

ZORGEN OVER ZWEMWATER

Een beoordeling van ecologische kwaliteit en chemische verontreiniging in Nederlandse zwemwateren.

September 2026

NIOO

NATUUR & MILIEU

Laat zien dat het kán

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING 4

1 INLEIDING 5
1.1 Aanleiding 5
1.2 Doel van het onderzoek 6
1.3 Leeswijzer 6

2 ACHTERGROND EN KADER 7
2.1 De kwaliteit van Nederlands oppervlaktewater 7
2.2 Waterkwaliteit en zwemmen 8
2.3 Wettelijke context 8
2.4 Bestuurlijke context 9

3 DATA EN METHODE 10
3.1 KRW-monitoringsgegevens 10
3.2 Indicatoren en beoordelingssystematiek KRW 10
3.3 Selectie van wateren 11
3.4 Kwaliteitscontrole 13
3.5 Dataverwerking en beoordeling 13
3.6 Beperkingen van het onderzoek 15

4 ONTWIKKELING VAN DE WATERKWALITEIT 16
4.1 Fysisch-chemische kwaliteit 16
4.2 Biologische kwaliteit 18
4.3 Ecologische kwaliteit 20
4.4 Chemische kwaliteit 21
4.5 Conclusies waterkwaliteitsoordelen zwemwateren 23

5 PROBLEEMSTOFFEN, EMISSIEROUTES EN GEVOLGEN 24
5.1 Overzicht normoverschrijdende stoffen in zwemwateren 24
5.2 Ontwikkeling van normoverschrijdende stoffen 25
5.3 Evaluatie van de stofgroepen 27
5.3.1 Persistente industriële stoffen 27
5.3.2 Verbrandingsgerelateerde stoffen: PAK's 28
5.3.3 Bestrijdingsmiddelen en biociden 28
5.3.4 Metalen en andere anorganische stoffen 29
5.3.5 Antifoulingmiddelen 30
5.4 Conclusie stoffen, emmissieroutes en gevolgen 31

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 32

7 AANBEVELINGEN 34

REFERENTIELIJST 36

BIJLAGEN 40

Bijlage 1	Ontwikkeling van biologische kwaliteitselementen: vissen, waterplanten, macrofauna en fytoplankton	40
Bijlage 2	Overzicht van officiële zwemwateren met de meeste normoverschrijdingen	42
Bijlage 3	Alle 35 normoverschrijdende stoffen	46
Bijlage 4	Stoffen die in meer dan 1% van de zwemwateren de norm overschrijden	48
Bijlage 5	Top-10 lijsten van normoverschrijdende stoffen	47
Bijlage 6	Ontwikkeling van normoverschrijdende stoffen	49
Bijlage 7	Geraadpleegde bronnen chemische stoffen	51

SAMENVATTING

Zwemmen en recreëren in buitenwater leveren een belangrijke bijdrage aan gezondheid, welzijn en leefomgeving. Maar hoe gezond is ons buitenwater voor mens en natuur? Op basis van openbaar beschikbare meet- en monitoringsgegevens van 2015 tot en met 2024, blijkt dat de waterkwaliteit in Nederlandse zwemwateren stagneert. Dat geldt zowel voor wateren die officieel zijn aangewezen om in te zwemmen, als voor onofficiële zwemwateren waarin veel wordt gezwommen. Vrijwel in alle onderzochte zwemwateren komen chemische normoverschrijdingen voor.

Breder kijken naar zwemwaterkwaliteit

Zwemwater wordt in Nederland voornamelijk bekeken door de bril van microbiologische verontreinigingen (de aanwezigheid van potentieel giftige blauwalgen en ziekteverwekkers zoals Escherichia coli en intestinale enterokokken). Een bredere beoordeling van waterkwaliteitsgegevens, zoals wij die uitvoerden voor dit rapport, laat zien dat ook andere vormen van verontreiniging een belangrijke rol spelen. Naast microbiologische verontreinigingen en blauwalgen schiet ook de bredere ecologische en chemische waterkwaliteit in veel zwemwateren tekort.

Zo is de ecologische kwaliteit van zwemwater nergens in Nederland goed. In onofficiële stedelijke zwemwateren laten sommige biologische kwaliteitselementen, ofwel de aanwezigheid van waterorganismen, verbetering zien, terwijl andere verslechteren. In officiële zwemwateren is de afgelopen jaren geen duidelijke verbetering zichtbaar. Tegelijkertijd blijft de nutriëntendruk door stikstof en fosfor in veel zwemwateren te hoog en neemt het risico op toxische blauwalgen toe. Ook de chemische kwaliteit laat een negatieve trend zien: het aantal zwemwateren dat voldoet aan de chemische normen, is in tien jaar tijd sterk afgenomen.

Chemische verontreiniging is wijdverbreid

Dit onderzoek laat zien dat voor 35 van de 122 gemonitorde chemische stoffen normoverschrijdingen plaatsvinden in wateren met officiële en onofficiële zwemlocaties. Voor sommige stoffen worden de normen op meer dan 90 procent van de onderzochte locaties overschreden. In 2024 vertoonden vrijwel alle 205 onderzochte officiële zwemwateren meerdere chemische normoverschrijdingen.

De aangetroffen stoffen kunnen negatieve effecten hebben op zowel de menselijke gezondheid als het aquatisch milieu. Verschillende stoffen zijn in verband gebracht met effecten op de volksgezondheid, waaronder effecten op het zenuwstelsel en immuunsysteem, hormoonverstoring en kanker. Wat betreft aquatische effecten kan langdurige blootstelling leiden tot effecten op de groei, ontwikkeling en voortplanting van waterorganismen en daarmee bijdragen aan verstoring van aquatische ecosystemen. De aard van de chemische verontreiniging verschilt tussen typen zwemwater. In officieel aangewezen zwemwateren worden bestrijdingsmiddelen en andere landbouwgerelateerde stoffen vaker aangetroffen. In stedelijke zwemwateren komen vaker stoffen voor die samenhangen met verkeer, industrie, huishoudelijke verbranding en stoffen die in het verleden in stedelijk gebied zijn gebruikt. In alle onderzochte typen zwemwater komen bovendien normoverschrijdingen voor van persistente industriële stoffen, metalen en verbrandingsgerelateerde stoffen, waaronder PFOS, PBDE's en kwik.

Brede aanpak noodzakelijk

Het onderzoek laat zien dat er een brede aanpak nodig is om de waterkwaliteit te verbeteren en natuur en mensen te beschermen in officieel aangewezen en overige zwemwateren. Extra maatregelen zijn noodzakelijk om de chemische druk op het water te verminderen, en om de stagnatie in de verbetering van de ecologische kwaliteit te doorbreken. Daarom doen we de volgende aanbevelingen:

- Bescherm water en zwemmers beter tegen chemische verontreinigingen door vergunningverlening, toezicht en bronaanpak te versterken;
- Monitor zwemlocaties beter op chemische stoffen zodat verontreinigingsbronnen en risico's tijdig kunnen worden vastgesteld en gerichte maatregelen kunnen worden genomen;
- Verbied de productie, toepassing en lozing van persistente stoffen om langdurige vervuiling van buitenwater te voorkomen.

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Jaarlijks recreëren miljoenen Nederlanders op of in het water en het aantal zwemmers neemt toe.[1,2] Daarmee zijn recreatieplassen, meren en andere oppervlaktewateren belangrijk voor ontspanning, gezondheid en leefkwaliteit. Daarnaast heeft schoon en aantrekkelijk water een economische waarde voor recreatie, toerisme en de kwaliteit van de leefomgeving.

Tegelijkertijd staat de kwaliteit van Nederlandse oppervlaktewateren onder druk. Uit rapportages over de Kaderrichtlijn Water blijkt dat de ecologische en chemische toestand van veel wateren onvoldoende is en dat de verbetering van de waterkwaliteit stagneert.[3],[4] Ook de kwaliteit van het Nederlandse zwemwater is lager dan het Europese gemiddelde.[5]

Een goede waterkwaliteit is essentieel voor gezonde natuurlijke ecosystemen, met ruimte voor waterplanten, vissen en andere aquatische soorten. Voor zwemmers is goede waterkwaliteit extra belangrijk, omdat zij direct in contact komen met het water. Gezond zwemwater begint bij een gezond watersysteem. De ecologische en chemische kwaliteit van een water bepaalt mede of er gezondheidsrisico's voor mensen ontstaan, en of een water geschikt blijft om in te zwemmen.

Wie wil weten of een zwemwater veilig is, kan op dit moment terecht op de website zwemwater.nl.[6] Daar wordt tijdens het zwemseizoen bijgehouden of officiële zwemwaterlocaties voldoen aan de normen voor ziekmakers zoals poepbacteriën en potentieel toxische blauwalgen. Wanneer de normen worden overschreden, kan een negatief zwemadvies worden afgegeven of een zwemverbod ingesteld.[7]

Dit rapport doet geen uitspraak over de fysieke veiligheid van zwemlocaties. Voor zwemmen in open water is het belangrijk om de adviezen van gemeente, provincie, waterschap, Rijkswaterstaat en zwemwater.nl op te volgen. Op niet-officiële zwemlocaties kunnen risico's aanwezig zijn die losstaan van de waterkwaliteit, zoals scheepvaart, stroming, diepteverschillen, koude stromingen of onderwaterobstakels. Daarom wordt zwemmen alleen aanbevolen op locaties waar dit veilig en toegestaan is. Tegelijkertijd is het uitgangspunt van dit rapport dat schoon en gezond zwemwater niet beperkt zou moeten zijn tot officieel aangewezen zwemlocaties. Ook op andere locaties waar zwemmen veilig en toegestaan is, moet de waterkwaliteit voldoende zijn om mens en natuur te beschermen.

De beoordeling volgens de Zwemwaterrichtlijn geeft inzicht in directe gezondheidsrisico's voor zwemmers, maar zegt weinig over de bredere kwaliteit van het watersysteem. Een zwemwater kan voldoen aan de huidige normen voor zwemveiligheid, en tegelijk niet voldoen aan ecologische en chemische waterkwaliteitsnormen. Verontreiniging door nutriënten, bestrijdingsmiddelen, metalen, PFAS en andere stoffen belemmert in veel wateren het behalen van de kwaliteitsdoelen.[8]

In dit rapport wordt onderzocht hoe gezond de wateren waarin we zwemmen eigenlijk zijn, en wat we kunnen doen om dit te verbeteren. Hoe ontwikkelde de ecologische en chemische waterkwaliteit in zwemwateren zich in de laatste tien jaar? En wat kan er worden gedaan om Nederlands zwemwater in de toekomst gezond en leefbaar te maken voor mensen, dieren en planten?

1 Waterrecreatie Nederland, *Watersportonderzoek 2024* (Juni 2025), p. 4.
2 Atlas Leefomgeving, *Zwemmen in buitenwater groeit in populariteit. Wat vindt de natuur daarvan?*, 9 september 2025.
3 *Koepelrapport tussenevaluatie KRW*, 2024.
4 *Langjarige trends in de kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren*. 14 oktober 2024.
5 Bauer, M. *Europees zwemwater scoort goed, Nederland blijft achter*. 29 juni 2026.
6 *Zwemwater.nl | Vind een zwemplek*. http://www.zwemwater.nl.
7 *Europese Unie, Zwemwaterrichtlijn (2006/7/EG).*
8 *Koepelrapport tussenevaluatie KRW*, 2024.

1.2 Doel van het onderzoek

De huidige beoordeling van zwemwater geeft maar een gedeeltelijk beeld van de lokale waterkwaliteit. Bovendien zwemmen mensen niet uitsluitend op officieel aangewezen zwemlocaties, en niet enkel in de periode waarin deze worden gemonitord, van 1 mei tot 1 oktober.[9],[10] Dit vraagt om meer inzicht in de kwaliteit van de wateren waarin gezwommen wordt. De onderzoeksvragen van dit rapport zijn daarom:

Wat is de ecologische en chemische waterkwaliteit van Nederlandse zwemwateren? Wat zegt dat over de risico's voor mens en milieu? En wat kunnen verantwoordelijke instanties doen om daarmee aan de slag te gaan?

Om die vragen te beantwoorden, kijkt dit onderzoek verder dan de reguliere zwemwaterbeoordeling. Dit rapport kijkt naar de ontwikkeling en de huidige staat van de ecologische en chemische kwaliteit van wateren waarin wordt gezwommen, en naar de factoren die daarop van invloed zijn.

Hiervoor is onderzocht hoe de waterkwaliteit van wateren waarin wordt gezwommen zich ontwikkelde tussen 2015 en 2024. Voor dit onderzoek is gebruikgemaakt van de meetgegevens en beoordelingssystematiek van de Kaderrichtlijn Water.[11] Het onderzoek omvat drie groepen wateren: alle 745 Nederlandse KRW-oppervlaktewateren, 205 officiële zwemwateren in KRW-binnenwateren, en 57 onofficiële stedelijke zwemlocaties.

Op basis van de KRW-gegevens en literatuuronderzoek is verder onderzocht welke chemische stoffen het vaakst verantwoordelijk zijn voor normoverschrijdingen, en welke emissieroutes en bronnen aan deze vervuiling ten grondslag liggen. Op basis van deze inzichten worden aanbevelingen gedaan waarmee politici, beleidsmakers en waterbeheerders aan de slag kunnen om de waterkwaliteit in zwemwateren te verbeteren.

1.3 Leeswijzer

Dit onderzoeksrapport is als volgt opgebouwd:

- **Hoofdstuk 2 – Achtergrond en kader:** beschrijft de relatie tussen waterkwaliteit en zwemmen, en bevat een overzicht van de kwaliteit van het Nederlandse oppervlaktewater, de wettelijke context van de Zwemwaterrichtlijn, het Blauwalgprotocol en de Kaderrichtlijn Water, en de bestuurlijke verantwoordelijkheden rondom waterkwaliteit en -beheer.
- **Hoofdstuk 3 – Data en methode:** beschrijft de gebruikte datasets, selectie van de onderzochte wateren, dataverwerking, toegepaste indicatoren en beoordelingssystematiek en de uitgevoerde analyses en de belangrijkste beperkingen van het onderzoek.
- **Hoofdstuk 4 – Ontwikkelingen van de waterkwaliteit**: presenteert de beoordeling van de ontwikkeling door de tijd voor de fysisch-chemische, biologische, ecologische en chemische kwaliteit van de onderzochte wateren. Daarnaast wordt ingegaan op de ontwikkeling van stikstof, fosfor en het risico op potentieel toxische blauwalgen.
- **Hoofdstuk 5 – Probleemstoffen, emissieroutes en gevolgen:** beschrijft welke chemische stoffen het vaakst verantwoordelijk zijn voor normoverschrijdingen in zwemwateren, hoe deze stoffen zich hebben ontwikkeld, via welke emissieroutes zij in het oppervlaktewater terechtkomen en welke mogelijke gevolgen zij hebben voor mens en milieu.
- **Hoofdstuk 6 – Conclusies:** vat de belangrijkste bevindingen van het onderzoek samen en plaatst deze in de context van de kwaliteit van wateren waarin wordt gezwommen.
- **Hoofdstuk 7 – Aanbevelingen:** bevat aanbevelingen voor overheden en waterbeheerders om de kwaliteit van zwemwateren beter te beschermen tegen chemische verontreiniging en de waterkwaliteit verder te verbeteren.

Het onderzoek is uitgevoerd in een samenwerking tussen het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW) en Natuur & Milieu. De dataverzameling, dataverwerking, data-interpretatie en het literatuuronderzoek naar chemische stoffen, zijn uitgevoerd door het NIOO-KNAW. De rapportage is opgesteld onder leiding van Natuur & Milieu.

9 RIVM, *Wildzwemmen*.
10 RIVM, *Zwemwaterkwaliteit en wettelijke eisen*.
11 Europese Unie, *Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG)*.

2. ACHTERGROND EN KADER

2.1 De kwaliteit van Nederlands oppervlaktewater

Dit onderzoek kijkt naar waterkwaliteit vanuit het perspectief van de Kaderrichtlijn Water (KRW).[12] De KRW vormt het belangrijkste beoordelingskader voor de ecologische en chemische kwaliteit van Nederlandse oppervlaktewateren. Daarmee is het een waardevol instrument om de kwaliteit van wateren waarin wordt gezwommen te onderzoeken.

Uit de landelijke KRW-koepelrapportage blijkt dat Nederland de eerstvolgende KRW-deadline voor een goede waterkwaliteit in 2027 niet volledig zal halen. Voor verschillende stoffen en wateren zijn wel verbeteringen zichtbaar, maar de totale waterkwaliteit blijft achter bij de gestelde doelen. In geen enkel waterlichaam is sprake van zowel een goede ecologische als een goede chemische toestand. Onder meer nutriënten (stikstof en fosfaat), bestrijdingsmiddelen, PFAS en andere verontreinigende stoffen blijven de waterkwaliteit op veel plaatsen onder druk zetten.[13],[14]

Belangrijke bronnen van deze stoffen zijn landbouw, industrie, verkeer, afvalwaterlozingen en historische verontreinigingen. ‘Historische verontreinigingen’ zijn door vroegere menselijke activiteiten in het milieu terechtgekomen; hun aanwezigheid of effecten zijn nog steeds merkbaar, ondanks het feit dat de oorspronkelijke bron mogelijk niet meer actief is. Via emissieroutes zoals uitspoeling, atmosferische depositie en lozingen bereiken deze stoffen het oppervlaktewater.

Atmosferische depositie is het proces waarbij stoffen vanuit de atmosfeer op land- en wateroppervlakken worden afgezet, zowel via droge depositie als via neerslag (natte depositie). Samen met uitspoeling en lozingen draagt dit proces bij aan de verontreiniging van het oppervlaktewater. Eenmaal in het oppervlaktewater kunnen zij de ecologische kwaliteit aantasten, en risico’s vormen voor mens en milieu. Ook klimaatverandering heeft gevolgen voor de kwaliteit van oppervlaktewater. Hogere watertemperaturen, perioden van droogte en extremere neerslag beïnvloeden de concentraties van nutriënten en verontreinigende stoffen in het water.[15]

Naast een analyse van de huidige stand van zaken bevat de KRW-koepelrapportage ook een waarschuwing voor de toekomst: ‘*De druk op de waterkwaliteit van zowel oppervlaktewater als grondwater neemt naar verwachting ook na 2027 alleen maar toe, onder andere door klimaatverandering. Het behoud en versterken van een gezond watersysteem is cruciaal voor een gezonde leefomgeving waarin we kunnen wonen, werken en recreëren.*’

12 Europese Unie, *Zwemwaterrichtlijn (2006/7/EG).*
13 *Koepelrapport tussenevaluatie KRW*, 2024.
14 Algemene Rekenkamer, *Focus op industriële lozingen.*
15 *Koepelrapport tussenevaluatie KRW*, 2024.

2.2 Waterkwaliteit en zwemmen

De mate waarin recreanten in en rond het water worden blootgesteld aan verontreinigingen, verschilt per activiteit. Bij zwemmen is het contact met het water het meest direct: zwemmers komen met hun huid in aanraking met het water en slikken soms onbedoeld water in. Daardoor kunnen zij worden blootgesteld aan ziekteverwekkers, zoals bacteriën, virussen en parasieten, maar ook aan chemische stoffen.[16]

Microbiologische verontreiniging kan onder bepaalde omstandigheden leiden tot gezondheidsklachten, zoals maag- en darmklachten, oorinfecties of zwemmersjeuk. Hoewel de gezondheidsrisico's van chemische stoffen voor zwemmers vaak minder direct zijn dan die van microbiologische verontreiniging, kunnen deze stoffen wel degelijk risico's vormen voor de gezondheid van mensen. De aard en omvang daarvan hangen onder meer af van de eigenschappen van de stof, de concentratie in het water en de mate waarin iemand eraan wordt blootgesteld.[17]

Bij andere vormen van waterrecreatie, zoals kanoën, varen, suppen en surfen, is het directe contact met het water meestal beperkter. Hierdoor is ook de blootstelling aan ziekteverwekkers en chemische verontreinigingen vaak kleiner. Juist vanwege het intensieve contact met het water ligt de focus van dit onderzoek op zwemmen in buitenwater.

2.3 Wettelijke context

De monitoring en beoordeling van waterkwaliteit in en rondom zwemwateren wordt in Nederland grotendeels bepaald door twee Europese richtlijnen: de Zwemwaterrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water.

Zwemwaterrichtlijn

De Zwemwaterrichtlijn (2006/7/EG) van het Europees Parlement en de Raad van 15 februari 2006, heeft als doel de milieukwaliteit van het water en de gezondheid van de mens te behouden, beschermen en verbeteren. De zwemwaterkwaliteit van elk oppervlaktewater waarin naar verwachting veel mensen zullen zwemmen, moet worden ingericht, gemonitord en beheerd. Een officieel zwemwater wordt tijdens het zwemwaterseizoen (1 mei – 1 oktober) gecontroleerd op risico's voor de zwemwaterkwaliteit en veiligheid. Het krijgt een zwemwaterprofiel en wordt opgenomen op de landelijke zwemwaterkaart (www.zwemwater.nl).[18] In Nederland wijst de provincie een locatie aan als officiële zwemwaterlocatie.

De kwaliteit van zwemwater wordt met name beoordeeld op basis van microbiologische parameters, oftewel de aanwezigheid van ziekteverwekkende bacteriën zoals *Escherichia coli (E. coli)* en intestinale enterokokken. Daarnaast wordt gelet op de aanwezigheid van potentieel toxische blauwalgen, drijflagen en zwerfafval, en op de fysieke veiligheid van de zwemlocatie. Blauwalgen zijn eigenlijk geen algen maar bacteriën die potente gifstoffen kunnen produceren (cyanobacteriën).

De ecologische kwaliteit en chemische stoffen zoals pesticiden, metalen of PFAS maken geen onderdeel uit van de formele beoordeling volgens de Zwemwaterrichtlijn. De Zwemwaterrichtlijn monitoringsgegevens voor zwemwater werden voor deze rapportage helaas niet beschikbaar gesteld door de beherende organisatie BIJ12 vanwege capaciteitstekort.

De Europese Commissie concludeert in een recente evaluatie dat de Zwemwaterrichtlijn effectief is voor de beoordeling van microbiologische risico's, maar dat het huidige classificatiesysteem geen volledig beeld geeft van de risico's voor milieu en gezondheid voor zwemmers. Ook wijst de commissie erop dat een zwemwater als 'excellent' kan zijn geclassificeerd terwijl er sprake is van chemische verontreiniging volgens andere beoordelingskaders.[19]

Blauwalgenprotocol

De Zwemwaterrichtlijn wordt in Nederland onder meer toegepast via het Blauwalgenprotocol. Dit is een gestandaardiseerde aanpak voor de monitoring, analyse, risicobeoordeling en het treffen van maatregelen in relatie tot potentieel toxische blauwalgen. Deze categorie microbiologische verontreinigingen leidt gedurende het zwemseizoen regelmatig tot sluiting van officiële zwemlocaties.[20]

Het RIVM onderscheidt in het Blauwalgenprotocol 2020 drie risiconiveaus. Risiconiveau 0 vereist geen maatregelen, risiconiveau 1 leidt tot een waarschuwing voor zwemmers en risiconiveau 2 tot een negatief zwemadvies of zwemverbod. De indeling is gebaseerd op de hoeveelheid blauwalgen in het water en de aanwezigheid van drijflagen.[21]

16 Zwemwater.nl, *Gezondheidsrisico's*.
17 Zwemwater.nl, *Gezondheidsrisico's*.
18 Europese Unie, *Zwemwaterrichtlijn (2006/7/EG)*.
19 Europese Commissie, *Evaluation of Directive 2006/7/EC concerning the management of bathing water quality*.
20 Unie van Waterschappen, *Blauwalg*.
21 RIVM, *Blauwalgenprotocol 2020*.

Kaderrichtlijn Water

De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een Europese richtlijn die in 2000 van kracht werd.[22] Het doel is dat oppervlaktewateren en grondwateren een goede ecologische en chemische toestand bereiken. Lidstaten moesten de KRW-doelen oorspronkelijk in 2015 behalen, maar deze deadline is tweemaal uitgesteld tot 2027. Om de doelen voor 2027 dichterbij te brengen is in 2023 het KRW-Impulsprogramma gestart, waarin onder andere is opgenomen dat overheden extra maatregelen nemen voor de belangrijkste waterkwaliteitsknelpunten en een selectie aan verontreinigende stoffen.

De KRW beoordeelt de kwaliteit van water aan de hand van ecologische indicatoren (zoals nutriënten, specifieke verontreinigende stoffen, zuurstof, doorzicht, waterplanten, vissen en algen) en chemische normen voor een lijst 'prioritaire' stoffen. Door deze brede waterkwaliteitsbenadering zijn de meetgegevens en kwaliteitsoordelen van de KRW het uitgangspunt van dit onderzoek.

Ook de KRW-systematiek heeft haar beperkingen voor een analyse van waterkwaliteit en zwemwater. Niet alle oppervlaktewateren, en dus ook niet alle officiële zwemwateren, vallen onder de KRW.[23] Ook vallen niet alle chemische stoffen die in het water te vinden zijn onder de KRW. De KRW maakt gebruik van twee lijsten die sinds 2013 45 prioritaire stoffen en 77 specifiek verontreinigende stoffen omvatten. Samen zijn dit 122 stoffen, terwijl bekend is dat een veelvoud hiervan in omloop is.[24]

Ondanks deze beperkingen omvat de KRW de meest complete databank van waterkwaliteitsgegevens in Nederland. Daarmee is het een uitgebreide aanvulling op bestaande zwemwaterkwaliteitsanalyses vanuit de Zwemwaterrichtlijn.

2.4 Bestuurlijke context

De verantwoordelijkheid voor waterkwaliteit in Nederland is verdeeld over verschillende overheden en beheerders. **Rijksoverheid** stelt het nationale waterbeleid vast en is verantwoordelijk voor het behalen van Europese verplichtingen, zoals de KRW. **Rijkswaterstaat** beheert de kwaliteit en kwantiteit van rijkswateren, zoals de grote rivieren en het IJsselmeer. **Waterschappen** beheren regionale oppervlaktewateren en nemen maatregelen om de waterkwaliteit en -kwantiteit te verbeteren. **Provincies** wijzen officiële zwemwateren aan, houden toezicht op de uitvoering van verschillende waterkwaliteitsopgaven en stellen de waterkwaliteitsdoelen voor regionale wateren vast. **Gemeenten** zijn verantwoordelijk voor de inzameling van afvalwater en hemelwater en hebben taken op het gebied van waterbeheer in stedelijk gebied.

Deze verscheidenheid aan bestuurlijke verantwoordelijkheden maakt de verbetering van de waterkwaliteit tot een gezamenlijke opgave van verschillende instanties met bevoegd gezag. Maatregelen die gunstig zijn voor natuur, zwemwaterkwaliteit en de chemische toestand van het water raken bovendien vaak aan andere belangen, zoals landbouw, recreatie, ruimtelijke ontwikkeling en industrie.

22 Europese Unie, *Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG)*.
23 Compendium voor de Leefomgeving, *Oppervlaktewater in Nederland*.
24 Wang et al., *Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories*.

3. DATA EN METHODE

Dit onderzoek bestaat uit vier onderdelen. Eerst is onderzocht hoe de chemische en ecologische waterkwaliteit zich ontwikkelde tussen 2015 en 2024. Vervolgens is gekeken naar het risiconiveau dat is geassocieerd met de aanwezigheid van potentieel toxische blauwalgen. Daarna is beoordeeld welke chemische stoffen in 2024 het vaakst verantwoordelijk waren voor normoverschrijdingen. Tot slot is voor deze stoffen onderzocht via welke emissieroutes zij het oppervlaktewater bereiken en wat de mogelijke gevolgen zijn voor mens en milieu.

In dit hoofdstuk worden de gebruikte data, toegepaste methode en dataverwerkingen, en de bijbehorende indicatoren verder toegelicht.

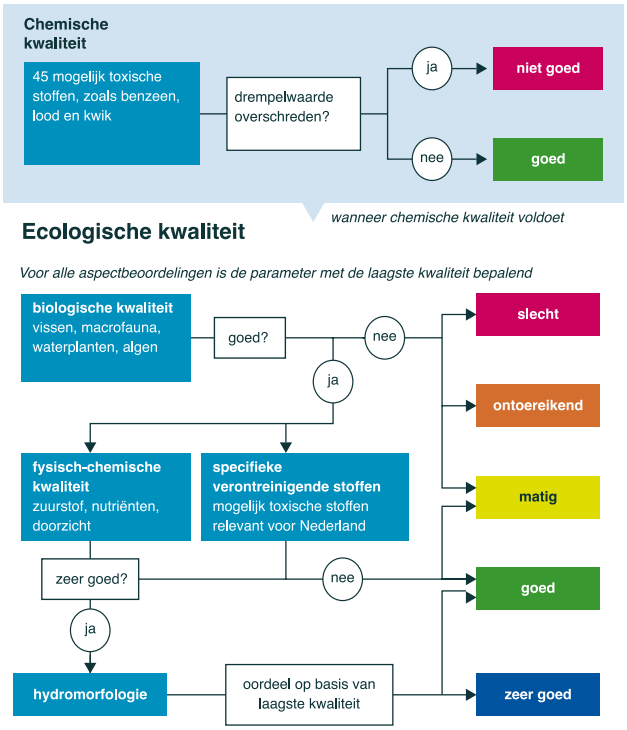
3.1 KRW-monitoringsgegevens

Voor dit onderzoek is gebruikgemaakt van openbare gegevens uit het Waterkwaliteitsportaal van het Informatiehuis Water (IHW), de officiële bron voor KRW-monitoringsgegevens in Nederland.[25] Voor de analyses zijn zowel de formele toestandsoordelen als de onderliggende meetgegevens en meetlocaties gebruikt. Hierdoor konden ontwikkelingen worden onderzocht op het niveau van waterlichamen, kwaliteitselementen en individuele stoffen. In de volgende paragraaf worden de KRW-beoordelingssystematiek en gebruikte indicatoren verder toegelicht.

De bij het IHW beschikbare dataset bevat meetgegevens vanaf 2009. Voor de jaren 2010 tot en met 2014 ontbreekt echter een substantieel deel van de gegevens. Daarom is gekozen voor de periode 2015 tot en met 2024, omdat hiermee de ontwikkeling over een aaneengesloten periode van tien jaar in beeld kan worden gebracht.

3.2 Indicatoren en beoordelingssystematiek KRW

De beoordeling van de KRW-waterkwaliteit vindt plaats aan de hand van verschillende kwaliteitselementen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen chemische kwaliteit en ecologische kwaliteit (zie figuur 1).



Figuur 1: Beoordeling van de waterkwaliteit volgens de Kaderrichtlijn Water. [26]

De chemische kwaliteit wordt bepaald aan de hand van een lijst van prioritaire stoffen waarvoor op Europees niveau milieukwaliteitsnormen zijn vastgesteld.[27] Sinds 2013 omvat deze lijst 45 stoffen. Ter aanvulling op deze prioritaire stoffen (PS) kent Nederland nog 77 specifiek verontreinigende stoffen (SVS). Deze zijn specifiek van belang voor de Nederlandse context, en hiervan worden de normen ook nationaal bepaald.[28] Binnen de KRW-beoordelingssystematiek draagt deze groep van SVS niet bij aan de beoordeling van de chemische kwaliteit, maar wel aan die van de ecologische kwaliteit.[29]

25 Het Waterkwaliteitsportaal, *Waterkwaliteitsportaal*.
26 Rötscheid, Wuijts en Van Rijswick, *Wetenschappelijke factsheet Kaderrichtlijn Water*.
27 Europees Parlement en Raad van de Europese Unie, *Richtlijn 2013/39/EU inzake prioritaire stoffen op het gebied van het waterbeleid*.
28 Compendium voor de Leefomgeving, *Specifiek verontreinigende stoffen KRW, 2024*.
29 Compendium voor de Leefomgeving, *Chemische waterkwaliteit oppervlaktewater KRW, 2024*.

Andere kwaliteitselementen die bijdragen aan de beoordeling van de ecologische kwaliteit zijn biologische kwaliteitselementen zoals vissen, macrofauna (insectenpopulaties), waterplanten en fytoplankton (hoeveelheid en samenstelling van algen en blauwalgen), fysisch-chemische kwaliteitselementen, waaronder totaal fosfor, totaal stikstof, pH, temperatuur, opgelost zuurstof en doorzicht, en hydromorfologische kwaliteitselementen.[30],[31]

Om een goede toestand te behalen, moet aan alle relevante beoordelingscriteria worden voldaan. Dit volgt uit het zogenoemde 'one out, all out'-principe, waarbij het slechtst scorende kwaliteitselement de uiteindelijke beoordeling bepaalt. Voor KRW-oppervlaktewaterlichamen betekent dit dat een voldoende chemische toestand alleen wordt bereikt wanneer aan alle milieukwaliteitsnormen voor prioritaire stoffen wordt voldaan. Voor een goede ecologische toestand moeten daarnaast alle biologische, fysisch-chemische en relevante chemische kwaliteitselementen (de specifiek verontreinigende stoffen) aan de gestelde normen voldoen.

Hydromorfologische kwaliteitselementen gaan over de fysieke inrichting van een water en spelen uitsluitend een rol bij het onderscheid tussen de kwaliteitsoordelen 'goed' en 'zeer goed'.

3.3 Selectie van wateren

In dit onderzoek worden drie categorieën van wateren met elkaar vergeleken: alle KRW-oppervlaktewateren, KRW-binnenwateren met een officiële zwemlocatie, en onofficiële zwemlocaties in KRW-wateren in steden.

Alle KRW-wateren

De eerste groep wateren bestaat uit alle Nederlandse KRW-oppervlaktewaterlichamen waarvoor gegevens in de onderzoeksperiode beschikbaar waren. Deze groep vormt het landelijke referentiebeeld waarmee de overige groepen zijn vergeleken.

Officiële zwemwateren

In Nederland zijn ongeveer zevenhonderd officiële zwemwaterlocaties aangewezen.[32] Niet alle locaties bevinden zich binnen een KRW-oppervlaktewaterlichaam, waardoor voor deze locaties geen KRW-waterkwaliteitsgegevens beschikbaar zijn. Daarom zijn voor dit onderzoek uitsluitend officiële zwemwateren geselecteerd die binnen een KRW-oppervlaktewaterlichaam liggen.

De selectie is uitgevoerd met behulp van de INSPIRE-geharmoniseerde dataset voor zwemwaterlocaties en de KRW-oppervlaktewaterlichamen-geometrie dataset voor KRW-oppervlaktewaterlichamen van Informatiehuis Water.[33],[34] Door beide datasets ruimtelijk te combineren, zijn alle officiële zwemwateren geselecteerd die binnen een KRW-oppervlaktewaterlichaam liggen. Vervolgens zijn uitsluitend zwemwateren in binnenwateren meegenomen. Kustwateren zijn voor deze groep buiten beschouwing gelaten.

Deze selectie resulteerde in 205 officiële zwemwateren. In het vervolg van dit onderzoek worden deze aangeduid als officiële zwemwateren.

Onofficiële stedelijke zwemwateren

De selectie van stedelijke zwemlocaties gebeurde in meerdere stappen. Allereerst is een enquête uitgezet waarin 504 respondenten is gevraagd naar locaties binnen de bebouwde kom waar men weleens zwemt. De open antwoorden zijn vervolgens handmatig beoordeeld, waarbij antwoorden die betrekking hadden op zwembaden of andere niet-relevante zwemvoorzieningen zijn uitgesloten. Dit resulteerde in een eerste selectie van geschikte buitenzwemlocaties. Deze selectie is vervolgens aangevuld met een systematische internetinventarisatie en een AI-ondersteunde verkenning, waarbij potentiële stedelijke zwemlocaties zijn geïdentificeerd. De voorgestelde locaties zijn vervolgens geverifieerd aan de hand van online bronnen. Ten slotte zijn alle geselecteerde locaties met behulp van Google Maps gegeorefereerd.

In totaal zijn 57 niet-officiële zwemwaterlocaties geïdentificeerd in 29 steden. Voor deze locaties is onderzocht of een geschikt meetpunt beschikbaar was uit het Waterkwaliteitsportaal. Hierbij is uitgegaan van het principe dat een meetpunt ruimtelijk representatief moet zijn voor de onderzochte zwemwaterlocatie. Per niet-officiële zwemwaterlocatie is daarom eerst het dichtstbijzijnde IHW-meetpunt bepaald met behulp van de ArcGIS Pro-tool *Generate Near Table*.

30 Compendium voor de Leefomgeving, *Biologische waterkwaliteit oppervlaktewater KRW, 2024*.
31 Compendium voor de Leefomgeving, *Fysisch-chemische waterkwaliteit KRW, 2024*.
32 Rijkswaterstaat, *Zwemwater*.
33 Data.overheid.nl, *Zwemwaterlocaties en zwemwaterkwaliteit - monsterpunten*.
34 Rijkswaterstaat, *Downloadmodule Waterkwaliteitsportaal*.



Figuur 2: Kaart met de locaties van de onderzochte officiële zwemwateren en onofficiële stedelijke zwemwateren in Nederland.

Als eerste selectiecriterium is gekeken naar de afstand tussen de zwemwaterlocatie en het gekoppelde IHW-meetpunt. Meetpunten op grotere afstand dan 250 meter zijn aanvullend beoordeeld, omdat de ruimtelijke relatie tussen het meetpunt en de zwemlocatie bij grotere afstanden minder vanzelfsprekend is. Voor deze locaties is handmatig gecontroleerd of het meetpunt zich in hetzelfde oppervlaktewater bevindt, dan wel hydrologisch relevant is, bijvoorbeeld doordat het stroomopwaarts ligt. De afstand van 250 meter is hierbij gebruikt als praktische beoordelingsgrens en vormt geen landelijke norm voor de representativiteit van meetpunten.

De selectie van de zwemwateren leverde de in figuur 2 weergegeven spreiding van locaties in Nederland op. (zie vorige pagina)

3.4 Kwaliteitscontrole

Voorafgaand aan de dataverwerking en beoordeling is een kwaliteitscontrole uitgevoerd op de IHW-meetgegevens. Hierbij is gecontroleerd of de meetpunten voorzien waren van geografische coördinaten. De IHW-dataset bestaat uit een bestand met meetwaarden en een bestand met meetobjecten. Het meetwaardenbestand bevat de daadwerkelijke meetgegevens, terwijl het meetobjectenbestand voornamelijk informatie bevat over de locatie, coördinaten en algemene kenmerken van het meetpunt en waterlichaam. Om de ruimtelijke ligging van meetpunten door de tijd heen zo consistent mogelijk te houden, is per meetpunt het meest recente beschikbare coördinaat gebruikt uit één van beide bestanden. Hiermee is voorkomen dat veranderingen in beschikbare locatiegegevens tussen jaren invloed hebben op de ruimtelijke koppeling en verdere dataverwerkingen.

Voor de analyse van de IHW-meetgegevens zijn uitsluitend metingen uit de hydrologische zomerperiode geselecteerd (1 april tot 1 oktober) in de periode 2015 tot en met 2024.[35] Deze periode in het jaar is gekozen omdat het recreatieve gebruik van oppervlaktewater dan het grootst is en grotendeels samenvalt met het officiële zwemseizoen (1 mei tot 1 oktober), waarin officiële zwemwaterlocaties actief worden gemonitord.[36] Waterkwaliteitsproblemen die relevant zijn voor zwemmers, zoals microbiologische verontreiniging en blauwalgen, doen zich bovendien voornamelijk in deze periode voor.

De geselecteerde meetgegevens zijn vervolgens gebruikt voor de beoordelingen van ruimtelijke ontwikkelingen en ontwikkelingen door de tijd heen in de waterkwaliteit. Per waterlichaam, meetjaar en combinatie van parameter en meetgrootheid is de mediaan van de gemeten concentraties of volumes berekend. De mediaan is gebruikt als representatieve waarde om de invloed van uitschieters binnen een meetjaar te beperken. Deze dataset is vervolgens gekoppeld aan de officiële zwemwateren.

3.5 Dataverwerking en beoordeling

Ontwikkeling van waterkwaliteit

Om de ontwikkeling van de waterkwaliteit over de periode 2015–2024 in beeld te brengen, zijn de KRW-kwaliteitselementen gebruikt. Hierbij is gekeken naar de beoordeling van de chemische en ecologische kwaliteit en naar de onderliggende kwaliteitselementen. Daarnaast is de ontwikkeling van stikstof, fosfor en de microbiologische zwemwaterkwaliteit in beeld gebracht.

Door de gemeten waarden van de verschillende kwaliteitselementen te vergelijken met de bijbehorende referentiewaarden en maatlatten, kan voor elk kwaliteitselement een Ecologische Kwaliteitsratio (EKR) worden berekend. De EKR geeft de verhouding weer tussen de actuele ecologische kwaliteit en de referentietoestand en wordt uitgedrukt op een schaal van 0 tot 1. Een hogere EKR-score duidt op een betere ecologische kwaliteit.[37]

De EKR-score wordt vervolgens vertaald naar een ecologische kwaliteitsklasse. Voor natuurlijke wateren wordt de EKR doorgaans ingedeeld in vijf kwaliteitsklassen: slecht (0 – 0,2), ontoereikend (0,2 – 0,4), matig (0,4 – 0,6), goed (0,6 – 0,8) en zeer goed (0,8 – 1,0). De exacte klassengrenzen zijn echter afhankelijk van het toegepaste watertype, kwaliteitselement en de bijbehorende maatlat.[38]

Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat een groot deel van de Nederlandse oppervlaktewaterlichamen sterk veranderd of kunstmatig is. Voor deze waterlichamen geldt niet de doelstelling van een goede ecologische toestand (GET), maar een goed ecologisch potentieel (GEP). Het GEP wordt eveneens uitgedrukt als een EKR-score, maar kan lager liggen dan de EKR die overeenkomt met een goede ecologische toestand

35 KNMI, *Hydrologische droogte zet door*.
36 RIVM, *Zwemwaterkwaliteit en wettelijke eisen*.
37 STOWA, *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027*.
38 STOWA, *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027*.

van een natuurlijk water. Voor sterk veranderde en kunstmatige wateren wordt het GEP op de maatlat voor natuurlijke wateren bijvoorbeeld begrensd op maximaal 0,6. Hierdoor kan een waterlichaam met een EKR-score lager dan 0,6 alsnog voldoen aan zijn eigen ecologische doelstelling.[39]

Naast deze kwaliteitsklassen komen in de KRW-gegevens ook de categorieën 'Niet toetsbaar', 'Niet beoordeeld' en 'Niet van toepassing' voor. 'Niet toetsbaar' betekent dat de beschikbare meetgegevens niet konden worden getoetst aan de KRW-norm, bijvoorbeeld doordat de detectiegrens hoger lag dan de norm.[40] Voor 'Niet beoordeeld' en 'Niet van toepassing' is geen officiële openbare bron beschikbaar met definitie van deze classificaties; deze twee oordelen zijn in de analyse samengevoegd.

Voor de KRW-kwaliteitselementen is voor ieder element een afzonderlijke gestapelde staafdiagram gemaakt met de jaarlijkse verdeling van de classificaties. Voor de beoordeling van chemische stoffen is aanvullend ook gebruikgemaakt van de KRW-impulsstoffenlijst. Deze lijst bestaat uit 42 prioritaire en specifiek verontreinigende stoffen die in Nederland een belangrijke belemmering vormen voor het behalen van de KRW-doelen. De classificaties van de geselecteerde impulsstoffen zijn samengevoegd tot één overzicht, waarmee de ontwikkeling van de beoordeling van deze stoffen door de tijd is gevisualiseerd.

Ontwikkeling van microbiologische indicatoren

Naast de KRW-kwaliteitselementen is beoordeeld of de IHW-dataset voldoende meetgegevens bevatte om de ontwikkeling van de microbiologische zwemwaterkwaliteit over de tijd in beeld te brengen. Voor de cyanobacteriën, als indicator voor potentieel toxische blauwalgen, bleek dit het geval. Voor Escherichia coli (E. coli) en intestinale enterokokken bleken de IHW-meetgegevens echter een minder representatieve dataset dan gewenst. Daarom beperkt de beschrijving van microbiologische indicatoren zich in dit onderzoek tot potentieel toxische blauwalgen.

Om deze ontwikkelingen inzichtelijk te maken is gebruikgemaakt van KRW-meetgegevens voor de parameter 'som potentieel toxische blauwalgen'. Alleen metingen met de grootheid volumefractie (VOLMFTE) en de eenheid mm³/L zijn meegenomen. De berekende mediane blauwalgenconcentraties zijn vervolgens ingedeeld volgens de risiconiveaus uit het Blauwalgenprotocol. Hierbij zijn drie risiconiveaus onderscheiden: laag (< 2,5 mm³/L), middel (2,5-15 mm³/L) en hoog (> 15 mm³/L).[41],[42] De risiconiveaus zijn gerelateerd aan de mogelijke overlast en gezondheidsrisico's door de aanwezigheid van blauwalgen en aan elk niveau zijn specifieke maatregelen verbonden.[43]

Per meetjaar is bepaald welk percentage van de KRW-waterlichamen of officiële zwemwateren binnen ieder risiconiveau viel. De resultaten zijn weergegeven in een gestapelde staafdiagram die de ontwikkeling van de verdeling van de blauwalgenrisiconiveaus door de tijd inzichtelijk maakt. Voor stedelijke zwemwateren waren onvoldoende data beschikbaar voor deze analyse.

Normoverschrijdende chemische stoffen

De verdiepende beoordeling van de 122 prioritaire en specifiek verontreinigende stoffen is uitgevoerd op basis van de eerder gekoppelde zwemwater- en IHW-dataset. Hierbij is voor beide stofgroepen een vooraf gedefinieerde lijst met KRW-stofcodes geselecteerd.

Per stof en meetjaar is het aantal waterlichamen bepaald dat een van de volgende classificaties heeft ontvangen: Voldoet, Voldoet niet, Niet van toepassing, Niet beoordeeld of Niet toetsbaar. De categorieën Niet beoordeeld en Niet van toepassing zijn samengevoegd tot één categorie. Niet toetsbaar is een aparte categorie. Op basis van de aantallen zwemwateren per classificatie zijn de percentages berekend.

De analyse van chemische stoffen die het vaakst de norm overschrijden, is gedaan voor het meest recente beschikbare meetjaar (2024). Hierbij zijn alleen stoffen meegenomen waarvoor meer dan 1 procent van de waterlichamen de classificatie 'Voldoet niet' heeft gekregen. De stoffen zijn gerangschikt op afnemend percentage 'Voldoet niet' en weergegeven in horizontaal gestapelde staafdiagrammen. Hierin wordt de verdeling over de categorieën 'Voldoet', 'Niet beoordeeld', 'Niet toetsbaar' en 'Voldoet niet' weergegeven. De analyse is afzonderlijk uitgevoerd voor de prioritaire stoffen en de specifiek verontreinigende stoffen.

39 STOWA, *Handreiking KRW-doelen, inclusief bestuurlijk-juridisch kader*.
40 Informatiehuis Water, Informatiehuis Water.
41 RIVM, *Blauwalgenprotocol 2020*.
42 Sollie en Kardinaal, *Risicobeoordeling blauwalgen in zwemwater: Nieuwe technieken voor de bepaling van de aanwezigheid van blauwalgtoxines*.
43 RIVM, *Blauwalgen in zwemwater*.

Uit de analyse van 2024 zijn 26 stoffen geselecteerd die het vaakst de norm overschrijden. Voor deze stoffen is aanvullend een trendanalyse over de beschikbare meetjaren uitgevoerd. Hierbij is per stof en per jaar het percentage waterlichamen met de classificatie 'Voldoet niet' berekend. De ontwikkeling van dit percentage over de tijd is gebruikt om inzicht te krijgen in de verandering van normoverschrijdingen van deze stoffen gedurende de onderzoeksperiode.

Emissieroutes en effecten op mens en milieu

Voor de stoffen die het vaakst verantwoordelijk zijn voor normoverschrijdingen is aanvullend literatuuronderzoek uitgevoerd. Hiervoor zijn de stoffen geselecteerd die voorkomen in de top 10 van normoverschrijdende prioritaire stoffen (PS) en specifiek verontreinigende stoffen (SVS) in officiële en onofficiële stedelijke zwemwateren. Door overlap tussen deze vier top 10-lijsten ontstond een selectie van 26 unieke stoffen. Daarbij is gekeken naar toepassing, emissieroutes, bronnen, persistentie en bekende effecten op mens en milieu. De stoffen zijn vervolgens gegroepeerd naar bredere stofgroepen: persistente industriële stoffen, verbrandingsgerelateerde stoffen, bestrijdingsmiddelen en biociden, metalen en andere anorganische stoffen, en antifoulingmiddelen. Antifoulingmiddelen zijn chemische stoffen die worden toegepast om de aangroei van organismen, zoals algen, mosselen en andere waterorganismen, op ondergedompelde oppervlakken te voorkomen of beperken. Ze worden bijvoorbeeld gebruikt in scheepsverven en coatings voor boten.

3.6 Beperkingen van het onderzoek

Bij de interpretatie van de resultaten moet rekening worden gehouden met een aantal beperkingen van de dataset en analyse. Zo omvat de KRW-monitoringsystematiek niet al het Nederlandse oppervlaktewater. Veel kleinere wateren, waaronder 330.000 kilometer aan sloten, worden niet als KRW-waterlichaam beoordeeld.[44] Daarnaast vallen niet alle officiële zwemwateren binnen een KRW-waterlichaam en zijn veel plekken waar mensen zwemmen niet officieel als zwemwater aangewezen. De analyse beslaat daardoor slechts een deel van de locaties in Nederland waar gezwommen wordt.

KRW-monitoring is daarnaast gericht op een representatieve beoordeling van een (deel van een) waterlichaam, terwijl de waterkwaliteit lokaal kan verschillen. Ter vergelijking: zwemwatermonitoringsgegevens zijn juist representatief voor de specifieke zwemwaterlocatie, bijvoorbeeld een afgebakend strand. Omdat een KRW-waterlichaam kilometers lang kan zijn of een groot oppervlak kan beslaan, kunnen er zich ook meerdere meetpunten in een waterlichaam bevinden. Ook worden niet alle kwaliteitselementen op dezelfde locatie gemeten. Zo worden chemische stoffen vaak op één of meerdere vaste waterkwaliteitsstations gemeten, macrofauna op locaties met geschikte oevers, waterplanten langs representatieve trajecten, vissen over een langer traject en fytoplankton op openwaterlocaties. Om deze situationele verschillen te ondervangen, worden in dit onderzoek de wateren zo veel mogelijk geanalyseerd als de eerdergenoemde groepen (landelijk water, officieel zwemwater en onofficieel stedelijk zwemwater).

Binnen de KRW wordt daarnaast slechts een beperkt aantal stoffen gemeten en beoordeeld. Wereldwijd zijn naar schatting zo'n 350.000 chemische stoffen en mengsels in omloop en jaarlijks komen daar duizenden nieuwe stoffen bij.[45] De KRW beoordeelt daarvan slechts een beperkte selectie. Bovendien wijzen recente studies erop dat combinaties van stoffen gezamenlijk effecten kunnen hebben die niet zichtbaar worden wanneer stoffen afzonderlijk worden beoordeeld.[46] De KRW biedt een belangrijke indicatie van de waterkwaliteit, maar brengt niet de volledige chemische druk op wateren in beeld.[47] Ook is een deel van de stoffen niet toetsbaar, en voor sommige stoffen ontbreken voldoende meetgegevens voor een beoordeling. Veranderingen in meetmethoden, detectiegrenzen en normstelling kunnen bovendien de vergelijkbaarheid van resultaten door de tijd heen beïnvloeden.

Tot slot richt dit onderzoek zich op normoverschrijdingen van individuele stoffen. Daarbij is niet gekeken naar de mate waarin normen worden overschreden, of naar mogelijke effecten van mengsels van stoffen die individueel onder de norm blijven.

44 Compendium voor de Leefomgeving (CLO), *Oppervlaktewater in Nederland*.
45 Wang et al., *Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories*.
46 Bestrijdingsmiddelenatlas, *Toxische druk: Algemene toelichting mengseltoxiciteit, toxische druk en biodiversiteitsverlies*.
47 *Koepelrapport tussenevaluatie KRW*, 2024

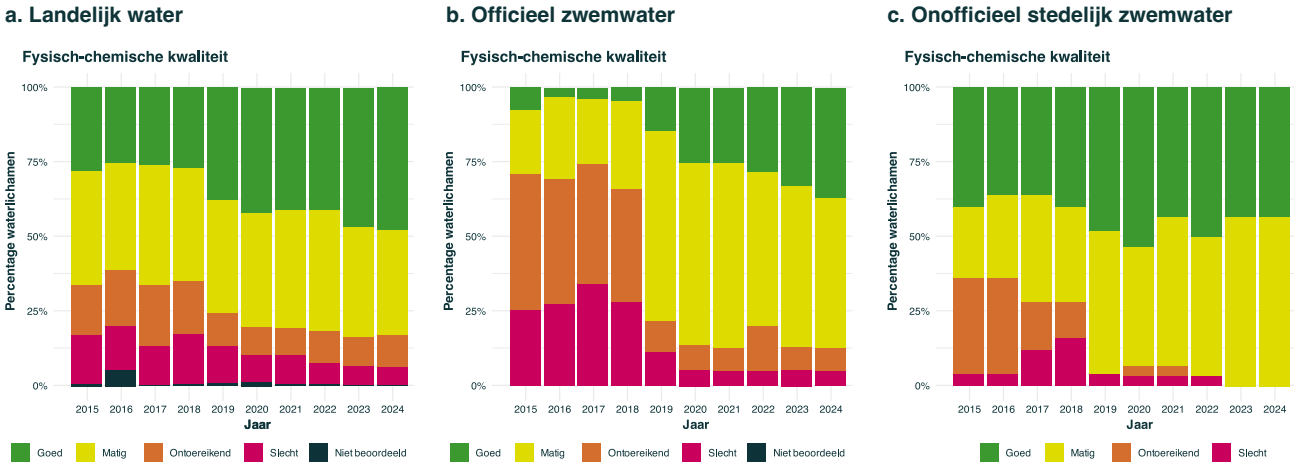
4. ONTWIKKELING VAN DE WATERKWALITEIT

In dit hoofdstuk worden de ontwikkelingen over de tijd van de verschillende KRW-kwaliteitselementen besproken. Eerst wordt ingegaan op de fysisch-chemische kwaliteit, waaronder nutriënten en de microbiologische indicator blauwalg. Vervolgens komen de biologische kwaliteitselementen aan bod. Daarna wordt beschreven wat deze resultaten betekenen voor het ecologische kwaliteitsoordeel. Tot slot wordt gekeken naar de chemische kwaliteit van de onderzochte wateren.

4.1 Fysisch-chemische kwaliteit

Fysisch-chemisch kwaliteitsoordeel

De fysisch-chemische kwaliteit van water draagt bij aan de ecologische kwaliteit ervan. Het is een samenvattend oordeel van concentraties van totaal fosfor en totaal stikstof, pH, watertemperatuur, zuurstofhuishouding, doorzicht en zoutgehalte (geleidbaarheid). Samen geven deze elementen een gedeeltelijk beeld van hoe goed de basisvoorwaarden in het water zijn voor dieren en planten om in te floreren.



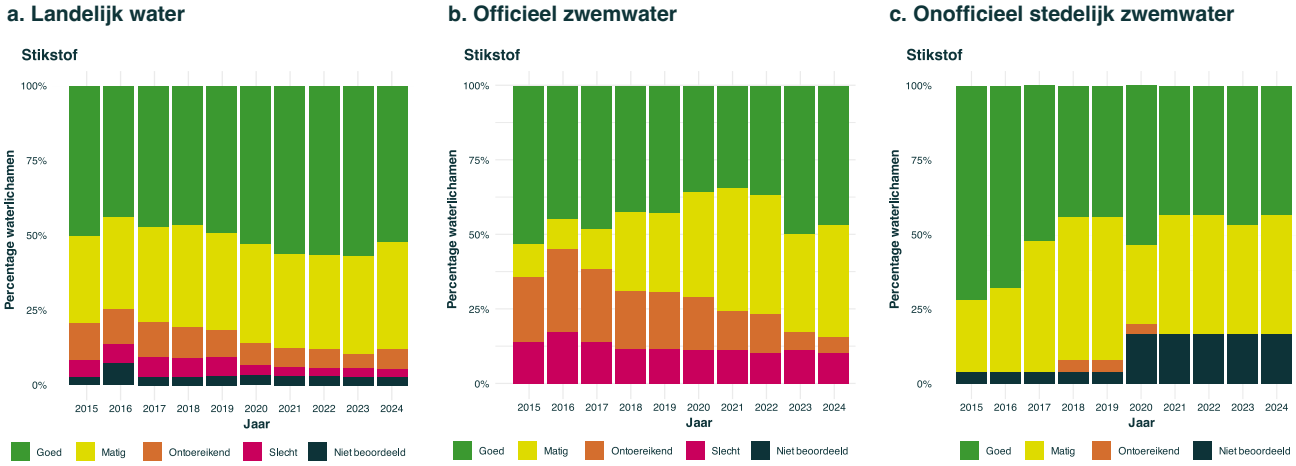
Figuur 3: Trends in fysisch-chemische kwaliteit in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Het percentage wateren dat goed scoort op fysisch-chemische kwaliteit, nam in 2024 toe ten opzichte van 2015. Desondanks is er de laatste jaren sprake van een stagnatie. Hoewel landelijk het aantal goede wateren toeneemt, komt het aandeel niet voorbij de 48 procent, zoals te zien is in figuur 3a. De rest blijft matig, ontoereikend of slecht. De trend van de fysisch-chemische kwaliteit in de officiële zwemwateren (figuur 3b) volgt de laatste jaren het landelijke beeld, maar het aantal goede wateren ligt lager (37 procent). In de onofficiële stedelijke zwemwateren (figuur 3c) nam het aantal ontoereikende wateren sinds 2015 af. Sinds 2023 zijn er binnen onze selectie van stedelijke zwemwateren geen wateren meer die voor de fysisch-chemische kwaliteitselementen als slecht worden beoordeeld. Deze verbetering vertaalt zich echter niet in een groter aandeel wateren met een goede fysisch-chemische kwaliteit. Met ongeveer 43 procent blijft dit aandeel net onder het landelijke beeld, terwijl de meerderheid nog steeds als matig wordt beoordeeld .

Nutriënten: stikstof en fosfor

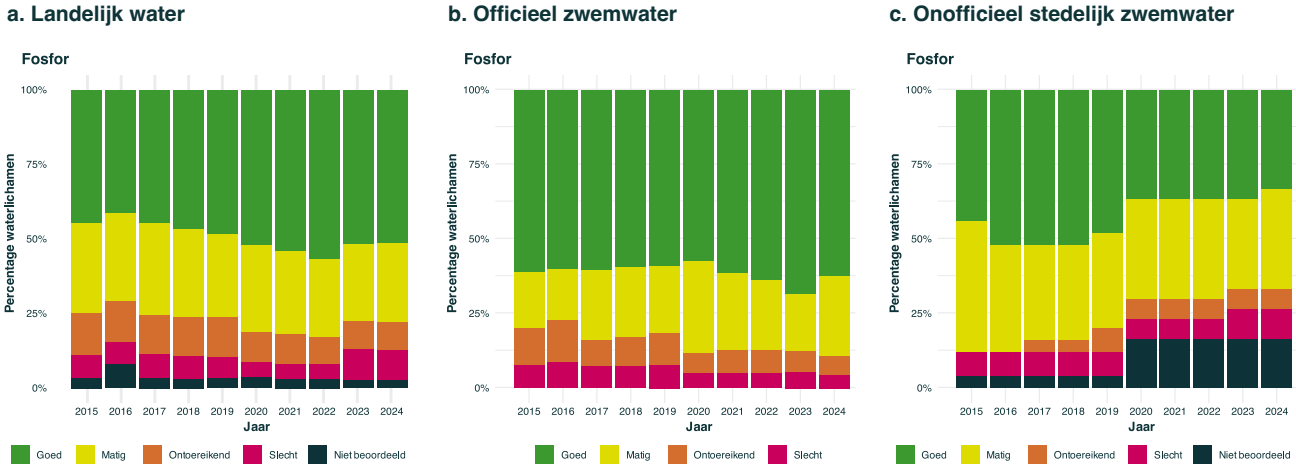
Stikstof en fosfor zijn essentiële bouwstoffen voor planten en dieren. Een overschot aan deze stoffen kan zorgen voor vermesting (eutrofiëring). Dit kan leiden tot een tekort aan zuurstof en een toename van toxische blauwalgen (cyanobacteriën).[48] Daarom behoren de nutriënten stikstof (N) en fosfor (P) tot belangrijke parameters voor de beoordeling van de fysisch-chemische waterkwaliteit. De figuren 4 en 5 laten de trends van kwaliteitsoordelen voor stikstof en fosfor zien in de verschillende groepen (zwem)wateren.

Stikstof (N)



Figuur 4: Trends in kwaliteitsoordelen van stikstof 2015 – 2024 in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Fosfor (P)



Figuur 5: Trends in kwaliteitsoordelen van fosfor 2015 – 2024 in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Vanaf 2021 zijn er landelijk weinig veranderingen meer in de kwaliteitsoordelen over stikstof en fosfor, waarbij tussen de 30 en 50 procent van de wateren niet voldoet (figuren 4a en 5a). Op stikstof neemt het aantal ‘ontoereikend’ af, maar in 2024 zijn er vergeleken met het landelijke beeld (figuur 4a) meer wateren met het oordeel ‘slecht’ (10 vs. 2,5 procent) en minder met het oordeel goed (46 vs. 52 procent). In figuur 4c is te zien dat het aandeel onofficiële stedelijke zwemwateren met een goede of matige beoordeling vergelijkbaar is met het aandeel landelijke wateren en officiële zwemwateren met deze beoordeling. Voor fosfor is het aandeel officiële zwemwateren met een slechte of ontoereikende beoordeling (figuur 5b) lager dan het aandeel landelijke wateren en onofficiële stedelijke zwemwateren met een

48 Deltares, *Strategie voor de aanpak van eutrofiëring*.

dergelijke beoordeling. Figuur 5c laat echter zien dat de beoordeling voor fosfor in onofficiële stedelijke zwemwateren, afgezien van de wateren waarvoor geen beoordeling beschikbaar is, ongunstiger is dan in officiële zwemwateren en landelijk. Van de beoordeelde onofficiële stedelijke zwemwateren heeft 40 procent een goede beoordeling voor fosfor, tegenover 62 procent van de officiële zwemwateren en 51 procent van de landelijke wateren.

De resultaten laten zien dat de beoordeling van stikstof en fosfor ondanks de daling die plaatsvond tussen 2015 en 2021, de afgelopen jaren nauwelijks verder verbetert. Daarmee blijven nutriënten een belangrijk aandachtspunt voor de waterkwaliteit van zowel officiële als stedelijke zwemwateren.

Veranderingen in fysisch-chemische kwaliteit, zoals stikstof- en fosforconcentraties, kunnen doorwerken in de ontwikkeling van fytoplankton, waterplanten, macrofauna en vissen. In de volgende paragraaf wordt gekeken naar de ontwikkeling van de biologische kwaliteitselementen.

4.2 Biologische kwaliteit

Biologische kwaliteitselementen geven inzicht in de toestand van organismen die in het watersysteem leven. Ze weerspiegelen de gecombineerde effecten van verschillende drukfactoren over een langere periode en vormen daarmee een belangrijke indicator voor het functioneren van het ecosysteem.

Binnen de Kaderrichtlijn Water wordt hiervoor gekeken naar vier kwaliteitselementen: vissen, waterplanten, macrofauna en fytoplankton. Vanwege het grote aantal biologische indicatoren zijn de volledige trendfiguren opgenomen in bijlage 1. Hieronder worden de belangrijkste ontwikkelingen per biologisch kwaliteitselement besproken.

Biologische kwaliteitselementen: vissen, waterplanten, macrofauna en algen

Over de periode 2015 – 2024 is sprake van een gemengd, maar overwegend positief beeld van de ontwikkelingen in de biologische kwaliteitselementen. Met name op landelijk niveau zijn in alle vier de categorieën lichte positieve ontwikkelingen zichtbaar. Toch krijgt voor de meeste kwaliteitselementen minder dan de helft van de onderzochte wateren een goede beoordeling. In veel gevallen vormt de categorie ‘matig’ nog steeds de grootste groep en komen ook ‘ontoereikende’ beoordelingen regelmatig voor.

De meest positieve ontwikkelingen zijn zichtbaar voor vissen en macrofauna. Vooral in de stedelijke wateren zijn de oordelen op voor deze kwaliteitselementen zichtbaar verbeterd. Op vissen scoren ook de officiële zwemwateren beter dan het landelijke gemiddelde. Op macrofauna lopen deze zwemwateren echter weer wat achter.

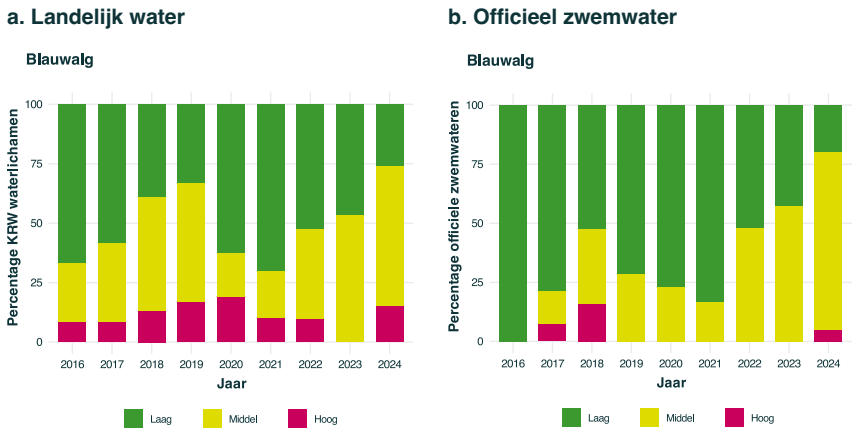
Voor waterplanten is het beeld minder positief. Hoewel landelijk sprake is van een geleidelijke toename van het aandeel wateren met een goede beoordeling, blijft dit aandeel relatief laag. In de onofficiële stedelijke zwemwateren blijft het aandeel goede beoordelingen duidelijk achter. In officiële zwemwateren zijn er geen wateren die slecht scoren, maar is er ook geen sprake van een verbeterende trend.

De resultaten voor fytoplankton laten een wisselend beeld zien. In de officiële zwemwateren neemt het aandeel wateren met een goede beoordeling toe tot 2022, waarna weer een afname zichtbaar is. Voor het landelijke beeld is de ontwikkeling moeilijker te interpreteren doordat een groot deel van de wateren als niet beoordeeld is geclassificeerd. Hierdoor zijn vergelijkingen tussen de onderzochte groepen voor dit kwaliteitselement minder goed te maken.

De biologische kwaliteitselementen laten daarmee vooral landelijk en in onofficiële stedelijke zwemwateren op verschillende punten een verbetering zien. In officiële zwemwateren is de verbetering beperkt. In drie van de vier categorieën krijgt minder dan de helft van de wateren een goede beoordeling. Veel wateren worden nog steeds als matig beoordeeld.

Microbiologische indicator: blauwalg

Blauwalgen, of cyanobacteriën, vallen onder het kwaliteitselement fytoplankton. Er is echter geen aparte EKR-score voor de cyanobacteriën. Het is wel een belangrijke indicator voor de gezondheidsrisico's voor zwemmers. Daarom is, met behulp van KRW-meetgegevens en het Blauwalgenprotocol, een trendanalyse uitgevoerd voor het risiconiveau voor blauwalgen in de periode 2015 – 2024. Het risiconiveau voor blauwalgen geeft een indicatie van het gezondheidsrisico voor zwemmers als gevolg van blootstelling aan cyanobacteriën en de door deze organismen geproduceerde toxinen. Het risiconiveau wordt bepaald aan de hand van de aangetroffen hoeveelheid cyanobacteriën en, waar relevant, de aanwezigheid van cyanotoxinen. Voor de onofficiële stedelijke zwemwateren waren er niet genoeg data beschikbaar; daarom is de analyse beperkt tot de landelijke wateren en officiële zwemwateren.



Figuur 6: Trends in risiconiveau van blauwalg in a. landelijk water en b. officieel zwemwater.

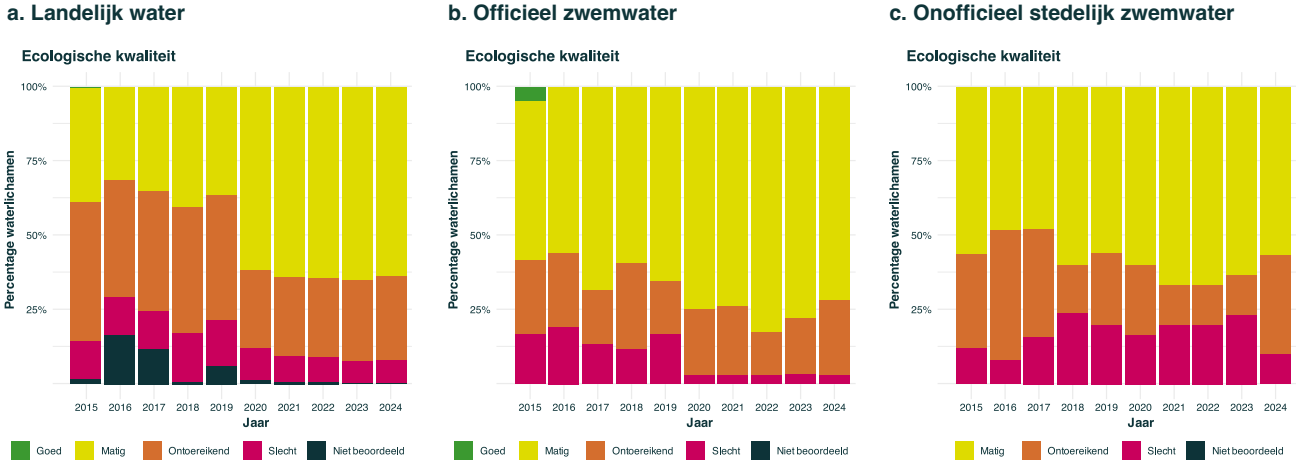
Het risiconiveau voor blauwalgen neemt toe bij een combinatie van factoren, zoals de aanwezigheid van veel voedingsstoffen in het water (door bijvoorbeeld hoge nutriëntenbelasting) maar ook door hoge temperaturen en droogte. Warme, droge zomers maken het mogelijk dat er – ondanks een afname in nutriëntconcentraties – toch een toename in het risiconiveau van blauwalgen te zien is.[49]

Vanaf 2021 neemt het risiconiveau van blootstelling aan potentieel toxische blauwalgen zowel in landelijke wateren (figuur 6a) als niet-officiële zwemwateren (figuur 6b) snel toe. Bij een laag risiconiveau wordt er geen actie genomen, bij een gemiddeld risiconiveau wordt er gewaarschuwd, en bij het hoge risiconiveau wordt er een negatief zwemadvies gegeven. In 2024 viel nog slechts een kwart van de officiële zwemwateren in de laagste risicocategorie volgens het Blauwalgenprotocol.

49 Moss et al., *Allied attack: climate change and eutrophication*, 2011.

4.3 Ecologische kwaliteit

Binnen de KRW worden de fysisch-chemische en biologische kwaliteitselementen samen met de specifiek verontreinigende stoffen gecombineerd tot één samenvattend oordeel over de ecologische kwaliteit van een waterlichaam. Het laat zien in hoeverre de verschillende kwaliteitselementen gezamenlijk leiden tot een goede, matige, ontoereikende of slechte ecologische kwaliteit.



Figuur 7: Trends in ecologische kwaliteit in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Op één locatie na worden alle onderzochte wateren ecologisch beoordeeld als matig, ontoereikend of slecht. Geen enkel water voldoet daarmee aan de gestelde norm voor ecologische kwaliteit. Figuur 7a laat zien dat het aandeel landelijke wateren met een ontoereikende of slechte ecologische kwaliteit tot 2020 afneemt. Daarna stagneert dit aandeel rond de 35 procent. Sindsdien is de verdeling vrijwel gelijk gebleven: ongeveer 65 procent van de wateren wordt als matig beoordeeld en de overige 35 procent als ontoereikend of slecht.

Voor de groep officiële zwemwateren (figuur 7b) is de verdeling de laatste jaren redelijk constant: het aandeel wateren met een slechte beoordeling is afgenomen ten opzichte van 2015, maar sinds 2016 voldoet geen enkel water aan alle ecologische eisen. Ook bij de onofficiële stedelijke zwemwateren (figuur 7c) voldoet geen enkel water aan alle ecologische kwaliteitseisen. Vergeleken met 2015 is in 2024 weinig verbetering zichtbaar.

Op de afzonderlijke fysisch-chemische en biologische kwaliteitselementen wordt in 2024 wisselend gescoord. Zo krijgt 30 tot 50 procent van de wateren een goede beoordeling voor nutriënten. Voor de biologische kwaliteitselementen ligt dit aandeel, afhankelijk van de categorie en het watertype, tussen de 30 en 70 procent. Toch voldoet geen van de onderzochte wateren aan alle eisen voor een goede ecologische kwaliteit.

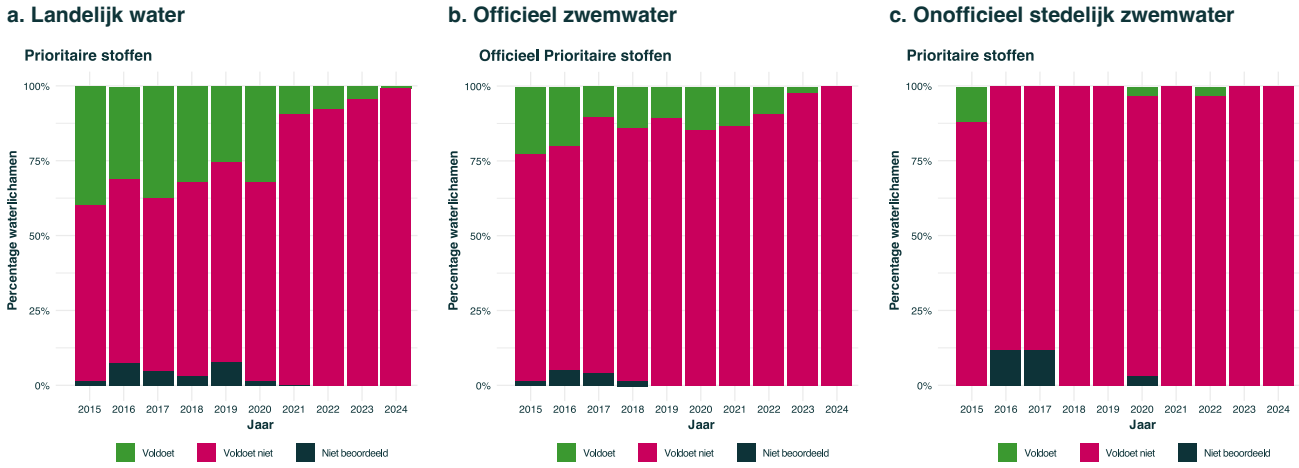
Dit verschil tussen de beoordeling van afzonderlijke kwaliteitselementen en het uiteindelijke ecologische kwaliteitsoordeel, hangt samen met hoe de ecologische kwaliteit volgens het KRW-principe van ‘one out, all out’ wordt bepaald: de laagste beoordeling van een afzonderlijk kwaliteitselement, bepaalt het uiteindelijke oordeel. Daarbij spelen naast de fysisch-chemische en biologische kwaliteitselementen ook specifiek verontreinigende stoffen (SVS) een rol. Deze kunnen het ecologische kwaliteitsoordeel negatief beïnvloeden, ook wanneer andere kwaliteitselementen wel goed worden beoordeeld. Op de resultaten voor specifiek verontreinigende stoffen en andere chemische stoffen wordt in het volgende hoofdstuk verder ingegaan.

4.4 Chemische kwaliteit

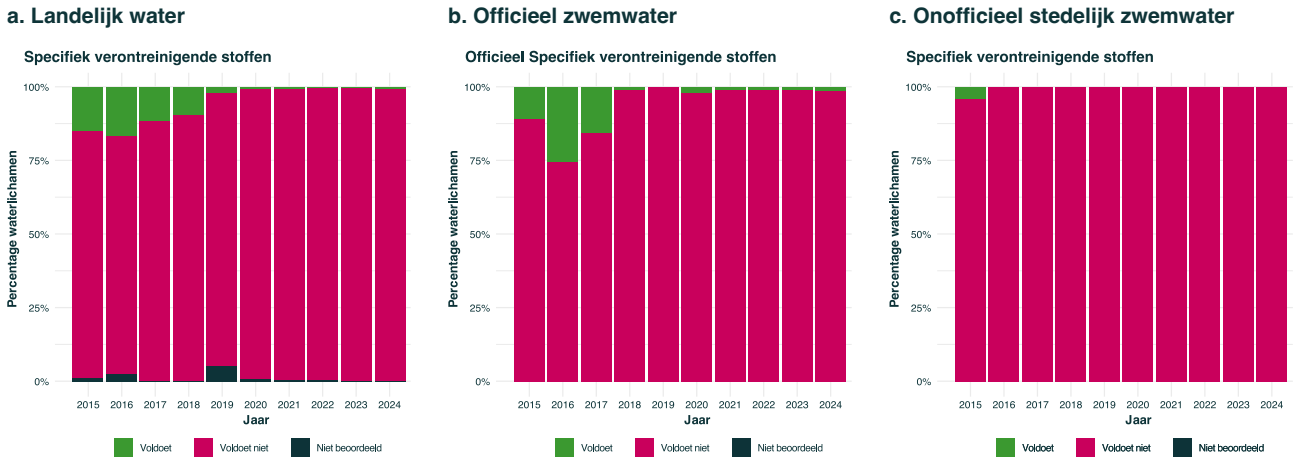
Binnen de KRW wordt onderscheid gemaakt tussen 45 prioritaire stoffen (PS) en 77 specifiek verontreinigende stoffen (SVS). Hoewel SVS onderdeel uitmaken van de ecologische kwaliteitsbeoordeling, zijn dit ook chemische stoffen. Om een zo compleet mogelijk beeld te geven van de rol van chemische verontreinigingen in wateren waarin wordt gezwommen, worden beide stofgroepen in dit hoofdstuk gezamenlijk besproken.

Eerst wordt gekeken naar de ontwikkeling van de chemische stoffen tussen 2015 en 2024. Vervolgens wordt ingezoomd op de ontwikkeling van de stoffen uit de KRW-impulsstoffenlijst. Deze lijst bestaat uit stoffen die binnen het KRW-impulsprogramma zijn aangewezen als belangrijke belemmering voor het behalen van de KRW-doelen. De ontwikkeling in de overschrijdingen van deze stoffen geeft een indicatie van de voortgang van de aanpak van de stoffen op de impulslijst.

Prioritaire en specifiek verontreinigende stoffen



Figuur 8: Trends prioritaire stoffen (PS) in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.



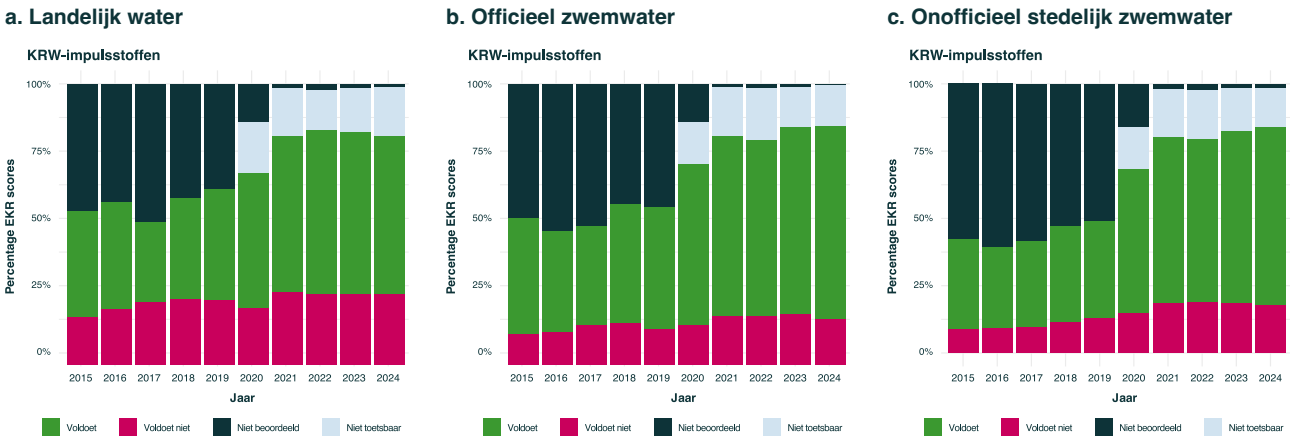
Figuur 9: Trends specifiek verontreinigende stoffen (SVS) in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Voor zowel prioritaire als specifiek verontreinigende stoffen laat de beoordeling ‘Voldoet/Voldoet niet’ een duidelijke negatieve ontwikkeling zien in de chemische waterkwaliteit in Nederland. Het aandeel landelijke wateren dat niet voldoet aan de chemische normen nam de afgelopen tien jaar sterk toe, en ligt in 2024 voor beide stofgroepen op bijna 100 procent (figuren 8a en 9a). In 2015 voldeed landelijk nog bijna 40 procent van de wateren aan de normen voor prioritaire stoffen; in 2024 zijn dat nog slechts vijf locaties (figuur 8a). Voor specifiek verontreinigende stoffen worden de normen sinds 2019 op vrijwel geen van de landelijke locaties meer gehaald (figuur 9a).

Figuur 8b laat zien dat officiële zwemwateren voor prioritaire stoffen (PS) tussen 2015 en 2021 slechter scoorden dan het landelijke gemiddelde. Door de verslechtering van de chemische waterkwaliteit op landelijk niveau, is dit verschil inmiddels verdwenen. In 2024 voldoen ook bij de officiële zwemwateren nog slechts enkele locaties aan de normen voor PS. Voor specifiek verontreinigende stoffen (SVS) is het beeld vergelijkbaar: sinds 2019 worden de normen in officiële zwemwateren op vrijwel geen locaties meer gehaald (figuur 9b). Bij de onofficiële stedelijke zwemwateren worden de normen voor zowel PS als SVS, op enkele jaren na, op geen enkele locatie gehaald (figuren 8c en 9c).

KRW-impulsstoffen

Om het behalen van de KRW-doelen te versnellen, is in 2023 binnen het KRW-impulsprogramma een lijst opgesteld van stoffen die een belangrijke belemmering vormen voor een goede waterkwaliteit.[50] Deze impulsstoffenlijst bestaat uit een selectie van in totaal 42 PS en SVS waarvoor aanvullende maatregelen noodzakelijk worden geacht. Hieronder wordt onderzocht hoe de beoordeling van deze stoffen zich tussen 2015 en 2024 ontwikkelde voor alle KRW-wateren, officiële zwemwateren en onofficiële stedelijke zwemwateren.



Figuur 10: Trends in stoffen van de KRW-impulsstoffenlijst in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Uit de beoordeling blijkt dat het aandeel wateren dat voldoet aan de normen voor impulsstoffen sinds 2015 is toegenomen. De grootste verschuiving vindt plaats tussen 2020 en 2022, wanneer het aandeel positief beoordeelde wateren sterk stijgt en het aandeel wateren zonder beoordeling sterk afneem. Sinds 2022 lijkt deze verbetering te stagneren. Deze ontwikkeling is zichtbaar in zowel het landelijke beeld (figuur 10a) als bij de officiële zwemwateren (figuur 10b) en onofficiële stedelijke zwemwateren (figuur 10c). Tegelijkertijd worden in een substantieel deel van de wateren nog steeds de normen voor één of meer impulsstoffen overschreden.

Om inzicht te krijgen in welke stoffen hiervoor verantwoordelijk zijn, wordt in het volgende hoofdstuk ingezoomd op de stoffen die het vaakst normoverschrijdingen veroorzaken, op de emissieroutes van deze stoffen, en op de mogelijke gevolgen voor natuur en mens.

50 Rijkswaterstaat, *Memo stoffenlijst KRW-impuls*.

4.5 Conclusies waterkwaliteitsoordelen zwemwateren

De resultaten laten zien dat de kwaliteit van wateren waarin wordt gezwommen onder druk blijft staan. Voor verschillende kwaliteitselementen zijn verbeteringen zichtbaar, maar deze ontwikkelingen leiden slechts beperkt tot een verbetering van de integrale waterkwaliteit. De fysisch-chemische kwaliteit laat de laatste jaren weinig vooruitgang meer zien, terwijl voor een aanzienlijk deel van de onderzochte wateren nog altijd sprake is van overschrijdingen van normen voor stikstof en fosfor. Tegelijkertijd neemt het risiconiveau voor blauwalg toe. Ook de biologische kwaliteit verbetert slechts beperkt. Hoewel sommige kwaliteitselementen een positieve ontwikkeling laten zien, blijft de ecologische kwaliteit van de onderzochte wateren matig, ontoereikend of slecht.

Daarnaast blijkt uit de analyse van de chemische kwaliteit dat normoverschrijdingen van chemische stoffen zeer wijdverspreid zijn. Zowel prioritaire stoffen als specifiek verontreinigende stoffen vormen een belangrijke belemmering voor het behalen van een goede waterkwaliteit. Een analyse van de probleemstoffen uit het KRW-impulsprogramma laat wel een positieve trend zien. Het aantal ‘goede’ scores neemt daar duidelijk toe; de laatste vier jaar is deze ontwikkeling echter wel afgevlakt. Ook het aandeel dat hierop ‘slecht’ scoort blijft redelijk gelijk. Het laat zien dat de situatie omtrent probleemstoffen verbetert, maar dat het in 2023 geïnitieerde impulsprogramma, in lijn met de analyse van de prioritaire en specifiek verontreinigende stoffen, nog niet toereikend is om alle normoverschrijdingen van chemische stoffen terug te dringen.

5. PROBLEEMSTOFFEN, EMISSIEROUTES EN GEVOLGEN

De resultaten uit hoofdstuk 4 laten zien dat normoverschrijdingen van chemische stoffen een belangrijke belemmering vormen voor het bereiken van een goede chemische waterkwaliteit en daarmee voor veilig zwemmen in buitenwater. In 2024 voldoet vrijwel geen enkel onderzocht zwemwater aan de chemische kwaliteitseisen van de KRW. Voor de onderzochte stedelijke zwemwateren geldt dit zelfs voor alle wateren: geen enkel stedelijk zwemwater voldoet in 2024 aan alle chemische kwaliteitseisen.

Het is daarbij belangrijk om te constateren dat de chemische druk breder is dan alleen de stoffen die vanuit de KRW worden onderzocht. In de Koepelrapportage van KRW wordt al gesteld: 'De chemische stoffen die vallen onder de KRW zorgen voor slechts 30% van de toxische druk in onze wateren […]. De andere 70% wordt veroorzaakt door niet in de KRW gereguleerde stoffen.'[51] Hoewel niet volledig, geeft de analyse van KRW-stoffen wel een beeld van algemene trends in chemische druk. Om een beter inzicht te krijgen in deze trends en de oorzaken van de chemische druk op zwemwateren, kijkt dit hoofdstuk naar de prioritaire stoffen (PS) en specifiek verontreinigende stoffen (SVS) die het vaakst de norm overschrijden. Daarbij wordt gekeken naar hoe deze stoffen zich door de tijd hebben ontwikkeld, en naar welke emissieroutes, eigenschappen en effecten daarbij een rol spelen.

5.1 Overzicht normoverschrijdende stoffen in zwemwateren

Tabel 1 geeft een overzicht van de stoffen die voorkomen in de top 10 van normoverschrijdende PS en SVS voor officiële en onofficiële stedelijke zwemwateren in 2024. Door overlap tussen deze vier top 10-lijsten bestaat de uiteindelijke selectie uit 26 unieke stoffen. Deze selectie vormt de basis voor de verdiepende analyse in de rest van dit hoofdstuk en biedt inzicht in de meest voorkomende normoverschrijdingen binnen de KRW-monitoring. Het vormt echter geen volledig overzicht van alle chemische stoffen die in oppervlaktewater aanwezig kunnen zijn.

Hoewel binnen de KRW in totaal 122 stoffen worden beoordeeld, laat tabel 1 zien dat een kleinere groep stoffen verantwoordelijk is voor de meeste normoverschrijdingen. Daarnaast blijven normoverschrijdingen vaak niet beperkt tot één stof. In veel zwemwateren worden meerdere normoverschrijdende stoffen tegelijkertijd aangetroffen. Een overzicht van de officiële zwemwateren met de meeste normoverschrijdingen in 2024 is opgenomen in bijlage 2. De volledige overzichten van normoverschrijdende stoffen zijn opgenomen in bijlage 3. Uit de analyse komen 35 verschillende stoffen die bij één of meerdere officiële of stedelijke zwemwateren normoverschrijdend zijn gevonden. Voor sommige stoffen is een groot deel van de metingen als niet toetsbaar geclassificeerd. Een stof wordt als 'niet toetsbaar' aangemerkt wanneer de rapportagegrens van de gehanteerde analysemethode hoger ligt dan de geldende KRW-norm, waardoor op basis van de meetresultaten niet betrouwbaar kan worden vastgesteld of aan de norm wordt voldaan. Daardoor ligt het werkelijke aantal normoverschrijdingen mogelijk hoger dan uit de toetsbare meetresultaten blijkt.

51 *Koepelrapport tussenevaluatie KRW*, 2024

In de officiële zwemwateren worden de meeste normoverschrijdingen veroorzaakt door polybroomdifenylethers (PBDE's, vlamvertragers), kwik, perfluoroctaansulfonaat (PFOS), verschillende metalen en diverse bestrijdingsmiddelen (waaronder heptachloor en heptachloorepoxide). Daarnaast zijn verschillende polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en antifoulingmiddelen regelmatig normoverschrijdend.

In onofficiële stedelijke zwemwateren ontstaat een iets ander beeld. Ook hier behoren PFOS, PBDE's, heptachloor en kwik tot de belangrijkste probleemstoffen. Daarnaast vallen vooral verschillende PAK's, tributyltin en dioxinen op.

Om verschillen in herkomst, toepassing, persistentie en mogelijke effecten op mens en milieu inzichtelijk te maken, zijn de vaakst normoverschrijdende stoffen, in lijn met het Compendium voor de Leefomgeving en de koepelrapportage,[52],[53] onderverdeeld in vijf stofgroepen:

- Persistente industriële stoffen, zoals PFOS, PBDE's en dioxinen;
- Verbrandingsgerelateerde stoffen, zoals PAK's;
- Bestrijdingsmiddelen en biociden;
- Metalen en andere anorganische stoffen;
- Antifoulingmiddelen.

In de volgende paragrafen wordt verder ingegaan op deze stofgroepen aan de hand van de belangrijkste stoffen, emissieroutes, persistentie en mogelijke gevolgen voor natuur en mens. Persistentie is de mate waarin een chemische stof bestand is tegen afbraak of verwijdering uit het milieu, waardoor de stof gedurende langere tijd in het milieu aanwezig kan blijven.

5.2 Ontwikkeling van normoverschrijdende stoffen

Aanvullend op de analyse van het aantal normoverschrijdingen in 2024, is onderzocht hoe de aanwezigheid van de meest voorkomende probleemstoffen zich tussen 2015 en 2024 heeft ontwikkeld. Bijlage 4 geeft een overzicht van de stoffen die in meer dan 1 procent van de wateren de norm overschrijden. In bijlage 5 zijn de top 10-lijsten van normoverschrijdende stoffen opgenomen en bijlage 6 bevat de ontwikkeling van normoverschrijdingen per stof in officiële en stedelijke zwemwateren.

Voor de drie meest voorkomende probleemstoffen, PFOS, PBDE's en heptachloor/heptachloorepoxide, is vanaf 2021 een duidelijke toename in het aandeel normoverschrijdingen zichtbaar. Vanaf dat jaar wordt voor deze stoffen in meer dan de helft van de onderzochte zwemwateren de norm overschreden. Ook arseen, ammonium, seleen en kobalt overschrijden in meer dan de helft van de zwemwateren de norm. Voor deze stoffen is, met uitzondering van ammonium in officiële zwemwateren, eveneens een overwegend stijgende ontwikkeling in het aantal normoverschrijdingen zichtbaar.

Daarnaast neemt het aantal overschrijdingen in officieel zwemwater voor de bestrijdingsmiddelen lambda-cyhalothrin, esfenvaleraat en deltamethrin de laatste jaren toe. Voor kwik, benzo(ghi)peryleen, benzo(b) fluorantheen en fluorantheen is juist een afname in het aantal normoverschrijdingen zichtbaar.

De ontwikkeling over de tijd laat zien dat de chemische verontreiniging van zwemwateren wordt veroorzaakt door een breed scala aan stoffen. Persistente industriële en verbrandingsgerelateerde stoffen, bestrijdingsmiddelen, metalen en antifoulingmiddelen dragen hier allemaal aan bij. In de volgende paragrafen wordt op basis van literatuuronderzoek per stofgroep ingegaan op de belangrijkste stoffen, hun emissieroutes en persistentie, en de mogelijke gevolgen voor mens en natuur.

52 Compendium voor de Leefomgeving, *Chemische waterkwaliteit oppervlaktewater KRW, 2024*.
53 *Koepelrapport tussenevaluatie KRW*, 2024

Chemische stof	Stofgroep	Type*	% officiële zwem-wateren waarin stof normoverschrijdend is	% stedelijke zwem-wateren waarin stof normoverschrijdend is
Perfluoroctylsulfonaat (PFOS)	Persistente industriële stoffen	PS	67,8	96,7
Som PBDE 28, 47, 99, 100, 153 en 154 (PBDE's)	Persistente industriële stoffen	PS	98,0	86,7
Dioxinen en dioxineachtigen	Persistente industriële stoffen	PS	X	16,7
Benzo(a)pyreen	PAK's	PS	X	26,7
Benzo(a)antraceen	PAK's	SVS	X	60
Benzo(b)fluorantheen	PAK's	PS	15,1	56,7
Benzo(ghi)peryleen	PAK's	PS	7,8	43,3
Fluorantheen	PAK's	PS	13,2	53,3
Som van heptachloor en cis-heptachloorepoxide	Bestrijdings-middelen	PS	67	35
Lambda-cyhalothrin	Bestrijdingsmiddelen	SVS	33,2	X
Deltamethrin	Bestrijdingsmiddelen	SVS	26,8	X
Dichloorvos	Bestrijdingsmiddelen	PS	4,9	X
Esfenvaleraat	Bestrijdingsmiddelen	SVS	30,2	X
Imidacloprid	Bestrijdingsmiddelen	SVS	X	16,7
Kwik	Metalen	PS	35,6	60
Arseen	Metalen	SVS	85,4	93,3
Seleen	Metalen	SVS	73,7	76,7
Ammonium	Metalen	SVS	53,2	96,7
Kobalt	Metalen	SVS	50,7	83,3
Uranium	Metalen	SVS	10,2	26,7
Zink	Metalen	SVS	11,7	30
Boor	Metalen	SVS	X	20
Koper	Metalen	SVS	X	16,7
Zilver	Metalen	SVS	9,8	X
Tributyltin	Antifouling	PS	12,2	36,7
Irgarol	Antifouling	PS	3,9	X

*Tabel 1: Gecombineerde lijst van meest normoverschrijdende prioritaire en specifiek verontreinigende stoffen in officiële zwemwateren en stedelijke zwemwateren. * PS = prioritaire stoffen, SVS = specifiek verontreinigende stoffen, X = geen overschrijding.*

5.3 Evaluatie van de stofgroepen

Om meer inzicht te krijgen in de oorsprong en mogelijke gevolgen van de meest normoverschrijdende stoffen, is voor de 26 geselecteerde stoffen een literatuurstudie uitgevoerd. Een overzicht van de geraadpleegde bronnen per stof is opgenomen bijlage 4. Daarbij is gekeken naar in welke sectoren de stoffen toegepast worden, emissieroutes en bronnen, de mate waarin stoffen persistent zijn in het milieu en de mens, en de bekende effecten op aquatische ecosystemen en de menselijke gezondheid.

Voor de beschrijving van de toepassing en emissieroute is onderzocht in welke sectoren de stoffen worden gebruikt of vrijkomen. Ook is onderzocht via welke toepassing zij in het oppervlaktewater terecht kunnen komen.

Bij de beoordeling van de mogelijke effecten speelt persistentie een belangrijke rol. Persistentie geeft aan hoelang een stof aanwezig blijft in het milieu en de mens voordat deze wordt afgebroken of uit het systeem verdwijnt. Een belangrijke maat hiervoor is de halfwaardetijd, oftewel de tijd die nodig is voordat de concentratie van een stof met de helft is afgenomen. Stoffen met een lange halfwaardetijd worden vaak aangeduid als persistente stoffen. Persistentie zegt niet direct iets over de mate van de ecologische of gezondheidseffecten. Deze eigenschap bepaalt echter wel grotendeels hoelang ecosystemen en mensen aan een stof kunnen worden blootgesteld.

De mogelijke gezondheidseffecten van chemische stoffen hangen niet alleen af van hun persistentie. Ze hangen ook af van de concentratie waarin ze voorkomen, de duur van de blootstelling en de eigenschappen van de stof. In het vervolg van deze paragraaf wordt gekeken naar deze eigenschappen en effecten per stofgroep.

5.3.1 Persistente industriële stoffen

Belangrijkste stoffen

De belangrijkste normoverschrijdende stoffen binnen deze stofgroep zijn perfluoroctylsulfonaat (PFOS), polybroomdifenylethers (PBDE's) en dioxinen en dioxineachtige stoffen (hierna dioxinen). PFOS behoort tot de PFAS-groep en werd toegepast in onder meer blusschuim, water- en vuilafstotende coatings, textielimpregneermiddelen en industriële processen. PBDE's werden gebruikt als vlamvertragers in elektronica, textiel en kunststoffen. Dioxinen ontstaan voornamelijk als bijproduct van verbrandings- en industriële processen.

Veel toepassingen van deze stoffen zijn inmiddels verboden of sterk beperkt. Historische emissies vormen echter nog steeds een belangrijke bron van belasting van oppervlaktewateren.

Emissieroutes

Belangrijke emissieroutes van PFOS en PBDE's zijn:

- Industriële lozingen;
- Afvalverwerking;
- Uitloging en slijtage van bestaande producten;
- Historische verontreinigingen.

Van dioxinen is daarnaast bekend dat ze via atmosferische depositie in oppervlaktewater terechtkomen.

Persistentie

Zoals de naam van deze stofgroep al aangeeft, worden deze stoffen gekenmerkt door een hoge persistentie. Voor PFOS geldt een halfwaardetijd in water en bodem van meer dan veertig jaar. Voor dioxinen varieert de halfwaardetijd in bodem van tien tot honderd jaar. In het water worden dioxinen nooit echt afgebroken, maar zakken ze uit naar het sediment. PBDE's hebben een halfwaardetijd in de bodem tot tien jaar. In het water varieert dit tussen een maand en een jaar.

Ook in het menselijk lichaam blijven deze stoffen langdurig aanwezig. Voor PFOS bedraagt de halfwaardetijd enkele jaren, voor PBDE's twee tot drie jaar en voor dioxinen vijf tot vijftien jaar.

Aquatische effecten

Door hun persistentie en vermogen zich op te hopen in voedselketens (bioaccumulatie), kunnen deze stoffen langdurige effecten veroorzaken in aquatische ecosystemen. Bij vissen en andere waterorganismen worden effecten beschreven op groei en ontwikkeling, voortplanting, hormoonhuishouding, immuunfunctie en overleving van nakomelingen. Verschillende stoffen binnen deze groep zijn bioaccumulerend en kunnen in concentraties toenemen naarmate organismen hoger in de voedselketen voorkomen.

Gezondheidseffecten

Bij mensen worden persistente industriële stoffen in verband gebracht met uiteenlopende gezondheidseffecten. PFOS wordt onder meer in verband gebracht met effecten op het immuunsysteem, cholesterolhuishouding, leverfunctie en ontwikkeling. PBDE's worden geassocieerd met effecten op het zenuwstelsel, de hormoonhuishouding en de ontwikkeling. Dioxinen worden in verband gebracht met hormoonverstoring, effecten op het immuunsysteem, ontwikkelingsstoornissen en een verhoogd risico op bepaalde vormen van kanker.

Door hun lange verblijftijd in het milieu en hun vermogen zich op te hopen in organismen en voedselketens, behoren deze stoffen tot de meest persistente chemische verontreinigingen in oppervlaktewater. Hierdoor kunnen zij nog lang na beëindiging van emissies bijdragen aan normoverschrijdingen en blootstelling van mens en milieu.

5.3.2 Verbrandingsgerelateerde stoffen: PAK's

Belangrijkste stoffen

Binnen de lijst van meest normoverschrijdende stoffen behoren benzo(a)pyreen, benzo(a)antraceen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, benzo(ghi)peryleen en fluorantheen tot de belangrijkste polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

Emissieroutes en bronnen

PAK's ontstaan voornamelijk bij onvolledige verbranding van organisch materiaal en fossiele brandstoffen. Belangrijke bronnen zijn verkeer, houtkachels en open haarden, industriële verbrandingsprocessen, afvalverbranding en tabaksrook. Via atmosferische depositie, afstromend regenwater en directe emissies komen deze stoffen in het oppervlaktewater terecht.

Persistentie

De persistentie van PAK's varieert per stof en is sterk afhankelijk van de omgevingsomstandigheden. In oppervlaktewater worden veel PAK's relatief snel afgebroken, terwijl zij zich in bodem en sediment kunnen ophopen. Vooral in zuurstofarme omstandigheden verloopt de afbraak aanzienlijk trager, waardoor sommige PAK's jarenlang aanwezig kunnen blijven in sedimenten. De halfwaardetijd in het menselijk lichaam is relatief kort en varieert doorgaans van enkele uren tot enkele dagen.

Aquatische effecten

Binnen aquatische ecosystemen worden PAK's geassocieerd met oxidatieve stress, DNA-schade, ontwikkelingsstoornissen, groeivertraging en verstoringen van de voortplanting. Veel PAK's binden zich aan organisch materiaal en sediment, waardoor vooral organismen die leven in of nabij de waterbodem gevoelig zijn voor blootstelling.

Gezondheidseffecten
Voor mensen worden verschillende PAK's beschouwd als genotoxisch en kankerverwekkend. Vooral benzo(a)pyreen, benzo(a)antraceen, benzo(b)fluorantheen en benzo(k)fluorantheen worden in verband gebracht met DNA-schade en een verhoogd risico op kanker. De belangrijkste blootstellingsroutes zijn voedsel, luchtverontreiniging en beroepsmatige blootstelling aan verbrandingsproducten.

Door de voortdurende aanvoer vanuit verkeer, verbrandingsprocessen en andere emissiebronnen blijven PAK's een belangrijke bijdrage leveren aan de chemische belasting van oppervlaktewateren.

5.3.3 Bestrijdingsmiddelen en biociden

Belangrijkste stoffen

Binnen deze stofgroep behoren heptachloor, heptachloorepoxide, imidacloprid, dichloorvos, lambda-cyhalothrin, deltamethrin en esfenvaleraat tot de belangrijkste normoverschrijdende stoffen. Een deel van deze stoffen is inmiddels verboden of sterk beperkt, maar wordt nog steeds aangetroffen in oppervlaktewater. Dit geldt met name voor stoffen die persistent zijn of waarvoor historische emissies een belangrijke rol blijven spelen.

Bestrijdingsmiddelen vormen een belangrijke bijdrage aan de chemische belasting van oppervlaktewateren. Volgens het RIVM zijn de drie nog (beperkt) toegelaten pyrethroïde insecticiden deltamethrin, lambda-cyhalothrin en esfenvaleraat samen verantwoordelijk voor ongeveer 90 procent van de berekende toxiciteit van bestrijdingsmiddelen in Nederlands oppervlaktewater.[54]

54 Lahr et al., *Synthetic Pyrethroids and Water Quality*.

Emissieroutes en bronnen

Bestrijdingsmiddelen en biociden worden toegepast voor de bestrijding van ongewenste insecten, schimmels en andere organismen. Belangrijke emissieroutes naar oppervlaktewater zijn landbouwtoepassingen, zaad- en bodembehandeling, erfafspoeling, tuin- en groenbeheer en particulier gebruik. Via afspoeling, uitspoeling en drainage kunnen deze stoffen het oppervlaktewater bereiken. Voor heptachloor, heptachloorepoxide en dichloorvos vormen daarnaast historische toepassingen van inmiddels verboden middelen een relevante bron.

De stoffen bereiken het oppervlaktewater voornamelijk via afspoeling, uitspoeling en drainage. Voor stoffen zoals heptachloor, heptachloorepoxide en dichloorvos spelen historische toepassingen nog steeds een rol.

Analyses van de Bestrijdingsmiddelenatlas laten zien dat normoverschrijdingen vooral worden geassocieerd met landbouwgerelateerd landgebruik.[55] Dit wijst erop dat landbouwgerelateerde emissies een belangrijke bijdrage leveren aan de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater.

Persistentie

De persistentie van bestrijdingsmiddelen varieert sterk tussen stoffen. Dichloorvos breekt relatief snel af, terwijl stoffen zoals lambda-cyhalothrin, deltamethrin en esfenvaleraat maanden aanwezig kunnen blijven doordat zij zich sterk binden aan sediment en organisch materiaal.

Heptachloor en vooral het afbraakproduct heptachloorepoxide behoren tot de meest persistente stoffen binnen deze groep en kunnen jaren- tot decennialang aanwezig blijven in bodem en sediment en is vaak nog persistenter dan de oorspronkelijke stof.

Voor lambda-cyhalothrin, deltamethrin en esfenvaleraat geldt bovendien dat een groot deel van de beschikbare meetgegevens niet toetsbaar is. Hierdoor kan de werkelijke omvang van normoverschrijdingen groter zijn dan uit de beschikbare toetsbare meetresultaten blijkt.

De halfwaardetijd in het menselijk lichaam is voor de meeste stoffen binnen deze groep relatief kort, variërend van uren tot enkele dagen. Een uitzondering is heptachloorepoxide, waarvoor halfwaardetijden van één tot twee jaar zijn beschreven.

Aquatische effecten

De meeste stoffen binnen deze groep zijn specifiek ontwikkeld om het zenuwstelsel of andere essentiële processen van insecten aan te tasten. Daardoor zijn insectenlarven, kreeftachtigen en andere ongewervelden het meest gevoelig voor deze stoffen. De afname van het aantal insecten als gevolg betekent minder voedsel voor vissen, amfibieën en watervogels, waardoor hele voedselketens worden verstoord.

Daarnaast zijn effecten beschreven zoals acute sterfte, groeivertraging, gedragsveranderingen, voortplantings- en ontwikkelingsstoornissen. Voor verschillende stoffen, waaronder imidacloprid, lambda-cyhalothrin, deltamethrin en esfenvaleraat, zijn ook effecten beschreven bij vissen en amfibieën, zoals oxidatieve stress, groeivertraging en verstoring van de ontwikkeling.

Gezondheidseffecten

Voor diverse bestrijdingsmiddelen en biociden zijn neurotoxische effecten beschreven. Daarnaast worden voor sommige van deze stoffen effecten genoemd op de voortplanting, ontwikkeling, hormoonhuishouding en het immuunsysteem. Heptachloor en heptachloorepoxide worden bovendien geassocieerd met levertoxiciteit, ontwikkelingsstoornissen en een verhoogd risico op kanker bij langdurige blootstelling. Voor de meeste bestrijdingsmiddelen in deze analyse is de bewijslast voor effecten bij mensen echter beperkter dan voor aquatische organismen.

5.3.4 Metalen en andere anorganische stoffen

Belangrijkste stoffen

Binnen deze stofgroep behoren kwik, arseen, kobalt, koper, uranium, zink, seleen, boor, ammonium en zilver tot de belangrijkste normoverschrijdende stoffen. Het gaat hierbij om metalen en andere anorganische stoffen die van nature voorkomen, maar door menselijke activiteiten in verhoogde concentraties in het oppervlaktewater aanwezig kunnen zijn.

Emissieroutes en bronnen

Metalen en andere anorganische stoffen zijn afkomstig uit uiteenlopende bronnen. Belangrijke emissieroutes zijn industriële activiteiten, afvalwater, landbouw, historische verontreinigingen en natuurlijke processen in bodem en ondergrond. Voor sommige stoffen, zoals arseen, uranium en boor, spelen natuurlijke achtergrondconcentraties ook een rol.

55 Bestrijdingsmiddelenatlas, *Top landgebruik overschrijdingen*.

De toepassingen verschillen sterk per stof. Zo wordt koper toegepast in elektrotechniek en landbouw, zink onder meer in meststoffen, veevoer en corrosiebescherming, kobalt in batterijen en elektronica, en zilver in medische toepassingen en consumentenproducten. Uranium wordt voornamelijk gebruikt voor kernenergie en medische isotopen, terwijl ammonium vooral samenhangt met landbouw en afvalwater.

Persistentie

In tegenstelling tot organische stoffen breken metalen niet af. Veel metalen kunnen daardoor langdurig aanwezig blijven in waterbodems en sedimenten en onder veranderende omstandigheden opnieuw vrijkomen. Hierdoor kunnen normoverschrijdingen lang blijven bestaan, ook wanneer emissies afnemen.

De tijd die metalen en andere anorganische stoffen in het menselijk lichaam aanwezig blijven, verschilt sterk per stof en per chemische vorm. Sommige stoffen worden relatief snel uitgescheiden, zoals anorganisch arseen en boor. Andere stoffen kunnen zich gedurende langere tijd ophopen in organen, spieren of botten. Hierdoor kunnen effecten soms langdurig aanwezig blijven.

Ammonium neemt binnen deze groep een bijzondere positie in. Anders dan de meeste andere stoffen maakt ammonium onderdeel uit van de natuurlijke stikstofcyclus en wordt het afhankelijk van lokale omstandigheden omgezet in andere stikstofverbindingen. Hierdoor wordt ammonium niet als persistente stof beschouwd.

Aquatische effecten

De ecologische effecten verschillen per stof en zijn sterk afhankelijk van de lokale waterkwaliteit. Veel van deze stoffen kunnen zich ophopen in organismen en processen verstoren zoals groei, ontwikkeling en voortplanting.

Voor kwik, arseen, uranium, zilver en verhoogde concentraties koper, zink en kobalt zijn effecten beschreven op groei, ontwikkeling, voortplanting, gedrag en overleving van aquatische organismen. Daarnaast worden oxidatieve stress, orgaanschade en verstoring van ecosystemen gerapporteerd. Vooral zilver blijkt zeer toxisch voor algen, watervlooien en vissen, terwijl de toxiciteit van koper en zink sterk afhankelijk is van de lokale waterchemie en biologische beschikbaarheid.

Ook ammonium kan bij verhoogde concentraties schadelijk zijn voor aquatische organismen. Hoge concentraties worden in verband gebracht met verstoring van de zuurstofhuishouding, beschadiging van kieuwen, groeiremming, voortplantingsstoornissen en sterfte van gevoelige soorten.

Gezondheidseffecten

Voor verschillende metalen, waaronder kwik, arseen en uranium, zijn effecten beschreven op het zenuwstelsel, de nieren en het cardiovasculaire systeem. Daarnaast worden voor sommige stoffen effecten genoemd op ontwikkeling, voortplanting, hormoonhuishouding en het immuunsysteem. Arseen wordt bovendien in verband gebracht met een verhoogd risico op kanker.

Voor koper, zink, seleen en kobalt geldt dat het stoffen zijn die het menselijk lichaam in kleine hoeveelheden nodig heeft voor een goede werking, maar bij verhoogde blootstelling schadelijke effecten veroorzaken.

5.3.5 Antifoulingmiddelen

Belangrijkste stoffen

Binnen deze stofgroep behoren tributyltin en irgarol (ook bekend als cybutryne) tot de belangrijkste normoverschrijdende stoffen.

Emissieroutes en bronnen

Beide stoffen werden toegepast in aangroeiwerende coatings (antifoulingverven) om de aangroei van organismen op scheepsrompen te voorkomen.

De belangrijkste emissiebronnen van deze stoffen zijn de beroepsvaart, recreatievaart en jachthavens. Tijdens gebruik kunnen de stoffen uit antifoulingverf vrijkomen en in het oppervlaktewater terechtkomen.

Persistentie

Zowel tributyltin als irgarol zijn inmiddels verboden. Tributyltin wordt echter nog steeds aangetroffen doordat de stof langdurig aanwezig blijft in waterbodems en sedimenten. Voor irgarol geldt dat alle toelatingen zijn beëindigd en dat de toepassing op schepen internationaal is verboden. Aanhoudende normoverschrijdingen kunnen daardoor een aanwijzing zijn voor illegaal gebruik.[56]

56 Informatiepunt Leefomgeving (IPLO), *Stoffiche Cybutryne*.

Beide stoffen kunnen gedurende langere tijd aanwezig blijven in het aquatisch milieu, maar de mate van persistentie verschilt. Tributyltin is de meest persistente stof. Afhankelijk van de omstandigheden varieert de halfwaardetijd van enkele maanden tot meer dan tien jaar, terwijl de stof in verontreinigde sedimenten nog veel langer aanwezig kan blijven. Irgarol is minder persistent en kent halfwaardetijden van enkele maanden in water en sediment. Hierdoor kunnen normoverschrijdingen van tributyltin nog lange tijd voortduren als gevolg van historische verontreiniging, terwijl de aanwezigheid van irgarol eerder kan wijzen op recente emissies.

Aquatische effecten

Antifoulingmiddelen behoren tot de meest toxische stoffen voor veel aquatische organismen. Tributyltin wordt geassocieerd met hormoonverstoring, voortplantingsproblemen en effecten op de ontwikkeling van waterorganismen. Irgarol remt de fotosynthese van algen en waterplanten en kan daardoor veranderingen veroorzaken in de soortensamenstelling van aquatische ecosystemen.

Gezondheidseffecten

Voor mensen worden de gezondheidsrisico's via zwemmen in oppervlaktewater over het algemeen beperkt geacht. Voor tributyltin zijn effecten beschreven op het immuunsysteem, de hormoonhuishouding en de voortplanting, maar de bewijslast voor effecten bij mensen is beperkter dan voor ecologische effecten.

5.4 Conclusie stoffen, emmissieroutes en gevolgen

Uit de beoordeling van normoverschrijdingen blijkt dat bij vrijwel alle zwemlocaties normoverschrijdingen van chemische stoffen worden waargenomen.

In de officiële zwemwateren worden de meeste normoverschrijdingen veroorzaakt door PBDE's (vlamvertragers), heptachloor en heptachloorepoxide, kwik, PFOS, verschillende metalen en diverse bestrijdingsmiddelen. Daarnaast zijn ook verschillende polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en antifoulingmiddelen regelmatig normoverschrijdend. In onofficiële stedelijke zwemwateren komen relatief vaker normoverschrijdingen terug van stoffen die samenhangen met verkeer, industrie, huishoudelijke verbranding en historische stedelijke activiteiten. Het gaat dan om verschillende PAK's, tributyltin en dioxinen. In beiden typen zwemwateren zijn normoverschrijdingen te vinden van persistente industriële stoffen, metalen en verbrandingsgerelateerde stoffen. Vooral PFOS, PBDE's, arseen, seleen en kwik zijn veelvuldig aanwezig.

De beoordeling laat zien dat 26 van de 122 KRW-stoffen verantwoordelijk zijn voor het grootste deel van de normoverschrijdingen in officiële en onofficiële stedelijke zwemwateren. De normoverschrijdingen worden veroorzaakt door zowel actuele emissies van stoffen die nog zijn toegestaan als door historische verontreinigingen van stoffen die al langere tijd verboden zijn en naar verwachting al geruime tijd niet meer worden gebruikt. Voor verschillende stoffen die inmiddels verboden of sterk beperkt zijn, blijven normoverschrijdingen optreden door hun hoge persistentie en vermogen zich op te hopen in bodem, sediment en voedselketens.

De beschreven stoffen hebben negatieve effecten op aquatische ecosystemen. Daaronder zijn verstoring van groei, ontwikkeling en voortplanting van waterorganismen. Daarnaast zijn voor verschillende stoffen gezondheidseffecten beschreven. Die variëren van effecten op het zenuwstelsel en het immuunsysteem tot hormoonverstoring en kanker.

De wijdverbreide aanwezigheid van chemische stoffen bij zwemlocaties benadrukt het belang van een brede blik op waterkwaliteit, ook in relatie tot zwemwater. Ook is het belang van monitoring duidelijk: vanaf het moment dat een stof zoals PFOS veelvuldig wordt gemeten, blijkt deze wijdverspreid te zijn. Zonder de metingen blijft de persistentie en aanwezigheid van chemische stoffen onder de radar. In hoofdstuk 7 'Aanbevelingen' wordt verder ingegaan op hoe verschillende verantwoordelijke partijen met deze conclusies aan de slag kunnen om de chemische druk op zwemwateren te verminderen.

6. CONCLUSIES

De kwaliteit van zwemwater wordt formeel bepaald door een smalle set aan criteria, met name de aanwezigheid van intestinale enterokokken, E. coli en blauwalg. De kwaliteit van zwemwater kan echter niet los worden gezien van de ecologische en chemische toestand van het onderliggende watersysteem. Nutriëntenbelasting, temperatuur, zuurstofhuishouding en biologisch functioneren beïnvloeden niet alleen het ecosysteem, maar ook de manier en snelheid waarop schadelijke stoffen zich in het watersysteem gedragen en worden afgebroken. De enorme hoeveelheid verschillende chemische stoffen die in het oppervlaktewater aanwezig zijn, beïnvloeden niet alleen het leven in het water maar ook de gezondheid van de zwemmer.

In dit onderzoek zijn de trends in ecologische en chemische waterkwaliteit van alle KRW-wateren vergeleken met die van 262 wateren met officiële en onofficiële zwemlocaties. De resultaten laten zien dat veel wateren waarin wordt gezwommen te maken hebben met bredere waterkwaliteitsproblemen die buiten de huidige zwemwaterbeoordeling op basis van ziekteverwekkers en blauwalgen blijven.
De ecologische kwaliteit stagneert en chemische normoverschrijdingen komen overal voor. Landbouw, verkeer, industrie en andere vervuilingsbronnen blijven de kwaliteit van het watersysteem en het zwemwater onder druk zetten.

De verbetering van de waterkwaliteit stagneert

In de onderzochte wateren zijn voor verschillende kwaliteitselementen verbeteringen zichtbaar. Met name voor vissen en macrofauna neemt het aandeel wateren met een goede beoordeling toe. Ook de fysisch-chemische kwaliteit is op onderdelen verbeterd ten opzichte van 2015. Tegelijkertijd blijft deze vooruitgang beperkt. De biologische kwaliteitselementen laten landelijk en in stedelijke zwemwateren een verbetering zien, maar in officiële zwemwateren stagneert de ontwikkeling. Met uitzondering van het biologische kwaliteitsoordeel blijft het aandeel wateren met een goede beoordeling voor de ecologische, fysisch-chemische en chemische kwaliteit onder de 50 procent.

Voor veel kwaliteitselementen wordt minder dan de helft van de wateren als goed beoordeeld. Voor stikstof en fosfor, twee belangrijke bepalende factoren voor de waterkwaliteit, zijn sinds ongeveer 2021 nauwelijks verdere verbeteringen zichtbaar en doen officiële zwemwateren het slechter dan het landelijke gemiddelde. Zowel landelijk als in officiële zwemwateren neemt het risico op potentieel toxische blauwalgen toe.

De beperkte vooruitgang op afzonderlijke kwaliteitselementen vertaalt zich daarmee uiteindelijk niet in een verbetering van het overkoepelende ecologische kwaliteitsoordeel. In geen van de onderzochte officiële of stedelijke zwemwateren wordt in 2024 een goede ecologische kwaliteit bereikt. Officiële zwemwateren scoren daarbij relatief beter, en stedelijk zwemwater juist slechter dan het landelijke gemiddelde.

Ook voor de chemische kwaliteit is het beeld weinig positief. Het aantal zwemwateren dat voldoet aan alle chemische kwaliteitseisen, is teruggelopen naar nul in 2024. Normoverschrijdingen van chemische stoffen komen in alle zwemwateren voor. Voor de selectie van KRW-impulsstoffen is de trend in de afgelopen tien jaar positief, maar de huidige aanpak voor verbetering van de waterkwaliteit lijkt onvoldoende om de kwaliteit van wateren waarin wordt gezwommen structureel te verbeteren. Belangrijk is hierbij op te merken dat ook voor chemische stoffen er sprake kan zijn van een na-ijleffect van maatregelen. Het beëindigen of verminderen van emissies leidt niet noodzakelijk direct tot een verbetering van de waterkwaliteit. Historische verontreinigingen vanuit bodem, grondwater en sediment kunnen namelijk nog lange tijd worden nageleverd. Hierdoor kunnen maatregelen pas na verloop van tijd zichtbaar effect hebben op de concentraties van chemische stoffen in het oppervlaktewater.

Chemische normoverschrijdingen structureel probleem in zwemwater

In alle onderzochte zwemwateren werden meerdere normoverschrijdende stoffen aangetroffen. Chemische verontreiniging in zwemwateren blijkt daarmee geen incident, maar een structureel probleem.

De meeste normoverschrijdingen worden veroorzaakt door een relatief beperkte groep stoffen. Die zijn onder te verdelen in vijf stofgroepen: persistente industriële stoffen, verbrandingsgerelateerde stoffen (PAK's), bestrijdingsmiddelen en biociden, metalen en andere anorganische stoffen, en antifoulingmiddelen.

Daarbij is het belangrijk om te realiseren dat voor de Kaderrichtlijn Water gemeten wordt op een beperkte selectie van 122 stoffen. De aangetroffen normoverschrijdingen hebben daarmee betrekking op slechts een deel van de stoffen die daadwerkelijk in oppervlaktewater aanwezig kunnen zijn. De werkelijke chemische belasting van zwemwateren kan daardoor groter zijn dan in dit onderzoek zichtbaar wordt.

Grootste vervuilingsbronnen van zwemwateren
In officiële zwemwateren worden ten opzichte van stedelijke wateren vaker normoverschrijdingen gevonden van bestrijdingsmiddelen zoals lambda-cyhalothrin, deltamethrin en esfenvaleraat. In stedelijke zwemwateren worden juist relatief vaker PAK's, dioxinen en tributyltin aangetroffen. Stoffen als PFOS, PBDE's, heptachloor(epoxide) en kwik horen in beide typen wateren tot de meest voorkomende normoverschrijdende stoffen.

Veel zwemwateren zijn verbonden met andere wateren. Voor schoon en gezond zwemwater zal dan ook het omliggende watersysteem schoon en gezond moeten zijn. Verbetering van de zwemwaterkwaliteit vraagt daarom niet alleen om maatregelen op zwemlocaties zelf. Het vraagt om het structureel terugdringen van emissies uit landbouw, industrie, verkeer, afvalwater en andere bronnen die bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater.

7. AANBEVELINGEN

Zwemmen en recreëren in buitenwater levert een belangrijke bijdrage aan gezondheid, welzijn en leefkwaliteit. Het doel van de aanbevelingen in dit hoofdstuk is daarom niet om recreatie in open water te beperken, maar juist om ervoor te zorgen dat meer mensen veilig gebruik kunnen maken van schoon en gezond zwemwater.

De Europese Commissie concludeert in haar evaluatie van de Zwemwaterrichtlijn dat deze weliswaar effectief is voor monitoring op microbiologische risico's, maar geen volledig beeld geeft van de bredere risico's voor mens en milieu. Een zwemwater kan daardoor als 'uitstekend' worden beoordeeld, terwijl er tegelijkertijd sprake is van chemische verontreiniging. In lijn met de Europese Commissie laat dit onderzoek zien dat de kwaliteit van zwemwateren wordt beïnvloed door een brede groep aan stoffen en drukfactoren.

Op basis van het hier uitgevoerde onderzoek zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd om de kwaliteit van het zwemwater in Nederland te verbeteren, nu en in de toekomst:

1. **Bescherm water en zwemmers beter tegen chemische verontreinigingen,** door aanpassingen in vergunningen, door toezicht en handhaving, en door maatregelen voor bronaanpak;
2. **Monitor álle zwemlocaties op chemische stoffen** zodat verontreinigingsbronnen en risico''s tijdig kunnen worden vastgesteld en gerichte maatregelen kunnen worden genomen;
3. **Verbied de productie, toepassing en lozing van persistente stoffen** om langdurige vervuiling van buitenwater te voorkomen.

De verantwoordelijkheid voor de kwaliteit van zwemwater is verdeeld over verschillende overheden en beheerders. Verbetering van de waterkwaliteit vraagt daarom om inzet van het Rijk, provincies, waterschappen, Rijkswaterstaat, omgevingsdiensten en andere betrokken partijen, ieder vanuit de eigen wettelijke bevoegdheden en verantwoordelijkheden.

1. Bescherm water en zwemmers beter tegen chemische verontreinigingen

De chemische stoffen die in dit onderzoek zijn geanalyseerd, maken geen onderdeel uit van de reguliere zwemwatermonitoring. Gezien de brede aanwezigheid van normoverschrijdende chemische stoffen zijn extra maatregelen nodig om de waterkwaliteit en volksgezondheid in zwemwater te beschermen:

a. Versterk de toets op zwemlocaties in vergunningverlening en lozingsbeleid

Voor veel van de normoverschrijdende stoffen zijn de belangrijkste bronnen en emissieroutes al bekend. De grootste winst voor zwemwaterkwaliteit ligt daarom niet op de zwemlocatie zelf, maar bij het terugdringen van vervuiling uit landbouw, glastuinbouw, industrie, verkeer, afvalwater en scheepvaart.

De aanwezigheid van zwemlocaties wordt weliswaar meegewogen in immissietoetsen, maar desondanks is er sprake van toename van concentraties van stoffen op zwemlocaties. Maak daarom meer werk van de herziening van verleende lozingsvergunningen. Beoordeel ook regelmatig of de algemene regels en maatwerkvoorschriften voor vergunningsvrije lozingen wel afdoende zijn om de kwaliteit van zwemwater te garanderen.

Dit onderzoek laat zien dat in veel wateren waarin wordt gezwommen normoverschrijdingen van chemische stoffen voorkomen. Daarom zouden provincies, waterschappen, Rijkswaterstaat en omgevingsdiensten ook veelgebruikte niet-officiële zwemlocaties expliciet moeten meenemen bij vergunningverlening en immissietoetsen. Zo kan beter worden voorkomen dat activiteiten die stroomopwaarts plaatsvinden leiden tot verslechtering van wateren waarin mensen zwemmen.

b. Zet sterker in op toezicht en handhaving

Daarnaast verdienen toezicht en handhaving door omgevingsdiensten, waterschappen en provincies extra aandacht. Verschillende stoffen die in dit onderzoek als probleemstof naar voren komen, zijn inmiddels verboden of sterk gereguleerd. Toch worden ze nog steeds aangetroffen in oppervlaktewater. Een deel daarvan kan worden verklaard door historische vervuiling. De aanwezigheid van sommige stoffen vraagt echter ook om betere naleving van bestaande regels en intensiever toezicht op emissies en toepassingen.

c. Maatregelen en omgevingsbeleid

Voor verbetering van de zwemwaterkwaliteit is niet altijd nieuwe of aangepaste regelgeving nodig. Op grond van de Omgevingswet en het Besluit activiteiten leefomgeving bestaan al instrumenten om vervuiling te voorkomen. Bedrijven hebben een zorgplicht voor de fysieke leefomgeving en moeten de beste beschikbare technieken toepassen om emissies zo veel mogelijk te beperken. Daarbovenop mogen zij geen significante verontreiniging veroorzaken. Provincies, waterschappen, Rijkswaterstaat en omgevingsdiensten kunnen deze bestaande instrumenten actiever inzetten om vervuiling die de kwaliteit van zwemwater beïnvloedt, terug te dringen.

2. Monitor álle zwemwateren op chemische stoffen en koppel deze monitoring aan concrete maatregelen

Momenteel wordt slechts een deel van de wateren waarin gezwommen wordt structureel gemonitord op chemische stoffen. Hierdoor ontbreekt een volledig beeld van de chemische druk op zwemwateren. Tegelijkertijd laat dit onderzoek zien dat normoverschrijdingen van chemische stoffen op veel zwemlocaties voorkomen en dat steeds meer mensen gebruikmaken van buitenwater voor recreatie.

Om zwemmers beter te beschermen, zouden provincies, waterschappen en Rijkswaterstaat, ondersteund door het Rijk, de monitoring van chemische stoffen moeten uitbreiden naar alle officiële zwemwaterlocaties. Alleen met een volledig beeld van de chemische waterkwaliteit kunnen risico's tijdig worden gesignaleerd en aangepakt. Dit betekent voor zwemlocaties een uitgebreid inzicht in de aanwezigheid en risico's van chemische stoffen en een koppeling aan maatregelen en beoordeling van zwemwaterkwaliteit.

Een gerichte aanpak van stoffen, zoals in het KRW-impulsprogramma, kan voor zwemwateren effectief zijn om de chemische druk op oppervlaktewater te verminderen. Gebruik monitoringgegevens om vast te stellen welke stoffen op zwemlocaties het grootste probleem vormen en geef deze prioriteit in beleid en maatregelen. Daarom is het belangrijk dat het Rijk, provincies, waterschappen en Rijkswaterstaat het Impulsprogramma ook na 2027 voortzetten. Ze zouden het bovendien moeten uitbreiden naar zwemwateren buiten KRW-waterlichamen.

3. Verbied de productie, toepassing en lozing van persistente stoffen

De aanwezigheid van verboden stoffen zoals PFOS, PBDE's, heptachloor(epoxide) en andere persistente verontreinigingen laten zien dat de gevolgen van toelatings- en vergunningsbesluiten nog tientallen jaren zichtbaar kunnen blijven in oppervlaktewater. Daarom zou het Rijk zich binnen de Europese Unie actief moeten inzetten voor een verbod op de productie, toepassing en lozing van stoffen die persistent zijn, zich ophopen in ecosystemen of op andere wijze risico's veroorzaken voor mens en milieu. Vooruitlopend op Europese regelgeving zou Nederland in navolging van Frankrijk en Denemarken een nationaal verbod moeten instellen op PFAS in pesticiden, verpakkingen en consumentenproducten.

Bij de toelating van nieuwe stoffen en de actualisatie van vergunningen, moet het voorzorgsbeginsel leidend zijn. Stoffen zouden alleen mogen worden toegelaten wanneer voldoende is aangetoond dat zij niet leiden tot schade aan mens en milieu. Juist omdat voortdurend nieuwe chemische stoffen op de markt komen, is het belangrijk deze eigenschappen vroegtijdig te beoordelen. Dit vraagt om aanscherping van het Europese beleid en toelatingskaders voor chemische stoffen.

In afwachting van Europese maatregelen moet het Rijk daarnaast alle beschikbare nationale instrumenten benutten om deze stoffen ook in Nederland verder te beperken of te verbieden. Wat vandaag wordt toegelaten, kan nog zichtbaar zijn in het zwemwater van de toekomst. Voorkomen is hierbij noodzakelijk én effectiever en goedkoper dan achteraf saneren.

REFERENTIELIJST

Algemene Rekenkamer. (2026). *Focus op industriële lozingen*. Den Haag: Algemene Rekenkamer. Beschikbaar via: https://www.rekenkamer.nl/site/binaries/site-content/collections/documents/2026/03/04/focus-op-industriele-lozingen/rapport-focus-op-industri-le-lozingen.pdf. Geraadpleegd op 19 augustus 2026.

Atlas Leefomgeving. (2025, 9 september). *Zwemmen in buitenwater groeit in populariteit. Wat vindt de natuur daarvan?* Geraadpleegd op 26 augustus 2026, van https://www.atlasleefomgeving.nl/nieuws/zwemmen-in-buitenwater-groeit-in-populariteit-wat-vindt-natuur-daarvan.

Bauer, M. *Europees zwemwater scoort goed, Nederland blijft achter*. Europa decentraal, 29 juni 2026. Beschikbaar via: https://europadecentraal.nl/nieuws/europees-zwemwater-scoort-goed-nederland-blijft-achter/

Bestrijdingsmiddelenatlas. *Atlas Bestrijdingsmiddelen in oppervlaktewater: Top landgebruik overschrijdingen*. Wageningen Environmental Research. Beschikbaar via: https://www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl/atlas/6/4. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Bestrijdingsmiddelenatlas. *Toxische druk: Algemene toelichting mengseltoxiciteit, toxische druk en biodiversiteitsverlies*. Wageningen Environmental Research. Beschikbaar via: https://www.bestrijdingsmiddelenatlas.nl/toelichtingen/toxischedruk. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Compendium voor de Leefomgeving (CLO). (2021). *Oppervlaktewater in Nederland* (indicator 1401, versie 01, 21 juni 2021). Den Haag/Bilthoven/Wageningen: Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en Wageningen University & Research (WUR). Beschikbaar via: https://www.clo.nl/indicatoren/nl140101-oppervlaktewater-in-nederland. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Compendium voor de Leefomgeving (CLO). (2025). *Biologische waterkwaliteit oppervlaktewater KRW, 2024* (indicator 1420, versie 06, 15 december 2025). Den Haag/Bilthoven/Wageningen: Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en Wageningen University & Research (WUR). Beschikbaar via: https://www.clo.nl/indicatoren/nl142006-biologische-waterkwaliteit-oppervlaktewater-krw-2024. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Compendium voor de Leefomgeving (CLO). (2025). *Fysisch-chemische waterkwaliteit KRW, 2024* (indicator 0252, versie 18, 15 december 2025). Den Haag/Bilthoven/Wageningen: Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en Wageningen University & Research (WUR). Beschikbaar via: https://www.clo.nl/indicatoren/nl025218-fysisch-chemische-waterkwaliteit-krw-2024. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Compendium voor de Leefomgeving (CLO). (2025). *Specifiek verontreinigende stoffen KRW, 2024* (indicator 1567, versie 06, 15 december 2025). Den Haag/Bilthoven/Wageningen: Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en Wageningen University & Research (WUR). Beschikbaar via: https://www.clo.nl/indicatoren/nl156706-specifiek-verontreinigende-stoffen-krw-2024. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Data.overheid.nl. *Zwemwaterlocaties en zwemwaterkwaliteit - monsterpunten*. Dataset beschikbaar gesteld via het Nederlandse open data portaal. Beschikbaar via: https://data.overheid.nl/dataset/11094-zwemwaterlocaties-en-zwemwaterkwaliteit---monsterpunten#panel-description. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Deltares. *Strategie voor de aanpak van eutrofiëring*. Delft: Deltares. Beschikbaar via: https://www.deltares.nl/expertise/onze-expertises/water-bodem-en-gezondheid/strategie-voor-de-aanpak-van-eutrofiering. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie. (2000). *Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid* (PbEG 2000, L 327/1). Luxemburg: Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen.

Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie. (2006). *Richtlijn 2006/7/EG van het Europees Parlement en de Raad van 15 februari 2006 betreffende het beheer van de zwemwaterkwaliteit en tot intrekking van Richtlijn 76/160/EEG* (PbEU 2006, L 64/37). Brussel/Luxemburg: Europese Unie.

Europees Parlement en Raad van de Europese Unie. (2013). *Richtlijn 2013/39/EU van het Europees Parlement en de Raad van 12 augustus 2013 tot wijziging van Richtlijn 2000/60/EG en Richtlijn 2008/105/EG wat betreft prioritaire stoffen op het gebied van het waterbeleid*. Publicatieblad van de Europese Unie, L 226, 24 augustus 2013, p. 1-17.

Europese Commissie. (2025). *Commission Staff Working Document: Evaluation of Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC* (SWD(2025) 52 final). Brussel: Europese Commissie, 6 maart 2025.

Het Waterkwaliteitsportaal. *Waterkwaliteitsportaal*. Platform voor gegevens over de kwaliteit van oppervlaktewater in Nederland. Beschikbaar via: https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Informatiehuis Water. *Informatiehuis Water*. Samenwerkingsverband van Rijkswaterstaat, provincies en waterschappen voor de beschikbaarstelling en uitwisseling van waterinformatie in Nederland. Beschikbaar via: https://www.ihw.nl/. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Informatiepunt Leefomgeving (IPLO). (2026). *Stoffiche Cybutryne* (versie 2, 6 juli 2026). Onderdeel van: *Stoffiches*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Beschikbaar via: https://iplo.nl/publish/pages/248395/05-gbm-cybutryne-versie-2-06072026.pdf. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). (2018). *Hydrologische droogte zet door*. Klimaatbericht, 30 oktober 2018. De Bilt: KNMI. Beschikbaar via: https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/hydrologische-droogte-zet-door. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Lahr, J., Smit, E., Komen, C., Buijs, S. & Wesdorp, K. (2024). *Synthetic Pyrethroids and Water Quality* (RIVM Letter Report 2023-0419). Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). https://doi.org/10.21945/RIVM-2023-0419.

Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R.W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, K., Lacerot, G., Liu, Z., De Meester, L., Paerl, H. & Scheffer, M. (2011). *Allied attack: climate change and eutrophication*. *Inland Waters*, 1(2), 101-105. https://doi.org/10.5268/IW-1.2.359.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2017). *Zwemwaterkwaliteit en wettelijke eisen*. Bilthoven: RIVM. Publicatiedatum 7 februari 2017, laatst gewijzigd op 5 oktober 2023. Beschikbaar via: https://www.rivm.nl/zwemwater/zwemwaterkwaliteit-wettelijke-eisen. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2020). *Blauwalgenprotocol 2020* (RIVM-briefrapport 2020-0107). Bilthoven: RIVM. DOI: 10.21945/RIVM-2020-107.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2024). *Blauwalgen in zwemwater*. Bilthoven: RIVM. Publicatiedatum 16 september 2024, laatst gewijzigd op 19 september 2024. Beschikbaar via: https://www.rivm.nl/zwemwater/blauwalgen%20in%20zwemwater. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL). (2023). *Memo stoffenlijst KRW-impuls* (17 juli 2023). In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Directoraat-Generaal Water en Bodem.

Rijkswaterstaat. *Downloadmodule Waterkwaliteitsportaal*. Toegang tot downloadbare waterkwaliteitsgegevens en meetresultaten van Nederlandse waterbeheerders. Beschikbaar via: https://wkp.rws.nl/downloadmodule. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Rijkswaterstaat. *Zwemwater*. Waterinfo Extra. Beschikbaar via: https://waterinfo-extra.rws.nl/monitoring/zwemwater/. Geraadpleegd op 18 augustus 2026

RIVM. *Wildzwemmen*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Beschikbaar via: https://www.rivm.nl/zwemwater/wildzwemmen. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

RIVM. *Zwemwaterkwaliteit en wettelijke eisen*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Beschikbaar via: https://www.rivm.nl/zwemwater/zwemwaterkwaliteit-wettelijke-eisen. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Rötscheid, T., Wuijts, S. & Van Rijswick, H. (2026). *Wetenschappelijke factsheet Kaderrichtlijn Water*. Parlement en Wetenschap, 4 juni 2026. Utrecht: Universiteit Utrecht. Beschikbaar via: https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/485928. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Slagter, L., M.H. Roseboom, D. van Wieringen, I.H. Phernambucq Nieuwkamer, Oosterom, E.C.M. Ruijgrok en Turlings. *Koepelrapport tussenevaluatie KRW*. 11 december 2024.

Sollie, S. & Kardinaal, E. (2020). *Risicobeoordeling blauwalgen in zwemwater: Nieuwe technieken voor de bepaling van de aanwezigheid van blauwalgtoxines* (STOWA-rapport 2020-09).

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). (2018). *Handreiking KRW-doelen, inclusief bestuurlijk-juridisch kader* (STOWA-rapport 2018-15.

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). (2024). *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027, versie mei 2024* (STOWA-rapport 2018-49).

Unie van Waterschappen. *Blauwalg*. Beschikbaar via: https://waterschappen.nl/waterkwaliteit/blauwalg/ Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Van Eck, L., K. Ouwerkerk en J. van den Roovaart. *Langjarige trends in de kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren*. Deltares rapport 11210346-011-ZWS-0001. 14 oktober 2024.

Wang, Z., Walker, G.W., Muir, D.C.G. & Nagatani-Yoshida, K. (2020). *Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories*. *Environmental Science & Technology*, 54(5), 2575-2584. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06379.

Waterrecreatie Nederland. (2025). *Watersportonderzoek 2024*. Den Haag: Waterrecreatie Nederland, juni 2025. Beschikbaar via: https://waterrecreatienederland.nl/kennisbank/watersportonderzoek-2024/. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

Zwemwater.nl. *Gezondheidsrisico's*. Beschikbaar via: https://www.zwemwater.nl/gezondheidsrisicos/. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

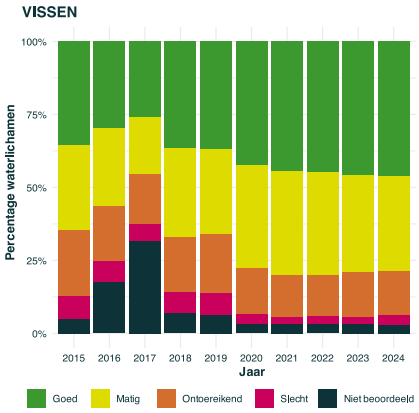
Zwemwater.nl. *Vind een zwemplek*. Beschikbaar via: https://www.zwemwater.nl/. Geraadpleegd op 18 augustus 2026.

BIJLAGEN

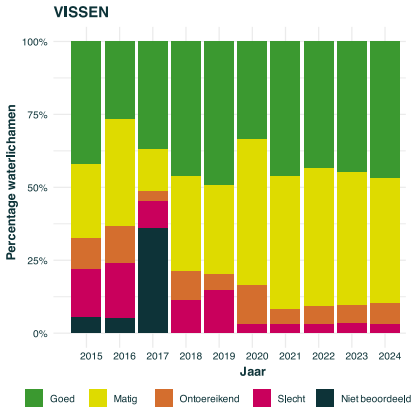
Bijlage 1 – Ontwikkeling van biologische kwaliteitselementen: vissen, waterplanten, macrofauna en fytoplankton

Vissen

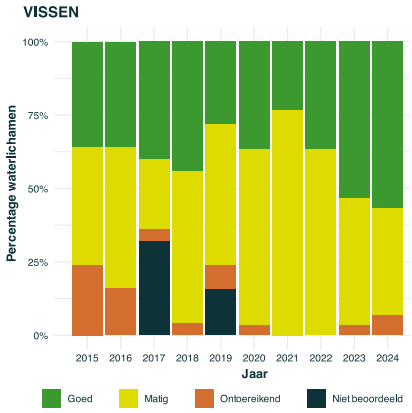
a. Landelijk water



b. Officieel zwemwater



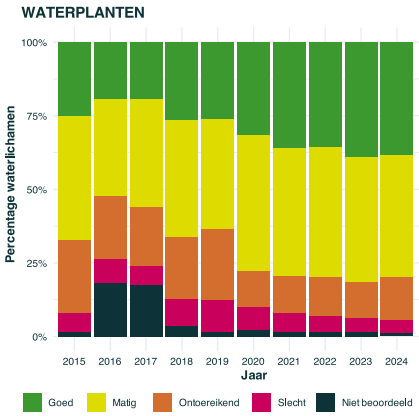
c. Onofficieel stedelijk zwemwater



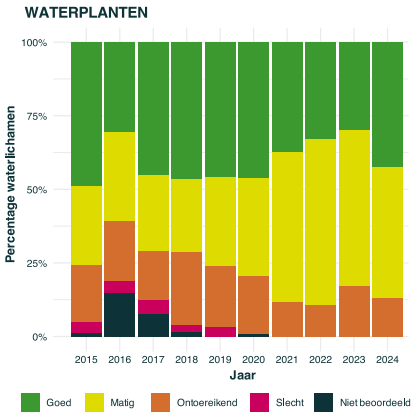
Ontwikkeling in kwaliteitsoordelen van vissen 2015 – 2024 in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Waterplanten

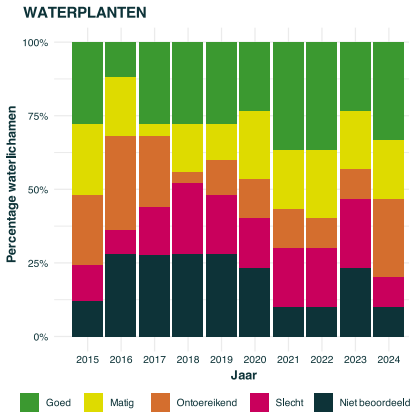
a. Landelijk water



b. Officieel zwemwater



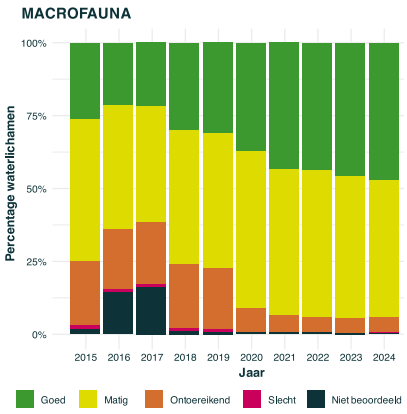
c. Onofficieel stedelijk zwemwater



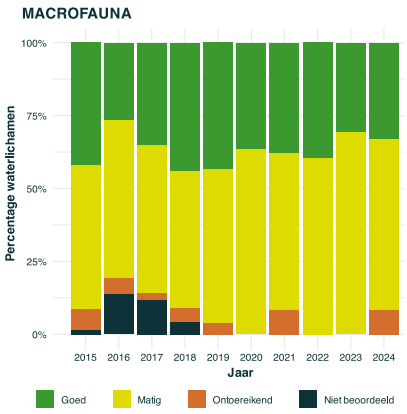
Ontwikkeling in kwaliteitsoordelen van waterplanten 2015 – 2024 in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Macrofauna

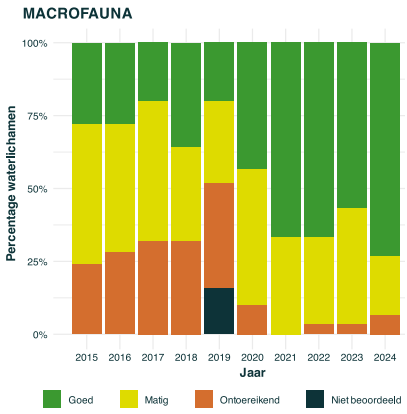
a. Landelijk water



b. Officieel zwemwater



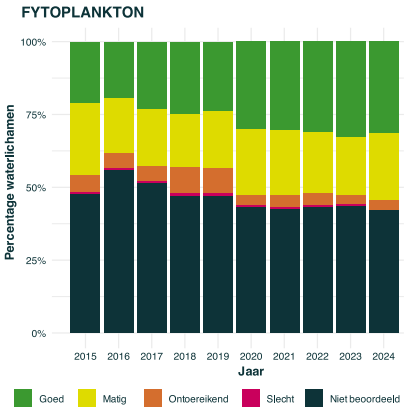
c. Onofficieel stedelijk zwemwater



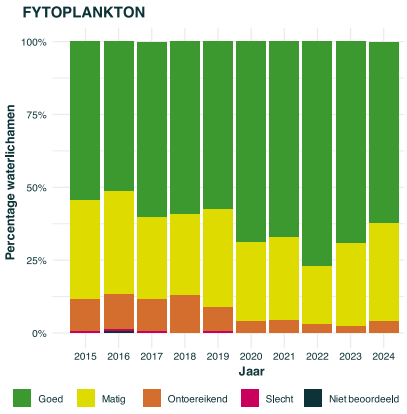
Ontwikkeling in kwaliteitsoordelen van macrofauna 2015 – 2024 in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Fytoplankton

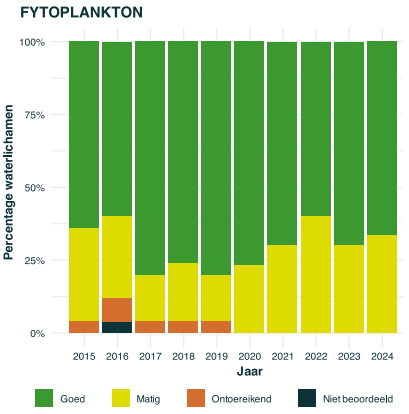
a. Landelijk water



b. Officieel zwemwater



c. Onofficieel stedelijk zwemwater



Ontwikkeling in kwaliteitsoordelen van fytoplankton 2015 – 2024 in a. landelijk water, b. officieel zwemwater en c. onofficieel stedelijk zwemwater.

Bijlage 2 – Overzicht van officiële zwemwateren met de meeste normoverschrijdingen

	Zwemwater	Zwemlocatie	Gemeente	Aantal stoffen dat de norm overschrijdt
1	Jagersplas	De Fuut-Watersnip; De Smient; De Kuifeend	Zaanstad	**18**
2	De Beldert	Beldert Beach	Buren	**13**
3	Waal	Waalboezem Surfbocht; Plas Wevershoek; De Waal Heerjansdam	Ridderkerk	**12**
4	Vinkeveense plassen	Eiland 1; 2; 3; 4; 5; 8	De Ronde Venen	**11**
5	Uitgeestermeer	Dorregeest	Uitgeest	**11**
6	Gaasperplas	Strand Zuidoever	Amsterdam	**10**
7	Ouderkerkerplas	Groenstrand; Zandstrand	Amstelveen	**10**
8	Loosdrechtse Plassen	Markus Pos; Meent; Peuterbad Strook; Strook	Wijdemeren	**10**
9	Spiegelplas	Bergse Akker; Noordoost	Wijdemeren	**10**
10	't Skarpet	't Skarpet	Hollands Kroon	**10**
11	't Petje	't Petje	Hollands Kroon	**10**
12	Binnenbedijkte Maas	Mijnsheerenland; West-maas	Hoeksche Waard	**10**
13	Noorderplassen	Noorderplassenstrand; Strand in Zicht	Almere	**10**
14	Blauwe meertje	Het blauwe meertje	Nederweert	**10**
15	Vuntus	Vuntus	Wijdemeren	**9**
16	Loosdrechtse Plassen	De Meent	Wijdemeren	**9**
17	Wijde Blik	Wijde Blik	Wijdemeren	**9**
18	Maarsseveense Plassen	Strandbad; Zuidhoek	Stichtse Vecht	**9**
19	Bernisse	Zuidland Oostzijde; Abben-broek Oostzijde	Nissewaard	**9**
21	Molenpoel	Oosterbad	Aalsmeer	**8**
22	't Wed	't Wed	Bloemendaal	**8**
23	Oosterplas	Oosterplas	Bloemendaal	**8**
24	Brielse Meer	Zoom West; Brielsebrug Zuidzijde; De Stenen Baak; WSV Nautica; Camping de Krabbeplaat; Meer Camp-ing de Meeuw; Buitenstrand Camping de Meeuw	Voorne aan Zee	**8**
25	Belterwijde	Surfstrand West	Steenwijkerland	**8**
26	Markermeer	Broekerhaven; Edam; Schellinkhout; Schardam; Warder; Havenstrand Markerwadden; Wijdenes; Slobbeland; Uitdam	Stede Broec; Edam-Volendam; Drechterland: Lelystad; Waterland	**8**
27	Gouwzee	Hemmeland; Pieterman; Marken	Waterland; Edam-Volen-dam	**8**

	Zwemwater	Zwemlocatie	Gemeente	Aantal stoffen dat de norm overschrijdt
28	Ijmeer	Muiderberg	Gooise Meren	**8**
29	Ijmeer	Almeerderstrand	Almere	**8**
30	Ijmeer	Ijburg	Amsterdam	**8**
31	Bovenwijde	Zwemeiland Bovenwijde	Steenwijkerland	**8**
32		Diemerpark	Amsterdam	**8**
33	Lytse Wielen	Lytse Wielen	Leeuwarden	**7**
34	Et Wiede	De Driesprong	Weststellingwerf	**7**
35	Twiske	Kure-Jan; Schoorlstrand; Baaiegat; Doesstrand; Vennegatstrand; Poort; Speelsloot; Leers	Landsmeer en Oostzaan	**7**
36	Vlietland	Surfstrand Noordwestoever; Speelvijver; Badstrand Noordoostoever	Leidschendam-Voorburg	**7**
37	Nieuwe Meer	Noord	Amsterdam	**7**
38	Kleipoel	Kleipoel	Alkemade	**7**
39	Valkenburgse Meer	Valkenburgse Meer	Katwijk	**7**
40	Nieuwe Meer	West	Amsterdam	**7**
41	Dieperpoel	Kaageiland	Kaag en Braassem	**7**
42	Zoetermeerse Plas	Noord Aa Zwemstrand	Zoetermeer	**7**
43	Nieuwkoopse Plassen (Zuideinderplas)	Nieuwkoopse Plassen Meijepark	Nieuwkoop	**7**
44	Elfhoeven	Plas Elfhoeven	Bodegraven-Reeuwijk	**7**
45	Bleiswijkse Zoom (Kanovijver)	Bleiswijkse Zoom	Lansingerland	**7**
46	Kralingse Plas	Kralingse Plas	Rotterdam	**7**
47	Victoriameer	Beekse Bergen zone 1, 2, 3	Hilvarenbeek	**7**
48	Zuidlaardermeer	Meerwijck	Midden-Groningen	**7**
49	Hoornseplas	Hoornseplas	Groningen	**7**
50	Paterswoldsemeer	De Lijte	Haren; Groningen; Tynaarlo	**7**
51	Weerwater	Fantasiestrand; Stedenwijkstrand; Lumièrestrand	Almere	**7**
52	Drontermeer	Abbertstrand	Dronten	**7**
53	Gooimeer	Surfstrand Almere; Zwemstrand Almere	Almere	**7**

	Zwemwater	Zwemlocatie	Gemeente	Aantal stoffen dat de norm overschrijdt
54	Veluwerandmeren	Ellerstrand (Noord en Zuid); Erkemederstrand; Harderstrand; Dolfinarium; Europarcs Bad Hoophuizen; Strand Horst (Eliasgat, Riebroek, Ganzekamp, De Staart); Laakse Strand; Strand Nulde Noord en Zuid; De Oude Pol; Rivièra Beach Noord en Zuid; Spijkstrand; RCN Strand; Woldstrand; Strandeiland Harderwijk; Bremerbaaistrand; Veluwe Strandbad	Dronten	**7**
55	Eemmeer	Recreatiepark 't Kleine Zeetje	Bunschoten-Spakenburg	**7**
56	Nijkerkernauw	Beachstrand Eemhof	Zeewolde	**7**
57	Ijsselmeer	Zuiderhaven; Badpaviljoen Ijsselmeer; De Hege Gerzen; De Holle Poarte; Enkhuizerzand; Houtribhoek; Mirnser Klif; Lemsterstrand; Vlietsingel; Molkwerum; Nesbos; It Soal; It Suderstrand; Strand Staversekade; Dijkstrand Urk; Andijk	Hollands Kroon; Súdwest Fryslân; De Fryske Marren; Enkhuizen; Lelystad; Medemblik; Urk	**7**
58	Gooimeer	Huizen (Gooierhoofd en Zomerkade); Stichtsebrug; Naarderbos; Zilverstrand; Harderwijkerzand;	Huizen; Blaricum; Gooise Meren; Almere; Huizen	**7**
59	Ketelmeer	Strand Schokkerhaven	Noordoostpolder	**7**
60	Zoetermeerse Plas	Noord Aa Naaktstrand	Zoetermeer	**7**
61	Smeliester Sân	Smeliester Sân	Smallingerland	**6**
62	De Leien	De Leien	Smallingerland	**6**
63	Burgumer Mar	Dagrecreatieterrein Klein Zwitserland; Swimplak Blauwhoek	Tytsjerksteradiel	**6**
64	Grutte Wielen	Grutte Wielen	Leeuwarden	**6**
65	Snitser Mar	Pottenstrand	Súdwest Fryslân	**6**
66	Langwarder Wielen	Langwarder Wielen	De Fryske Marren	**6**
67	Tsjûkemar	Tsjûkemar Ulesprong	De Fryske Marren	**6**
68	It Nannewiid	Nannewiid	De Fryske Marren	**6**
69	Sleattemer Mar	Zwem- en surfcentrum Balk	De Fryske Marren	**6**
70	De Fluezen	Elahuizen De Lange Hoek	De Fryske Marren	**6**
71	Hegemer Mar	Indijk; Heeg	Súdwest Fryslân	**6**
72	Aldegeaster Brekken	Aldegeaster Brekken	Súdwest Fryslân	**6**
73	Burgumer Mar	Swimplak Eastermar	Tytsjerksteradiel	**6**
74	De Vlinderslag	De Vlinderslag	Weststellingwerf	**6**
75	Noorderplas	Noorderplas	Dijk en Waard	**6**

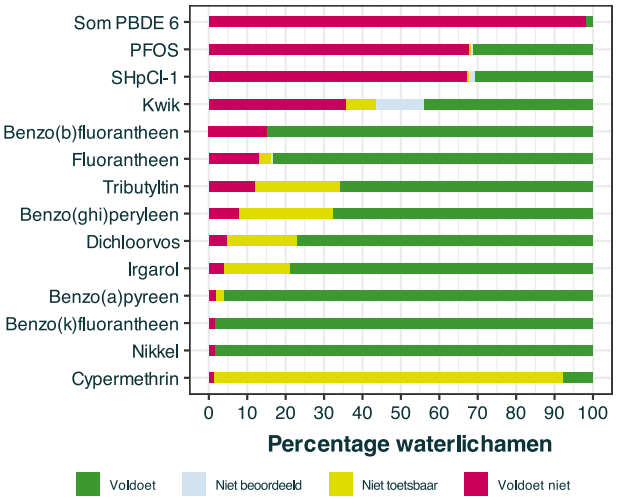
	Zwemwater	Zwemlocatie	Gemeente	Aantal stoffen dat de norm overschrijdt
76	Zegerplas	Zegerplas Zuidoever	Alphen aan den Rijn	**6**
77	Hollandse Plassen (Kagerplassen ('t Joppe))	Kagerplassen 't Joppe Westoever en Merenwijk	Teylingen	**6**
78	Hollandse Plassen (Braassemermeer)	Braassemermeer; Venegat	Kaag en Braassem	**6**
79	Hollandse Plassen (Wijde Aa)	Wijde Aa Zuidzijde	Kaag en Braassem	**6**
80	Zegerplas	Zegerplas Speelvijver	Alphen aan den Rijn	**6**
81	Westeinderplassen	Vrouwentroost; Kudelstaart	Aalsmeer	**6**
82	Surfplas	Reeuwijkse Hout	Bodegraven-Reeuwijk	**6**
83	Tsjûkemar	Delfstrahuizen	De Fryske Marren	**6**
84	Snitser Mar	Terherne	De Fryske Marren	**6**
85	Het Bussloo	Bussloo De Withagen, De Robberskamp, De Snenge, De Fliertkamp, De Stronk, 't Gorsselaar, De Kuiter (Naturistenstrand); Kinderstrand	Voorst	**5**
86	Geestmerambacht (Zomerdel)	Geestmerambacht baai 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Dijk en Waard	**5**
87	Zevenhuizerplas	Nesselande; Strand Noordwestzijde	Rotterdam; Zuidplas	**5**
88	Binnenschelde	Binnenschelde	Bergen op Zoom	**5**
89	Oldambtmeer	Noordrand; Strand Zuid	Oldambt	**5**
90	Willem-Alexanderbaan	Willem-Alexanderbaan	Zuidplas	**5**
91	Meer van Luna	Park van Luna	Dijk en Waard	**4**
92	Veendiepplassen	Veendiepplassen, Bellingwolde	Westerwolde	**4**
93	Schildmeer	Schildmeer, Steendam	Midden-Groningen	**4**
94	Engelermeer	Engelermeer Oost; West	's-Hertogenbosch	**2**
95	Boschmolenplas	Dagstrand Resort Boschmolenplas	Maasgouw	**2**

Bijlage 3 – Alle 35 normoverschrijdende stoffen

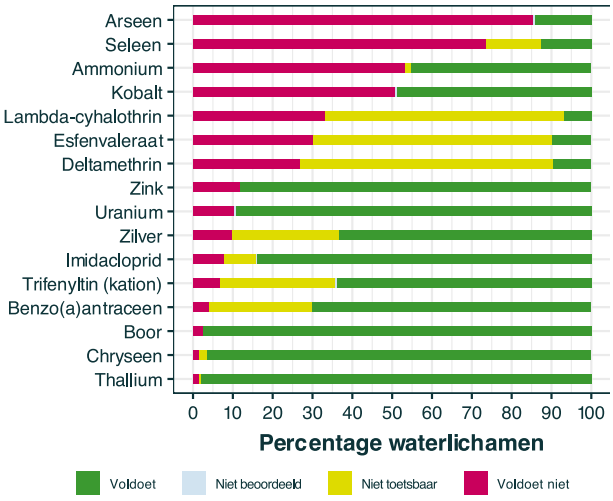
Omschrijving	Omschrijving
Ammonium	Kobalt
Arseen	Koper
Benzo(a)antraceen	Kwik
Benzo(a)pyreen	Lambda-cyhalothrin
Benzo(b)fluorantheen	Methylpirimifos
Benzo(ghi)peryleen	Nikkel
Benzo(k)fluorantheen	PFOS
Boor	Seleen
Chryseen	SHpCl-1
Cypermethrin	Som PBDE 6
Deltamethrin	Thallium
Dichloorvos	Tributyltin
Dioxine en dioxine achtige stoffen	Trifenyltin (kation)
Esfenvaleraat	Uranium
Fluorantheen	Vanadium
Hexachloorcyclohexaan stoffen	Zilver
Imidacloprid	Zink
Irgarol	

Bijlage 4 – Stoffen die in meer dan 1% van de zwemwateren de norm overschrijden

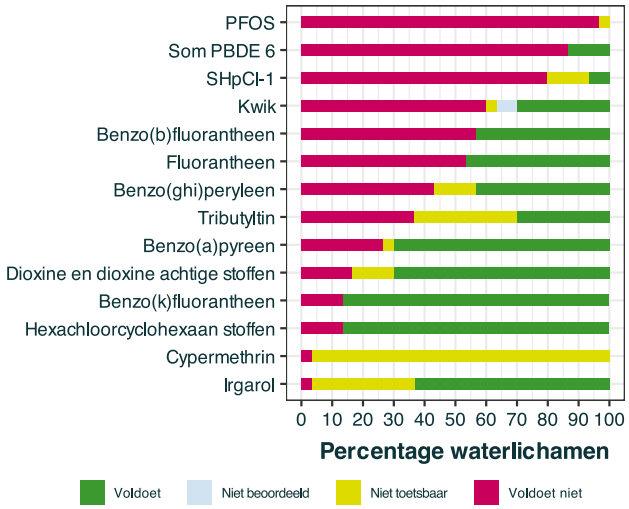
Prioritaire stoffen in officieel zwemwater



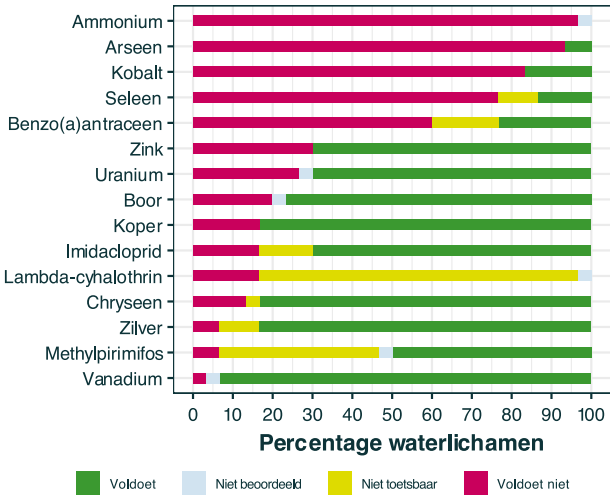
Specifiek verontreinigende stoffen in officieel zwemwater



Prioritaire stoffen in stedelijk zwemwater



Specifiek verontreinigende stoffen in stedelijk zwemwater



Bijlage 5 – Top-10 lijsten van normoverschrijdende stoffen

	Prioritaire stoffen in officieel zwemwater
1	PBDE's
2	PFOS
3	Heptacholoor en cis-heptachloorepoxide
4	Kwik
5	Benzo(b)fluorantheen
6	Fluorantheen
7	Tributyltin
8	Benzo(ghi)peryleen
9	Dichloorvos
10	Irgarol

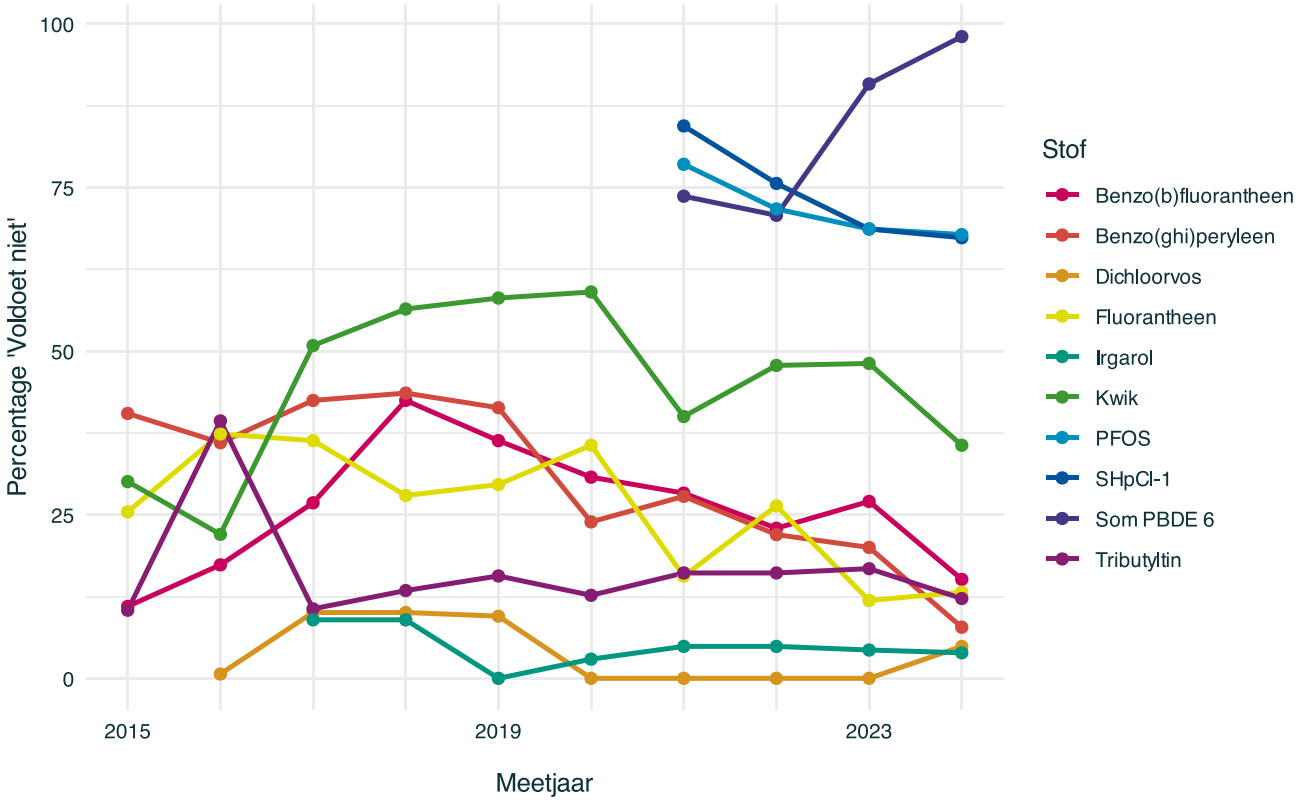
	Prioritaire stoffen in stedelijk zwemwater
1	PFOS
2	PBDE's
3	Heptacholoor en cis-heptachloorepoxide
4	Kwik
5	Benzo(b)fluorantheen
6	Fluorantheen
7	Benzo(ghi)peryleen
8	Tributyltin
9	Benzo(a)pyreen
10	Dioxine en dioxineachtigen

	Specifiek veontreinigende stoffen in stedelijk zwemwater
1	Arseen
2	Seleen
3	Ammonium
4	Kobalt
5	Lambda-cyhalothrin
6	Esfenvaleraat
7	Deltamethrin
8	Zink
9	Uranium
10	Zilver

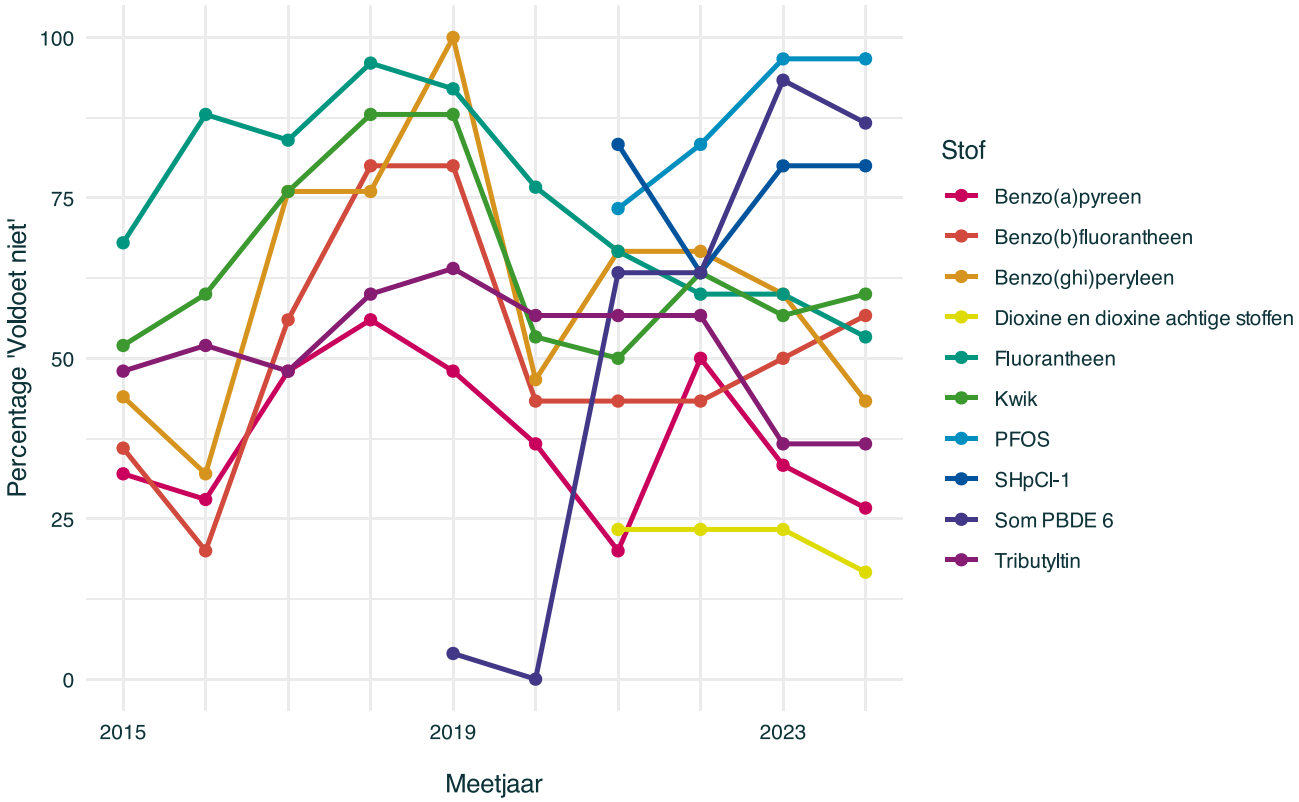
	Specifiek verontreinigende stoffen in officieel zwemwater
1	Arseen
2	Seleen
3	Ammonium
4	Kobalt
5	Lambda-cyhalothrin
6	Esfenvaleraat
7	Deltamethrin
8	Zink
9	Imidacloprid
10	Uranium

Bijlage 6 – Ontwikkeling van normoverschrijdende stoffen

Officieel zwemwater

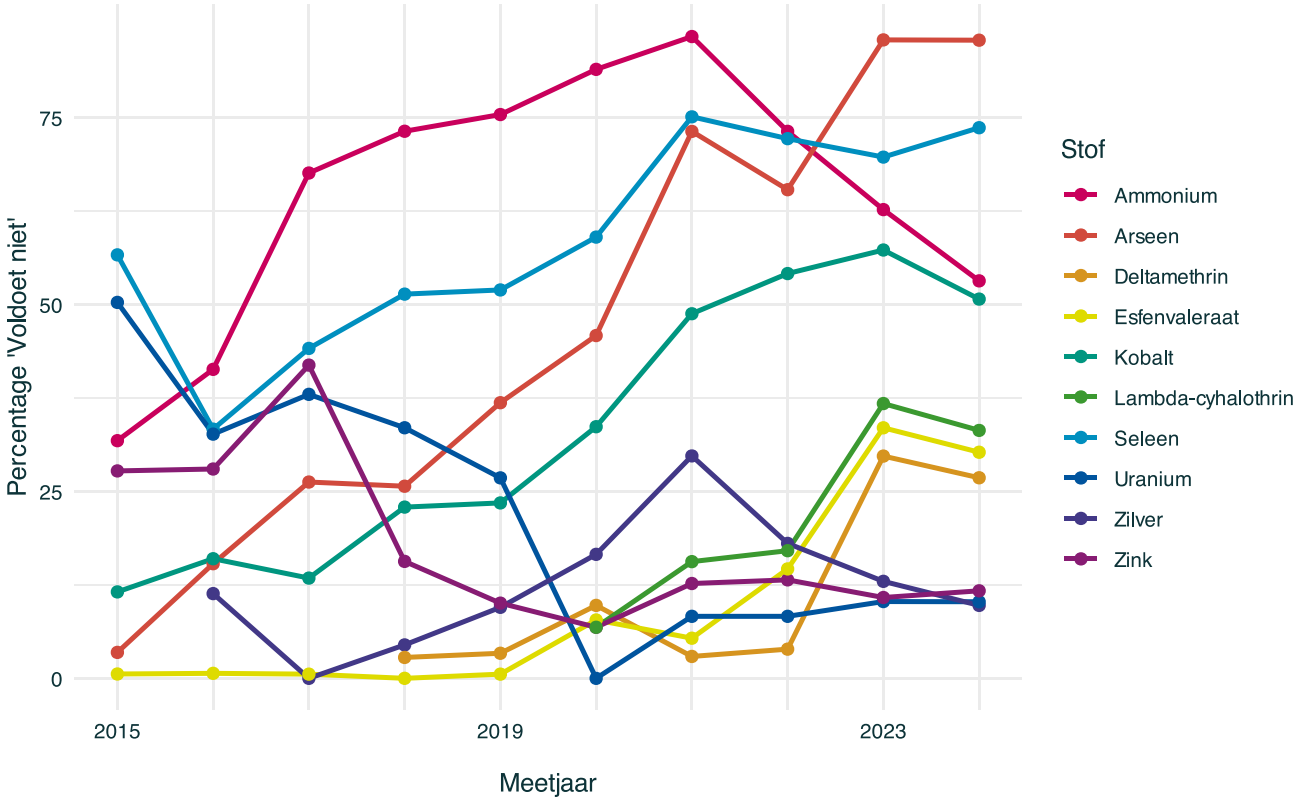


Stedelijk zwemwater

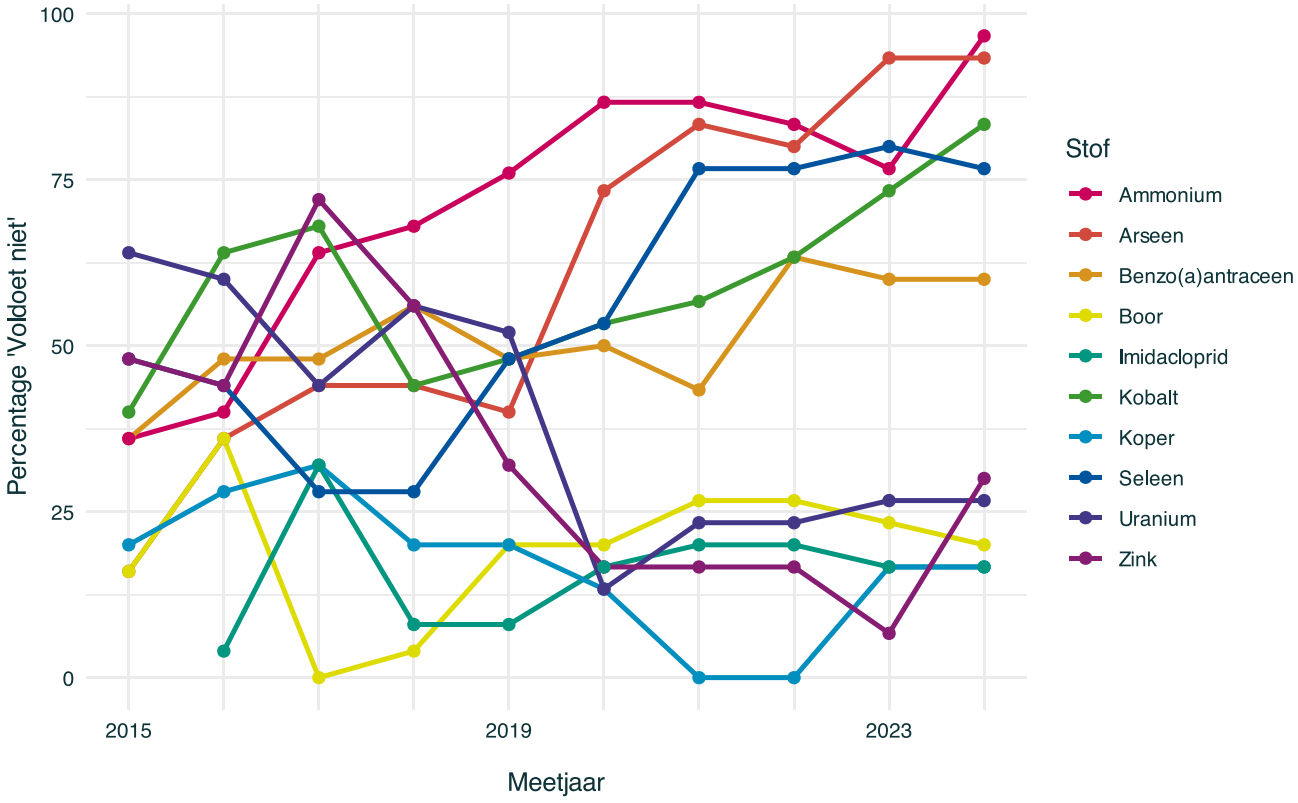


Figuur: Ontwikkeling van prioritaire stoffen in officieel zwemwater en stedelijk zwemwater 2015 – 2014.

Officieel zwemwater



Stedelijk zwemwater



Figuur: Ontwikkeling van specifiek verontreinigende stoffen in officieel zwemwater en stedelijk zwemwater 2015 – 2024.

Bijlage 7 – Geraadpleegde bronnen chemische stoffen

PFOS

Ehrlich, V., et al. (2023). Consideration of pathways for immunotoxicity of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environmental Health, 22.

Ho, S., et al. (2022). Perfluoroalkyl substances and lipid concentrations in the blood: A systematic review of epidemiological studies. Science of the Total Environment.

Tanghal, R. B., et al. (2026). Exposure to Per- and Polyfluoroalkyl Substances and Liver Cancer: A Systematic Review of Animal and Epidemiological Studies. Environmental Science & Technology.

Umar, A., Soltanighias, T., Orsini, L., & Abdallah, M. (2025). Toxicity of Microplastics and per- and polyfluoroalkyl substances in Sentinel Freshwater Models, Daphnia, Zebrafish and Unicellular Green Algae: A Systematic Review. Environmental Pollution and Management.

Sims, J. L., Stroski, K. M., Kim, S., et al. (2021). Global occurrence and probabilistic environmental health hazard assessment of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in groundwater and surface waters. Science of the Total Environment.

PBDE's

Domingo, J. L., Souza, M., Nadal, M., & Barbosa, F. (2025). A One Health approach to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): Integrating human, animal, and environmental health perspectives. Chemosphere.

Gomes, J., Kumarathasan, P., & Begum, M. (2023). Exposure to PBDEs and maternal and infant health outcomes: Systematic review. Chemosphere.

Singh, V., Cortés-Ramírez, J., Toms, L., Sooriyagoda, T., & Karatela, S. (2022). Effects of Polybrominated Diphenyl Ethers on Hormonal and Reproductive Health in E-Waste-Exposed Population: A Systematic Review. International Journal of Environmental Research and Public Health.

Heptachloor en heptachloorepoxide

Fendick, E. A., Mather-Mihaich, E., Houck, K. A., et al. (1990). Ecological toxicology and human health effects of heptachlor. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 111, 61-142.

Montgomery, M. P., Kamel, F., Saldana, T. M., et al. (2008). Incident diabetes and pesticide exposure among licensed pesticide applicators: Agricultural Health Study, 1993-2003. American Journal of Epidemiology, 167, 1235-1246.

Arrebola, J. P., Belhassen, H., Artacho-Cordón, F., et al. (2015). Risk of female breast cancer and serum concentrations of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls: A case-control study in Tunisia. Science of the Total Environment, 520, 106-113.

Dioxinen en dioxineachtigen

International Agency for Research on Cancer. (2012). 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-para-dioxin (TCDD). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 100F.

International Agency for Research on Cancer. (2016). Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Biphenyls. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 107.

World Health Organization. Dioxins and Their Effects on Human Health.

European Food Safety Authority. (2018). Risk for Animal and Human Health Related to the Presence of Dioxins and Dioxin-like PCBs in Feed and Food. EFSA Journal.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2025). Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls (PCBs).

United Nations Environment Programme. (2003). Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances.

Eisler, R., & Belisle, A. A. (1996). Planar PCB Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review. U.S.

Geological Survey.

Akhbarizadeh, R., et al. (2022). Toxicity of Polychlorinated Biphenyls in Aquatic Environments: A Review.

Burgess, R. M., et al. (2015). Ecotoxicology of Polychlorinated Biphenyls in Fish: A Critical Review.

Walker, M. K., & Peterson, R. E. (1994). Aquatic Toxicity of Dioxins and Related Chemicals. In Dioxins and Health.

Loonen, H., et al. (1996). Ecological Hazard Assessment of Dioxins: Hazards to Organisms at Different Levels of Aquatic Food Webs. Science of the Total Environment, 182, 93-103.

Australian and New Zealand Guidelines. (2023). Dioxins in Freshwater: Technical Brief. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality.

Tributyltin

Correia da Silva, R., Teixeira, M. P., de Paiva, L. S., & Miranda-Alves, L. (2023). Immunomodulation Promoted by Endocrine-Disrupting Chemical Tributyltin. Toxics.

Nowak, K., Jabłońska, E., & Ratajczak-Wrona, W. (2019). Immunomodulatory effects of synthetic endocrine disrupting chemicals on the development and functions of human immune cells. Environment International.

Matthiessen, P. (2018). A review of the evidence for endocrine disrupting effects of pesticides and pollutants on wildlife.

Beyer, J., et al. (2022). The ecotoxicology of marine tributyltin hotspots.

Benzo(a)pyreen

Bukowska, B., Mokra, K., & Michałowicz, J. (2022). Benzo[a]pyrene: Environmental Occurrence, Human Exposure, and Mechanisms of Toxicity. International Journal of Molecular Sciences.

Tartaglione, A., Racca, A., & Ricceri, L. (2023). Developmental Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): Focus on Benzo[a]pyrene Neurotoxicity. Reproductive Toxicology.

Chepelev, N., Moffat, I., Bowers, W., & Yauk, C. (2015). Neurotoxicity May Be an Overlooked Consequence of Benzo[a] pyrene Exposure That Is Relevant to Human Health Risk Assessment. Mutation Research/Reviews in Mutation Research.

Santacroce, M., Pugliese, N., Merola, C., Perillo, A., Leone, R., Giudice, A. L., Buonfrate, V., & Tinelli, A. (2026). Benzo[a] pyrene Toxicity: A Critical Review on Long-Term Health Impacts in Aquatic Species and Humans. Environmental Toxicology and Pharmacology.

Zeb, R., Yin, X., Chen, F., Wang, K., et al. (2024). Chronic Exposure to Environmental Concentrations of Benzo[a] pyrene Causes Multifaceted Toxic Effects of Developmental Compromise, Redox Imbalance, and Modulated Transcriptional Profiles in the Early Life Stages of Marine Medaka (Oryzias melastigma). Aquatic Toxicology.

Elfawy, H. A., AnuPriya, S., Mohanty, S., Patel, P., Ghosal, S., Panda, P., Das, B., Verma, S., & Patnaik, S. (2021). Molecular Toxicity of Benzo(a)pyrene Mediated by Elicited Oxidative Stress Infer Skeletal Deformities and Apoptosis in Embryonic Zebrafish. Science of the Total Environment.

Benzo(a)antraceen

Stec, A., et al. (2018). Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. Scientific Reports.

Saleh, S. A., et al. (2022). Correlation of Occupational Exposure to Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (cPAHs) and Blood Levels of p53 and p21 Proteins. Biomolecules.

Kaur, S., et al. (2013). Preliminary Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air Particles (PM10) in Amritsar, India: Sources, Apportionment, and Possible Risk Implications to Humans. Archives of Environmental Contamination and Toxicology.

Le Bihanic, F., Sommard, V., de Lansalut, P., Pichon, A., Grasset, J., Berrada, S., Budzinski, H., Cousin, X., Morin, B., & Cachot, J. (2015). Environmental Concentrations of Benz[a]anthracene Induce Developmental Defects and DNA Damage and Impair Photomotor Response in Japanese Medaka Larvae. Ecotoxicology and Environmental Safety.

Dubiel, J., Green, D. J., Raza, Y., Johnson, H. M., Xia, Z., Tomy, G., Hontela, A., Doering, J. A., & Wiseman, S. (2022). Alkylation of Benz[a]anthracene Affects Toxicity to Early-Life Stage Zebrafish and In Vitro Aryl Hydrocarbon Receptor 2 Transactivation in a Position-Dependent Manner. Environmental Toxicology and Chemistry.

Zanaty, M. I., et al. (2020). Influence of Benz[a]anthracene on Bone Metabolism and on Liver Metabolism in Nibbler Fish, Girella punctata. International Journal of Environmental Research

Benzo(b)fluorantheen

Sahoo, B., Ravi Kumar, B. R., Banik, B., & Borah, P. (2020). Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs): Structures, Synthesis and their Biological Profile. Current Organic Synthesis.

Veyrand, B., Sirot, V., Durand, S., et al. (2013). Human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. Environment International, 54, 11-17.

Hussain, K., Hoque, R. R., Balachandran, S., et al. (2018). Monitoring and Risk Analysis of PAHs in the Environment.

Benzo(k)fluorantheen

International Agency for Research on Cancer. (2010). Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 92.

European Food Safety Authority. (2008). Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. EFSA Journal.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (ATSDR). Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs).

Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). (2023). Opinion on Environmental Quality Standards for Priority Substances under the Water Framework Directive.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2008). Environmental Risk Limits for Twelve Substances.

Ali, H., et al. (2020). Toxicities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Aquatic Animals. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.

Benzo(ghi)peryleen

Starski, A., Kukielska, A., & Postupolski, J. (2021). Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in human diet: exposure and risk assessment to consumer health.

Wang, Z., Meng, Q.-R., Sun, K., & Wen, Z. (2024). Spatiotemporal Distribution, Bioaccumulation, and Ecological and Human Health Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water. Sustainability.

Fluorantheen

Hinton, M. J., et al. (2024). Ambient polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and breast cancer risk in a population-based Canadian case-control study. Cancer Causes & Control.

Waddingham, S., et al. (2024). Exposure to ambient polycyclic aromatic hydrocarbons and early-onset female breast cancer in a case-control study in Ontario, Canada. Environmental Epidemiology.

Haber, L. T., et al. (2022). The Long Goodbye: Finally Moving on from the Relative Potency Approach to a Mixtures Approach for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). International Journal of Environmental Research and Public Health.

Wang, Z., Meng, Q.-R., Sun, K., & Wen, Z. (2024). Spatiotemporal distribution, bioaccumulation, and ecological and human health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water: A comprehensive review. Sustainability, 16.

Albarano, L., Serafini, S., Toscanesi, M., Trifuoggi, M., Zupo, V., Costantini, M., Vignati, D., Guida, M., & Libralato, G. (2022). Genotoxicity set up in Artemia franciscana nauplii and adults exposed to phenanthrene, naphthalene, fluoranthene, and benzo(k)fluoranthene. Water, 14.

Hu, S.-Y., Hsieh, C., Dahms, H.-U., Tseng, Y.-H., Chen, J.-C., Wu, M.-C., Kim, J.-H., & Liu, C.-S. (2021). Toxic effects of heavy metals and organic polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment porewater on the amphipod Hyalella azteca and zebrafish Brachydanio rerio embryos from different rivers in Taiwan. Applied Sciences, 11.

Imidacloprid

European Food Safety Authority. (2013). Conclusion on the Peer Review of the Pesticide Risk Assessment of the Active Substance Imidacloprid.

United States Environmental Protection Agency. Imidacloprid Human Health Risk Assessment.

World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. JMPR Evaluation of Imidacloprid.

Sánchez-Bayo, F., & Goka, K. (2014). Pesticide Residues and Bees: A Risk Assessment of Neonicotinoids and Fipronil.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Environmental Risk Assessments and Water Framework Directive Documentation for Imidacloprid.

Dichloorvos

Saravanakumar, K., Park, S., Vijayasarathy, S., Swaminathan, A., Sivasantosh, S., Kim, Y., Yoo, G., Madhumitha, H., MubarakAli, D., & Cho, N. (2023). Cellular metabolism and health impacts of dichlorvos: Occurrence, detection, prevention, and remedial strategies. A review. Environmental Research.

Mendoza, J. E., et al. (2023). Are Adult Mosquito Control Products (Adulticides) Harmful? A Review of the Potential Human Health Impacts from Exposure to Naled and Dichlorvos (DDVP). Pollutants.

Shrestha, S., et al. (2020). Pesticide Use and Incident Parkinson's Disease in a Cohort of Farmers and Their Spouses. Environmental Research.

Wang, J., Wang, Z., Dou, Y., Cong, J., Sun, H., Wang, L., & Duan, Z. (2024). Ecological Risk Assessment for Typical Organophosphorus Pesticides in Surface Water of China Based on a Species Sensitivity Distribution Model. Science of the Total Environment.

Oladokun, E. I., Sogbanmu, T. O., & Anikwe, J. (2020). Sublethal Concentrations of Dichlorvos and Paraquat Induce Genotoxic and Histological Effects in the Clarias gariepinus. Environmental Analysis, Health and Toxicology.

Lambda-cyhalothrin

Bossou, R., et al. (2023). Assessing the Impact of Coexposure on the Measurement of Biomarkers of Exposure to the Pyrethroid Lambda-Cyhalothrin in Agricultural Workers. International Journal of Hygiene and Environmental Health.

Khemiri, R., Côté, J., Fetoui, H., & Bouchard, M. (2017). Documenting the Kinetic Time Course of Lambda-Cyhalothrin Metabolites in Orally Exposed Volunteers for the Interpretation of Biomonitoring Data. Toxicology Letters.

He, L.-M., Troiano, J., Wang, A. Z., & Goh, K. (2008). Environmental Chemistry, Ecotoxicity, and Fate of Lambda-Cyhalothrin. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 195, 71-91.

Nørum, U., Friberg, N., Jensen, M. R., Pedersen, J. M., & Bjerregaard, P. (2010). Behavioural Changes in Three Species of Freshwater Macroinvertebrates Exposed to the Pyrethroid Lambda-Cyhalothrin: Laboratory and Stream Microcosm Studies. Aquatic Toxicology.

Deltamethrin

Khemiri, R., Côté, J., Fetoui, H., & Bouchard, M. (2017). Documenting the Kinetic Time Course of Lambda-Cyhalothrin Metabolites in Orally Exposed Volunteers for the Interpretation of Biomonitoring Data. Toxicology Letters.

Yadav, R., Shinde, N., Patil, K., Kote, A., & Kadam, P. (2023). Deltamethrin Toxicity: Impacts on Non-Target Organisms and the Environment. Environment and Ecology.

Parlato, F., Buendia Palacios, D. C., Serrano, M. A., Gonçalves, F., Carreiro, C., & Gouveia, J. (2022). A Suicide Attempt: Deltamethrin Intoxication. European Journal of Case Reports in Internal Medicine.

Sayeed, I., Parvez, S., Pandey, S., Bin-Hafeez, B., Haque, R., & Raisuddin, S. (2003). Oxidative Stress Biomarkers of Exposure to Deltamethrin in Freshwater Fish, Channa punctatus Bloch. Ecotoxicology and Environmental Safety.

Thomas, C., Hose, G., Warne, M., & Lim, R. (2008). Effects of River Water and Salinity on the Toxicity of Deltamethrin to Freshwater Shrimp, Cladoceran, and Fish. Archives of Environmental Contamination and Toxicology.

Jiang, Q., et al. (2021). Multi-Biomarker Assessment in the Giant Freshwater Prawn Macrobrachium rosenbergii After Deltamethrin Exposure. Ecotoxicology and Environmental Safety.

Esfenvaleraat

European Commission. EU Pesticides Database: Esfenvalerate.

National Health and Medical Research Council. (2011). Australian Drinking Water Guidelines: Esfenvalerate. Australian Drinking Water Guidelines (Part 5: Physical and Chemical Characteristics).

United States Environmental Protection Agency. (2010). Esfenvalerate: Human Health Assessment Scoping Document in Support of Registration Review. Office of Pesticide Programs, U.S. Environmental Protection Agency.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Health Organization. (2012). Pesticide Residues in Food 2012: Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. FAO Plant Production and Protection Paper No. 215.

Kodaka, R., Sugano, T., & Katagi, T. (2009). Degradation of Esfenvalerate in Illuminated Water-Sediment System. Journal of Pesticide Science, 34(1), 27-36.

Van Vlaardingen, P. L. A., Vonk, J. W., & De Jong, F. M. W. (2008). Environmental Risk Limits for Esfenvalerate. RIVM Letter Report 601716017. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Werner, I., & Moran, K. (2008). Effects of Pyrethroid Insecticides on Aquatic Organisms. In J. Gan, F. Spurlock, P. Hendley, & D. Weston (Eds.), Synthetic Pyrethroids: Occurrence and Behavior in Aquatic Environments (ACS Symposium Series, Vol. 991, pp. 310-334). American Chemical Society.

Samsøe-Petersen, L., Gustavson, K., Madsen, T., Mogensen, B. B., Lassen, P., Skjernov, K., Christoffersen, K., & Jørgensen, E. (2001). Fate and Effects of Esfenvalerate in Agricultural Ponds. Environmental Toxicology and Chemistry, 20(7), 1570-1578.

Irgarol (cybutryne)

United States Environmental Protection Agency. (2019). Irgarol Human Health and Ecological Draft Risk Assessment (DP No. 451876; EPA-HQ-OPP-2010-0003). Office of Chemical Safety and Pollution Prevention, Antimicrobials Division, U.S. Environmental Protection Agency.

Europese Commissie. (2018). IMO – Union Submission Concerning Information Presenting Scientific Evidence for the Adverse Effects of Cybutryne to the Environment (Commission Staff Working Document SWD(2018) 457 final). Europese Commissie.

Europese Commissie. (2011). Cybutryne EQS Dossier 2011: Substance Data Sheet for Cybutryne (CAS No. 28159-98-0). Directorate-General Environment, Europese Commissie.

Mohr, S., Schröder, H., Feibicke, M., Berghahn, R., Arp, W., & Nicklisch, A. (2008). Long-term Effects of the Antifouling Booster Biocide Irgarol 1051 on Periphyton, Plankton and Ecosystem Function in Freshwater Pond Mesocosms. Aquatic Toxicology, 90(2), 109-120.

Kwik

Ashar, Y. K., Siregar, W. T., Astuti, A., et al. (2025). Mercury Exposure and Health Effects in Humans: A Systematic Review of Biomarker Evidence.

Taux, K., Kraus, T., & Kaifie, A. (2022). Mercury Exposure and Its Health Effects in Workers in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining Sector: A Systematic Review. International Journal of Environmental Research and Public Health.

Kumar, S., Sharma, A., & Sedha, S. (2022). Occupational and environmental mercury exposure and human reproductive health: A review. Journal of the Turkish German Gynecological Association.

Wang, L., Sead, F., Khoshmanesh, M., et al. (2025). Co-exposure of mercury and microplastics in aquatic food webs: A review of sources, bioaccumulation, and ecotoxicological risks. Marine Pollution Bulletin.

Tripathi, R. M., Pandey, S., Mahdi, A. A., et al. (2023). Concerns for Human Health Relating to Methylmercury Toxicity in Aquatic Environment: A Systematic Literature Review. Journal of Advanced Zoology.

Arseen

Chandel, M., Sharma, A. K., Thakur, K., Sharma, D., Brar, B., Mahajan, D., Kumari, H., Pankaj, P., & Kumar, R. (2024). Poison in the Water: Arsenic's Silent Assault on Fish Health. Journal of Applied Toxicology.

Ghosh, D., Ghosh, A., & Bhadury, P. (2022). Arsenic Through Aquatic Trophic Levels: Effects, Transformations and Biomagnification. A Concise Review. Geoscience Letters, 9, 1-17.

Hull, E. A., Barajas, M., Burkart, K., Fung, S., Jackson, B., Barrett, P. M., Neumann, R., Olden, J., & Gawel, J. (2021). Human Health Risk from Consumption of Aquatic Species in Arsenic-Contaminated Shallow Urban Lakes. Science of the Total Environment, 770, 145318.

Wang, X., et al. (2022). Arsenic Occurrence and Cycling in the Aquatic Environment: A Comparison Between Freshwater and Seawater. Water, 14.

Barral-Fraga, L., et al. (2020). Biotic and Abiotic Factors Influencing Arsenic Biogeochemistry and Toxicity in Fluvial Ecosystems: A Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17.

Uranium

Brugge, D., de Lemos, J. L., & Oldmixon, B. (2005). Exposure Pathways and Health Effects Associated with Chemical and Radiological Toxicity of Natural Uranium: A Review. Reviews on Environmental Health.

Brugge, D., & Buchner, V. (2011). Health Effects of Uranium: New Research Findings.

Zhang, L., Chu, J., Xia, B., Xiong, Z., Zhang, S., & Tang, W.-Y. (2022). Health Effects of Particulate Uranium Exposure. Toxics.

Riethmuller, N., Markich, S. J., van Dam, R. A., & Parry, D. L. (2001). Effects of Water Hardness and Alkalinity on the Toxicity of Uranium to a Tropical Freshwater Hydra (Hydra viridissima). Biomarkers, 6, 45-51.

Cupe-Flores, B., Mendes, M., Panigrahi, B., & Liber, K. (2022). Delineating Effluent Exposure and Cumulative Ecotoxicological Risk of Metals Downstream of a Saskatchewan Uranium Mill Using Autonomous Sensors. Environmental Toxicology and Chemistry, 41.

Bergmann, M., Sobral, O., Pratas, J., & Graça, M. A. S. (2018). Uranium Toxicity to Aquatic Invertebrates: A Laboratory Assay. Environmental Pollution, 239, 359-366.

Kobalt

Batyrova, G. (2024). The Role of Cobalt in Human Health: A Brief Overview. West Kazakhstan Medical Journal.

Uddin, M., & Rumman, M. (2020). Cobalt Toxicity and Human Health.

Zhu, Y., et al. (2021). Cobalt Exposure in Relation to Cardiovascular Disease in the United States General Population. Environmental Science and Pollution Research.

Saili, K. S., et al. (2021). Chronic Toxicity of Cobalt to Marine Organisms: Application of a Species Sensitivity Distribution Approach to Develop International Water Quality Standards. Environmental Toxicology and Chemistry.

Minhas, S., et al. (2022). Evaluation of Genotoxicity Induced by Cobalt to Freshwater Fish, Cirrhina mrigala Using Micronuclei Assay. Journal of Zoo Biology.

Mei, N., et al. (2021). Transfer of Cobalt Nanoparticles in a Simplified Food Web: From Algae to Zooplankton to Fish. Applied Nano.

Koper

European Food Safety Authority. (2023). Scientific Opinion on the Tolerable Upper Intake Level for Copper. EFSA Journal.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Copper.

World Health Organization. (2022). Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed., incorporating the 1st and 2nd addenda). Geneva: World Health Organization.

Santore, R. C., Di Toro, D. M., Paquin, P. R., Allen, H. E., & Meyer, J. S. (2001). Biotic Ligand Model of the Acute Toxicity of Metals. I. Technical Basis. Environmental Toxicology and Chemistry, 20, 2383-2396.

Paquin, P. R., Gorsuch, J. W., Apte, S., et al. (2002). The Biotic Ligand Model: A Historical Overview. Comparative Biochemistry and Physiology Part C, 133, 3-35.

Canadian Council of Ministers of the Environment. (2021). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Copper.

Zink

Stiles, L. I., Ferrao, K., & Mehta, K. J. (2024). Role of Zinc in Health and Disease. Clinical and Experimental Medicine, 24. https://doi.org/10.1007/s10238-024-01302-6

Pratama, B., Khairullah, A., Kurniasih, D., Mustofa, I., Wardhani, B., Sukmanadi, M., Ahmad, R., Khalisa, A., Melati, I., Handayani, U., Mulyati, S., Yulianti, W., Akintunde, A., Maruf, I., Galia, M. A., Sari, H. M. K., Ansori, A., & Wibowo, S. (2025). Zinc in Human Health: A Comprehensive Review of its Biological Roles and Clinical Implications. Trends in Sciences. https://doi.org/10.48048/tis.2025.11556

Dawood, M., Alagawany, M., & Sewilam, H. (2021). The Role of Zinc Microelement in Aquaculture: A Review. Biological Trace Element Research, 200, 3841-3853. https://doi.org/10.1007/s12011-021-02958-x

Hussain, S., Khan, M., Sheikh, T., Mumtaz, M., Chohan, T. A., Shamim, S., & Liu, Y. (2022). Zinc Essentiality, Toxicity, and Its Bacterial Bioremediation: A Comprehensive Insight. Frontiers in Microbiology, 13. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.900740

Zilver

Crommentuijn, T., Verbruggen, E. M. J., Smit, C. E., & Van Vlaardingen, P. L. A. (2012). Environmental Risk Limits for Silver: A Proposal for Water Quality Standards in Accordance with the Water Framework Directive. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Vlaams Instituut Gezond Leven, Departement Zorg, & Departement Omgeving. (2024). Factsheet Zilver. Omgeving & Gezondheid.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2016). Nanomaterials in Waste Streams: Current Knowledge on Risks and Impacts. OECD Publishing.

World Health Organization. (2021). Silver in Drinking-water. In Guidelines for Drinking-water Quality: Chemical Fact Sheets. World Health Organization.

Seleen

Wang, Y., et al. (2023). Selenium Intake and Multiple Health-Related Outcomes: An Umbrella Review of Meta-Analyses. Frontiers in Nutrition.

Ferreira, K. S., et al. (2021). Selenium in Human Health and Gut Microflora: Bioavailability of Selenocompounds and Relationship With Diseases. Frontiers in Nutrition.

Sun, H., et al. (2023). Review on the Health-Promoting Effect of Adequate Selenium Status. Frontiers in Nutrition.

Uddin, M. N., et al. (2024). Selenium Toxicity in Fishes: A Current Perspective. Chemosphere.

Palace, V. P., et al. (2024). Guidance on Assessing the Potential Impacts of Selenium in Freshwater Ecosystems. Integrated Environmental Assessment and Management.

Mebane, C. A., et al. (2025). Bioaccumulation and Trophic Transfer of Selenium in a Large Oligotrophic River. Environmental Toxicology and Chemistry.

Boor

Hadrup, N., Frederiksen, M., & Sharma, A. (2021). Toxicity of Boric Acid, Borax and Other Boron Containing Compounds: A Review. Regulatory Toxicology and Pharmacology.

Khaliq, H., Juming, Z., & Ke-mei, P. (2018). The Physiological Role of Boron on Health. Biological Trace Element Research.

Nielsen, F. H. (2014). Update on Human Health Effects of Boron. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.

Bolan, S., Wijesekara, H., Amarasiri, D., Zhang, T., Ragályi, P., Brdar-Jokanović, M., et al. (2023). Boron Contamination and Its Risk Management in Terrestrial and Aquatic Environmental Settings. Science of the Total Environment, 872, 164744.

Canadian Council of Ministers of the Environment. (2023). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Boron.

Environment and Climate Change Canada. (2023). Federal Environmental Quality Guidelines (FEQGs) for Boron.

Camacho-Cristóbal, J. J., Rexach, J., & González-Fontes, A. (2008). Boron in Plants: Deficiency and Toxicity. Journal of Integrative Plant Biology, 50, 1247-1255.

Ammonium

Arnold, C., et al. (2023). Quaternary Ammonium Compounds: A Chemical Class of Emerging Concern. Environmental Science & Technology.

Hrubec, T. C., et al. (2021). Altered Toxicological Endpoints in Humans from Common Quaternary Ammonium Compound Disinfectant Exposure. Toxicology Reports.

Osimitz, T. G., & Droege, W. (2021). Quaternary Ammonium Compounds: Perspectives on Benefits, Hazards, and Risk. Toxicology Research and Application.

Yun, Y., et al. (2025). A Review of Ammonia Toxicity on Aquatic Organisms: Species-Specific Responses, Microbial Shifts, and Environmental Interactions. Comparative Biochemistry and Physiology: Toxicology & Pharmacology.

Xu, Z., et al. (2021). Toxic Effects on Bioaccumulation, Hematological Parameters, Oxidative Stress, Immune Responses and Tissue Structure in Fish Exposed to Ammonia Nitrogen: A Review. Animals, 11.

Lin, H., et al. (2022). A Review of the Emerging Risks of Acute Ammonia Nitrogen Toxicity to Aquatic Decapod Crustaceans. Water, 14.

COLOFON

Uitgave
Natuur & Milieu
September 2026

Tekst en inhoud
Natuur & Milieu
Nederlands Instituut voor Ecologie
(NIOO-KNAW)

Tekstcorrectie
Teitler Tekst

Vormgeving
Klink Klaar Studio

Contact
Natuur & Milieu
info@natuurenmilieu.nl
+31 (0)30 233 13 28

NATUUR & MILIEU
Laat zien dat het kán

NIOO
NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ECOLOGIE (NIOO-KNAW)