

Alkylfosfaatesters—samenvatting activiteiten WAOS (6 oktober 2025)

Anja Derksen (AD eco advies) en Lisa van Eck (Deltares)

Wat vooraf ging

De WAOS heeft al langere tijd aandacht voor alkylfosfaatesters, een groep van stoffen die als weekmakers en brandvertragers worden gebruikt. Deze stoffen komen vrij bij productie en uit de materialen waarin ze worden toegepast. Sommige alkylfosfaatesters verspreiden zich via de lucht. Rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) worden beschouwd als een belangrijke route voor alkylfosfaatesters naar oppervlaktewater.

In 2016 werd door de Werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen (WAOS) een prioritering van stoffen volgens de NORMAN-systematiek uitgevoerd. Hieruit kwam de groep (gehalogeneerde) alkylfosfaten naar voren als stofgroep die mogelijk een groepsgerichte aanpak verdiend (Osté et al., 2017). In 2017 is door Derksen & Berbee een memo geschreven waarin gebruik, voorkomen in het milieu en milieueigenschappen van deze stoffen zijn samengevat en een aantal mogelijke vervolgacties zijn geformuleerd. Omdat deze memo de beschikbare kennis kort maar krachtig samenvat is deze opgenomen in bijlage 1. Geconcludeerd werd dat alkylfosfaatesters in de literatuur wijdverspreid en frequent werden aangetroffen in lucht, huisstof, water, sediment, afvalwater en biota, maar dat de meetgegevens in Nederland zeer beperkt waren en recente productie- en gebruikscijfers voor Nederland ontbraken. Risicoinschattingen waren redelijk gedateerd, maar normen werden over het algemeen niet overschreden. Veranderingen in productievolume en toegepaste hoeveelheden, alsmede de nieuwe inzichten in stofeigenschappen en toxiciteit, zouden echter tot een andere risicoinschatting kunnen leiden.

Diverse aanvullende acties om beter inzicht te krijgen in de (trends in) concentraties en in de risico's, hebben onvoldoende opgeleverd om nieuwe conclusies te kunnen trekken (Roskam, 2018; aanvullend onderzoekwerk in 2020/2021). Een nieuwe prioritering van stoffen volgens de NORMAN-systematiek (Osté et al., 2022) bevestigde eerdere conclusies dat de meetgegevens van alkylfosfaatesters beperkt en zeer diffuus zijn. Ze werden wel met enige regelmaat aangetroffen, zowel in rijkswateren als in regionale wateren, maar veroorzaakten geen risico. Met deze NORMAN- analyse werden eerdere conclusies beter onderbouwd. Door Derksen (2022) werden alkylfosfaatesters als aandachtvragende stoffen in effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties aangemerkt vanwege frequent aantreffen en (soms) hoge toxiciteit. Daarnaast werd geconstateerd dat vanwege de hoge concentraties in drinkwaterbronnen (soms hoger dan 1 µg/l) alkylfosfaatesters ook vanuit de drinkwatervoorziening aandacht vragen (Roskam, 2018).

Tussenbalans

Doordat toxiciteitsgegevens en monitoringsgegevens blijven ontbreken, is het lastig om de conclusies voor deze stofgroep verder te brengen. Ondanks uitgevoerde exercities blijven er onduidelijkheden over het voorkomen en de trends in concentraties, de stofeigenschappen en toxiciteit. Voor een aanzienlijk deel van de stoffen binnen deze stofgroep ontbreken deze gegevens in z'n geheel. Ook is het lastig om een aanpak voor deze stoffen te formuleren: er is weinig handelingsperspectief, omdat de bronnen veelal diffuus zijn.

Nieuwe inzichten?

Brandvertragers, waaronder alkylfosfaatesters, zijn de afgelopen jaren door de European Chemicals Agency (ECHA) als stofgroep geëvalueerd als onderdeel van het communautair voortschrijdend actieplan (CoRAP: Community Rolling Action Plan) onder de REACH wetgeving. De CoRAP beoordeling heeft ten doel duidelijk te maken of de vervaardiging en/of het gebruik van deze stoffen een risico kan vormen voor de gezondheid van de mens of voor het milieu.

Bovendien zijn er meer recent monitoringsgegevens in oppervlaktewater samengebracht ten behoeve van de Tussenevaluatie Kaderrichtlijn Water (KRW) (van Eck et al., 2024) en zijn monitoringsgegevens in influent en effluent van rwzi's samengebracht in een update van de Watson database¹. In beide gevallen betreft het zeer grote databestanden. Meetgegevens in drinkwater of grondwater zijn niet geëvalueerd. Wel zijn enkele

¹ <https://www.emissieregistratie.nl/data/watson-rwzi-emissiedata/watson-database>.

meetgegevens in bronnen voor drinkwater, waaronder meetgegevens in de Rijn en Maas, afkomstig uit de RIWA-base, beschouwd. Nagegaan is of deze nieuwe informatie nog tot nieuwe inzichten leidt.

Tevens is gekeken naar het voorkomen van alkylfosfaatesters op enkele stoflijsten: (potentieel) Zeer Zorgwekkende Stoffen (stand september 2025), KRW-stoffen, drinkwaterrelevante stoffen (RIWA) en aandachtvrage stoffen in rwzi-effluent (Derksen, 2022).

Bevindingen evaluatie noodzaak beleidsmaatregelen

In 2023 publiceerde ECHA een beleidsstrategie voor brandvertragers (ECHA, 2023a). In dit document zijn verschillende groepen van brandvertragers benoemd en is de noodzaak tot beleidsacties geëvalueerd. Alkylfosfaatesters zijn daarbij onder de groep organofosfaat brandvertragers geplaatst. Er zijn daarbinnen verschillende subgroepen onderscheiden (zie bijlage 2 voor stoffen en indeling). Voor deze subgroepen zijn aparte evaluaties van de noodzaak tot beleidsacties verschenen (ECHA, 2021; ECHA, 2023b; ECHA, 2025). De belangrijkste bevindingen worden hieronder samengevat:

1. Trialkylfosfaatesters
Bij deze subgroep bestaan de zijketens uit koolstofketens met uitsluitend koolstof en waterstof. Voorbeelden zijn TBP en TEHP. De subgroep bestaat uit 10 stoffen. Trialkylfosfaatesters zijn potentieel hormoonverstorend en carcinogeen. Bij korte ketens (trimethylfosfaat en triethylfosfaat) spelen ook andere gevaarseigenschappen een rol (ECHA, 2023).
2. Gechloreerde trialkylfosfaatesters
Bij deze subgroep bestaan de zijketens uit koolstofketens met een chlooratoom er in. Voorbeelden zijn TCPP en TCEP. De subgroep bestaat uit 10 stoffen. Van deze 10 stoffen is nog maar een deel toegelaten in de EU. De stoffen in deze subgroep zijn bewezen of verdacht carcinogeen. Daarnaast spelen ook reproductietoxiciteit, neurotoxiciteit, hormoonverstoring en/of persistentie, bioaccumulatie, mobiliteit en/of toxiciteit mogelijk een rol (ECHA, 2025).
3. Trifenyfosfaat derivaten
De zijketens bestaan uit ringvormige koolstofketens². Bijvoorbeeld TPP. De subgroep bestaat uit 18 stoffen. Al deze stoffen zijn bewezen of verdacht reproductietoxisch en hormoonverstorend (ECHA, 2021; ECHA, 2023a). TPP is in 2024 aangewezen als Substance of Very High Concern (SHVC).

Voor alle drie de subgroepen geldt dat de gevaarsindelingen nog definitief bevestigd moeten worden alvorens tot beleidsmaatregelen voor de gehele groep kan worden overgegaan. Als de gevaarseigenschappen worden bevestigd zijn de volgende stappen classificatie en labelling, gevolgd door aanwijzing als Substance of Very High Concern (SHVC) en restrictie voor professioneel gebruik.

² Formeel zijn dit geen alkylfosfaatesters maar arylfosfaatesters. Omdat ze in dezelfde evaluaties en in hetzelfde analysepakket als alkylfosfaatesters worden meegenomen worden ze in deze memo toch genoemd. Daar waar in deze memo gesproken wordt over alkylfosfaatesters worden ook de trifenyfosfaat derivaten bedoeld.

Voorkomen op stoflijsten

Voor details ten aanzien van het voorkomen op stoflijsten, de gevaarsindeling en beleidsmatig vastgestelde risicogrenzen wordt verwezen naar bijlage 2.

Enkele alkylfosfaatesters zijn als Zeer Zorgwekkende stof aangemerkt (zie tabel 1)³.

Tabel 1 Alkylfosfaatesters die als (potentieel) Zeer Zorgwekkende Stof zijn aangemerkt. Tenzij anders vermeld betreft het indeling als ZZS. Stand september 2025.

CAS-nr	Stofnaam	ZZS wegens
<i>Alkylfosfaatesters</i>		
512-56-1	Trimethylfosfaat (TMP)	EU gevaarsindeling
<i>Gechloreerde alkylfosfaatesters</i>		
115-96-8	tris(2-chloorethyl)fosfaat (TCEP)	EU gevaarsindeling en REACH SVHC
<i>Trifenyfosfaat derivaten</i>		
115-86-6	Trifenyfosfaat (TPP)	REACH SVHC
192268-65-8	mengsel van: trifenylthiofosfaat en tertiair gebutyleerde fenylderivaten	REACH SVHC
25155-23-1	trixylyl fosfaat (TXP)	EU gevaarsindeling en REACH SVHC
68937-41-7	isopropylfenyl fosfaat (3:1) (pZZS)	PBT beoordeling en CoRAP

Tributylfosfaat (TBP) is een KRW specifiek verontreinigende stof.

Alkylfosfaatesters komen niet voor op lijsten met stoffen met relevantie voor de drinkwaterproductie zoals die door RIWA-Rijn en RIWA-Maas worden gehanteerd⁴.

Een aantal alkylfosfaatesters worden door Derksen (2022) als aandachtvrage stof in rwzi effluent aangemerkt vanwege het voorkomen in effluent⁵ en soms hoge toxiciteit. Dit zijn:

- Tris(2-chloorethyl)fosfaat (TCEP)
- Tris(2-chloor-1-(chloormethyl)ethyl)fosfaat (TDCP)
- Trichloorpropylfosfaat (TCPP)
- Triisobutylfosfaat (TiBP)
- Tributylfosfaat (TBP)
- Triethylfosfaat (TEP)

³ In deze memo wordt niet ingegaan op de structureel nauw verwante gebromeerde alkylfosfaatesters. Eén stof uit deze subgroep, tris(2,3-dibroompropyl)fosfaat (TBPP), wordt op de ZZS-lijst genoemd met de opmerking dat deze onder ZZS-stofgroep gebromeerde brandvertragers valt.

⁴ Bij RIWA Maas staan de vier genoemde alkylfosfaatesters 'geparkeerd' op lijst 3, dat wil zeggen stoffen die niet langer als drinkwaterrelevant worden beschouwd (Slootweg et al., 2025).

⁵ In aanvulling op doelstofanalyses (zoals in de Watson database) zijn voor deze studie ook resultaten van buitenlandse studies en brede chemische screeningsmethodes (i.e. bibliotheekscreening) in beschouwing genomen.

Concentraties in oppervlaktewater

Door van Eck et al. (2024) zijn ten behoeve van de Tussenevaluatie Kaderrichtlijn Water (KRW) de monitoringsgegevens van microverontreinigingen in oppervlaktewater in de periode 1992 - 2022 samengebracht. Het betreft metingen in zowel regionale wateren als rijkswateren. Figuur 1 geeft een samenvatting van de aangetroffen concentraties alkylfosfaatesters, alsmede het aantal metingen en het % metingen boven de rapportagegrens.

Uit figuur 1 blijkt dat tributylfosfaat (TBP), trifenylfosfaat (TPP) en in mindere mate tris(2-butoxyethylhexyl)fosfaat (TBEP) frequent zijn gemonitord (>100 metingen per jaar voor vele jaren). Voor de overige stoffen beperkt de informatie zich meestal tot maximaal enkele tientallen metingen per jaar. De concentraties lijken vanaf 2016 voor enkele stoffen te dalen, maar deze mogelijke trend is niet consistent. Vanwege grote heterogeniteit in meetfrequentie, type locatie en het wel of niet aantreffen van de stoffen is het ook op basis van deze dataset niet mogelijk om goed onderbouwde uitspraken over trends in concentraties te doen. Helder is wel dat trifenylfosfaat (TPP) niet of nauwelijks wordt aangetroffen. Dit geldt ook voor trimethylfosfaat (TMP) en tris(2-ethylhexyl)fosfaat (TEHP), maar deze zijn veel minder frequent gemeten. Tri(1-chloor-2-propyl)fosfaat (TCPP) daarentegen wordt in het grootste deel van de metingen aangetroffen. Voor de andere stoffen is het beeld veel diffuser, wat doet vermoeden dat wisselende rapportagegrenzen mogelijk een rol spelen bij het wel of niet aantreffen.

Concentraties in (bronnen voor) drinkwater

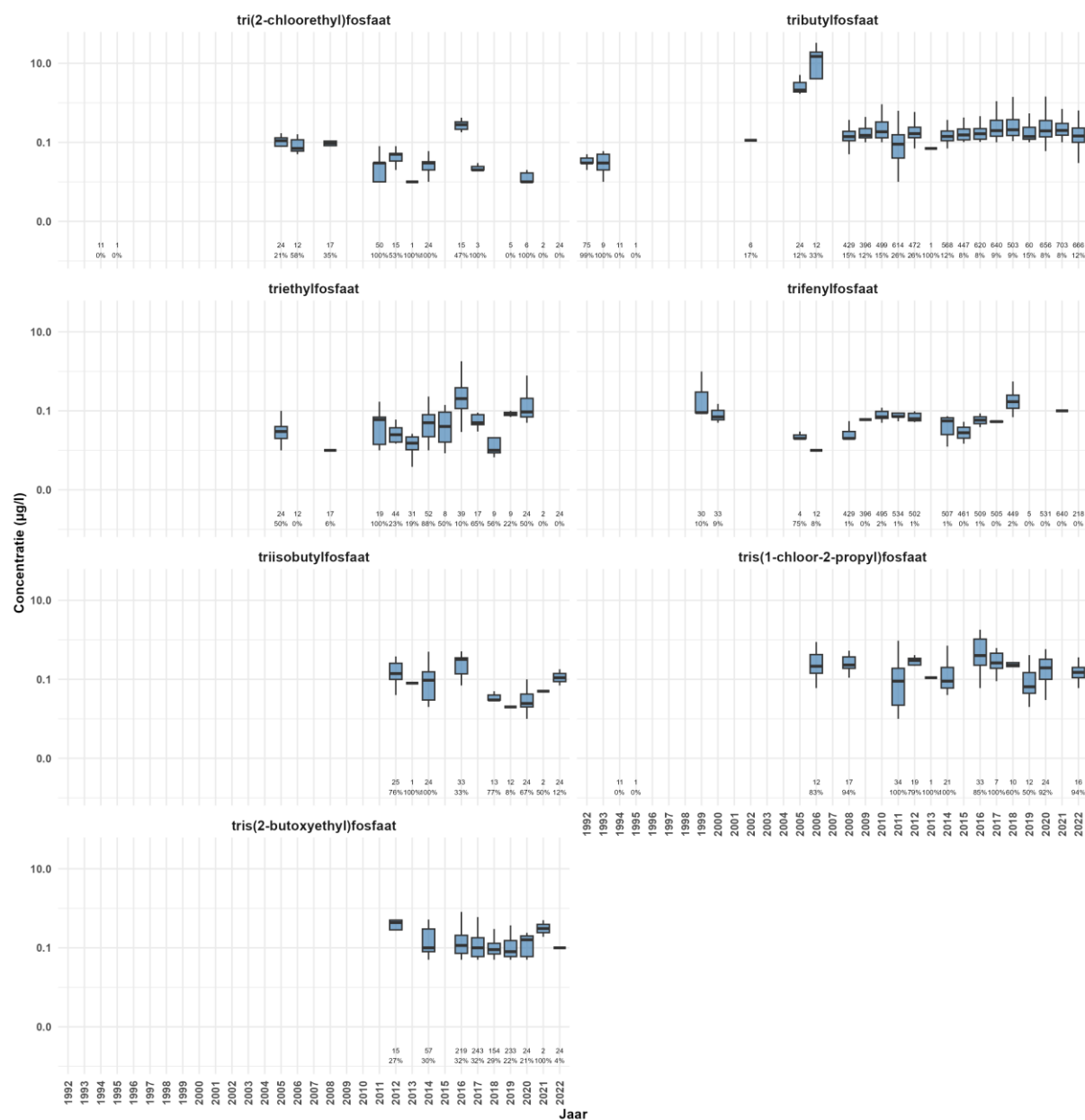
De concentraties in drinkwater of grondwater zijn niet geëvalueerd. Uit een literatuurreview blijkt dat alkylfosfaatesters worden aangetroffen in drinkwater in ng/l (Huang et al., 2024)⁶.

De hoogste uitschieters in het Nederlandse oppervlaktewater komen een enkele keer boven de 1 µg/l. Dergelijke concentraties hebben relevantie voor de drinkwaterproductie omdat deze tot een innamestop kunnen leiden. De overschrijding blijft echter incidenteel. Onduidelijk is of het in dit geval locaties betreft waar oppervlaktewater wordt ingenomen voor drinkwaterbereiding.

Daarom is aanvullend gekeken naar de metingen in de Rijn en Maas in de periode 2008 – 2024 die opgenomen zijn de RIWA-base. Zowel in de Rijn als de Maas worden vier alkylfosfaatesters (TEP, TBP, TiBP en TPP) gemeten, in principe elke vier weken. De meeste metingen zijn onder de rapportagegrens. In de Rijn komen de maximum concentraties nergens boven de 1 µg/l. In de Maas wordt TBP een enkele keer boven de 1 µg/l aangetroffen bij Eijsden⁷ en tot 2018 incidenteel ook op andere locaties. Daarnaast werd in 2017 en 2018 TiBP enkele malen boven de 1 µg/l aangetroffen bij Heusden en Brakel. Op basis van deze meetgegevens lijken de genoemde alkylfosfaatesters geen bedreiging te vormen voor inname van water voor drinkwaterbereiding uit de Rijn of Maas. RIWA-Maas beschouwd de vier genoemde stoffen niet langer als drinkwaterrelevant⁴.

⁶ In deze literatuurstudie zijn onderzoeken uit de hele wereld meegenomen. Het aantal onderzoeken in Europa was beperkt. In Azië en de Verenigde Staten werden in drinkwater ook hogere concentraties (honderden ng/l) aangetroffen met TCPP en TCEP als dominante stoffen. Deze concentraties en stoffen worden niet als representatief voor Nederland beschouwd. Ondanks de hogere concentraties was er geen of verwaarloosbaar risico voor de mens. Huang et al. hanteerden een veel ruimere lijst van alkylfosfaatesters dan in deze memo.

⁷ Dit wordt veroorzaakt door een bekende lozer in het Franse deel van de Maas (persoonlijke mededeling André Bannink, RIWA-Maas).



Figuur 1 Boxplots van de concentraties in oppervlaktewater voor heel Nederland in de periode 1992 – 2022 (data afkomstig uit van Eck et al., 2024). De box geeft het minimum, de 25 percentiel, de mediaan (50 percentiel), de 75 percentiel en het maximum van de concentraties weer. Uitbijters zijn als punten weergegeven. Waarnemingen onder de rapportagegrenzen zijn niet meegenomen in de boxplot. De getallen bij de boxplots geven het aantal metingen en het percentage boven de rapportagegrens weer.

NB De concentraties zijn op logaritmische schaal weergegeven zodat de verschillen bij lage concentraties beter zichtbaar worden. In bijlage 3 staan dezelfde figuren op lineaire schaal.

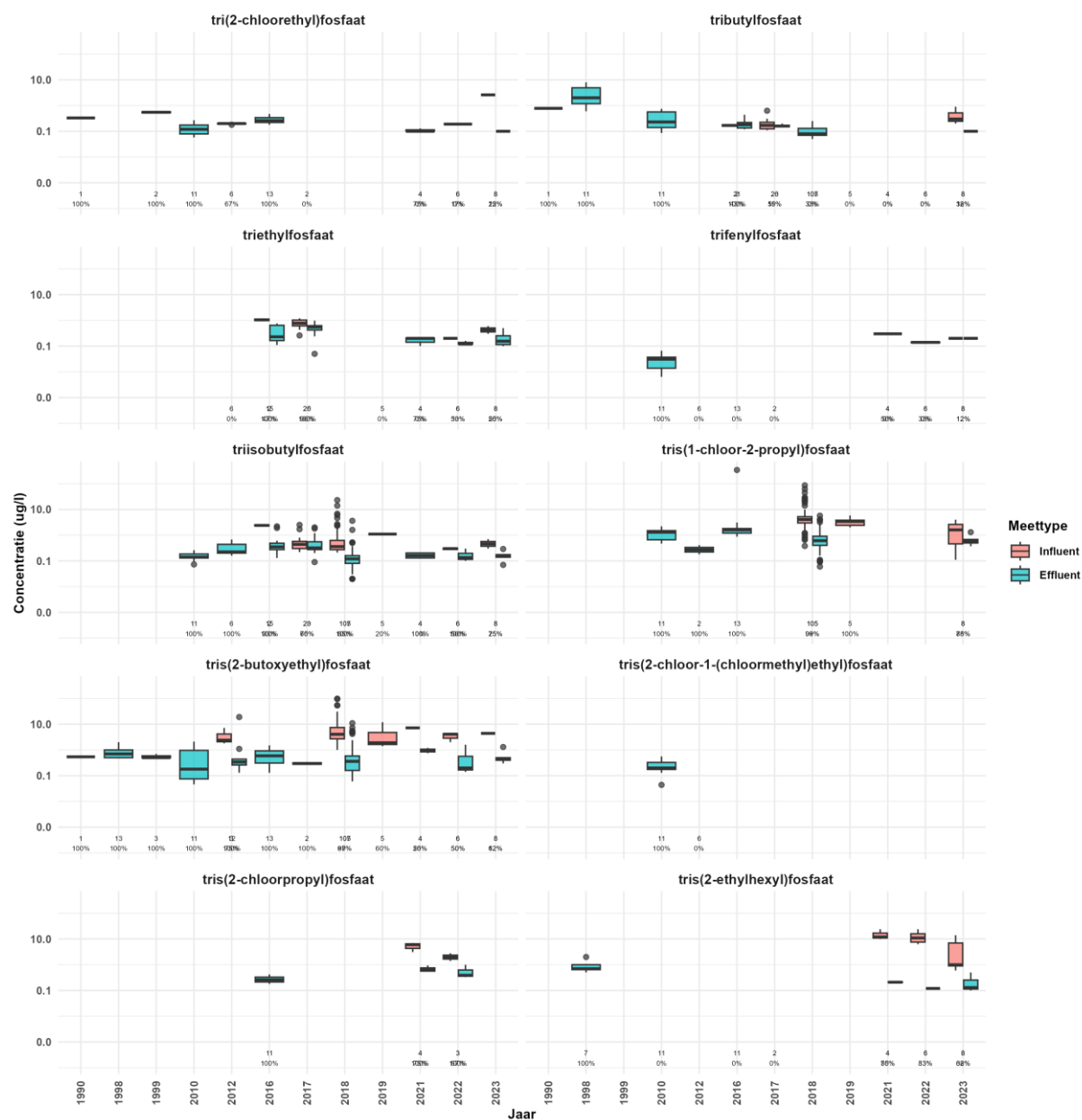
Concentraties in afvalwater

De concentraties in influent en effluent van Nederlandse rwzi's worden verzameld in de Watson database en beschikbaar gemaakt via een webapplicatie (<https://www.emissieregistratie.nl/data/watson-rwzi-emissiedata/watson-database>). In 2025 heeft een grootschalige update plaatsgevonden. Figuur 2 geeft een samenvatting van de aangetroffen concentraties alkylfosfaatesters in influent en effluent, alsmede het aantal metingen en het % metingen boven de rapportagegrens voor de periode 1990 – 2024.

Uit figuur 2 blijkt dat er in influent en effluent iets meer stoffen zijn gemeten dan in oppervlaktewater maar veel minder frequent. Het aantal metingen per stof is meestal minder dan 12 keer per jaar in influent of effluent. Alleen in 2018 zijn opvallend meer metingen uitgevoerd (>100). Dit blijkt te komen door een grootschalig onderzoek naar microverontreinigingen in het influent en effluent van 18 rwzi's binnen de waterschappen van stroomgebied Rijn-Oost (Schuman et al., 2019). In totaal zijn slechts 25 van de ruim 300 rwzi's onderzocht.

In influent worden incidenteel zeer hoge concentraties (~100 ng/) aangetroffen. In effluent liggen de concentraties aanzienlijk lager, wat betekent dat de stoffen voor een belangrijk deel worden verwijderd in de rwzi. Op basis van de studie in Rijn-Oost (Schuman et al., 2019) zijn er rwzi's waar de concentraties in influent aanzienlijk hoger zijn dan bij andere rwzi's. Dit wijst op mogelijke puntbronnen.

Het beeld is zodanig gefragmenteerd dat het niet goed mogelijk is om goed onderbouwde uitspraken te doen over het voorkomen en de verwijdering van alkylfosfaatesters in rwzi's.



Figuur 2 Boxplots van de concentraties in influent en effluent van Nederlandse rwzi's in de periode 1990 – 2024. Data afkomstig uit de Watson database: <https://www.emissieregistratie.nl/data/watson-rwzi-emissiedata/watson-database>. De box geeft het minimum, de 25 percentiel, de mediaan (50 percentiel), de 75 percentiel en het maximum van de concentraties weer. Uitbijters zijn als punten weergegeven. Waarnemingen onder de rapportagegrenzen zijn niet meegenomen in de boxplot. De getallen bij de boxplots geven het aantal metingen en het percentage boven de rapportagegrens weer. In totaal zijn 25 verschillende rwzi's bemonsterd.

NB De concentraties zijn op logaritmische schaal weergegeven zodat de verschillen bij lage concentraties beter zichtbaar worden. In bijlage 3 staan dezelfde figuren op lineaire schaal.

Conclusie / eindevaluatie

Voor een groot deel van de alkylfosfaatesters is weinig tot geen informatie over gebruik, gevaarseigenschappen en concentraties in het milieu. Ook voor stoffen waarvoor wel informatie is blijft deze informatie beperkt.

De evaluatie van brandvertragers door ECHA binnen de CoRAP bevestigt dat alle subgroepen binnen de alkylfosfaatesters aandacht nodig hebben vanwege bewezen of vermeende gevaarseigenschappen die eerder niet goed in beeld waren. De verzameling van informatie door ECHA loopt. Mochten deze gevaarseigenschappen definitief bevestigd worden dan is het wenselijk de stoffen middels restricties uit het milieu te weren. Een deel van de alkylfosfaatesters is al op de lijst van Zeer Zorgwekkende Stoffen geplaatst.

Ook met de meest recente meetgegevens in oppervlaktewater en afvalwater blijft het beeld gefragmenteerd en is het niet mogelijk goed onderbouwd uitspraken te doen over het voorkomen en de trends in de tijd. Voor sommige alkylfosfaatesters lijkt er een dalende trend te zijn, maar het beeld is niet consistent. Slechts een klein deel van de toegepaste alkylfosfaatesters is opgenomen in analysepakketten. Meetdata in drinkwater of grondwater zijn niet geëvalueerd. Op basis van metingen in oppervlaktewater en in de Rijn en Maas lijken alkylfosfaatesters niet drinkwaterrelevant.

Alkylfosfaatesters komen in het milieu door vrijkomen bij productie, bij gebruik van materialen waarin de stoffen zijn toegepast en tijdens de afvalverwerking. Belangrijke routes naar het milieu zijn via de lucht en via rwzi's. Voor zover bekend zijn er in Nederland geen productielocaties. Metingen in influent en effluent geven wel aanwijzingen dat er mogelijk puntbronnen aanwezig zijn. Dergelijke puntbronnen vormen een aangrijpingspunt in het geval door ZZS-status van stoffen de emissie naar nul gebracht moet worden.

Informatiebronnen

- Derksen, A. (2022). Aandachtvragende stoffen in rwzi-effluent. Samenvatting van de huidige stand van de kennis. In opdracht van Werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen. AD eco advies, Wageningen.
- ECHA (2021). Assessment of regulatory needs. Group Name: Triphenylphosphate derivatives. Version 1.0.
- ECHA (2023a). Regulatory strategy for flame retardants. March 2023.
<https://echa.europa.eu/documents/10162/48382bec-205c-674c-7f6f-cf9f5819d901>.
- ECHA (2025). Assessment of regulatory needs. Group Name: Chlorinated trialkyl phosphates. Version 1.1 (revised). <https://echa.europa.eu/documents/10162/5909e431-1dfc-f5f5-a057-47d49dd4776e>.
- ECHA (2023b). Assessment of regulatory needs. Group Name: Trialkyl phosphates. Version 1.0.
<https://echa.europa.eu/documents/10162/edc94404-cfda-75cc-3db2-9d07fd2ee820>.
- Eck, L. van, J. van den Roovaart & S. Kelderman (2024). Inschatting KRW-doelbereik per waterbeheerder en vergelijking resultaten landelijk instrumentarium en waterbeheerders. Achtergrondrapportage bij de Tussenevaluatie KRW 2024. Deltares rapport 11210346-012-ZWS-0006.
https://publications.deltares.nl/11210346_012_0006.pdf.
- Huang, J., J. Li, W. Meng & G. Su (2024). A critical review on organophosphate esters in drinking water: Analysis, occurrence, sources, and human health risk assessment. Science of the Total Environment 13: 169663. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723082931>.
- Roskam, G. (2018). Meetresultaten alkylfosfaatesters. 22 oktober 2018. Deltares, kenmerk 11202236-006-BGS-0001.
- Osté, L., A. Derksen, E. Smit, R. Berbee, T. ter Laak, N. van Duijnhoven & D. ten Hulscher (2017). Naar een strategie voor opkomende stoffen. Deltares-rapport 1230099-007.
- Osté, L., K. Ouwekerk & A. Derksen (2022). NORMAN prioritering Nederlandse waterkwaliteitsdata. Deltares-rapport 11206216-010-BGS-0001.
- Schuman, E., H. Evenblij & T. Verhoek (2019). Verwijderingsrendementen microverontreinigingen op RWZI's in de regio Rijn-Oost. In opdracht van Rijn-Oost waterschappen. LeAF en Royal HaskoningDHV. Royal HaskoningDHV rapport WATWW_BF7281_R002_F1.0.
- Slootweg, T., D. Bok, S. Brekelsmans, B. Rousseau, T. Blom & A. Bannink (2025). Drinking water relevant substances in the Meuse. Update 2024. An update of the lists with substances that are relevant for the production of drinking water from the river Meuse. RIWA Meuse. <https://www.riwa-maas.org/wp-content/uploads/2025/01/IDF3395-RIWA-MAAS-Rapport-DRS-2024.pdf>.

BIJLAGE 1

Alkylfosfaatesters – samenvatting en vervolgacties (6 juni 2017)

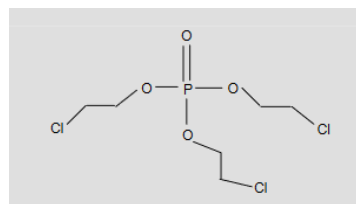
A. Derksen (AD eco advies) i.s.m. R. Berbee (RWS WVL)

Samenvatting

Uit de 2016 uitgevoerde prioritering van stoffen volgens de NORMAN-systematiek kwam de groep (gehalogeneerde) alkylfosfaten naar voren als stofgroep die mogelijk een groepsgerichte aanpak verdiend. In deze notitie voor de Werkgroep Opkomende Stoffen zijn gebruik, voorkomen en milieueigenschappen van deze stoffen in het milieu middels een quick scan nagegaan en beschreven. Op het einde van de notitie is een aantal mogelijk vervolgacties aangegeven. De Werkgroep Opkomende Stoffen wordt gevraagd deze te bespreken en prioriteiten hierin aan te geven.

Toepassing

Alkylfosfaatesters (of organofosfaten) bestaan uit een fosfaatgroep, met daaraan koolstofketens. Bij de gehalogeneerde fosfaatesters bevatten deze ketens chloor of broom. Zie figuur voor een voorbeeld van tri(2-chloorethyl)fosfaat (TCEP). Alkylfosfaatesters worden al tientallen jaren gebruikt. De gehalogeneerde alkylfosfaten worden vooral toegepast als brandvertrager, de niet gehalogeneerde als weekmaker (met enige brandvertragende werking).



Ze worden onder andere toegepast in polyurethaanschuimen (in textiel, meubels, auto's en matrassen), in lakken, verven en coatings, in kunststoffen, harsen en rubber en als antischuimmiddel in beton.

Productie- en gebruikscijfers

Recente productie- en gebruikscijfers ontbreken. De productie in Europa lijkt beperkt tot enkele tonnen per jaar per individuele stof. Het gebruik is echter vele malen hoger. In ECHA is een registratiehoeveelheid (d.w.z. productie of import in de EU) opgenomen van 0-10 ton per jaar voor TCEP, en van 10.000-100.000 ton/jr voor TCPP (trichloorisopropylfosfaat).

Alkylfosfaatesters worden in toenemende mate toegepast als vervanger voor polybroomdifenylethers (PBDE's), die als prioritair gevaarlijke stoffen in de Kaderrichtlijn Water worden uitgefaseerd. Onduidelijk is welke de meest toegepaste vervangers zijn.

Voorkomen

Alkylfosfaatesters komen wijdverspreid voor en zijn frequent aangetoond in lucht, water, sediment, afvalwater, biota, huisstof. Ze zijn gevonden in nabijheid van emissiepunten, maar ook op achtergrond locaties. De meest dominante is TCPP.

De stoffen komen in het milieu terecht door vrijkomen uit het materiaal waarin ze zijn toegepast. Sommige alkylfosfaatesters verspreiden zich via de lucht. Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) worden beschouwd als een belangrijke route voor alkylfosfaatesters naar oppervlaktewater. Er is een grote variatie in verwijdering in de RWZI gevonden, globaal van 50-100%. Verschillende alkylfosfaatesters zijn aangetroffen in RWZI-effluent, meestal in concentraties tot maximaal enkele ug/l. Veel hogere concentraties werden gevonden in een recente studie in Engeland in de rivier Aire, die beïnvloed wordt door stedelijk gebied en industrie. TCPP was de meest dominante alkylfosfaatester, met concentraties van 0,1 tot 26 ug/l.

Meetgegevens in Nederland zijn beperkt. Uit de uitgevoerde prioritering volgens de NORMAN-systematiek vallen de alkylfosfaatesters vrijwel allemaal in categorie 2, dat wil zeggen: onvoldoende meetgegevens. In studies van het RIZA naar vergeten stoffen in de Rijn, maar ook in RWZI-effluenten (1-2 ug/l) werd vooral de stof TCPP aangetoond.

Stofeigenschappen

Behalve in toepassing zijn er ook verschillen in stofeigenschappen tussen de gechloreerde en niet gechloreerde alkylfosfaatesters. Sommige chloorhoudende alkylfosfaatesters zijn carcinogeen. De stof TCEP staat in Nederland op de lijst van Zeer Zorgwekkende Stoffen. Andere alkylfosfaatesters zijn mogelijk carcinogeen, genotoxisch en/of neurotoxisch. De persistentie verschilt sterk binnen de groep alkylfosfaten, maar sommige zijn persistent in het abiotische milieu. Ook zijn er verschillen in vluchtigheid, en daarmee in verspreiding door de lucht. De toxiciteit van alkylfosfaatesters is voor de meeste laag tot gemiddeld.

Er zijn aanwijzingen dat sommige alkylfosfaatesters hormoonverstorende werking hebben (in *in vitro* testen).

Risico's

In risico-inschattingen worden normen in huisstof, drinkwater en oppervlaktewater worden (op een enkele uitzondering na) niet overschreden. Echter, in een recente studie in Engeland werd voor enkele alkylfosfaatesters een significant risico berekend voor algen, watervlooien en vis voor locaties dicht bij industriële en huishoudelijke effluentlozingspunten.

In een risico-evaluatie van brandvertragers in het Europese ENFIRO project is geconstateerd dat halogeenvrije brandvertragers (waaronder halogeenvrije alkylfosfaatesters) een lager risico vormen dan broomhoudende brandvertragers, maar dat dit voornamelijk komt door lagere gevaarseigenschappen, en niet door een lagere blootstelling.

Evaluatie

Alkylfosfaatesters worden reeds langere tijd gebruikt als brandvertrager en weekmaker met brandvertragende eigenschappen. Door toepassing als vervanger voor broomhoudende brandvertragers neemt het gebruik toe. Het is echter niet duidelijk welke alkylfosfaatesters met name als vervanger worden gebruikt. Recente productie- en gebruikscijfers ontbreken. Alkylfosfaatesters komen in het milieu door vrijkomen uit de materialen waarin ze worden toegepast. Dit betekent dat ook stoffen die niet meer worden geproduceerd of toegepast nog steeds uit producten kunnen vrijkomen.

De stoffen verspreiden zich via de lucht en effluent van de rioolwaterzuiveringsinstallatie naar het milieu. Ze worden in literatuurstudies wijdverspreid en frequent aangetroffen in lucht, huisstof, water, sediment, afvalwater en biota. Meetgegevens in Nederland zijn echter zeer beperkt.

Er zijn binnen de alkylfosfaatesters grote verschillen in stofeigenschappen (o.a. vluchtigheid, afbreekbaarheid, verwijdering in de RWZI, carcinogeniteit, toxiciteit). Met name de chloorhoudende alkylfosfaatesters hebben ongunstige eigenschappen in relatie tot hun risico voor mens en milieu. Er zijn nieuwe aanwijzingen dat alkylfosfaatesters hormoonverstorende eigenschappen hebben.

Risicoinschattingen zijn redelijk gedateerd. Normen worden over het algemeen niet overschreden. Echter, in een recente studie in Engeland zijn hoge concentraties alkylfosfaatesters gevonden die een significant risico vormen voor waterorganismen.

Gewenste vervolgacties

Veranderingen in productievolume en toegepaste hoeveelheden, alsmede nieuwe inzichten in stofeigenschappen en toxiciteit, leiden mogelijk tot een andere risicoinschatting. De volgende vervolgacties kunnen zinvol zijn:

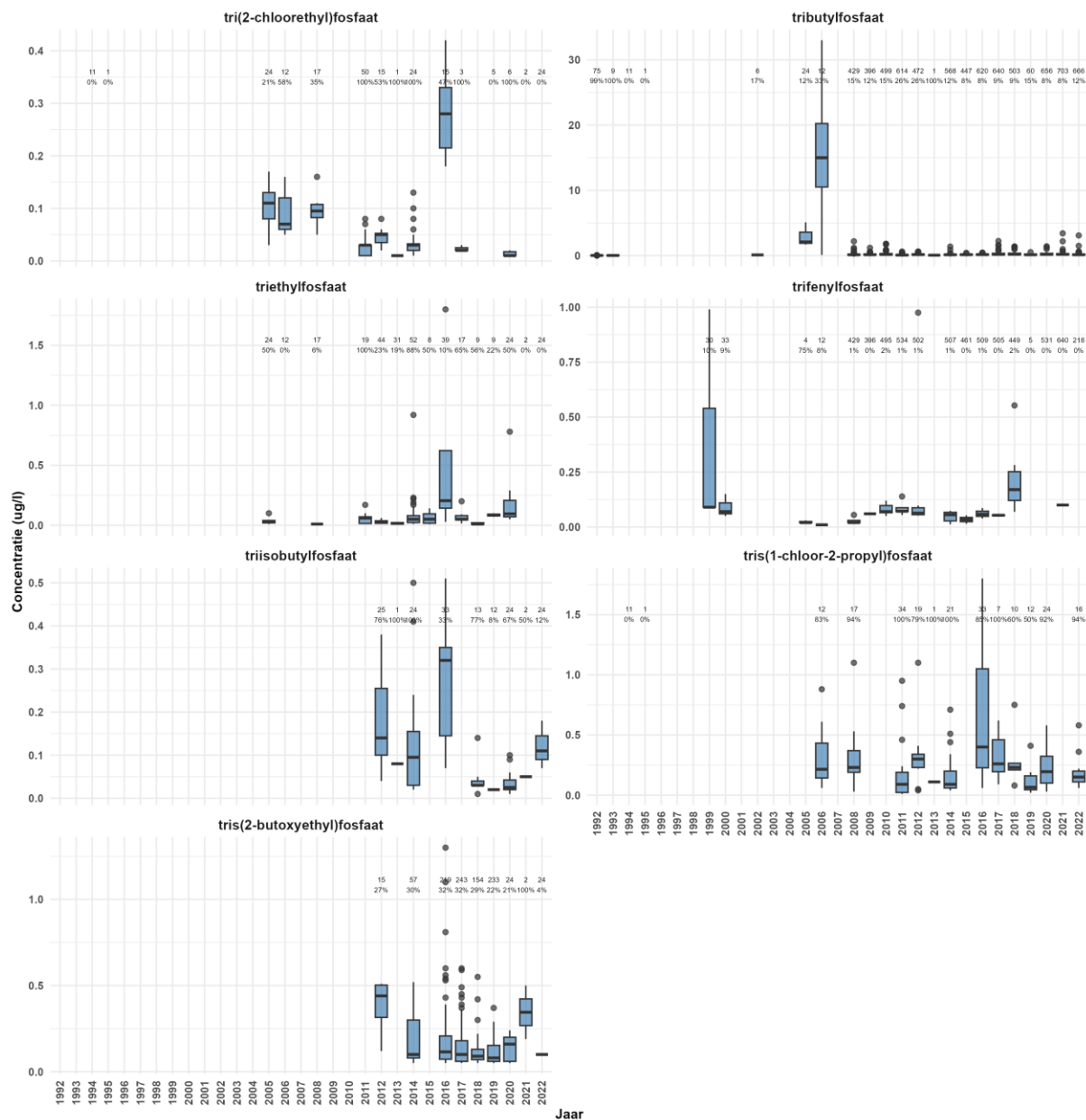
- Verzamelen van recente productie- en gebruikscijfers, waaronder verschillen tussen chloorhoudende en niet chloorhoudende alkylfosfaatesters
- Meer zicht krijgen in hoeverre de alkylfosfaatesters problematisch voor drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater zijn.
- Zijn er alternatieven mogelijk?
- Gericht meten in afvalwater en oppervlaktewater in Nederland. Nemen de concentraties toe in de tijd?
- De normen zijn gedateerd (2005) en houden geen rekening met nieuwe inzichten zoals neurotoxische en hormoonverstorende eigenschappen. Een update is wenselijk.

Stofgroepen, gevaarsindeling en risicogrenzen

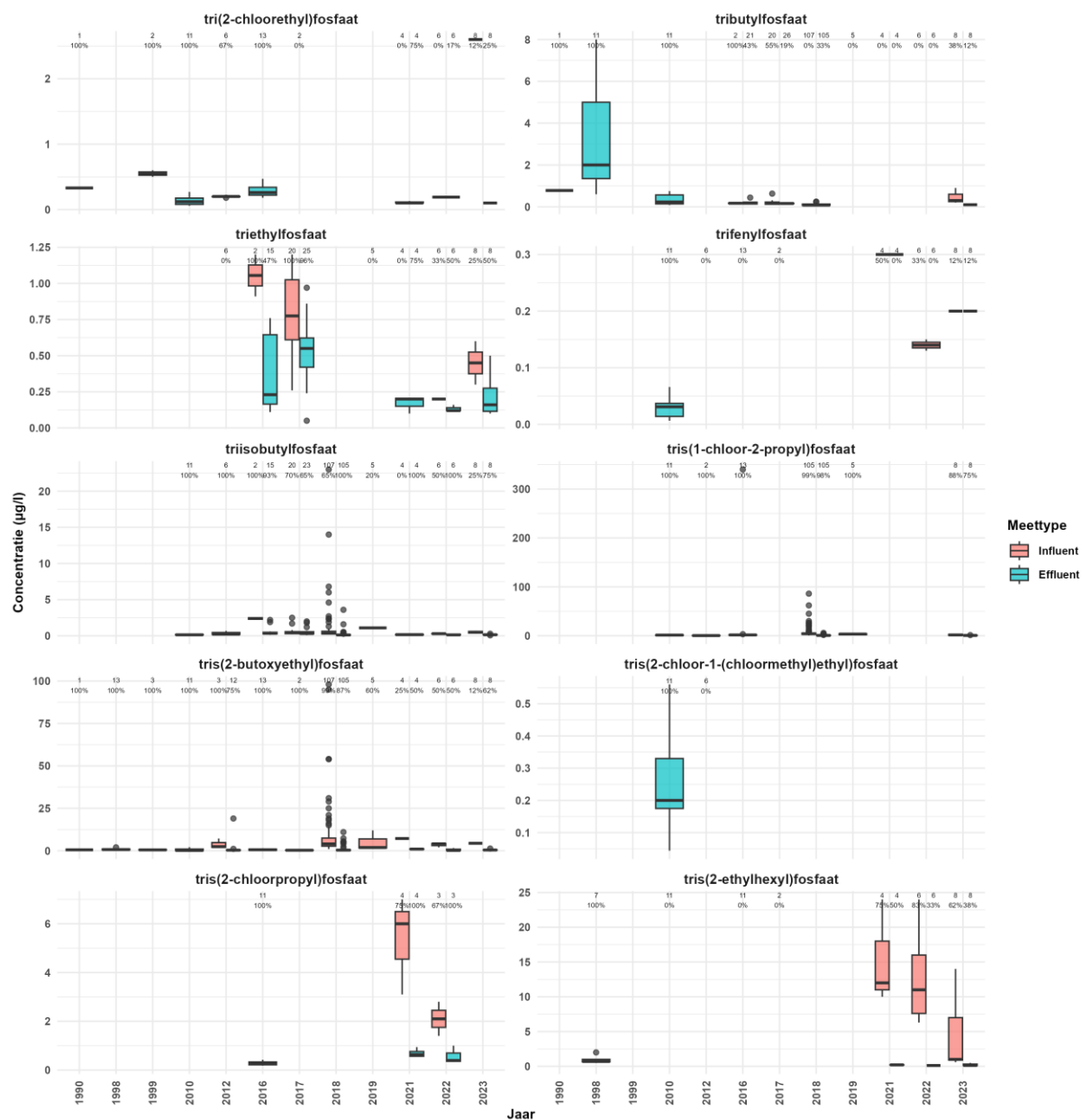
[illegible]

BIJLAGE 3

Concentraties in oppervlaktewater en afvalwater op lineaire schaal



Figuur 1 Boxplots van de concentraties in *oppervlaktewater* voor heel Nederland in de periode 1992 – 2022 (data afkomstig uit van Eck et al., 2024). De box geeft de minimum, 25 percentiel, mediaan (50 percentiel), 75 percentiel en het maximum van de concentraties weer. Uitbijters zijn als punten weergegeven. Waarnemingen onder de rapportagegrenzen zijn niet meegenomen in de boxplot. De getallen bij de boxplots geven het aantal metingen en het percentage boven de rapportagegrens weer.



Figuur 2 Boxplots van de concentraties in *influent en effluent* van Nederlandse rwzi's in de periode 1990 – 2024. Data afkomstig uit de Watson database: <https://www.emissieregistratie.nl/data/watson-rwzi-emissiedata/watson-database>. De box geeft het minimum, de 25 percentiel, de mediaan (50 percentiel), de 75 percentiel en het maximum van de concentraties weer. Uitbijters zijn als punten weergegeven. Waarnemingen onder de rapportagegrenzen zijn niet meegenomen in de boxplot. De getallen bij de boxplots geven het aantal metingen en het percentage boven de rapportagegrens weer. In totaal zijn 25 verschillende rwzi's bemonsterd.