



# **Classificatie en communicatie van de graad van chemische verontreiniging**

## **INHOUD**

- 1. INLEIDING**
- 2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS**
- 3. STRATEGIE**
- 4. SCHEMATISCHE WEERGAVE**
- 5. WERKING: ECOLOGIE EN DRINKWATER**
- 6. KOSTEN EN BATEN**
- 7. RANDVOORWAARDEN**
- 8. GOVERNANCE**
- 9. PRAKTIJKERVERVINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN**
- 10. KENNISLEEMTEN**
- 11. COLOFON**
- 12. DISCLAIMER**
- 13. BRONNEN & LINKS**

## 1. INLEIDING

Dit Deltafact heeft tot doel om waterbeheerders te helpen om complexe gegevens over chemische verontreiniging van oppervlaktewateren samen te vatten in vijf klassen, ten behoeve van evaluatie van ruimtelijke trends of trends (van achteruitgang of herstel) in de tijd en de communicatie daarover tussen experts en bestuur en belanghebbenden. De vijf klassen hangen samen met de klassen die voor de ecologische toestand worden gehanteerd, met de zuiveringsinspanning voor de productie van drinkwater uit ruwwater en met de normstelling voor stoffen. Schoon water heeft veel maatschappelijke functies (drinkwaterproductie, irrigatie, zwemwater), waardoor de waterkwaliteit zo veel mogelijk beschermd, en waar nodig hersteld wordt. Momenteel is de chemische waterkwaliteit vaak onvoldoende, en stagneert de verbetering ([PBL, 2020](#) [Pronk et al., 2020](#)). Een genuanceerde classificatie voor chemische verontreinigingen kan helpen de waterkwaliteit te verbeteren.

## 2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Het probleem van de chemische verontreiniging van oppervlaktewateren raakt aan een aantal andere KIWK-onderwerpen, zoals onder meer [KIWK-Gewasbeschermingsmiddelen](#), [KIWK-Diergeneesmiddelen](#), [KIWK-Ketenverkenner](#) als (ook) stoffen-gerelateerde projecten, en verder ook [KIWK-Ecologie](#) en [KIWK-Brakke wateren](#) als projecten die (ook, en meer dan voorheen) het gehele watersysteem als uitgangspunt benadrukken. Een aantal resultaten is al opgenomen in de [Nationale Analyse Waterkwaliteit](#), onder het hoofdstuk over toxische druk (bv. Figuur 10.4). Het meest gerelateerde Deltafact is: [‘Van toxische druk naar betere waterkwaliteit in Nederland.’](#)

## 3. STRATEGIE

Deze Deltafact is opgesteld om waterbeheerders te assisteren bij het afleiden en prioriteren van maatregelen die chemische verontreiniging van oppervlaktewateren helpen te voorkómen of teniet te doen. Dat gebeurt door classificaties aan te bieden die aansluiten op het stoffenbeleid en het waterkwaliteitsbeleid. Waterbeheerders worden via de Sleutelfactor Toxiciteit, versie 2 (SFT2), geassisteerd bij het daadwerkelijk indelen van monitoring-gegevens in de vijf klassen. De indeling is daardoor in de praktijk eenvoudig toepasbaar. De waterbeheerder voert bijvoorbeeld data in, in de rekentool van de SFT2, en verkrijgt als uitvoer de indeling in één van de vijf klassen. Direct daarna kunnen de gegevens van een grote hoeveelheid

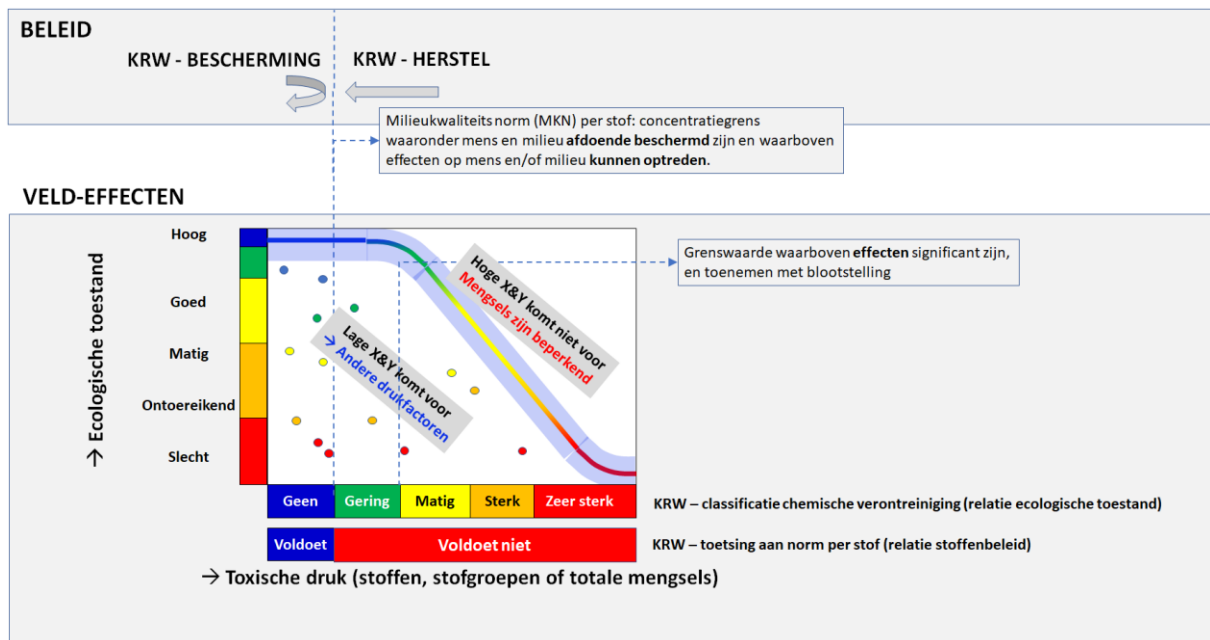
monsters gekarteerd worden, om vast te stellen waar (en daarna: waardoor) de chemische verontreiniging effecten worden veroorzaakt.

De classificaties ondersteunen een heldere communicatie, en maakt het mogelijk om voor- en achteruitgang van de waterkwaliteit zichtbaar te maken.

#### 4. SCHEMATISCHE WEERGAVE

##### Schematische weergave voor de ecologische toestand

De schematische weergave voor de vijfklassen-indeling wordt getoond in Figuur 1. De figuur toont de relatie met de KRW-doelen van zowel bescherming (als dat mogelijk is) en herstel (als dat nodig is). De figuur toont ook de relatie tussen de ernst van chemische verontreiniging (X), de milieukwaliteitsnormen (MKN) en de ecologische toestand (Y). De MKN van een stof ligt lager dan geen-effectgrens in aquatische ecosystemen, omdat er bij de MKN-afleiding rekening gehouden wordt met allerlei onzekerheden (zoals het vóórkomen van andere drukfactoren en mengsels) en doordat de MKN ook de gezondheid van de mens beschermt.



Figuur 1. De samenhang tussen de mate van chemische verontreiniging (toxische druk van stoffen, stofgroepen of mengsels, X-as) en de ecologische toestand (Y-as), schematisch. De beleidsdoelen van de KRW zijn ook aangegeven: bescherming, bij blootstelling onder de milieukwaliteitsnorm (MKN), en herstel, bij blootstelling boven de norm. De grens tussen 'voldoet' en 'voldoet niet' is voor de normstelling tussen blauw en rood, en ligt lager dan de effectgrens. De effectgrens is de grens tussen groen en geel: daarboven zijn de effecten significant.

##### Schematische weerhave voor de zuiveringsinspanning t.b.v. drinkwater

De schematische weergave voor de vijfklassen-indeling voor de zuiveringsinspanning voor de productie van drinkwater is gerelateerd aan de relatie tussen stofeigenschappen en zuiveringsefficiëntie van verschillende technieken, en wordt getoond in Paragraaf 8. Door gebruik te maken van de vijfklassen-indeling voor een waterinname-punt kan de waterbeheerder inzicht krijgen trends in de tijd wat betreft de zuiveringsinspanning.

### Bij Figuur 1: Normen en bescherming- en hersteldoel

Door het toepassen van milieukwaliteitsnormen (MKN) voor stoffen maakt de KRW het mogelijk de waterkwaliteit in te delen, per stof voor ca. 150 stoffen, in twee klassen: 'voldoet' en 'voldoet niet'. Dit als de concentratie lager resp. hoger is dan de MKN. De beoordeling voor mens en milieu wordt onder de ene norm per stof gekoppeld: als de waterkwaliteit voor een stof 'voldoet' betekent dit, dat het meest gevoelige eindpunt beschermd wordt. Dus als de MKN gebaseerd is op milieu-toxiciteit als gevoeligste eindpunt, dan betekent een waterkwaliteit die 'voldoet' dat ook de mens voldoende beschermd is, en omgekeerd. Als de waterkwaliteit 'niet voldoet' betekent dit dat de waterbeheerder maatregelen moet nemen die ertoe moeten leiden dat de concentratie weer onder de MKN komt.

## 5. WERKING: ECOLOGIE EN DRINKWATER

### Ecologische toestand: Toxische druk en effecten

Zoals uiteengezet in de Deltafact '*Van toxische druk naar betere waterkwaliteit in Nederland*' geldt: hoe hoger de toxische druk, hoe groter de effecten op aquatische levensgemeenschappen. Doordat de ecologische toestandsklassen gedefinieerd worden aan de hand van effecten geeft dit principe de mogelijkheid om ook de toxische druk van stoffen, stofgroepen en totale mengsels uit te drukken in vijf klassen. Hoe hoger de toxische druk, samengevat in de *chemische verontreinigingsklassen*, hoe hoger de prioriteit om maatregelen te nemen. Maar ook: als herstelmaatregelen effect hebben kan dit gesignaleerd worden door verschuiving naar een betere klasse.

### Ernst van effecten en prioritering van maatregelen

De indeling in vijf klassen voor de graad van chemische verontreiniging is mogelijk, en logisch, omdat zowel de ecologie als de (eco)toxicologie kwantitatieve disciplines zijn: hoe hoger de waarde van een drukfactor, hoe sterker de aquatische soorten zullen reageren, en hoe groter het effect. De graad van chemische verontreiniging

(op de X-as) wordt uitgedrukt als 'toxische druk'. Deze maatlat drukt uit welke fractie soorten aangetast zou worden bij een gegeven blootstellingsniveau aan een stof, een stofgroep zoals insecticiden, of alle stoffen als totaal mengsel ([Posthuma en De Zwart, 2019](#)). De toxische druk kan berekend worden met de rekentool van het Chemie-spoor van de Sleutel Factor Toxiciteit ([www.sleutelfactortoxiciteit.nl](http://www.sleutelfactortoxiciteit.nl)), uitgaande van concentraties en identiteiten van stoffen in lokale mengsels. De toxische druk kan ook worden afgeleid met bioassays. Bioassays meten in plaats van individuele chemicaliën de gecombineerde effecten van alle aanwezige chemicaliën in het mengsel. De mate van respons van bioassay-testen op watermonsters met daarin mengsels van verontreinigende stoffen geven de toxische druk aan. Via de graduele verschillen in toxiciteit geven de waterbeheerder een duidelijke leidraad voor het prioriteren van maatregelen. Eerst naar plaats (de ergste plekken eerst), en binnen die plekken naar stofgroep (de ergste stoffen eerst).

### Noodzaak verbetering beoordeling chemische kwaliteit

Het KRW-indicatorensysteem om chemische verontreinigingen te beoordelen heeft sterke grondslagen. De belangrijkste daarvan is de *uniforme aanpak van chemische verontreinigingen in het stoffen- en het waterkwaliteitsbeleid*: het geen-effect niveau en het beleidsdoel dat per stof wordt afgeleid en bij de beoordeling wordt gebruikt is identiek (behoudens enkele kleine, technische uitzonderingen). Als een stof in een te hoge concentratie aanwezig is, of dreigt te worden, wordt dit zichtbaar als risico-quotiënt (RQ): de concentratie gedeeld door de MKN geeft een waarde  $>1$  ( $RQ = \text{concentratie}/\text{MKN}$ , waarbij  $RQ < 1$  voldoende bescherming toont, en  $RQ > 1$  onvoldoende bescherming). Een stof die niet zonder meer op de markt wordt toegelaten in het stoffenbeleid (doordat de  $RQ_{\text{stoffenbeleid}} > 1$  is) wordt in het waterkwaliteitsbeleid geclassificeerd als bedreiging voor de waterkwaliteit, waardoor bij  $RQ_{\text{waterkwaliteitsbeleid}} > 1$  maatregelen moeten worden genomen. De maatregelen in het stoffenbeleid en het waterbeleid hebben hierdoor exact hetzelfde milieukwaliteitsdoel: de milieukwaliteit moet blijven 'voldoen' (voorgenomen gebruik van een stof, beschermdoel) of moet gaan 'voldoen' door herstelmaatregelen (bij te veel gebruik van een stof, die daardoor een bedreiging is geworden, hersteldoel). De MKN als KRW-indicator is hierdoor een onmisbaar instrument voor het maken van afwegingen rond *bescherming* van de waterkwaliteit en het *doel* van herstelmaatregelen. Er zijn echter ook grote (praktijk)nadelen. De classificatie als 'voldoet' of 'voldoet niet' geeft *geen informatie over de ernst van het probleem dat daarbij hoort*. Er kan sprake zijn van minimale effecten van één stof, of van zeer grote effecten van een mengsel. Er zijn dan ook sterke motieven om forse

verbeteringen door te voeren. Op theoretische gronden zijn drie verbeteringen mogelijk:

- (1) voor het aantal stoffen waarvoor een beoordeling kan worden uitgevoerd,
- (2) voor het beoordelen van mengsels, en
- (3) voor het beoordelen van de ernst van de chemische verontreiniging.

Verder zijn er praktische motieven voor verbeteringen:

- (1) Bij monitoring kan elke extra gemonitorde stof de kans op een classificatie als 'voldoet niet' verhogen, terwijl de huidige waterkwaliteit al vaak 'niet voldoet'. Waterbeheerders zien dan af van monitoring van extra stoffen, omdat de bestaande problemen in de praktijk eerst worden aangepakt voordat er nieuwe problemen zullen gaan worden gesignaleerd.
- (2) Bij maatregelen wordt men gaandeweg terughoudend met het blijven investeren in maatregelen, omdat de classificatie van de waterkwaliteit pas 'voldoet' wordt als de allerlaatste stof (of andere drukfactor) 'voldoet'. Dit werkt demotiverend op het volhouden van maatregelen die op zich effect hebben (toxische druk en effecten verminderen). In de praktijk is er vaak tenminste één stof die tot een 'voldoet niet' classificatie leidt, en waarbij dit door maatregelen nauwelijks verbetert. Een typerend voorbeeld is Zweden, waar de waterkwaliteit voor 100% van de meer dan 22.000 monsterpunten niet voldoet doordat de MKN van kwik wordt overschreden, en blijft overschrijden ([EEA, 2012](#), [EEA, 2018](#), [EEA, 2021](#)).

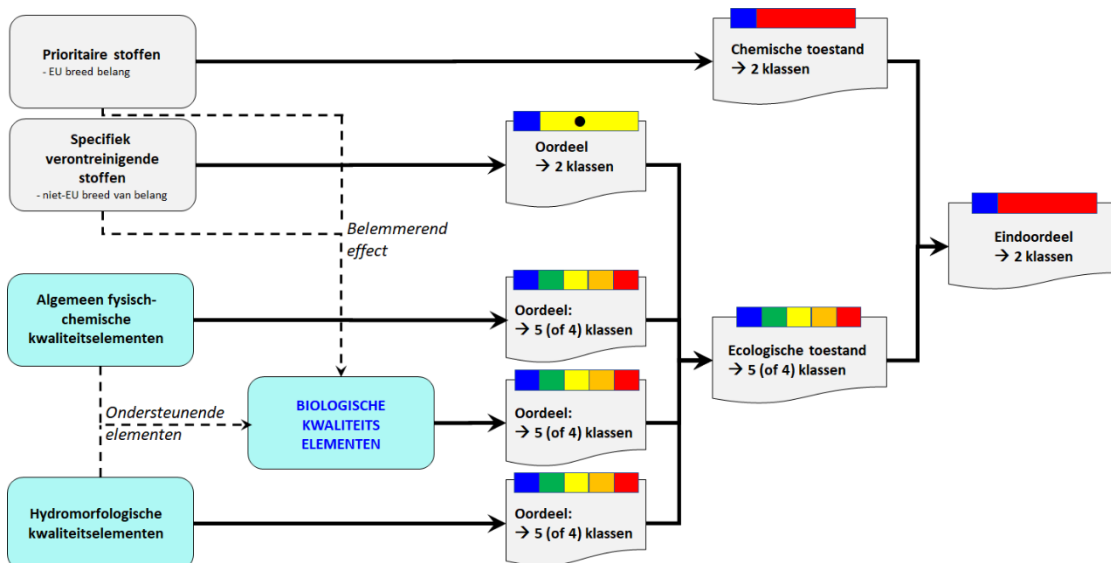
Ook rapportages van het Planbureau voor de Leefomgeving ([Nationale Analyse Waterkwaliteit \(pbl.nl\)](#)) over ontwikkelingen in de waterkwaliteit tonen aan dat beide problemen aanwezig zijn: er is – ondanks grote investeringen – geen sprake van een betekenisvolle verbetering van de waterkwaliteit wanneer afgemeten met het KRW-indicatorensysteem.

## Achtergronden: ecologie

### - De KRW-classificatie van waterkwaliteit

Waterbeheerders beoordelen momenteel nieuwe of bestaande bedreigingen van de waterkwaliteit met het classificatiesysteem van de KRW. Dat systeem is gebaseerd op het ordenen van waterkwaliteitsgegevens, verkregen door monitoring. De ordening leidt tot een oordeel over diverse aspecten van waterkwaliteit, en uiteindelijk tot één eindoordeel. De diverse aspecten, en de afleiding van het KRW-eindoordeel over de waterkwaliteit, worden getoond in Figuur 2. De beoordeling integreert gegevens over chemische verontreinigingen en andere drukfactoren met

ecologische gegevens. Voor alle drie typen gegevens is afwijking van de watertype-specifieke (niet verstoorde) referentie belangrijk als classificatie-principe.



Figuur 2. Classificatie van de waterkwaliteit onder de KRW (chemische en ecologische toestand). Aangepast vanuit [RWS, 2020](#). Aanpassingen die de werking en interpretatie benadrukken: (a) de biologische kwaliteitselementen staan centraal: als die in zeer goede of goede status zijn, dan duidt dit op minimale belemmerende effecten en goede ondersteunende elementen; (b) chemische stoffen vormen mengsels, die belemmerend werken op de ecologische toestand (grijs), (c) hydromorfologische- en algemene fysisch-chemische kenmerken zijn ondersteunend voor de ecologische toestand; (d) op basis van monitoring wordt een oordeel gegeven in 2 klassen (verontreinigende stoffen) of 4 of 5 klassen (de zeer goede toestandsklassen kan onmogelijk zijn voor gemodificeerde wateren); (e) de gegevens worden via het 'one out, all out' principe samengevat als een ecologische toestandsklasse en (voor de stoffen die op Europees niveau van belang zijn in de chemische toestandsklasse); (f) het eindoordeel wordt via het 'one out, all out'-principe vastgesteld. Als het eindoordeel is 'voldoet niet' moet de waterbeheerder de oorzaak daarvan onderzoeken (de omgekeerde weg volgen, en de samenvattende oordelen uiteenrafelen in de afwijkende drukfactoren), en maatregelen nemen.

Het eindoordeel wordt gegeven in twee klassen: 'voldoet' (alle aspecten zijn aanwezig met waarden die overeenkomen met de ongestoorde referentie), of 'voldoet niet' (tenminste één aspect toont een afwijking). De indeling in twee klassen bestaat ook voor metingen van concentraties van stoffen: ook die voldoen, of voldoen niet, aan de beschermende milieukwaliteitsnorm (een concentratie-grenswaarde waaronder er geen effecten op mens en milieu te verwachten zijn). De indeling van de overige factoren kent een vijf-klassen indeling (of vier klassen, als de zeer goede toestand niet meer gehaald kan worden in gemodificeerde waterlichamen). De daarbij gehanteerde termen zijn voor de ecologische parameters 'zeer goed', 'goed', 'matig', 'ontoereikend' en 'slecht', gekarakteriseerd door de kleuren blauw, groen, geel, oranje en rood (zie ook Figuur 1).

De KRW-classificatie heeft een belangrijke functie bij het afleiden en prioriteren van en communicatie over maatregelen om de waterkwaliteit te beschermen of waar nodig te herstellen. Zodra het eindoordeel lager is dan 'goed' en/of de chemische toestand lager is dan 'voldoet' moet de waterbeheerder maatregelen nemen.

### - De ecologische toestand als centraal motief

Hoewel er veel aandacht is voor chemische verontreinigingen is eigenlijk de *ecologische toestand* van watersystemen in de KRW een heel belangrijke maatstaf om te oordelen of maatregelen nodig zijn (Figuur 2). Deze zeer centrale plaats bestaat, omdat de ecologische toestand onder de KRW de mogelijkheid biedt om alle denkbare drukfactoren die in een watersysteem aanwezig kunnen zijn samen te beoordelen, ook als de versturende drukfactoren zelf nog onbekend zijn! Dus ook: de enorme hoeveelheid stoffen die de waterkwaliteit kunnen bedreigen, elk apart en/of als mengsel. De redenering daarachter is dat *als* de ecologische toestand zeer goed of goed is, dat er dan geconcludeerd kan worden dat **alle drukfactoren samen geen significante ecologische effecten hebben veroorzaakt**. Anders gezegd: de ecologische toestand wordt dus gehanteerd als een *pars pro toto* indicator voor af- of aanwezigheid van effecten *van alle (bekende en onbekende) drukfactoren samen*. Als die er niet zijn, is dat een signaal dat het water waarschijnlijk voor alle gebruiksdoelen geschikt is, inclusief het natuurlijke waterleven. Bij het aantreffen van effecten – gesignaleerd door classificatie als matige, ontoereikende of slechte ecologische toestand of door het eindoordeel ‘voldoet niet’ – is de vervolgvraag: “*welke drukfactor of drukfactoren veroorzaken de effecten*”? Dat kunnen stoffen zijn, en in de praktijk vrijwel altijd: mengsels van stoffen. De sleutelfactor Toxiciteit is ontworpen om op de rol van stoffen vast te stellen.

### - Chemische verontreinigingen *compleet* in zicht krijgen

De sleutelfactor Toxiciteit evalueert de effecten van (zo goed mogelijk) *alle stoffen en hun mengsels*, dus niet alleen de 45 Prioritaire Stoffen (van EU-breed belang) en de ca. 100 Nederland-specifieke stoffen (die in de Nederlandse stroomgebieden van de vier grote rivieren vaak voorkomen). Maar ook alle stoffen die op meer lokale schaal dan Nederland voorkomen en de waterkwaliteit bedreigen. Dat zijn lokale specifieke stoffen. De definitie van ‘verontreinigende stof’ onder de KRW duidt er op, dat *elke* stof die de waterkwaliteit kan bedreigen een specifieke verontreinigende stof is, en *elk mengsel* dat bedreigend is onder de KRW aangepakt zou moeten worden. Zie Artikel 2 van de KRW, “Definities” (lid 31 en 33). Overschrijding van de norm voor een specifieke stof kan leiden tot effecten op de mens en/of op ecosystemen, en tot minimale effecten (één stof net boven diens norm) of tot zeer grote effecten (veel stoffen ruim tot zeer ruim boven hun norm). Volgens het systeem dat in Figuur 2 getoond wordt is het niet zo maar mogelijk om de aard en ernst van de aantasting af te leiden uit de normoverschrijding. Dit terwijl het onderscheid van kleine,



gemiddelde en grote effecten is van evident belang voor het prioriteren van maatregelen, omdat er in Nederlandse oppervlaktewateren sprake is van veelvuldige overschrijdingen van de MKN van diverse stoffen ([Postma et al., 2021](#)).

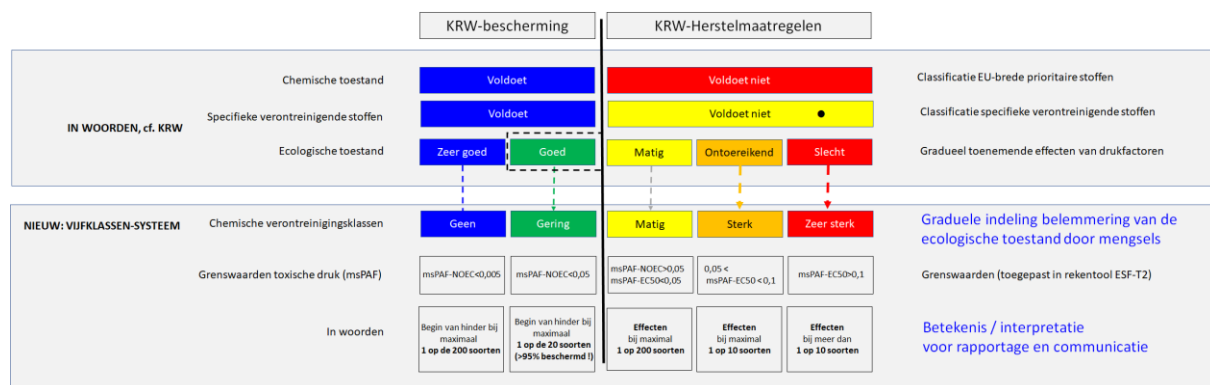
#### - Relatie tussen chemische verontreiniging en ecologische toestand

De kwantitatieve maat 'toxische druk' blijkt samen te hangen met de ecologische toestand: hoe hoger de toxische druk, hoe sterker het vasthouden van of herstellen naar een goede toestand belemmerd wordt ([Birk et al. 2020](#), [Lemm et al., 2020](#), [Posthuma et al., 2020](#) en [Postma en Keijzers, 2008](#)). De uit deze studies verkregen inzichten zijn omgezet in het gevoelige vijfklassensysteem voor chemische verontreiniging.

#### - Vijf klassen en berekende toxische druk in relatie tot ecologie

De samenhang tussen de huidige beoordeling van afzonderlijke stoffen, de ecologische toestand en het voorgestelde vijfklassensysteem voor chemische verontreiniging in relatie tot de ecologische toestand is samengevat in Figuur 3. Waterbeheerders kunnen met de rekentool van de Sleutelfactor Toxiciteit de beschikbare monitoring-data omzetten naar de chemische verontreinigingsklasse waar een monster onder valt. De figuur toont alle termen, en hun uitleg. De eenheid van toxische druk die in de figuur voorkomt is 'msPAF', dat is: de meer-stoffen Potentieel Aangetaste Fractie soorten. Hoe hoger die berekende waarde is, hoe groter de belemmeringen voor de aquatische ecologie. De belemmeringen voor de ecologie zijn schematisch weergegeven met de gestippelde lijntjes. Bij de msPAF-NOEC wordt de chronische toxische druk berekend, om te evalueren of er voldoende bescherming is (de bovengrens is  $msPAF-NOEC=0,05$ , wat gelijk is aan het 95%-beschermingsniveau, overeenkomstig de achtergronden van de normstelling). De msPAF-EC50 wordt de acute toxische druk genoemd, en deze wordt gebruikt om te evalueren wat de omvang is van het soortenverlies. De msPAF-EC50 maatlat is al eerder gebruikt in de eerste versie van de sleutelfactor, omdat deze maatlat samenhangt met de mate van belemmering van de ecologische toestand. In de blauwe teksten (rechtsonder) worden de termen gegeven die de chemische verontreinigingsklassen definiëren (van geen belasting en geringe belasting via matige, sterke en zeer sterke effecten), en de woordelijke interpretatie van de toxische druk-getallen. Die getallen duiden immers op 'percentages van soorten die aangetast worden', en dit kan goed gecommuniceerd worden door te stellen van zeer sterke effecten overeenkomen met toxische effecten bij meer dan 1 op de 10 soorten

(msPAF-EC50 > 10%). Deze effect-gradatie is gekalibreerd op een slechte ecologische toestand.



Figuur 3. Grenswaarden tussen en definities van vijf klassen van chemische verontreiniging voor stoffen, stofgroepen en totale mengsels, afgestemd op de principes die gehanteerd zijn om de ecologische toestandsklassen te definiëren. Bronnen zijn [Postma et al., 2021](#) en [Posthuma et al. 2016](#). Noot: de stippelijijn rond de ecologische klasse 'goed' geeft aan dat de normen per stof uit de KRW als bovengrens 'blauw' hebben (geen verontreiniging, er zijn geen stoffen van aanwezig met een oorsprong vanuit menselijke activiteiten), terwijl de bovengrens voor mengsels in relatie tot de ecologische toestand de bovengrens van 'groen' hebben (mingsels vanuit die activiteiten zijn wel in geringe mate aanwezig, maar veroorzaken geen effect, wat identiek is aan de bovengrens 'groen' van de ecologische toestands-definitie).

### - Vijf klassen en bioassays in relatie tot ecologie en drinkwaterproductie

Het verhoogde risico op toxische druk kan vastgesteld worden met bioassays. Met bioassays worden de effecten van mengsels op levend materiaal getoetst, waardoor ook de effecten van stoffen waarvan de concentratie niet bepaald is, zichtbaar worden. Voor bioassays geldt dat een toename van de chemische druk gepaard gaat met een toename van de respons. En dat duidt weer op een risico in toename van toxische druk. Immers, bioassays representeren een specifiek mechanisme van toxiciteit en dit wordt meetbaar beïnvloed door de aanwezige chemicaliën in het monster. Van dit principe is gebruik gemaakt voor het indelen van die respons in een vijfklassen-systeem. Ook voor de indeling van bioassay-resultaten in chemische verontreinigingsklassen voorziet de sleutel factor toxiciteit in voorgestelde grenswaarden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van ecologische Effect Signaal Waarden (ESW's, de dikke zwarte lijn in Figuur 2) uit de literatuur en humaan relevante ESW's uit de literatuur die gebruikt kunnen worden bij drinkwater productie. Deze ESW staan voor een grens tussen een verwaarloosbaar en niet verwaarloosbaar risico.

Voor de ecologische klassenindeling kon, voor een aantal bioassays, gebruik gemaakt worden van 'species sensitivity distributie' (SSD) curves waarbij de bioassay respons staat voor de 'potentieel aangetaste fractie' soorten (PAF). Om het

onderscheid met de msPAF uit het Chemie-Spoor aan te geven, noemen we deze de 'effect methode' PAF (emPAF). Voor de andere bioassays (en de klassen voor humane risico) is gewerkt met een factor ten opzichte van de ESW om de grenzen aan te geven tussen klassen. Een directe link tussen bioassay respons en de ecologische staat is tot nu toe niet voldoende onderzocht, de aanname is dat deze bestaat. Voorgesteld wordt om deze klassenindeling voorlopig eenduidig te hanteren, en daarna te evalueren.

De beoordelingstabel met grenswaarden wordt getoond in Tabel 1. De tabel weerspiegelt zowel het 'voldoet'/'voldoet niet' onderscheid, als de gradatie van effecten (geel→oranje→rood). Door eenduidige toepassing wordt ervaring opgedaan, wordt (mogelijk) zichtbaar dat er achteruitgang en herstel zichtbaar worden (geel→oranje→rood, resp. het omgekeerde).

	KRW-bescherming		KRW-herstel		
Ecologische toestand/ risico drinkwaterproductie	Lage kans op toxiciteit	Geringe kans op toxiciteit	Matige kans op toxiciteit	Verhoogde kans op toxiciteit	Kans op hoge toxiciteit
Technische grenswaarde indien SSD <u>niet</u> beschikbaar was	<0.2x ESW	0.2x ESW – ESW	≥ESW – 5x ESW	5x ESW – 10x ESW	>10x ESW
Technische grenswaarde indien SSD beschikbaar was	emPAF 0.00 - 0.025	emPAF 0.025-0.05	emPAF 0.05-0.10	emPAF 0.10-0.20	emPAF 0.20-1.00
Woordelijke grenswaarde indien SSD beschikbaar was	Begin van hinder bij maximaal 1 op 40 soorten	Begin van hinder bij maximaal 1 op 20 soorten	Begin van hinder bij maximaal 1 op 10 soorten	Begin van hinder bij maximaal 1 op 5 soorten	Begin van hinder bij meer dan 1 op 5 soorten

Tabel 1. Grenswaarden tussen en definities van vijf klassen van chemische verontreiniging voor stoffen, stofgroepen en totale mengsels, afgestemd op de principes die gehanteerd zijn om de ecotoxicologische toestandsklassen te definiëren op basis van SSD curves voor bioassays. Bron: KIWK Notitie 'Kalibratie van de risicogrenzen voor interpretatie van bioassays'.

Omdat bij het nieuwe bioassay-spoor ook een aangepast advies geldt voor de monsternamen, moet er nog ervaring opgedaan worden met de precieze responsen die gemeten gaan worden in Nederlandse wateren. Voor enkele bioassays (zonder SSD) die ingezet worden voor het bepalen van de risico's voor aquatische ecologie kan dit gevolgen hebben voor de hoogte van de berekende ESW. In een latere versie van deze Deltafact worden daarom pas de op basis daarvan vastgestelde waarden voor ESW per bioassay weergegeven. Er zal een Community of Practice worden ingesteld om de toepassing van de bioassays en de bijhorende ESW's te begeleiden en te sturen.

Het eventueel wijzigen van grenswaarden verandert uiteraard niets aan de resultaten van bioassays: daarmee (via de ruwe resultaten) kunnen inzichten verkregen worden in verschillen in toxiciteit tussen monsters, en de klassen maken de verschillen alleen eenvoudig communiceerbaar.

### Achtergronden: drinkwater

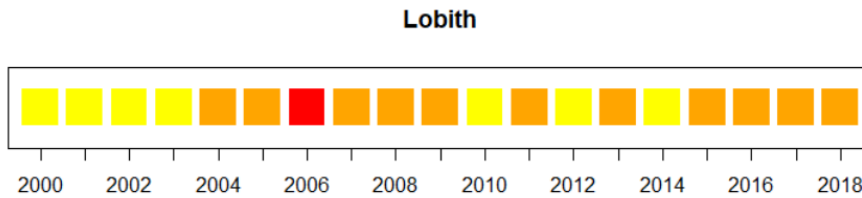
De belangrijkste doelstelling van de KRW is de bescherming en verbetering van de waterkwaliteit, dat is inclusief water bestemd voor de productie van drinkwater. KRW-artikel 7.3 zegt: *"De lidstaten [waterbeheerders] dragen zorg voor de nodige bescherming van de aangewezen waterlichamen met de bedoeling de achteruitgang van de kwaliteit daarvan te voorkomen, teneinde het niveau van zuivering dat voor de productie van drinkwater is vereist, te verlagen."* Dit leidt tot een raamwerk dat dit benodigde niveau van zuivering expliciet maakt, de 'waterkwaliteitsindex zuiveringsopgave-inspanning' (WKI ZOI). Het raamwerk bestaat uit twee indices: een voor de zuiveringsopgave (alles wat boven een beoogde grenswaarde aanwezig is) en een voor de zuiveringsinspanning (hoe makkelijk dit gezuiverd kan worden met zo eenvoudig mogelijke zuiveringstechnieken, op basis van stoffeigenschappen). Stoffen die door hun eigenschappen met eenvoudige zuiveringstechnieken verwijderd kunnen worden, krijgen in de berekening van de index meer gewicht. Gecombineerd geven deze een getal aan in het benodigde niveau van zuivering van water. Uiteindelijk is op basis van het concept van de indeling in vijf kleurklassen de indeling van Tabel 2 gemaakt.

	KRW-bescherming		KRW-herstel		
WKI ZOI	Zeer goed	Goed	Matig	Ontoereikend	Slecht
Technische grenswaarde	0 (vóór berekening)	0	0-100	100-300	>300
Woordelijke grenswaarde	Geen stoffen met concentraties boven hun drinkwater streef- of signaleringswaarde	Eenvoudig te verwijderen mengsel van stoffen	Matig te verwijderen mengsel van stoffen	Ontoereikend te verwijderen mengsel van stoffen	Slecht te verwijderen mengsel van stoffen

Tabel 2. Grenswaarden tussen en definities van vijf klassen van chemische verontreiniging voor stoffen, stofgroepen en totale mengsels, afgestemd op de principes die gehanteerd zijn om de zuiveringsopgave-inspanning (ZOI) te berekenen. Bron: KIWK-Notitie Zuiveringsopgave-inspanning. WKI=Waterkwaliteits-index.

In Tabel 2 is weergegeven hoe de kleuren aan waterkwaliteit voor het niveau van zuivering voor drinkwaterproductie worden toegekend. Waterkwaliteit is 'Blauw' als er géén stoffen boven hun streefwaarde of signaleringswaarde in het Drinkwaterbesluit (DWB) in het water zitten. Er is geen opgave die verwijderd moet worden. Waterkwaliteit is 'Groen' als de WKI ZOI na het verrekenen van de zuiveringsinspanning naar nul gaat. Bij 'Groen' en 'Blauw' is de waterkwaliteit zodanig, dat aan de eis in de KRW ('laag niveau van zuivering dat voor de productie van drinkwater is vereist') voldaan wordt. 'Geel' is water waarin de WKI ZOI hoger is dan nul na het verrekenen, maar lager dan 100. 'Oranje' is waterkwaliteit met een WKI ZOI tussen honderd en driehonderd. Is de waterkwaliteit 'Rood' dan is de WKI ZOI meer dan driehonderd. Deze grenzen tussen 'Geel', 'Oranje', 'Rood' zijn vrij arbitrair en bepaald aan de hand van de spreiding van de WKI ZOI over beoordeelde locaties in de Rijn en de Maas, beiden bronnen voor het bereiden van drinkwater. De grenzen zijn zodanig gezet dat er niet te veel 'Rood' voorkomt, zodat een eventuele verslechtering in de toekomst nog kan worden opgemerkt. Hoe hoger de WKI ZOI, hoe meer stoffen er na verrekening met de gemiddelde gewogen zuivering nog overschrijdend zijn aan de waarde in het DWB. Bij een WKI ZOI van driehonderd kunnen er bijvoorbeeld dertig stoffen overschrijden elk met 10 procent, zes stoffen elk met 50 procent, of drie stoffen met nagenoeg 100 procent. De gele, oranje of rode kleur voor de waterkwaliteit betekent niet dat het uiteindelijk daadwerkelijk geproduceerde drinkwater nog stoffen zal bevatten. Deze kleur heeft betrekking op het *water* waaruit drinkwater geproduceerd wordt, en hoeveel inspanning het, gegeven de stoffeigenschappen van de aanwezige stoffen zal kosten om er veilig

drinkwater van te maken. Een voorbeeld van de kleurenindeling, berekend voor Rijnwater bij Lobith, wordt gegeven in Figuur 4.



*Figuur 4. Zuiveringsopgave-inspanning in vijf kleuren voor Lobith. Zo'n 14 stoffen bepalen, in totaalkleuren, bij Lobith (samen) de waterkwaliteit, van 'Geel'-'Rood' kleuren, voor de periode tussen 2000-2018.*

## 7. KOSTEN EN BATEN

De kosten die direct verband houden met het toepassen van de huidige classificatie van chemische stoffen (met de MKNs) zijn onbekend, net als de kosten van de toepassing van de vijf-klassen aanpak. De aanpak is immers (nog) niet toegepast. Toch is het mogelijk om de potentiële kosten en baten in perspectief te plaatsen en te benoemen qua te verwachten kosten en baten.

Als perspectief:

- Een overzicht van de kosten en de baten van waterkwaliteitsbeheer zijn samengevat in Deltafact 'Van toxische druk naar betere waterkwaliteit in Nederland'.
- De kosten voor monitoring van de waterkwaliteit worden geschat op ca. 100 miljoen Euro.
- De kosten van maatregelen voor waterkwaliteit zijn samengevat ca. 5 miljard Euro per jaar voor Nederland

Qua te verwachten baten kan ingeschat worden, dat de het waterkwaliteitsbudget beter besteed kan worden door inzet van het vijfklassen-systeem. Er zijn namelijk belangrijke voordelen te behalen, die (later, beredeneerd) in baten kunnen worden uitgedrukt.

De ingeschatte voordelen van de vijfklassen-systematiek voor chemische verontreiniging zijn:

1. De aandacht wordt verbreed van 45 resp. 100 stoffen die vaak leiden tot 'voldoet niet' tot alle stoffen en hun mengsels die de waterkwaliteit lokaal bepalen en ook aangepakt kunnen worden doordat hun waarschijnlijke bron(nen) bekend zijn. Er worden geen stoffen en hun mengsels 'vergeten', waarbij dit laatste betekent dat zulke stoffen herstel kunnen belemmeren,

waardoor investeringen in maatregelen door de 'vergeten stoffen' niet tot herstel leiden (kortweg: het voorkomt ineffectieve maatregelen)..

2. Het daadwerkelijk optredend herstel wordt zichtbaar gemaakt, wat motiverend werkt om goede maatregelen voort te zetten
3. Er wordt een logisch verband gelegd tussen stoffenbeleid en waterbeleid, door het blijvend gebruik van beschermende normen per stof waardoor de waterkwaliteit beschermd blijft
4. Er wordt een logisch verband gelegd tussen het stoffenbeleid en de ecologische toestand, wat belangrijk is voor het prioriteren van maatregelen naar de maatregelen die het grootste effect per geïnvesteerde euro zullen hebben
5. Het systeem is toepasbaar op een groot aantal stoffen en mengsels, en via bioassays zelfs voor mengsels met (ook) onbekende stoffen.
6. Het verwarrende onderscheid tussen twee klassen voor de 'chemische toestand' (voor alleen prioritaire stoffen) en twee klassen voor de ecologische toestand (voor NL-specifieke stoffen) wordt samengevoegd tot het heldere begrip 'chemische verontreinigingsklassen'
7. Het systeem biedt een verbeterde diagnose van de plaatsen waar mengsels een bedreiging vormen voor de waterkwaliteit, en idem voor een verbeterde diagnose van de belangrijkste stofgroepen per locatie.
8. Het systeem leidt tot een betere mogelijkheid voor prioritering van maatregelen, naar resp. plaats en stofgroepen, en een verhoogde (kosten)effectiviteit van maatregelen
9. Het systeem is een basis voor een eenduidige en heldere communicatie over chemische verontreinigingen met stoffen, stofgroepen en totale mengsels.
10. Alle punten samen betekenen dat, naar verwachting, de (kosten)effectiviteit van maatregelen omhoog kan gaan, en dat de invoering van het systeem dus milieu-baten (verbeterde waterkwaliteit) oplevert.

## 8. RANDVOORWAARDEN

Op het eerste gezicht lijkt de indeling in vijf klassen voor chemische verontreiniging in tegenspraak met de indeling in twee klassen die voor stoffen gebruikelijk is, waarbij bedacht kan worden dat het tweeklassen-systeem bij invoering van het vijfklassen-systeem overbodig zou worden, of ermee strijdig zou zijn. Dat is niet het geval: de beschermdoelen en het hersteldoel van de KRW blijven ondersteund worden door het hanteren van de 'voldoet'/'voldoet niet'-indeling via de normen, die

een belangrijke basis is om maatregelen te gaan overwegen. Omdat de vijfklassen-indeling hierop voortborduurde betekent het vijfklassen-systeem, dat de betekenis van 'voldoet niet' duidelijker wordt: er wordt relevante informatie gegeven voor het prioriteren van maatregelen. Door deze prioritering mogelijk te maken als de waterkwaliteit 'niet voldoet' kunnen de middelen die voor maatregelen beschikbaar zijn effectiever worden ingezet. Volgens het 80/20 principe geldt waarschijnlijk, dat herstel tot aan het einddoel per stof (de MKN) voor het laatste deel boven de die norm 'kostbaar' is ten opzichte van de 80% 'winst' die bij hogere blootstellingen kan worden behaald. De vijfklassen-indeling is bovendien logisch vanuit Bijlage II van de KRW, omdat de waterbeheerder de "... kans [moet bepalen] dat oppervlaktewater-lichamen in het stroomgebiedsdistrict niet zullen voldoen aan de milieukwaliteitsdoelstellingen die artikel 4 aan die lichamen stelt [voldoen aan de normen]" waarbij zij "...bij die beoordeling modelleringstechnieken [mogen] gebruiken". Anders gezegd: de toxische druk is een maatlat voor de bedoelde kansen, en de klassen-indeling een hulpmiddel om die kansen samen te vatten, en er over te communiceren.

## 9. GOVERNANCE

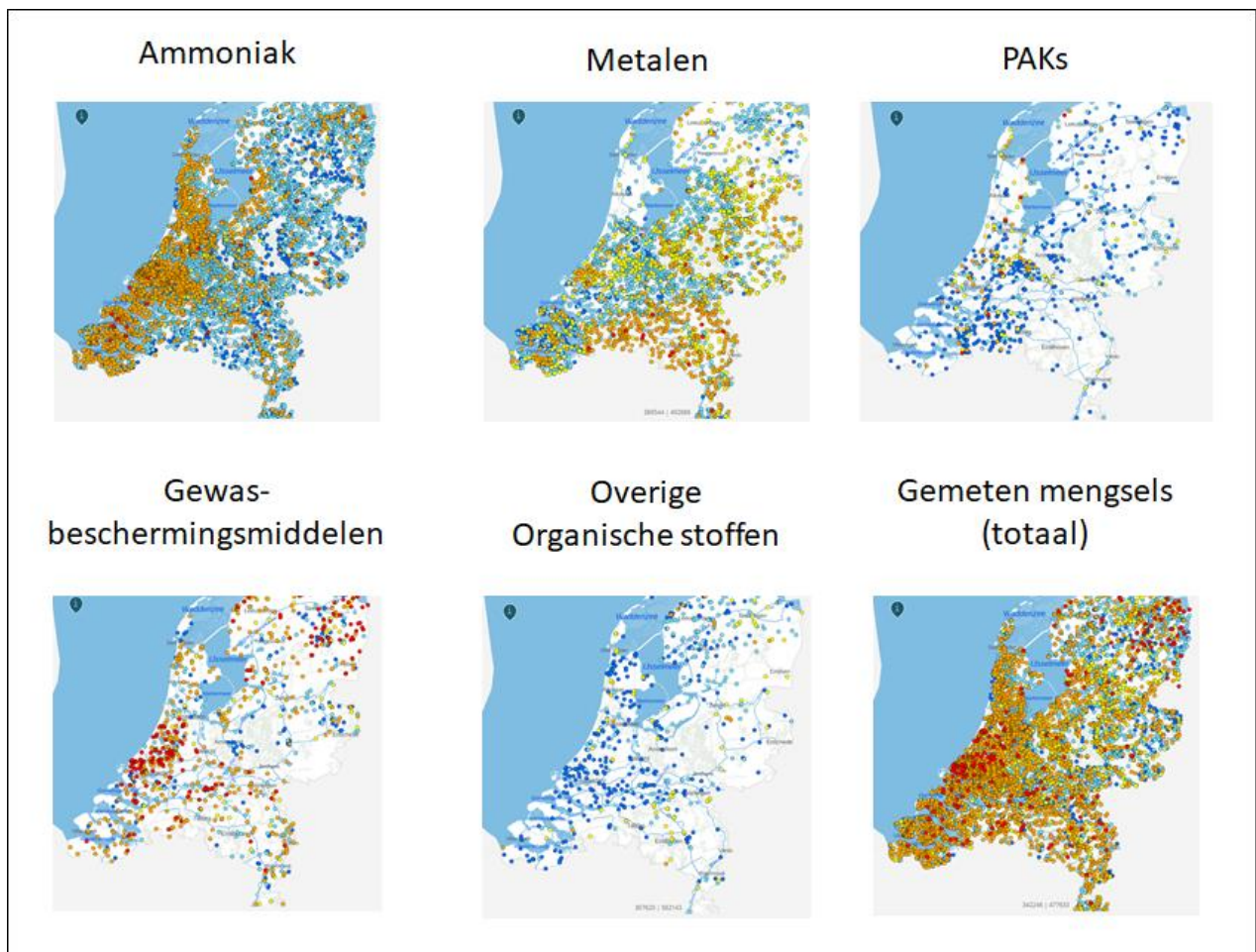
De Kaderrichtlijn Water (KRW) beoogt de waterkwaliteit te beschermen en te bevorderen door de waterkwaliteit regelmatig te monitoren, en eens in de 6 jaar stroomgebiedsbeheerplannen (SGBP-en) vast te stellen. Na de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> SGBP's van 2009 en 2015 is onlangs het 3<sup>e</sup> SGBP vastgesteld, en wordt de inzet op maatregelen weergegeven voor de periode 2022-2027. De methodieken die in deze Deltafact worden beschreven kunnen toegepast worden in de werkprogramma's SGBP 2022 – 2027, ondersteund door de website van de ESFT-Toxiciteit. Verdere uitleg over de toepassing van het vijfklassen-systeem onder de KRW wordt gegeven in het Deltafact 'Van toxische druk naar betere waterkwaliteit in Nederland'.

## 10. PRAKTIJKERVARINGEN EN LOPENDE INITIATIEVEN

Chemische verontreinigingen hebben sinds lange tijd een centrale positie in Europees en Nederlands waterbeleid, wat onlangs is herbevestigd in de [Chemical Strategy for Sustainability](#) onder de EU-Green Deal. Ook in de [fitness check van de KRW](#) werd geconcludeerd dat verbeterde werkwijzen nodig zijn om chemische verontreinigingen te duiden, en vervolgens beter te voorkómen en waar nodig teniet te doen. Volgend op Europees en Nederlands beleid, en reagerend op maatschappelijke zorgen over chemische verontreinigingen in water, zijn er veel lopende initiatieven, en stapelen



de praktijkervaringen zich op. Informatie daarover is te vinden op de website van de SF-Toxiciteit ([www.sleutelfactortoxiciteit.nl](http://www.sleutelfactortoxiciteit.nl)), waar (naast de eerder genoemde toepassingen) zo'n veertig rapporten over de toepassing van de ESF-Toxiciteit beschikbaar komen. De belangrijkste recente landelijke toepassingen zijn [Postma et al 2021](#) – over de ruimtelijke variatie van de toxische druk van stoffen, stofgroepen en mengsels in Nederland (2013-2018) – en [Hallmann en Jongejans, 2021](#) – over de relatie tussen toxische druk en herstel van aquatische insecten in Nederland. Bij deze studies is het kwantitatieve begrip 'toxische druk' succesvol toegepast, en werden (wanneer toepasselijk) de resultaten gepresenteerd via het vijfklassen-systeem. In het rapport van [Postma et al 2021](#) worden kaarten getoond met de klassenindeling. Dergelijke karteringen maken het mogelijk, om ruimtelijke verschillen in de mate van toxische druk en de mate van belemmering van de ecologische toestand inzichtelijk te maken, en maatregelen te prioriteren naar de locaties met de hoogste toxische druk, en daarbinnen tegen de stofgroepen die het sterkst aan die toxische druk bijdragen. Een voorbeeld wordt getoond in Figuur 5.



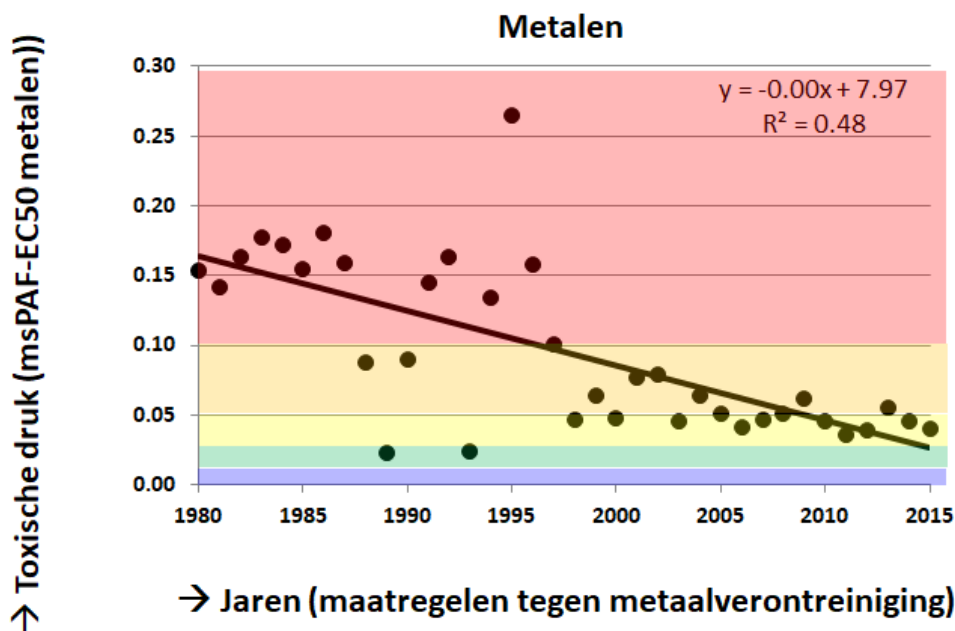
Figuur 5. Ruimtelijke verschillen in toxische druk tussen hydrologische eenheden, en tussen regio's voor een afzonderlijke stof (ammoniak), stofgroepen en het totale mengsel van gemeten stoffen. Bron: [Postma et al 2021](#).

Verschillen tussen regio's en/of trends in de tijd kunnen gecommuniceerd worden via taartdiagrammen (Figuur 6). Duidelijk is, dat elke stofgroep een eigen verdeling kent van frequenties van klassen die vóórkomen. Het doel van het kunnen toepassen van de klassen is: het kunnen waarnemen van ruimtelijke- of temporele trends. Dat is via de kaartbeelden en de taartdiagrammen goed mogelijk.



Figuur 6. De gegevens uit Figuur 5 samengevat als taartdiagrammen over de frequenties van de verschillende chemische verontreinigingsklassen. OOM: overige organische microverontreinigingen.

Een voorbeeld van de bruikbaarheid voor een analyse van trends in de tijd, bij een langjarig doorgevoerde set van maatregelen tegen metalenverontreiniging in de omgeving van de metaalindustrie in het waterschap De Dommel wordt gegeven in Figuur 7. Het rapport van [Hallmann en Jongejans, 2021](#) geeft ook resultaten van een trend in de tijd: de vooruitgang van de biodiversiteit van aquatische insecten hangt samen met dalende toxiciteit van gewasbeschermingsmiddelen.



Figuur 7. Trend van de mengsel toxische druk van metalen voor een meetpunt in De Dommel. Y-as: toxische druk, in getalswaarden (msPAF-EC50) en in klassen (de transparante kleuren op de achtergrond). Noot: de KRW-classificatie aan de hand van de milieukwaliteitsnormen voor metalen was 'voldoet niet' gedurende de monsterperiode. De indeling in de klassen geel, groen en blauw is indicatief: de toxische druk met de msPAF-NOEC is niet berekend.

## 11. KENNISLEEMTEN

Het werkveld 'chemische verontreinigingen' wordt gekenmerkt door kennisleemtes, als men alleen al kijkt naar het oneindige aantal combinaties van stoffen en mengsels die in de watersystemen kunnen vóórkomen. Desalniettemin zijn zeer grote vorderingen geboekt door wetenschappelijk onderbouwd stoffen- en waterkwaliteitsbeleid, met de werkwijzen die gebruikelijk zijn onder de KRW, aangevuld met de ESF-Toxiciteit. De huidige kennisleemte omvat voor de praktijk vooral het opdoen van ervaringen met deze ESF, en daarbinnen vooral het gebruiken en interpreteren kwantitatieve gegevens over de toxische druk van stoffen en hun mengsels, en het uitdrukken daarvan in gradueel verschillende klassen. De andere belangrijke kennisleemte is de vraag naar kosten en baten van monitoring, bescherming en herstel voor alle stoffen en mengsels. Wetenschappelijke bestaan er vooral kennisleemtes voor een groot aantal (nieuwe) stoffen, voor de relatie tussen hun concentratie en hun effecten, voor het op systeemniveau beoordelen van de grote ruimte-tijd variabiliteit van mengsels, rond de relatie tussen economische activiteiten en stoffen die naar water geëmitteerd worden en rond de relatie tussen mengselblootstelling en de mate van belemmeringen van de ecologische toestand en de zuiveringsinspanning. Het toepassen van de vijf-klassensystematiek voor het samenvatten van gegevens over chemische verontreinigingen is gebaseerd op een beperkte set van inzichten in de relaties tussen de waardes van de toxische druk in Nederlandse of Europese oppervlaktewateren en maatlatten voor de aquatische ecologie. De indeling in vijf klassen is het sterkst onderbouwd met onderzoek aan de relaties tussen de op basis van concentraties berekende toxische druk en ecologische effecten, en staat nog in de kinderschoenen voor de relatie tussen bioassay-uitslagen en effecten en voor de zuiveringsinspanning.

## 12. COLOFON

Deze Deltafact (versie 1, 30 november 2021) is geschreven door Leo Posthuma en Jaap Slootweg (RIVM), Tessa Pronk en Milo de Baat (KWR Water Research Institute), en Sanne van den Berg (WEnR). Het onderzoek is gefinancierd door de Kennisimpuls Waterkwaliteit. In de Kennisimpuls Waterkwaliteit werken Rijk, provincies, waterschappen, drinkwaterbedrijven en kennisinstituten aan meer inzicht in de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en de factoren die deze kwaliteit beïnvloeden. Daarmee kunnen waterbeheerders en andere partijen de juiste maatregelen nemen om de waterkwaliteit te verbeteren en de biodiversiteit te

vergroten. In het programma brengen partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen, en maken ze die kennis (beter) toepasbaar voor de praktijk.

*Kennisimpuls Waterkwaliteit. Beter weten wat er speelt en wat er kan*

### 13. DISCLAIMER

De in deze publicatie gepresenteerde kennis is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.

### 14. BRONNEN & LINKS

#### Bronnen

Birk, S., Chapman, D., Carvalho, L., Spears, B.M., Andersen, H.E., Argillier, C., Auer, S., Baattrup-Pedersen, A., Banin, L., Beklioğlu, M., Bondar-Kunze, E., Borja, A., Branco, P., Bucak, T., Buijse, A.D., Cardoso, A.C., Couture, R.-M., Cremona, F., de Zwart, D., Feld, C.K., Ferreira, M.T., Feuchtmayr, H., Gessner, M.O., Gieswein, A., Globevnik, L., Graeber, D., Graf, W., Gutiérrez-Cánovas, C., Hanganu, J., Işkın, U., Järvinen, M., Jeppesen, E., Kotamäki, N., Kuijper, M., Lemm, J.U., Lu, S., Solheim, A.L., Mischke, U., Moe, S.J., Nöges, P., Nöges, T., Ormerod, S.J., Panagopoulos, Y., Phillips, G., Posthuma, L., Pouso, S., Prudhomme, C., Rankinen, K., Rasmussen, J.J., Richardson, J., Sagouis, A., Santos, J.M., Schäfer, R.B., Schinegger, R., Schmutz, S., Schneider, S.C., Schülting, L., Segurado, P., Stefanidis, K., Sures, B., Thackeray, S.J., Turunen, J., Uyarra, M.C., Venohr, M., von der Ohe, P.C., Willby, N. and Hering, D. 2020. Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nature Ecology and Evolution*.

<https://doi.org/10.1038/s41559-020-1216-4>

EEA 2012 European waters — assessment of status and pressures, EEA Report No 8/2012 EEA, Copenhagen, Denmark.

<https://www.eea.europa.eu/publications/european-waters-assessment-2012>

EEA 2018 European waters — assessment of status and pressures

<https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-water>.

- EEA 2021 Drivers of and pressures arising from selected key water management challenges. A European overview., Copenhagen, Denmark.  
<https://www.eea.europa.eu/publications/drivers-of-and-pressures-arising>
- Hallmann, C.A. and Jongejans, E. 2021 Long-term trends in aquatic insects in the Netherlands, STOWA rapport 2021-42, Amersfoort, Nederland.  
<https://www.stowa.nl/publicaties/long-term-trends-and-drivers-aquatic-insects-netherlands-inclusief-nederlandse>
- 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. and Birk, S. 2020. Multiple stressors determine river ecological status at the European scale: Towards an integrated understanding of river status deterioration. Glob Chang Biol. 27: 1962-1975. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15504>
- PBL 2020 Nationale Analyse Waterkwaliteit, Den Haag, the Netherlands.  
[https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-nationale-analyse-waterkwaliteit-4002\\_0.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-nationale-analyse-waterkwaliteit-4002_0.pdf)
- Posthuma, L. and De Zwart, D. (2014) Encyclopedia of Toxicology, 3rd edition, pp. 363–368, Elsevier Inc., Academic Press.  
<https://www.elsevier.com/books/encyclopedia-of-toxicology/wexler/978-0-12-386454-3>
- Posthuma, L., De Zwart, D., Keijzers, R. and Postma, J. 2016 Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit. Deel 2: Kalibratie: toxische druk en ecologische effecten op macrofauna. STOWA, Amersfoort, the Netherlands.  
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202016/STOWA%202016-15/STOWA%202016-15B.pdf>
- Posthuma, L., Zijp, M.C., De Zwart, D., Van de Meent, D., Globevnik, L., Koprivsek, M., Focks, A., Van Gils, J. and Birk, S. 2020. Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters. Scientific Reports 10(1), 14825. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-71537-2>
- Postma, J., Keijzers, R., Slootweg, J. and Posthuma, L. 2021 Toxiciteit van Nederlandse oppervlaktewateren in de periode 2013-2018, STOWA-rapport 2021-43, Amersfoort, the Netherlands.  
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202021/STOWA%202021-43%20Toxiciteit.pdf>
- Postma, J.F. and Keijzers, C.M. 2008 Twee decennia monitoring van bestrijdingsmiddelen en Daphnia's. Een data-analyse voor het beheersgebied

van HH Delfland. Ecofide, Weesp. [https://www.ecofide.nl/uploads/files/2008-data\\_analyse\\_delfland.pdf](https://www.ecofide.nl/uploads/files/2008-data_analyse_delfland.pdf)

Pronk, T.E., Hofman-Caris, R.C.H.M., Vries, D., Kools, S.A.E., ter Laak, T.L. and Stroomberg, G. 2020. A water quality index for the removal requirement and purification treatment effort of micropollutants. *Water Supply* 21 (1): 128–145. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.289>

RWS 2020 Protocol monitoring en toestandsbeoordeling oppervlaktewaterlichamen KRW, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat, Den Haag. [https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC\\_655929\\_31/1/](https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_655929_31/1/)

## Links

[www.sleutelfactortoxiciteit.nl](http://www.sleutelfactortoxiciteit.nl)