatlatten voor beken. Vooral in de laagste twee klassen bepalen de dominant negatieve soorten de EKR. De positief dominante soorten komen bij een hogere EKR steeds meer voor. Vooral omdat deze soorten niet alleen in de maatlatformule de werking van de negatieve soorten onderdrukken (meer positieve is automatisch relatief minder negatieve soorten), maar ook daadwerkelijk in de natuur omdat bijvoorbeeld de positieve vlokreeften de negatieve muggenlarven en wormen eten.

Voor een uitgebreide versie van deze toelichting, zie het kader in het eerste artikel van dit drieluik [4].

Methode en gegevens

Voor dit onderzoek zijn drempelwaarden afgeleid door het effect van cadmium en ammonium op een aantal indicatieve macrofaunasoorten te onderzoeken in de waterlopen van Waterschap De Dommel. Voor vijf kenmerkende macrofaunasoorten is daarbij gekeken naar hun respons op ammonium en zware metalen. Bij de zware metalen is gekozen voor cadmium, koper, nikkel en zink, zowel de totale als opgeloste fracties. Deze metalen staan bekend als probleemstoffen voor de KRW, zeker in de Kempen. Voor de macrofaunasoorten is gekozen voor *Asellus aquaticus* (Zoetwaterpissebed), *Gammarus pulex* en *G. roeseli* (vlokreeften), *Calopteryx splendens* (Weidebeekjuffer) en *Calopteryx virgo* (Bosbeekjuffer) (zie kader 2).

Deze soorten zijn indicatief voor de waterkwaliteit en komen relatief veel voor, zodat er voldoende data beschikbaar is voor de analyses. *Asellus*, de Zoetwaterpissebed, kan goed tegen een slechtere waterkwaliteit en is een veel voorkomende negatieve soort uit de KRW-maatlatten voor beken. *Gammarus* (vlokreeften) zijn belangrijke knippers die organisch materiaal als het ware omzetten in een fijnere fractie, die dan weer makkelijker biologisch afbreekbaar is. Organisch gebonden verontreinigingen kunnen daarmee wel snel een toxisch probleem zijn. *Gammarus* kunnen onder goede omstandigheden in grote aantallen voorkomen en zijn daarmee belangrijke dominant positieve soorten

in de KRW-maatlatten voor beken. *Calopteryx* of beekjuffers zijn echte beekorganismen die in redelijk grote aantallen aanwezig zijn in beken met een redelijke tot goede waterkwaliteit en stroming.

Voor de analyse is gebruik gemaakt van macrofaunametingen en waterkwaliteitsmetingen. In het beheergebied van waterschap De Dommel liggen 267 macrofauna-meetlocaties die bruikbaar zijn voor deze analyse. Van deze locaties zijn macrofaunagegevens beschikbaar voor één of meerdere meetjaren in de periode 1980-2015. Een aanzienlijk deel betreft historische locaties, die nu niet meer worden bemonsterd. Voor het leggen van relaties tussen het voorkomen van macrofaunasoorten en concentraties van stoffen zijn ze echter allemaal geschikt.

Aan elk macrofaunameetpunt is het best passende (fysisch-)chemische meetpunt gekoppeld om zo de invloed van de waterkwaliteit op de macrofaunasoorten te kunnen bepalen. Daarbij zijn alleen meetlocaties gebruikt waarop in hetzelfde jaar zowel de onderzochte soorten als de waterkwaliteitsparameters zijn gemeten. Voor zware metalen bleven er zo nog 177 meetpunten over en voor ammonium nog 156. Voor de zware metalen werd uitgegaan van jaargemiddelden. Voor ammonium is gewerkt met zowel de jaargemiddelden als de maximale waarden per jaar. Dit gebeurt ook bij de KRW-toetsing voor ammonium, alleen wordt bij de KRW-toetsing ook nog gecorrigeerd voor pH en temperatuur. Dat is in deze analyse niet gedaan om de gemeten ammoniumconcentraties direct te kunnen relateren aan het voorkomen van macrofaunasoorten en niet met een normfractie te hoeven werken.

De analyseresultaten (respons van de vijf macrofaunasoorten op ammonium en zware metalen) zijn gevisualiseerd met boxplots. Deze boxplots laten zien bij welke stofconcentraties de verschillende macrofaunasoorten zijn aangetroffen. Een waarneming van *Asellus aquaticus* en de *Gammarus*-soorten bij een bepaalde concentratie is pas meegenomen als er minimaal tien individuen waren gevonden om toevallige aanwezigheid van de soort door bijvoorbeeld wegspoeling/drift uit te sluiten. Bij de *Calopteryx*-soorten zijn wel alle waarnemingen meegenomen, omdat deze soorten gewoonlijk in kleinere aantallen worden aangetroffen.

Onderzochte belangrijke indicerende soorten uit de KRW-maatlat voor macrofauna



Links- en rechtsboven *Asellus aquaticus* (Zoetwaterpissebed), linksmidden *Gammarus pulex* (Zoetwatervlokreeft), rechtsmidden *Gammarus roeseli* (vlokreeft zonder Nederlandse naam), linksonder *Calopteryx splendens* (Weidebeekjuffer) en rechtsonder *Calopteryx virgo* (Bosbeekjuffer).

Resultaten en discussie

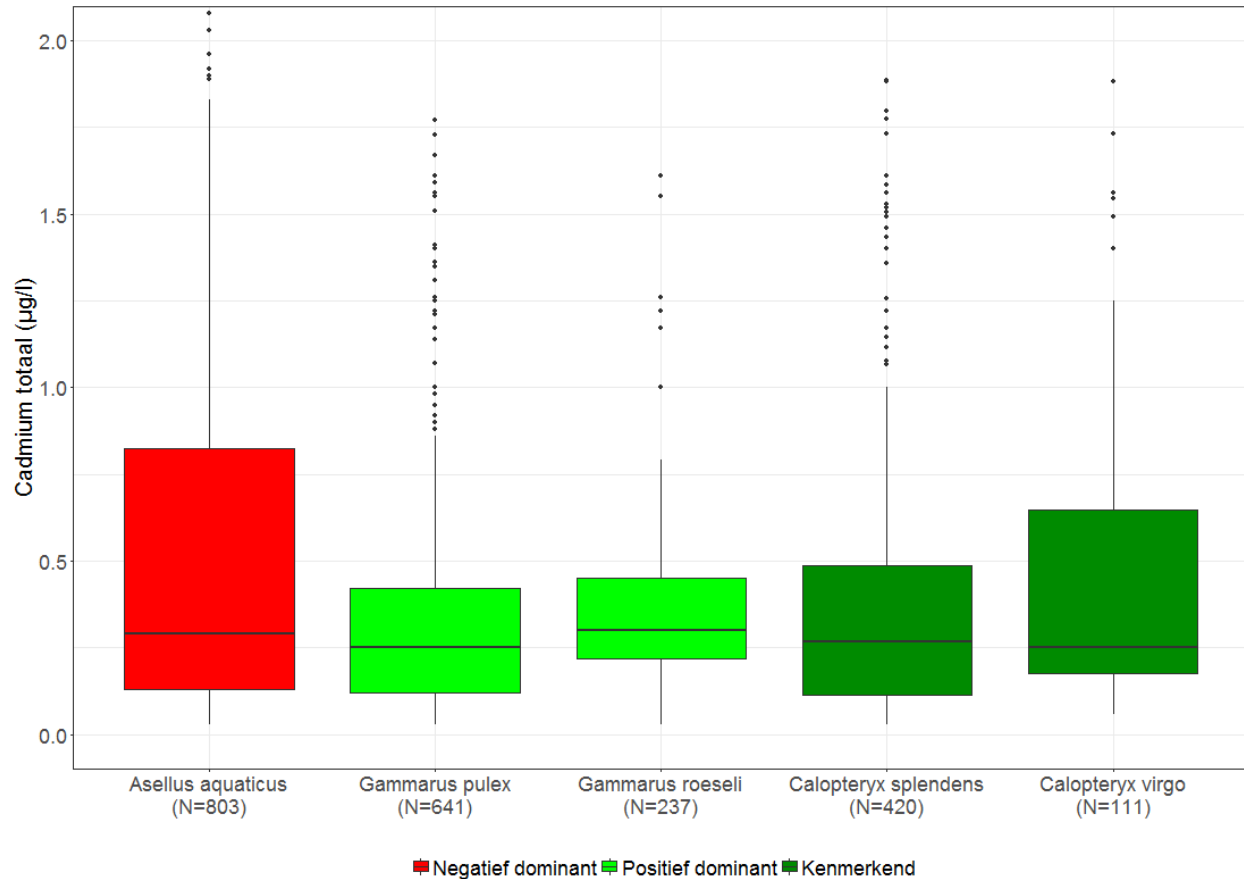
Zware metalen

De analyse toont aan dat cadmium (totaalfraction) van alle zware metalen het grootste effect heeft op het voorkomen van macrofaunasoorten. De respons van macrofaunasoorten op de andere metalen (koper, nikkel en zink) wordt daarom in dit artikel niet verder besproken. Zie voor deze resultaten [3]. Dat juist bij de totaalfractie een goed verband wordt gevonden is opvallend, omdat de KRW-norm op basis van de opgeloste fractie is vastgesteld.

De totaalconcentraties aan cadmium hebben voornamelijk effect op het voorkomen van positieve/kenmerkende KRW-soorten (zie afbeelding 1). Uit de boxplot blijkt dat de dominant negatieve soort *Asellus aquaticus* hoge concentraties kan verdragen. Bij 25 procent van de waarnemingen ligt de cadmiumconcentratie namelijk rond 0.8 µg/l of hoger. De gewenste *Gammarus*-soorten en *Calopteryx splendens* komen in 75 procent van de gevallen voor bij concentraties tussen respectievelijk ongeveer 0.4 en 0.5 µg/l. Boven de 1.0 µg/l cadmium-totaal komen deze soorten alleen nog sporadisch voor (uitschieters; punten in de grafiek). *Calopteryx virgo* komt vaker voor bij iets hogere concentraties, maar substantieel minder dan *Asellus*.

Overigens is in afbeelding 1 niet de volledige y-as weergegeven. Een aantal zeer hoge cadmiumconcentraties (vooral bij *Asellus*) valt buiten de schaal, omdat anders de boxen slecht zichtbaar zijn. Deze uitschieters zijn wel meegenomen in het bepalen van de percentielen.

De onderzochte *Gammarus*- en *Calopteryx*-soorten zijn belangrijk voor het behalen van de KRW-doelen in de beken omdat ze relatief wijdverspreid voorkomen als positieve en kenmerkende maatlatsoorten. Daarnaast verwachten we dat vergelijkbare effecten van cadmium ook voor andere positieve en kenmerkende soorten zullen gelden. Deze analyse laat daarmee zien dat het noodzakelijk is om de cadmium-totaalconcentratie terug te dringen tot onder 1.0 µg/l (jaargemiddeld) om deze soorten in voldoende mate terug te krijgen en de KRW-doelen te kunnen halen. Bij voorkeur moet de concentratie echter onder 0.5 µg/l liggen omdat dan de kans het grootst is dat de soorten (en populaties) daadwerkelijk vitaal zijn. Dan pas is redelijk gegarandeerd dat stress door de verhoogde cadmiumconcentraties niet meer leidt tot versnelde problemen door andere verstoringen, zoals te weinig zuurstof.



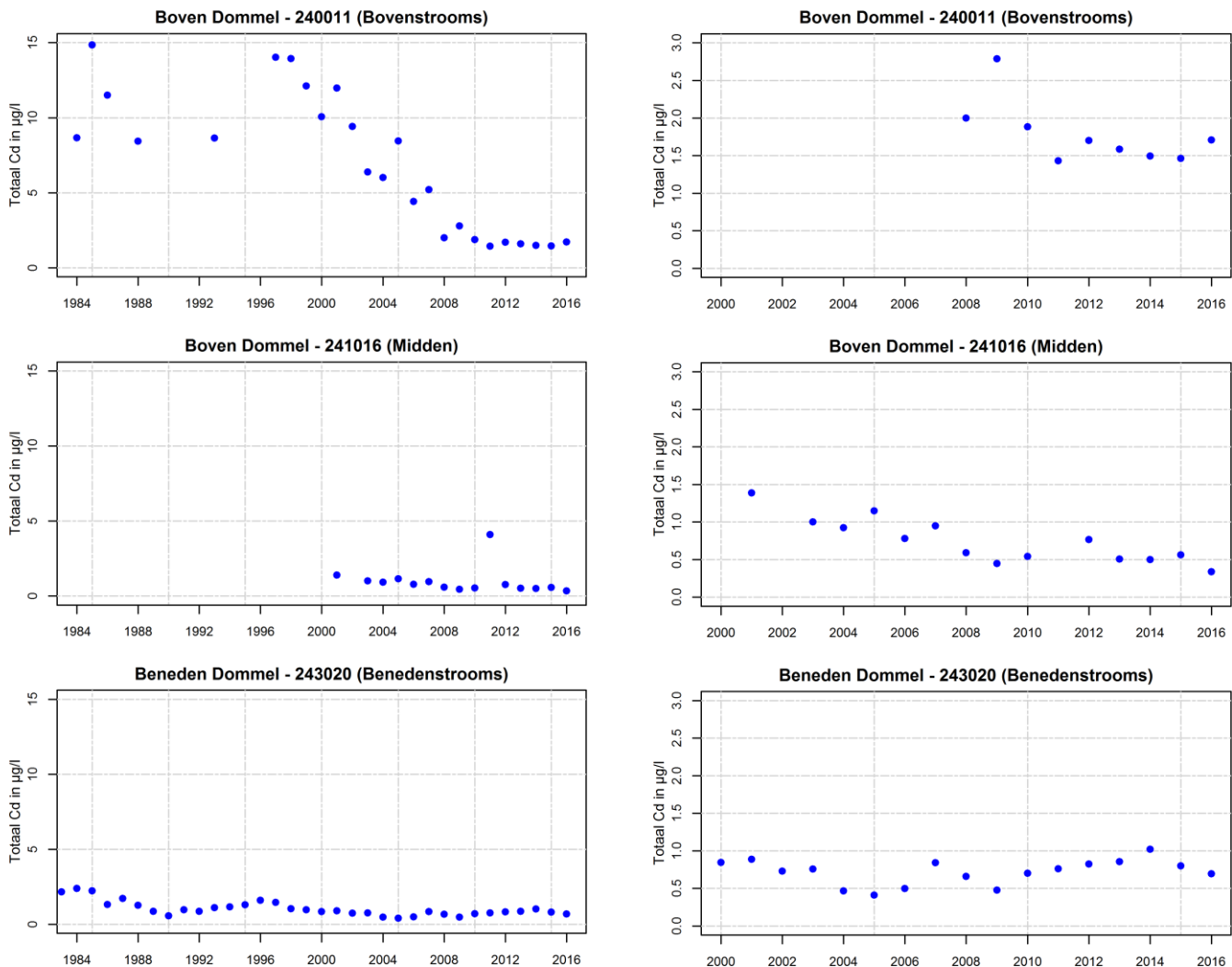
Afbeelding 1. Boxplot met de spreiding van soorten bij cadmium-totaalconcentraties ($\mu\text{g/l}$). De cijfers onder de boxen geven het aantal monsters met (voldoende) waarnemingen van deze taxa weer (dus niet het aantal gevonden individuen)

De analyse voor het gehele beheergebied toont dus aan dat gewenste macrofaunasoorten in voldoende aantallen pas te verwachten zijn bij cadmium-totaalconcentraties van minder dan 0.5-1.0 $\mu\text{g/l}$.

Vervolgens is voor een aantal specifieke waterlichamen onderzocht of de cadmiumconcentratie voldoet aan deze grenswaarde. Hiervoor is gekozen voor de rivier de Dommel (zowel Boven- als Beneden-Dommel), omdat hiervan bekend is dat *Gammarus* alleen benedenstrooms voorkomt en de afgelopen jaren langzaam naar meer bovenstroomse locaties trekt. Helemaal bovenstrooms, bij de grens met België, is de soort echter nog niet aangetroffen en daar zijn de cadmiumconcentraties ook het hoogst. Afbeelding 2 laat zien dat de cadmium-totaalconcentraties duidelijk verschillen binnen het stroomgebied en bovenstrooms het hoogste zijn. Het gaat om concentraties in de periode 1984-2016 (links) en 2000-2016 (rechts, let op schaalverschil) voor drie meetpunten in de Dommel. Het betreft bovenstroomse meetpunt 240011 bij de grens met België, het middenstroomse meetpunt 241016 (benedenstrooms van de RWZI Eindhoven) en het benedenstroomse meetpunt 243020 bij Sint-Michielsgestel.

Bij het bovenstroomse meetpunt bij de grens met België schommelt de concentratie de laatste jaren rond 1.5 µg/l cadmium-totaal. Deze concentratie is, gezien het verleden, al flink afgenomen vanaf een waarde van meer dan 10 µg/l (rond 1984), maar is nog steeds te hoog voor *Gammarus* en *Calopteryx* op basis van de analyses uit afbeelding 1.

Ook bij meetpunt 241016 (Midden-Dommel) is de concentratie cadmium-totaal in de periode 2000-2016 flink gedaald (van 1.5 µg/l naar <0.5 µg/l). 2011 laat een opvallende piek zien op het meetpunt 241016, waar de concentratie toen flink toenam ten opzichte van andere jaren. Dit is een gevolg van de baggerwerkzaamheden in de Dommel in Eindhoven [7]. Gemiddeld was de concentratie toen 4.1 µg/l (buiten bereik in de rechter grafiek), doordat de concentraties in september t/m december erg hoog waren met waarden van respectievelijk 7.1, 18, 11 en 6 µg/l. In de maanden januari t/m augustus waren de concentraties veel lager, namelijk tussen de 0.47 en 1.6 µg/l. Dit was vóór de baggerwerkzaamheden. Benedenstrooms is de concentratie cadmium-totaal ongeveer gelijk of zelfs iets hoger dan bij het middelste meetpunt. De concentratie is benedenstrooms echter al voor een langere periode lager en stabiel, wat mogelijk heeft geleid dat deze soorten terug konden keren. Verdunning met water uit zijbeken en binding met zwevend stof en daarna bezinking zorgden benedenstrooms voor lagere concentraties in het verleden. De huidige relatief hoge concentraties benedenstrooms zijn mogelijk het gevolg van nalevering vanuit de waterbodem van deeltjes die in het verleden zijn opgeladen door binding en bezinking.



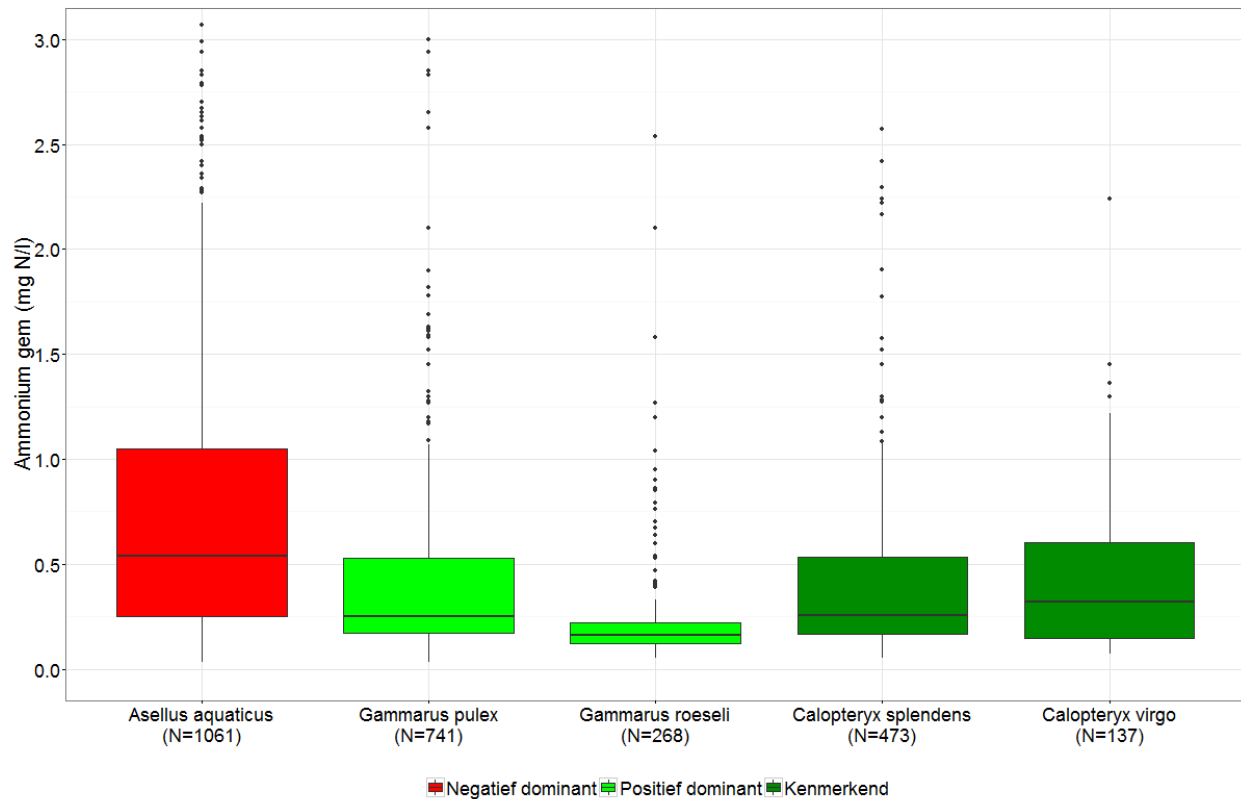
Afbeelding 2. Cadmium-totaalconcentratie over de tijd voor drie meetpunten in de Dommel. Meetpunt 240011 is het grensmeetpunt met België, meetpunt 241016 ligt bij Son en Breugel en meetpunt 240025 ligt benedenstrooms van Vught

Ammonium

Uit de analyse blijkt dat ook ammonium van grote invloed is op het voorkomen van macrofaunasoorten. Dit sluit goed aan bij de conclusies van het eerdere Kallisto-onderzoek van Wageningen UR en De Dommel [8]. In de grafiek met de jaargemiddelde ammoniumwaarden (afbeelding 3) is te zien dat de *Gammarus*- en *Calopteryx*-soorten bij een waarde boven 1 mg N/l nog maar sporadisch voorkomen (uitschieters; weergegeven als punten). Vooral *Gammarus roeseli* komt vrijwel niet voor bij hoge concentraties ammonium en meer dan 90% van de waarnemingen zijn op locaties met minder dan 0.4 mg N/l als jaargemiddelde concentratie. Ook de andere onderzochte gewenste soorten komen voor meer dan 75% voor op locaties met < 0.5 mg N/l als jaargemiddelde concentratie. De negatieve soort

Asellus aquaticus kan duidelijk veel hogere concentraties ammonium verdragen en ongeveer een kwart van de waarnemingen is op locaties met meer dan 1.0 mg N/l.

Een vergelijkbaar beeld is gevonden voor de maximale ammoniumconcentraties per jaar. De maximale ammoniumconcentratie moet onder 3 mg N/l blijven en bij voorkeur onder 1.5 mg N/l, zoals beschreven in [3].



Afbeelding 3. Boxplot met de spreiding van soorten bij de jaargemiddelde ammonium concentraties (mg N/l). De cijfers onder de boxen geven het aantal waarnemingen weer, los van de abundantie (dus niet het aantal gevonden individuen)

Conclusies

Cadmium-totaal

Van de zware metalen blijkt cadmium (totaalfractie) het meest sturend voor macrofauna in deze analyse voor het beheersgebied van Waterschap De Dommel. De sturing vindt plaats via de verhouding tussen negatieve en positieve/kenmerkende KRW-soorten. De negatieve dominante soort *Asellus* kan duidelijk hogere concentraties cadmium verdragen dan de gewenste *Gammarus*- en *Calopteryx*-soorten. Om de gewenste soorten in voldoende mate terug te krijgen en de KRW-doelen te kunnen halen is het noodzakelijk om de jaargemiddelde concentraties cadmium (totaalfractie) terug te dringen tot onder 1.0

µg/l en bij voorkeur tot onder 0.5 µg/l, omdat dan de kans het grootst is dat de populaties daadwerkelijk vitaal zijn.

Uit de analyse van drie meetlocaties in de Dommel blijkt dat de benedenstroomse concentraties al geruime tijd voldoen aan bovenstaande eisen en daar is *Gammarus* inderdaad aanwezig. In de Dommel vlakbij de RWZI Eindhoven is dat recentelijk het geval, minus een piek in 2011. Daar is *Gammarus* in de laatste paar jaar weer teruggekeerd. Bovenstrooms (grensmeetpunt) is de concentratie duidelijk nog te hoog (rond 1.5 µg/l) en ontbreekt *Gammarus* nog.

Ammonium

Ook ammonium blijkt sterk sturend voor de verhouding tussen de negatieve soort *Asellus aquaticus* en de positieve/kenmerkende soorten van *Gammarus* en *Calopteryx*. Dat geldt voor zowel het jaargemiddelde als de maximale waarden. Net als voor cadmium kan *Asellus* duidelijk veel hogere concentraties ammonium verdragen dan de gewenste soorten. *Gammarus roeseli* blijkt het meest gevoelig te zijn. Om de positieve/kenmerkende soorten aan te kunnen treffen, en daarmee de KRW-doelen te kunnen behalen, is het belangrijk dat de jaargemiddelde concentratie ammonium onder 1 mg N/l en bij voorkeur onder 0.5 mg N/l ligt. De maximale ammoniumconcentratie moet onder 3 mg N/l blijven en bij voorkeur onder 1.5 mg N/l. Deze grenswaarden komen goed overeen met het Kallisto-toetsinstrument waarin ook grenswaarden voor ammonium zijn afgeleid in relatie tot duur en frequentie [8].

Aanbevelingen

De analyse van de jaargemiddelde cadmiumconcentratie in de Dommel laat zien dat de concentratie bovenstrooms bij het grensmeetpunt met België nog te hoog is. Het is daarom aan te bevelen om met instanties in België hierover te overleggen.

Ook het stroomgebied van de Kleine Dommel (inclusief Kleine Aa en Buulder Aa) staat bekend om hoge concentraties cadmium en andere zware metalen. Het verdient aanbeveling om ook daar te kijken naar trends in cadmiumconcentraties in relatie tot de hier afgeleide drempelwaarden. Daarmee kan ook voor deze waterlichamen geanalyseerd worden in hoeverre cadmium het behalen van de KRW-doelen voor macrofauna in de weg blijft staan en waar extra maatregelen nodig zijn.

Met de responsieanalyse voor ammonium zijn nu drempelwaarden bepaald voor het jaargemiddelde en de maximale waarde in mg N/l. Er is echter nog niet gekeken in welke waar de ammoniumconcentratie volgens de gevonden drempelwaarden te hoog is en of er trends zichtbaar zijn (conform analyse van cadmium in de Dommel). Ook dit is een interessante vervolganalyse om te bepalen waar ammonium het behalen van de KRW-doelstellingen nog in de weg staat en waar extra maatregelen nodig zijn.

De boxplots geven nu enkel visueel weer of verschillen relevant zijn, afhankelijk van de parameter en de onderzochte soorten. Het is aan te bevelen om ook statistisch te toetsen of de geconstateerde verschillen tussen de 75-percentiel en de 1.5x IQR (bovenkant verticale streep) daadwerkelijk significant zijn. Eventueel in samenwerking met andere waterschappen, waar ook een aantal parameters met deze methode zijn geanalyseerd [9].

Referenties

1. KRW-factsheets, 2015. Factsheets definitief december 2015. Waterkwaliteitsportaal.
2. Pesman, M., Evers, C. H. M. & Kits, M. (2016). Succesfactoren en leerervaringen van beekherstel uit de praktijk. *H2O-Online*, 7 november 2016
3. Schipper, M. & Evers, C.H.M. (2017). *Data- en trendanalyses ecologie en relaties met stuurvariabelen*. Waterschap De Dommel. Royal HaskoningDHV BE1732
4. Evers, C.H.M., Barten, I. & Scheepens, M. (2017). KRW-doelen voor macrofauna komen langzaam in zicht. *H2O-Online*, 23 juni 2017.
5. Evers, C.H.M., Barten, I. & Scheepens, M. (2017). Zoektocht naar stuurknoppen om de ecologische toestand van beken te verbeteren. *H2O-Online*, 28 juni 2017.
6. Molen D. van de et al. (2012). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2015-2021. STOWA 2012-31
7. Luers, F. Peters, R. (2013). *Vrachten 2007-2011. Integratie meetgegevens kwaliteit en kwantiteit*. Waterschap De Dommel.
8. Klein, J., Evers, C. H. M. Zanten, O. van, Barten, I., Peeters, E. (2014). *Een Ecologisch Toetingskader (ETK) voor beoordeling van het effect van belasting uit rioolwaterzuivering en riooloverstorten op de rivier Dommel (Update 2014)*. Kallisto-project, wp 4, WUR, Waterschap De Dommel en Royal HaskoningDHV.
9. Schipper, M. Evers, C. H. M. (2016). *Data-analyse macrofauna responsies*. Waterschap Brabantse Delta. Royal HaskoningDHV BE5419