



Waterkwaliteit zonder toxiciteit

Schoon oppervlaktewater zonder microverontreinigingen – wie wil dat niet? Maar we gebruiken meer dan 100.000 chemische stoffen! Maatregelen zijn nodig, maar welke? Hoe ver kom je door individuele stoffen te onderzoeken? En hoe kijk je naar realistische mengsels? Sinds kort is er de Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit (ESF-Toxiciteit). Hiermee wordt het mogelijk om te werken aan de verbetering van de waterkwaliteit door heel precies de stoffen en de plekken met de grootste risico's te identificeren.

Door: Leo Posthuma en Esther van der Grinten (RIVM), Wilko Verweij (Deltares), Milou Dingemans (KWR), Paul van den Brink (Wageningen Environmental Research)

Aanleiding

We maken en gebruiken met z'n allen steeds meer stoffen en in steeds grotere hoeveelheden [1]; in Europa al meer dan 100.000. En wie zoekt die vindt: er worden steeds meer stoffen in ons oppervlaktewater aangetroffen [2]. Een oneindige variatie aan stoffen, concentraties en mengsels dient zich aan. De vraag rijst hoe bedreigend dat is voor mens en milieu.

Analyses van samenwerkende Europese ecologen en ecotoxicologen toonden aan dat de blootstelling aan mengsels van chemische stoffen een beperkende factor is voor het behalen van de goede ecologische toestand volgens de Kaderrichtlijn Water. Dit bleek ook bij analyse van de effecten van aangetoonde stoffen in Nederlandse oppervlaktewateren [3] en van voorspelde mengsels van 24 prioritaire stoffen voor geheel Europa [4].

Gegevens over mengsels van meer dan 1800 stoffen voor Europese wateren worden momenteel nog geanalyseerd, maar de voorlopige resultaten bevestigen de invloed van chemische verontreiniging op de ecologie. Stoffen en hun mengsels dóen er dus toe, in Nederland en Europa. Anders gezegd: de aanwezigheid van mengsels van stoffen kan het bereiken van een goede ecologische toestand in de weg staan.

Ambities en aanpak

De kaderrichtlijn water (KRW) verwoordt wat we willen bereiken: een goede ecologische en chemische toestand, uiterlijk in 2027. Als we op de huidige voet doorgaan is dat doel zonder gerichte maatregelen buiten bereik, zowel nationaal als internationaal [5, 6]. Bas van der Wal van STOWA zette het probleem van de chemische verontreinigingen in een historisch perspectief, en beschreef ook dat een betere watersysteemanalyse kan bijdragen aan de oplossing [7].

Vanuit die achtergrond ontwikkelen we een betere aanpak, aangestuurd door de kennis impuls waterkwaliteit (KIWK, <https://www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl/nl>). Momenteel richten we in Nederland onze aandacht op 45 Europees prioritaire stoffen en in totaal op zo'n 100 specifieke verontreinigende stoffen voor de

Nederlandse stroomgebieden. Iedere gemeten concentratie wordt vergeleken met de waterkwaliteitsnorm van de betreffende stof.

Dat werkt prima voor bescherming tegen nieuwe bedreigingen, aangezien emissies niet tot overschrijdingen en mogelijke effecten op mens en/of milieu mogen leiden. Maar door het principe van *'one out, all out'* wordt de kwaliteit van een waterlichaam bij één waargenomen normoverschrijding al geclassificeerd als onvoldoende. Het PBL rapporteert dat dit heel vaak gebeurt [5]. En dat terwijl we nog niet eens één procent van het totaal aantal stoffen beoordelen.

De huidige manier van kijken maakt relevante stuurinformatie voor het prioriteren van maatregelen tegen verontreiniging 'onzichtbaar'. Dat werkt zo. Stel dat de concentratie van één stof boven de norm is in een waterlichaam *bovenstrooms* van een afvalwaterzuiveringsinstallatie (rwzi). Dat waterlichaam wordt geclassificeerd als 'voldoet niet'. De rwzi emitteert waarschijnlijk diverse stoffen.

De waterkwaliteit blijft echter in dezelfde classificatie van 'voldoet niet' vallen. Dat is jammer, want je ziet dus niet meteen aan de gekozen indicator dat de emissies uit de rwzi mogelijk risico's toevoegen, en je ziet dus ook niet of er maatregelen bij de rwzi nodig zijn. Het vele 'voldoet niet' helpt daardoor niet bij het prioriteren van maatregelen, en verbergt ook eventuele verbetering van de waterkwaliteit als er al maatregelen zijn genomen. Enerzijds kan de bescherming van de waterkwaliteit dus voortbouwen op de beoordeling met normen, maar anderzijds is er iets beters nodig om de totale verontreiniging zichtbaarder te maken. Daarmee wordt het mogelijk om maatregelen te prioriteren.

ESF-Toxiciteit

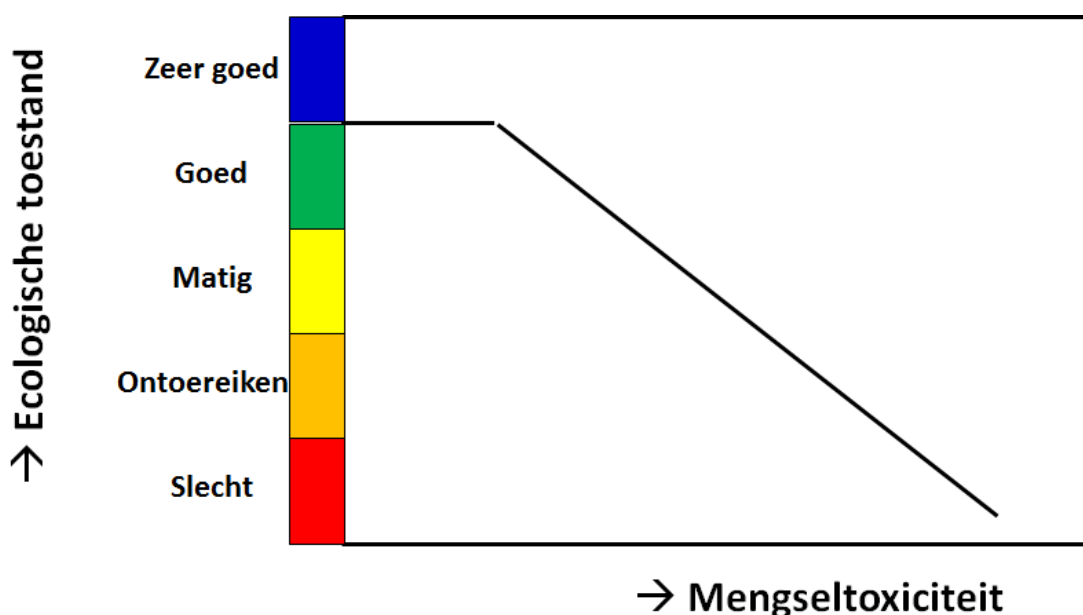
Het Europese onderzoeksproject SOLUTIONS heeft tussen 2013 en 2018 veel nieuwe kennis opgeleverd over de impact van microverontreinigingen op het watermilieu. Deze nieuwe kennis kan ons helpen het stoffenprobleem beter te snappen en effectiever te lijf te gaan. Die kennis past heel goed bij de principes en de aanpak van de ecologische sleutelfactoren (ESF).

Tijdens het SOLUTIONS-project was daarom al de ESF-Toxiciteit ontwikkeld ([STOWA 2016](#)). Deze sleutelfactor sluit aan bij de watersysteembenadering van de ecologische sleutelfactoren, en helpt waterbeheerders inzicht te krijgen in de omvang van de risico's van mengsels van stoffen voor aquatische ecosystemen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van monitoringgegevens over stoffen en van effectmetingen met bioassays.

De nieuwe kennis die is ontwikkeld binnen SOLUTIONS wordt in het kader van de Kennis Impuls Waterkwaliteit (KIWK) verwerkt in de bestaande ESF-Toxiciteit. Daarbij wordt deze sleutelfactor verbeterd, op basis van de nieuwe kennis en de ervaringen bij de toepassingen ervan door een aantal waterbeheerders. Hierbij wordt samengewerkt met het [EMERCHE-project](#). Dit project wordt gefinancierd door een samenwerkingsverband van TTW (NWO), STOWA, KWR en TKI. Dit partnerschap heeft als doel om het onderzoek naar opkomende stoffen te bevorderen, specifiek effectgerichte monitoring (o.a. bioassays), behandeling van afvalwater en de effectiviteit van interventies en controlemaatregelen. Bij de samenwerking van KIWK met EMERCHE kijken we onder meer naar het valideren van effectgerichte monitoringstechnieken voor de bepaling van ecologische en humane effecten van (mengsels van) stoffen.

Eerst: wat voor effecten *verwachten* we eigenlijk?

Mengsels van stoffen kunnen de ecologische toestand en de kwaliteit van water voor drinkwaterproductie beïnvloeden: hoe hoger de 'mengselconcentratie', hoe groter het effect (afbeelding 1). Dit verwachten we al sinds de arts-chemicus Paracelsus in de 16^e eeuw zijn bekende uitspraak deed: *"Alles is giftig, maar het is de concentratie [...in dit geval: van mengsels ...] die de giftigheid bepaalt"*. Dat geldt niet alleen voor het drinken van diverse alcoholhoudende dranken in relatie tot de aantasting van de rijvaardigheid, maar ook voor mengsels van stoffen in oppervlaktewateren. De toxiciteit van een mengsel hangt daarnaast ook af van de samenstelling ervan (twee qua hoeveelheden stoffen even sterke mengsels kunnen sterk verschillende toxiciteit veroorzaken).



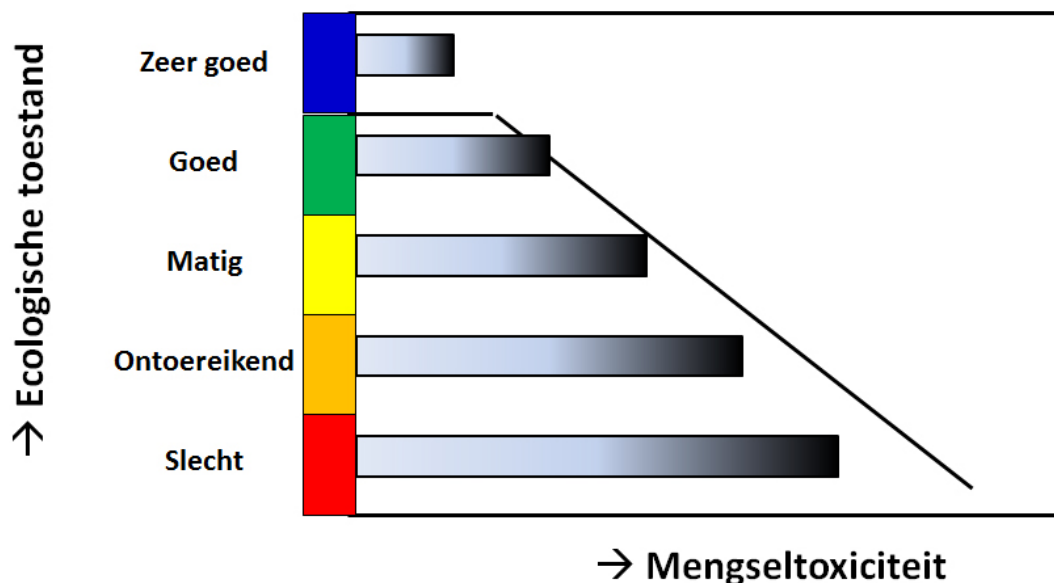
Afbeelding 1. Verwachte relatie tussen de mengseltoxiciteit en de ecologische toestand van een waterlichaam, waarbij het zowel gaat om het aantal stoffen in het mengsel als om hun concentraties. Naast de ecologische toestand (zoals weergegeven in de figuur) kan de Y-as ook de verminderde geschiktheid voor drinkwaterproductie weergeven.

Dan: *zien* we de effecten ook?

Ja, maar daarvoor moeten we eerst wel een probleem oplossen: we moeten de 'mengseltoxiciteit' op de X-as kunnen kwantificeren. Daarvoor zijn twee manieren beschikbaar.

De eerste manier gebruikt gegevens over de chemische samenstelling van het mengsel en van de concentraties per stof. Dat is één stap verder dan de toetsing van stoffen aan normen. De tweede manier is gebaseerd op het testen van het netto effect van een mengsel in bioassays met watermonsters, zoals ook vanouds 'de kanarie in de mijn' gebruikt werd om de gevaren van mijngassen te detecteren. Bedenk bij beide manieren ook even aan dronkenschap: die kan getest worden via 'chemie' (meten van alcoholpercentage door blazen, en toetsen aan een norm) en

via 'toxicologie' (beïnvloeding van gedrag meten door over een rechte lijn te lopen en toetsen of dit goed gaat). Als de chauffeur in het laatste geval ook nog drugs zou hebben gebruikt is het mengselprobleem nog ingewikkelder, maar dan signaleert de gedragstest in feite ook de effecten van een onbekend mengsel. Zelfs als we geen idee hebben over de stoffen die het effect veroorzaken kunnen er wel maatregelen voor de verkeersveiligheid getroffen worden – en daar ging het immers om. Bij het toepassen van één of beide benaderingen kunnen we een zo goed mogelijk beeld van de toxische druk van het mengsel krijgen, waarbij de uitslagen van de methoden elkaar kunnen aanvullen. Daarna kunnen we afbeelding 1 invullen, en daardoor de toxische druk ijkten op daadwerkelijke effecten op de verschillende biologische kwaliteitselementen. Dat is vergelijkbaar met het ijkten en normeren van verschillen in alcoholpromillages op verschillen in mate van effect. Hiervoor bundelden we de krachten van twee grote EU-projecten: het SOLUTIONS-project leverde kennis over de toxische druk van mengsels in Europese waterlichamen (x-as). Het MARS-project, dat de ecologische toestand en de effecten van multiple-stress beoordeelde, leverde de informatie over de biologische kwaliteit (y-as). Uit de gecombineerde data kon afgeleid worden dat mengsels een significant effect hebben op aquatische ecosystemen (afbeelding 2). Kortom: we kunnen de effecten van mengsels van stoffen in het veld dus echt zien [3, 4]!



Afbeelding 2. De relatie tussen chemische verontreiniging – door de ESF-Toxiciteit uitgedrukt in een goede maat voor de mengseltoxiciteit (x-as) – en de ecologische toestand (y-as). Op de achtergrond staat de verwachting, zoals in afbeelding 1. Bij een lage waarde op de x-as kan de ecologische status 'slecht' zijn door de effecten van andere stressfactoren. Hoe zwarter de balk, hoe sterker de chemische verontreiniging een beperkende rol speelt.

Ervaringen met de ESF-Toxiciteit

De eerste versie van de ESF-Toxiciteit uit 2016 was gebaseerd op de beide eerdergenoemde manieren om de netto toxiciteit van oppervlaktewater te bepalen. In het zogenoemde 'Chemie-spoor' worden stoffen en hun concentraties ingevoerd.

Dat levert een waarde voor de toxische druk, uitgedrukt als msPAF (meer-stoffen Potentieel Aangetaste Fractie van soorten in het aquatische ecosysteem), de x-as van afbeelding 1 en 2. In het zogenoemde 'Toxicologie-spoor' worden watermonsters getest op hun toxische effecten, in bioassays. Dat levert inzicht in de mengseltoxiciteit, zonder dat de identiteit van de stoffen in het mengsel bekend hoeft te zijn.

Toepassing van deze eerste versie van de ESF-Toxiciteit leverde bijvoorbeeld via het Chemie-spoor al betekenisvolle informatie voor diverse waterschappen die bij de ontwikkeling en toepassing betrokken waren. Maatregelen kunnen gericht worden op locaties waar de ecologische effecten het hoogst zijn, en op stoffen die de toxiciteit het sterkst bepalen.

Waterschap Limburg heeft stoffenmetingen vanaf de tachtiger jaren tot heden laten beoordelen, via de KRW-toetsing en het Chemie-spoor van de ESF-Toxiciteit.

Duidelijk bleek, dat de concentraties van veel stoffen gedaald waren door maatregelen van sectoren als de glastuinbouw. Het KRW-eindoordeel maakte die trend echter grotendeels 'onzichtbaar', wat alleen duidelijk maakt *dat* er nog meer maatregelen nodig zijn, niet *hoe erg* de toxische druk de ecologie beïnvloedt. De ESF-Toxiciteit maakte duidelijk, dat invloeden van de totale mengsels gaandeweg minder werden [8].

In een ander concreet voorbeeld, van Waterschap De Dommel, werd al eerder aangetoond dat de toxische druk van metaalmengsels afnam door maatregelen die de concentraties van metalen verlagen, maar dat de druk door bestrijdingsmiddelen toenam [3]. Investerings in het terugdringen van metalen (onder meer schonere productiemethoden bij een bovenstrooms gelegen zinkfabriek, zandvangen en waterbodemsanering) waren effectief, maar door toenemend gebruik van bestrijdingsmiddelen werd de ecologie met nieuwe toxiciteit geconfronteerd. Deze voorbeelden tonen, dat de ESF-Toxiciteit cruciale informatie voor het bestuur oplevert: investeringen wierpen vruchten af en nieuwe bedreigingen kunnen worden geïdentificeerd en aangepakt. Eigenlijk kan je zeggen, dat de KRW-toestandsbepaling aangeeft *of* een waterlichaam (nog) afwijkt van het einddoel, terwijl de ESF-toetsing duidelijk maakt ***hoe ernstig de situatie is, en door welke stoffen*** de bedreiging ontstaat. De diagnose wordt dus door de ESF-Toxiciteit sterk verfijnd, en dat is voor de aansturing van effectief beheer cruciaal. De aandacht kan gericht worden op *hot spots* en op *hot chemicals*. Maatregelen die zich daarop richten zijn het meest kosteneffectief!

Samenwerken aan ESF-Toxiciteit 2.0

Het Kennis Impuls Waterkwaliteit (KIWK) project 'Toxiciteit' werkt vanuit twee beginselen:

- de nieuwste kennis uit de twee EU-projecten (SOLUTIONS en MARS) verwerken tot een praktijkaanpak;
- samen met lopende projecten (bijv. EMERCHE), de waterbeheerders en adviesbureaus de praktijkaanpak testen, valideren en optimaliseren.

Door de samenwerking aan case studies uit de praktijk kunnen we het instrument verbeteren, en tegelijkertijd toetsen of dat leidt tot beter begrip en (kosten)effectievere maatregelen. Het KIWK-project Toxiciteit is dan ook in 2018 gestart met een brede inventarisatie van gebruikerswensen, lokale

waterkwaliteitsproblemen en eerder toegepaste oplossingen daarvoor. Dat leverde heel veel suggesties en ideeën op.

Hierop aansluitend is het doel voor 2019 en 2020 dan ook om case studies te doen met onder meer waterschappen, drinkwaterbedrijven en provincies, waar nodig ondersteund door de Nederlandse adviesbureaus. Tevens worden i.s.m. het EMERCHE-project semi-veldeperimenten uitgevoerd om de praktijk aanpak te valideren. We streven naar winst voor iedere betrokkene: de waterschappen krijgen inzicht in hun beheergebied en in maatregelen (win-1), de adviesbureaus verdiepen hun kennis en verbeteren hun adviezen (win-2), en de ESF-sleutelfactor wordt gaandeweg voor ons allemaal beter en makkelijker toepasbaar (win-3).

Wij zullen ons inzetten om met een breed scala aan voorbeelden te laten zien hoe de sleutelfactor in de praktijk werkt, en hoe praktijkmaatregelen worden afgeleid. Dit moet als het ware leiden tot een bibliotheek met voorbeelden van succesvolle en diverse praktijktoepassingen.

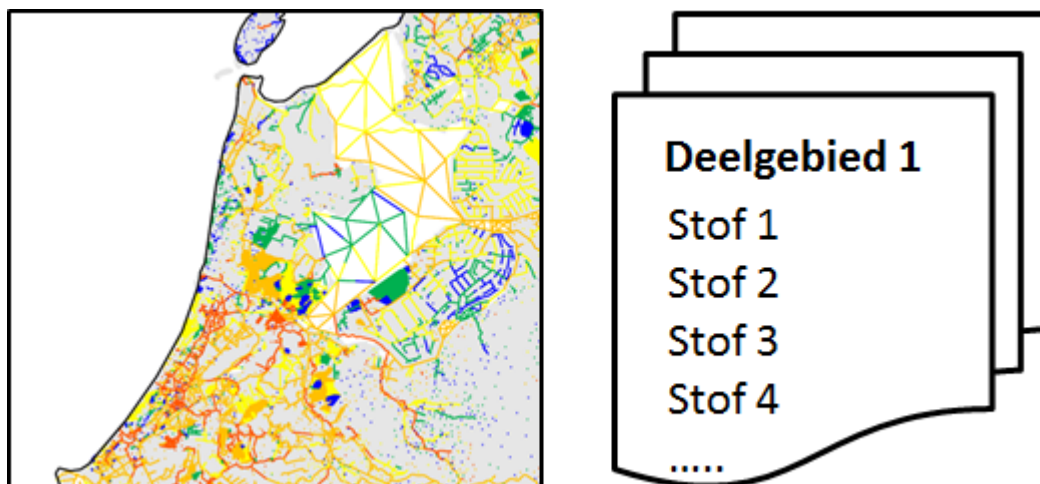
De modules van ESF-Toxiciteit 2.0

De nieuwe versie van de sleutelfactor Toxiciteit zal bestaan uit een aantal modules, voortbouwend op versie 1 ([STOWA 2016](#)):

1. De eerste en nieuwe module is een startmodule. Hiermee wordt duidelijk of het in een voorliggende casus verstandig is om toxiciteit na te gaan, en welke vervolgaanpak het handigst is (het Chemie- en/of het Toxicologiespoor). Er wordt ook een eerste inschatting gegeven van de waarschijnlijke *hot spots* en *hot chemicals*. Dat laatste is mogelijk door het combineren van een analyse van landgebruik en economische activiteiten in relatie tot het hydrologische systeem.
2. De tweede module is het Chemiespoor. Door in deze module concentraties van stoffen in te vullen wordt de gebruiker duidelijk waar en waardoor de toxische druk in een watersysteem ontstaat. Het aantal stoffen waarmee in deze module kan worden gerekend groeit, maar er wordt vooral ook extra aandacht besteed aan het beschermdoel van de KRW, naast het hersteldoel bij aantasting van de ecologische toestand.
3. De derde module is het Toxicologiespoor. Door in deze module watermonsters op daadwerkelijke toxiciteit te toetsen, met bioassays, ontstaat inzicht in de toxische druk. De methoden voor opwerking van de monsters, de keuze van de bioassays en de interpretatie van de gegevens worden geoptimaliseerd. We kijken naar mens en milieu.
4. De vierde module is een Interpretatiemodule. Door samenwerking met het KIWK-project Ecologie en met de waterschappen wordt een duidelijke interpretatie-hulp gemaakt. Die helpt de gebruiker bij het interpreteren van de toxische druk en het prioriteren van effectieve maatregelen.
5. De belangrijkste nieuwe module bestaat uit een datasysteem, waarmee de problemen met toxiciteit – die zeer divers zijn – gekoppeld worden aan mogelijke maatregelen – die ook zeer divers zijn. De gebruikers kunnen daarmee eenvoudig opzoeken welke maatregelen er voorhanden zijn en welke goed zouden kunnen werken, op basis van ervaringen van collega's.

In afbeelding 3 wordt, als illustratie van de nuttige uitkomsten van de startmodule, een voorbeeld-resultaat gegeven van een stukje van de kaart van Nederland. Daarin

zijn duidelijk *hot spots* van toxiciteit binnen een gebied te zien. Bij die kaart hoort een lijstje van vermoedelijk meest-relevante stoffen (*hot chemicals*).



Afbeelding 3. Schematisch voorbeeld van regionale analyse van waarschijnlijke 'hot spots' van de effecten van mengsels (links), en van de lijst stoffen die daar de grootste bijdrage aan leveren (rechts). Kaart en lijst helpen waterbeheerders bij optimale aanpak van de sleutelfactor Toxiciteit en het nemen van (kosten-)effectieve maatregelen.

De KRW en de Sleutelfactor Toxiciteit

Momenteel werkt de EU aan een brede evaluatie van de wetgeving. Ook de KRW wordt onderworpen aan een *fitness check*. Door de nieuwe kennis van de twee EU-projecten (SOLUTIONS en MARS) en de vele EU-brede praktijkervaringen denken we dat de KRW in de toekomst alle stoffen en hun mengsels zal gaan beoordelen. We verwachten zelfs dat de beide methoden van de Sleutelfactor Toxiciteit in de EU belangrijk worden. We verwachten dat, omdat deze sleutelfactor het probleem van *one out all out* oplost. Dat dit zo werkt is bewezen in een aantal case studies. De waterbeheerders van De Dommel en Limburg bleken duidelijk de meerwaarde te zien van de identificatie van *hot spots* en *hot chemicals*, naast de KRW-classificatie van de chemische toestand (zie kader).

Gabriël Zwart van Waterschap Limburg: Deze waterbeheerder heeft behoefte aan een nadere duiding van de aangetroffen stoffen in het water. Is het nu echt zo erg wanneer een stof de landelijke of Europese normen overschrijdt? Moeten we actie ondernemen of valt het wel mee met het effect? De analyse van mengseffecten, van *hot spots* en van *hot chemicals* helpt daarbij. We hebben niet het gevoel dat we er al zijn wat betreft kennis over de ernst van stoffen voor de ecologie en voor diverse nuttige toepassingen van oppervlaktewater. Daarom is nationaal en internationaal onderzoek naar effecten van verontreinigingen en effectiviteit van maatregelen waardevol. Ook de voorgestelde instrumenten die het de beheerder gemakkelijker maken de ernst van de verontreinigingen in te schatten en/of concrete oplossingen te zoeken zijn nuttig.

Henk Tamerus en Oscar van Zanten van Waterschap De Dommel: De ecologische toestand van de beken in ons beheergebied is niet op orde. Er zijn verschillende oorzaken: onnatuurlijke inrichting en -afvoerpatronen, beheer en onderhoud en de belasting door een groot aantal stoffen. Door middel van beekherstel brengen we de inrichting zoveel mogelijk op orde en passen we ons beheer en onderhoud zo veel mogelijk aan. De aanpak van stoffen is een lastige opgave. Zijn het zware metalen, bestrijdingsmiddelen of geneesmiddelen die het meeste invloed hebben op de ecologie? Of zijn het juist complexe mengsels die voor problemen zorgen? Om inzicht te krijgen in mengseltoxiciteit helpt o.a. de ESF-Toxiciteit ons als waterbeheerder. De eerste uitkomsten van de ESF-Toxiciteit waren veelbelovend. We kunnen op deze manier de hotspots in kaart brengen om vervolgens aan de hand van bioassays dit in het veld te toetsen. De uitdagingen voor de waterbeheerders zijn om de interpretatie van al deze uitkomsten eenduidig uit te voeren en door te vertalen naar doelen en te nemen maatregelen voor de KRW. Op deze manier kunnen we ons bestuur ondersteunen bij het maken van de juiste keuzes.

CONCLUSIE

Het toepassen van Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit levert in de praktijk duidelijk nuttige informatie over chemische verontreiniging en over (kosten-)effectief beheer. Niets is zo vervelend als het inzetten van kostbare maatregelen die er nauwelijks toe doen, terwijl de plaatsen en stoffen met werkelijke problemen niet in beeld zijn, vooral als daardoor uiteindelijk de KRW-doelen (bescherming en herstel) niet gehaald worden. Het nut van de sleutelfactor daarvoor is bewezen in samenwerking met waterschappen. En juist door de kennisimpuls (KIWK) ontstaat nu de kans om de sleutelfactor nog handiger en beter te maken. Samen met waterbeheerders en adviesbureaus, en vóór de betere waterkwaliteit. Het projectteam nodigt alle waterbeheerders en adviseurs uit om samen te werken aan waterkwaliteit zonder toxiciteit.

Contact

Prof. dr. Leo Posthuma, RIVM-Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid (DMG), Postbus 1, 3720 BA Bilthoven. E: leo.posthuma@rivm.nl

REFERENTIES

- [1] Bernhardt, E.S., E.J. Rosi, and M.O. Gessner (2017). *Synthetic chemicals as agents of global change*. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 15(2): p. 84-90.
- [2] Sjerps, R.M.A., et al. (2016). *Data-driven prioritization of chemicals for various water types using suspect screening LC-HRMS*. *Water Research*. 93: p. 254-264.
- [3] Posthuma, L., et al. (2016). *Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit. Deel 2: Kalibratie: toxische druk en ecologische effecten op macrofauna*. STOWA: Amersfoort, the Netherlands.
- [4] Posthuma, L., et al. (2018). *Mixtures of chemicals are important drivers of impacts on ecological status in European surface waters (SOLUTIONS-Policy Brief, in druk)*
- [5] PBL (2019). <https://themasites.pbl.nl/balansvandeleeftomgeving/wp-content/uploads/pbl-2018-balans-van-de-leeftomgeving-2018-3160.pdf#page=161>.

[6] EEA (2018). European waters — assessment of status and pressures. Eur. Environ. Agency; EEA Rapport No 7/2018, Kopenhagen, Denemarken.

[7] Van der Wal, B. (2018). *KRW-doelen: begrijpen, afwegen, kiezen*. Water Governance. 3/2018: p. 6-9.

[8] Postma, J. and B.J. Vreman (in prep.). *Data-analyse probleemstoffen oppervlaktewater Limburg. Huidige situatie, trends, knelpunten en kansen. (Versie 9 mei 2019)*. Waterschap Limburg.

www.solutions-project.eu

www.mars-project.eu