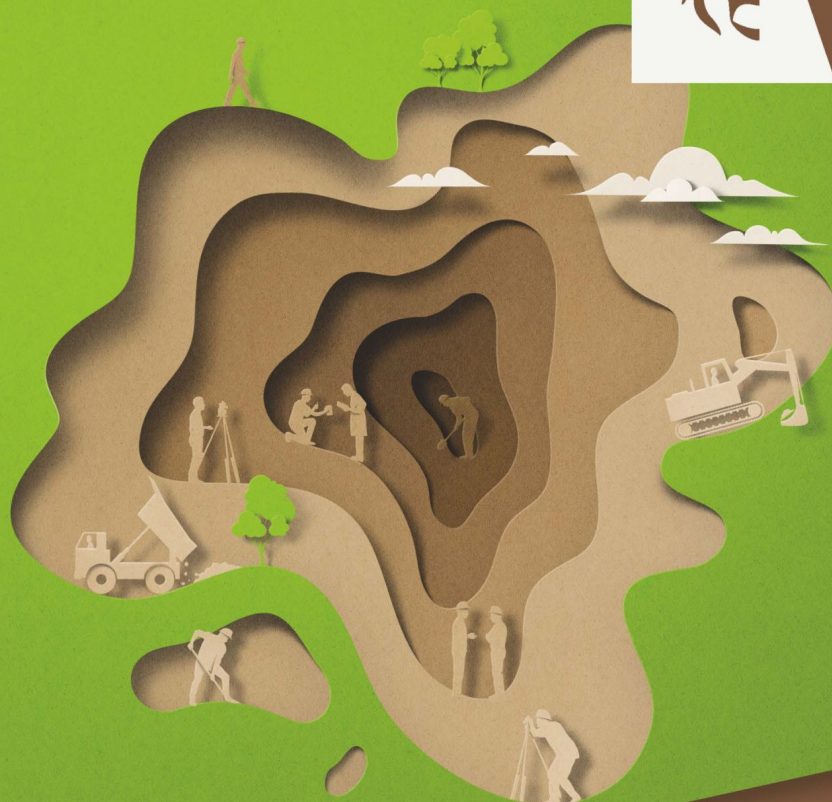




Vlaanderen
is bodembewust



PRIORITAIRE EN OPKOMENDE STOFFEN IN SEDIMENT

ONDERLINGE PRIORITERING EN HOTSPOTS

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

WWW.OVAM.BE

OVAM

////////////////////////////////////

PRIORITAIRE EN OPKOMENDE STOFFEN IN SEDIMENT

Onderlinge prioritering en hotspots
publicatiedatum / 15.12.2020

////////////////////////////////////

In samenwerking met:



DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|---|--|
| 1 <i>Titel van publicatie:</i>
Prioritaire en opkomende stoffen in sediment | 2 <i>Verantwoordelijke Uitgever:</i>
OVAM |
| 3 <i>Wettelijk Depot nummer:</i> D/2020/5024/21 | 4 <i>Trefwoorden:</i>
prioritaire stoffen
opkomende stoffen
emerging contaminants
Waterbodem
sediment |
| 5 <i>Samenvatting:</i>
Deze brochure is een literatuurstudie over prioritaire en opkomende stoffen in de waterbodem. Ze richt zich op de vragen welke van deze stoffen relevant zijn voor de waterbodem, waar men hotspots kan verwachten en zoekt naar toestingswaarden voor deze stoffen in andere landen. | |
| 6 <i>Aantal bladzijden:</i> 39 | 7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i> 12 tabellen |
| 8 <i>Datum publicatie:</i>
2020 | 9 <i>Prijs*:</i> / |
| 10 <i>Begeleidingsgroep en/of auteur:</i>
Dr. J.F. Postma | 11 <i>Contactpersonen:</i>
Goedele Vanacker
Katrien Van De Wiele |
| 12 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i> / | |

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden. U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website:

<http://www.ovam.be>

* Prijswijzigingen voorbehouden.

INHOUD

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Doelstelling	6
1.3 Leeswijzer	7
2 prioriteren van waterodem relevante prioritaire stoffen	8
2.1 Methoden om na te gaan welke stoffen relevant zijn voor de waterbodem	8
2.1.1 Fysisch/chemische eigenschappen	8
2.1.2 Vóórkomen in het milieu	9
2.1.3 Effecten van deze stoffen	9
2.2 Toepassing op prioritaire stoffen	10
2.2.1 Fysisch/chemische eigenschappen	10
2.2.2 Monitoringsdata van sediment duiden op een mogelijk risico	12
2.2.3 Monitoringsdata van biota duiden op een mogelijk risico	15
2.2.4 Monitoringsdata van oppervlaktewater duiden op een mogelijk risico	16
2.2.5 Gegevens van locatiespecifiek onderzoek (bv. hotspots)	19
3 Prioriteren van waterbodem relevante opkomende stoffen	23
3.1 Diamond et al (2011)	24
3.1.1 Methode 1, gericht op risico's	24
3.1.2 Methode 2, gericht op risico's en gedrag	25
3.1.3 Methode 3, gericht op PBT-criteria	26
3.2 Norman (2013)	28
3.3 Deltares (2017)	29
3.3.1 Verzamelen van basisinformatie	29
3.3.2 Integratie	30
3.3.3 Conclusies en aanbevelingen	30
4 Conclusies en aanbevelingen	33
4.1 Conclusies	33
4.1.1 Prioritaire stoffen	33
4.1.2 Opkomende stoffen	34
4.2 Aanbevelingen	34
4.2.1 Prioritaire stoffen	34
4.2.2 Opkomende stoffen	35
5 Referenties	36
5.1 Aanvullende achterliggende literatuur over opkomende stoffen (gericht op sediment, bodem of trends)	37

SAMENVATTING

De OVAM wil graag inzicht in de vraag voor welke stoffen sedimentverontreiniging een belangrijk risico voor het aquatische ecosysteem vormt en tevens hoe men zo goed mogelijk kan inschatten waar men hotspots van verontreinigde sedimenten kan verwachten. Als onderdeel van dit proces heeft de huidige literatuurstudie zich gericht op methoden om inzicht te geven in de stoffen die relevant zijn voor de waterbodem omwille van hun fysisch/chemische eigenschappen, hun voorkomen én de kennis die er over (de effecten van) deze stoffen is, waar mogelijk gespecificeerd voor de situatie in Vlaanderen. De focus lag hierbij enerzijds op de binnen de EU- vastgestelde lijst van prioritaire stoffen, een groep stoffen waar veel kennis en monitoringsgegevens van voorhanden zijn. Anderzijds is de groep van opkomende stoffen gebruikt als voorbeeld hoe men stoffen onderling kan prioriteren als er juist weinig gegevens over de stoffen voorhanden is.

Op basis van een multicriteria aanpak kunnen de prioritaire stoffen voor Vlaanderen in drie categorieën worden ingedeeld, namelijk geen, matige of duidelijke prioritering. Deze groepen betreffen 24, 16 en 14 stoffen respectievelijk. De stoffen die een duidelijke prioritering voor het sediment compartiment krijgen zijn een drietal metalen (Hg, Ni, Cd), meerdere PAK's (fluorantheen, benzo[a]pyreen, benzo[b]fluorantheen, benzo[k]fluorantheen, benzo[ghi]peryleen, antraceen) en de stoffen PFOS, heptachloor & -epoxide, gebromeerde vlamvertragers (PBDE's), dioxines en TBT. OVAM wordt aanbevolen om het onderzoek naar deze stoffen te intensiveren met name gericht op de vraag of de emissies ondertussen zo ver als mogelijk zijn gereduceerd¹ en of een aanpak van verontreinigde sedimenten als secundaire bron een kosteneffectieve maatregel kan zijn.

Voor de 16 stoffen uit de middelste categorie ("matige prioritering voor waterbodem relevantie") zijn er zorgen over de verontreiniging van de waterbodem met deze stoffen, maar bestaat voornamelijk te weinig informatie om al over een aantoonbare bedreiging te spreken. Voor deze stoffen is behoefte aan meer inzicht in hun voorkomen in het sediment en/of de hierdoor te verwachten effecten. De beschikbare gegevens duiden op met name lokale problemen.

Naast enkele gerichte, wetenschappelijke onderzoeken bestaat er in Vlaanderen nog weinig inzicht in het voorkomen van opkomende stoffen in sediment. OVAM wordt daarom aanbevolen om het vraagstuk over "sediment relevante opkomende stoffen" ook vanuit inzichten in gebruik en emissies te benaderen.

¹ De meeste van deze stoffen zijn zogenaamde ubiquitaire stoffen die nog lang in het milieu aanwezig zullen zijn, zelfs als alle mogelijke maatregelen ondertussen zijn genomen.

1 INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De OVAM is een van de partners in het Interreg project Sullied Sediments. Dit deels door de EU gefinancierde project heeft als hoofddoelstelling het ontwikkelen van kennis en tools om waterbeheerders te ondersteunen in hun besluitvorming over het beheer van verontreinigde sedimenten. Hierbinnen vormen de mogelijke effecten van opkomende stoffen (CEC's of te wel "Chemicals of Emerging Concern") een van de belangrijke aandachtspunten.

Om hier invulling aan te geven wil de OVAM graag inzicht in de vraag voor welke stoffen sedimentverontreiniging een belangrijk risico voor het aquatische ecosysteem vormt en tevens hoe men zo goed mogelijk kan inschatten waar men hotspots van verontreinigde sedimenten kan verwachten. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvragen:

- 1 Welke stoffen zijn relevant voor de waterbodem omwille van hun fysisch/chemische eigenschappen, hun voorkomen én de kennis die er over (de effecten van) deze stoffen is, waar mogelijk gespecificeerd voor de situatie in Vlaanderen. Naast de focus op hotspots is de aanwezigheid van meer diffuus aanwezige verontreiniging evenzo relevant.
- 2 Waar kan men hotspots verwachten en is dit vóórkomen van hotspots te relateren aan eigenschappen van de waterloop of het landgebruik? Of andersom geformuleerd: Is het mogelijk om bij een bepaald type landgebruik te specificeren welke stoffen bij voorkeur geanalyseerd moeten worden om inzicht te krijgen in de mogelijke aanwezigheid van hotspots? En daaraan verbonden: Welke stoffen zou men moeten monitoren om juist inzicht in de diffuus optredende verontreiniging te krijgen?
- 3 Zijn er in andere landen al toetsingswaarden beschikbaar om de sedimentgehalten van de meest belangwekkende opkomende stoffen mee te vergelijken?

1.2 DOELSTELLING

Beantwoording van deze vragen vergt een proces, waarbij men voor specifieke stoffen steeds een stap verder komt in de kennis en aanpak, terwijl men tegelijkertijd voor nieuwe, opkomende stoffen weer vooraan moet beginnen. Als onderdeel van dit proces heeft het huidige project een literatuurstudie uitgevoerd om inzicht te krijgen in methoden, waarmee bovenstaande onderzoeksvragen beantwoord kunnen worden. De focus lag hierbij op de binnen de EU-vastgestelde lijst van prioritaire stoffen alsmede op de grote verscheidenheid aan opkomende stoffen. Beantwoording van de eerste onderzoeksvraag is alleen voor de prioritaire stoffen uitgewerkt, omdat er ondertussen veel informatie over deze stoffen voorhanden is. Dit is voor opkomende stoffen juist niet het geval. Deze stoffen zijn daarom gebruikt als illustratie hoe men tot een antwoord op de tweede onderzoeksvraag zou kunnen komen. In beide gevallen ging het primair om de risico's die dergelijke verontreinigde sedimenten in het milieu kunnen veroorzaken (*in situ*), maar ook de *ex situ* risico's zijn relevant. Deze kunnen bijvoorbeeld ontstaan als gevolg van hergebruik van baggerspecie uit ruimingswerken.

Naast de prioritaire en de opkomende stoffen bestaat er beleidsmatig ook nog een derde groep, namelijk de stroomgebiedspecifieke en/of overig relevante milieuverontreinigingen. Deze stoffen vormen een intermediaire situatie. Er is meer informatie over aanwezig ten opzichte van opkomende stoffen maar (zeker voor sommige stoffen) minder ten opzichte van de prioritaire stoffen. De voor onderzoeksvraag 1 en 2 beschreven methoden kunnen beide op deze groep stroomgebied relevante stoffen worden toegepast. Dit is binnen het huidige project echter niet verder uitgewerkt.

De hoofddoelstelling van dit project is om via een literatuurstudie methoden aan te dragen, waarmee bovenstaande vragen beantwoord kunnen worden om deze vervolgens zo ver mogelijk uit te werken. Het werkveld van de opkomende en prioritaire stoffen is echter zeer omvangrijk en men zou even goed een volledige literatuurstudie kunnen besteden aan een stofgroep als de gebromeerde vlamvertragers of PFOS/PFOA. Het doel van het huidige project is daarom niet gericht op volledigheid, maar om gezamenlijk met de OVAM stappen te kunnen zetten, die in later stadium verder uitgewerkt kunnen worden.

1.3 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op methoden om na te gaan welke stoffen relevant zijn voor de waterbodem, waarna deze systematiek voor de prioritaire stoffen is uitgewerkt. Op basis hiervan is een eerste lijst van voor de OVAM op korte termijn relevante stoffen samengesteld. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de tweede onderzoeksvraag en staan de opkomende stoffen als voorbeeld centraal.

2 PRIORITEREN VAN WATERODEM RELEVANTE PRIORITAIRE STOFFEN

Bij het prioriteren van waterbodem relevante prioritaire stoffen kan men gebruik maken van het feit dat er al veel informatie over deze stoffen bekend is. Een prioriteringssysteem brengt deze informatie samen en weegt deze in een multicriteria aanpak. In §2.1 is beschreven welke informatie en criteria zijn gebruikt en in §2.2 is deze methode voor Vlaanderen uitgewerkt. Voor opkomende stoffen is in het algemeen veel minder informatie beschikbaar en verschilt deze hoeveelheid informatie ook sterk tussen de stoffen. Voor dergelijke situaties is de in dit hoofdstuk uitgewerkte methode minder geschikt en is in hoofdstuk 3 een alternatieve aanpak beschreven. In beide gevallen gaat het om voorbeelden die naar gelang de toepassing verder uitgebreid of gespecificeerd kunnen worden.

2.1 METHODEN OM NA TE GAAN WELKE STOFFEN RELEVANT ZIJN VOOR DE WATERBODEM

Als eerste stap is gekeken naar de onderzoeksvraag “Welke stoffen zijn relevant voor de waterbodem omwille van hun fysisch/chemische eigenschappen, hun vóórkomen én de kennis die er over (de effecten van) deze stoffen is, waar mogelijk gespecificeerd voor de situatie in Vlaanderen”. In deze vraag is al omsloten dat meerdere argumenten een rol spelen.

2.1.1 Fysisch/chemische eigenschappen

In de EU-richtlijn over de normstelling van stoffen (EU, 2011) is beschreven wanneer het afleiden van een norm voor sediment wordt geadviseerd. De hierbij te gebruiken triggerwaarden zijn gelijk aan degene die onder de REACH regelgeving worden gehanteerd. In het algemeen wordt gesteld, dat stoffen met een organisch koolstof adsorptie coëfficiënt (K_{oc} -waarde) onder de 500 tot 1000 l/kg niet of nauwelijks aan sediment zullen binden. Op basis hiervan wordt een $\log K_{oc}$ of $\log K_{ow} \geq 3$ als triggerwaarde gebruikt voor het afleiden van een norm voor sediment². Als een stof niet aan dit criterium voldoet wordt aanvullend bekeken of de risico's voor sediment toch beoordeeld moet worden. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als er aanwijzingen zijn dat de stof in sediment accumuleert of als er aanwijzingen zijn dat de stof toxisch is voor bentische organismen. Dit geldt bijvoorbeeld voor metalen, waar een $\log K_{oc}$ of $\log K_{ow}$ waarde niet voor kan worden afgeleid.

² K_{ow} = Octanol-water verdelingscoëfficiënt

2.1.2 Vóórkomen in het milieu

Routinematige monitoring en/of wetenschappelijk onderzoek levert inzicht in de mate waarin stoffen in het milieu kunnen worden aangetroffen. Deze gegevens hebben niet alleen betrekking op sediment, maar kunnen ook in oppervlaktewater of biota zijn uitgevoerd. Gelet op de vraagstelling geven meetresultaten in de waterbodem het meest direct inzicht in het voorkomen van de stof. De fysisch/chemische eigenschappen die maken dat een stof aan het organisch materiaal in sediment bindt, zorgen er echter ook voor dat de stof de neiging tot bioaccumulatie kan vertonen. Ook analyses in biota geven daarmee een sterke aanwijzing over de mate waarin een waterbodem relevante stof als probleemstof gezien moet worden. Ten slotte kunnen ook analyses in oppervlaktewater (bijv. het optreden van normoverschrijdingen) aanwijzingen geven over welke stoffen als waterbodem relevante probleemstof gezien moeten worden.

Naast dit onderscheid in compartimenten is er ook een onderscheid te maken in de geografische dekking. Monitoringsresultaten die een goed beeld over de gemiddelde situatie in Vlaanderen geven, kunnen daarom worden onderscheiden van analyses die uitsluitend op bepaalde locaties, zoals hotspots, betrekking hebben.

2.1.3 Effecten van deze stoffen

In zijn algemeenheid wordt er in de wereld zeer veel onderzoek gedaan naar de (ecologische) effecten van zeer veel stoffen. Dit geldt ook voor de waterbodem relevante prioritaire en (in mindere mate) opkomende stoffen. Een gedegen analyse van al deze kennis vergt veel meer tijd dan beoogt binnen de kaders van het huidige project. Inzicht in de vraag of de betreffende stoffen ook tot nadelige effecten kunnen leiden is daarom beantwoord door de monitoringsgegevens te vergelijken met officieel vastgestelde normen of, in afwezigheid daarvan, meer indicatief afgeleide grenswaarden.

Gezamenlijk betekent dit dat er voor iedere mogelijk waterbodem relevante stof is nagegaan of

- a. de $\log K_{oc}$ of $\log K_{ow}$ groter dan 3 is;
- b. er gegevens zijn over het voorkomen in de Vlaamse waterbodem;
- c. er gegevens zijn over het voorkomen in biota uit Vlaanderen;
- d. er gegevens zijn over het voorkomen in Vlaams oppervlaktewater;
- e. er officiële normen zijn dan wel meer indicatief vastgestelde grenswaarden om inzichten in effecten te geven.

Door de informatie op deze verschillende aspecten te combineren ontstaat inzicht in de vraag in welke mate de betreffende stof waterbodem relevant is. Voor de prioritaire stoffen is dit in §2.2 verder uitgewerkt.

2.2 TOEPASSING OP PRIORITAIRE STOFFEN

2.2.1 Fysisch/chemische eigenschappen

Bij de Europese normstelling is voor iedere prioritaire stof beoordeeld of het afleiden van een EQS³-waarde voor sediment relevant wordt geacht. Zoals hierboven omschreven is hierbij als belangrijkste criterium gekeken naar de vraag of de LogK_{oc} of LogK_{ow} groter is dan 3 (EU, 2011). De belangrijkste elementen van de Europese normstelling van prioritaire stoffen zijn in zogenaamde EQS-factsheets samengevat. In deze factsheets is ook beschreven of de afleiding van een sedimentnorm relevant werd geacht en zo ja, welke waarde dan wordt voorgesteld. Deze waarden zijn niet beleidsmatig vastgesteld, maar geven wel richting aan de hoogte van een eventueel te hanteren grenswaarde (tabel 1). Tegelijkertijd moet er een kanttekening bij geplaatst worden: waar de officiële KRW-normen minutieus door allerlei experts zijn gecontroleerd en beoordeeld, is een vergelijkbare intensieve kwaliteitscontrole voor deze EQS-sediment waarden niet uitgevoerd. Mocht men de in tabel 1 genoemde EQS-waarden beleidsmatig willen hanteren, dan wordt een extra kwaliteitscontrole aanbevolen.

Voor 42 van de 54 prioritaire stoffen⁴ is de $\text{logK}_{ow} > 3$ (hierbij zijn de vier metalen Cd, Hg, Pb en Ni als waterbodembodem relevant meegenomen), en zou er naar de risico's voor sediment gekeken moeten worden. Voor 29 van deze stoffen is ook daadwerkelijk een indicatieve grenswaarde voor sediment afgeleid en voor acht stoffen is daar om verschillende redenen van afgeweken (zie tabel 1). De resterende vijf stoffen zijn qua status afwijkend. Deze stoffen staan weliswaar in de lijst met prioritaire stoffen maar zijn tevens voorzien van de volgende voetnoot "Deze stof is geen prioritaire stof, maar een van de andere verontreinigende stoffen waarvoor de MKN identiek zijn aan die welke zijn vastgelegd in de wetgeving die vóór 13 januari 2009 van toepassing was". Daarom is er geen EQS-factsheet voor opgesteld. Voor 12 prioritaire stoffen was er op basis van de logK_{ow} geen aanleiding om een grenswaarde voor sediment af te leiden. PFOS vormt een specifieke situatie aangezien het afleiden van een betrouwbare logK_{ow} vooralsnog niet mogelijk is gebleken. Het is een persistente mobiele stof die tegelijkertijd wel affiniteit voor organisch materiaal heeft. Over de werkelijke risico's voor sediment is nog veel onbekend, maar tegelijkertijd kunnen deze risico's zeker nog niet worden uitgesloten.

Samenvattend betekent dit dat voor 43 stoffen (38 stoffen met een $\text{logK}_{ow} > 3$, 4 metalen en PFOS) wordt nagegaan welke gegevens er in Vlaanderen beschikbaar zijn over het vóórkomen van de stof in het milieu.

³ EQS = Environmental Quality Standard

⁴ Officieel is er tot 45 genummerd maar soms vallen er meerdere stoffen onder één nummer

Stof	LogK _{ow}	EQS _{sediment} (µg/kg dw)	Opmerkingen
1) alachloor	2,9		
2) antraceen	4,7	24	
3) atrazine	2,6		
4) benzeen	2,1		
5) som PBDE	5,9 - 9,4	1550	
6) cadmium	5	2,3 mg/kg dw	MTT
6a) tetrachloormethaan (tetra)	2,8 ⁶		Bron: Pubchem
7) som C10-C13-chlooralkanen	6,0	998	
8) chloorfenvinfos	3,9	Niet afgeleid	Reden: LogK _{oc} -waarde <3 ⁷
9) ethylchloorpyrifos	5,0	Niet afgeleid	Reden: JG-MKE voldoende beschermend ⁷)
9a) som drins	5,4 - 6,5	6	Bron: Pubchem
9b) som DDTx	6,5 - 6,9	6	Bron: Pubchem
9b) 4,4-DDT	6,9	6	Bron: Pubchem
10) 1,2-dichloorethaan	1,5		
11) dichloormethaan	1,3		
12) DEHP	7,5	100 mg/kg dw	Alternatief: 21,5 mg/kg; zie opm. bij tabel 4
13) diuron	2,8		
14) endosulfan	3,8	Niet afgeleid	Reden: norm voor sediment als µg/l 2)
15) fluorantheen	5,2	2000	
16) hexachloorbenzeen	5,7	16,9	
17) hexachloorbutadieen	4,9	493	
18) som HCH	3,5	10,3 ⁸	
19) isoproturon	2,5		
20) lood	8	131 mg/kg dw	Als totaal Pb; Beschikbaar Pb: 41 mg/kg ⁶
21) kwik	8	470	MTT ⁹
22) naftaleen	3,3	138	
23) nikkel	8	-	Reden: wordt nog aan gewerkt
24) nonylfenol	4,5	180	
25) 4-tertiair-octylfenol	>3 - 5,3	34	
26) pentachloorbenzeen	5,2	400	Alternatief: 2,8 µg/kg; zie opm. bij tabel 4
27) pentachloorfenol	3,3 - 5,1	119	
28) benzo(a)pyreen	6,1	91,5	

⁵ Voor metalen is geen logK_{ow} bekend, maar binding aan sediment is voldoende gekend

⁶ Stof staat in de dochterrichtlijn prioritare stoffen (EU 2008/105), maar met als voetnoot "Deze stof is geen prioritare stof, maar een van de andere verontreinigende stoffen waarvoor de MKN identiek zijn aan die welke zijn vastgelegd in de wetgeving die vóór 13 januari 2009 van toepassing was". Daarom is er geen EQS-factsheet voor opgesteld.

⁷ Zie factsheet voor verdere onderbouwing

⁸ Afgeleid voor lindaan; Andere isomeren hebben een logK_{p,susp} van 2,58

⁹ Maximale Toegestane Toevoeging (bij deze normwaarde kan men de achtergrondwaarde nog optellen)

Stof	LogK _{ow}	EQS _{sediment} (µg/kg dw)	Opmerkingen
28) benzo(b)fluorantheen	5,8	70,7	
28) benzo(g,h,i)peryleen	6,6	42	
28) benzo(k)fluorantheen	6,1	67,5	
29) simazine	2,2		
29a) tetrachlooretheen (per)	3,4 ⁶		
29b) trichlooretheen (tri)	5,2 ⁶		
30) tributyltin (kation)	3,1-3,8	0,02	
31) trichloorbenzeen	4,2	Niet afgeleid	Reden: Log Kp _{susp} <3 ⁷
32) trichloormethaan	2,0		
33) trifluraline	5,3	3,1 mg/kg dw	
34) dicofol	4,1	Niet afgeleid	Reden: JG-MKE beschermend ⁷
35) perfluoroctaansulfonaat	onzeker	Niet afgeleid	Reden: geen aanleiding vanuit triggers ⁷
36) quinoxifen	4,7	5,5	
37) som 29 dioxines	6,0-8,2	Niet afgeleid	Reden: onvoldoende gegevens ⁷
38) aclonifen	4,4	760	
39) bifenox	3,6	0,33	
40) cybutrine (irgarol)	4,0	0,18	
41) cypermethrin	6,6	0,033	
42) dichloorvos	1,9		
43) hexabroomcyclododecaan	5,6	860	
44) Σheptachloor en -epoxide	5,4	0,015	
45) terbutrine	3,5	Niet afgeleid	Reden: JG-MKE beschermend ⁷

Tabel 1: Overzicht van de prioritare stoffen, hun LogK_{ow}-waarde en voor stoffen met een LogK_{ow} ≥3 de afgeleide EQS-waarde voor zoet sediment. **Oranje** markering: Stoffen met een LogK_{ow} ≥3.

2.2.2 Monitoringsdata van sediment duiden op een mogelijk risico

De VMM voert al jarenlang een routinematige monitoring van sediment uit. Bij deze monitoring worden onder meer de gehalten van de genoemde vier metalen (Cd, Hg, Pb en Ni) vastgesteld alsmede die van verschillende PAK's en allerlei andere organische microverontreinigingen (tabel 2). Voor deze stoffen bestaat daarmee een goed beeld van de range aan gehalten, zoals die in de Vlaamse waterbodem kan worden aangetroffen. Deze range kan vervolgens worden vergeleken met bovenstaande indicatieve grenswaarden of met de triggerwaarden die momenteel door de Universiteit van Antwerpen worden afgeleid (Teuchies *et al*, 2019). Als stoffen worden aangetroffen in gehalten, die deze grenswaarden overschrijden, is dat één van de argumenten om de risico's van deze stof in sediment nader te beschouwen. Als deze grenswaarden niet worden overschreden, dan kan dat een onderschatting van de risico's zijn en wel als de KRW-norm op humane risico's of doorvergiftiging naar toppredatoren is gebaseerd. Deze risico's zijn dan namelijk niet in deze indicatieve risicogrenzen opgenomen. In die gevallen is in tabel 2 het eindoordeel ook niet gekleurd.

Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van PBDE's. De indicatieve grenswaarde van 1,55 mg/kg is gebaseerd op het beschermen van de benthische organismen. Als echter naar de gegevens uit het Vlaamse biotameetnet wordt gekeken, dan wordt de norm in vissen altijd overschreden, terwijl de bijbehorende PBDE-gehalten in de waterbodem tussen de 0,02 en 27 µg/kg variëren en daarmee ruim onder de indicatieve grenswaarde liggen.

Met name cadmium, kwik, meerdere PAK's, tributyltin en heptachloor&-epoxide blijken de genoemde indicatieve risicogrenzen frequent en soms in grote mate te overschrijden; een aanwijzing dat deze stoffen in sediment tot risico's kunnen leiden. Dit is niet nieuw en de genoemde stoffen zijn dan ook al jaren in beeld als mogelijke probleemstoffen. Er is allerlei wetenschappelijk onderzoek beschikbaar om de risico's van deze stoffen nader te duiden, maar als eerste stap in zo'n meer gedetailleerde risicoanalyse zou een correctie op het organisch koolstofgehalte moeten plaats vinden. De EU-grenswaarden uit de factsheets zijn (veelal) afgeleid voor een sediment met 5% organisch koolstof. Voor sedimenten met een hoger of lager organisch koolstof gehalte zouden de indicatieve risicogrenzen navenant verhoogd of verlaagd moeten worden. OVAM wordt daarom aanbevolen om te overwegen of het standaardiseren van sedimentgehalten op organisch koolstof (en voor metalen ook op lutum) niet meer algemeen moet worden toegepast.

Stof	EQS _{sediment} (mg/kg dw)	Triggerwaarden Universiteit Antwerpen (mg/kg dw)	VMM data 2000-2016 (mg/kg dw)		Prioritering
			Gem.	Max	
2) antraceen	0,024	0,23	0,24	182	
5) som PBDE 28, 47, 99, 100, 153, 154	1,55 ¹⁰	0,0095	0,003	0,18	
6) cadmium	2,3	5,6	2,1	507	
7) som C10-C13-chlooralkanen	1,0	-	-	-	
8) chloorfenvinfos	-	-	-	-	
9) ethylchloorpyrifos	-	-	-	-	
9a) som drins	-	-	0,001	0,48	
9b) som DDTx	-	0,015	0,005	1,1	
9b) 4,4-DDT	-	0,002	0,001	1,1	
12) DEHP	100 (21) ¹¹	-	-	-	
14) endosulfan	-	-	< 0,001	0,29	
15) fluorantheen	2,0 ¹⁰	1,6	1,5	958	
16) hexachloorbenzeen	0,017 ¹⁰	0,0014	0,0006	0,08	
17) hexachloorbutadieen	0,49 ¹⁰	-	0,0006	0,31	
18) som HCH	0,01	-	0,0003	0,055	
20) lood	131	152	56	6840	
21) kwik	0,47 ¹⁰	1,21	0,4	91	

¹⁰ Uitsluitend gebaseerd op directe risico's voor benthische organismen, terwijl humane risico's en/of risico's op doorvergiftiging groter zijn. Som PBDE: Vergelijking van VMM data en prioritering nu gebaseerd op triggerwaarde Universiteit van Antwerpen

¹¹ Tussen haakjes staat geschatte waarde vanuit norm voor oppervlaktewater

Stof	EQS _{sediment} (mg/kg dw)	Triggerwaarden Universiteit Antwerpen	VMM data 2000-2016 (mg/kg dw)		Prioritering
22) naftaleen	0,14	0,58	1,1	678	
23) nikkel	-	35,6	16	610	
24) nonylfenol	0,18	-	-	-	
25) 4-tertiair-octylfenol	0,034	-	-	-	
26) pentachloorbenzeen	0,40 (0,0028) ¹¹	-	0,0001	0,013	
27) pentachloorfenol	0,12	-	-	-	
28) benzo(a)pyreen	0,09 ¹⁰	0,66	0,5	185	
28) benzo(b)fluorantheen	0,07	0,79	0,5	194	
28) benzo(g,h,i)peryleen	0,04	0,55	0,4	128	
28) benzo(k)fluorantheen	0,07	0,38	0,2	97	
29a) tetrachlooretheen (per)	-	-	< 0,4	< 0,4	
29b) trichlooretheen (tri)	-	-	< 0,3	< 0,3	
30) tributyltin (kation; Sn)	0,00002	0,019	0,048	42	
31) trichloorbenzeen ¹²	-	0,00015	< 0,1	< 0,1	
33) trifluraline	3,1	-	-	-	
34) dicofol	-	-	0,003	0,012	
35) perfluorooctaansulfonaat	-	-	0,0008	0,008	
36) quinoxifen	0,0005	-	-	-	
37) som 29 dioxines	-	-	-	-	
38) aclonifen	0,76	-	-	-	
39) bifenox	0,0003	-	-	-	
40) cybutrine (irgarol)	0,0002	-	-	-	
41) cypermethrin	0,000033	-	-	-	
43) hexabroomcyclododecaan	0,86 ¹⁰	-	0,071	2,2	
44) Σheptachloor en -epoxide	0,000015 ¹⁰	-	0,0002	0,03	
45) terbutrine	-	-	-	-	

- : geen gegevens

Tabel 2: Beschikbare monitoringsgegevens voor stoffen met een LogKow ≥ 3 en een vergelijking met de afgeleide EQS-waarde voor zoet sediment alsmede de (concept) triggerwaarden die door de Universiteit van Antwerpen (Teuchies et al., 2019) zijn opgesteld.

■ : waarde rondom grenswaarde uit EU-factsheet (of triggerwaarde als grenswaarde ontbreekt)

bij eendoordeel: gemiddelde concentratie duidelijk lager dan grenswaarde

■ : waarde > grenswaarde uit EU-factsheet (of triggerwaarde als grenswaarde ontbreekt).

¹⁰ Uitsluitend gebaseerd op directe risico's voor bentische organismen, terwijl humane risico's en/of risico's op doorvergiftiging groter zijn. Som PBDE: Vergelijking van VMM data en prioritering nu gebaseerd op triggerwaarde Universiteit van Antwerpen

¹¹ Tussen haakjes staat geschatte waarde vanuit norm voor oppervlaktewater

¹² Som van 1,2,3 en 1,2,4 trichloorbenzeen

2.2.3 Monitoringsdata van biota duiden op een mogelijk risico

De fysisch/chemische eigenschappen, die maken dat stoffen zich aan het organisch materiaal in sediment binden (zoals een $\log K_{ow} \geq 3$), kunnen er ook voor zorgen dat deze stoffen in organismen ophopen (bioaccumuleren). Als dit proces van ophoping ook in de voedselketen plaatsvindt (biomagnificatie) kan dat er toe leiden dat toppredatoren zoals de otter nadelige effecten gaan ondervinden bij concentraties in het oppervlaktewater, die nog geen directe effecten op de aquatische ecologie (macrofyten, macrofauna etc) veroorzaken. Ditzelfde geldt ook voor de gezondheid van de mens, evenzo een toppredator die via bijvoorbeeld visconsumptie kan worden blootgesteld. In de normstelling wordt daarom naar alle drie deze beschermingsdoelen gekeken: aquatische ecologie, toppredatoren en humane gezondheid. In de basis worden de risico's voor de mens en toppredatoren beoordeeld op basis van de maximale gehalten, die in hun voedsel aanwezig mogen zijn (mg/kg). Deze waarden worden vervolgens via equilibrium partitie omgezet in een maximale concentratie voor oppervlaktewater ($\mu\text{g/l}$). In sommige gevallen wordt er tijdens de normstelling echter geconstateerd dat deze omrekening tot te grote onzekerheden leidt (bijv. omdat de te gebruiken parameterwaarden als de BCF¹³ of $\log K_{ow}$ onzeker zijn). Voor die stoffen is er naast een KRW-norm voor oppervlaktewater ook een zogenaamde biotanorm vastgesteld. In de KRW is vastgelegd dat biotamonitoring moet worden uitgevoerd om zo de chemische toestand van deze prioritaire stoffen beter te kunnen beoordelen. Dit geldt met name voor stoffen waar de normen in oppervlaktewater nog onvoldoende nauwkeurig getoetst kunnen worden (bijv. als de analytische rapportagegrens groter is dan de normwaarde). Worden de biotanormen overschreden dan is dit een sterke aanwijzing dat de betreffende stof in sediment tot risico's kan leiden. Dit betekent tevens dat de hierboven vermelde indicatieve grenswaarden uit de EU – factsheet onvoldoende beschermend zijn. Deze grenswaarden zijn namelijk uitsluitend gebaseerd op de bescherming van de aquatische ecologie en niet bedoeld om ook de risico's voor mens en toppredatoren te beschermen.

In de KRW zijn voor 11 prioritaire stoffen biotanormen vastgesteld (tabel 3). Voor Vlaanderen wordt de biotamonitoring uitgevoerd door de Universiteit Antwerpen en het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. In 2015 - 2017 is de bemonstering uitgevoerd op in totaal 33 locaties (Teunen et al., 2017; 2018; 2019). Uit de resultaten blijkt dat de gehalten van PBDE, kwik, PFOS en heptachloor+epoxide op vrijwel alle locaties (> 90%) hoger zijn dan de biotanorm. Voor dioxines en beide PAK's (fluorantheen en benzo(a)pyreen) worden de normen in 20-30% van de locaties overschreden, terwijl er voor hexachloorbenzeen, hexachloorbutadieen, dicofol en HBCDD (vrijwel) geen overschrijdingen zijn vastgesteld¹⁴.

¹³ BCF = BioConcentratieFactor

¹⁴ Uitzondering: HBCDD in Paling uit de Bovenschelde in 2015 (412 $\mu\text{g/kg}$ vers; biotanorm = 167 $\mu\text{g/kg}$ vers)

Stof	Biotanorm ¹⁵ (µg/kg vers)	Monitoring 2016-2017 (µg/kg vers)		Aantal locaties > norm %	Prioritering
		Gem.	Max		
5) som PBDE	0,0085	8,7	86	100	
15) fluorantheen	30	23	107	33	
16) hexachloorbenzeen	10	2,9	12	9	
17) hexachloorbutadieen	55	< 0,1	< 0,1	0	
21) kwik	20	107	332	100	
28) benzo(a)pyreen	5	5,0	27	33	
34) dicofol	33	< 20	< 20	0	
35) perfluorooctaansulfonaat	9,1	27	132	94	
37) som 29 dioxines	0,0065	0,0067	0,038	24	
43) hexabroomcyclododecaan	167	13	412	3	16
44) Σheptachloor en -epoxide	0,0067	5	24	96	

Tabel 3: Prioritaire stoffen met een biotanorm in de KRW en een vergelijking met de resultaten van de uitgevoerde biotamonitoring in Vlaanderen (Teunen et al., 2017; 2018).

□ : waarde rondom KRW-biotanorm

■ : waarde > KRW-biotanorm.

2.2.4 Monitoringsdata van oppervlaktewater duiden op een mogelijk risico

Ook een normoverschrijding in oppervlaktewater kan indicaties geven over de vraag of de in sediment aanwezige verontreiniging mogelijke risico's kan veroorzaken. Wederom betreft dit vooral de stoffen met een $\log K_{ow}$ -waarde ≥ 3 . Binnen deze groep stoffen zijn er drie subgroepen te onderscheiden:

2.2.4.1 Stoffen waarvoor de KRW-norm is gebaseerd op directe risico's voor de aquatische ecologie

Voor deze stoffen is de in tabel 1 opgenomen indicatieve grenswaarde voor sediment direct afgeleid van de norm voor oppervlaktewater (meestal via equilibrium partitie; soms op basis van effecten op sediment-organismen) en zijn beide waarden vergelijkbaar qua indicatieve waarde. In afwezigheid van monitoringsgegevens van sediment, is een aangetroffen normoverschrijding in oppervlaktewater daarmee een vergelijkbare indicatie voor de mogelijke risico's van de stof in sediment.

¹⁵ Meeste normen gelden voor de gehalten in vis (mg/kg vers). Hierbij gelden aanvullende voorwaarden voor het vetgehalte van de vis en het trofisch niveau van de vissoort. Voor PAK's heeft de biotanorm betrekking op de gehalten in mossel (of kreeftachtigen) omdat gewervelde dieren PAK's kunnen afbreken.

¹⁶ In slechts één van de 64 geanalyseerde monsters werd een gehalte > 167 µg/kg vers vastgesteld (Paling uit de Bovenschelde, 2015). Daarmee lijkt het probleem niet heel erg groot.

2.2.4.2 Stoffen waarvoor een biotanorm is afgeleid (KRW-norm is gebaseerd op humane risico's of toppredatoren)

Voor deze stoffen zijn de resultaten van de biotamonitoring de meest betrouwbare indicatie voor het al dan niet optreden van risico's. Voor locaties waar deze monitoring niet is uitgevoerd, vormen normoverschrijdingen in oppervlaktewater een eerste indicatie voor risico's in sediment. Voor PBDE, HCB, Hcbd, Hg en dioxines zijn echter geen jaargemiddelde normen voor oppervlaktewater afgeleid en kan de monitoring in oppervlaktewater niet als vangnet dienen.

2.2.4.3 Stoffen waar geen biotanorm voor is vastgesteld, terwijl de KRW norm toch is gebaseerd op humane risico's of toppredatoren

Dit betreft C10-13 chlooralkanen, DEHP en pentachloorbenzeen. In alle drie gevallen was de doorvergiftiging naar toppredatoren het meest gevoelige risicospoor. Een normoverschrijding voor deze stoffen in oppervlaktewater is dan een indicatie dat er ook in het sediment mogelijk sprake van risico's kan zijn. De indicatieve grenswaarde uit tabel 1 is dan echter mogelijk onvoldoende beschermend.

C10-13 chlooralkanen.

De norm voor directe effecten (0,5 µg/l) is slechts iets hoger dan de norm voor doorvergiftiging (0,4 µg/l). Hierdoor ligt de indicatieve grenswaarde voor sediment (998 µg/kg dw; zie tabel 1) in dezelfde orde grootte als een waarde die vanuit de doorvergiftigingsrisico's kan worden afgeleid en kan de waarde van 998 µg/kg nog steeds als eerste indicatie voor risico's worden beschouwd.

DEHP.

De indicatieve grenswaarde voor sediment van 100 mg/kg dw (tabel 1) is gebaseerd op een NOEC-waarde van > 1000 mg/kg en daarmee niet erg betrouwbaar. In de EU-factsheet is echter ook de formule beschreven waarmee normen voor oppervlaktewater en sediment in elkaar kunnen worden omgerekend. Als in deze formule de norm van 1,3 µg/l voor oppervlaktewater wordt ingevoerd, komt de bijbehorende indicatieve grenswaarde voor sediment uit op 21,5 mg/kg. Gelet op de in de EU-factsheet beschreven factoren kent deze waarde de nodige onzekerheden en is dit slechts als eerste indicatie te hanteren.

Pentachloorbenzeen.

De indicatieve grenswaarde voor sediment van 400 µg/kg dw (tabel 1) is gebaseerd op een norm voor oppervlaktewater gericht op directe effecten. Deze bedraagt 1 µg/l, terwijl de norm op basis van doorvergiftiging op 0,007 µg/l ligt. Als met deze waarde een indicatieve grenswaarde voor sediment wordt berekend ligt deze op 2,8 µg/kg dw.

Stof	Gevoeligste beschermings-doel ¹⁷	Monitoring in oppervlaktewater		Prioritering
		Norm-overschrijding?	Aantal toetsingen (%) ¹⁸	
2) antraceen	Ecologie	Ja	1 - 2	
5) som PBDE	Humaan (biota)	- ¹⁹		
6) cadmium	Ecologie	Ja	1 – 4	
7) som C10-C13-chlooralkanen	Predator	-		
8) chloorfenvinfos	Ecologie	Nee		
9) ethylchloorpyrifos	Ecologie	Ja	3 – 4	
9a) som drins	20	Nee		
9b) som DDTx	20	Nee		
9b) 4,4-DDT	20	Nee		
12) DEHP	Predator	Nee		
14) endosulfan	Ecologie	Ja	< 1 – 2	
15) fluorantheen	Humaan (biota)	Ja	11 – 43	
16) hexachloorbenzeen	Humaan (biota)	Nee		
17) hexachloorbutadieen	Predator (biota) ²¹	Nee		
18) som HCH	Ecologie	Ja	1 – 3	
20) lood	Ecologie	Ja	< 1	
21) kwik	Predator (biota)	Ja	< 1	
22) naftaleen	Ecologie	Nee		
23) nikkel	Ecologie	Ja	< 1 - 11	
24) nonylfenol	Ecologie	Ja	2 – 10	
25) 4-tertiair-octylfenol	Ecologie	Ja	1	
26) pentachloorbenzeen	Predator	Nee		
27) pentachloorfenol	Ecologie	Nee		
28) benzo(a)pyreen	Humaan (biota)	Ja	9 – 40	
28) benzo(b)fluorantheen	Humaan (biota)	Ja	65	
28) benzo(g,h,i)peryleen	Humaan (biota)	Ja	68	
28) benzo(k)fluorantheen	Humaan (biota)	Ja	45	

¹⁷ Met "Biota" zijn de 11 stoffen gemarkeerd waarvoor een KRW-biotanorm is vastgesteld.

¹⁸ Berekend vanuit door de VMM aangeleverde toetsingen van alle waterlichamen over de periode 2013-2018. Range is opgegeven als er zowel een percentage overschrijdingen voor de JG-MKE als MAC-MKE beschikbaar is.

¹⁹ Geen toetsing in oppervlaktewater; alleen biota

²⁰ Stof staat in de dochterraichtlijn prioritaire stoffen (EU 2008/105), maar met als voetnoot "Deze stof is geen prioritaire stof, maar een van de andere verontreinigende stoffen waarvoor de MKN identiek zijn aan die welke zijn vastgelegd in de wetgeving die vóór 13 januari 2009 van toepassing was". Daarom is er geen EQS-factsheet voor opgesteld.

²¹ De EQShuman health, food is lager (12,2 µg/kg vers). De berekening van de route humane visconsumptie kent echter de nodige onzekerheden, waardoor in de Europese normafleiding is geconcludeerd dat de norm voor doorvergiftiging ook voldoende bescherming biedt in het geval van humane consumptie.

Stof	Gevoeligste beschermings-doel ¹⁷	Monitoring in oppervlaktewater		Prioritering
		Norm-overschrijding?	Aantal toetsingen (%) ¹⁸	
29a) tetrachlooretheen (per)	22	Nee		
29b) trichlooretheen (tri)	22	Nee		
30) tributyltin (kation)	Ecologie	Ja	22 - 35 ²³	
31) trichloorbenzeen ²⁴	Ecologie	Nee		
33) trifluraline	Ecologie	Ja	< 1	
34) dicofol	Predator (biota)	- ¹⁹		
35) perfluorooctaansulfonaat	Humaan (biota)	Ja	0 – 97	
36) quinoxyfen	Ecologie	Nee		
37) som 29 dioxines	Humaan (biota)	n.v.t.		
38) aclonifen	Ecologie	Ja	2 – 13	
39) bifenox	Ecologie	Nee	- ²³	
40) cybutrine (irgarol)	Ecologie	Ja	1 – 2	
41) cypermethrin	Ecologie	Ja	1 ²³	
43) hexabroomcyclododecaan	Predator (biota)	- ¹⁹		
44) Σheptachloor en -epoxide	Humaan (biota)	Ja	1 - 2 ²³	
45) terbutrine	Ecologie	Nee		

Tabel 4: Gevoeligste beschermingsdoel voor stoffen met een $\text{LogK}_{\text{ow}} \geq 3$ en een vergelijking met de monitoring in oppervlaktewater. Er is aangegeven of er een normoverschrijding voor oppervlaktewater in Vlaanderen is vastgesteld (2013-2018) en zo ja, in hoeveel procent van de toetsingen dat het geval is.

■ Geen overschrijdingen; ■ : percentage overschrijdingen < 10%; ■ : percentage overschrijdingen > 10%

2.2.5 Gegevens van locatiespecifiek onderzoek (bv. hotspots)

Naast gegevens uit bovenstaande routinematige monitoring worden verschillende prioritaire stoffen ook in locatiespecifiek onderzoek geanalyseerd. Bij dergelijk locatiespecifiek onderzoek kan het ook gaan om verdachte locaties, waar mogelijk sprake is van een situatie die als hotspot is te karakteriseren. Van dergelijk onderzoek bestaat echter geen actueel overzicht. Deze zijn in het kader van de huidige studie daarom ook niet verder meegewogen.

¹⁹ Geen toetsing in oppervlaktewater; alleen biota

²² Stof staat in de dochtterrichtlijn prioritaire stoffen (EU 2008/105), maar met als voetnoot "Deze stof is geen prioritaire stof, maar een van de andere verontreinigende stoffen waarvoor de MKN identiek zijn aan die welke zijn vastgelegd in de wetgeving die vóór 13 januari 2009 van toepassing was". Daarom is er geen EQS-factsheet voor opgesteld.

²³ Aandeel niet toetsbaar $\geq 50\%$

²⁴ Som van 1,2,3 en 1,2,4 trichloorbenzeen

2.2.5.1 Samenvattend beeld over de waterbodembelovende prioritair stoffen

De gegevens, zoals die hierboven zijn beschreven, zijn samengevat in tabel 5 en leiden tot een eindoordeel over de vraag of de betreffende stof op basis van de thans beschikbare informatie als een waterbodembelovende probleemstof in Vlaanderen moet worden beschouwd.

a. **Duidelijke prioritering**

Omschrijving: Dit zijn stoffen met affiniteit voor sediment ($\text{LogK}_{\text{ow}} \geq 3$), waarvoor de lopende monitoring in waterbodembelovend oppervlaktewater en/of biota aangeeft dat bestaande normen of indicatieve grenswaarden in tenminste twee compartimenten worden overschreden, waarvan ten minste één in ernstige mate. Voor de meeste stoffen worden deze normoverschrijdingen in grote delen van Vlaanderen aangetroffen en kan de overschrijdingsfactor hoog zijn. Voor enkele stoffen, zoals antraceen en cadmium, is dit minder het geval.

Stoffen: Deze categorie bestaat uit 14 stoffen namelijk een drietal metalen (Hg, Ni, Cd), meerdere PAK's (fluorantheen, benzo[a]pyreen, benzo[b]fluorantheen, benzo[k]fluorantheen, benzo[ghi]peryleen, antraceen) en de stoffen PFOS, heptachloor & -epoxide, gebromeerde vlamvertragers (PBDE's), dioxines en TBT.

b. **Matige prioritering**

Omschrijving: Dit zijn stoffen met affiniteit voor sediment ($\text{LogK}_{\text{ow}} \geq 3$), waarvoor de lopende monitoring in waterbodembelovend oppervlaktewater en/of biota aangeeft dat bestaande normen of indicatieve grenswaarden in één compartiment worden overschreden of in twee compartimenten maar dan ten hoogste in enige mate. Deze overschrijdingen zijn vooral in het oppervlaktewater aangetroffen en nauwelijks in de waterbodem vastgesteld. In veel gevallen wordt dit veroorzaakt doordat er geen normen of grenswaarden voor het sediment zijn vastgesteld of doordat de stof niet in de routinematige monitoring van sediment is opgenomen. Voor de meeste stoffen is de frequentie van normoverschrijdingen laag (voor oppervlaktewater bijv. <10% van het aantal toetsingen). Dit kan op de aanwezigheid van lokale hotspots duiden.

Stoffen: Deze categorie bestaat uit 16 stoffen namelijk enkele gewasbeschermingsmiddelen (ethylchlorpyrifos, DDT, endosulfan, som HCH, trifluraline), lood, naftaleen, hexa- en pentachloorbenzeen, nonylfenol, 4-tertiar-octylfenol en een aantal nieuwe prioritair stoffen (aclonifen, cybutrine, cypermethrin, HBCDD).

c. **Geen prioritering**

Omschrijving: Dit zijn enerzijds prioritair stoffen met een $\text{LogK}_{\text{ow}} < 3$, die daarmee niet de neiging hebben om aan sediment te binden. Of het zijn stoffen die deze neiging wel hebben, maar waar in lopende monitoring geen normoverschrijdingen in waterbodem, biota en/of oppervlaktewater zijn aangetroffen. Overigens geldt ook in dit geval dat de afwezigheid van normoverschrijdingen in de waterbodem deels wordt veroorzaakt doordat er geen normen of grenswaarden voor het sediment zijn vastgesteld of doordat de stof niet in de routinematige monitoring van sediment is opgenomen.

Stoffen: Deze categorie bestaat uit 11 stoffen die niet de neiging hebben om aan sediment te binden en 13 stoffen die deze neiging wel hebben. Dit betreft

$\text{LogK}_{\text{ow}} < 3$: alachloor, atrazine, benzeen, tetra, 1,2-dichloorethaan, dichloormethaan, diuron, isoproturon, simazine, trichloormethaan en dichloorvos.

$\text{LogK}_{\text{ow}} \geq 3$: som C₁₀-C₁₃-chloralkanen, chloorfenvinfos, som drins, DEHP, hexachloorbutadien, pentachloorfenol, tetrachlooretheen, trichlooretheen, trichloorbenzeen, dicofol, quinoxyfen, bifenox en terbutrine.

Met name voor de C₁₀-C₁₃ chloralkanen zou nadere monitoring of onderzoek wenselijk zijn, omdat voor deze stof geen gegevens voorhanden zijn.

Stof	Fys./Chemisch	Vóórkomen en mogelijke effecten			Eind-oordeel
	LogK _{ow}	Waterbodem	Biota	Oppervlakte water	
15) fluorantheen					
28) benzo(a)pyreen					
35) perfluorooctaansulfonaat	25				
21) kwik					
44) Σheptachloor en -epoxide					
5) som PBDE					
37) som 29 dioxines					26
28) benzo(b)fluorantheen					
28) benzo(g,h,i)peryleen					
28) benzo(k)fluorantheen					
30) tributyltin (kation; Sn)					
23) nikkel					
2) antraceen					
6) cadmium					
9) ethylchloorpyrifos					
9b) 4,4-DDT					
14) endosulfan					
18) som HCH					
20) lood					
24) nonylfenol					
25) 4-tertiair-octylfenol					
33) trifluraline					
38) aclonifen					
40) cybutrine (irgarol)					
41) cypermethrin					
43) hexabroomcyclododecaan					
9b) som DDTx					
16) hexachloorbenzeen					
22) naftaleen					
26) pentachloorbenzeen					
7) som C10-C13-chlooralkanen					
8) chloorfenvinfos					
9a) som drins					

²⁵ Voor PFOS is nog geen betrouwbare logK_{ow}. Over de werkelijke risico's voor sediment is nog veel onbekend, maar tegelijkertijd kunnen deze risico's zeker nog niet worden uitgesloten.

²⁶ Eindoordeel wijkt af (strenger), omdat er voor deze stofgroep geen oppervlaktewater normen zijn en het aantal risico-indicaties daarmee per definitie lager zal zijn

Stof	Fys./Chemisch	Vóórkomen en mogelijke effecten			Fied
12) DEHP					
17) hexachloorbutadieen					
27) pentachloorfenol					
29a) tetrachlooretheen (per)					
29b) trichlooretheen (tri)					
31) trichloorbenzeen					
34) dicofof					
36) quinoxifen					
39) bifenox					
45) terbutrine					
1) alachloor					
3) atrazine					
4) benzeen					
6a) tetrachloormethaan (tetra)					
10) 1,2-dichloorethaan					
11) dichloormethaan					
13) diuron					
19) isoproturon					
29) simazine					
32) trichloormethaan					
42) dichloorvos					

Tabel 5: Overzicht van de verschillende argumenten waarom een prioritaire stof als waterbodembelovende probleemstof moet worden beschouwd.

- Aspect leidt niet tot een prioritering ($\log K_{ow} < 3$ of $\log K_{ow} \geq 3$ maar geen andere indicatie op risico)
- Aspect leidt tot een matige prioritering (1 keer donker oranje én ≥ 1 keer licht oranje of alleen 2 keer donker oranje)
- Aspect leidt tot een duidelijke prioritering (≥ 3 donker oranje of 2 keer donker oranje én ≥ 1 keer licht oranje)

3 PRIORITEREN VAN WATERBODEM RELEVANTE OPKOMENDE STOFFEN

Bij het beoordelen van de vraag of een stof waterbodemp relevant is, zouden voor opkomende stoffen in principe dezelfde argumenten gelden als in hoofdstuk 2 besproken voor de prioritare stoffen. Er zijn echter ook een aantal complicerende factoren, die direct te maken hebben met de term “opkomend”. In de wetenschappelijke literatuur worden verschillende definities voor opkomende stoffen (of in het Engels Chemicals of Emerging Concern, CEC's) gehanteerd, maar vaak terugkerende elementen zijn i) nog weinig inzicht in de concentraties in het milieu, ii) nog niet beleidsmatig gereguleerd en iii) in enigerlei mate verdacht op het veroorzaken van negatieve effecten op mens of milieu. Over het algemeen betekent dit dat van de in §2.1 genoemde zes argumenten:

- a. de logK_{oc} of logK_{ow} groter dan 3 is;
- b. er gegevens zijn over het voorkomen in de Vlaamse waterbodemp;
- c. er gegevens zijn over het voorkomen in biota uit Vlaanderen;
- d. er gegevens zijn over het voorkomen in Vlaams oppervlaktewater;
- e. er gegevens zijn over het voorkomen in specifieke locaties, zoals hotspots;
- f. er officiële normen zijn dan wel meer indicatief vastgestelde grenswaarden om inzichten in effecten te geven

alleen de logK_{oc} of logK_{ow} als eenduidig criterium overblijft. Daarnaast is er geen eenduidige lijst met opkomende stoffen. De lijsten verschillen per land en vraagstelling, maar er is ook per definitie sprake van variabiliteit. Zodra de problematiek rondom een opkomende stof voldoende in beeld is gebracht en er beleidsmatige maatregelen genomen worden, zou de opkomende stof niet meer “opkomend” heten. Deze afweging zal veelal gebaseerd worden op een vergelijking van concentraties in het milieu en verwachte effecten en zal daarmee inhoudelijk sterk lijken op de multicriteria analyse, zoals die in hoofdstuk 2 is besproken. Zoals gezegd kan deze methode echter alleen voor goed onderzochte opkomende stoffen worden toegepast. Daarnaast wordt de lijst aan de onderkant continu aangevuld met nieuw wetenschappelijk onderzoek, waarin telkens nieuwe, voorheen nog onbekende stoffen worden aangetroffen. In de literatuur is daarom gezocht naar methoden waarmee ook de groep van opkomende stoffen in kaart gebracht en geprioriteerd kunnen worden.

Naast allerlei meer specifiek gerichte onderzoeken (bv. gericht op een bepaalde stof of juist een bepaald gebied), zijn er in de literatuur ook een aantal studies aangetroffen, die de problematiek van opkomende stoffen in een breder kader beschouwen. Deze zijn hieronder samengevat. Wel is het belangrijk om bij al deze methoden op te merken dat de gebruikte gegevens de nodige onzekerheden kennen. Dat is tenslotte een kenmerk van opkomende stoffen. Deze onzekerheid kan echter gevolgen hebben voor de prioritering: het beschikbaar komen van nieuwe onderzoeksgegevens kan eenvoudig leiden tot een (veel) hogere of juist lagere risico-inschatting. Verder is er een onderscheid te maken tussen methoden, die zich qua vóórkomen vooral richten op monitoringsgegevens (§3.1-3.2) en methoden die ook vanuit het gebruik van de stof redeneren (§3.3).

3.1 DIAMOND ET AL (2011)

Diamond en co-auteurs beschrijven een methodiek om te komen tot een prioritering van opkomende stoffen, die in verder onderzoek aandacht behoeven. Eén van de kenmerken van opkomende stoffen is dat de hoeveelheid informatie over voorkomen, stofeigenschappen en toxiciteit nog beperkt en niet altijd even betrouwbaar is. Om deze tekortkomingen (deels) te ondervangen hebben de auteurs drie verschillende methoden tot prioritering uitgewerkt. Hoe hoger de stof in de drie methoden hoger scoort, hoe zekerder men kan zijn over de uiteindelijke prioritering. In totaal zijn er 517 verschillende stoffen in ogenschouw genomen.

3.1.1 Methode 1, gericht op risico's

In methode 1 zijn de risico's ingeschat op basis van de maximale concentratie in oppervlaktewater en het meest gevoelige eindpunt, waarbij op zowel chronische toxiciteit als oestrogene effecten is gelet. Deze eindpunten zijn deels gebaseerd op experimentele gegevens maar ook vaak geschat vanuit QSAR-relaties. Als de quotiënt van beide groter is dan 0,1, zijn de stoffen als mogelijk risicovol beoordeeld. De reden voor deze relatief lage triggerwaarde voor het quotiënt is het feit dat zowel de maximale concentratie in oppervlaktewater als het meest gevoelige eindpunt de nodige onzekerheden kennen. Voor 145 van de 517 stoffen kon deze quotiënt niet worden bepaald, omdat er óf geen monitoringsgegevens óf geen inzicht in de mogelijke toxiciteit beschikbaar was. Voor 31 stoffen was de quotiënt groter dan 0,1. Opvallend genoeg is de $\log K_{ow}$ voor 30 van deze 31 stoffen groter dan 3. In onderstaand overzicht zijn deze 30 stoffen ingedeeld in een aantal stofgroepen. Overigens is dit slechts een indicatie. Sommige stoffen kunnen namelijk in meerdere groepen worden ingedeeld.

Stofgroep	Aantal	Stoffen
Natuurlijke hormonen/steroiden	9	Campesterol, cholestanol, cholesterol, coprostanol, desmosterol, epicoprostanol, stigmastanol, stigmasterol en β -sitosterol
Oppervlakte-actieve stoffen	6	4-n-nonylfenol, 4-nonylfenol, 4-nonylfenol-diethoxycarboxylaat, 4-nonylfenol monoethoxycarboxylaat, 4-nonylfenol monoethoxylaat en para-nonylfenol
Weekmakers	4	Bis(2-ethylhexyl)adipaat, bis(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP), bisfenol A en di-N-octyl ftalaat
Geurstoffen	3	Galaxolide, musk-keton en AHTN (of tonalide)
Geneesmiddel	3	Fenoprofen, propranolol en novobiocin
Vlamvertrager	2	Hexabroomcyclododecaan (HBCDD) en PBDE-209
Industriële chemicaliën	2	Pentachloorfenol en 3-tert-butyl-4-hydroxy anisole
Persoonlijke verzorging	1	Triclosan
Gewasbeschermingsmiddel	1	Oryzalin

Tabel 6: Methode 1 Diamond et al. (2011)

3.1.2 Methode 2, gericht op risico's en gedrag

Deze methode maakt gebruik van hetzelfde quotiënt als in methode 1, maar maakt aanvullend ook gebruik van gegevens over persistentie en bioaccumulatie. Als trigger voor persistentie is gewerkt met een (gemeten of geschatte) halfwaarde tijd in water (≥ 180 dagen leidt tot hoog risico) en voor bioaccumulatie met een $\log K_{ow} > 5$. Ieder onderdeel (effect, persistentie en bioaccumulatie) leidt maximaal tot een score van 3 en bij een gesommeerde score ≥ 7 wordt over hoge prioriteit gesproken. Dit betreft 49 van de 517 stoffen. Deze hebben allen een $\log K_{ow}$ -waarde ≥ 3 en zijn daarmee in potentie waterbodembodem relevant. Ook in dit geval moet weer een kanttekening gemaakt worden: net zoals voor de effect-score (methode 1) geldt ook voor de persistentie en bioaccumulatie dat deze gegevens niet voor alle 517 stoffen bekend zijn. Voor stoffen, waarvoor één van de drie genoemde onderdelen (effect, persistentie, bioaccumulatie) niet kon worden ingeschat, leidt de methode automatisch tot een maximale score van 6. Het aantal van 49 stoffen betreft daarmee een onderschatting.

In onderstaand overzicht zijn deze 49 stoffen ingedeeld in een aantal stofgroepen. Hierbij valt op dat meerdere stoffen overeenkomen met de 31 stoffen die onder methode 1 al zijn benoemd. Stoffen die niet in methode 1 zijn benoemd zijn licht oranje gearceerd. Dit zijn met name allerlei gewasbeschermingsmiddelen. Verder valt op dat er in deze lijst ook stoffen als dieldrin en DDT worden genoemd, die (in de EU) al lang zijn verboden maar kennelijk door sommige nog steeds als opkomende stof zijn beschouwd. Dit heeft dan waarschijnlijk eerder te maken met bijvoorbeeld te weinig aandacht voor deze stoffen in regionale monitoringsprogramma dan met een gebrek aan kennis over de risico's van deze stoffen.

Stofgroep	Aantal	Stoffen
Gewasbeschermingsmiddel	23	Benfluralin, cis,trans&gamma chlordan, oxychloro, o,p' & p,p'-DDT, DDD en DDE, dieldrin, endrin, cis&trans nonachloor, heptachloor, hexachloorbenzeen, ethalfluralin, trifluralin, oryzalin, mirex, methoxychlor en pentachlooranisole (PCA)
Natuurlijke hormonen/steroiden	8	Campesterol, cholesterol, coprostanol, desmosterol, epicoprostanol, stigmastanol, stigmasterol en β -sitosterol
Oppervlakte-actieve stoffen	6	4-n-nonylfenol, 4-nonylfenol, 4-nonylfenol-diethoxycarboxyla, 4-nonylfenol monoethoxycarboxyla, 4-nonylfenol monoethoxyla en para-nonylfenol
Weekmakers	3	Bis(2-ethylhexyl)adipaat, bis(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP), di-N-octylftalaat
Geurstoffen	3	Galaxolide, musk-keton en AHTN (of tonalide)
Vlamvertrager	2	Hexabroomcyclododecaan (HBCDD) en PBDE-209
Geneesmiddel	1	Miconazool
Industriële chemicaliën	1	Pentachloorfenol
PAK	1	3-methylcholanthreen
Persoonlijke verzorging	1	Triclosan

Tabel 7: Methode 2 Diamond et al. (2011)

Ten slotte moet men zich realiseren dat deze prioriteringsmethodieken zijn toegepast op “eenvoudig beschikbare gegevens”. Voor meerdere van deze stoffen geldt dat er ook meer gedetailleerde risico-analyses beschikbaar zijn, die ook tot een ander oordeel kunnen leiden. Zo worden musken in methode 1 en 2 geprioriteerd en zijn deze mogelijk waterbodembodem relevant. Tegelijkertijd is er door het RIVM (Tas & Van de Plassche, 1996) een voorlopige risicobeoordeling uitgevoerd waaruit blijkt dat de risico's wel meevallen. Dit illustreert dat de thans besproken methoden geschikt zijn voor een eerste prioritering, maar dat een meer definitief oordeel over de eventuele risico's altijd een nadere, meer gedetailleerde studie vraagt.

3.1.3 Methode 3, gericht op PBT-criteria

Voor wat betreft de persistentie en bioaccumulatie is deze methode gelijk aan methode 2. Het verschil zit hem in de effecten. Waar methoden 1 en 2 gebruik maken van een risico-inschatting (concentraties/verwachte toxiciteit) is methode drie uitsluitend op kennis van de toxiciteit gebaseerd. Voor methode drie zijn monitoringsgegevens dus niet langer nodig. Ook in dit geval worden stoffen met een gesommeerde score ≥ 7 als risicovol beoordeeld. Dit blijkt voor 107 stoffen te gelden en alle 107 stoffen hebben een $\log K_{ow} \geq 3$. Deze toename in het aantal stoffen is een direct gevolg van de keuze om in de beoordelingsmethode niet langer van monitoringsgegevens gebruik te maken. Methode 3 prioriteert daardoor ook stoffen, die potentieel een probleem kunnen vormen maar waarvoor actuele aanwezigheid in het milieu nog niet (voldoende) is onderzocht of aangetoond.

Stofgroep	Aantal	Stoffen
Gewas- beschermings- middel	33	Benfluralin, cis,trans&gamma chlordan, oxychlordan, o,p' & p,p'-DDT, DDD en DDE, aldrin, dieldrin, endrin, cis&trans nonachloor, heptachloor& -epoxide, hexachloorbenzeen, ethalfluralin, trifluralin, chloorpyrifos, mirex, methoxychlor, pentachlooranisole (PCA), cis&trans permethrin, pendimethaline, perthaan, propargite, octachloorstyreen en 3-chloro-2,6-dinitro-N,N-dipropyl-4-(trifluoromethyl)-Benzenamine
PAK	15	Verschillende stoffen uit de groep 16 PAK, maar ook 3-methylcholanthreen, 1,3,6,8-tetrabroom-pyreen, 2-methylfluoranthreen, benzo[b]naphtho[2,1-d]thiopheen, benzo[e]pyreen en peryleen
Persoonlijke verzorging	10	Tetrakis(trimethylsiloxy)silane, phenyltris(trimethylsiloxy)silane, perfluoroperhydrophenanthreen en verschillende siloxanen nl. tetravinyl-tetramethylcyclo-tetrasiloxane, fluorosilicone cyclic trimer, dodecamethylcyclohexasiloxane, dodecylmethylpentasiloxane, heptamethylphenylcyclo-tetrasiloxane, hexadecamethyl heptasiloxane en octadecamethyl-octasiloxane)
Geurstoffen	9	Galaxolide, musk-keton, AHTN (of tonalide), acetyl cedrane, celestolide (ADBI), musk-xyleen, OTNE ²⁷ , phantolide (AHMI) en traseolide (ATII)
Natuurlijke hormonen / steroiden	9	Campesterol, cholesterol, coprostanol, desmosterol, epicoprostanol, stigmastanol, stigmasterol, beta-sitosterol en ergosterol
Industriële chemicaliën	8	Pentachloorfenol, diisopropylbiphenyl, 1,1-bis(3,4-dimethylfenyl)ethaan, 2-chloro-1,3,5-(trifluoromethyl)benzene, pentachloorbenzeenthiool (PCBT), UV absorber 328, alkofen B en trifenylfosfiet
Geneesmiddel	7	Miconazool, 17alpha-ethynylestradiol, beta-estradiol-3-benzoaat, clotrimazool, lofepamine, mestranol en tamoxifen
Vlamvertrager	7	Hexabroomcyclo-dodecaan (HBCDD), PBDE-209, 1,1'-1,2-ethanediylbis(oxy) bis 2,4,6-tribromo-benzeen, dechlorane, saytex BT 93, chlorendic acid dibutyl ester en bis(2-ethylhexyl) tetrabromophthalate
Oppervlakte- actieve stoffen	6	4-n-nonylfenol, 4-nonylfenol, para-nonylfenol, 4-n-octylfenol, 4-tert-octylfenol en octylfenol
Weekmakers	3	Bis(2-ethylhexyl)adipaat, bis(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP), di-N-octyl ftalaat
Geurstoffen	3	Galaxolide, musk-keton en AHTN (of tonalide)

Tabel 8: Methode 3 Diamond et al. (2011)

²⁷ OTNE = 1-(1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-2,3,8,8-tetramethyl-2-naphthalenyl)ethanone

3.2 NORMAN (2013)

In 2013 is er door de NORMAN-werkgroep “Prioritering van opkomende stoffen” een multicriteria beoordeling uitgevoerd, waarbij specifieke aandacht is besteed aan het feit dat de per stof beschikbare informatie sterk verschilde. Doel van de methode was niet alleen duidelijk maken aan welke stoffen aandacht moet worden besteed, maar tevens voorkómen dat de minder goed onderzochte stoffen daarbij op de achtergrond verdwijnen. Meer dan 700 opkomende stoffen zijn door de Norman-werkgroep beschouwd en ingedeeld in een van zes categorieën, ingedeeld op basis van de acties die ondernomen zouden moeten worden:

	Actie categorie	Huidige situatie
1	Opnemen in routine monitoring en afleiden van wettelijke bindende normen	Voldoende bewijs van blootstelling en nadelige effecten bij voor het milieu relevante concentraties
2	Onderzoeken huidige blootstellingsconcentraties in het milieu	Risico's zijn beoordeeld op basis van experimentele data maar er is weinig inzicht in milieuconcentraties
3	Verbeter de risicobeoordeling	Voldoende inzicht in blootstellingsconcentraties maar risicobeoordeling kent nog teveel onzekerheden
4	Verbeter analytische methoden	Risico's zijn gebaseerd op experimentele gegevens maar analytische methoden schieten te kort
5	Onderzoek naar concentraties in het milieu én verbetering van de risicobeoordeling	Weinig monitoringsgegevens én risicobeoordeling kent nog teveel onzekerheden
6	Verminder monitoring	Er is voldoende kennis om een betrouwbare norm af te leiden en huidige milieubelasting leidt niet tot risico's

Tabel 9: Norman-methodiek (2013)

De NORMAN werkgroep geeft hierbij aan dat deze indeling in zes categorieën louter is gericht op de te nemen actie en niet op de prioriteit hiervan. Een actie voor een stof in categorie 3 kan dezelfde prioriteit hebben als een actie voor een stof in categorie 1. Alleen verschilt de te nemen actie. Binnen iedere categorie zijn de stoffen wel te prioriteren. Verder wordt aangegeven dat het zeer belangrijk is om deze indeling regelmatig te updaten. Juist voor stoffen waar de beschikbare kennis nog te kort schiet, kan nieuwe kennis tot grote stappen leiden.

In Norman (2013) is beschreven op welke manier alle benodigde informatie is verzameld en hoe deze zijn beoordeeld. Als onderdeel is ook gekeken naar de risico's voor het sediment compartiment. Dit is echter minder ver uitgewerkt dan de beoordeling voor oppervlaktewater. Zo werd geconstateerd dat er voor veel stoffen nog weinig monitoringsgegevens voor sediment zijn. Ook is er weinig tot geen informatie over de ecotoxicologische effecten voor benthische organismen. De $PNEC_{sed}^{28}$ is daarom afgeleid van de PNEC voor oppervlaktewater, middels de daarvoor in de EU (2011) opgestelde rekenregels.

²⁸ $PNEC_{sed}$ = Predicted No Effect Concentration voor het sediment compartiment

Ondanks de in Norman (2013) beschreven methode en de verzamelde gegevens zijn de uitkomsten van deze studie niet openbaar gemaakt. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat de uitkomsten van deze methodiek tussen de deelnemende EU-landen zal verschillen, wat weer wordt veroorzaakt door een verschil in de hoeveelheid beschikbare monitoringsgegevens. De methode is wel op specifieke regio's toegepast, zoals de Donau (Slobodnik & von der Ohe, 2015) en Nederland (Deltares, 2017). Deze laatste is hieronder in meer detail beschreven.

3.3 DELTARES (2017)

In november 2016 werd in Nederland de intentieverklaring Delta-aanpak Waterkwaliteit en Zoetwater ondertekend. Binnen deze Delta-aanpak Waterkwaliteit werken de rijksoverheid, waterschappen, drinkwaterbedrijven, provincies, gemeenten, kennisinstituten, natuur, zorg- en landbouworganisaties en de industrie gezamenlijk aan het verder verbeteren van de waterkwaliteit. De risico's van opkomende stoffen is een van de hierin genoemde aandachtspunten. Om te komen tot een strategie voor de aanpak hiervan heeft een consortium van kennisinstituten en specialisten een prioriteringsmethodiek opgesteld (Deltares, 2017). Eén van de onderdelen hiervan is de NORMAN-methodiek zoals hierboven omschreven. Deze methodiek werd specifiek toegepast op monitoringsgegevens uit Nederland. Opkomende stoffen zijn in deze methodiek omschreven als nieuwe, relatief onbekende stoffen die nog niet zijn genormeerd en waarvoor bestaande informatie uitwijst dat er toch reden tot zorg is. Deze afbakening is niet altijd eenvoudig, waardoor de lijsten met opkomende stoffen tussen studies, jaren en landen verschillen. Bij het opstellen van de prioriteringsmethode zijn een aantal stappen doorlopen:

3.3.1 Verzamelen van basisinformatie

Voor iedere stof is gezocht naar informatie over:

- i) belasting door gebruik van producten (informatie betrof vooral metingen in afvalwater van RWZI's);
- ii) concentraties in water;
- iii) gevaareigenschappen en toxiciteitsdata (gebaseerd op de Norman-database en een database ontwikkeld als onderdeel van het project "Ecologische sleutelfactor Toxiciteit" [Stowa, 2016]). Gevaareigenschappen gaat over zaken als werkingsmechanisme, persistentie, bioaccumulatie en hormoonverstoring;
- iv) bestaande lijsten met zorgstoffen (al eerder opgestelde lijsten met stoffen die wellicht risico's veroorzaken zoals de EU-watchlist en de lijst van 'New or Emerging Risks of Chemicals');
- v) en haalbaarheid van maatregelen (hierbinnen spelen zowel technische als maatschappelijke aspecten en kunnen ook beleidsmatige keuzes een plek krijgen).

3.3.2 Integratie

Vervolgens is deze informatie met elkaar gecombineerd tot een overzichtstabel met verschillende parameters, zoals gebruikstype (bijv. geneesmiddel, industriële stof etc.), een risicoscore voor RWZI-effluent (P_{90} van de meetgegevens gedeeld door de PNEC²⁹ uit de Norman database) en de mobiliteit en persistentie van een stof (PMOC³⁰). Daarnaast is iedere stof ingedeeld in één van de zes benoemde actiecategorieën cf. de NORMAN prioriteringsmethodiek, namelijk:

- i) risico aangetoond, overweeg opname in regulering;
- ii) zorg vanwege ecotoxiciteit maar meer meetgegevens nodig;
- iii) zorg vanwege voorkomen in milieu maar meer ecotoxiciteitsgegevens nodig;
- iv) risico onbekend, verbetering van analyse nodig;
- v) risico onbekend, meer meet- en ecotoxiciteitsgegevens nodig;
- vi) geen risico, geen actie nodig.

3.3.3 Conclusies en aanbevelingen

Vanuit deze geïntegreerde gegevens zijn op meerdere manieren doorsnedes te maken door bijvoorbeeld te kijken naar stoffen binnen de actiecategorie “risico aangetoond, overweeg opname in regulering”, die tevens een hoge risicoscore voor RWZI-effluent hebben. Op basis hiervan zijn verschillende aanbevelingen geformuleerd zoals:

“Er staan 217 werkzame stoffen uit de categorie geneesmiddelen op de NORMAN-stoffenlijst. Voor 41 van deze stoffen is volgens de NORMAN-methodiek risico aangetoond of is er reden tot zorg (categorieën 1, 2 of 3). Daarvan zijn de volgende stoffen frequent gemeten in effluenten én op een of meerdere lijsten van zorgstoffen vermeld: clarithromycine, diclofenac, ibuprofen, carbamazepine, erythromycine, ciprofloxacine, azithromycine, roxithromycine en cafeïne”.

Een belangrijke conclusie is verder dat de resultaten van een dergelijke prioritering afhangen van de betrouwbaarheid van de gebruikte gegevens. Het algemene advies is daarom om de geprioriteerde stoffen eerst aan een nadere beschouwing te onderwerpen om te controleren of de prioritering op alle vlakken een reëel beeld heeft opgeleverd.

Deze prioritering heeft zich vooral gericht op het compartiment oppervlaktewater en doet geen uitspraken over de risico's voor sediment. Tegelijkertijd kan dit wel worden toegevoegd door binnen de geprioriteerde stoffen aanvullend te selecteren op stoffen met een $\log K_{oc} > 3$. Dit levert de volgende resultaten op.

Groep 1 stoffen “risico aangetoond, overweeg opname in regulering”

Binnen deze categorie zijn er 30 stoffen met een $\log K_{oc}$ -waarde > 3 . Naast fenanthreen zijn dit uitsluitend gewasbeschermingsmiddelen en/of biociden. Dit wordt veroorzaakt doordat er voor stoffen in deze categorie altijd monitoringsgegevens voorhanden moeten zijn en gewasbeschermingsmiddelen worden in Nederland veelvuldig gemonitord.

²⁹ PNEC = Predicted No Effect Concentration

³⁰ PMOC = Persistente en Mobiele Organische Contaminant

Stofgroep	Aantal	Stoffen
Gewasbeschermingsmiddel	29	Heptachloorepoxide, imidacloprid, azoxystrobin, thiacloprid, parathion, triallaat, chlorothalonil, prosulfocarb, pendimethalin, fipronil, prochloraz, deltamethrin, abamectine, chloorpyrifos methyl, aclonifen, flufenacet, lambda-cyhalothrin, indoxacarb, cypermethrin, azinphos-ethyl, fenthion, dichlofluanide, diflufenican, esfenvalerate, pyriproxyfen, alpha-cypermethrin, oxadiazon, quinoxyfen en 2,3,4,6-tetrachlorophenol
PAK	1	Fenanthreen

Tabel 10: Groep 1 stoffen

Groep 2 stoffen “zorg vanwege ecotoxiciteit maar meer meetgegevens nodig”

Binnen deze categorie zijn er 37 stoffen met een $\log K_{oc}$ -waarde >3 .

Stofgroep	Aantal	Stoffen
Gewasbeschermingsmiddel / biocide	14	Brodifacoum, permethrin, etofenprox, bifenthrin, chlorfenapyr, 2,4,6-trichlorophenol, 2,4,5-trichlorophenol, piperonyl butoxide, chlorthal-dimethyl, bromoxynil octanoate, flufenoxuron, fenarimol, warfarin (coumadin) en bromadiolone
Persoonlijke verzorging	6	Galaxolide, ethylhexyl methoxycinnamate, triclosan, butylated hydroxytoluene, musk xyleen en musk ketone
Geneesmiddel	6	Diphenhydramine, estrone, fluoxetine, sarafloxacin, tylosin en valnemulin
Vlamvertrager	5	Perchloropentacyclodecane, tetrabromobisphenol A, PBDE 153, 154 en 183
Industriële chemicaliën	4	N-nitrosodiphenylamine, bifenyl, 2,4-dichloorfenol en 2,3,4-trichloroaniline
Weekmakers	2	Bisphenol A en benzylbutylphthalate

Tabel 11: Groep 2 stoffen

Groep 3 stoffen “zorg vanwege voorkomen in milieu maar meer ecotoxiciteitsgegevens nodig”

Binnen deze categorie zijn er 3 stoffen met een $\log K_{oc}$ -waarde >3 .

Stofgroep	Aantal	Stoffen
Gewasbeschermingsmiddel / biocide	1	Orbencarb
Geneesmiddel	1	Hydrochlorothiazide
Vlamvertrager	1	Hexabromobenzene

Tabel 12: Groep 3 stoffen

Tegelijkertijd zijn er twee belangrijke kanttekeningen bij dergelijke lijsten te maken:

1 Betrouwbaarheid van de $\log K_{oc}$ -waarde

Bovenstaande lijsten van geselecteerde stoffen zijn gebaseerd op de $\log K_{oc}$ -waarde, zoals die in 2016 beschikbaar waren in de Norman-database. In 2018 is er een update uitgevoerd en deze update laat voor meerdere stoffen verschillen zien. Daarnaast zijn er in de literatuur ook andere bronnen beschikbaar om inzicht te geven in de $\log K_{oc}$ -waarde en kan ook de $\log K_{ow}$ -waarde als trigger worden gebruikt. Als de selectie wordt uitgevoerd op de maximale $\log K_{oc}$ - of $\log K_{ow}$ -waarde die uit deze verschillende bronnen bekend is dan neemt het aantal stoffen in categorie 1, 2 en 3 toe tot respectievelijk 48, 63 en 6.

2 Betrouwbaarheid van de PNEC-waarde voor oppervlaktewater

Bij het beoordelen van risico's wordt de laagste PNEC-waarde (Predicted No Effect Concentration) vergeleken met monitoringsgegevens. Ook de PNEC is echter vaak een geschatte waarde en kan die met het beschikbaar komen van nieuwe informatie sterk verschillen. Zo zijn de lijsten met PNEC-waarden uit de Norman database van 2016 en 2018 met elkaar vergeleken. Bij slechts 27% van de stoffen is de PNEC-waarde gelijk gebleven. In 19% van de gevallen is de PNEC meer dan een factor 10 gestegen (minder giftig) en in 14% met meer dan een factor 10 afgenomen (giftiger). In de andere gevallen is het verschil minder dan een factor 10 maar nog steeds ongeveer gelijk verdeeld over toegenomen en afgenomen PNEC-waarden.

Zoals hierboven al aangegeven, illustreert dit waarom er binnen de Norman-werkgroep geen lijsten openbaar zijn gemaakt en mag worden aangenomen dat een toepassing op Vlaanderen tot andere uitkomsten leidt dan in bijvoorbeeld de Nederlandse studie. Als is het alleen maar omdat de beschikbare monitoringsresultaten verschillen.

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Om te komen tot een prioritering van waterbodembodem relevante stoffen kan men gebruik maken van zowel bestaande monitoringsgegevens als gegevens over het gebruik van de verschillende stoffen. In de huidige studie zijn beide opties nader beschreven, waarbij de prioritairere stoffen zijn gebruikt als voorbeeld voor een prioritering vanuit bestaande gegevens en opkomende stoffen als een voorbeeld voor een prioritering vanuit gebruik. Dit heeft tot de volgende conclusies en aanbevelingen geleid.

4.1 CONCLUSIES

4.1.1 Prioritaire stoffen

- Een prioritering van waterbodembodem relevante prioritairere stoffen leidt tot een indeling in drie categorieën, namelijk geen, matige of duidelijke prioritering. Deze groepen betreffen 24, 16 en 14 stoffen respectievelijk. De stoffen die een duidelijke prioritering krijgen zijn een drietal metalen (Hg, Ni, Cd), meerdere PAK's (fluorantheen, benzo[a]pyreen, benzo[b]fluorantheen, benzo[k]fluorantheen, benzo[ghi]peryleen, antraceen) en de stoffen PFOS, heptachloor & -epoxide, gebromeerde vlamvertragers (PBDE's), dioxines en TBT. Van al deze stoffen is de duidelijke prioritering niet onverwacht. Zo wordt deze prioritering gestaafd vanuit wetenschappelijk onderzoek, effectgerichte monitoring en/of eerdere saneringsbeslissingen. Daarnaast zijn het vrijwel allemaal zogenaamde alomtegenwoordige stoffen. Deze stoffen zijn nog tientallen jaren terug te vinden in het aquatisch milieu in concentraties die een risico vormen, zelfs als alle denkbare maatregelen om emissies te beperken of te beëindigen genomen zijn. De uitzonderingen betreffen nikkel, cadmium, fluorantheen en antraceen. Overigens wil dit niet zeggen dat er niet ook hotspots van deze stoffen kunnen vóórkomen.
- Stoffen met een matige prioritering zijn veelal te karakteriseren als normoverschrijdende stoffen met een neiging om aan sediment te binden. Deze normoverschrijdingen zijn vooral in het oppervlaktewater aangetroffen en nauwelijks in de waterbodembodem vastgesteld. In veel gevallen wordt dit veroorzaakt doordat er geen normen of grenswaarden voor het sediment zijn vastgesteld of doordat de stof niet in de routinematige monitoring van sediment is opgenomen. Waar stoffen in de categorie "duidelijke prioritering" aantoonbaar risico's veroorzaken, die ook waterbodembodem gerelateerd zijn, is dit voor de stoffen in de categorie "matige bedreiging" nog niet zo zeker. De frequentie waarmee de normen in oppervlaktewater worden overschreden is laag (<10% van de toetsingen). Dit duidt op lokale problemen. Deze categorie bestaat uit 16 stoffen namelijk enkele (oude) gewasbeschermingsmiddelen (ethylchlorpyrifos, DDTx, endosulfan, som HCH, trifluraline), lood, naftaleen, hexa- en pentachloorbenzeen, nonylfenol, 4-tertiar-octylfenol en een aantal nieuwe prioritairere stoffen (aclonifen, cybutrine, cypermethrin, HBCDD).
- De toegepaste werkwijze schetst een denkraam waarmee de gewenste prioritering kan worden uitgevoerd. Het voordeel is dat dergelijke multicriteria analyses altijd met extra gegevens en criteria kunnen worden uitgebreid. Nadeel is wel dat de methode alleen toepasbaar is voor stoffen, waarvoor al het nodige bekend is. Dit werd duidelijk geïllustreerd in de toepassing op opkomende stoffen.

4.1.2 Opkomende stoffen

- In de literatuur zijn meerdere methoden beschreven waarmee bekeken kan worden in welke mate opkomende stoffen tot (mogelijke) risico's kunnen leiden en vervolgacties geprioriteerd kunnen worden. Alle methoden worden echter in meer of mindere mate gestuurd door de hoeveelheid beschikbare informatie en de uitkomsten vormen daarmee een momentopname. Tegelijkertijd zijn deze momentopnames niet waardeloos. Ze geven weldegelijk inzicht in de thans beschikbare informatie en kunnen leiden tot keuzes in de te nemen vervolgstappen, zolang ze maar als een 'stap in het proces' gezien worden en niet als een sluitend antwoord.

4.2 AANBEVELINGEN

4.2.1 Prioritaire stoffen

- Voor de 14 prioritaire stoffen uit de hoogste categorie ("duidelijke prioritering voor waterbodembodem relevantie") verplicht de KRW, vanwege de geconstateerde normoverschrijdingen in biota en/of oppervlaktewater, tot een nadere risico karakterisatie per waterlichaam of het (waar mogelijk) nemen van maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren. Naast het evalueren van generiek beleid, dient men na te gaan in hoeverre lokale emissies het realiseren van de KRW-doelen belemmeren. Dit geldt ook voor de alomtegenwoordige stoffen. Zijn de emissies in voldoende mate beperkt of beëindigd, dan dient men na te gaan in hoeverre de waterbodembodem als secundaire bron fungeert en in welke mate een saneringsmaatregel een kosteneffectieve maatregel kan zijn. De OVAM wordt aanbevolen om dit proces waar nodig en mogelijk te versterken. Hier zijn op meerdere werkvelden verschillende opties voor zoals:

Beleidsmatig:

- het vaststellen van waterbodembodem normen gebaseerd op een gedegen, stofspecifieke risico-evaluatie;
- nagaan hoe de hoeveelheid organisch materiaal in sediment in deze normstelling opgenomen kan worden.

Risicobeoordeling:

- een methodiek opstellen waarmee men kan beoordelen in welke mate verontreinigd sediment een bedreiging vormt voor de aan het waterlichaam gestelde (KRW) doelen;
- nagaan in welke mate ruimingsspecie na deponering op de landbodembodem tot risico's kan leiden.

Maatregelen:

- onderzoek doen naar herverontreinigingsniveaus en lokaal aanwezige emissies en hotspots

- Voor de 16 stoffen uit de middelste categorie ("matige prioritering voor waterbodembodem relevantie") zijn er zorgen over de verontreiniging van de waterbodembodem met deze stoffen, maar bestaat voorsnog te weinig informatie om al over een aantoonbare bedreiging te spreken. Deze stoffen zouden daarom nader onderzocht moeten worden. Dat kan op meerdere manieren. Zo kan er in de literatuur gezocht worden naar bestaande waterbodembodem normen in andere landen, kunnen uitgevoerde (onderzoeks)projecten informatie opleveren die aanvullend is ten opzichte van de huidige monitoringsresultaten en kan via extra monitoring ook het inzicht in de gehalten in de waterbodembodem worden vergroot.

4.2.2 Opkomende stoffen

- Naast enkele gerichte, wetenschappelijke onderzoeken bestaat er in Vlaanderen nog weinig inzicht in het vóórkomen van opkomende stoffen in sediment. OVAM wordt daarom aanbevolen om het vraagstuk over “sediment relevante opkomende stoffen” ook vanuit inzichten in gebruik en emissies te benaderen. De methode zoals door Deltares (2017) is beschreven biedt hier handvaten voor. Hiertoe zou als eerste bekeken moeten worden in welke mate er in Vlaanderen gebruik gegevens van de diverse stoffen per bedrijfscategorie beschikbaar zijn. Dergelijke gegevens kunnen tenslotte ook inzicht geven in waar men mogelijk hotspots zou kunnen verwachten of welke stoffen bij welke gebruiksfunctie of lozing in beeld gebracht kunnen worden.

5 REFERENTIES

Deltares (2017). Naar een strategie voor opkomende stoffen. Deltares-rapport nr. 1230099-007.

Diamond JM, HA Latimer, KR Munkittrick, KW Thornton, SM Bartell & KA Kidd (2011). Prioritizing Contaminants of Emerging Concern for Ecological Screening Assessments. *Environ. Toxicol. Chem.* 30(11): 2385-2394.

EU (2011). Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 27. Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards.

Norman (2013). NORMAN Prioritisation framework for emerging substances. Eds. V Dulio & PC von der Ohe. NORMAN Association N° W604002510. ISBN : 978-2-9545254-0-2.

Slobodnik J & PC von der Ohe (2015). Identification of the Danube River Basin Specific Pollutants and Their Retrospective Risk Assessment. In: Liska I. (eds) *The Danube River Basin. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 39. Springer, Berlin, Heidelberg; pp 95-110.

STOWA (2016). Ecologische sleutelfactor toxiciteit. Deel 1. Methode voor het in beeld brengen van de effecten van giftige stoffen in oppervlaktewater. Stowa-rapport 2016-15 A.

Tas, JW & EJ van de Plassche (1996). Initial risk assessment of musk ketone and musk xylene in the Netherlands in accordance with the EU-TGD. Rapportnr. 601503002.

Teuchies, J, K De Schampelaere, R Blust & L Bervoets (2019). Sediment triggerwaarden voor verder onderzoek. Universiteit van Antwerpen. Uitgevoerd in opdracht van de OVAM m.m.v. de VMM en Arche. Concept.

Teunen L, C Belpaire, F Dardenne, R Blust, & L Bervoets (2017). Veldstudie naar de monitoring van biota in het kader van de rapportage van de chemische toestand voor de Kaderrichtlijn Water 2015-2016. Universiteit Antwerpen (UA) in samenwerking met het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).

Teunen L, C Belpaire, F Dardenne, R Blust, A Covaci & L Bervoets (2018). Veldstudie naar de monitoring van biota in het kader van de rapportage van de chemische toestand voor de Kaderrichtlijn Water 2016-2017. Universiteit Antwerpen (UA) in samenwerking met het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).

Teunen L, C Belpaire, F Dardenne, R Blust, A Covaci & L Bervoets (2019). Veldstudie naar de monitoring van biota in het kader van de rapportage van de chemische toestand voor de Kaderrichtlijn Water 2017-2018. Universiteit Antwerpen (UA) in samenwerking met het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).

5.1 AANVULLENDE ACHTERLIGGENDE LITERATUUR OVER OPKOMENDE STOFFEN (GERICHT OP SEDIMENT, BODEM OF TRENDS)

Agunbiade FO & B Moodley (2016). Occurrence and distribution pattern of acidic pharmaceuticals in surface water, waste water, and sediment of the Msunduzi river, Kwazulu-Natal, South Africa. *Environ. Toxicol. Chem.* 35 (1): 36-46.

Bjurlid F, A Roos, I Ericson-Jogsten & J Hagberg (2018). Temporal trends of PBDD/Fs, PCDD/Fs, PBDEs and PCBs in ringed seals from the Baltic Sea (*Pusa hispida botnica*) between 1974 and 2015. *Sci of Tot Environ* 616-617: 1374-1383.

Bradley PM, WA Battaglin, LR Iwanowicz, JM Clark & CA Journey (2016). Aerobic biodegradation potential of endocrine-disrupting chemicals in surface-water sediment at Rocky Mountain national park, USA. *Environ. Toxicol. Chem.* 35 (5): 1087-1096.

Cincinelli A, T Martellini, L Misuri, E Lanciotti, A Sweetman, S Laschi & la Palchetti (2012). PBDEs in Italian sewage sludge and environmental risk of using sewage sludge for land application. *Environ. Poll.* 161: 229-234.

De la Cal, A, E Eljarrat, T Grotenhuis & D Barceló (2008). Tenax extraction as a tool to evaluate the availability of polybrominated diphenylethers, DDT, and DDT metabolites in sediments. *Environ Toxicol Chem* 27 (6): 1250-1256.

Eljarrat E, G Marsh, A Labandeira & D Barceló (2008). Effect of sewage sludges contaminated with polybrominated diphenylethers on agricultural soils. *Chemosphere* 71: 1079-1086.

Elliott SM, KE Lee, ME Brigham, SK Langer, MM Trombley, MA Menheer, ET Furlong, WT Foreman, ZG Jorgenson, SJ Choy, JN Moore, JB Banda & DJ Gefell (2015). Chemicals of Emerging Concern in Water and Bottom Sediment in Great Lakes Areas of Concern, 2013—Analytical Methods, Collection Methods, Environmental Data, and Quality Assurance: U.S. Geological Survey Data Release, <http://dx.doi.org/10.5066/F7DF6P9D>

Elliott SM, ME Brigham, KE Lee, JA Banda, SJ Choy, DJ Gefell, TA Minarik, JN Moore & ZG Jorgenson (2017). Contaminants of emerging concern in tributaries to the Laurentian Great Lakes: I. Patterns of occurrence. *PLoS ONE* 12(9): e0182868.

Environmental Canada (2013). Canadian Environmental Protection Act, 1999. Federal Environmental Quality Guidelines. Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs).

Fairbairn DJ, ME Karpuzcu, WA Arnold, BL Barber, EF Kaufenberg, WC Koskinen, PJ Novak, PJ Rice & DL Swackhamer (2015). Sediment–water distribution of contaminants of emerging concern in a mixed use watershed. *Sci of the Tot Environ* 505: 896–904.

Hyland KC, AC Blaine & CP Higgins (2015). Accumulation of contaminants of emerging concern in food crops-Part 2: Plant distribution. *Environ. Toxicol. Chem.* 34 (10): 2222-2230.

- Lin H, Y Hu, X Zhang, Y Guo & G Chen (2011). Sorption of triclosan onto sediments and its distribution behavior in sediment-water-Rhamnolipid systems. *Environ. Toxicol. Chem.* 30 (11): 2416-2422.
- Kiesling RL, SM Elliott, LE Kammel, SJ Choy & SL Hummel (2019). Predicting the occurrence of chemicals of emerging concern in surface water and sediment across the U.S. portion of the Great Lakes Basin. *Sci of the Total Environ.* 651: 838-850.
- Kuzmanovic M, A Ginebreda, M Petrovic & D Barceló (2016). Contaminants of Emerging Concern in Mediterranean Watersheds. In: M. Petrovic et al. (eds.), *Emerging Contaminants in River Ecosystems*, *Hdb Env Chem* (2016) 46: 27–46, DOI 10.1007/698_2015_5016.
- Lao W, D Tsukada, DJ Greenstein, SM Bay & KA Maruya (2010). Analysis, occurrence, and toxic potential of pyrethroids, and fipronil in sediments from an urban estuary. *Environ. Toxicol. Chem.* 29(4): 843-851.
- Maruya KA, DE Vidal-Dorsch, SM Bay, JW Kwon, K Xia & KL Armbrust (2012). Organic contaminants of emerging concern in sediment and flatfish collected near outfalls discharging treated wastewater effluents to the southern California bight. *Environ. Toxicol. Chem.* 31(12): 2683-2688.
- Maruya KA, D Schlenk, PD Anderson, ND Denslow, JE Drewes, AW Olivieri, GI Scott & SA Snyder (2014). An Adaptive, Comprehensive Monitoring Strategy for Chemicals of Emerging Concern (CECs) in California's Aquatic Ecosystems. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 10: 69–77.
- Maruya KA, NG Dodder, A Sengupta, DJ Smith, JM Lyons, AT Heil & JE Drewes (2016). Multimedia screening of contaminants of emerging concern (CECs) in coastal urban watersheds in southern California (USA). *Environ. Toxicol. Chem.* 35(8): 1986-1994.
- Narragansett Bay Estuary Program (2017). State of Narragansett Bay and its watershed (Chapter 10, Emerging Contaminants; pages 211-218. Technical Report. Providence, RI.
- Pintado-Herrera MG, PA Lara-Martin, E Gonzalez-Mazo & IJ Allan (2016). Determination of silicone rubber and low-density polyethylene diffusion and polymer/water partition coefficients for emerging contaminants. *Environ. Toxicol. Chem.* 35(9): 2162-2172.
- Rigét F, A Bignert, B Braune, M Dam, R Dietz, M Evans, N Green, H Gunnlaugsdóttir, KS Hoydal, J Kucklick, R Letcher, D Muir, S Schuur, C Sonne, G Stern, G Tomy, K Vorkamp & S Wilson (2019). Temporal trends of persistent organic pollutants in Arctic marine and freshwater biota. *Science of the Total Environment* 649: 99–110.
- Rogowska J, E Olkowska, W Ratajczyl & L Wolska (2018). Gadolinium as a new emerging contaminant of aquatic environments. *Environ Toxicol Chem* 37: 1523–1534.
- Shaw SD & K Kannan (2009). Polybrominated Diphenyl Ethers in marine ecosystems of the American continents: Foresight from current knowledge. *Reviews on Environmental Health; Vol 24* (3): 157-229.

Zhao W, M Cai, d Adelman, M Khairy, P August & R Lohmann (2018). Land-use-based sources and trends of dissolved PBDEs and PAHs in an urbanized watershed using passive polyethylene samplers. *Environ. Pollut.* 238: 573-580.

Zhu B, JCW Lam, S Yang & PKS Lam (2013). Conventional and emerging halogenated flame retardants (HFRs) in sediment of Yangtze River Delta (YRD) region, East China. *Chemosphere* 93: 555–560.