

Langjarige trends in de kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren

KRW-stoffen en toxische druk



Langjarige trends in de kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren KRW-stoffen en toxische druk

Auteur(s)

Lisa van Eck
Kevin Ouwerkerk
Joost van den Roovaart

Langjarige trends in de kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren
KRW-stoffen en toxische druk

Opdrachtgever	Bert Hidding (DGWB)
Contactpersoon	Lisa van Eck
Referenties	L. van Eck, K. Ouwerkerk, J. van den Roovaart, J., 2024. Langjarige trends in de kwaliteit van Nederlandse oppervlaktewateren, KRW-stoffen en toxische druk. Deltares rapport 11210346-011-ZWS-0001.
Trefwoorden	Kaderrichtlijn Water, trends, stoffen, toxiciteit, msPAF

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	14-10-20244
Projectnummer	11210346-011
Document ID	11210346-011-ZWS-0001
Pagina's	62
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		
Lisa van Eck		
Kevin Ouwerkerk		
Joost van den Roovaart		

Samenvatting

Inleiding en methode

Als onderdeel van de Tussenevaluatie Kaderrichtlijn Water (KRW) 2024 heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat Deltares gevraagd om een analyse uit te voeren naar de trends voor chemische stoffen en toxiciteit. Daarnaast wordt verzocht om een samenvatting te geven van de trends op het gebied van bestrijdingsmiddelen, nutriënten en biologie op basis van bestaande rapportages en tools. Verschillende onderzoeken die in het kader van de KRW zijn uitgevoerd geven al een beeld van de huidige status en het resterende doelgat (afstand tot de norm) voor verontreinigende stoffen en overige KRW-parameters. Omdat analysemethoden, monitoring, maatlatten en normen aan verandering onderhevig zijn, is het echter moeilijk om vast te stellen hoe de chemische waterkwaliteit in de Nederlandse oppervlaktewateren zich heeft ontwikkeld over een langere periode.

Om robuuste langjarige trends te bepalen voor chemische stoffen en voor de gecombineerde toxiciteit van stoffen, is in deze studie zoveel mogelijk meetdata van oppervlaktewater verzameld, zowel van de regionale wateren als van de Rijkswateren. Er is een dataset samengesteld met in totaal 20.174.771 metingen van 1.242 individuele stoffen in oppervlaktewater, waaronder zowel KRW-stoffen als stoffen die niet onder de KRW vallen. Trendanalyses zijn uitgevoerd voor alle KRW-stoffen waarvoor voldoende data beschikbaar is. Dit houdt per stof en locatie combinatie in dat er minimaal 4 metingen per jaar beschikbaar zijn, dat minstens 50% van de metingen boven de rapportagegrens ligt, en dat er minimaal 5 jaar aan data aanwezig is, waarvan ten minste één jaar binnen de afgelopen 3 jaar valt. Daarnaast worden data met een onderbreking van meer dan 9 jaar verwijderd. Om aan te sluiten bij de prioritering van stoffen in het KRW-impulsprogramma, richt deze studie zich vooral op de 42 stoffen waarvoor extra emissie reducerende maatregelen nodig zijn om de KRW-doelen te behalen, zoals aangegeven in de Memo Stoffenlijst KRW-impuls. Voor deze 42 stoffen is een gedetailleerde analyse uitgevoerd. Voor de overige stoffen die in de KRW worden genoemd, maar niet tot deze 42 behoren, zijn alleen trendanalyses uitgevoerd.

Om de negatieve impact van de combinatie van chemische stoffen op het aquatische milieu over de tijd te kwantificeren, zijn in deze studie ook trends berekend van de toxische druk. Voor het berekenen van de toxische druk zijn 2 datasets gebruikt: de dataset met alle gemeten stoffen en een deelselectie daarvan, namelijk een dataset met alleen KRW-relevante stoffen. In de selectie van de toxiciteitsdata worden stoffen uitgesloten waarvoor geen toxiciteitsdata beschikbaar zijn, metingen onder de rapportagegrens worden niet meegenomen en locaties die niet gekoppeld kunnen worden aan een KRW-waterlichaam vallen af. Dit resulteert in een dataset van 2.508.513 metingen van 770 verschillende stoffen in 702 KRW-waterlichamen. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de *multi-substance Potentially Affected Fraction* van soorten (msPAF) om de trend in toxische druk van een combinatie van stoffen over de tijd te berekenen. De berekende msPAF-waarden geven inzicht in de omvang van de impact van het mengsel van stoffen op het aquatische milieu, uitgedrukt in percentages van beïnvloede soorten (variërend tussen 0 en 100 procent). Ze kwantificeren de gevolgen van onvoldoende bescherming tegen mengsels, waarbij effecten op de biodiversiteit en verminderde ecologische status worden gekarakteriseerd. Er worden msPAF-waarden op twee manieren berekend: de msPAF_{NOEC} als maat voor de chronische toxiciteit, die het percentage van de soorten aangeeft dat op enige manier beïnvloed wordt door de gezamenlijke blootstelling aan stoffen en de msPAF_{EC50} die het percentage van de organismen aangeeft dat acute effecten ondervindt van toxische stoffenmengsels.

Resultaten

Van de 164 KRW-stoffen (bijlage B) hebben 81 stoffen geschikte locaties voor een statistische trendanalyse, terwijl 83 stoffen geen locaties hebben die geschikt zijn voor trendbepaling. Figuur S1 toont een overzicht van de hoeveelheid stoffen met een bepaalde trendconclusie binnen en buiten de focus-stoffen van de KRW impuls (Hin et al., 2024).

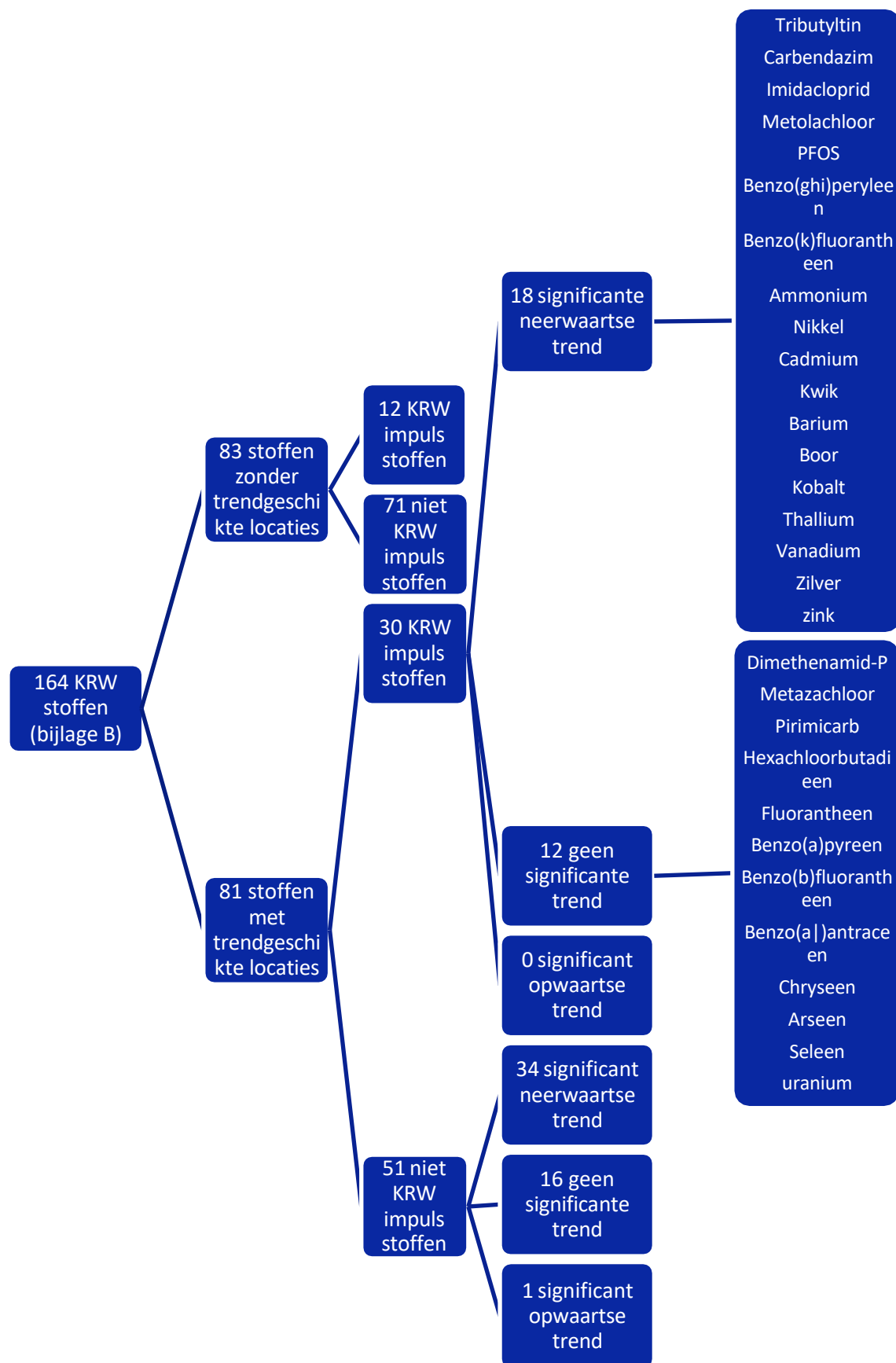
Binnen de groep met trendgeschikte locaties zijn er 51 niet-KRW-impulsstoffen en 30 KRW-impuls focus-stoffen. De analyse toont significante neerwaartse trends voor 34 niet-KRW-impuls focus-stoffen en 18 KRW-impuls focusstoffen.

Daarnaast zijn er ook stoffen zonder significante trends: 16 niet-KRW-impuls focus-stoffen en 12 KRW-impuls focus-stoffen. Voor 12 stoffen, waarvan 10 bestrijdingsmiddelen, kon geen trend worden bepaald (zie Tabel 3.2). Dit komt doordat deze bestrijdingsmiddelen moeilijk te meten zijn, waardoor bijna alle metingen onder de rapportagegrens liggen. Voor aclonifen, bifenox, cypermethrin, heptachloor en -epoxide, abamectine, lambda-cyhalothrin, methylpirimifos, en pyridaben wordt dit bevestigd in de Bestrijdingsmiddelenatlas (Vijver et al., 2008). Methylpirimifos toont wel een dalende trend sinds 1997, maar de gemiddelde concentratie is de laatste 20 jaar gelijk aan de rapportagegrens. Voor esfenvaleraat, dioxines en PBDEs zijn geen vergelijkbare trendanalyses beschikbaar.

Eén niet-KRW impuls focus-stof heeft een significant opwaartse trend, namelijk 1,2-dichloorpropan, echter is dit gebaseerd op 1 locatie, wat maakt dat het geen landelijke trend is.

Samengevat vertonen de meeste stoffen een neerwaartse trend en de overige stoffen geen significante verandering. Er zijn eigenlijk geen stoffen met een landelijk stijgende trends. Daarentegen zijn er, ondanks de landelijke dalende of niet veranderende trend voor de meeste stoffen, wel locaties met een significant opwaartse trend: variërend per stof van 0 tot soms wel 34% van de locaties. Gezien het KRW-principe van “geen achteruitgang” verdienen deze stoffen en locaties aandacht vanuit beleid en uitvoering.

Het is niet eenvoudig de overwegend dalende trends van de KRW-stoffen te linken aan het effect van Europese en/of nationale maatregelen. Binnen dit project was er slechts beperkte ruimte om de relatie tussen maatregelen en stoffentrends te onderzoeken. Voor de meeste stoffen bestaat echter de indruk dat er een positief verband is tussen dalende emissies (als gevolg van beleid en autonome ontwikkelingen) en dalende concentraties.



Figuur S1. Overzicht van de hoeveelheid stoffen met een bepaalde trendconclusie binnen en buiten de focusstoffen van de KRW impuls.

Positief is dat de landelijke trend van de toxische druk van alle gemeten stoffen, zowel voor de acute als de chronische toxische druk, significant dalend is. Wel ligt de landelijke trendlijn van de chronische toxische druk nog steeds ruim boven het niveau waarop geen toxisch effect wordt verwacht (onder de 5%), namelijk rond de 45%. Dit betekent dat ongeveer 45% van de soorten op enige manier wordt beïnvloed door de gezamenlijke blootstelling aan stoffen en dat Nederland dus op zijn minst matig verontreinigd is. Voor de acute toxische druk ligt de trendlijn lager, deze ligt de laatste jaren rond de 4%, wat betekent dat 4% van de organismen acute effecten ondervindt. Deze locaties zijn hoog verontreinigd, maar nog niet zeer hoog verontreinigd (acute toxische druk onder de 10%). Hoewel de landelijke trend dalend is, zijn er significant stijgende trends op een groot aantal locaties in Midden- en Oost-Nederland en in het zuidelijke deel van Noord-Brabant. Een verklaring hiervoor is niet eenvoudig te geven en vereist verdere analyse.

De chronische druk van de mengsels van alleen de KRW-stoffen ligt logischerwijs lager dan wanneer we alle stoffen meenemen. Ongeveer een derde van de totaal berekende toxische druk (45%) wordt veroorzaakt door KRW-stoffen (met een toxische druk van 15%) en de rest door stoffen niet gereguleerd door de KRW. Ondanks dat de trend van vrijwel alle individuele KRW-stoffen daalt of niet significant is, blijkt de landelijke trend van de chronische toxische druk van de KRW-stoffenmengsels significant te stijgen (maar lijkt de laatste jaren stabiel). Dit suggereert dat de KRW-stoffen die niet in de trendanalyse zijn meegenomen vanwege de trendselectie criteria wel veel stijgende trends vertonen.

Slechts een klein deel van de stoffen die aanwezig zijn in de KRW-stoffenmengsels is verantwoordelijk voor het grootste deel van de lokale toxische druk: ongeveer 3% van de stoffen verklaart ongeveer 99% van de totale toxische druk van de KRW-stoffenmengsels in deze dataset. Wanneer we inzoomen op de top 25 stoffen met de hoogste bijdrage aan de toxische druk, zien we dat deze vooral bestaat uit metalen (13 stoffen) en bestrijdingsmiddelen (9 stoffen). Daarnaast zien we ook een grote bijdrage van een aantal niet KRW-stoffen: ijzer, aluminium, mangaan, metribuzin, dibenzo(a,h)antraceen en demethenamide.

Voor een deel van de KRW-parameters zijn langjarige trends beschikbaar vanuit andere studies en websites. De conclusies hierover zijn kort beschreven:

- In de verschillende rapportages over bestrijdingsmiddelen kan worden geconcludeerd dat de langjarige trends vanaf 2000 weliswaar afnemen, maar de laatste jaren lijken te stagneren. Het beeld is dat met het huidige tempo het einddoel van 2030, dat er nagenoeg geen emissies van gewasbeschermingsmiddelen naar het watermilieu zijn, niet in zicht komt en dat voor het behalen van dit doel een flinke reductie van de huidige emissies noodzakelijk zal zijn.
- De stikstof- en fosforconcentraties die sinds 1990 zijn gedaald, dalen op dit moment langzaam. Voor beide stoffen is de daling in dezelfde orde van grootte, maar varieert per watertype. In 2021 voldeden de nutriëntconcentraties zowel voor fosfor als stikstof in 55% van de locaties aan de norm voor goede waterkwaliteit. Toch blijft er nog een percentage locaties met een slechte kwaliteit: 8% voor fosfor en 3% voor stikstof. Ook voor deze stoffen zijn aanvullende maatregelen nodig om de doelen te halen.
- Over de afgelopen 30 jaar is de biologische kwaliteit op basis van macrofauna en waterplanten met 10% gestegen. Verminderde vermesting, betere inrichting van oppervlaktewater en het baggeren van voedselrijke waterbodems worden genoemd als oplossingen voor het verbeteren van de kwaliteit voor macrofauna en waterplanten.

Aanbevelingen

Van de ruim 20 miljoen metingen die in deze studie zijn verzameld ligt ca. 75% onder de rapportagegrens. Het wordt aanbevolen te onderzoeken of de meetinspanningen geoptimaliseerd kunnen worden. Mogelijk is er efficiency winst te behalen door het minder intensief monitoren van stoffen die vrijwel altijd beneden de rapportagegrens liggen en het verhogen van meetinspanning voor stoffen waarvoor we vanwege gebrekkige data geen trend kunnen bepalen, met name als er goede redenen zijn om die stoffen in de gaten te houden, zoals een hoge bijdrage aan de toxiciteit. Dit zou nader onderzocht kunnen worden.

De data van deze studie is omvangrijk en gedetailleerd, zowel in de tijd als ruimtelijk. De data is zeer bruikbaar om een nadere analyse uit te voeren naar de stoffen met een landelijke significante opwaartse trend én naar de stoffen die een neerwaartse trend of geen significante trend vertonen, maar wel locaties hebben een significante opwaartse trend. Het wordt aanbevolen om ook deze locaties nader te analyseren met als doel mogelijke specifieke emissiebronnen te identificeren die verantwoordelijk kunnen zijn voor deze stijgende trends.

Dit onderzoek heeft een grote hoeveelheid data opgeleverd, die relatief eenvoudig toegankelijk te maken is voor een breder publiek. In de programmering van het toegepast onderzoek dat Deltares uitvoert samen met IenW en RWS is een project opgenomen om de mogelijkheden hiervoor nader te onderzoeken.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	11
2	Methoden	13
2.1	Data verzameling	13
2.2	Gebruikte normen	13
2.3	Trendbepaling	14
2.4	Toxische druk bepaling	18
2.4.1	Toxiciteitsdata selectie	18
2.4.2	Mengselbepaling	20
2.4.3	Toxische druk methode	20
3	Resultaten trendanalyse KRW stoffen	23
4	Resultaten toxische druk	27
4.1	Overzicht berekeningen	27
4.2	Overzicht van trends van de toxische druk	28
4.3	Landelijke trends van toxische druk	30
4.4	Regionaal beeld van de toxische druk	33
4.4.1	Alle stoffen	33
4.4.2	KRW stoffen	35
4.5	Bijdrage individuele stoffen aan de toxische druk	37
5	Bestaande trendanalyses	39
5.1	Trends in bestrijdingsmiddelen	39
5.1.1	De Bestrijdingsmiddelenatlas	39
5.1.2	Het Landelijk Meetnet Gewasbeschermingsmiddelen	39
5.1.3	Vergelijking van de Bestrijdingsmiddelenatlas en deze studie	40
5.1.4	Resultaten van de trends	41
5.2	Trends in biologie	43
5.3	Trends in nutriënten	44
6	Conclusies en aanbevelingen	47
6.1	Trends van stoffen	47
6.2	Toxiciteit	49
6.3	Bestaande trendanalyses	50
6.4	Aanbevelingen	50
7	Referenties	52

A	Afkorting	55
B	KRW stoffenlijst	56
C	R packages	57
D	Toelichting methode trendanalyse	58
E	Gedetailleerde resultaten van alle berekeningen	59
F	Nadere analyse trends van stoffen van de memo stoffenlijst KRW impuls	60
G	Trendplots, trendkaarten	61

1 Inleiding

Als onderdeel van de Tussenevaluatie Kaderrichtlijn Water (KRW) 2024 heeft het Directoraat-generaal Water en Bodem (DGWB) van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) Deltares gevraagd om een analyse uit te voeren naar de langjarige trends voor zowel ecologie, nutriënten als chemische stoffen in de Nederlandse oppervlaktewateren.

Verschillende onderzoeken uitgevoerd voor de KRW geven een beeld van de huidige status en de afstand tot de norm (ook wel doelgat genoemd) voor verontreinigende stoffen en overige KRW-parameters. Omdat analysemethoden, monitoring, maatlatten en normen aan verandering onderhevig zijn, is het echter lastig om te bepalen hoe de chemische waterkwaliteit zich heeft ontwikkeld over een langere periode. Daarom is het zinvol om een robuuste trendanalyse uit te voeren voor alle KRW-stoffen over een langjarige periode om zo inzicht te krijgen in de vooruit- of achteruitgang van de concentraties van deze stoffen in het oppervlaktewater. Daarnaast tonen diverse studies aan dat combinaties van stoffen aanzienlijke effecten kunnen hebben op aquatische ecosystemen. Op Europees niveau is bijvoorbeeld een duidelijk verband gevonden tussen de blootstelling van stofmengsels en de ecologische kwaliteit (Lemm et al., 2020; Posthuma et al., 2020). Ook in Nederland is er een verband tussen de toenemende toxiciteit van oppervlaktewater en negatieve effecten op de aquatische ecologie (STOWA, 2016; STOWA 2020).

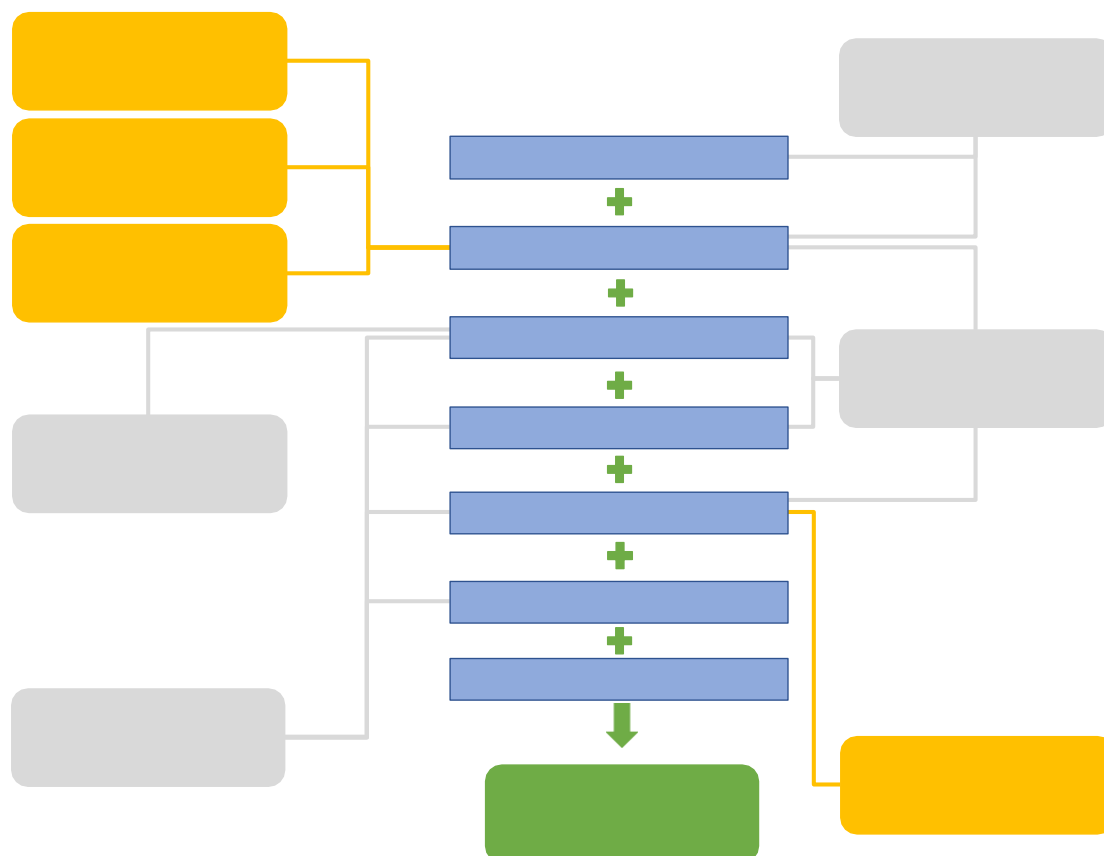
Het doel van deze studie is het bepalen van langjarige trends van individuele KRW-stoffen en de totale toxische druk, om de ontwikkeling van de waterkwaliteit in beeld te brengen, zowel in de Rijkswateren als in de regionale watersystemen.

Hiervoor is zoveel mogelijk meetdata van concentraties van chemische stoffen verzameld in een database voor de periode 1990-2022. Dit is gedaan voor zowel KRW-stoffen als voor niet KRW-stoffen. In dit rapport zijn locatie specifieke en landelijk trends berekend voor alleen de KRW-stoffen. Daarnaast zijn trends berekend voor de toxische druk als gevolg van een combinatie van gemeten chemische stoffen. Om aan te sluiten bij de stoffenprioritering van het KRW-impuls programma, ligt in deze studie de focus op 42 stoffen waar volgens de Memo Stoffenlijst KRW impuls (Hin et al., 2023) extra emissie reducerende maatregelen nodig zijn om aan de KRW-doelen te voldoen. Daarnaast is de toxiciteits-indicator msPAF (*multi-substance Potentially Affected Fraction*) berekend om een indruk te krijgen van de trend in de totale toxiciteit van alle (gemeten) stoffen gezamenlijk. De fysische-chemische KRW parameters zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Voor meerdere KRW-parameters zijn er al trends beschikbaar vanuit bestaande tools en rapportages (zie Figuur 1.1):

- Trends in bestrijdingsmiddelen zijn beschikbaar in de Bestrijdingsmiddelen Atlas (Vijver et al., 2008).
- Trends in biologie (macrofauna en waterplanten) zijn bepaald door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in opdracht aan Royal HaskoningDHV (RHDHV) en openbaar beschikbaar gesteld in het Compendium voor de Leefomgeving (CLO).
- Trends in nutriënten (stikstof en fosfor) worden uitgebreid gerapporteerd in het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater (MNLSO) (Buijs et al., 2020), KRW-NUTrend (Deltares, 2024) en de nitraatrapportage (Fraters et al., 2020).
- De stoffiches bij het Stroomgebiedbeheerplan 2022-2027 (<https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/sgbp-achtergronddocumenten>) beschrijven het verloop van concentraties van 36 KRW-stoffen.

Om een compleet overzicht te genereren worden de trends van nutriënten, biologie en bestrijdingsmiddelen uit bovenstaande rapportages verzameld en opgenomen in deze rapportage.



Figuur 1.1 Overzicht van beschikbare datasets (blauw) en rapportages/tools. Relevante bestaande en reeds geplande producten/projecten van Deltares worden weergegeven in geel. Producten/tools van andere partijen die in deze studie benut worden zijn grijs weergegeven en het product van dit project is groen.

De resultaten van deze studie zijn input voor de Koepelrapportage over de Tussenevaluatie, die door Witteveen+Bos op verzoek van IenW wordt opgesteld (Slagter et al., in prep.). De database die gegenereerd is tijdens deze studie kan een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van een (web)applicatie met de toestand en trends voor chemische stoffen: CHEMtrend. Voor de chemische kwaliteitstoestand van KRW-stoffen en overige relevante stoffen is nog geen applicatie beschikbaar.

2 Methoden

2.1 Data verzameling

Voor dit project zijn de data uit 2 bronnen samengevoegd: data van Rijkswaterstaat (RWS) vanuit het meetprogramma Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL) en regionale data van de waterschappen uit het [waterkwaliteitsportaal](#) (WKP). Deltares beheert een eigen database waarin de regionale data elk jaar in hetzelfde format wordt opgeslagen. MWTL-data voor oppervlaktewater vanaf 1960 zijn opgevraagd bij de Servicedesk Data van RWS. Alle data zijn vervolgens gecombineerd tot één grote dataset. Hieruit is een selectie gemaakt van de periode 1990-2022 voor het compartiment *oppervlaktewater* en zijn de data met *kwaliteitsoordeel codes* 99 (Hiaat waarde) en 50 (Niet-plausibele waarde) verwijderd. Daarnaast zijn, indien mogelijk, eenheden omgerekend naar de KRW-voorkeurseenheid voor elke parameter (zie Bijlage B *IHW KRW stoffenlijst*). Metingen aan biota en sediment zijn niet meegenomen in deze studie. Tenslotte zijn metingen die dubbel voorkwamen in de data gemiddeld. Dit betreft bijvoorbeeld metingen die in duplo zijn uitgevoerd of andere metingen waarvan de parameter op dezelfde datum en locatie meer dan 1 waarde heeft.

Dit resulteerde in een dataset van 20.174.771 metingen van 1.242 stoffen die gebruikt is als basis voor de msPAF berekeningen. Voor de trendanalyse van de individuele KRW-stoffen is er vervolgens een uitsnede uit deze dataset gemaakt voor alleen de KRW-prioritaire en KRW-specifieke verontreinigende stoffen met de bijbehorende hoedanigheid zoals weergegeven in Bijlage B. Fysische-chemische KRW-parameters zijn buiten beschouwing gelaten. Dit resulteerde vervolgens in een dataset met 7.212.601 metingen van 164 KRW-stoffen.

De berekeningen en data visualisatie in deze studie zijn uitgevoerd met het programma RStudio versie 2023.01.01. De packages die hiervoor zijn gebruikt zijn te vinden in Bijlage C.

2.2 Gebruikte normen

Om de trendanalyse meer betekenis te geven is er in deze studie geprobeerd de landelijke trends te vergelijken met de KRW-normen voor oppervlaktewater. Het kan namelijk zo zijn dat de concentraties significant dalen, maar dat deze nog steeds duidelijk boven de norm liggen of de concentraties blijven over de tijd vrijwel gelijk (geen significante trend) maar liggen deze structureel onder de norm. De trend alleen verteld dus niet altijd het hele verhaal.

De normen voor prioritaire stoffen en voor specifieke verontreinigende stoffen van de KRW zijn landelijk vastgesteld en zijn niet afhankelijk van stroomgebied of watertype. Voor enkele metalen wordt in Nederland bij de toetsing wel rekening gehouden met de biobeschikbaarheid (onder invloed van pH en DOC) of natuurlijke achtergrondconcentratie. Dat zorgt er wel voor dat de lokale omstandigheden invloed hebben op het resultaat bij toetsing aan de norm. In deze studie alleen gekeken naar de generieke normen per stof, zodat er op landelijk niveau iets kan worden gezegd over de trends in relatie tot de norm. In deze studie zijn de concentraties voor elke stof vergeleken met de jaargemiddelde norm (JG-MKN) in zoetwater, omdat verreweg de meeste locaties zich in zoetwater bevinden. Er wordt dus geen officiële toetsing uitgevoerd volgens de KRW-toets procedures die rekening houdt met ondersteunende normparameters zoals de pH, hardheid of achtergrondconcentraties. Er wordt slechts vergeleken met een generieke norm, maar niet getoetst aan de norm(en). Hieronder is een voorbeeld gegeven van het selecteren van de generieke norm voor situaties waarbij er meerdere normen per stof zijn. Ten eerste is er een filter toegepast op *watertype groep* = zoet en *waardebewerkingmethode* = JGM. Vervolgens zijn de juiste *parameter*

code, *eenheid* en *hoedanigheid* aan elkaar gekoppeld en is indien mogelijk de kolom *bijzondere omstandigheid* gefilterd op lege waarde. Daarna is de *normwaarde* die het meest voorkomt geselecteerd en zonder eventuele bewerkingen gebruikt. Hieronder in Tabel 2.1. is een voorbeeld gegeven voor Lood.

Tabel 2.1 Voorbeeld tabel voor norm selectie voor Lood (Pb). De geel gearceerde rij betreft de uiteindelijk gebruikte norm in deze studie.

parameter code	eenheid	hoedanigheid	normtype	voldoet niet	bijzondere omstandigheid	watertype groep	norm waarde
Pb	ug/l	nf	JGM	>1,20		zoet	1,2
Pb	ug/l	nf	JGM	>1	BLM	zoet	1,0
Pb	ug/l	nf	JGM	>1,20	AC-SALNTT	zoet	1,2
Pb	ug/l	nf	JGM	>1,20	AC-SALNTT	zoet	1,2
Pb	ug/l	nf	MAX	>14,2		zoet	14,2
Pb	ug/l	nf	MAX	>14,0	AC-SALNTT	zoet	14
Pb	ug/l	nf	MAX	>14,0	AC-SALNTT	zoet	14

In eerste instantie is gebruik gemaakt van de Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm (JG-MKN). Indien deze niet beschikbaar was, is de maximale aanvaardbare concentratie milieukwaliteitsnorm (MAC-MKN) gebruikt.

Voor de stoffen die onderdeel zijn van een somparameter, waarbij alleen een KRW-norm bestaat voor de somparameter en niet voor de losse deelparameters, is de norm van de somparameter gebruikt in de figuren (zie Bijlage F).

Tenslotte wordt voor enkele stoffen (vanadium en antimoon) de norm met een andere hoedanigheid weergegeven (niet van toepassing – NVT) dan in de KRW-toetslijst (na filtratie: nf, zie Bijlage B). Om deze stoffen niet te verliezen voor de analyse, zijn de meetwaarden desondanks meegenomen in de berekeningen en zijn de waarden getoetst aan de norm met hoedanigheid NVT.

2.3 Trendbepaling

Om aan te sluiten bij de prioritering van stoffen in het KRW-impuls programma, ligt in deze studie de focus op de 42 stoffen waarvoor extra emissie reducerende maatregelen nodig zijn om aan de KRW-doelen te voldoen, zoals beschreven in de Memo Stoffenlijst KRW-impuls (Hin et al., 2023).

Om zoveel mogelijk aan te sluiten bij eerdere analyses, is in eerste instantie uitgegaan van dezelfde criteria als voor de trendanalyse van nutriënten in KRW-NUTrend. Op een aantal punten zijn deze criteria aangepast. De dataselectie is hieronder in 3 stappen toegelicht. Zodra een meetpunt-stof combinatie (bijvoorbeeld Zink in meetpunt AMSDM) aan al deze criteria voldoet wordt deze als ‘trendgeschikt’ beoordeeld en meegenomen in de verdere analyse.

1. Minimaal 4 metingen per jaar en minimaal 50% boven de rapportagegrens.

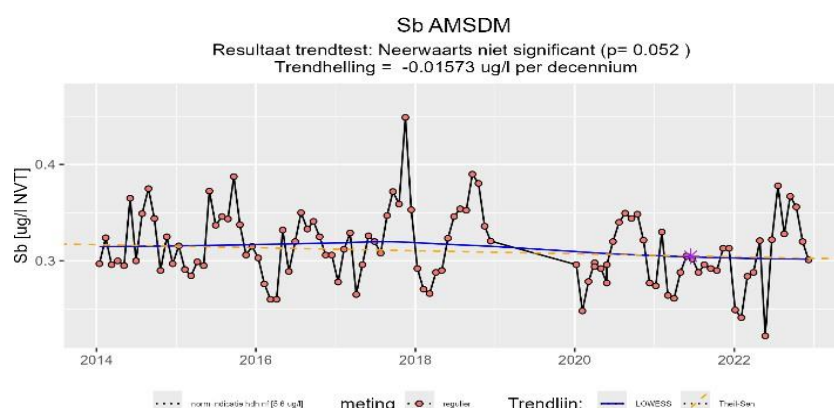
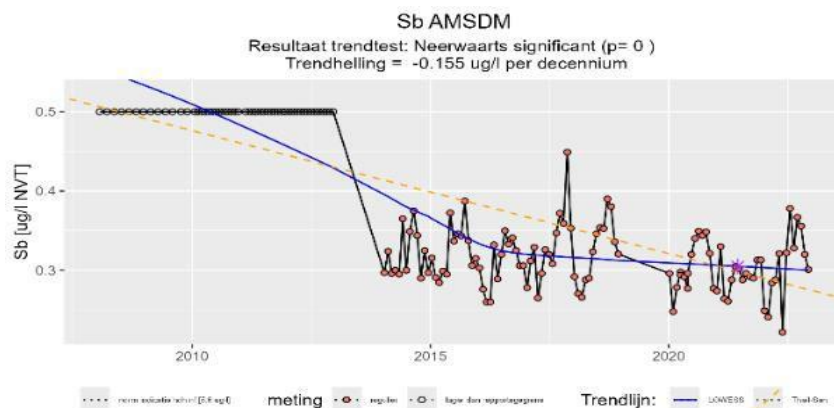
Het eerste criterium is het selecteren van jaren waarin er minimaal 4 metingen per meetpunt zijn uitgevoerd en minimaal 50% van de metingen boven de rapportagegrens ligt. Het minimaal aantal metingen is verlaagd ten opzichte van KRW-NUTrend (minimaal 8 metingen), door de voorgeschreven meetfrequentie van 4 metingen per jaar voor de meeste KRW-stoffen en de complexere analysemethode voor deze stoffen in vergelijking met de nutriënten. De 50%-grens is gekozen om een robuuste trendanalyse mogelijk te maken, waarbij het effect van rapportagegrenzen wordt beperkt en er toch voldoende data beschikbaar blijft om een beeld te vormen van landelijke trends. De rapportagegrenzen van veel stoffen zijn in de loop van de tijd verlaagd, waardoor het kan lijken alsof de concentraties dalen, terwijl er in werkelijkheid alleen sprake is van een dalende rapportagegrens. Deze grens wordt ook geadviseerd in de trendanalyse methodes die gebruikt zijn voor grondwaterstudies (ITRC, 2013).

Tabel 2.2 geeft een overzicht van hoeveel data overblijft nadat het criterium is toegepast. De selectie van minimaal 4 metingen per jaar is een streng criterium waardoor ongeveer 2/3 van de metingen afvalt. Bij de volgende selectie stap in dit criterium, waarbij minimaal 50% boven de rapportagegrens moet liggen, valt nog eens ongeveer 1/3 van de resterende metingen af.

Tabel 2.2 Overzicht van de dataselectie op basis van verschillende grenswaardecriteria voor de trendanalyse. Het blauwe kader geeft de grenswaarde aan die is gebruikt voor dit onderzoek.

grenswaarde criteria	metingen	meetpunten	parameters	parameter-meetpunt combinatie
startdata	9.523.301	14.606	180	278.394
4 metingen in 1 jaar en alle metingen	5.791.473	4.438	163	58.367
4 metingen in 1 jaar en 30% boven de rapportagegrens	2.919.498	4.289	105	27.070
4 metingen in 1 jaar en 50% boven de rapportagegrens	2.690.709	4.058	97	24.950
4 metingen in 1 jaar en 70% boven de rapportagegrens	2.523.229	3.816	90	23.913

In Figuur 2.1 staat een voorbeeld van een stof-meetpunt combinatie waarbij de jaren die niet voldeden aan het criterium van de rapportagegrens eruit zijn gefilterd.



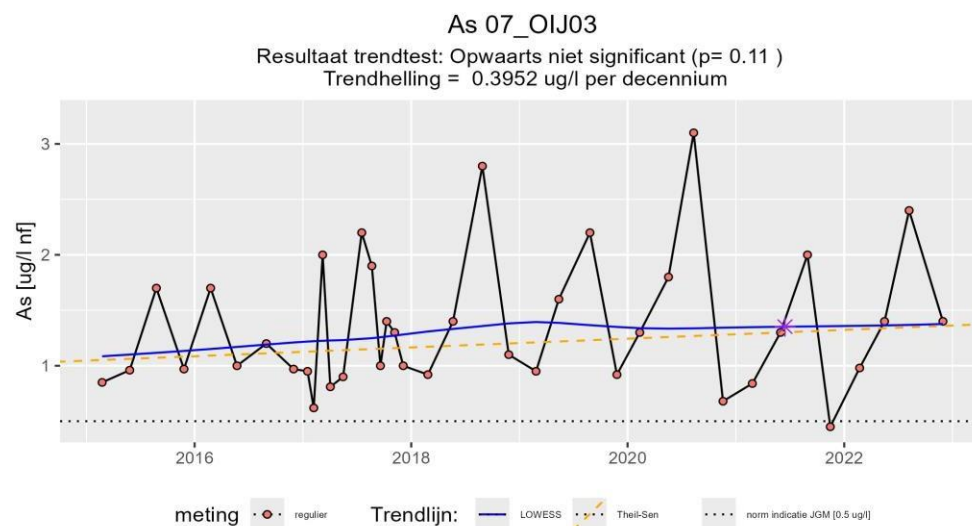
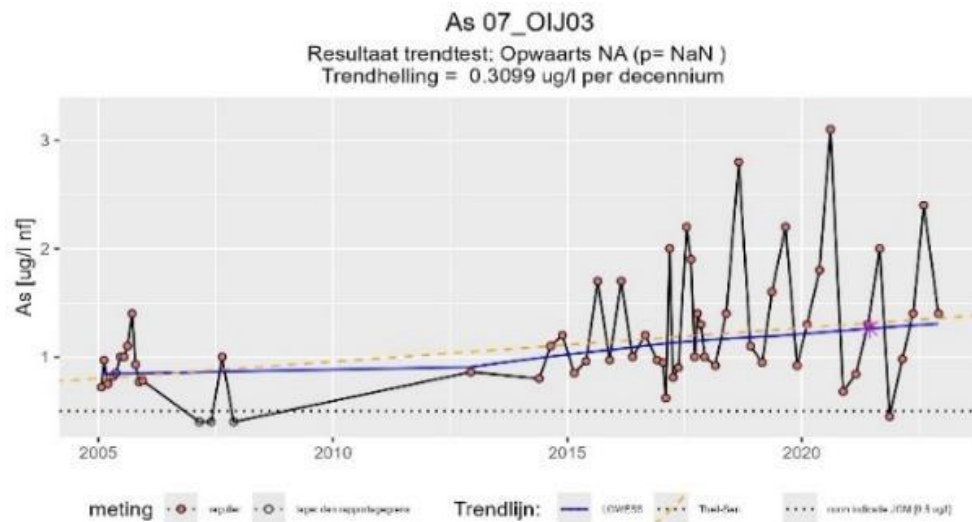
Figuur 2.1 Voorbeeld van een plot van een stof-meetpunt combinatie (Sb op meetpunt AMSDM), waarbij jaren met onvoldoende metingen boven de rapportagegrens zijn uitgefilterd.

2. Minimaal 5 jaar data en 1 van die jaren in de afgelopen 3 jaar.

Het criterium voor de minimale datareeks is verkort van 10 jaar in KRW-NUTrend naar 5 jaar, omdat in deze studie een grotere variëteit aan stoffen is geanalyseerd, die vaak minder frequent worden gemeten dan de nutriënten. Om toch een meerjarige trend te berekenen is als criterium gesteld dat er minimaal 5 jaren beschikbaar moeten zijn met voldoende metingen (≥ 4) boven de rapportagegrens ($\geq 50\%$). Daarnaast moet er in de afgelopen 3 jaar minimaal 1 jaar beschikbaar zijn met voldoende metingen (≥ 4) boven de rapportagegrens ($\geq 50\%$) om er zeker van te zijn dat ook recente metingen in de selectie vertegenwoordigd zijn.

3. Verwijdering begindata bij parameter-meetpunt combinaties met een data gat van meer dan 9 jaar.

Binnen de trend is gekeken of er geen gat van meer dan 9 jaar in de data aanwezig was. Als dit wel het geval was, is het korte deel aan het begin van de tijdreeks verwijderd, zoals weergegeven in Figuur 2.2. Dit voorkomt een te grote interpolatie van de trend voor de ontbrekende jaren en zorgt ervoor dat het meest representatieve deel van de data wordt gebruikt.



Figuur 2.2 Voorbeeld van een plot van een stof-meetpunt combinatie (As op meetpunt 07_OIJ03), waarbij er een gat van meer dan 9 jaar aanwezig is in de trendgeschikte data.

De overgebleven dataset na het toepassen van de drie criteria bestaat uit 2.638.432 metingen, 24.373 meetlocaties en 97 stoffen, waarvan 81 chemische stoffen en 16 toxische druk parameters. Alle stof-meetpunt combinaties die hiertoe behoren zijn benoemd als 'trendgeschikt' en gebruikt voor de trendberekeningen.

Voor de trendberekeningen per parameter-meetpunt combinatie zijn alle locaties geselecteerd die voldoen aan de bovenstaande selectiecriteria. Vervolgens zijn de berekende trends geaggregeerd naar een trend op landelijk niveau. Door eerst trends per meetlocatie te bepalen en vervolgens te aggregeren heeft de variatie in de absolute concentratieniveaus geen invloed op de resultaten van de trendanalyse. Daarnaast is deze methode minder gevoelig voor gaten in de tijdreeksen (Broers & Van de Grift, 2004; Visser, 2009). Belangrijk bij de trendanalyse is dat er robuuste niet-parametrische statistische methodes worden gebruikt, die niet of nauwelijks gevoelig zijn voor uitschieters. Hierbij is er dus niet uitgegaan van een vooraf bepaalde verdeling. Verder zijn de gebruikte methoden ook minder gevoelig voor metingen onder de rapportagegrens (Hirsch et al., 1982). De gebruikte methodes komen overeen met de methodes toegepast in eerdere rapportages zoals van het MNLSO (Klein et al., 2015):

- 1 De Seasonal Mann Kendall trendtest (Hirsch and Slack, 1984) is een statistische test die aangeeft of er een significante opwaartse of neerwaartse trend in de gegevens aanwezig is.
- 2 De Theil-Sen hellingschatter (Hirsch et al., 1982) is een methode waarmee de mediane trendhelling met het 95% betrouwbaarheidsinterval wordt bepaald. Een minpunt van deze analyse is dat er slechts één (mediane) helling voor de hele meetperiode berekend wordt, terwijl een trend ook tijdens de meetperiode steiler kan worden of kan afvlakken. De eenheid van de helling wordt in dit rapport weergegeven als mg/L per decennium.
- 3 De LOWESS-trendlijn (Cleveland, 1979) trekt een globale kromme, een soort lokale mediaan, door de meetgegevens, waardoor een trendlijn ontstaat die bijvoorbeeld kan afvlakken als een trend niet doorzet.

De gebruikte methodes zijn beschreven in de internationale wetenschappelijke literatuur en worden veelvuldig gehanteerd, zowel in de hydrologie als in andere disciplines. De analyses zijn uitgevoerd in het statistische programma RStudio versie 2023.01.01. Meer informatie over de gebruikte trendanalyse methoden staat in Bijlage 7D.

2.4 Toxische druk bepaling

2.4.1 Toxiciteitsdata selectie

Voor het berekenen van de toxische druk is er gebruik gemaakt van 2 datasets: de dataset met alle beschikbare stoffen en de dataset met alleen KRW-relevante stoffen (uitgelegd in paragraaf 2.1). De selectie van de toxiciteitsdata bestaat uit een viertal stappen. Deze zijn weergegeven in Tabel 2.3 en worden hieronder nader toegelicht.

1. Uitsluiting stoffen.

Niet alle stoffen worden meegenomen in het berekenen van de toxische druk, omdat er stoffen zijn waarvan de toxiciteit niet accuraat berekend kan worden, zoals aangegeven in het STOWA-rapport van Postma et al. (2021). Om verwarring bij de interpretatie te voorkomen, is ervoor gekozen om een aantal 'van nature voorkomende' stoffen niet mee te nemen in de berekeningen, vanwege het belang van biologische beschikbaarheid. Dit zijn metalen zoals aluminium, mangaan, antimoon en silicium en stoffen als nitraat, chloride, fluoride en sulfaat, en het meenemen van deze stoffen zou gemakkelijk leiden tot een overschatting van de toxiciteit. De dataset met alle stoffen bestaat na deze selectie uit 16.162.901 metingen van 1.233 chemische stoffen en de KRW-dataset met 6.205.140 metingen van 163 chemische stoffen.

2. Uitsluiting metingen onder de rapportagegrens.

Alleen concentraties die boven de rapportagegrens zijn gemeten, zijn gebruikt voor de toxische druk berekeningen. Deze aanpak is gekozen om zo de toxiciteit niet onnodig te overschatten en geen ongegronde negatieve conclusies te trekken. De metingen onder de rapportagegrens en niet-gemeten stoffen kunnen wel bijdragen aan het mengseleffect, maar de grootte van deze bijdrage valt niet met zekerheid te berekenen. Hierdoor konden uit de dataset met alle stoffen 11.803.587 metingen (73% van het totaal aantal metingen) en 308 unieke stoffen niet worden meegenomen. Bij de KRW-dataset konden 4.845.938 metingen (78% van het totaal aantal metingen) en 7 unieke stoffen niet worden meegenomen.

Tabel 2.3 Overzicht van de verschillende stappen in de toxiciteitsdata verwerking.

stappen in de methodiek	KRW-stoffen			alle stoffen		
	metingen	stoffen	locaties	metingen	stoffen	locaties
Startdata	7.212.601	164	13.830 ^a en 703 ^b	20.174.771	1.242	14.311 ^a en 703 ^b
1. Uitsluiting stoffen	1.007.461	1	7.294 ^a	4.011.870	9	389 ^a
Rest na uitsluiting	6.205.140	163	7.017 ^a	16.162.901	1.233	13.922 ^a
2. Uitsluiting metingen onder rapportagegrens	4.845.938	7	439 ^a	11.803.587	308	3.968 ^a
Rest na uitsluiting	1.359.202	156	6.578 ^a	4.359.314	925	9.954 ^a
3. Uitsluiting stoffen zonder toxiciteitsdata	17.693	19	2 ^a	115.252	133	2 ^a
Rest na uitsluiting	1.341.509	137	6.576 ^a	4.244.062	792	9.952 ^a
4. Uitsluiting metingen niet gekoppeld aan KRW-waterlichaam	492.454	1	4.321 ^a	1.735.549	22	6.905 ^a
Rest na uitsluiting	849.055	136	2.255 ^a en 669 ^b	2.508.513	770	3.047 ^a en 702 ^b

^a aantal meetpunten

^b aantal KRW oppervlaktewaterlichamen

3. Uitsluiting stoffen zonder goede kwaliteit toxiciteitsdata.

Om conclusies te kunnen trekken over de toxiciteit van de gemeten stoffen in het aquatische milieu, zijn gemodelleerde toxiciteitsgegevens uit de SSD-database (species sensitivity distribution database) van Posthuma et al. (2019) gebruikt. De stoffen in deze database die of geen chronische of geen acute SSD bevatten zijn uitgesloten, zodat de chronische en acute toxiciteitsberekeningen altijd dezelfde set stoffen betreffen en met elkaar kunnen worden vergeleken (onder deze 19 uitgesloten stoffen valt ook ammonium). Door het niet meenemen van ammonium (en de andere stoffen) zal de berekende toxische druk in deze studie een onderschatting zijn van de werkelijkheid. De mate van de bijdrage van de toxische druk van ammonium is afhankelijk van de locatie: Postma concludeert in het STOWA rapport (Postma et al., 2021) dat ammonium in driekwart van de locaties een geringe bijdrage heeft in de toxiciteit en voor het resterende deel een grote bijdrage. Daarnaast zijn de stoffen uitgesloten met onvoldoende data om een SSD-helling te berekenen volgens de SSD-kwaliteitsscore van Posthuma et al. (2019). Voor 133 stoffen uit de waterkwaliteit database ontbraken toxiciteitsgegevens, met uiteindelijk 792 stoffen en 4.244.062 metingen op 9.952 meetpunten voor verdere analyse. Van de KRW-relevante stoffen ontbraken er toxiciteitsgegevens van 19 stoffen, waardoor 1.341.509 metingen overbleven van 137 unieke stoffen voor 6.576 meetpunten.

4. Uitsluiting metingen niet gekoppeld aan KRW-waterlichaam.

Om inzicht te krijgen in de toxische druk van verschillende geografische niveaus, zijn de locaties, indien mogelijk, gekoppeld aan een KRW-waterlichaam aan de hand van de coördinaten van de meetlocaties en de polygonen van de KRW-waterlichamen. Na het uitsluiten van de metingen die niet gekoppeld konden worden aan een KRW-waterlichaam (1.735.549 metingen; 41%) in de dataset met alle stoffen, resulteerde dit in een dataset van 2.508.513 metingen van 770 unieke chemicaliën voor 702 KRW-waterlichamen. Bij de dataset voor alleen de KRW-stoffen bleven er 849.055 metingen over van 136 unieke stoffen en 669 KRW-waterlichamen. In Bijlage 7E is aangegeven welke stoffen zijn meegenomen in welke msPAF-berekening.

2.4.2 Mengselbepaling

Stoffen worden op verschillende locaties en tijdstippen gemeten. Om een uitspraak te kunnen doen over de blootstelling van het aquatische milieu voor een locatie of gebied is een ruimtelijke en een temporele aggregatie uitgevoerd. De geaggregeerde meetdata kunnen dan worden beschouwd als een mengsel. Ten eerste is een ruimtelijke aggregatie uitgevoerd van de gemeten concentraties op 2 schaalniveaus, namelijk op meetpunt niveau en op KRW-waterlichaam niveau (soms liggen er meerdere meetpunten in één waterlichaam). Daarna is een temporele aggregatie uitgevoerd door een blootstellingsvenster van 30 dagen te kiezen, met als doel om de KRW-methode van maandelijkse temporele aggregatie na te bootsen (Rorije et al., 2022). De ruimtelijke en temporele aggregatie van concentraties resulteert in plaats-tijd-combinaties die verder worden beschouwd als mengsels.

Maximale concentraties van een stof in een mengsel zijn gebruikt om de piekblootstelling van incidenteel uitgestoten stoffen (bijv. pesticiden) mee te nemen in de analyse. Gemiddelde concentraties van een stof in een mengsel zijn gebruikt om de meer constant uitgestoten stoffen op te nemen in de analyse. Met het uitsluitend berekenen van gemiddelden zouden sterke effecten van piekblootstellingen minder optreden.

Daarnaast wordt onderscheid gemaakt in het meenemen van alle gemeten stoffen en het meenemen van alleen de KRW-stoffen in de berekening van de toxische druk.

In dit onderzoek bestaat een mengsel uit de maximale of de gemiddelde concentratie van gemeten chemische stoffen (alle stoffen of alleen KRW stoffen) binnen een meetpunt of KRW-waterlichaam gedurende een periode van 30 dagen.

2.4.3 Toxische druk methode

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een *multi-substance Potentially Affected Fraction* van soorten (msPAF) om de trend in toxische druk over de tijd te berekenen.

De *Potentially Affected Fraction* van soorten (PAF) kan worden gebruikt om de negatieve impact van een chemische stof op het aquatische milieu te kwantificeren. De PAF is een op ecologie gebaseerde risicokarakterisering, waarbij een $PAF < 0.05$ (indien gebaseerd op *No Effect Concentration* (NOEC)-testgegevens) impliceert dat minder dan 5% van de soorten negatief wordt beïnvloed door een specifieke chemische stof op hun *no-effect* niveau. Een msPAF werkt op een vergelijkbare manier, maar kan worden gebruikt als een indicator voor de impact van een mengsel van stoffen in plaats van een enkele chemische stof. In dit onderzoek zijn de PAFs berekend op twee effectniveaus, allebei afgeleid uit de database van Posthuma et al. (2019):

- 1 Chronische toxiciteit bepaald door de HC5NOEC-waarde, die aangeeft bij welke concentratie van een stof minder dan 5% van de soorten wordt beïnvloed op hun *no-effect* niveau.

- 2 Acute toxiciteit bepaald door de EC50-waarde, de concentratie waarbij 50% van de soorten sub-letale of dodelijke effecten vertoont (sterfte en immobiliteit).

Deze PAFs karakteriseren de fracties van soorten die zijn blootgesteld aan niveaus boven hun NOEC (PAF_{NOEC}) en boven hun EC50 (PAF_{EC50}). De toxische druk van de mengsels in dit onderzoek zijn geschat door de PAFs op een respons-additieve manier te aggregeren (zie vergelijking 1), om zowel $msPAF_{NOEC}$ als $msPAF_{EC50}$ uit te drukken (de Zwart, 2001). De aggregatie methode komt overeen met de methode gebruikt voor de ecologische sleutelfactor toxiciteit van STOWA (Postma et al., 2021), waarin:

$$msPAF \text{ respons additie} = 1 - ((1-PAF_i) * (1-PAF_j) * \dots) \quad (1)$$

waarbij i en j chemische stoffen zijn

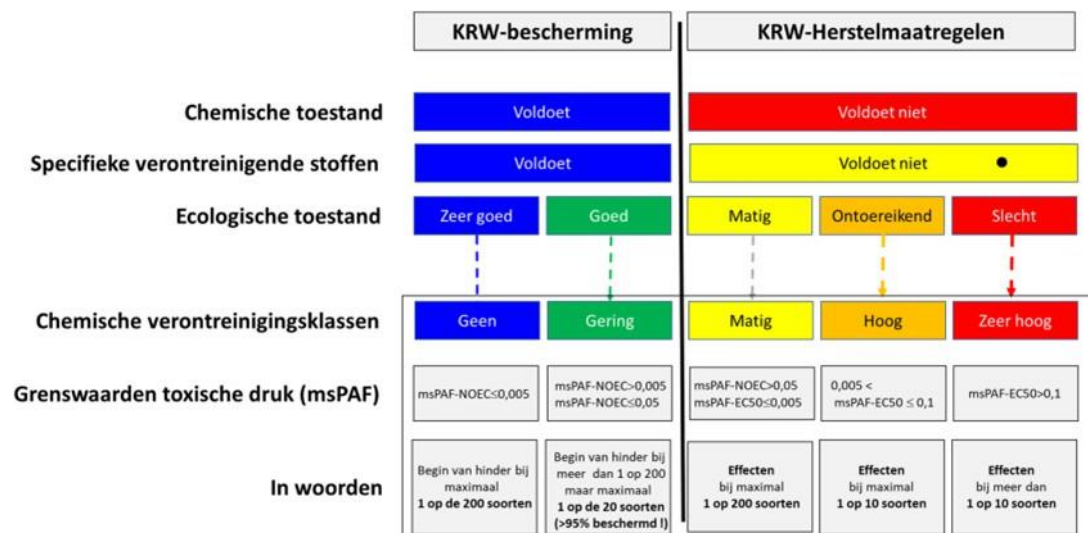
Deze aggregatie methode heeft tot gevolg dat de $msPAF$ nooit meer dan 100% van de soorten beïnvloeden. Bij het uitvoeren van de $msPAF$ -berekeningen in dit onderzoek is de respons-additiebenadering gebruikt, omdat verschillende (meer complexe) mengselmodelaannames vergelijkbare resultaten opleveren, en respons-additiviteit de meest eenvoudige berekeningsbenadering is die nog steeds realistischer wordt geacht dan de (nog eenvoudigere) concentratie-additie (Drescher & Boedeker, 1995; Posthuma et al., 2019; Rorije et al., 2022).

De berekende $msPAF$ -waarden in dit onderzoek geven inzicht in de omvang van de impact van het mengsel op het aquatische milieu, uitgedrukt in percentages van een potentieel effect op soorten (variërend tussen 0 en 100 procent). Ze kwantificeren de gevolgen van onvoldoende bescherming tegen mengsels, waarbij biodiversiteitseffecten en verminderde ecologische status worden gekarakteriseerd (Lemm et al., 2021; Posthuma et al., 2020; Posthuma & De Zwart, 2006; Posthuma & de Zwart, 2012).

De $msPAF_{NOEC}$ is de fractie van soorten die potentieel voorbij hun chronische no-effect niveau worden beïnvloed door blootstelling aan een specifiek mengsel. De $msPAF_{EC50}$ geeft de fractie van soorten weer die potentieel voorbij hun acute EC₅₀-niveau worden beïnvloed.

Om de uitgerekende $msPAFs$ per mengsel in perspectief te plaatsen wordt gebruik gemaakt van een toetsingskader van de ecologische sleutelfactor toxiciteit van de STOWA (Posthuma et al., 2021), waarbij het niet voldoen aan de chemische toestand wordt beschreven door gebruik te maken van de toxische druk (Figuur 2.3). In andere woorden: als de normoverschrijding ervoor zorgt dat het waterlichaam niet voldoet aan de gewenste chemische toestand, kan de toxische druk helpen om inzicht te geven in de directe effecten van de mate van verontreiniging op waterorganismen. In dit onderzoek wordt een klassegrens gebruikt van 5% voor de $msPAF_{NOEC}$ (chronische toxische druk), wat wordt beschouwd als matige chemische verontreiniging, en een klassegrens van 10% voor de $msPAF_{EC50}$ (acute toxische druk) om zeer hoge chemische verontreiniging te identificeren.

Uiteindelijk zijn er in deze studie 16 toxische druk berekeningen uitgevoerd, namelijk voor acute en chronische toxische druk, met gemiddelde en maximale concentraties van een stof binnen 30 dagen, voor meetpunten en KRW-waterlichamen en met zowel alle stoffen als alleen KRW-stoffen. Tabel 2.4 geeft een overzicht van de varianten van de uitgevoerde $msPAF$ -berekeningen.



Figuur 2.3 Vijf klassen voor chemische verontreiniging, gedefinieerd met de beginselen van de KRW en door kennis van principes achter de vaststelling van en de bekende waarden van de toxische druk en ecologische effect (overgenomen uit Posthuma et al., 2021).

Tabel 2.4 Overzicht van de verschillende uitgevoerde msPAF-berekeningen per stofselectie, per locatietype en per toxiciteitstype.

Stofselectie	Toxiciteitstype	Meetpunt		KRW-waterlichaam	
		Gemiddelde concentratie	Maximale concentratie	Gemiddelde concentratie	Maximale concentratie
Alle stoffen	msPAF _{NOEC}	Alle mean NOEC	Alle max NOEC	Alle mean NOEC	Alle max NOEC
	msPAF _{EC50}	Alle mean EC50	Alle max EC50	Alle mean EC50	Alle max EC50
KRW stoffen	msPAF _{NOEC}	KRW mean NOEC	KRW max NOEC	KRW mean NOEC	KRW max NOEC
	msPAF _{EC50}	KRW mean EC50	KRW max EC50	KRW mean EC50	KRW max EC50

3 Resultaten trendanalyse KRW stoffen

Van de 164 KRW stoffen, zijn er 81 stoffen die trend-geschikte locaties bevatten, waarmee een landelijk geaggregeerde trend bepaald kan worden. Van alle locaties waar deze stoffen zijn gemeten, voldoet gemiddeld per stof maar 7.5% van de locaties aan de criteria voor een trend-bepaling en zijn daarmee dus trendgeschikt (paragraaf 2.3). De landelijke trend van deze 81 stoffen is voor 52 stoffen significant neerwaarts en voor 1 stof significant opwaarts. Voor 28 stoffen was de trendrichting niet significant stijgend of dalend. De enige stof met de significant opwaartse trend is 12DCIC3a (1,2-dichloorpropaan). Deze trend is echter gebaseerd op 1 locatie, wat maakt dat het geen landelijke trend is. De trendanalyse resultaten van alle KRW-stoffen staan weergegeven in Bijlage 7E.

In Tabel 3.1 staan de trendresultaten weergegeven voor de stoffen in de Memo Stoffenlijst KRW impuls (Hin et al., 2023) waarvan een trend bepaald kon worden. Aanvullende informatie van elk van deze stoffen is te vinden in Bijlage 7F. Om de tabel overzichtelijk te maken zijn kleurcodes gebruikt om in een oogopslag te zien in welke richting de trend beweegt en hoeveel procent van de trend-geschikte locaties deze trendrichting volgen (Figuur 3.1). De stoffen uit de Memo Stoffenlijst KRW impuls waarvan geen trend berekend kon worden zijn weergegeven in Tabel 3.2

Landelijke trend	Locaties met neerwaartse trend	Locaties met opwaartse trend
Neerwaarts	75 - 100 %	0-25 %
Geen trend	50 - 75 %	25 - 50 %
	25 - 50 %	50 - 75 %
	0 - 25 %	75 - 100 %

Figuur 3.1 Legenda met kleurcodes voor Tabel 3.1.

Uit Tabel 3.1 kan opgemaakt worden dat er verschillende trendgeschikte locaties zijn met een significant opwaartse trend. Gemiddeld is er op 4.7% van de locaties een significant opwaartse trend gevonden en dus een verhoging van de concentratie van deze stof in het oppervlaktewater. Voor seleen zijn er relatief veel locaties (34%; 31 locaties) die een significant opwaartse trend weergeven. De rest van de stoffen hebben relatief weinig trendgeschikte locaties met een opwaartse trend (<25%). Daarnaast zijn er enkele stoffen met relatief weinig locaties die een neerwaarts significante trend laten zien en dus niet verbeteren (<25%): benzo(b)fluorantheen (18%; 12 locaties), arseen (7%; 22 locaties), seleen (23%; 21 locaties) en uranium (13%; 30 locaties).

Tabel 3.1 Trendanalyse resultaten van de stoffen van de Memo Stoffenlijst KRW impuls (Hin et al., 2023) waarvan een trend bepaald kon worden. De kleuren geven een duiding van de trend waarbij de percentages van aantallen locaties is opgedeeld in kwartielen en de opwaartse en neerwaartse trend een omgekeerde kleurenschaal hebben. Op deze manier hebben de positieve ontwikkelingen van een stof voor zowel een groot aantal neerwaartse trends als een laag aantal opwaartse trends dezelfde kleur gekregen. Zie Figuur 3.1 voor de legenda van de kleurcodes. De percentages zijn berekend over het totaal aantal trendgeschikte locaties. De laatste twee kolommen (lichtblauw) geven aan hoeveel procent van de KRW-waterlichamen voldoen aan de KRW-normen volgens de officiële toetsing, zoals weergegeven in de Memo Stoffenlijst KRW impuls.

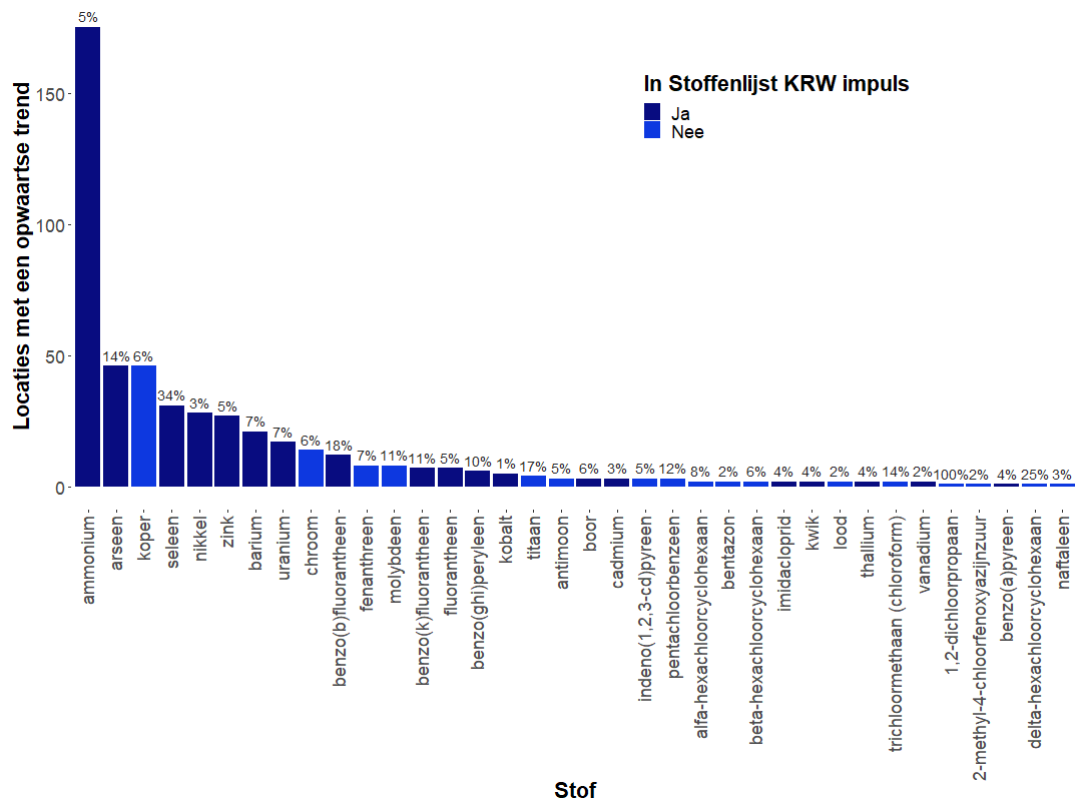
parameter	landelijke trend	neerwaartse trend	opwaartse trend	geen significante trend	trendgeschikte locaties	voldoet	voldoet niet
tributyltin (kation)	neerwaarts	75 %	0 %	25 %	16 (10%)	68 %	32 %
carbendazim	neerwaarts	50 %	0 %	49 %	135 (26%)	94 %	6 %
dimethenamid-P	geen	44 %	0 %	55 %	9 (2%)	98 %	2 %
imidacloprid	neerwaarts	60 %	4 %	35 %	48 (5%)	95 %	5 %
metolachloor	neerwaarts	52 %	0 %	47 %	44 (8%)	99 %	1 %
metazachloor	geen	33 %	0 %	66 %	15 (2%)	100 %	0 %
pirimicarb	geen	56 %	0 %	43 %	23 (3%)	100 %	0 %
hexachloorbutadieen	geen	66 %	0 %	33 %	3 (0,9%)	100 %	0 %
PFOS	neerwaarts	100 %	0 %	0 %	1 (0,4%)	34 %	66 %
fluorantheen	geen	40 %	4 %	54 %	142 (17%)	65 %	35 %
benzo(a)pyreen	geen	29 %	4 %	66 %	24 (3%)	76 %	24 %
benzo(b)fluorantheen	geen	18 %	18 %	63 %	66 (8%)	83 %	17 %
benzo(ghi)peryleen	neerwaarts	32 %	9 %	58 %	62 (7%)	70 %	30 %
benzo(k)fluorantheen	neerwaarts	28 %	11 %	60 %	63 (7%)	96 %	4 %
benzo(a)antraceen	geen	29 %	0 %	70 %	17 (2%)	58 %	42 %
chryseen	geen	50 %	0 %	50 %	12(1%)	88 %	12 %
ammonium	neerwaarts	47 %	5 %	47 %	3260 (50%)	32 %	68 %
nikkel	neerwaarts	50 %	3 %	45 %	905 (42%)	97 %	3 %
cadmium	neerwaarts	81 %	2 %	16 %	106 (5%)	99 %	1 %
kwik	neerwaarts	37 %	4 %	57 %	45 (3%)	39 %	61 %
arseen	geen	7 %	14 %	78 %	318 (26%)	36 %	64 %
barium	neerwaarts	36 %	6 %	57 %	311 (31%)	98 %	2 %
boor	neerwaarts	33 %	6 %	60 %	48 (11%)	85 %	15 %
kobalt	neerwaarts	32 %	1 %	66 %	342 (25%)	18 %	82 %
seleen	geen	23 %	34 %	43 %	92 (8%)	16 %	84 %
thallium	neerwaarts	56 %	3 %	40 %	55 (5%)	99 %	1 %
uranium	geen	13 %	7 %	80 %	236 (22%)	82 %	18 %
vanadium	neerwaarts	57 %	2 %	40 %	97 (22%)	96 %	4 %
zilver	neerwaarts	100 %	0 %	0 %	14 (1%)	60 %	40 %
zink	neerwaarts	33 %	%	61 %	551 (21%)	61 %	39 %

De stoffen, waarvan geen trend bepaald kon worden zijn voornamelijk bestrijdingsmiddelen (zie Tabel 3.2). Dit is te verklaren door het feit dat deze stoffen zeer moeilijk te meten zijn, waardoor bijna alle metingen onder de rapportagegrens liggen. Voor de stoffen aclonifen, bifenox, cypermethrin, heptachloor en -epoxide, abamectine, lambda-cyhalothrin, methylpirimifos, pyridaben wordt dit bevestigd in de Bestrijdingsmiddelenatlas waar de gemiddelde concentratie en de gemiddelde rapportagegrens bijna altijd gelijk zijn (Vijver et al., 2008). Voor de stof methylpirimifos is er wel een dalende trend zichtbaar vanaf 1997, maar de laatste 20 jaar is ook hier de gemiddelde concentratie gelijk aan de gemiddelde rapportagegrens (Vijver et al., 2008). Voor de stof esfenvaleraat, dioxines, en PDBEs zijn geen andere vergelijkbare trendanalyses beschikbaar.

Tabel 3.2 Overzicht van stoffen in de Memo Stoffenlijst KRW impuls (Hin et al., 2023) waarvan geen trend bepaald kon worden.

parameter	
acлонifen	esfenvaleraat
bifenox	lambda-cyhalothrin
cypermethrin	methylpirimifos
heptachloor en -epoxide	pyridaben
abamectine	dioxines
deltamethrin	PBDEs

Absoluut gezien zijn er voor 36 stoffen (waarvan 20 stoffen uit de stoffenlijst KRW-impuls) locaties (variërend van 1 tot 175 locaties per stof) met een significant opwaartse trend en dus een verslechtering (Figuur 3.2). De stoffen met de meeste locaties en een stijgende concentratie zijn ammonium (175 locaties; 5%), arseen (46 locaties;14%), koper (46 locaties; 6%), seleen (31 locaties; 34%), nikkel (28; 3%) en zink (27; 5%). Waar deze locaties zich bevinden is weergegeven op de kaarten in Bijlage 7F voor de stoffen uit de KRW-impuls stoffenlijst en in Bijlage 7G voor de overige KRW-stoffen.



Figuur 3.2 Het aantal locaties met een opwaartse trend per stof. Percentages geven aan welk aandeel van de totale bemeeten locaties dit betreft. Tevens is aangegeven of deze stof opgenomen is in de Memo Stoffenlijst KRW impuls (Hin et al., 2023).

4 Resultaten toxische druk

4.1 Overzicht berekeningen

Om de landelijke trend van de toxische druk te bepalen is er gekeken naar de acute ($\text{msPAF}_{\text{EC50}}$) en chronische ($\text{msPAF}_{\text{NOEC}}$) toxische druk van alle gemeten chemische stoffen en van alleen de KRW-stoffen op 2 geografische niveaus voor zowel de gemiddelde als de maximale meetwaarden. In

Tabel 4.1 is een overzicht gegeven voor deze 16 berekeningen van het (gemiddelde) aantal stoffen in een mengsel en het percentage mengsels dat matig ($\text{msPAF}_{\text{NOEC}} > 5\%$) of zeer hoog ($\text{msPAF}_{\text{EC50}} > 10\%$) verontreinigd is voor alle uitgevoerde toxische druk berekeningen. De dataset met alle stoffen bevat ongeveer 6 maal zoveel stoffen (770) als de KRW-stoffen set (136). Wanneer alle stoffen worden meegenomen is daarom ook het aantal mengsels groter (ongeveer 2 maal zo groot) dan voor de selectie van alleen de KRW-stoffen, zowel op meetpuntniveau als op waterlichaam niveau. Het gemiddeld aantal stoffen varieert van 7 tot 11 voor de verschillende rekenvarianten. Om een indruk te geven van het aantal stoffen in de mengsels, is ook het aantal mengsels met meer dan 25 stoffen in Tabel 4.1 weergegeven. Het gemiddelde aantal stoffen voor de mengsels met meer dan 25 stoffen ligt tussen de 35 (set met alleen KRW-stoffen) en 44 (set met alle stoffen).

In Tabel 4.1 is te zien dat voor de rekenvarianten met de gemiddelde of de maximale concentratie de verschillen in de overschrijding van de gehanteerde klassegrenzen gering zijn (tussen de 1 en 3 procent). In de vervolganalyse is daarom de focus gelegd op de berekeningen die gedaan zijn met de maximale concentratie, om zo ook de piekblootstellingen mee te nemen. Bijna overal in Nederland werd in de afgelopen 22 jaar minstens 5% van de soorten beïnvloed door de gezamenlijke blootstelling aan stoffen. Bij de $\text{msPAF}_{\text{NOEC}}$ berekening van 1990 tot 2022 met alle gemeten stoffen (allmaxNOEC en allmaxNOEC_OW), heeft 89% van de mengsels gebaseerd op meetpunten, en 91% van de mengsels gebaseerd op waterlichamen een $\text{msPAF}_{\text{NOEC}} > 5\%$. Dit is het geval voor alle mengsels (met gemiddeld 8 of 11 stoffen), maar nog in grotere hoeveelheid (98% van de meetpunten mengsels en 99% van de waterlichamen mengsels) voor mengsels met meer dan 25 stoffen (met gemiddeld 44 of 42 stoffen). Bij de $\text{msPAF}_{\text{NOEC}}$ berekeningen met alleen de KRW-stoffen (KRWmaxNOEC en KRWmaxNOEC_OW) heeft 66% van de mengsels gebaseerd op meetpunten, en 77% van de mengsels gebaseerd op waterlichamen een $\text{msPAF}_{\text{NOEC}} > 5\%$. Dus wanneer er alleen gekeken wordt naar KRW-stoffen in een mengsel is de toxische druk vaak lager dan wanneer er wordt gekeken naar alle stoffen, wat aantoont dat ook de niet-KRW stoffen wel degelijk relevant zijn voor de toxische effecten op de omgeving.

Daarnaast zijn er locaties waar de $\text{msPAF}_{\text{EC50}}$ hoger is dan de klassegrens van 10%, wat betekent dat daar tenminste 10% van de soorten acute effecten ondervindt en de locaties zeer sterk verontreinigd zijn. Bij de $\text{msPAF}_{\text{EC50}}$ berekening met alle gemeten stoffen (allmaxEC50 en allmaxEC50_OW), heeft 22% van de mengsels gebaseerd op meetpunten en 25% van de mengsels gebaseerd op waterlichamen een $\text{msPAF}_{\text{EC50}} > 10\%$, dus een zeer hoog verontreinigingsniveau. Wanneer gekeken wordt naar de berekeningen van $\text{msPAF}_{\text{EC50}}$ met alleen KRW relevante stoffen, dan ligt ook hier de mate van overschrijding lager. Dit betreft namelijk een overschrijding ($\text{msPAF}_{\text{EC50}} > 10\%$) bij 3% van de mengsels gebaseerd op meetpunten en 4% gebaseerd op waterlichamen.

Tabel 4.1 Overzicht van het (gemiddelde) aantal stoffen in een mengsel en het percentage mengsels dat matig of zeer hoog verontreinigd is voor alle uitgevoerde toxische druk berekeningen.

geografische schaal	stoffenset	type toxiciteit	gebruikte concentratie	aantal unieke stoffen	aantal mengsels	aantal mengsels die matig (msPAF _{NOEC} > 5%) of zeer hoog (msPAF _{EC50} > 10%) verontreinigd zijn	stoffen per mengsel (gem.)	aantal mengsels met >25 stoffen	aantal mengsels die matig (msPAF _{NOEC} > 5%) of zeer hoog (msPAF _{EC50} > 10%) verontreinigd zijn van mengsels met >25 stoffen	stoffen per mengsel met >25 stoffen (gem.)
meetpunt	alle	chronisch (NOEC)	maximum	770	291.359	258.380 (89%)	8	13.029	12.785 (98%)	44
			gemiddelde			256.564 (88%)			12.758 (96%)	
		Acuut (EC50)	maximum			65.010 (22%)			5.968 (46%)	
			gemiddelde			55.217 (19%)			4.018 (31%)	
	KRW	chronisch (NOEC)	maximum	136	137.151	9.0011 (66%)	7	5.202	5.180 (96%)	35
			gemiddelde			88.819 (65%)			5.166 (99%)	
		Acuut (EC50)	maximum			4.770 (3%)			668 (13%)	
			gemiddelde			4.063 (3%)			634 (12%)	
waterlichaam	alle	chronisch (NOEC)	maximum	770	94.797	86.450 (91%)	11	7.973	7.926 (99%)	42
			gemiddelde			85.120 (90%)			7.879 (99%)	
		Acuut (EC50)	maximum			24.052 (25%)			3.802 (48%)	
			gemiddelde			17.137 (18%)			2.354 (30%)	
	KRW	chronisch (NOEC)	maximum	136	54.368	38.127 (70%)	8	2.678	2.664 (99%)	35
			gemiddelde			37.296 (69%)			2.644 (99%)	
		Acuut (EC50)	maximum			2.425 (4%)			294 (11%)	
			gemiddelde			1.313 (2%)			266 (10%)	

4.2 Overzicht van trends van de toxische druk

In Tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de trendanalyse resultaten van alle msPAF berekeningen met de gemiddelde msPAF waarde van de LOWESS-trendlijn van de jaren 2020-2022 ten opzichte van de klassegrens (5% voor NOEC en 10% voor EC50). In totaal zijn er voor alle msPAF berekeningen trendgeschikte locaties. De trendresultaten van deze locaties zijn weergegeven in Tabel 4.2. Van de 16 msPAF berekeningen hebben 2 berekeningen een opwaartse trend, namelijk de msPAF_{NOEC} met maximale en gemiddelde concentraties van de KRW-stoffen in een waterlichaam. Het trendgemiddelde is vergelijkbaar met de msPAF_{NOEC} berekeningen met KRW-stoffen op meetpunt niveau (tussen de 2 en 3 x de klassegrens van 5%), alleen bij deze berekeningen is de trend niet significant. Dit laat zien dat het trendgemiddelde ongeveer even hoog is, maar wanneer er op een groter (realistischer) niveau wordt geaggregeerd (van meetpunt naar waterlichaam niveau), krijgen

meer locaties een stijgende trend. Bij alle andere msPAF-berekeningen laat Tabel 4.2 zien dat de landelijke trend niet significant is en relatief gezien de minste locaties een opwaartse trend hebben. Het trendgemiddelde van de LOWESS-lijn ligt voor alle NOEC-berekeningen (chronische toxiciteit) ruim boven de norm van 5%, terwijl de EC50 (acute toxiciteit) nog ruim onder de norm liggen van 10%. Dit betekent dat landelijk gezien het oppervlaktewater (als er gekeken wordt naar mengsels) matig of sterk verontreinigd is (zie Figuur 2.3).

Tabel 4.2 Overzicht van de trendanalyse resultaten van alle msPAF-berekeningen en de gemiddelde msPAF-waarde van de LOWESS-trendlijn van de jaren 2020-2022 ten opzichte van de klassegrens (5% voor NOEC en 10% voor EC50).

geografische schaal	gebruikte stoffenset	type toxiciteit	gebruikte concentratie	totaal aantal locaties	aantal locaties niet trendgeschikt	aantal locaties geen trend	aantal locaties opwaartse trend	aantal locaties neerwaartse trend	trend conclusie	overschrijding van de klassegrens
meetpunt	alle stoffen	NOEC	max	3.951	2.142 (54%)	1.069 (27%)	232 (6%)	508 (13%)	neerwaarts	7.5
		NOEC	gem		2.143 (54%)	1.061 (27%)	210 (5%)	538 (14%)	neerwaarts	6.9
		EC50	max		2.144 (54%)	1.076 (27%)	179 (5%)	554 (14%)	neerwaarts	0.3
		EC50	gem		2.145 (54%)	1.077 (27%)	144 (4%)	588 (15%)	neerwaarts	0.2
	KRW stoffen	NOEC	max	2.769	1.730 (62%)	730 (26%)	156 (6%)	153 (6%)	geen	2.7
		NOEC	gem		1.731 (62%)	741 (27%)	149 (5%)	149 (5%)	geen	2.5
		EC50	max		1.732 (62%)	740 (27%)	106 (4%)	193 (7%)	neerwaarts	0.1
		EC50	gem		1.733 (62%)	742 (27%)	103 (4%)	194 (7%)	neerwaarts	0.1
waterlichaam	alle stoffen	NOEC	max	617	86 (14%)	216 (35%)	111 (18%)	204 (33%)	neerwaarts	8.2
		NOEC	gem		87 (14%)	212 (34%)	87 (14%)	232 (38%)	neerwaarts	6.6
		EC50	max		88 (14%)	223 (36%)	89 (14%)	219 (35%)	neerwaarts	0.3
		EC50	gem		89 (14%)	212 (34%)	69 (11%)	250 (41%)	neerwaarts	0.2
	KRW stoffen	NOEC	max	538	101 (19%)	261 (49%)	123 (23%)	53 (10%)	opwaarts	2.9
		NOEC	gem		102 (19%)	269 (50%)	111 (21%)	57 (11%)	opwaarts	2.5
		EC50	max		103 (19%)	285 (53%)	86 (16%)	66 (12%)	niet significant	0.1
		EC50	gem		104 (19%)	285 (53%)	73 (14%)	79 (15%)	niet significant	0.1

Om meer inzicht te krijgen in de trends van de toxische druk, worden de landelijke trends van de verschillende varianten van de msPAF-berekeningen die gebruik maken van de maximale concentratie op waterlichaam niveau in Paragraaf 4.3 en 4.4 verder geanalyseerd. Om een goed ruimtelijk beeld te krijgen van de msPAF-trends worden in Paragraaf 4.4 kaarten weergegeven van de trends en van de mate van klassegrens overschrijding van de verschillende varianten van de msPAF-berekeningen die gebruik maken van maximale concentratie op meetpuntniveau.

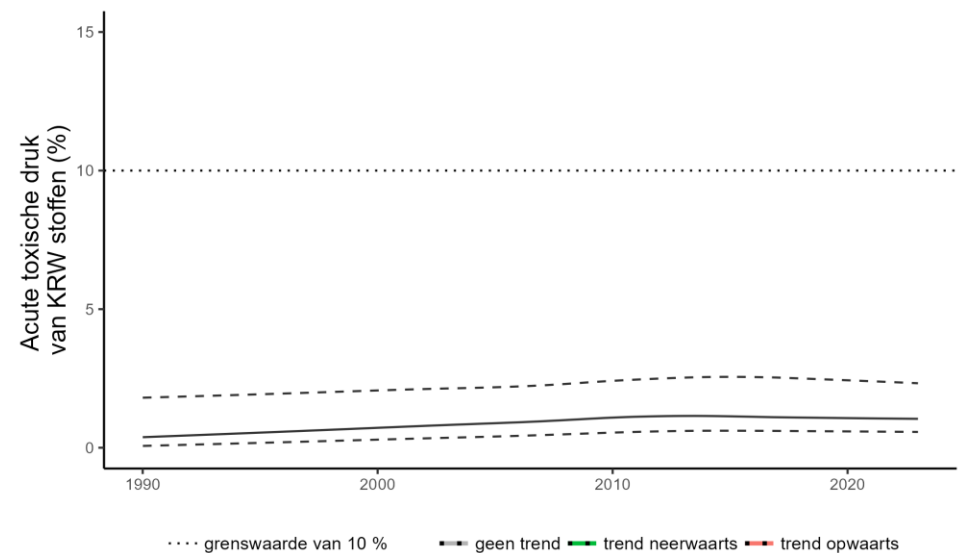
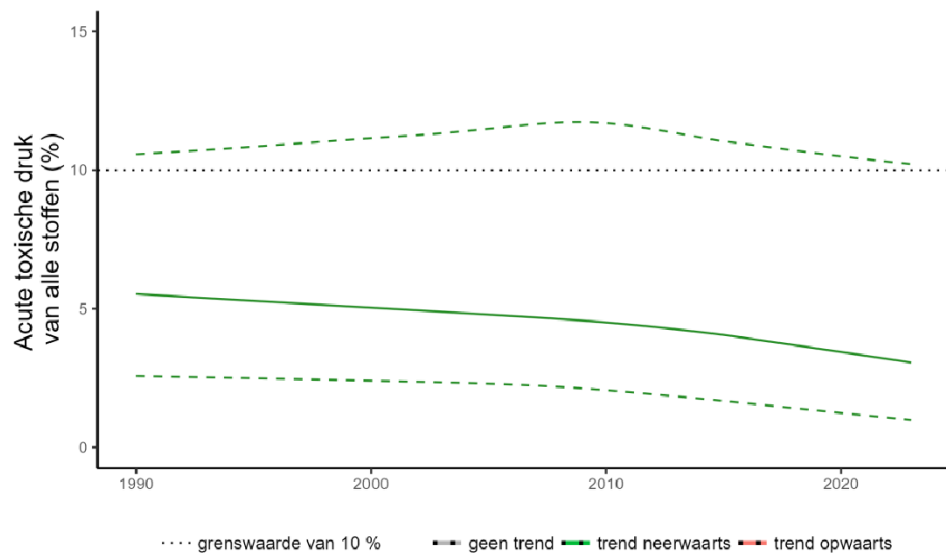
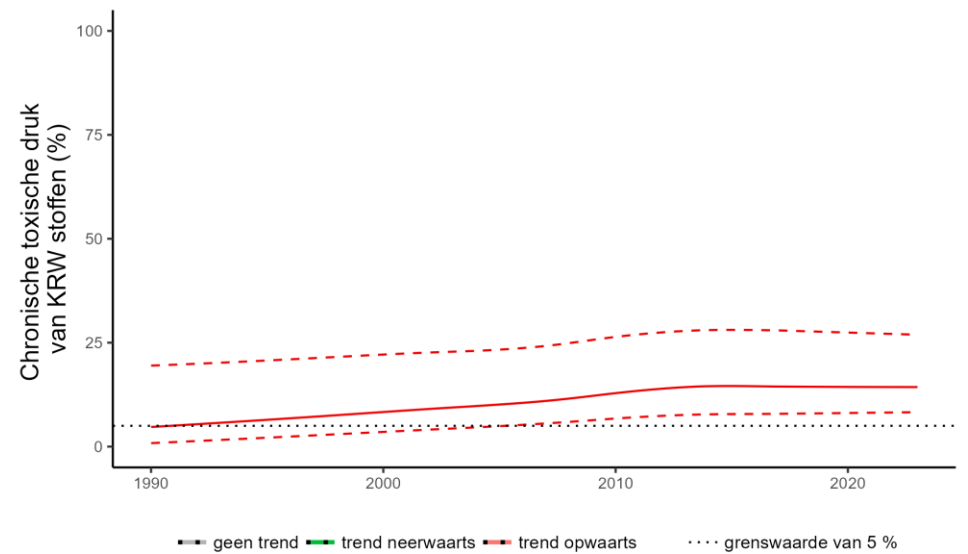
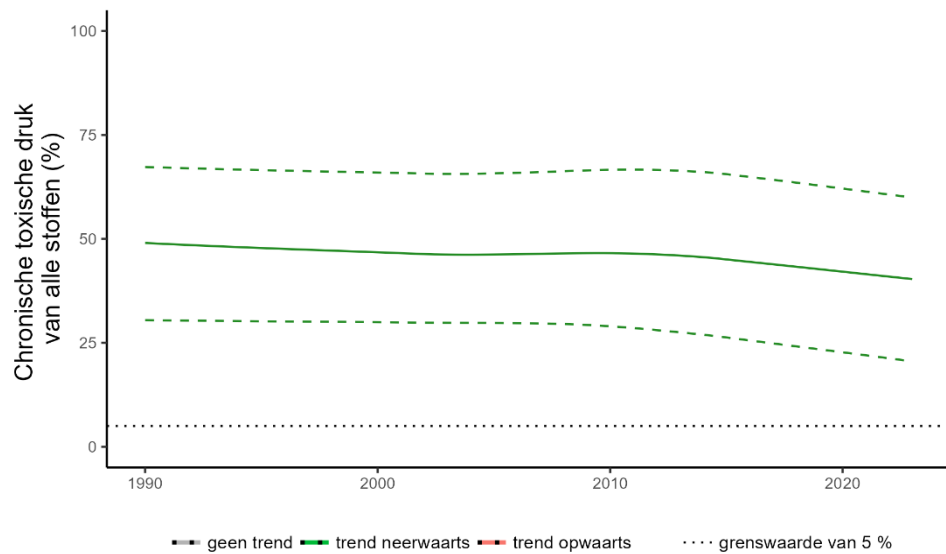
4.3 Landelijke trends van toxische druk

Figuur 4.1 laat de landelijke trends zien van de toxische druk van alle gemeten stoffen (links) en van alleen de KRW stoffen (rechts) van de $msPAF_{NOEC}$ (boven) en de $msPAF_{EC50}$ (onder). De landelijke trend van toxische druk van alle gemeten stoffen, ongeacht het gebruik van acute ($EC50$) of chronische ($NOEC$) toxiciteit, is significant dalend. Ondanks dat deze wel dalend is voor beide toxiciteitsberekeningen, ligt de landelijke trendlijn van de chronische toxische druk ($msPAF_{NOEC}$) boven de klassegrens van 5%, namelijk rond de 40%. Dit wil zeggen dat ongeveer 40% van de soorten op enige manier wordt beïnvloed door de gezamenlijke blootstelling aan stoffen en dat Nederland dus op zijn minst matig verontreinigd is. Bij de acute toxische druk ($msPAF_{EC50}$) ligt de trendlijn lager; in de laatste jaren rond de 4%, wat wil zeggen dat 4% van de organismen acute effecten ondervindt en de locaties sterk verontreinigd zijn, maar nog niet zeer sterk verontreinigd ($msPAF_{EC50}$ onder de 10%).

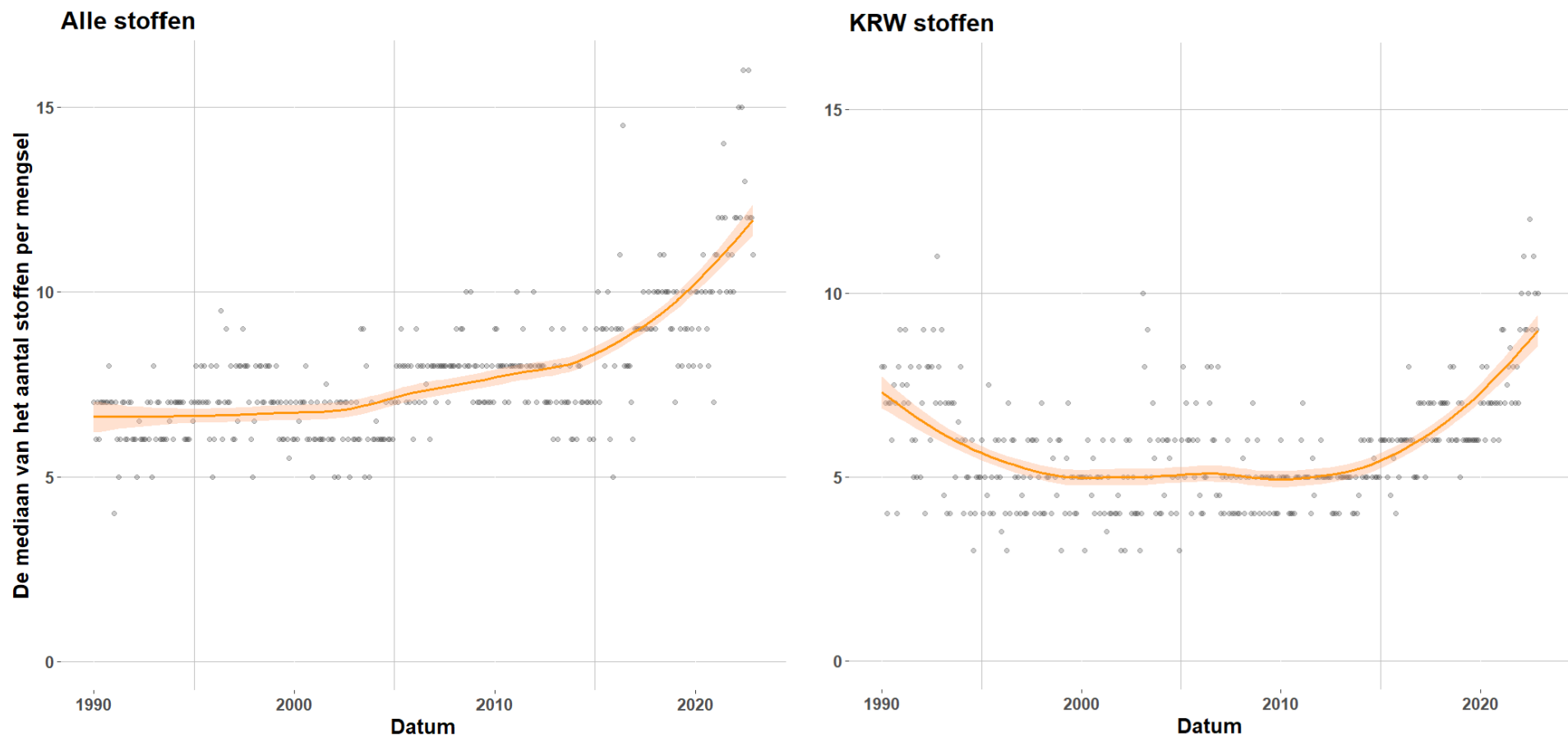
De landelijke trend van toxische druk van de KRW-stoffen van de chronische toxiciteit ($msPAF_{NOEC}$) is significant stijgend, ondanks dat de trends van bijna alle individuele KRW-stoffen daalt of niet significant is (zie Hoofdstuk 3). Een stijgende trend zou verklaard kunnen worden door de uitbreiding van de lijst met KRW-stoffen vanaf 2013 (zie Figuur 4.2), maar doordat de trend vanaf dat moment meer lijkt te dalen of af te vlakken is dit niet aannemelijk. Een betere verklaring zou zijn dat de KRW stoffen die niet trendgeschikt zijn (door de trendselectie criteria) wel veel stijgende trends hebben en deze zijn in de $msPAF$ berekeningen wel meegenomen. Daarentegen is de trend van de $msPAF_{EC50}$ niet significant, ook al lijkt deze visueel stijgend te zijn, in elk geval tot 2013. Ondanks dat de $msPAF_{NOEC}$ trendlijn significant stijgend is en boven de klassegrens van 5% ligt, ligt de $msPAF_{NOEC}$ waarde van de laatste jaren van alleen KRW-stoffen wel lager (ca. 15%) dan bij de $msPAF_{NOEC}$ van alle stoffen (ca. 45%). Dit betekent dat ongeveer een derde van de toxische druk wordt veroorzaakt door niet KRW-gereguleerde stoffen. Bij de $msPAF_{EC50}$ ligt de trendlijn ook lager, deze ligt in de laatste jaren rond de 1%, in vergelijking met de $msPAF_{EC50}$ met alle stoffen van 4%.

Figuur 4.2 laat zien dat de mediaan van het aantal stoffen per mengsel voor toxische druk berekeningen met alle stoffen (links) stijgt met de tijd, wat laat zien dat er meer verschillende stoffen worden gemeten, of meer stoffen boven de rapportagegrens worden gemeten. Zo werden er in 1990 ongeveer 7 stoffen per mengsel gemeten en in 2022 ongeveer 12 stoffen. Ondanks een toename in de mediaan van het aantal stoffen dat aanwezig is in een mengsel, stijgt de trend in toxische druk niet significant, maar is deze zelfs significant dalend. Dit laat zien dat de toxische druk niet alleen het gevolg is van het aantal stoffen in het mengsel.

Figuur 4.2 laat ook zien dat de mediane waarde van het aantal stoffen per mengsel over de tijd als alleen de KRW-stoffen (rechts) worden meegenomen in de mengselbepaling stijgt in de laatste jaren. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de uitbreiding van het aantal KRW-stoffen in 2013. Daarnaast lijkt dat in 1990 meer verschillende stoffen (7 stoffen) werden gemeten of boven de rapportagegrens lagen dan in 2005 (5 stoffen). In 2022 worden er ongeveer 8 stoffen gemeten per mengsel.



Figuur 4.1 Landelijke trend van chronische toxische druk ($msPAF_{NOEC}$) (boven) en acute toxische druk ($msPAF_{EC50}$) (onder) berekeningen met het gebruik van maximale concentraties van alle stoffen (links) en alleen KRW-stoffen (rechts) op waterlichaam aggregatie niveau van 1990-2022. De gestreepte lijnen omschrijven de trend van de bovenste en onderste 50% van alle locaties, waarin de doorgetrokken lijn de trend van alle locaties omschrijft.



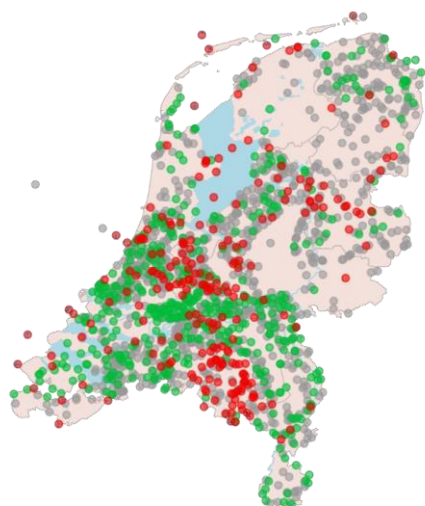
Figuur 4.2 De mediaanwaarde (grijze punten) en een trendlijn (oranje lijn) van het aantal stoffen per mengsel als alle stoffen worden meegenomen (links) en als alleen de KRW stoffen worden meegenomen (rechts) in de mengselbepaling geaggregeerd per maand.

4.4 Regionaal beeld van de toxische druk

4.4.1 Alle stoffen

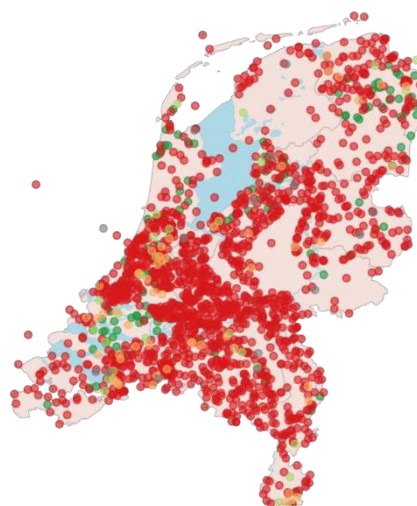
Figuur 4.3 toont de trends van 1990 tot 2022 en de mate van klassegrensoverschrijding voor alle specifieke meetpunten (gebaseerd op het trendgemiddelde van 2019-2022) van de $msPAF_{NOEC}$ en $msPAF_{EC50}$, berekend met alle stoffen. Figuur 4.3A en 4.3C laten zien dat de richting van de trends vergelijkbaar is, wat verklaarbaar is door het gebruik van dezelfde metingen. Hier valt ook op dat de meetpunten met opwaartse trends geclusterd zijn in de regio rondom Eindhoven, Utrecht en in de provincie Overijssel. Figuur 4.3B toont vooral aan dat in bijna heel Nederland de $msPAF_{NOEC}$ -klassegrens van 5% meer dan 1,5 keer overschrijdt, wat wijst op een wijdverspreide matige chemische verontreiniging. Er zijn echter ook locaties waar deze klassegrens niet wordt overschreden. Figuur 4.3D toont aan dat de $msPAF_{EC50}$ in het merendeel van Nederland minder dan 0,75 keer de klassegrens van 10% overschrijdt, wat betekent dat de verontreiniging nog niet als zeer hoog wordt beschouwd. Daarnaast blijkt dat in de regio rond Eindhoven en de provincie Overijssel veel locaties voorkomen boven de klassegrens van 10%. Dit in combinatie met opwaartse trends duidt dat in deze gebieden de toxische druk erg hoog is en nog niet daalt.

A Trend richting
chronische toxische druk alle stoffen



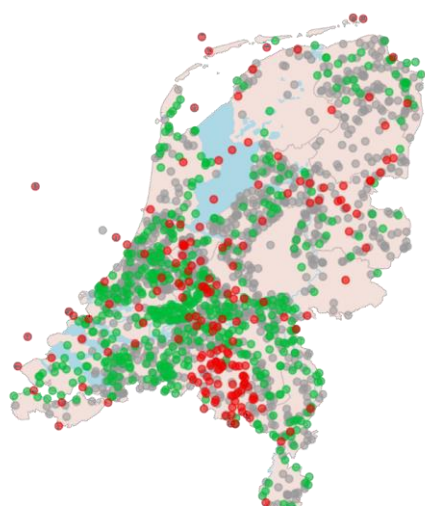
● geen trend
● trend neerwaarts
● trend opwaarts

B klassegrens overschrijding
chronische toxische druk alle stoffen



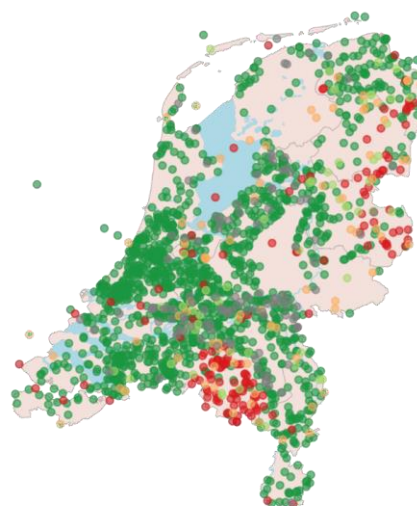
● >1.5
● 1-1.5
● 0.75-1
● <=0.75

C Trend richting
acute toxische druk alle stoffen



● geen trend
● trend neerwaarts
● trend opwaarts

D klassegrens overschrijding
acute toxische druk alle stoffen



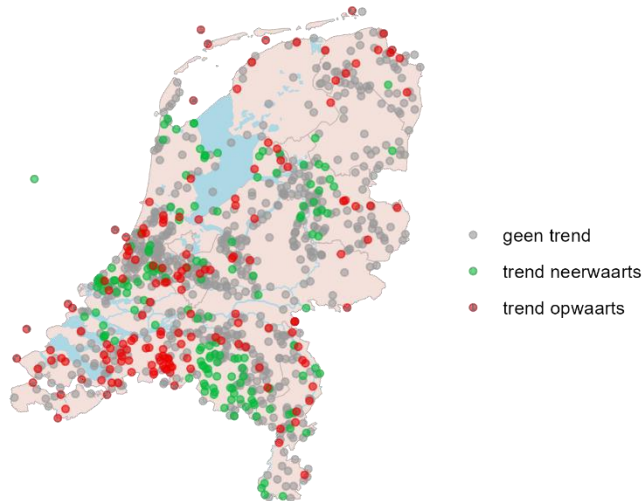
● >1.5
● 1-1.5
● 0.75-1
● <=0.75

Figuur 4.3 A: meetpunt specifieke trends voor de chronische toxische druk ($msPAF_{NOEC}$) berekening met alle stoffen. B: meetpunt specifieke trendgemiddelde van de chronische toxische druk ($msPAF_{NOEC}$) waarde van de meetpunt specifieke LOWESS lijn in de jaren 2020-2022 ten opzichte van de klassegrens ($msPAF_{NOEC} > 5\%$). C: meetpunt specifieke trends voor de acute toxische druk ($msPAF_{EC50}$) berekening met alle stoffen. D: meetpunt specifieke trendgemiddelde acute toxische druk ($msPAF_{EC50}$) waarde van de meetpunt specifieke LOWESS lijn in de jaren 2020-2022 ten opzichte van de klassegrens ($msPAF_{EC50} > 10\%$).

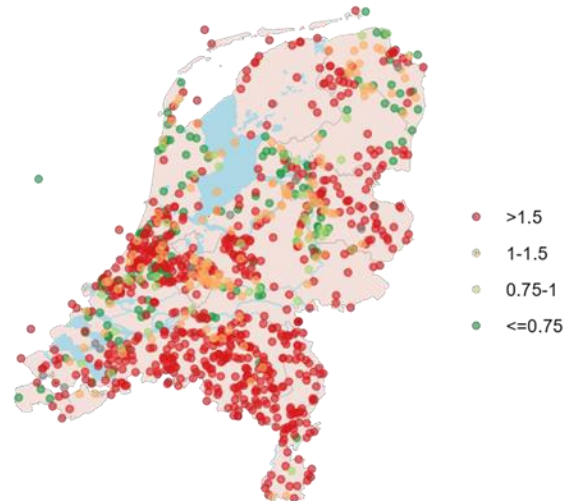
4.4.2 KRW stoffen

Figuur 4.4 toont de trends van 1990 tot 2022 en de mate van klassegrens overschrijding voor alle specifieke meetpunten (gebaseerd op het trendgemiddelde van 2019-2022) van de $msPAF_{NOEC}$ en $msPAF_{EC50}$ uitgerekend met de KRW-stoffen. Figuur 4.4A en 4.4C laten zien dat de richting van de trends vergelijkbaar is (wat verklaarbaar is door het gebruik van dezelfde metingen). Hier valt het op, in tegenstelling tot de $msPAF$ berekeningen met alle stoffen, dat juist de meetpunten met neerwaartse trends geclusterd zijn in de regio rondom Eindhoven, Utrecht en in de provincie Overijssel. Het beeld is hier iets minder optimistisch, omdat er relatief meer locaties met een opwaartse trend zijn dan met een neerwaartse trend in vergelijking met Figuur 4.4A en 4.4C. Figuur 4.4B laat ook zien dat voor het grootste deel van Nederland de $msPAF_{NOEC}$ klassegrens van 5% met meer dan 1,5 keer wordt overschreden, wat betekent dat er minimaal sprake is van een matige chemische verontreiniging. Er zijn echter ook locaties waar deze klassegrens niet wordt overschreden. Figuur 4.4D toont aan dat de $msPAF_{EC50}$ in bijna heel Nederland minder dan 0,75 keer de klassegrens van 10% overschrijdt, wat erop wijst dat de verontreiniging nog niet als zeer hoog wordt geclassificeerd.

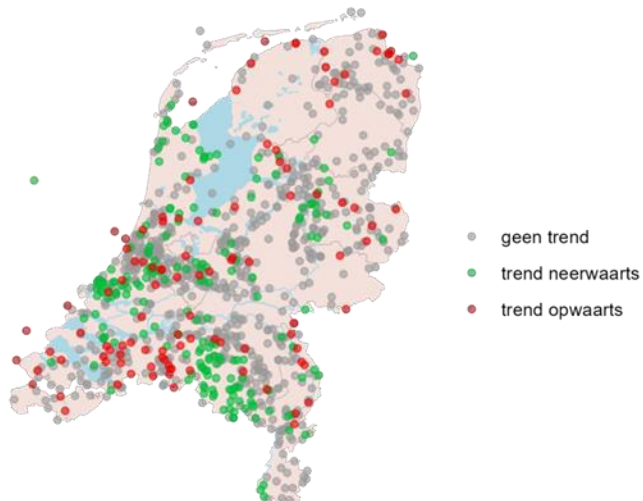
A Trend richting
chronische toxische druk KRW stoffen



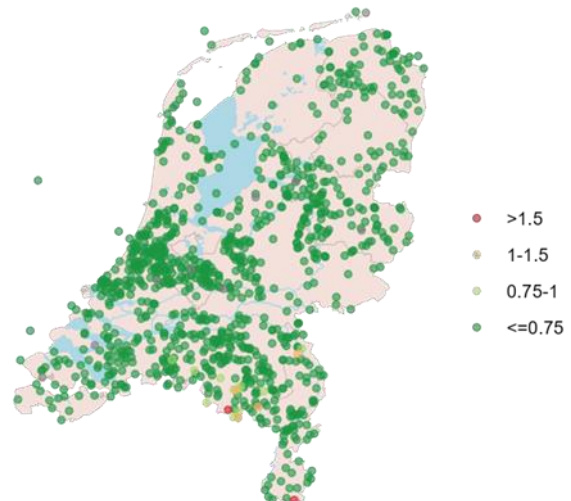
B klassegrens overschrijding
chronische toxische druk KRW stoffen



C Trend richting
acute toxische druk KRW stoffen



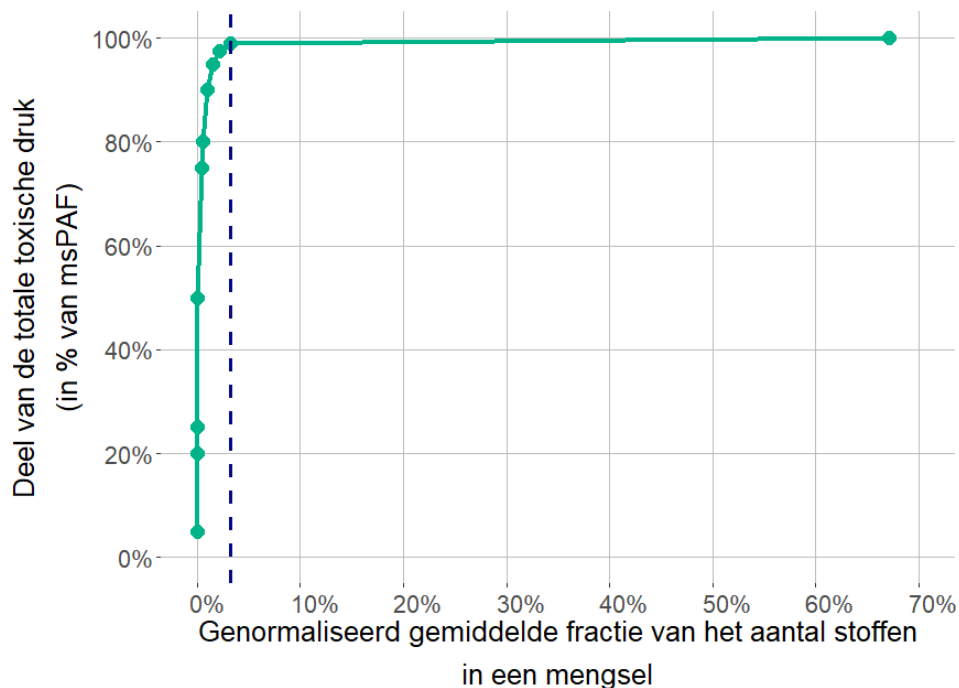
D klassegrens overschrijding
acute toxische druk KRW stoffen



Figuur 4.4 A: meetpunt specifieke trends voor de $msPAF_{NOEC}$ berekening met KRW-stoffen. B: meetpunt specifieke trend gemiddelde $msPAF_{NOEC}$ waarde van de meetpunt specifieke LOWESS lijn in de jaren 2020-2022 ten opzichte van de klassegrens ($msPAF_{NOEC} > 5\%$). C: meetpunt specifieke trends voor de $msPAF_{EC50}$ berekening met KRW stoffen. D: meetpunt specifieke trend gemiddelde $msPAF_{EC50}$ waarde van de meetpunt specifieke LOWESS lijn in de jaren 2020-2022 ten opzichte van de klassegrens ($msPAF_{EC50} > 10\%$).

4.5 Bijdrage individuele stoffen aan de toxische druk

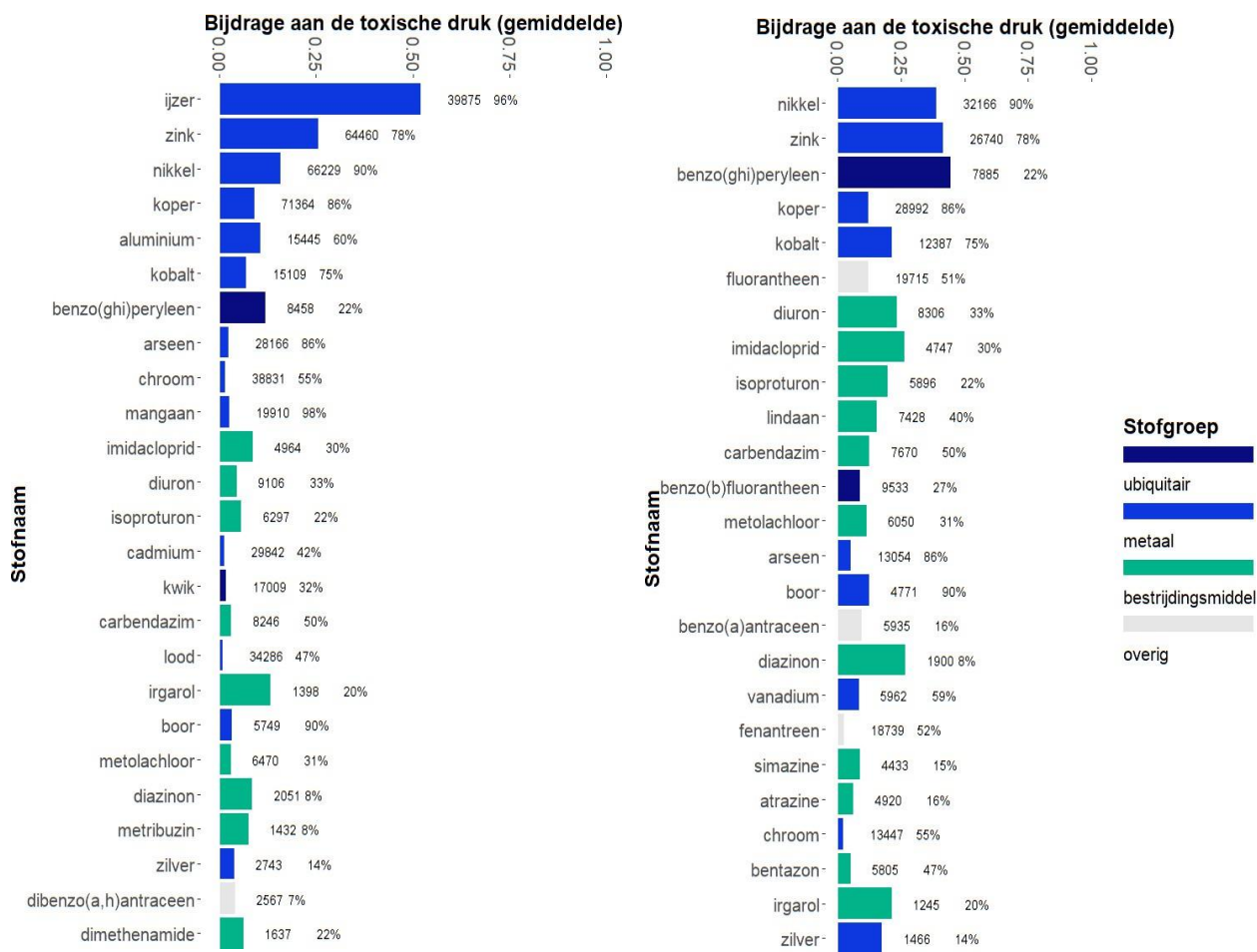
Figuur 4.5 laat de relatieve bijdrage zien van individuele stoffen aan de toxische druk (uitgedrukt als $msPAF_{NOEC}$ met het gebruik van maximale concentraties) binnen een mengsel. Hierbij wordt het aantal stoffen dat bijdraagt aan de totale toxische druk van een mengsel uitgedrukt als een fractie van het totale aantal stoffen in dat mengsel. Belangrijk om te vermelden is dat de relatieve bijdrage van het aantal stoffen aan de toxische druk onafhankelijk is van de hoogte van de toxische druk van dat specifieke mengsel. Figuur 4.5 toont aan dat een klein deel van de stoffen die aanwezig zijn in het mengsel vaak verantwoordelijk is voor het grootste deel van de lokale toxische druk. Dat wil zeggen dat ongeveer 3% van de chemicaliën al ongeveer 99% van de totale toxische druk van de mengsels die aanwezig zijn in deze dataset verklaart. Dit geeft aan dat mengsels door heel Nederland niet equitoxisch zijn (elke stof draagt gelijkwaardig bij aan de algehele toxiciteit van het mengsel). Dit betekent echter niet dat deze 3% van de stoffen in elk mengsel dezelfde zijn.



Figuur 4.5. Het deel van de totale toxische druk (uitgedrukt als $msPAF_{NOEC}$) dat wordt veroorzaakt door het genormaliseerde gemiddelde percentage van het aantal stoffen in een mengsel.

Om toch enigszins inzicht te krijgen in welke stoffen wel vaak een grote bijdrage hebben aan de toxische druk is in Figuur 4.6 de gemiddelde bijdrage aan de chronische toxische druk ($msPAF_{NOEC}$) van individuele stoffen weergegeven. Deze stoffen zijn de 25 stoffen met de hoogste gewogen gemiddelde bijdrage (gewogen naar het aantal keren dat ze zijn gemeten). Bovenaan in de figuur staat de stof met het grootste gewogen gemiddelde, wat betekent dat ze in Nederland regelmatig een aanzienlijke bijdrage hebben aan de toxische druk. De absolute getallen in de figuur zijn dan weer de gemiddelde fractie waarin die specifieke stof bijdraagt aan een mengsel, onafhankelijk van hoe vaak deze voorkomt. In Figuur 4.6 (links), is te zien dat de top 25 stoffen met de hoogste gewogen gemiddelde bijdrage aan de chronische toxische druk ($msPAF_{NOEC}$) gebaseerd op alle stoffen, vooral bestaat uit metalen (13 stoffen) en bestrijdingsmiddelen (9 stoffen). Opvallend is dat er verschillende stoffen hoge bijdrage leveren aan de toxische druk, die niet in de KRW-toetsing worden meegenomen. Dit zijn ijzer, aluminium, mangaan, metribuzin, dibenzo(a,h)antraceen en demethenamide.

Bij de berekeningen met alleen de KRW-stoffen (rechter figuur) zijn het vooral de bestrijdingsmiddelen (11 stoffen) en de metalen (9 stoffen) die de grootste bijdrage leven aan de toxische druk.



Figuur 4.6 Gemiddelde bijdrage (fractie) aan de toxische druk van de 25 stoffen met het hoogste gewogen gemiddelde op volgorde van hoog naar laag. msPAF_{NOEC} berekend met maximale concentraties gebaseerd op alle stoffen (links) en op KRW stoffen (rechts). Het eerste getal naast elke stof is het aantal metingen boven de rapportage grens en het tweede getal het percentage dat dit aantal metingen is van het totale aantal metingen.

5 Bestaande trendanalyses

Voor een deel van de KRW-parameters zijn langjarige trends beschikbaar vanuit andere studies en websites. Dit geldt bijvoorbeeld voor de kwaliteitselementen van de biologie (Compendium voor de Leefomgeving), nutriënten (o.a. KRW-NUTrend en Nitraatrapportage) en bestrijdingsmiddelen (Bestrijdingsmiddelenatlas). In de onderstaande paragrafen nemen we relevante informatie van deze parameters over. De parameters voor de biologie en de nutriëntendata vertonen geen overlap met de andere data in deze studie. Voor de bestrijdingsmiddelen is er echter wel een overlap, hier wordt in paragraaf 5.1.3 nader op ingegaan.

5.1 Trends in bestrijdingsmiddelen

5.1.1 De Bestrijdingsmiddelenatlas

De Bestrijdingsmiddelenatlas (CLM, Universiteit van Leiden, Royal HaskoningDHV) geeft een zeer uitgebreid overzicht van de concentraties van bestrijdingsmiddelen in het oppervlaktewater in Nederland. De waterbeheerders (zowel de waterschappen als RWS) leveren hun meetdata aan het Informatiehuis Water (IHW). Dit betreft twee deelsets: de reguliere metingen voor de KRW en de metingen vanuit het Landelijk Meetnet Gewasbeschermingsmiddelen Land- en Tuinbouw (LM-GBM).

Het IHW voert een eerste controle uit op de data die door de waterbeheerders zijn aangeleverd en stelt deze daarna als open data beschikbaar op het Waterkwaliteitsportaal (WKP). De data die betrekking heeft op de stofgroep bestrijdingsmiddelen worden door het IHW ook direct geleverd aan het CML. Het CML ontvangt daarnaast ook data over bestrijdingsmiddelen van drinkwaterbedrijven: het RIWA en het drinkwaterbedrijf Groningen. Het CML voert vervolgens gestandaardiseerde controles uit op de gecombineerde dataset. De metingen worden getoetst aan verschillende normensets, er worden trendberekeningen uitgevoerd en er wordt een Som Normoverschrijdingen (SNO) berekend: een maat voor de gesommeerde normoverschrijding van alle gemeten stoffen. De resultaten worden in verschillende vormen (histogrammen, trendlijnen, kaarten) op de website geplaatst en jaarlijks aangevuld met nieuwe data.

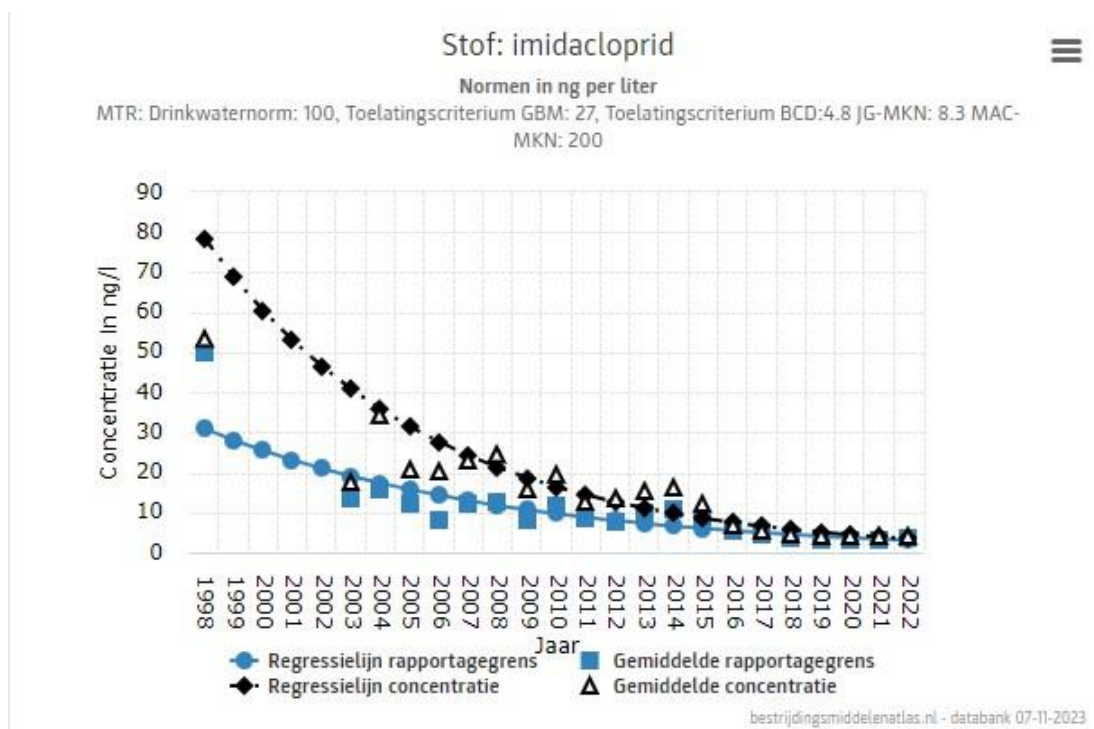
5.1.2 Het Landelijk Meetnet Gewasbeschermingsmiddelen

Het LM-GBM (Landelijk Meetnet GewasBeschermingsMiddelen) is in 2013 opgezet om de voortgang te monitoren van de doelstellingen voor bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater naar aanleiding van de Tweede Nota Duurzame Gewasbescherming 2013-2023 “Gezonde groei, duurzame oogst” (Rijksoverheid, 2013). Het LM-GBM is een meetnet met 106 meetpunten en 224 stoffen in het landelijk gebied, waarbij de meetlocaties zijn verdeeld over zeven teeltgroepen. Het percentage norm overschrijdende stoffen (één of meer overschrijdingen van een stof) en het percentage norm overschrijdende locaties (één of meer overschrijdingen van een stof op een locatie) zijn de indicatoren die hierbij worden gebruikt. Daarnaast wordt een SNO berekend, waarbij de som van de mate van overschrijding voor alle stoffen op een locatie wordt gebruikt. Jaarlijks verschijnt een evaluatie van de meetresultaten. In de meest recente (van den Meiracker et al., 2024) worden de resultaten van de jaren 2014 t/m 2022 beschreven. De meetlocaties zijn in overleg met de waterschappen geselecteerd met als belangrijkste criterium dat de meetlocatie wordt beïnvloed door één overheersende agrarische sector. Er wordt dus niet specifiek gemonitord op KRW waterlichaam niveau.

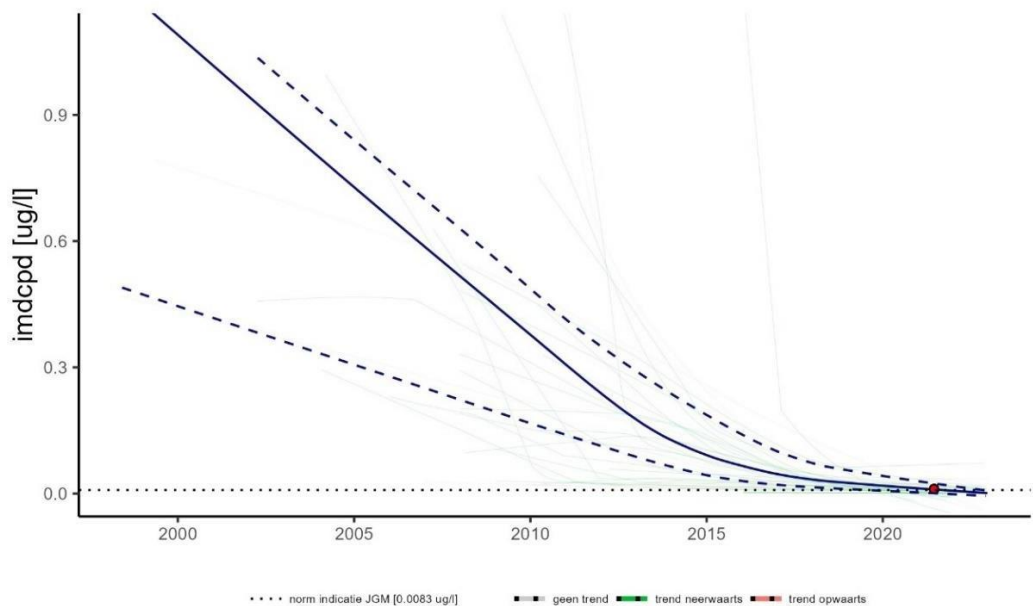
5.1.3 Vergelijking van de Bestrijdingsmiddelenatlas en deze studie

De in deze studie gegenereerde data en de data in de Bestrijdingsmiddelenatlas vertonen veel overeenkomsten, maar ook verschillen. De belangrijkste zijn:

- Beide data zijn gebaseerd op dezelfde basisdata voor de KRW-meetpunten van het IHW;
- Het CML voert nog een extra kwaliteitsslag uit op de data in de Bestrijdingsmiddelenatlas, wat ontbreekt in deze studie.
- Beide data toetsen aan de JG-MKN. In deze studie wordt getoetst aan het MAC-MKN wanneer er geen JG-MKN beschikbaar is voor een stof. In de Bestrijdingsmiddelenatlas wordt ook aan andere normensets getoetst. De data van de drinkwaterbedrijven worden aan de drinkwaternormen getoetst, maar deze data zijn niet meegenomen in deze studie.
- In deze studie toetsen we alle metingen aan de JG-MKN of de MAC-MKN, ook de metingen die vanuit het LM-GBM worden verzameld.
- Beide data tonen langjarige trends per stof, maar de wijze van trendberekening vertoont verschillen. De trendberekening in deze studie is beschreven in paragraaf 2.3. Op de website van de Bestrijdingsmiddelenatlas is de informatie over de gehanteerde berekeningswijze opgenomen. Beide methoden leveren in het algemeen vergelijkbare beelden op per stof, zie Figuur 5.1 en Figuur 5.2 hieronder.
- De Bestrijdingsmiddelenatlas geeft geen trends van locaties, deze zijn wel berekend in de huidige studie.
- De Bestrijdingsmiddelenatlas geeft niet aan of de weergegeven trends significant zijn of niet. Dit is wel opgenomen in deze studie, zowel voor de trends per locatie als voor de landelijke trend die is berekend op basis van de trends per locatie.



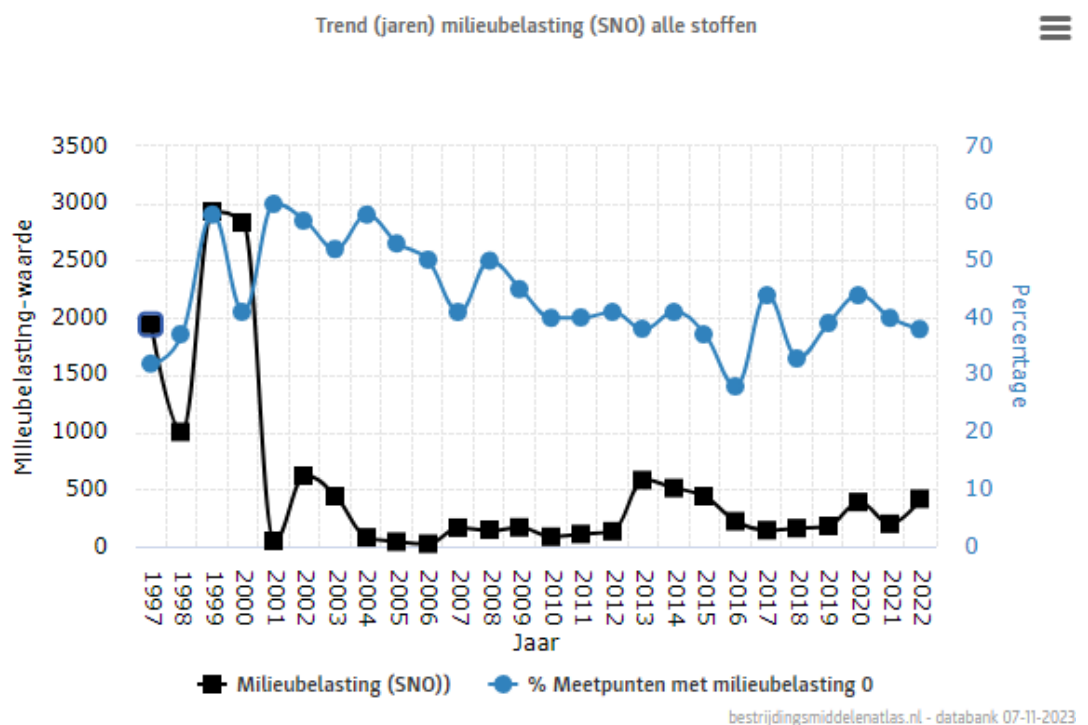
Figuur 5.1 Landelijke trend van het gemiddelde van alle gemeten concentraties van Imidacloprid in Nederland, bron: bestrijdingsmiddelenatlas.nl – databank 07-11-2023.



Figuur 5.2 Landelijke trend imidacloprid (imdcpd) in ug/l van 1990-2022 zoals bepaald in deze studie (zie voor meer informatie Bijlage 7F. De grijze, groene en rode lijnen op de achtergrond laten de meetpunt specifieke trends zien. De gestreepte lijnen omschrijven de trend van de bovenste en onderste 50% van alle locaties, waarin de doorgetrokken lijn de trend van alle locaties omschrijft.

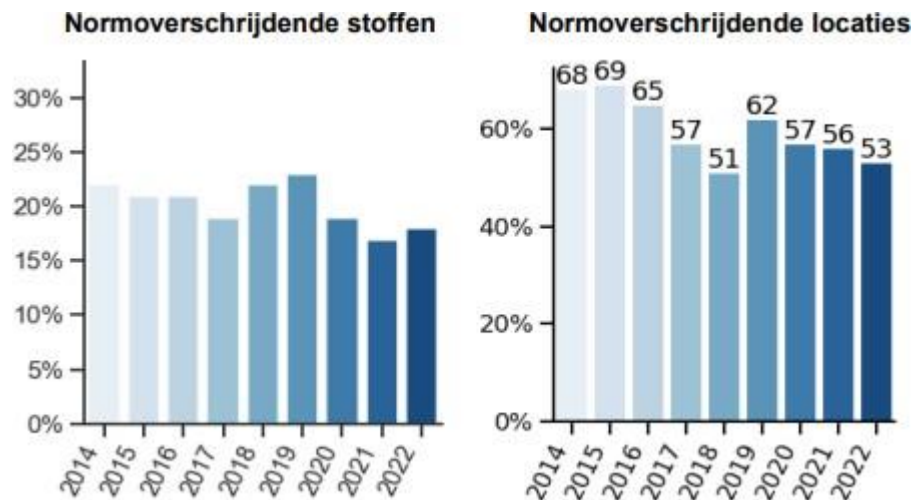
5.1.4 Resultaten van de trends

Voor de trends van alle individueel bekende bestrijdingsmiddelen wordt verwezen naar de Bestrijdingsmiddelenatlas. Onderstaande figuur geeft de trend weer van de milieubelasting door de som van alle stoffen (Figuur 5.3). Hier is geen duidelijke trend te zien in de periode 2002-2022. Het percentage meetpunten zonder overschrijdingen neemt langzaam af vanaf het hoogtepunt in 2001.



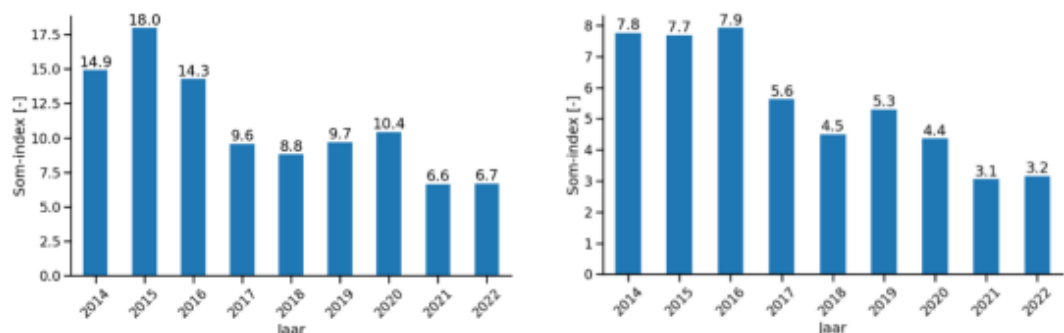
Figuur 5.3. Bestrijdingsmiddelenatlas SNO alle stoffen.

In de recente LM-GBM rapportage (van den Meiracker et al., 2024) wordt een samenvattend overzicht gegeven van de overschrijdingen en trends van de bestrijdingsmiddelen en het doelbereik. Figuur 5.4 toont een afnemende trend in de periode 2014-2022, zowel van het aantal normoverschrijdende stoffen, als van het aantal normoverschrijdende locaties.



Figuur 5.4 Percentage normoverschrijdende stoffen t.o.v. het totaal aantal gemeten stoffen (links) en het percentage normoverschrijdende locaties t.o.v. het totaal aantal meetlocaties (rechts) op basis van de jaargemiddelde norm (JG-MKN/MTR), bron: van den Meiracker et al., 2024.

Ook de somindex van de stoffen voor alle teelten samen (Figuur 5.5) geeft een afnemende trend tussen 2014 en 2022, waarbij de laatste jaren een stabilisatie lijkt op te treden.



Figuur 5.5 Somindex van de stoffen voor alle teelten samen van 2014 t/m 2022 voor de JG-MKN/MTR (links) en de MAC-MKN (rechts), bron: van den Meiracker et al., 2024.

In het kader van het uitvoeringsprogramma Toekomstvisie gewasbescherming 2030, is voor 2030 het doel dat er nagenoeg geen emissies van gewasbeschermingsmiddelen naar het watermilieu zijn. In de LM-GBM-rapportage wordt geconcludeerd dat met het huidige tempo het einddoel in 2023 niet in zicht komt en dat voor het behalen van dit doel een aanzienlijke reductie van de huidige emissies noodzakelijk zal zijn.

5.2 Trends in biologie

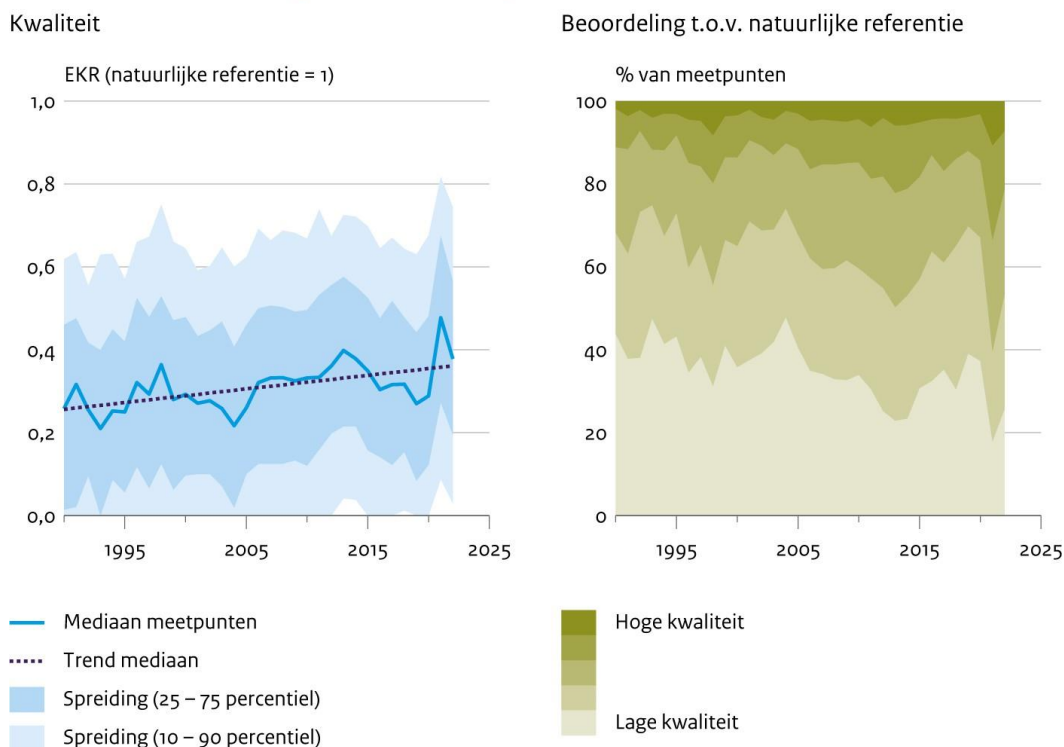
Trendanalyses op landelijk en op regionaal niveau van de biologie zijn beschreven in het Compendium voor de Leefomgeving (CLO, 2024). Twee relevante indicatoren voor de kwaliteit van oppervlaktewater zijn:

- Natuurkwaliteit van waterplanten in oppervlaktewater, 1990-2022 (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2024a)
- Natuurkwaliteit van macrofauna in oppervlaktewater, 1990-2022 (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2024b)

De natuurkwaliteit wordt hier uitgedrukt in een getal tussen 0 en 1 (Ecologische Kwaliteits Ratio's; EKR-score), waarbij 1 is gebaseerd op de natuurlijke referentie: de aanwezigheid van waterplantensoorten die kunnen worden aangetroffen in een ongestoorde, natuurlijke situatie.

In Figuur 5.6, overgenomen van het CLO, is te zien dat de natuurkwaliteit van oppervlaktewater in Nederland, gemeten aan de hand van waterplanten, vrij laag is. Dit betekent dat de meeste wateren een waterplantengemeenschap hebben die aanzienlijk afwijkt van de natuurlijke referentie (EKR = 1). Dit is ook niet zo vreemd, aangezien vrijwel alle Nederlandse KRW-wateren 'sterk veranderd' of 'kunstmatig' zijn. De Nederlandse oppervlaktewaterkwaliteit op basis van waterplanten is verbeterd met ongeveer 10% van 1990 tot 2022, wat duidt op geringe verbetering in de afgelopen 30 jaar. Hiervan is 4% verbeterd in de KRW periode van 2009 tot 2022.

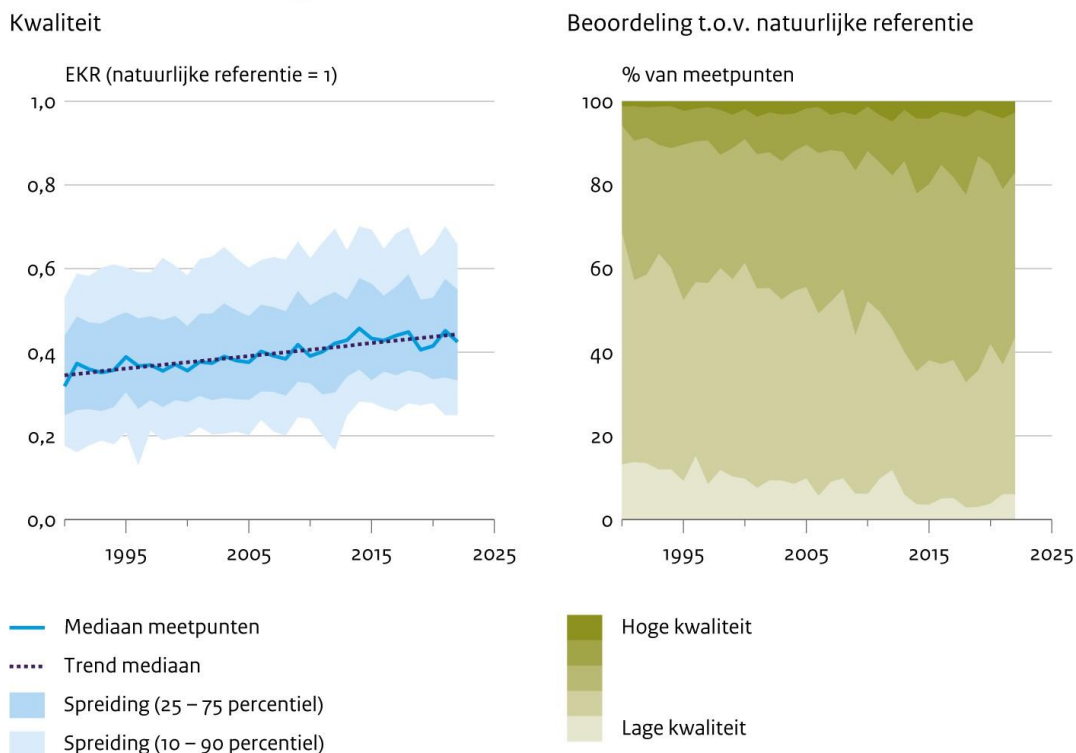
Natuurkwaliteit water op basis van waterplanten



Figuur 5.6 Natuurkwaliteit op basis van waterplanten overgenomen van het CLO (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2024a).
Bron: Dinsdata, RIVM, Waterschap, PBL

Voor de natuurkwaliteit op basis van macrofauna is eenzelfde trend aanwezig (Figuur 5.7). Ook hier is de kwaliteit van het oppervlaktewater in 2022 van lage kwaliteit en is er 10% verbetering ten op zichte van 1990.

Natuurkwaliteit water op basis van macrofauna



Bron: Limnodata, IHW, waterschappen, PBL

PBL/meiz4
www.clo.nl/nh43506

Figuur 5.7 Natuurkwaliteit op basis van macrofauna overgenomen van het CLO (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2024a).

Als mogelijke oplossingen voor het toenemen van de biologische kwaliteit voor macrofauna en waterplanten worden verminderde vermesting, betere inrichting van het oppervlaktewater en verwijderen van de voedselrijke waterbodem door baggeren gegeven (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2024a en 2024b).

5.3 Trends in nutriënten

Trends in nutriënten (stikstof en fosfor) worden uitgebreid gerapporteerd in het MNLSO (Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater), KRW-NUTrend, de nitraatrapportage en op het CLO. Om een indruk te krijgen van de trends voor nutriënten op een gedetailleerd ruimtelijk niveau, wordt verwezen naar de website KRW-NUTrend (Deltares, 2024). Voor de periode 1991 t/m 2022 zijn de normen, meetdata en toetsdata voor stikstof en fosfor op het niveau van KRW-waterlichaam, waterbeheerder of stroomgebied te bekijken en te downloaden.

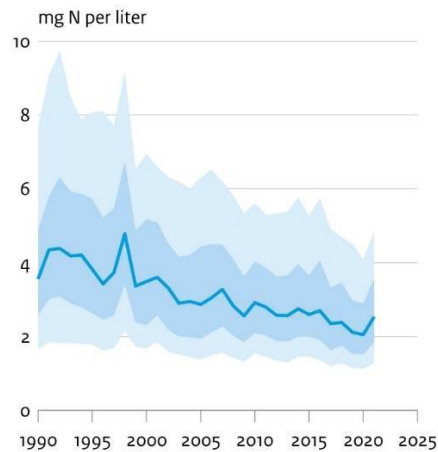
Uitgebreide trendanalyses op landelijk en op regionaal niveau voor het meetnet om de waterkwaliteit te monitoren in landbouw specifieke oppervlaktewateren, zijn beschreven in de rapportages van het MNLSO. De laatste rapportage uit 2020 geeft overzichten tot en met het jaar 2018 (Buijs et al., 2020). Het beeld is dat de waterkwaliteit in de landbouw specifieke wateren verbeterd, maar dat er in de periode 2015 tot en met 2018 voor N-totaal op 46% tot 64% van de meetlocaties nog niet aan de waterschapsnorm voor N-totaal wordt voldaan. Voor P-totaal voldoet 45% tot 64% niet in deze periode. Voor N-totaal laat ruim 87% van de MNLSO-locaties een significante neerwaartse trend zien. Voor P-totaal is de trend voor 53% van de meetlocaties significant neerwaarts.

Door het RIVM wordt, in samenwerking met RWS, CBS, WER, Deltares en RVO vierjaarlijks de Nitraatrapportage uitgebracht, waarin de toestand en trend van de nutriënten in grond- en oppervlaktewater in Nederland worden beschreven. De laatste rapportage uit 2020 beschrijft de toestand over de periode 2016-2019 en de trends over de periode 1992-2019 (Fraters et al., 2020). Geconcludeerd wordt is dat de afgelopen dertig jaar de Nederlandse overheid maatregelen heeft genomen waardoor de concentraties stikstof en fosfor sterk zijn gedaald en de kwaliteit van het oppervlaktewater is verbeterd. Anderzijds is de waterkwaliteit nog niet overal voldoende: een groot deel van de oppervlaktewateren voldoet nog niet aan de gewenste kwaliteit en de concentraties van stikstof en fosfor zijn te hoog. De laatste jaren neemt het teveel aan stikstof en fosfor toe. Dit is vanaf 2018 versterkt door de droge zomers. Bij droogte groeien planten minder goed, waardoor ze minder stikstof en fosfor uit de bodem opnemen. Ook wordt er minder nitraat in de bodem afgebroken waardoor er uiteindelijk meer afspoelt naar het grond- en oppervlaktewater.

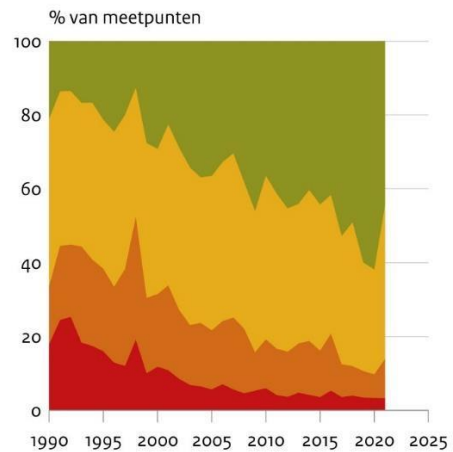
De recent geactualiseerde indicator Vermesting van oppervlaktewater is beschikbaar op het Compendium voor de Leefomgeving (CLO, 2024) en geeft trends van de stikstof- en fosforconcentraties in oppervlaktewater over de periode 1990-2021 (Figuur 5.8). De data is een samenvoeging van de MNLSO-data en de data uit KRW-NUTrend.

Nutriënten in oppervlaktewater

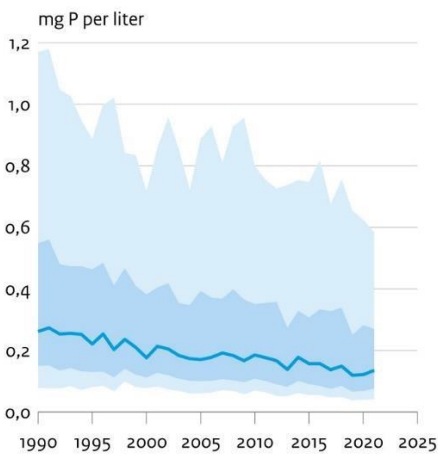
Stikstofconcentratie



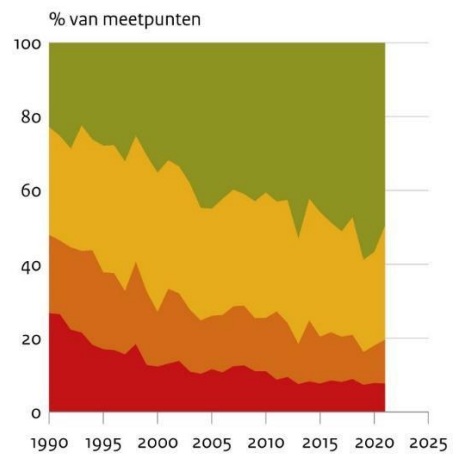
Beoordeling waterkwaliteit op basis van stikstofconcentratie



Fosforconcentratie



Beoordeling waterkwaliteit op basis van fosforconcentratie



— Mediaan meetpunten
 ■ Spreiding (25 – 75 percentiel)
 ■ Spreiding (10 – 90 percentiel)

Beoordeling
 ■ Goed
 ■ Matig
 ■ Ontoereikend
 ■ Slecht

Bron: PBL, Deltares

PBL/feb24
www.clo.nl/nlo55206

Figuur 5.8 Trends van concentraties en beoordeling van meetpunten voor stikstof en fosfor. Bron: CLO, 2024.

De conclusies worden getrokken dat de stikstof- en fosforconcentraties sinds 1990 zijn gedaald en nog langzaam dalen. Deze daling is voor beide stoffen in dezelfde orde van grootte, maar verschilt wel tussen verschillende watertypen. In 2021 voldoen de nutriëntconcentraties zowel voor fosfor als stikstof in 55% van de locaties aan de norm voor een goede kwaliteit. Er zijn echter ook locaties met een slechte kwaliteit aanwezig in respectievelijk 8% en 3% van de locaties.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Trends van stoffen

Van de 164 KRW-stoffen (bijlage B) hebben 81 stoffen geschikte locaties voor een statistische trendanalyse, terwijl 83 stoffen geen locaties hebben die geschikt zijn voor trendbepaling. Figuur 6.1 toont een overzicht van de hoeveelheid stoffen met een bepaalde trendconclusie binnen en buiten de focus-stoffen van de KRW impuls (Hin et al., 2024).

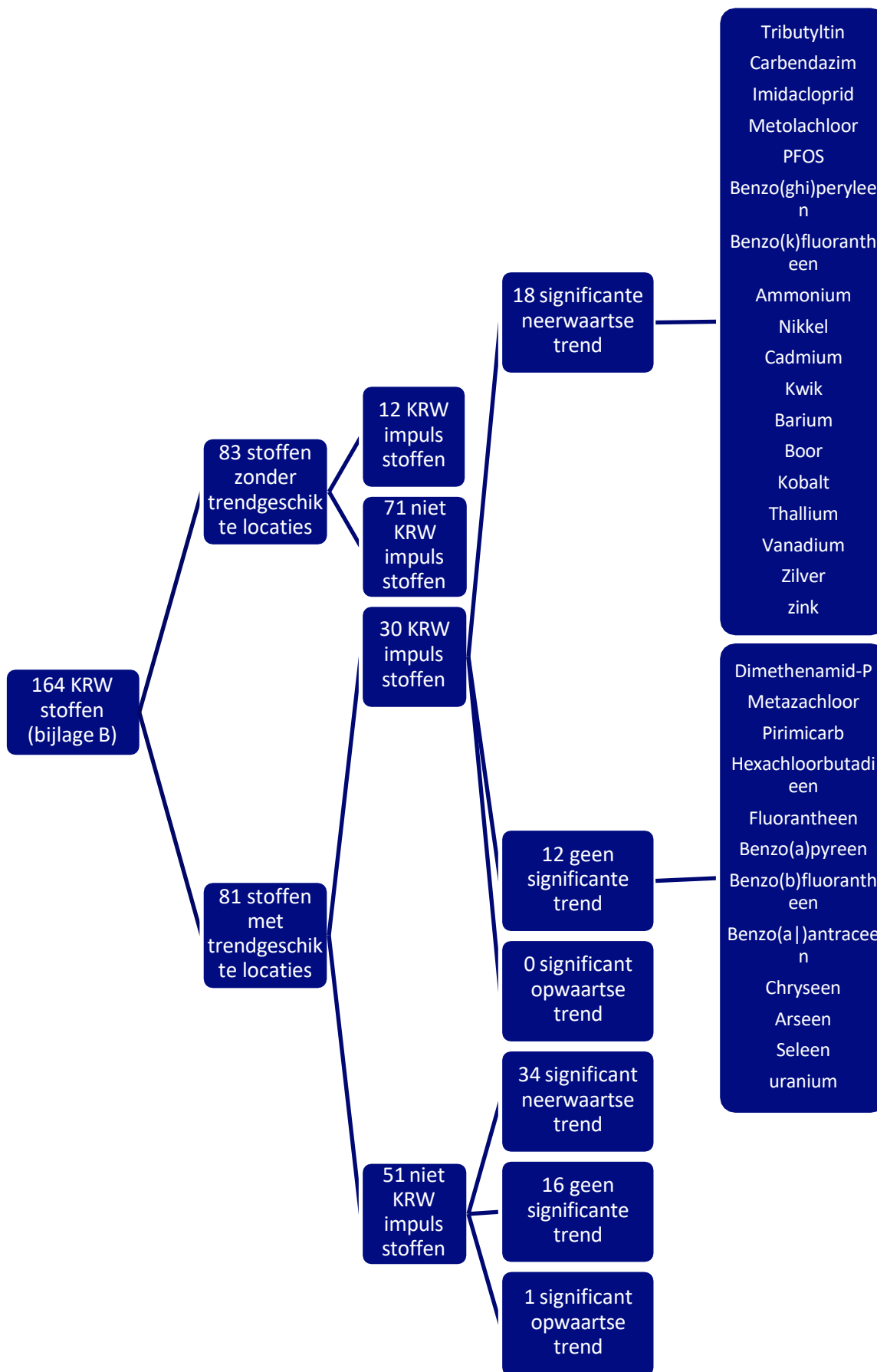
Binnen de groep met trendgeschikte locaties zijn er 51 niet-KRW-impulsstoffen en 30 KRW-impuls focus-stoffen. De analyse toont significante neerwaartse trends voor 34 niet-KRW-impuls focus-stoffen en 18 KRW-impuls focusstoffen.

Daarnaast zijn er ook stoffen zonder significante trends: 16 niet-KRW-impuls focus-stoffen en 12 KRW-impuls focus-stoffen. Voor 12 stoffen, waarvan 10 bestrijdingsmiddelen, kon geen trend worden bepaald (zie Tabel 3.2). Dit komt doordat deze bestrijdingsmiddelen moeilijk te meten zijn, waardoor bijna alle metingen onder de rapportagegrens liggen. Voor acclonifen, bifenox, cypermethrin, heptachloor en -epoxide, abamectine, lambda-cyhalothrin, methylpirimifos, en pyridaben wordt dit bevestigd in de Bestrijdingsmiddelenatlas (Vijver et al., 2008). Methylpirimifos toont wel een dalende trend sinds 1997, maar de gemiddelde concentratie is de laatste 20 jaar gelijk aan de rapportagegrens. Voor esfenvaleraat, dioxines en PBDEs zijn geen vergelijkbare trendanalyses beschikbaar.

Eén niet-KRW impuls focus-stof heeft een significant opwaartse, namelijk 1,2-dichloorpropan, echter is dit gebaseerd op 1 locatie, wat maakt dat het geen landelijke trend is.

Kortom, de meeste stoffen vertonen een neerwaartse trend, terwijl enkele stoffen geen significante verandering laten zien en er zijn eigenlijk geen stijgende trends. Daarentegen zijn er, ondanks de landelijke dalende of niet veranderende trend voor de meeste stoffen, wel locaties met een significant opwaartse trend: variërend per stof van 0 tot soms wel 25% van de locaties. Gezien het KRW-principe van “geen achteruitgang” verdienen deze stoffen en locaties aandacht vanuit beleid en uitvoering.

Het is niet eenvoudig de overwegend dalende trends van de KRW-stoffen te linken aan het effect van Europese en/of nationale maatregelen. Binnen dit project was er slechts beperkte ruimte om de relatie tussen maatregelen en stoffentrends te onderzoeken. Voor de meeste stoffen bestaat echter de indruk dat er een positief verband is tussen dalende emissies (als gevolg van beleid en autonome ontwikkelingen) en dalende concentraties.



Figuur 6.1 Overzicht van de hoeveelheid stoffen met een bepaalde trendconclusie binnen en buiten de focusstoffen van de KRW impuls.

6.2 Toxiciteit

De landelijke trend van toxische druk van alle stoffen is significant dalend, zowel voor acute als chronische toxiciteit. Echter, 40% van de soorten wordt op enige manier beïnvloed door de gezamenlijke blootstelling aan stoffen, wat betekent dat Nederland op zijn minst matig verontreinigd is. Daarnaast ondervindt 4% van de organismen al acute effecten van toxische stoffenmengsels. Locaties zijn gemiddeld hoog verontreinigd, maar niet zeer hoog verontreinigd.

Het regionale beeld van de chronische toxiciteit voor alle stoffen laat zien dat in bijna heel Nederland de klassegrens van 5% met meer dan 1,5 keer wordt overschreden, wat betekent dat er bijna overal sprake is van een matige chemische verontreiniging. Hoewel de landelijke trend dalend is, zien we significante stijgende trends in Midden- en Oost-Nederland en in het zuidelijke deel van Noord-Brabant.

Voor de acute toxiciteit voor alle stoffen zien we dat overschrijdingen van de klassegrens vooral voorkomen in Oost-Nederland en Noord-Brabant. Ook zijn in deze gebieden veel opwaartse trends te zien. De toxische druk in deze gebieden is dus erg hoog en stijgend.

Voor de berekeningen van de toxische druk met alle stoffen blijkt het aantal stoffen per mengsel in de loop der tijd te stijgen, wat laat zien dat er meer verschillende stoffen worden gemeten, of dat meer stoffen boven de rapportagegrens worden gemeten. In 1990 werden er ongeveer 7 stoffen per mengsel gemeten, terwijl dit aantal in 2022 is gestegen naar ongeveer 12. Hoewel er dus meer stoffen worden gemeten, leidt dit niet automatisch tot een stijgende trend in de toxiciteit; het tegendeel is het geval.

Ondanks dat de trend van bijna alle individuele KRW-stoffen daalt of niet significant is, is de landelijke trend van de chronische toxische druk van de KRW-stoffenmengsels significant stijgend, maar lijkt de laatste jaren stabiel. Dit kan betekenen dat de KRW-stoffen die niet trendgeschikt zijn (als gevolg van de trendselectie criteria) wel veel stijgende trends hebben. Doordat deze stoffen zijn meegenomen in de toxische druk berekeningen, maar niet in trendberekening, kan er een ander beeld ontstaan. De trend van de acute druk van stoffenmengsels is niet significant en lijkt visueel te dalen in de laatste jaren. De chronische toxische druk van KRW-stoffenmengsels ligt in de afgelopen jaren lager (ca. 15%) dan de chronische druk van alle stoffen (ca. 40%). Dit betekent dat ongeveer 60% van de toxische druk wordt veroorzaakt door andere stoffen dan de KRW-gereguleerde stoffen. Bij de acute toxische druk ligt de trendlijn ook lager bij de KRW-stoffenmengsels, met een percentage rond de 1% in de laatste jaren, vergeleken met de acute toxische druk van alle stoffen, die ongeveer 4% bedraagt.

Ook bij de berekeningen voor de KRW-stoffen blijkt in de laatste jaren een stijging van het gemiddeld aantal stoffen per mengsel: 7 stoffen in 1990, 5 in 2005 en 8 in 2022. Dit kleine verschil verklaart waarschijnlijk niet de opwaartse trend van de toxiciteit van KRW-stoffen.

Slechts een klein deel van de stoffen in de mengsels is verantwoordelijk voor het grootste deel van de lokale toxische druk: ongeveer 3% van de stoffen verklaart al ongeveer 99% van de totale toxische druk van de mengsels in deze dataset.

Wanneer we inzoomen op de top 25 stoffen met de hoogste gewogen gemiddelde bijdrage aan de toxische druk gebaseerd op alle stoffen, zien we dat deze vooral bestaat uit metalen (13 stoffen) en bestrijdingsmiddelen (9 stoffen). Daarnaast staan hier verschillende stoffen in die niet getoetst worden in de KRW stoffen, maar dus wel een grote bijdrage hebben aan de toxische druk. Dit zijn ijzer, aluminium, mangaan, metribuzin, dibenzo(a,h)antraceen en demethenamide. Bij de berekeningen van de chronische toxische druk met alleen de KRW stoffen zijn het ook vooral de bestrijdingsmiddelen (11 stoffen) en de metalen (9 stoffen) die een aanzienlijke bijdrage leveren aan de toxische druk.

6.3 Bestaande trendanalyses

In de verschillende rapportages over bestrijdingsmiddelen kan worden geconcludeerd dat de langjarige trends vanaf 2000 weliswaar afnemen, maar de laatste jaren lijken te stagneren. Het beeld is dat met het huidige tempo het einddoel van 2030 niet in zicht komt en een aanzienlijke reductie van de huidige emissies noodzakelijk zal zijn om dit doel te behalen.

De stikstof- en fosforconcentraties die sinds 1990 zijn gedaald, dalen nog steeds langzaam. Deze daling is voor beide stoffen in dezelfde orde van grootte, maar verschilt wel tussen verschillende watertypen. In 2021 voldoen de nutriëntconcentraties zowel voor fosfor als stikstof in 55% van de locaties aan de norm voor een goede kwaliteit. Er zijn echter nog steeds locaties met een slechte kwaliteit aanwezig in respectievelijk 8% en 3% van de locaties. Ook voor deze stoffen zijn aanvullende maatregelen nodig om de doelen te halen.

In de afgelopen 30 jaar is de biologische kwaliteit op basis van macrofauna en waterplanten, met 10% gestegen. Om de biologische kwaliteit voor macrofauna en waterplanten verder te verbeteren worden de volgende oplossingen genoemd: het verminderen van vermeting, het verbeteren van de inrichting van het oppervlaktewater en het verwijderen van voedselrijke waterbodems door baggeren.

6.4 Aanbevelingen

Uit de studie komt een aantal aanbevelingen naar voren voor verdere analyse:

- Van de ruim 20 miljoen metingen ligt ongeveer 75% onder de rapportagegrens (zie Tabel 2.3). Hoewel een meting onder de rapportagegrens ook waardevolle informatie oplevert, rijst de vraag of er mogelijkheden zijn voor optimalisatie van de meetinspanningen. Mogelijk is er efficiency winst te behalen door het minder intensief monitoren van stoffen die vrijwel altijd beneden de rapportagegrens liggen en het verhogen van meetinspanning voor stoffen waarvoor we vanwege gebrekkige data geen trend kunnen bepalen, met name als er goede redenen zijn om die stoffen in de gaten te houden, zoals een hoge bijdrage aan de toxiciteit. Dit zou nader onderzocht kunnen worden.
- Door de gehanteerde selectiecriteria voor trendanalyses van de KRW-stoffen (minimaal 5 jaar data, minimaal 4 metingen per jaar, maximaal 50% van de metingen onder de rapportagegrens, minimaal 1 meetjaar in de afgelopen 5 jaar) valt ongeveer de helft van de meetlocaties en ook van de stoffen af. Dit resulteert in een beperkte analyse voor deze stoffen. Met een andere combinatie van criteria zouden mogelijk meer stoffen kunnen worden meegenomen in de vervolganalyse.
- Van de 80 KRW-stoffen, die allemaal een landelijke significante neerwaartse trend of geen significante trend vertonen, hebben sommige locaties wel een significante opwaartse trend. Het wordt aanbevolen om ook deze locaties nader te analyseren met als doel mogelijke specifieke emissiebronnen te identificeren die verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor deze stijgende trends.

- De trendanalyses zijn momenteel gebaseerd op de periode van 1990 tot 2022 (voor zover er beschikbare data zijn). In een aantal gevallen zien we dat de trend in de laatste jaren duidelijk afwijkt van de 30-jaar trend. Dit kan situaties opleveren waarbij de landelijke trend over 30 jaar bijvoorbeeld significant stijgend is, maar (optisch) de laatste 5 jaar daalt. Het zou overwogen kunnen worden om een extra trendanalyse over de laatste jaren uit te voeren.
- De toxiciteit is nu berekend voor zowel de KRW-stoffen als voor alle stoffen. Logischerwijs zijn de verschillen tussen deze twee te verklaren door de niet KRW-stoffen. Toch zou het voor de interpretatie van de resultaten helpen wanneer ook voor de niet KRW-stoffen een aparte analyse zou worden gemaakt. Daarmee zouden de KRW-stoffen en de niet KRW-stoffen beter met elkaar vergeleken kunnen worden.

7 Referenties

- Broers, H. P., & van der Grift, B. (2004). Regional monitoring of temporal changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 192-220. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.03.022>
- Buijs, S., Ouwerkerk, K. en Rozemeijer, J. (2020). Meetnet Nutriënten Landbouw Specifieke Oppervlaktewater, Toestand en trends tot en met 2018. Deltares rapport 111203728-005-BGS-0002.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024). Natuurkwaliteit van macrofauna in oppervlaktewater, 1990 - 2022 (indicator 1435, versie 07, 30 mei 2024) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024). Natuurkwaliteit van waterplanten in oppervlaktewater, 1990 - 2022 (indicator 1441, versie 06, 30 mei 2024) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- Cleveland, W. S. (1979). Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 74(368), 829–836. <https://doi.org/10.2307/2286407>
- CLO Compendium voor de Leefomgeving (2024). Vermesting van oppervlaktewater, 1990-2021.
- CLM, Universiteit van Leiden, Royal HaskoningDHV (2024). Atlas Bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater. <https://www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl>
- Deltares (2024). KRW-NUTrend. <https://krw-nutrend.netlify.app/>
- De Zwart, D. (2001). Observed Regularities in Species Sensitivity Distributions for Aquatic Species. *Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology*, 157–178. <https://doi.org/10.1201/9781420032314-12>
- Drescher, K., & Boedeker, W. (1995). Assessment of the Combined Effects of Substances: The Relationship between Concentration Addition and Independent Action. *Biometrics*, 51(2), 716. <https://doi.org/10.2307/2532957>
- Emissieregistratie. (2023). ER reeks 1990-2021 definitief. Geraadpleegd op 2024-02-14, van <https://data.emissieregistratie.nl/export>
- Fraters, B., Hooijboer, A.E.J., Vrijhoef, A., Plette, A.C.C., van Duijnhoven, Rozemeijer, J., Gosseling, M., Daatselaar, C.H.G., Roskam, J.L. en Begeman, H.A.L. (2020). Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2016-2019) en trend (1992-2019), De Nitraatrapportage 2020 met de resultaten van de monitoring van de effecten van de EU Nitraatrichtlijn actieprogramma's. RIVM-rapport 2020-0121.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water resources research*, 18(1), 107-121. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00107>
- Hirsch, R. M., & Slack, J. R. (1984). A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water resources research*, 20(6), 727-732. <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>
- Informatiehuis water. (n.d.). Stoffiches SGBP 2022-2027 definitieve versie 1 februari 2022.zip. Geraadpleegd op 27-05-2024 van <https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/sgbp-achtergronddocumenten>

- Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC). 2013. Groundwater Statistics and Monitoring Compliance: Statistical Tools for the Project Life Cycle. GSMC-1. December.
- Klein, J. & Rozemeijer, J., 2015. Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater. Update toestand en trends tot en met 2014. Deltares rapport 1220098-007-BGS-0001.
- Lemm, J. U., Venohr, M., Globevnik, L., Stefanidis, K., Panagopoulos, Y., van Gils, J., Posthuma, L., Kristensen, P., Feld, C. K., Mahnkopf, J., Hering, D., & Birk, S. (2021). Multiple stressors determine river ecological status at the European scale: Towards an integrated understanding of river status deterioration. *Global Change Biology*, 27(9), 1962–1975. <https://doi.org/10.1111/GCB.15504>
- Osté, L., en W. Altena (2019). Afleiden achtergrondconcentraties 2018. Deltares-rapport 11202236-000-BGS-0003.
- Osté, L., Sulu-Gambari F., Postma, J., (in prep.), Hoofdrapport Aanpak normoverschrijdende metalen. Deltares-rapport.
- Posthuma, L., Beekman, J., van Driezum, I., De Baat, M., Pronk, T., van den Berg, S., van den Brink, P., Osté, L., & Verweij, W. (2021). *Chemische verontreiniging en ecologische toestand. Onderbouwing van de klassen-indeling voor interpretatie van de sleutelfactor toxiciteit*.
- Posthuma, L., & De Zwart, D. (2006). Predicted effects of toxicant mixtures are confirmed by changes in fish species assemblages in Ohio, USA, rivers. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(4), 1094–1105. <https://doi.org/10.1897/05-305R.1>
- Posthuma, L., & de Zwart, D. (2012). Predicted mixture toxic pressure relates to observed fraction of benthic macrofauna species impacted by contaminant mixtures. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(9), 2175–2188. <https://doi.org/10.1002/ETC.1923>
- Posthuma, L., van Gils, J., Zijp, M. C., van de Meent, D., & de Zwart, D. (2019). Species sensitivity distributions for use in environmental protection, assessment, and management of aquatic ecosystems for 12 386 chemicals. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(4), 905–917. <https://doi.org/10.1002/ETC.4373>
- Posthuma, L., Zijp, M. C., De Zwart, D., Van de Meent, D., Globevnik, L., Koprivsek, M., Focks, A., Van Gils, J., & Birk, S. (2020). Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2>
- Postma, J., Keijzers, R., Slootweg, J., & Posthuma, L. (2021). *TOXICITEIT VAN NEDERLANDS OPPERVLAKEWATER IN DE JAREN 2013-2018*. www.stowa.nl
- Rijksoverheid (2013). Gezonde groei, Duurzame oogst, Tweede Nota Duurzame Gewasbescherming, 13 mei 2013, van staatssecretaris Dijksma (EZ) en staatssecretaris Mansveld (I&M) behandeld in de Tweede kamer op 19 juli 2013.
- Römkens, P. F. A. M., van der Bolt, F. J. E., & Renaud, L. (2023). Schatting van de bijdrage van achtergronduitspoeling aan de emissie van metalen van bodem naar oppervlaktewater : aanvulling op WENR-rapport 3139. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3280). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/633634>.
- Rorije, E., Wassenaar, P. N. H., Slootweg, J., van Leeuwen, L., van Broekhuizen, F. A., & Posthuma, L. (2022). Characterization of ecotoxicological risks from unintentional mixture exposures calculated from European freshwater monitoring data: Forwarding prospective chemical risk management. *Science of The Total Environment*, 822, 153385. <https://doi.org/10.1016/J.SCIOTENV.2022.153385>.

- Slagter, L. et al, 2024 (in prep.). Koepelrapportage Tussenevaluatie 2024. Witteveen+Bos.
- Van der Bolt, F. J. E., Römkens, et. al. (2022). *LWKM zware metalen: Emissieberekeningen voor de Emissie Registratie 1990-2019*. (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3139). Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/563702>
- Van den Meiracker, R., & Wesdorp, K. H. (2024). Landelijk meetnet gewasbeschermingsmiddelen Land- en Tuinbouw: jaarlijkse evaluatie resultaten van 2014 t/m 2022. Deltares rapport 11209246-004-BGS-0001.
- Van Puijenbroek, P.J.T.M. (2023). Basiskwaliteit waternatuur. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Vijver, M. G., van 't Zelfde, M., Tamis, W. L. M., Musters, C. J. M., & de Snoo, G. R. (2008). Spatial and temporal analysis of pesticides concentrations in surface water: pesticides atlas. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 43(8), 665-674. Geraadpleegd op 27-05-2024 van <https://www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl/atlas/8/1>
- Visser, A., 2009. Trends in groundwater quality in relation to groundwater age. Proefschrift Universiteit Utrecht, Nederlandse Geografische Studies 384, Utrecht.
- Wesdorp, K. (2023). Imidacloprid: Emissies naar oppervlaktewater door gebruik als biocide/diergeneesmiddel, Deltares rapport 11209246-012-BGS-0003.

A Afkortingen

CLO	Compendium voor de Leefomgeving
DGWB	Directoraat-generaal Water en Bodem van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
EC50	Half maximal effective concentration
msPAF	multi substance Potentially Affected Fraction
IHW	Informatiehuis water
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
JG-MKN	Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm
KIWK	Kennis Impuls Waterkwaliteit
KRW	Kaderrichtlijn Water
MAC-MKN	Maximale aanvaardbare concentratie milieukwaliteitsnorm
MNLSO	Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater
MWTL	Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands
NOEC	NoObserved Effect Concentration
OWL	oppervlaktewaterlichaam voor de KRW
PAF	Potentially Affected Fraction
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
rg	rapportagegrens
RHDHV	Royal HaskoningDHV
RWS	Rijkswaterstaat
SGBP	Stroomgebiedbeheerplan
SSD	Species Sensitivity Distribution
WKP	Waterkwaliteitsportaal

B KRW stoffenlijst

In deze bijlage staat de lijst met KRW-stoffen verkregen van het Informatie Huis Water (IHW) die is gebruikt in deze studie. Deze bijlage is toegevoegd als een Excel-bestand genaamd: Bijlage_B_Stoffen-Hulprijst-Gegevensuitwisseling_Oppervlaktewater.

C R packages

aquodm
arrow
vroom
tidyverse
PostgreSQL
Readxl
openxlsx
sf
stars
terra
glue
foreach
zyp
broom

D Toelichting methode trendanalyse

Om patronen te ontdekken in de gegevens gebruiken we statistische testen. Door middel van een trendanalyse kan inzicht verkregen worden of de concentraties stabiel zijn, toenemen of afnemen. Met het begrip trend wordt een verandering van de kansverdeling van de meetwaarden over meerdere jaren bedoeld. Toevallige uitschieters of seizoensinvloeden vallen daar niet onder. Er zijn veel verschillende statistische methoden beschikbaar waaruit gekozen kan worden. Aangezien het bij waterkwaliteitsgegevens vaak gaat om data met uitschieters (relatief hoge waarden ten opzichte van het gemiddelde) en ontbrekende waarden, is het van belang dat de statistische test daar niet teveel door beïnvloedt wordt. Daarom zijn bij het bepalen van de trends twee robuuste statistische methodes gebruikt; de Seasonal Mann-Kendall trendtest, de Theil-Sen hellingschatter en de LOWESS-trendlijn. Deze methoden zijn niet gevoelig voor uitschieters in de data en kunnen ook in onregelmatige korte tijdseries trends aangeven.

De **Seasonal Mann-Kendall trendtest** wordt gebruikt om aan te tonen of er een opwaartse of neerwaartse trend aanwezig. Daarnaast bepaalt de test of deze trend significant is of niet. Significantie wordt bij statistische testen vaak gebruikt om aan te geven dat de verkregen trend niet louter op toeval is gebaseerd. Om dat aan te tonen wordt binnen de statistiek gebruik gemaakt van de p-waarde. De p-waarde of overschrijdingskans is in dit geval de kans dat de trend op toeval is gebaseerd. Het is een waarde tussen de 1 (puur toeval) en 0 (geen toeval). In de praktijk wordt vaak de waarde van 5% (oftewel 0,05) aangehouden als significantiegrens. De Seasonal Mann Kendall trendtest berekent de statistieken eerst per maand over een hele periode (bijvoorbeeld alle metingen in januari) en aggregereert ze vervolgens. Of een trend significant is hangt af van de grootte (steilheid) van de trend, maar ook van de lengte en het aantal metingen daarin van de meetreeks. Om te bepalen of de test significant is, is ook in deze studie 5% als grenswaarde aangehouden.

De **Theil-Sen hellingschatter** (Hirsch et al., 1982) is een robuuste non-parametrische trendschatter. Non-parametrisch wil zeggen dat de dataset niet normaal verdeeld hoeft te zijn, wat bij waterkwaliteitsgegevens ook vaak niet het geval is. De Theil-Sen hellingschatter bepaalt de mediaan van alle mogelijke trends tussen de onderlinge datapunten. Dit levert de helling en het intercept van de mediane trendlijn door de meetreeks op. De Theil-Sen hellingschatter is toegepast op alle trendmeetpunten van het MNLSO, wat betekent dat voor elke locatie een rechte trendlijn met een specifieke helling en intercept is berekend. Deze trendlijnen zijn geaggregeerd door de mediane trendhelling en het 95%-betrouwbaarheidsinterval rond deze mediane trendhelling te berekenen. De mediane trend en het 95%-betrouwbaarheidsinterval zijn geplot met de mediane meetdatum van alle reeksen als middelpunt. De trendlijnen beginnen bij de mediane startdatum en eindigen bij de mediane einddatum van de meetreeksen. Als de mediane helling en beide betrouwbaarheidsintervallen allemaal positief ofwel allemaal negatief zijn, dan is de trend significant.

Daarnaast maken we gebruik van de **LOWESS-trendlijn**. Deze lijn geeft inzicht of de trend over de gemeten periode afneemt of toeneemt. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat de meetwaarden in het begin gelijk blijven maar juist in de laatste periode sterk toenemen. De LOWESS (LOcally WEighted Scatterplot Smoothing) is een kromme trendlijn gebaseerd op 'lopend' fitten van polynomen (krommen) op een steeds opschuivend gedeelte van de meetreeks (Cleveland, 1979). Het principe lijkt op een lopend gemiddelde of een lopende mediaan, waarbij voor een steeds één tijdstap opschuivend deel van de meetreeks het gemiddelde of de mediaan wordt berekend.

E Gedetailleerde resultaten van alle berekeningen

In deze bijlage zijn alle aanvullende resultaten opgenomen die niet besproken worden in het rapport, evenals alle resultaten die wel zijn opgenomen in het rapport. Deze bijlage is toegevoegd als een Excel-bestand genaamd: Trends_in_waterkwaliteit_bijlage_E.

F Nadere analyse trends van stoffen van de memo stoffenlijst KRW impuls

In deze bijlage zijn trend geschikte stoffen (30 van de 42) van de Memo Stoffenlijst KRW impuls (Hin et al., 2023) nader geanalyseerd. Deze bijlage is bijgevoegd als een Word bestand genaamd: Trends_in_waterkwaliteit_bijlage_F.

G Trendplots, trendkaarten

In deze bijlage zijn alle aanvullende figuren opgenomen van de trendgeschikte stoffen die niet in het rapport worden besproken, evenals alle figuren van stoffen die wel in het rapport zijn behandeld. Deze bijlage is bijgevoegd als een zip bestand genaamd: Trends_in_waterkwaliteit_bijlage_G.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor (mens) milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl