

## Inzicht in bronnen van zes KRW-stoffen op basis van Emissieregistratiegegevens

Analyse van emissiebijdragen ter ondersteuning van de Kaderrichtlijn Water



**Inzicht in bronnen van zes KRW-stoffen op basis van Emissieregistratiegegevens**  
Analyse van emissiebijdragen ter ondersteuning van de Kaderrichtlijn Water

**Auteur(s)**

Steven Kelderman  
Lisa van Eck  
Kevin Ouwerkerk  
Rianne van den Meiracker

## Inzicht in bronnen van zes KRW-stoffen op basis van Emissieregistratiegegevens

Analyse van emissiebijdragen ter ondersteuning van de Kaderrichtlijn Water

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	John Hin
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Kaderrichtlijn water, bronnenanalyse, Emissieregistratie, emissies, belasting, lozing, waterkwaliteit, oppervlaktewater, riool, arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE, zilver

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	17-07-2025
<b>Projectnummer</b>	11211546-011
<b>Document ID</b>	11211546-011-ZWS-0001
<b>Pagina's</b>	49
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	Definitief

### Auteur(s)

	Steven Kelderman Lisa van Eck Kevin Ouwerkerk Rianne van den Meiracker	

# Samenvatting

In kader van het KRW-impulsprogramma is voor zes KRW-stoffen onderzocht welke emissiebronnen volgens de Emissieregistratie de grootste bijdrage leveren aan de stofbelasting van het riool en het oppervlaktewater. Dit is gedaan door een bronnenanalyse uit te voeren voor de stoffen arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE's en zilver voor het emissiejaar 2022. Deze informatie kan bijdragen aan het inzichtelijk maken van de verschillende bronnen die bijdragen aan de uiteindelijke waterkwaliteit.

In deze studie is per stof en per bron gekeken naar meerdere relevante aspecten. Allereerst zijn de belangrijkste bronnen per stof geïdentificeerd. Daarbij is de ontwikkeling van de absolute emissiebijdrages vanaf 1990 tot en met 2022 in kort toegelicht. Vervolgens is de ruimtelijke verdeling van deze bronnen geanalyseerd waarbij de belangrijkste puntbronnen worden toegelicht. Ook zijn de gebruikte berekeningsmethoden uit de Emissieregistratie beschreven met de bijbehorende onzekerheden. Deze onzekerheden worden kwalitatief bepaald op basis van de herkomst en volledigheid van de gebruikte bronnen. Tot slot is op basis van enkele bronnen beoordeeld of er mogelijk nog emissiebronnen ontbreken die van invloed kunnen zijn op de emissieschattingen.

Volgens de Emissieregistratie zijn de bronnen uitspoeling van landbouw- en natuurgronden, atmosferische depositie, effluënten van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's), regenwaterriolen, overstorten, industriële lozingen en het gebruik van gewolmaniseerd hout in de waterbouw samen verantwoordelijk voor vrijwel 100% van de emissievrachten van de zes KRW-impulsstoffen: arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE's en zilver (Tabel S1).

*Tabel S1 Overzicht van de relatieve emissievrachtenbijdrage op oppervlaktewater van de belangrijkste Emissieregistratie-bronnen voor de stoffen arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE's en zilver. De grootste bron per stof is dikgedrukt weergegeven. In de laatste rij zijn de totale bijdrage van de genoemde bronnen weergegeven (let op hier niet afgerond). Een ontbrekende waarde (-) geeft aan dat er voor deze stof geen bijdrage vanuit deze bron is berekend in de Emissieregistratie. De achtergrondkleur geeft de betrouwbaarheid aan: geel duidt op een hoge betrouwbaarheid (25% onzekerheid), rood op een matige (50% onzekerheid), oranje op een lage (100% onzekerheid) en blauw op een zeer lage betrouwbaarheid (200% onzekerheid).*

Emissieoorzaak (werkveld nr)	Arseen	Kobalt	Kwik	Nikkel	PBDE's	Zilver
Uitspoeling landbouwgronden (23)	<b>47%</b>	<b>71%</b>	-	<b>52%</b>	-	-
Uitspoeling natuurgronden (23)	14%	20%	-	13%	-	-
Atmosferische depositie (32)	2%	2%	<b>64%</b>	3%	<b>46%</b>	-
Effluënten (31/6)	<b>11%</b>	<1%	12%	<b>22%</b>	<b>38%</b>	<b>98%</b>
Regenwaterriolen (31)	<b>6%</b>	<1%	<b>7%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	1%
Overstorten (31)	<1%	<1%	3%	1%	<b>6%</b>	1%
Industrie (9)	1%	<b>6%</b>	<b>15%</b>	3%	-	-
Gewolmaniseerd hout in de waterbouw (12)	<b>17%</b>	-	-	-	-	-
<b>Totaal bovengenoemde bronnen</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>99.9%</b>	<b>99.9%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Hieronder worden per bron de conclusies weergegeven over het relatieve aandeel in de totale emissievracht van de zes KRW-impulsstoffen, gecombineerd met de bijbehorende mate van onzekerheid in de berekeningen:

- Uitspoeling vanuit natuur- en landbouwgronden is de grootste bron voor zowel arseen, kobalt als nikkel. De berekening van emissies afkomstig uit deze bron heeft voor alle stoffen een matige betrouwbaarheid (een onzekerheidspercentage van 50%). De stoffen kwik, PBDE's en zilver worden op dit moment niet meegenomen in deze berekening.
- Atmosferische depositie is de grootste bron voor kwik en PBDE's. De berekening van emissies van deze bron wordt voor kwik als matige betrouwbaarheid (een onzekerheidspercentage van 50%) geschat en voor PBDE's als zeer lage betrouwbaar (een onzekerheidspercentage van 200%). Voor arseen, kobalt en nikkel draagt deze bron slechts in beperkte mate bij (<4%), en voor zilver is atmosferische depositie niet meegenomen in de berekening.
- Effluenten van RWZI's vormen een relevante bron voor alle stoffen, met uitzondering van kobalt. Voor zilver is dit zelfs de dominante bron, waaruit nagenoeg alle emissies afkomstig zijn. De betrouwbaarheid van deze gegevens is sterk afhankelijk van de wijze van bepaling: wanneer gebaseerd op metingen (werkveld 6) is de betrouwbaarheid hoog (een onzekerheidspercentage van 25%), maar wanneer gebruik wordt gemaakt van schattingen en modellen (werkveld 31) is de betrouwbaarheid laag (een onzekerheidspercentage van 100%). RWZI's lozen als puntbron op oppervlaktewater, waardoor de lokale belasting en daardoor de effecten op de waterkwaliteit groot kunnen zijn.
- Regenwaterriolen is voor arseen, kwik, nikkel en PBDE's een relevante bron, maar heeft een lage betrouwbaarheid (onzekerheidspercentage van 100 tot 200%). Voor Kobalt en zilver is het een minder grote bron.
- Overstorten is alleen voor PBDE's een relevante bron, maar ook hier is er sprake van een zeer lage betrouwbaarheid (onzekerheidspercentage van 200%).
- Industrie is alleen voor kobalt en kwik een relevante bron. Deze bron heeft voor deze stoffen een matige betrouwbaarheid (een onzekerheidspercentage van 50%). PBDE's en zilver worden niet meegenomen in dit werkveld. Tabel 3.1. De industrie loost als puntbron op oppervlaktewater waardoor de lokale belasting en daardoor de effecten op de waterkwaliteit groot kunnen zijn.
- Gewolmaniseerd hout is alleen voor arseen een relevante bron met een zeer lage betrouwbaarheid (onzekerheidspercentage van 200%). Het ruimtelijke patroon van deze bron hangt samen met de slootdichtheid die relatief hoog is rond de Randstand. De overige 5 stoffen zitten niet in de berekening.

Aan de hand van deze bronanalyse doen wij enkele aanbevelingen:

- Voor meerdere stoffen zoals arseen, kwik, nikkel, PBDE's en zilver zijn emissies via het riool (inclusief regenwaterriolen, overstorten en RWZI-effluenten) relevant tot zeer bepalend. Vooral bij berekeningen die gebaseerd zijn op werkveld 31 (modellen en schattingen) is de onzekerheid echter bijzonder hoog, oplopend tot 200%. Om deze betrouwbaarheid te verbeteren, is het aan te bevelen om de gebruikte modellen in werkveld 31 te verfijnen, toekomst robuuster te maken en te onderbouwen met actuele metingen en rioleringsdata.
- Voor kwik en zilver valt het op dat er op dit moment geen emissies vanuit landbouw- en natuurbodems beschikbaar zijn in de Emissieregistratie. Voor arseen en kobalt zijn sinds 2019 emissies vanuit de bron uitspoeling landbouw- en natuurgronden opgenomen. Deltares beveelt aan om te onderzoeken of vanuit de uitspoeling van bodems kwik en/of zilver en wellicht ook PBDE's in het milieu terechtkomen.
- Om de link tussen de KRW-toestand die gebaseerd is op concentratiemetingen en de vrachten uit de Emissieregistratie te leggen, is het gewenst om ook de lokale hydrologie mee te nemen. Door de KRW-Verkenner in te zetten kan met de hydrologie en de vrachten een inschatting worden gemaakt van de gemodelleerde concentraties en metingen. Als tussen de gemodelleerde en gemeten concentraties een groot gat zit dan kan worden aangenomen dat er nog bepaalde bronnen missen die verantwoordelijk zijn voor de heersende concentraties.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>		<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding en doel onderzoek</b>	<b>9</b>
1.1	Aanleiding	9
1.2	Doel	9
1.3	Afbakening	9
1.3.1	Stof selectie bronnenanalyse	9
1.3.2	Compartiment selectie	9
1.3.3	Input data bronnenanalyse	10
1.4	Methode	10
1.4.1	Bijdrage emissiebronnen belasting nationaal niveau	11
1.4.2	Bijdrage emissiebronnen belasting regionaal niveau	11
1.4.3	Betrouwbaarheid van emissieschattingen	11
1.4.4	Aannames en berekeningen van emissieschattingen	12
1.4.5	Overige bronnen	12
1.5	Leeswijzer	12
<b>2</b>	<b>Resultaten analyse zes KRW-impulsstoffen</b>	<b>13</b>
2.1	Overzicht bijdrage emissiebronnen op nationaal niveau	13
2.2	Arseen	16
2.2.1	Regionale bijdrage	17
2.2.2	Berekeningsmethode en onzekerheden	18
2.2.3	Aanvullende inzichten	21
2.3	Kobalt	22
2.3.1	Regionale bijdrage	23
2.3.2	Berekeningsmethode en onzekerheden	24
2.3.3	Aanvullende inzichten	25
2.4	Kwik	26
2.4.1	Regionale bijdrage	27
2.4.2	Berekeningsmethode en onzekerheden	28
2.4.3	Aanvullende inzichten	30
2.5	Nikkel	31
2.5.1	Regionale bijdrage	32
2.5.2	Berekeningsmethode en onzekerheden	33
2.5.3	Aanvullende inzichten	35
2.6	PBDE's	36
2.6.1	Regionale bijdrage	37
2.6.2	Berekeningsmethode en onzekerheden	38
2.6.3	Aanvullende inzichten	39
2.7	Zilver	41
2.7.1	Regionale bijdrage	42
2.7.2	Berekeningsmethode en onzekerheden	43
2.7.3	Aanvullende inzichten	44

<b>3</b>	<b>Conclusie</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>48</b>

# 1 Inleiding en doel onderzoek

## 1.1 Aanleiding

Verskillende chemische stoffen halen in 2024 hun KRW-doel nog niet in veel KRW-waterlichamen terwijl de oorzaak hiervan niet altijd bekend is (zie KRW-tussenuvaluatie; Slagter et al. 2024). Inzicht in de emissiebronnen die bijdragen aan de lozingen op zowel het riool als het oppervlaktewater kan helpen bij het bepalen van gerichte maatregelen om de waterkwaliteitsdoelen te behalen. Rijkswaterstaat heeft Deltares gevraagd om voor zes specifieke KRW-stoffen een inventarisatie en analyse te maken van de beschikbare emissiegegevens en de totstandkoming hiervan binnen de Emissieregistratie.

## 1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is tweeledig:

- 1 Nagaan welke emissiebronnen en emissieroutes uit de Emissieregistratie een bijdrage leveren aan de nationale totale emissie van de geselecteerde KRW-stoffen.
- 2 Nagaan op welke methodes en aannames deze emissiegegevens gebaseerd zijn.

De inventarisatie dient als startpunt voor een vervolgonderzoek die de kennisleemtes beter in beeld gaat brengen en waar mogelijk aan zal vullen.

## 1.3 Afbakening

### 1.3.1 Stof selectie bronnenanalyse

In deze bronnenanalyse is een zestal stoffen onderzocht, namelijk arseen, kwik, nikkel, kobalt, zilver en gebromeerde difenylethers (PBDE's - brandvertragers). In Tabel 1.1 hieronder is een korte toelichting op de onderzochte stoffen opgenomen.

Tabel 1.1 Toelichting onderzochte zestal stoffen.

Stof	Opmerking
Arseen	KRW-specifieke verontreinigende stof, Zeer zorgwekkende stof. Vaak aangeduid als metaal maar formeel een metalloïde.
Kobalt	KRW-specifieke verontreinigende stof, Zeer zorgwekkende stof. Metaal.
Kwik	KRW-prioritair ubiquitair, Zeer zorgwekkende stof, OSPAR, PBT. Metaal.
Nikkel	KRW-prioritair niet-ubiquitair, Zeer zorgwekkende stof. Metaal.
Gebromeerde difenylethers (PBDE's)	KRW-prioritair ubiquitair, Zeer zorgwekkende stof, PBT-stof.
Zilver	KRW-specifieke verontreinigende stof, Biocide. Metaal.

### 1.3.2 Compartiment selectie

De aanleiding van deze bronnenanalyse is het verkrijgen van inzicht in de emissiebronnen die bijdragen aan de lozingen op zowel het riool als het oppervlaktewater, omdat deze informatie kan helpen bij het bepalen van gerichte maatregelen om de waterkwaliteitsdoelen te behalen (KRW). In deze bronnenanalyse zijn daarom enkel emissiebronnen met emissies op riool en oppervlaktewater geanalyseerd.

### 1.3.3 Input data bronnenanalyse

Voor de bronanalyse is gebruik gemaakt van drie verschillende bronnen:

- Emissieregistratie data van het emissiejaar 2022 voor alle emissiegegevens<sup>1</sup>. Alle bestaande Emissieregistratie werkvelden met een emissie op water zijn meegenomen in de analyse (zie 1.3.2).
- Het Deltares rapport Aandachtstoffen Rijkswateren Verkenning van de mogelijke emissiebronnen<sup>2</sup> als leidraad voor analyse van de betrouwbaarheid van emissiegegevens.
- Stoffiches opgesteld als achtergronddocument voor Stroomgebiedsbeheerplannen 2022-2027 van de Rijn, Maas, Eems en Schelde<sup>3</sup>.

## 1.4 Methode

Het doel van de bronnenanalyse is tweeledig, hieronder is toegelicht hoe invulling is gegeven aan de doelen van deze bronnenanalyse.

- 1 Nagaan welke emissiebronnen en emissieroutes uit de Emissieregistratie een bijdrage leveren aan de nationale totale emissie van de geselecteerde KRW-stoffen.**  
Om na te gaan welke emissiebronnen en emissieroutes een bijdrage leveren aan de nationale totale belasting van het oppervlaktewater van geselecteerde KRW-stoffen is zowel gekeken naar welke bronnen een bijdrage leveren op nationaal niveau als regionaal niveau.
- 2 Nagaan op welke methodes en aannames deze emissiegegevens gebaseerd zijn.**  
Niet alle emissiebronnen en emissieroutes zijn relevant voor alle stoffen, daarom is enkel voor een selectie aan emissiebronnen nagegaan op welke methodes en aannames de emissiegegevens zijn gebaseerd. Voor de selectie aan emissiebronnen is allereerst gekeken naar bronnen die een grote bijdrage leveren aan de belasting van het oppervlaktewater op nationaal en regionaal niveau. Vervolgens is voor de bronnen ook in beeld gebracht wat de onzekerheid van de emissieberekeningen is. Voor de volledigheid is ook een korte reflectie gegeven op eventuele bronnen welke geen onderdeel zijn van de Emissieregistratie.

Uiteindelijk bestaat deze bronnenanalyse uit de volgende onderdelen:

- Welke bronnen leveren een grote bijdrage aan belasting op nationaal niveau
- Welke bronnen leveren een bijdrage aan emissies op regionaal niveau
- Wat is de betrouwbaarheid van emissieschattingen van geselecteerde emissiebronnen?
- Op welke aannames en berekeningen zijn emissieschattingen van geselecteerde emissiebronnen gebaseerd?
- Zijn er bronnen welke niet in de huidige Emissieregistratie zijn opgenomen?

---

<sup>1</sup> Alle voor dit rapport geraadpleegde data is beschikbaar via <https://www.emissieregistratie.nl/>.

<sup>2</sup> Het rapport is beschikbaar via: [https://publications.deltares.nl/1202137\\_005.pdf](https://publications.deltares.nl/1202137_005.pdf).

<sup>3</sup> De achtergronddocumenten van de stroomgebiedsbeheerplannen 2022-2027 zijn beschikbaar via: <https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/sgbp-achtergronddocumenten-2022-2027>.

Hieronder is per onderdeel toegelicht hoe bovenstaande vragen zijn uitgewerkt.

#### **1.4.1 Bijdrage emissiebronnen belasting nationaal niveau**

Om een inschatting te maken van de bijdrage van verschillende emissiebronnen aan de nationale totale emissie per stof is de dataset voor het meest recent jaar dat beschikbaar is (2022) vanaf de openbare website van de Emissieregistratie<sup>4</sup> gedownload.

#### **1.4.2 Bijdrage emissiebronnen belasting regionaal niveau**

Om een inschatting te maken van de bijdrage van verschillende emissiebronnen aan de regionale emissie per stof zijn de kaarten die beschikbaar zijn op de openbare website van de Emissieregistratie gebruikt<sup>5</sup>. Daarbij is per stof per waterbeheerder gekeken naar diffuse bronnen en puntbronnen die een bijdrage leveren aan de emissie in de beheergebieden van waterbeheerders. Het is belangrijk te realiseren dat de geloosde vracht niet direct iets zegt over het effect op de stofconcentraties in het ontvangende oppervlaktewater. Dit hangt sterk af van de lokale hydrologische omstandigheden, zoals stroming en verdunning. Grotere installaties lozen vaak meer vracht, maar dit leidt niet automatisch tot hogere concentraties in het oppervlaktewater. In gebieden met veel verdunning en stroming blijft de impact beperkt, terwijl kleinere lozingen in stilstaand water juist wél tot hogere concentraties kunnen leiden.

#### **1.4.3 Betrouwbaarheid van emissieschattingen**

De betrouwbaarheid van emissieschattingen is alleen uitgewerkt voor bronnen die een aanzienlijke bijdrage leveren aan de nationale totale emissie van deze stof. Daarbij is de keuze gemaakt om enkel bronnen uit te werken die een bijdrage van minimaal 5% leveren aan de nationale totale emissie van een stof. Voor het in kaart brengen van de betrouwbaarheid is een vergelijkbare methode gebruikt als beschreven in Deltares rapport Aandachtstoffen Rijkswateren Verkenning van de mogelijke emissiebronnen, zie 1.3.3.

De emissieschatting van een bron bestaat uit verschillende variabelen, namelijk:

- Emissieverklarende variabele (EVV)
- Emissiefactoren
- Verdeling compartimenten
- Emissieroutes naar water
- Regionalisatie

Voor elke variabele is een betrouwbaarheidsschatting gemaakt, deze is toegelicht in de factsheet van de emissiebron<sup>6</sup>. De volgende betrouwbaarheidspercentages zijn hierbij gehanteerd: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekent een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel. Alle percentages ertussen geven van laag naar hoog een steeds kleinere betrouwbaarheid en een grotere onzekerheid. Voor het in kaart brengen van de betrouwbaarheid per emissiebron is de minst betrouwbare variabele is geselecteerd als betrouwbaarheidsindicator voor de betreffende emissiebron. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van de schattingen voor de nationale totalen.

---

<sup>4</sup> Te bereiken via: <https://www.emissieregistratie.nl/>.

<sup>5</sup> Te bereiken via: <https://data.emissieregistratie.nl/emissies/grafiek>.

<sup>6</sup> De factsheets zijn beschikbaar via: <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten/factsheets-water>.

#### **1.4.4 Aannames en berekeningen van emissieschattingen**

Aannames en berekeningen van emissieschattingen zijn alleen uitgewerkt voor bronnen die een aanzienlijke bijdrage leveren aan de nationale totale emissie van deze stof. Daarbij is de keuze gemaakt om enkel bronnen uit te werken die een bijdrage van minimaal 5% leveren aan de nationale totale emissie van een stof.

#### **1.4.5 Overige bronnen**

In 2022 zijn voor alle KRW-stoffen stoffiches uitgewerkt, zie 1.3.3. Deze stoffiches zijn opgesteld aan de hand van informatie van de Emissieregistratie, daarbij is per stof ook aangegeven of er mogelijk bronnen zijn die niet zijn opgenomen in de Emissieregistratie. De stoffiches zijn voor de bronnenanalyse geraadpleegd en indien in de stoffiches missende bronnen zijn geïdentificeerd zijn deze in deze memo benoemd.

### **1.5 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 worden de resultaten van de bronnenanalyse uitgewerkt. In paragraaf 2.1 is de bijdrage van emissiebronnen aan de nationale totale emissie per stof toegelicht. Vervolgens is in de paragrafen 2.2 t/m 2.7 per stof aandacht besteed aan de nationale en regionale bijdrage van emissiebronnen, de betrouwbaarheid van schattingen van emissiebronnen, aannames en berekeningen die daaraan ten grondslag liggen en eventuele andere bronnen die niet in de Emissieregistratie zijn opgenomen. Hoofdstuk 3 is het afsluitende hoofdstuk van deze studie en bestaat uit een conclusie met de belangrijkste bevindingen per bron (3) en enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek (4).

## 2 Resultaten analyse zes KRW-impulsstoffen

Voor de zes KRW-impulsstoffen zijn de belangrijkste emissieoorzaken geïdentificeerd zoals ze gepresenteerd zijn in de Emissieregistratie. De relatieve bijdrage van elke bron is zowel voor de emissies op riool als de emissies op oppervlaktewater weergegeven in respectievelijk Tabel 2.1 en Tabel 2.2. In deze tabellen zijn de emissiebronnen met de grootste relatieve bijdrage aan de nationaal totale vracht voor het emissiejaar 2022 opgenomen. De absolute nationale totale vrachten zijn getoond in Tabel 2.3. Hier staan de vrachten uitgedrukt in kilogram waar de percentages van Tabel 2.1 en Tabel 2.2 op zijn gebaseerd. Aanvullend zijn de bijdrages van de aanvoer van de buitenlandse riviervrachten op de Nederlandse grens toegevoegd. Dit omdat de buitenlandse riviervrachten volgens de Emissieregistratie niet gerekend wordt tot de binnenlandse belasting op oppervlaktewater. De hieronder gepresenteerde overzichten zijn volledig gebaseerd op emissiegegevens uit de Emissieregistratie.

### 2.1 Overzicht bijdrage emissiebronnen op nationaal niveau

Tabel 2.1 toont dat voor arseen de emissieoorzaak *'huishoudelijk afvalwater'* voor 89% verantwoordelijk is voor de nationale totale emissies op het riool (zie par. 2.2 voor details). De nationale totale emissies van kobalt heeft drie relevante bronnen. *'Atmosferische depositie'* is met 46% de grootste bron gevolgd door *'industrie'* (42%), waarvan vrijwel de gehele bijdrage komt uit de puntbronnen *'behandeling van afval'*. Een kleinere bron met 12% is de bijdrage van *'bandenslijtage in de bebouwde kom'*. Voor kwik is 89% van de emissies op het riool afkomstig vanuit *'huishoudelijk afvalwater'* aangevuld door emissies vanuit *'atmosferische depositie'* met 9%. *'Huishoudelijk afvalwater'* is voor 80% verantwoordelijk voor de emissies van nikkel naar het riool. Dezelfde bron is ook de grootste voor PBDE's naar het riool met 96%. Als laatste wordt zilver alleen berekend voor industrie, waardoor dit voor 100% van de emissies zorgt, waarvan de grootste bron *'groente- en fruitverwerking'* is. In het overzicht valt op dat kobalt- en zilveremissies ontbreken voor de emissieoorzaak *'huishoudelijk afvalwater'*, terwijl voor de overige stoffen deze bron de grootste bijdrage levert. Daarnaast ontbreekt ook zilver vanuit de *'atmosferische depositie'* en PBDE's emissies uit de industrie. Voor deze stof-bron combinaties zou nader onderzoek gedaan kunnen worden of hier sprake is van mogelijk missende bronnen.

Tabel 2.1 Overzicht van de relatieve emissiebijdrage op **riool** van de belangrijkste Emissieregistratie-bronnen voor de stoffen arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE's en zilver. In de laatste rij zijn de totale bijdrage van de genoemde bronnen weergegeven.

Emissieoorzaak (werkveld nr)	Arseen	Kobalt	Kwik	Nikkel	PBDE's	Zilver
Huishoudelijk afvalwater (31)	<b>89%</b>	-	<b>89%</b>	<b>80%</b>	<b>96%</b>	-
Atmosferische depositie (32)	4%	<b>46%</b>	9%	5%	4%	-
Industrie (5/9)	6%	<b>42%</b>	1%	15%	-	100%
Bandenslijtage bebouwde kom (25)	<1%	12%	-	<1%	-	-
<i>Totaal bovengenoemde bronnen</i>	<i>98%</i>	<i>100%</i>	<i>99%</i>	<i>93%</i>	<i>100%</i>	<i>99,5%</i>

Tabel 2.2 toont dat voor arseen de emissieoorzaken *'uitspoeling van natuur- en landbouwbodems'* samen voor 61% verantwoordelijk zijn voor de nationale totale emissies naar het oppervlaktewater (zie par. 2.2 voor details). Ook *'gewolmaniseerd hout uit de waterbouw'* lijkt een relevante bron te zijn met 17%.

Voor kobalt is 91% van de emissie afkomstig van de 'uitspoeling uit natuur- en landbouwbodems'. De bronnen van kwik zijn meer divers met een bijdrage van 64% vanuit 'atmosferische depositie', terwijl 22% van de emissie gerelateerd is aan 'effluënten', 'riooloverstorten' en 'regenwaterriolen' en 15% is afkomstig van industriële bronnen. Nikkel is voor 65% afkomstig vanuit de 'uitspoeling van natuur- en landbouwgronden' en ook de bijdrage van 'effluënten', 'riooloverstorten' en 'regenwaterriolen' van 29% is significant. Voor PBDE's zijn twee bronnen verantwoordelijk voor de emissies, namelijk de gebundelde bron van 'effluënten', 'riooloverstorten' en 'regenwaterriolen' met 54% en 'atmosferische depositie' met 46%. De emissies voor zilver worden volgens de emissieregistratie volledig toegeschreven aan de bron 'effluënten' van de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). Voor 'uitspoeling vanuit natuur- en landbouwgronden' ontbreken emissies vanuit kwik en zilver. Ook ontbreekt zilver als emissie uit 'atmosferische depositie'. Voor deze stof-bron combinaties zou nader onderzoek gedaan kunnen worden of hier sprake is van mogelijk missende bronnen.

Tabel 2.2 Overzicht van de relatieve emissievrachtenbijdrage op oppervlaktewater van de belangrijkste Emissieregistratie-bronnen voor de stoffen arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE's en zilver. In de laatste rij zijn de totale bijdrage van de genoemde bronnen weergegeven. Een ontbrekende waarde (-) geeft aan dat er voor deze stof geen bijdrage vanuit deze bron is berekend.

Emissieoorzaak (werkveld nr)	Arseen	Kobalt	Kwik	Nikkel	PBDE's	Zilver
Uitspoeling landbouwgronden (23)	47%	71%	-	52%	-	-
Uitspoeling natuurgonden (23)	14%	20%	-	13%	-	-
Atmosferische depositie (32)	2%	2%	64%	3%	46%	-
Effluënten (31/6)	11%	<1%	12%	22%	38%	98%
Regenwaterriolen (31)	6%	<1%	7%	6%	10%	1%
Overstorten (31)	<1%	<1%	3%	1%	6%	1%
Industrie (9)	1%	6%	15%	3%	-	-
Gewolmaniseerd hout in de waterbouw (12)	17%	-	-	-	-	-
<b>Totaal bovengenoemde bronnen</b>	<b>98%</b>	<b>98%</b>	<b>99.9%</b>	<b>99.9%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Tabel 2.3 toont naast de absolute vrachten per emissieoorzaak ook de aangevoerde vrachten vanuit de Rijn, Schelde en Maas in kilogram. Deze aangevoerde buitenlandse vrachten geven inzicht in de relatieve bijdrage ten opzichte van de door het binnenlandse emissies op oppervlaktewater. Het is hierbij belangrijk om te benadrukken dat buitenlandse vrachten voor een groot deel via de grote rivieren direct naar de Noordzee worden afgevoerd, terwijl binnenlandse emissies via het regionale watersysteem, de haarvaten, dieper het land in invloed hebben op de waterkwaliteit. Voor alle beschouwde stoffen geldt dat de Rijn de grootste hoeveelheid aanvoert gevolgd door de Schelde. De Maas levert in absolute zin de laagste vrachten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de genoemde vrachten op zichzelf weinig zeggen over de waterkwaliteit, omdat de bijbehorende rivierafvoeren (debieten) niet zijn meegenomen in de Emissieregistratie. De verhouding tussen buitenlandse en binnenlandse vrachten kan indicatief zijn voor de volledigheid van de binnenlandse emissieschatting, ervan uitgaande dat de emissieprofielen in de rest van het stroomgebied vergelijkbaar zijn met Nederland en dat daardoor de verhouding tussen het binnenlandse debiet en buitenlandse debiet iets zegt over de emissies die in Nederland verwacht mogen worden. In Tabel 2.3 zien we bijvoorbeeld dat voor arseen, kobalt en nikkel ongeveer 20% van de totale aanvoer is toe te schrijven aan binnenlandse bronnen. Tegelijk is ongeveer 20% van het totale debiet afkomstig uit het binnenland van Nederland (Osté et al. 2025). Doordat deze factor tussen de aanvoer en de debieten 1 is, kan de aanname worden gedaan dat de vrachten in de goede orde grootte worden ingeschat volgende de Emissieregistratie.

Wat wel opvalt is een zeer lage binnenlandse bijdrage van zilver <1%, terwijl er via het buitenland een zilvervracht Nederland binnenkomt die circa 500 keer groter is. Dit duidt mogelijk op ontbrekende binnenlandse bronnen in de Emissieregistratie en vraagt om nader onderzoek.

Tabel 2.3 Overzicht van de absolute emissievrachtenbijdrage in kg op oppervlaktewater van de belangrijkste Emissieregistratie-bronnen voor de stoffen arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE's en zilver. In de laatste rij is de verhouding tussen binnenlandse en buitenlandse emissievrachten weergegeven.

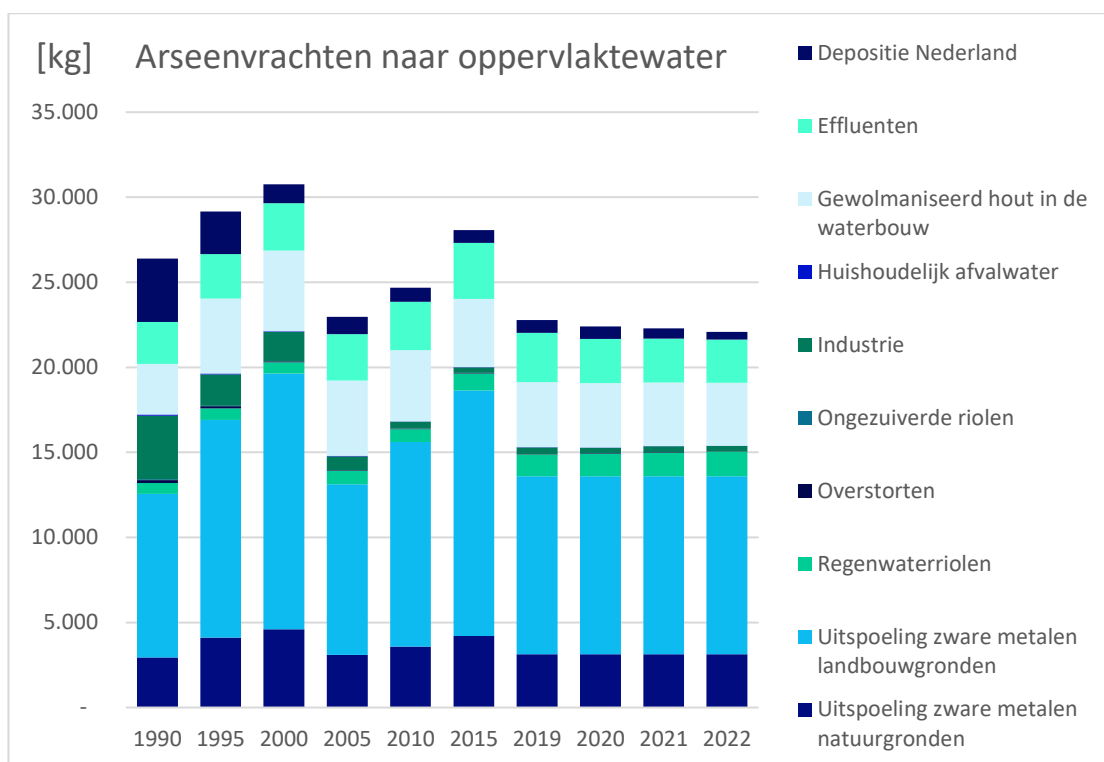
Emissieoorzaak (werkveld nr)	Arseen	Kobalt	Kwik	Nikkel	PBDE's	Zilver
Uitspoeling landbouwgronden (23)	10,471	4,991	-	17,760	-	-
Uitspoeling natuurgronden (23)	3,132	1,377	-	4,519	-	-
Effluenten (31/6)	2,531	30	18	7,360	5.62	2.47
Regenwaterriolen (31)	1,420	24	10	1,903	1.48	0.03
Overstorten (31)	26	5	4	427	0.89	0.03
Huishoudelijk afvalwater via IBA (31)	6	-	0.2	13	0.04	-
Atmosferische depositie (32)	455	166	99	1,176	6.90	-
Industrie (9)	334	385	23	883	-	-
Gewolmaniseerd hout in de waterbouw (12)	3,711	-	-	-	-	-
Verkeer en vervoer	0.1	4.3	-	7.2	-	-
Meemesten sloten	-	-	-	7	-	-
<b>Totaal bronnen (zonder aanvoer rivieren)</b>	<b>22,086</b>	<b>6,983</b>	<b>154</b>	<b>34,056</b>	<b>14.9</b>	<b>2.53</b>
Aanvoer Rijn	74,024	26,366	559	106,518	4.57	569
Aanvoer Maas	5,853	3,080	36	12,755	0.20	52
Aanvoer Schelde	20,338	7,024	237	18,768	0.26	428
<b>Totaal bronnen (met aanvoer rivieren)</b>	<b>122,302</b>	<b>43,453</b>	<b>986</b>	<b>172,097</b>	<b>19.97</b>	<b>1,049</b>
<i>Verhouding binnenland/buitenland</i>	<i>0.18</i>	<i>0.16</i>	<i>0.46</i>	<i>0.20</i>	<i>0.75</i>	<i>&lt; 0.01</i>

In de volgende hoofdstukken zal apart worden ingegaan op de zes stoffen. Hierbij zal worden ingezoomd op de belangrijkste bronnen en worden gekeken naar de onzekerheden en regionale verdeling die horen bij deze bronnen. Deze informatie kan helpen bij het beter inzichtelijk maken waar de kennisleemtes bestaan binnen de bron-stof combinaties.

## 2.2 Arseen

Voor de stof arseen zijn de grootste bronnen van emissies naar oppervlaktewater in 2022: 'uitspoeling landbouwgronden' (47%; 10,471 kg), 'gewolmaniseerd hout in de waterbouw' (17%; 3,711 kg), 'uitspoeling natuurgronden' (14%; 3,132 kg), 'effluënten' (11%; 2,531 kg) en 'regenwaterriolen' (6%; 1,420 kg) (zie Tabel 2.2 en Tabel 2.3). Deze bronnen zijn niet altijd consistent over de tijd. Figuur 2.1 toont de ontwikkeling van de nationale totale emissies van arseen naar oppervlaktewater, opgesplitst per bron, over de periode 1990–2022. De figuur laat zien hoe de relatieve bijdragen van de verschillende bronnen gedurende de jaren zijn veranderd. Sinds 2000 is de totale emissie van arseen afgenomen, voornamelijk door een daling in de uitspoeling van zware metalen. Ook de emissies uit effluënten zijn gedaald. De overige bronnen blijven relatief constant door de jaren heen (zie Figuur 2.1).

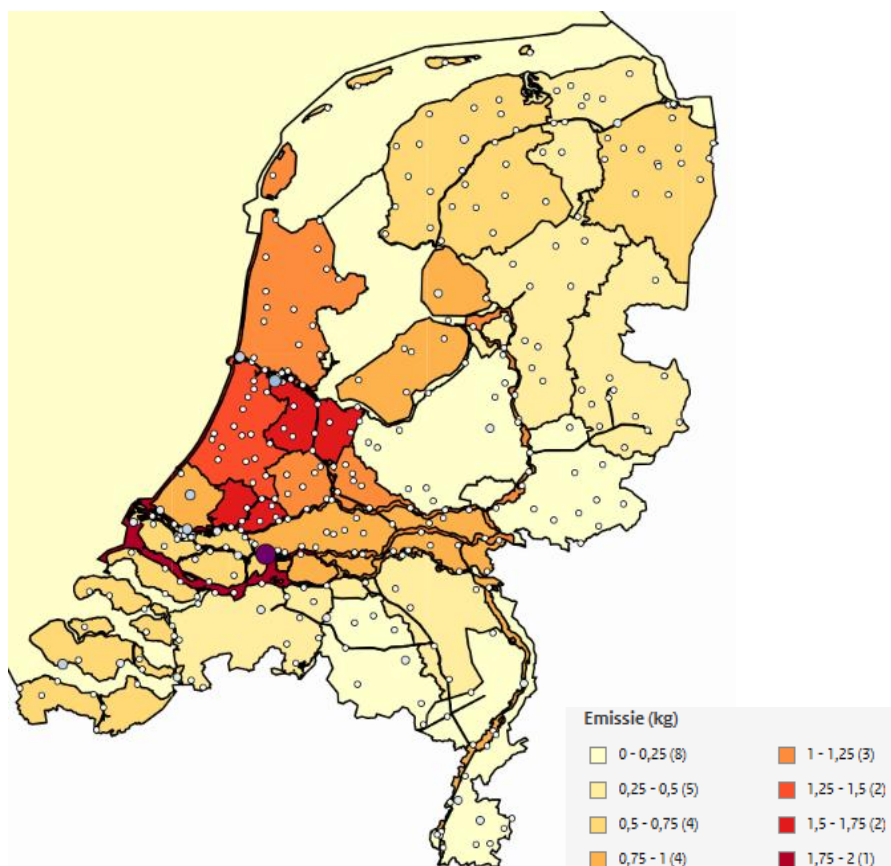
In dit hoofdstuk worden de bronnen met de hoogste bijdrage (> 5% van de totale emissie) nader toegelicht. Er wordt ingezoomd op de regionale bijdrage waarbij de belangrijkste puntbronnen worden toegelicht om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de emissies (paragraaf 2.2.1). Daarna wordt ingegaan op de methoden die gebruikt worden bij de emissieberekening van de belangrijkste bronnen (paragraaf 2.2.2). Per bron wordt de toegepaste berekeningswijze beschreven, inclusief de aannames die daarin worden gehanteerd en de mate van onzekerheid die bij deze schattingen komt kijken. Tot slot wordt gekeken of er nog aanvullende inzichten zijn per stof (paragraaf 2.2.3).



Figuur 2.1 Nationale totale emissies van arseen opgesplitst per bron over de periode van 1990 tot en met 2022.

### 2.2.1 Regionale bijdrage

Het ruimtelijke beeld van arseen laat vooral hoge emissies (per oppervlakte-eenheid) zien in het westen van Nederland met name in de provincies Noord- en Zuid-Holland (zie Figuur 2.2).



Figuur 2.2 Ruimtelijke verdeling van de totale belasting van arseen op het oppervlaktewater (kg/km<sup>2</sup>), gebaseerd op zowel diffuse als puntbronnen. De grenzen geven de gebieden van de waterbeheerders weer.

#### Puntbronnen

De emissieoorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden gerekend tot de puntbronnen vormen ongeveer 12% van de totale belasting van het oppervlaktewater voor arseen (22,086 kg). Hieronder is de top-5 weergegeven van de grootste puntbronnen voor arseen. Deze liggen met uitzondering van RWZI Walcheren allemaal in het Randstedelijk gebied en dragen daarmee ook bij aan de relatief hoge belasting in dit deel van Nederland. Een andere interessante puntbron die net buiten de top-5 valt is Tata Steel IJmuiden BV (56.6 kg).

Puntbronnen top-5:

	Puntbron	Waterbeheerder	Oppervlaktewater
1	RWZI Dordrecht: 221 kg	Ws Hollandse delta	BENEDEN MERWEDE
2	RWZI Amsterdam-West: 100 kg	Hhs Amstel, Gooi en Vecht	NOORDZEEKANAAL
3	RWZI De Grote Lucht: 80 kg	Hhs van Delfland	NIEUWE WATERWEG / HET SCHEUR
4	Delfluent Services BV: 71 kg	Hhs van Delfland	NOORDZEE RWS
5	RWZI Walcheren: 63 kg	Ws Scheldestromen	ZUIDERSLUISWATERGANG

### Diffuse bronnen

De emissieoorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden toegekend aan diffuse bronnen vormen ongeveer 78% van de belasting van het oppervlaktewater voor arseen. Hiervan is uitspoeling van natuur- en landbouwgronden de grootste (61%).

De concentraties van arseen in het grondwater en bodemeigenschappen zoals pH en organische stof zijn belangrijke factoren bij de ruimtelijke verdeling voor deze emissiefactoren en kunnen het patroon verklaren (Osté et al. 2025). Gewolmaniseerd hout in de waterbouw draagt voor 17% bij aan de belasting op oppervlaktewater, dit wordt regionaal verdeeld aan de hand van de oeverlengtes, die per km<sup>2</sup> relatief hoog zijn in het Randstedelijk gebied.

### 2.2.2 Berekenningsmethode en onzekerheden

In Tabel 2.4 wordt per bron beknopt de gehanteerde methodiek toegelicht, zoals beschreven in de bijbehorende factsheets<sup>7</sup>, voor de emissies van arseen naar oppervlaktewater.

Tabel 2.4 Samenvatting van de berekening per bron voor emissies van arseen naar het oppervlaktewater.

Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
Uitspoeling zware metalen landbouw- en natuurgronden (23)	<p>De berekeningen van arseenemissies zijn uitgevoerd met behulp van het Landelijk waterkwaliteitsmodel (LWKM). Dit model houdt rekening met diverse factoren die van invloed zijn op de uit- en afspoeling van zware metalen, waaronder bodemtype, landgebruik en hydrologie. Een belangrijk sturingsfactor in deze processen is de hoeveelheid neerslag; bij hogere neerslaghoeveelheden neemt de uitspoeling van stoffen toe, terwijl bij droge jaren juist minder uitspoeling optreedt. Eens in de 5 jaar wordt het model geactualiseerd. Om deze reden zijn de emissiegegevens voor emissiejaar 2022 gelijk aan de emissiegegevens in emissiejaar 2019. Het gedrag van arseen in de bodem bepaalt de mate van uitspoeling uit de bodem. Het lijkt erop dat de aanwezigheid van arseen correleert met opgelost organisch koolstof, wat kan wijzen op mobilisatie onder invloed van organisch materiaal, vooral in veen- en moerasachtige gebieden. Ruimtelijke modelresultaten laten zien dat vooral in de Randstad en rondom het IJsselmeergebied verhoogde emissies optreden. Een aanzienlijk deel van de arseenbelasting vindt plaats via het grondwater, wat erop kan duiden dat arseen op natuurlijke wijze uit diepere bodemlagen kan vrijkomen en in het oppervlaktewater terechtkomt. De totale aanvoer van arseen naar de bodems waar het weer uit kan spoelen wordt gevoerd door zowel atmosferische depositie als het aanbrengen van dierlijke mest.</p> <p>Voor deze bron wordt geen onderscheid gemaakt tussen het antropogene en het natuurlijke aandeel van emissies. Uit Osté et al. (2025) blijkt echter dat een deel van de metalen van nature voorkomt in Nederlandse bodems. Dit impliceert dat deze metalen ook zonder menselijke invloed via uitspoeling in het oppervlaktewater kunnen terechtkomen en daarmee mogelijk bijdragen aan het niet behalen van de KRW-doelen. Het zou daarom relevant zijn om in toekomstig onderzoek het natuurlijke en antropogene aandeel in emissies beter te onderscheiden. In eerdere studies van Van Duijnhoven (2010) en Osté et al. (2022) misten de relevante belastingen vanuit natuur- en landbouwgronden. Deze bron is voor arseen en kobalt in de tussentijd toegevoegd waardoor voor deze stoffen een completer beeld is ontstaan.</p> <p>Naast de directe depositie op oppervlaktewater, die voor arseen als kleinere bron is gekwantificeerd, vindt ook indirecte depositie plaats op de onverharde bodem. Deze indirecte depositie wordt meegenomen in de berekening van de uitspoeling van natuur- en landbouwgronden. Dit betekent dat de indirecte atmosferische depositie ook een bijdrage levert aan de bron uitspoeling van natuur- en landbouwbodems.</p>
Gewolmaniseerd hout in de waterbouw (12)	<p>Bij gewolmaniseerd hout wordt gebruik gemaakt van Wolmanzouten om het hout te verduurzamen (beter bestand tegen houtrot door o.a. water). De Wolmanzouten zijn een afvalproduct van de metaalindustrie en ertssmelterijen en bestaan uit verschillende zware metalen (arseen, koper en chroom). Het wolmaniseren van hout werd aanvankelijk gezien als een milieuvriendelijke vervanging van tropisch hardhout, maar bij contact met water kunnen de metalen arseen, chroom en koper uitspoelen. Voor de berekening van arseenemissies door gewolmaniseerd hout is van belang hoeveel gewolmaniseerd hout geplaatst is in de jaren voor het emissiejaar. De</p>

<sup>7</sup> De factsheets zijn beschikbaar via: <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten/factsheets-water>.

Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
	<p>gebruikte hoeveelheden m<sup>3</sup> hout per jaar zijn overgenomen uit Van der Zee (2002). Vanaf 2001 is gewolmaniseerd hout niet meer toegepast in de waterbouw, omdat er geen vergunning meer voor wordt afgegeven. De huidige emissies van arseen vanuit de Wolman-zouten in het hout zijn daarom alleen afkomstig van hout dat is aangelegd in de periode 1979 – 2001. Voor 1979 werd voornamelijk gecreosoteerd hout gebruikt (dat geen arseen bevat, maar PAKs als verduurzamingsmiddel). De levensduur van gewolmaniseerd hout is gesteld op 40 jaar (Van der Zee,2002). Het hout dat destijds is geplaatst is daarmee op dit moment nog (grotendeels) aanwezig. De uitloging van arseen varieert en is afhankelijk van het jaar van plaatsing. Tot 1989 werd verduurzaamingsmiddel CCA type B gebruikt. Vanaf 1990 werd dit vervangen door verduurzaamingsmiddel type C. Verduurzaamingsmiddel CCA type C bevat minder arseen dan CCA type B. Hier wordt rekening mee gehouden in de uitlogingsnelheid van arseen in hout geplaatst na 1990. Daarnaast neemt de uitlogingsnelheid van arseen af naarmate het hout ouder wordt. Ook dit is meegenomen in de berekening van de arseenemissies.</p>
<p>Effluenten RWZI's, individueel (6)</p>	<p>Werkveld 6 bevat een beschrijving van de bepaling van de effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties voor de zogenaamde gemeten stoffen: Totaal Stikstof, Totaal Fosfor, de parameter Chemisch Zuurstofverbruik en de zware metalen Koper, Chroom, Lood, Zink, Cadmium, Nikkel, Kwik, alsmede Arseen. De vrachten vanuit effluenten voor de overige stoffen in de Emissieregistratie worden berekend in werkveld 31.</p> <p>Het berekenen van arseen emissies vanuit effluenten bestaat uit een methode voor even en een methode voor oneven jaren. Voor even jaren worden de emissies bepaald op basis van gegevens die waterschappen aanleveren via het systeem Z-info of die uit de E-PRTR rapportage komen. Deze gegevens bevatten metingen van concentraties na filtratie en debieten, waarmee de jaarvrachten worden berekend volgens de voorschriften in de Activiteitenregeling Milieubeheer. Bij circa 60 rwzi's worden zowel het influent als het effluent gemeten. Bij circa 100 andere rwzi's worden alleen effluentmetingen uitgevoerd. In deze gevallen wordt de effluentvracht op dezelfde manier berekend, terwijl de influentvracht wordt geschat met behulp van de vracht van metalen in het zuiveringsslib. Hieruit wordt per stof een gemiddeld zuiveringsrendement bepaald via een statistische analyse. Hierbij wordt gebruikgemaakt van het gewogen gemiddelde volgens Tukey, dat minder gevoelig is voor uitschieters. Deze berekende gemiddelde zuiveringsrendementen worden gebruikt om bij de rwzi's waar geen zware metalen in het effluent worden gemeten, de effluenten te schatten op basis van de vrachten metalen in het geproduceerde zuiveringsslib.</p> <p>In de oneven jaren worden alleen de gemeten effluenten na filtratie uit de e-PRTR rapportage of Z-info meegenomen. Voor rwzi's waar geen gemeten jaarvrachten beschikbaar zijn, worden de berekende getallen uit het voorgaande jaar gekopieerd. Omdat met name de grotere rwzi's gemeten effluentvrachten rapporteren, wordt maar een klein deel van de landelijke effluentvracht arseen bepaald op basis van de vrachten in het slib. De laatste jaren schommelt dit aandeel rond de 20%; 80% van de landelijke effluent jaarvracht bestaat dus uit gemeten jaarvrachten.</p>
<p>Regenwaterriolen (31)</p>	<p>Voor het berekenen van de emissies van arseen in regenwaterriolen binnen werkveld 31 vormt de vervuilingvracht op het rioleringsstelsel het uitgangspunt. Deze vervuilingvracht is afkomstig van zowel diffuse als puntbronnen die zijn opgenomen in de EmissieRegistratie. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende typen aanvoer: hemelwaterafvoer van daken (hwa-dak), van wegen (hwa-weg), van beide (hwa-beide), droogweerafvoer van huishoudens (dwa-hh), droogweerafvoer van overige bronnen (dwa), en rioolvreemd water (rv).</p> <p>In een volgende stap wordt met behulp van een hydraulisch model bepaald welk deel van deze vervuiling via welke route binnen de afvalwaterketen wordt getransporteerd en op welke locatie deze uiteindelijk terechtkomt. Voor regenwaterriolen wordt hierbij specifiek gekeken naar het aandeel van gescheiden hemelwaterafvoer en verbeterd gescheiden systemen dat wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater.</p> <p>Binnen de verschillende onderdelen van het regenwaterriool vinden processen plaats die leiden tot (gedeeltelijke) verwijdering van arseen, zoals sedimentatie in kolkenslib en verwijdering tijdens het reinigen van het riool. Omdat directe meetgegevens</p>

Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
	<p>ontbreken, wordt de mate van verwijdering van arseen in deze processen geschat op basis van de verdelingscoëfficiënt (log Kd).</p> <p>De uiteindelijke emissie van arseen op een specifieke locatie wordt berekend met een formule die drie componenten combineert: de hoeveelheid arseen die via elk aanvoertype het riool binnenkomt, het aandeel van deze vracht dat de betreffende locatie bereikt, en het verwijderingsrendement van arseen binnen het rioolstelsel.</p>

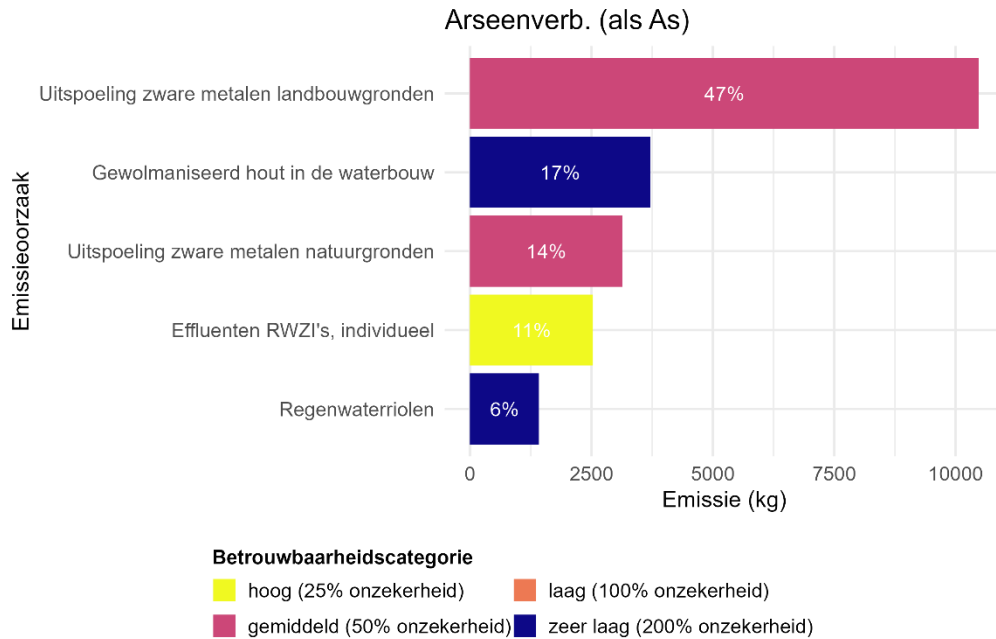
De hoeveelheid arseen emissies naar oppervlaktewater, inclusief de bijbehorende betrouwbaarheidsklasse, is weergegeven in Figuur 2.3. Voor de uitspoeling van zware metalen vanaf landbouw- en natuurgronden geldt een maximale onzekerheid van 50%, wat overeenkomt met een middelmatige betrouwbaarheid. Deze inschatting is gebaseerd op de aannames rond de gewasopname van zware metalen. Voor meer details over de verschillende factoren die de onzekerheid in de emissieschattingen beïnvloeden, wordt verwezen naar de bijbehorende factsheet (Factsheet Uitspoeling van zware metalen uit landbouw- en natuurbodems, 2021) en Van der Bolt et al., 2020.

De inschatting van de arseenemissies uit gewolmaniseerd hout heeft een lage betrouwbaarheid, met een onzekerheid van 200%. Deze onzekerheid is toe te schrijven aan de emissieverklarende variabele (EVV): de hoeveelheid gewolmaniseerd hout die per jaar is geplaatst (in m<sup>3</sup>). In de waterbouw wordt gewolmaniseerd hout pas sinds 1979 gebruikt en er wordt uitgegaan van een levensduur van 40. Op basis hiervan is aangenomen dat al het geplaatste hout nog steeds aanwezig is. Sinds 2001 wordt geen nieuw gewolmaniseerd hout meer toegepast in de waterbouw, omdat er geen vergunningen meer voor worden afgegeven. Echter is het niet met zekerheid vast te stellen of gewolmaniseerd hout daadwerkelijk niet meer wordt toegepast. Daarnaast is het de vraag of de veronderstelde levensduur van 40 jaar realistisch is en of het na 40 jaar ook verwijderd wordt (binnen de berekening wordt 50 jaar aangehouden als conservatief getal omdat er geen aanwijzingen zijn dat het materiaal na 40 direct wordt verwijderd). Op dit moment is geen landelijk overzicht bekend waar in Nederland gewolmaniseerd hout is toegepast in de waterbouw en waar het op dit moment ook nog daadwerkelijk staat. Naast de EVV zorgt ook de emissiefactor (EF) van gewolmaniseerd hout voor onzekerheid. Het hout dat zo'n 40 jaar geleden is geplaatst nadert het eind van zijn levensduur, door middel van processen als rotting kan hierdoor de uitlogingssnelheid van arseen dat nog steeds aanwezig is in het hout toenemen.

Voor de effluënten RWZI's is er een hoge betrouwbaarheid met een maximaal onzekerheidspercentage van 25%. Bij ruim de helft van de RWZI's zijn de vrachten van metalen als arseen, koper, chroom, lood, zink en nikkel rechtstreeks worden bepaald op basis van metingen van zowel concentratie als debiet (Factsheet effluënten RWZI's (gemeten stoffen) 2024, K. Baas pers. comm., 2025)). Bij de overige RWZI's, voornamelijk kleinere installaties, worden de vrachten geschat aan de hand van gemeten slibvrachten en gemiddelde rendementen. Omdat er dus sprake is van een combinatie van directe metingen en schattingen, is gekozen voor een onzekerheid van 25%. Belangrijk om te vermelden is dat in werkveld 31 ook de emissies vanuit de effluënten van RWZI's worden berekend (*Effluënten RWZI's, berekend*), maar dat deze worden overschreven door de meer betrouwbare inschatting uit werkveld 6, gebaseerd op de bron *Effluënten RWZI's, individueel*.

Voor regenwaterriolen geldt dat de emissies wél worden berekend in werkveld 31, ondanks dat deze bron een lage betrouwbaarheid heeft, met een bijbehorende onzekerheid van 200%. Deze hoge onzekerheid komt voort uit het feit dat binnen de verschillende onderdelen van het regenwaterriool processen plaatsvinden die leiden tot (gedeeltelijke) verwijdering van arseen, zoals sedimentatie in kolken-slib en verwijdering tijdens het reinigen van het riool.

Omdat directe meetgegevens over deze processen ontbreken, wordt de mate van verwijdering geschat op basis van de verdelingscoëfficiënt (log Kd). Daarnaast zijn er onvoldoende metingen in hemelwater, waarmee de berekende emissies uit het hydraulische model geoptimaliseerd kunnen worden.



*Figuur 2.3 Emissies van de belangrijkste bronnen van arseen naar oppervlaktewater volgens de Emissieregistratie voor het emissiejaar 2022, inclusief de betrouwbaarheidscategorie per bron. De percentages in de balken geven de relatieve bijdrage van elke bron aan de totale nationale emissie weer.*

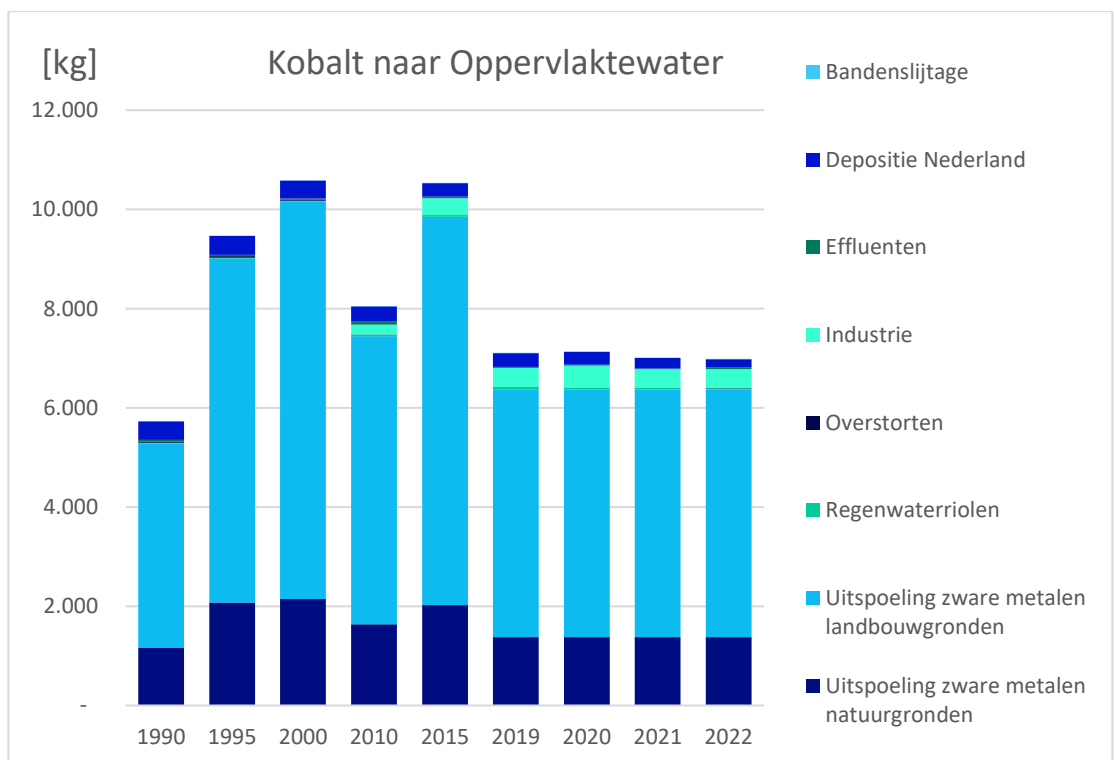
### 2.2.3 Aanvullende inzichten

Arseen in het oppervlaktewater kan zowel een natuurlijke als antropogene bron hebben. De bodem bevat van nature arseenverbindingen die door bepaalde processen vrij kunnen komen in het milieu. Er worden geen ontbrekende missende bronnen genoemd (Ministerie Infrastructuur en Waterstaat, 2022). In Osté et al. 2018 wordt met name het gemis van de relevante bron uitspoeling uit bodems genoemd. In 2022 is deze bron wel aanwezig in de Emissieregistratie waardoor een deel van de onzekerheid rondom deze missende bron is weggenomen. Gewolmaniseerd hout draagt aanzienlijk bij, maar de hoeveelheid is onzeker. Wellicht kan de Emissieregistratie op dit punt worden verbeterd. Vanuit de RWZI's komt arseen als puntbron in het oppervlaktewater terecht waardoor deze bron lokaal een grote invloed kan hebben. Voor arseen lijkt er een redelijk compleet beeld van de belasting van oppervlaktewater te zijn doordat arseen is meegenomen in de berekeningen voor alle grote emissiebronnen binnen de Emissieregistratie.

## 2.3 Kobalt

Voor de stof kobalt zijn de grootste bronnen van emissies naar oppervlaktewater in 2022: 'uitspoeling landbouwgronden' (71%; 4,991 kg) en 'uitspoeling natuurgronden' (20%; 1,377 kg) (zie Tabel 2.2). Deze bronnen zijn niet altijd consistent over de tijd. Figuur 2.4 toont de ontwikkeling van de nationale totale emissies van kobalt naar oppervlaktewater, opgesplitst per bron, over de periode 1990–2022. De figuur laat zien hoe de relatieve bijdragen van de verschillende bronnen gedurende de jaren zijn veranderd. Sinds 1990 lijkt de totale emissie van kobalt te variëren, terwijl sinds 2019 de bronnen stabiel zijn.

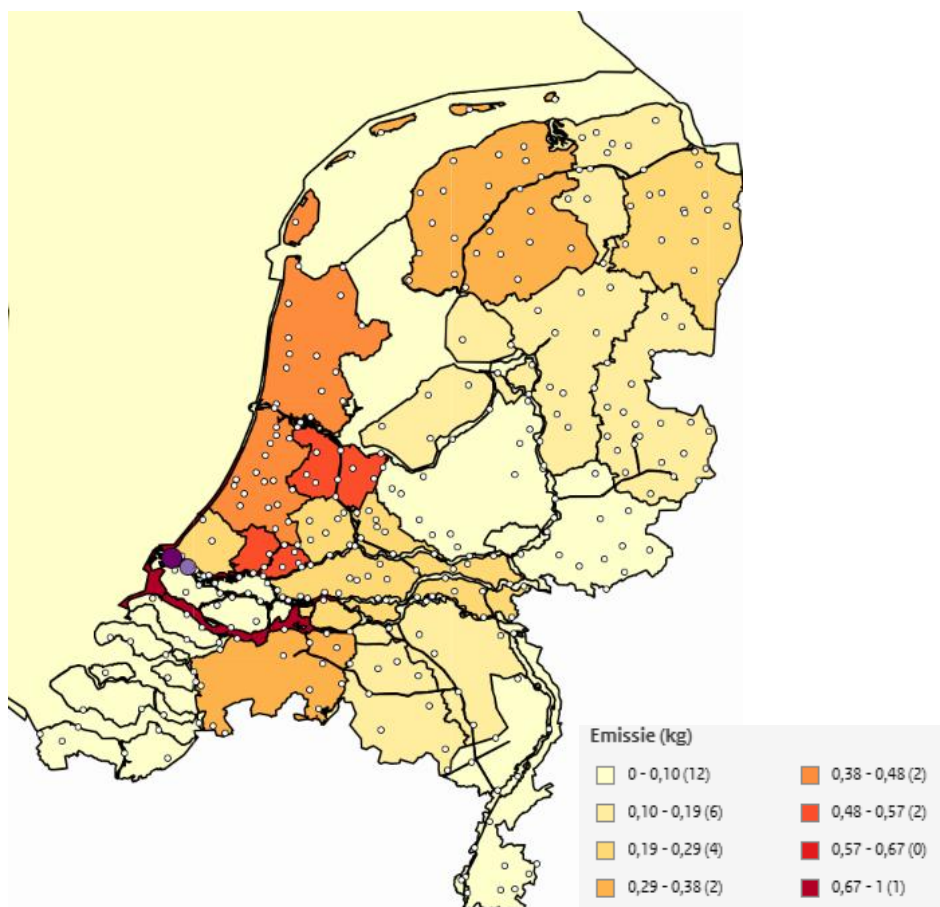
In dit hoofdstuk worden de bronnen met de hoogste bijdrage (> 5% van de totale emissie) nader toegelicht. Er wordt ingezoomd op de regionale bijdrage waarbij de belangrijkste puntbronnen worden toegelicht om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de emissies (paragraaf 2.3.1). Daarna wordt ingegaan op de methoden die gebruikt worden bij de emissieberekening van de belangrijkste bronnen (paragraaf 2.3.2). Per bron wordt de toegepaste berekeningswijze beschreven, inclusief de aannames die daarin worden gehanteerd en de mate van onzekerheid die bij deze schattingen komt kijken. Tot slot wordt gekeken of er nog aanvullende inzichten zijn per stof (paragraaf 2.3.3).



Figuur 2.4 Nationale totale emissies van kobalt opgesplitst per bron over de periode van 1990 tot en met 2022.

### 2.3.1 Regionale bijdrage

Het ruimtelijke beeld van kobalt laat vooral hoge emissies (per oppervlakte-eenheid) zien in het westen van Nederland met name in de provincies Noord- en Zuid-Holland, maar ook in delen van Brabant en Friesland (Figuur 2.5).



Figuur 2.5 Ruimtelijke verdeling van de totale belasting van kobalt op het oppervlaktewater (kg/km<sup>2</sup>), gebaseerd op zowel diffuse als puntbronnen. De grenzen geven de gebieden van de waterbeheerders weer.

#### Puntbronnen

De emissie oorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden gerekend tot de puntbronnen vormen ongeveer 5% van de totale belasting van het oppervlaktewater voor kobalt (6,983 kg). Hieronder is de top-5 weergegeven van de grootste puntbronnen voor kobalt. Deze liggen met uitzondering van Nedmag BV allemaal in het Randstedelijk gebied en dragen daarmee ook bij aan de relatief hoge belasting in dit deel van Nederland.

Puntbronnen top-5:

	Puntbron	Waterbeheerder	Oppervlaktewater
1	Indorama Ventures Europe BV: 218 kg	Dienst West-Nederland Zuid (RWS)	Beerkanaal bij Europoort
2	ExxonMobil Chemical Holland BV: 145 kg	Dienst West-Nederland Zuid (RWS)	Calandkanaal
3	Nedmag BV: 20 kg	Omgevingsdienst Groningen	Eems in Nederland
4	AVR NV (Rijnmond): 2.3 kg	Dienst West-Nederland Zuid (RWS)	Nieuwe Waterweg en het Scheur
5	Delfluent Services BV: 1.3 kg	Hhs van Delfland	NOORDZEE RWS

### Diffuse bronnen

De emissie oorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden toegekend aan diffuse bronnen (uitspoeling van natuur- en landbouwgronden) vormen 91% van de belasting van het oppervlaktewater voor kobalt.

Bodemeigenschappen spelen waarschijnlijk een belangrijke rol bij de ruimtelijke verdeling van dit onderdeel (Osté et al. 2025). Een duidelijke uitzondering hierop is Scheldestromen. Het ruimtelijke beeld voor de diffuse bronnen van kobalt is dus nog niet helemaal duidelijk te verklaren.

### 2.3.2 Berekeningsmethode en onzekerheden

In Tabel 2.5 wordt per bron beknopt de gehanteerde methodiek toegelicht, zoals beschreven in de bijbehorende factsheets<sup>8</sup>, voor de emissies van kobalt oppervlaktewater.

Tabel 2.5 Samenvatting van de berekening per bron voor emissies van kobalt naar het oppervlaktewater.

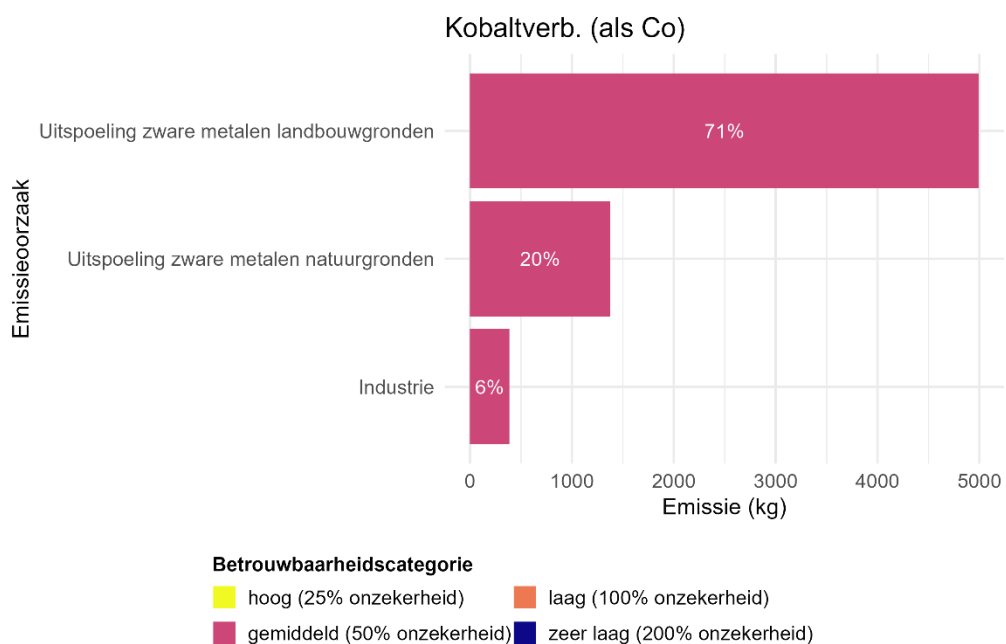
Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
Uitspoeling zware metalen landbouw- en natuurgonden (23)	<p>De berekeningen van kobaltemissies zijn uitgevoerd met behulp van het Landelijk waterkwaliteits model (LWKM). Dit model houdt rekening met diverse factoren die van invloed zijn op de uit- en afspoeling van zware metalen, waaronder bodemtype, landgebruik en hydrologie. Een belangrijke sturingsfactor in deze processen is de hoeveelheid neerslag: bij hogere neerslaghoeveelheden neemt de uitspoeling van stoffen toe, terwijl bij droge jaren juist minder uitspoeling optreedt. Eens in de 5 jaar wordt het model geactualiseerd waardoor de emissiegegevens voor emissiejaar 2022 gelijk zijn aan de emissiegegevens in emissiejaar 2019. Het gedrag van kobalt bepaalt de mate van uitspoeling uit de bodem. Een relevant deel van de nikkelbelasting vindt plaats via het grondwater, wat erop kan duiden dat kobalt op natuurlijke wijze uit diepere bodemlagen kan vrijkomen en in het oppervlaktewater terecht komt. De totale aanvoer van kobalt naar de bodems waar het weer uit kan spoelen wordt gevoed door met name dierlijke mest.</p> <p>Voor deze bron wordt geen onderscheid gemaakt tussen het antropogene en het natuurlijke aandeel van emissies. Uit Osté et al. (2025) blijkt echter dat een deel van de metalen van nature voorkomt in Nederlandse bodems. Dit impliceert dat deze metalen ook zonder menselijke invloed via uitspoeling in het oppervlaktewater kunnen terechtkomen en daarmee mogelijk bijdragen aan het niet behalen van de KRW-doelen. Het zou daarom relevant zijn om in toekomstig onderzoek het natuurlijke en antropogene aandeel in emissies beter te onderscheiden. In eerdere studies van van Duijnhoven (2010) en Osté et al. (2022) misten de relevante belasting vanuit natuur- en landbouwgronden. Deze bron is voor arseen en kobalt in de tussentijd toegevoegd waardoor voor deze stoffen en completer beeld is ontstaan.</p> <p>Naast de directe depositie op oppervlaktewater, die voor kobalt als kleinere bron is gekwantificeerd, vindt ook indirecte depositie plaats op de onverharde bodem. Deze indirecte depositie wordt meegenomen in de berekening van de uitspoeling van natuur- en landbouwgronden. Dit betekent dat de indirecte atmosferische depositie ook een bijdrage levert aan de bron uitspoeling van natuur- en landbouwgronden.</p>
Industrie (9)	<p>De industriële emissiegegevens worden verkregen via het elektronisch milieujarverslag. In het elektronisch milieujarverslag staan bedrijven die een milieujarverslag indienen en bedrijven die EPRTR plichtig zijn. In Nederland vullen met ingang van rapportagejaar 2007 de E-PRTR bedrijven zelf hun emissies in het elektronisch Milieujarverslag (eMJV) in. Voor de Nederlandse situatie geldt dat een groot deel van de bedrijven onder de E-PRTR verordening valt, waardoor de emissies via het eMJV kunnen worden verzameld. Verder zijn er ook nog niet E-PRTR bedrijven verplicht om een jaarlijks milieujarverslag in te dienen (Ten gevolge van het Besluit Milieujarverslaglegging). Het bevoegd gezag (waterschappen en regionale onderdelen RWS) controleert en valideert deze gegevens.</p>

<sup>8</sup> De factsheets zijn beschikbaar via: <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten/factsheets-water>.

De hoeveelheid nationaal geschatte emissies, inclusief de bijbehorende betrouwbaarheidsklasse, is weergegeven in Figuur 2.6. Voor de uitspoeling van zware metalen vanaf landbouw- en natuurgronden geldt een maximale onzekerheid van 50%, wat overeenkomt met een middelmatige betrouwbaarheid. Deze inschatting is gebaseerd op de aannames rond de gewasopname van zware metalen.

Voor meer details over de verschillende factoren die de onzekerheid in de emissieschattingen beïnvloeden, wordt verwezen naar de bijbehorende factsheet (Factsheet Uitspoeling van zware metalen uit landbouw- en natuurbodems, 2021) en Van der Bolt et al. (2020).

Ook voor industriële vrachten naar het oppervlaktewater wordt een onzekerheid van 50% aangehouden. Dit komt doordat bedrijven alleen rapporteren als gemeten concentraties boven de drempelwaarde uitkomen. Sinds de invoering van E-PRTR is de jaarlijkse enquête onder waterbeheerders vervallen, en rapporteren alleen grotere bedrijven via het eMJV. Kleinere vrachten blijven daardoor vaak buiten beeld. Tegelijkertijd wordt er minder gemeten om de administratieve lasten te verlagen en is de handhaving overgegaan van waterbeheerders naar gemeenten, wat de betrouwbaarheid verder beïnvloedt.



*Figuur 2.6 Emissies van de belangrijkste bronnen van kobalt naar oppervlaktewater volgens de Emissieregistratie voor het emissiejaar 2022, inclusief de betrouwbaarheidscategorie per bron. De percentages in de balken geven de relatieve bijdrage van elke bron aan de totale nationale emissie weer.*

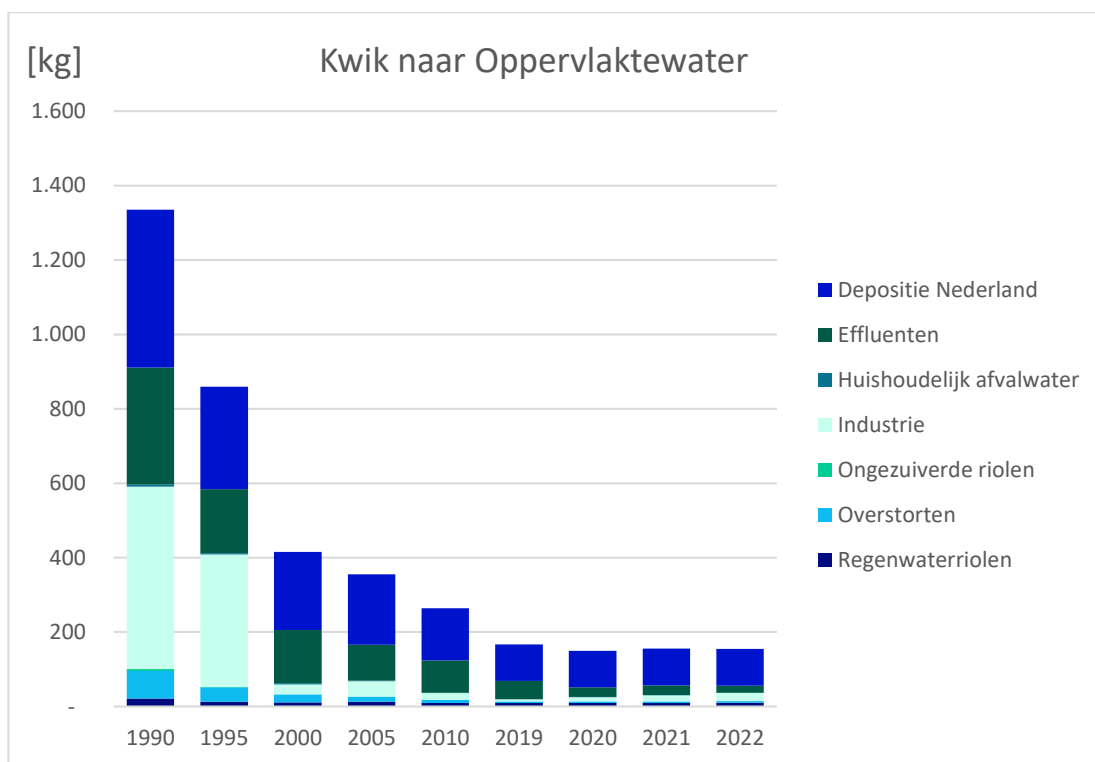
### 2.3.3 Aanvullende inzichten

In de huidige Emissieregistratie vormt de uitspoeling van zware metalen vanaf landbouw- en natuurgronden verreweg de grootste bron van kobaltemissies naar het milieu. Dit is een duidelijke verschuiving ten opzichte van de situatie in Van Duijnhoven (2010), waar RWZI's en industriële lozingen nog als de voornaamste bronnen werden genoemd. Daarnaast lag de totale geschatte emissie toen aanzienlijk lager, namelijk rond de 550 kg per jaar, tegenover een huidige schatting van circa 7,000 kg per jaar. Deze toename is dus toe te schrijven aan een verbreding en actualisering van de emissieoorzaken in de Emissieregistratie. In Osté et al. 2018 wordt het gemis van de relevante bron uitspoeling uit bodems ook genoemd. In 2022 is deze bron wel aanwezig in de Emissieregistratie waardoor een deel van de onzekerheid rondom deze missende bron is weggenomen.

## 2.4 Kwik

Voor de stof kwik zijn de grootste bronnen van emissies naar oppervlaktewater in 2022: 'atmosferische depositie' (64%; 99 kg), 'industrie' (15%; 23 kg) en 'effluënten' (12%; 18 kg) (zie Tabel 2.2). Deze bronnen zijn niet altijd consistent over de tijd. Figuur 2.7 toont de ontwikkeling van de nationale totale emissies van kwik naar oppervlaktewater, opgesplitst per bron, over de periode 1990–2022. De figuur laat zien hoe de relatieve bijdragen van de verschillende bronnen gedurende de jaren zijn veranderd. Sinds 1990 is de totale emissie van kwik sterk afgenomen, voornamelijk door een daling in de industrie. De laatste jaren lijkt de daling af te vlakken.

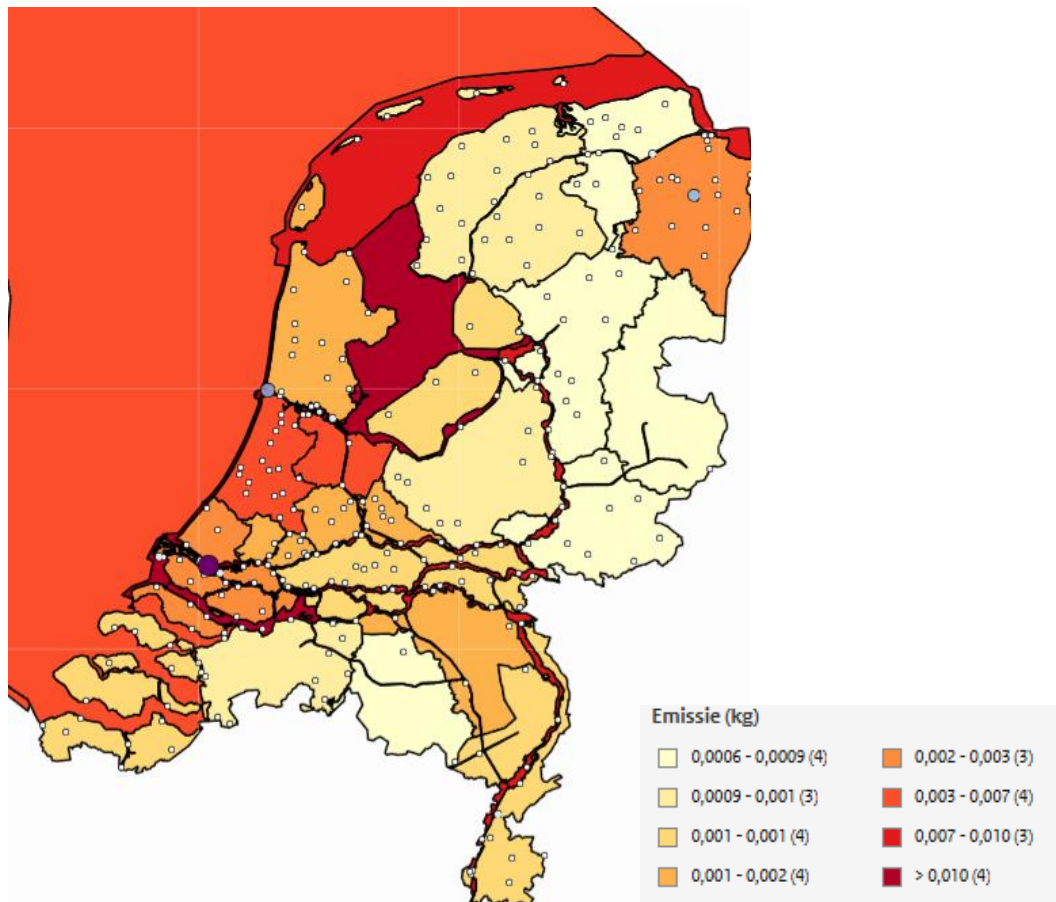
In dit hoofdstuk worden de bronnen met de hoogste bijdrage (> 5% van de totale emissie) nader toegelicht. Er wordt ingezoomd op de regionale bijdrage waarbij de belangrijkste puntbronnen worden toegelicht om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de emissies (paragraaf 0). Daarna wordt ingegaan op de methoden die gebruikt worden bij de emissieberekening van de belangrijkste bronnen (paragraaf 2.4.2). Per bron wordt de toegepaste berekeningswijze beschreven, inclusief de aannames die daarin worden gehanteerd en de mate van onzekerheid die bij deze schattingen komt kijken. Tot slot wordt gekeken of er nog aanvullende inzichten zijn per stof (paragraaf 2.4.3).



Figuur 2.7 Nationale totale emissies van kwik opgesplitst per bron over de periode van 1990 tot en met 2022.

### 2.4.1 Regionale bijdrage

Het ruimtelijke beeld van kwik laat vooral een hoge belasting (per oppervlakte-eenheid) zien op de Rijkswateren. Verder zijn er hoge emissies rond de haven van Rotterdam en onder Amsterdam. Ook valt het gebied op in het beheergebied van Hunze en Aa's, hier is ook een van de grotere puntbronnen gelegen (Figuur 2.8).



Figuur 2.8 Ruimtelijke verdeling van de totale belasting van kwik op het oppervlaktewater (kg/km<sup>2</sup>), gebaseerd op zowel diffuse als puntbronnen. De grenzen geven de gebieden van de waterbeheerders weer.

#### **Puntbronnen**

De emissie oorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden gerekend tot de puntbronnen vormen ongeveer 27% van de totale belasting van het oppervlaktewater voor kwik (154 kg) wat een grote bijdrage is. Hier onder is de top-5 weergegeven van de grootste puntbronnen voor kwik. Deze puntbronnen kunnen het ruimtelijk patroon met uitzondering van wellicht de grotere openwateren goed verklaren.

Puntbronnen top-5:

	Puntbron	Waterbeheerder	Oppervlaktewater
1	AVR NV (Rijnmond): 12.5 kg	Dienst West-Nederland Zuid (RWS)	Nieuwe Waterweg en het Scheur
2	Tata Steel IJMUIDEN BV: 3.2 kg	Dienst West-Nederland Noord (RWS)	Noordzeekanaal
3	Tronox Pigments (Holland) BV: (2,5 kg)	Dienst West-Nederland Zuid (RWS)	Nieuwe Waterweg en het Scheur
4	Nedmag BV: 2.3 kg	Omgevingsdienst Groningen	Eems in Nederland
5	RWZI Garmerwolde 0.6 kg	Ws Noorderzijlvest / Hunze en Aa's	EEMSKANAAL

**Diffuse bronnen**

De emissie oorzaken uit Tabel 2.3 die kunnen worden toegekend aan diffuse bronnen (atmosferische depositie) vormen 64% van de belasting van het oppervlaktewater voor kwik. Dit kan een mogelijke verklaring zijn voor de relatief hoge belasting op de grotere open Rijkswateren. Verder zijn de emissie in lucht hoger in stedelijk gebied dit kan ook voor regionale verschillen zorgen.

**2.4.2 Berekingsmethode en onzekerheden**

In Tabel 2.6 wordt per bron beknopt de gehanteerde methodiek toegelicht, zoals beschreven in de bijbehorende factsheets<sup>9</sup>, voor de emissies van kwik naar het oppervlaktewater.

Tabel 2.6 Samenvatting van de berekening per bron voor emissies van kwik naar het oppervlaktewater.

Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
Atmosferische depositie (32)	De kwikemissies op het oppervlaktewater vanuit atmosferische depositie zijn in 2008 berekend met het OPS/EMEP-model voor het emissiejaar 2000. Dit referentiejaar wordt jaarlijks geschaald aan een berekende trendfactor. In het model worden de bijdrages van binnenlandse bronnen, buitenlandse bronnen en zeescheepvaart samengenomen met ieder eigen trends en gemodelleerde vrachten. De binnenlandse trendfactoren zijn gebaseerd op de berekende emissies naar lucht zoals in de Emissieregistratie opgenomen. De buitenlandse trendfactoren zijn gebaseerd op gegevens uit de Europese emissiedatabase EMEP. Er worden geen vrachten uit zeescheepvaart berekend.
Industrie (9)	De industriële emissiegegevens worden verkregen via het elektronisch milieujaarverslag. In het elektronisch milieujaarverslag staan bedrijven die een milieujaarverslag indienen en bedrijven die EPRTR plichtig zijn. In Nederland vullen met ingang van rapportagejaar 2007 de E-PRTR bedrijven zelf hun emissies in het elektronisch Milieujaarverslag (eMJV) in. Voor de Nederlandse situatie geldt dat een groot deel van de bedrijven onder de E-PRTR verordening valt, waardoor de emissies via het eMJV kunnen worden verzameld. Verder zijn er ook nog niet E-PRTR bedrijven verplicht om een jaarlijks milieujaarverslag in te dienen (Ten gevolge van het Besluit Milieujaarverslaglegging). Het bevoegd gezag (waterschappen en regionale directies RWS) controleert en valideert deze gegevens.
Effluenten RWZI's, individueel (6)	Werkveld 6 bevat een beschrijving van de bepaling van de effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties voor de zogenaamde gemeten stoffen: Totaal Stikstof, Totaal Fosfor, de parameter Chemisch Zuurstofverbruik en de zware metalen Koper, Chroom, Lood, Zink, Cadmium, Nikkel, Kwik, alsmede Arseen. De vrachten vanuit effluenten voor de overige stoffen in de Emissieregistratie worden berekend in werkveld 31.  Het berekenen van kwik emissies vanuit effluenten bestaat uit een methode voor even en een methode voor oneven jaren. Voor even jaren worden de emissies bepaald op basis van gegevens die waterschappen aanleveren via het systeem Z-info of die uit de E-PRTR rapportage komen. Deze gegevens bevatten metingen van concentraties na filtratie en debieten, waarmee de jaarvrachten worden berekend volgens de voorschriften in de

<sup>9</sup> De factsheets zijn beschikbaar via: <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten/factsheets-water>.

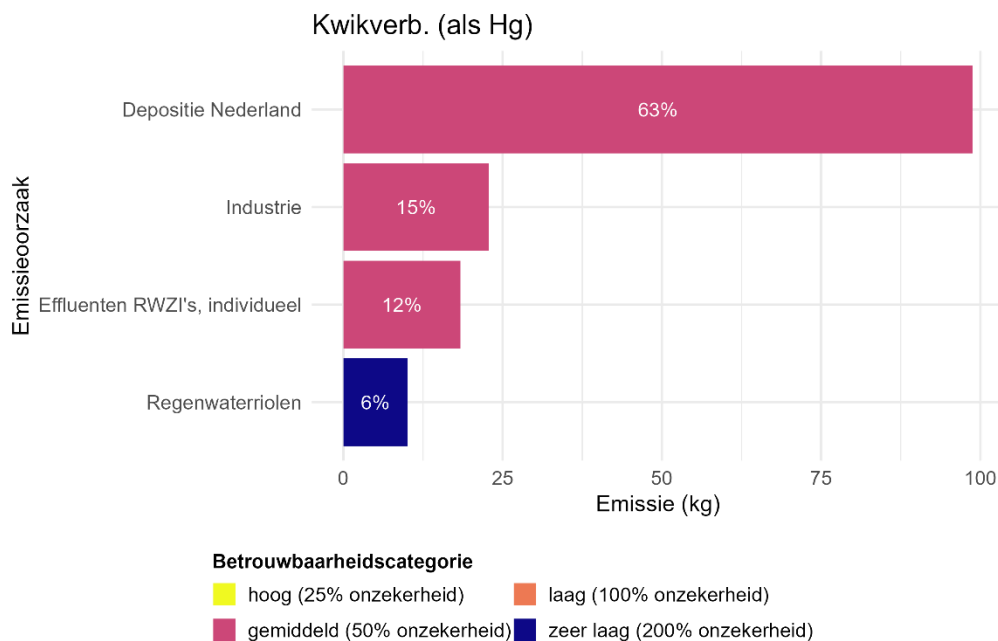
Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
	<p>Activiteitenregeling Milieubeheer. Bij circa 60 rwzi's worden zowel het influent als het effluent gemeten. Bij circa 100 andere rwzi's worden alleen effluentmetingen uitgevoerd. In deze gevallen wordt de effluentvracht op dezelfde manier berekend, terwijl de influentvracht wordt geschat met behulp van de vracht van metalen in het zuiveringsslib. Hieruit wordt per stof een gemiddeld zuiveringsrendement bepaald via een statistische analyse. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het gewogen gemiddelde volgens Tukey, dat minder gevoelig is voor uitschieters. Deze berekende gemiddelde zuiveringsrendementen worden gebruikt om bij de rwzi's waar geen zware metalen in het effluent worden gemeten, de effluënten te schatten op basis van de vrachten metalen in het geproduceerde zuiveringsslib.</p> <p>In de oneven jaren worden alleen de gemeten effluënten na filtratie uit de e-PRTR rapportage of Z-info meegenomen. Voor rwzi's waar geen gemeten jaarvrachten beschikbaar zijn, worden de berekende getallen uit het voorgaande jaar gekopieerd. Omdat met name de grotere rwzi's gemeten effluentvrachten rapporteren, wordt maar een klein deel van de landelijke effluentvracht kwik bepaald op basis van de vrachten in het slib. De laatste jaren schommelt dit aandeel rond de 20%; 80% van de landelijke effluent jaarvracht bestaat dus uit gemeten jaarvrachten.</p>
Regenwaterriolen (31)	<p>Voor het berekenen van de emissies van kwik in regenwaterriolen binnen werkveld 31 vormt de vervuilingvracht op het rioleringsstelsel het uitgangspunt. Deze vervuilingvracht is afkomstig van zowel diffuse als puntbronnen die zijn opgenomen in de EmissieRegistratie. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende typen aanvoer: hemelwaterafvoer van daken (hwa-dak), van wegen (hwa-weg), van beide (hwa-beide), droogweerafvoer van huishoudens (dwa-hh), droogweerafvoer van overige bronnen (dwa), en rioolvreemd water (rv).</p> <p>In een volgende stap wordt met behulp van een hydraulisch model bepaald welk deel van deze vervuiling via welke route binnen de afvalwaterketen wordt getransporteerd en op welke locatie deze uiteindelijk terechtkomt. Voor regenwaterriolen wordt hierbij specifiek gekeken naar het aandeel van gescheiden hemelwaterafvoer en verbeterd gescheiden systemen dat wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater.</p> <p>Binnen de verschillende onderdelen van het regenwaterriool vinden processen plaats die leiden tot (gedeeltelijke) verwijdering van kwik, zoals sedimentatie in kolkenslib en verwijdering tijdens het reinigen van leidingen. In tegenstelling tot sommige andere stoffen zijn voor kwik metingen uitgevoerd in kolkenslib, waardoor de verwijderingsrendementen hierop zijn gebaseerd in plaats van schattingen via een log Kd-waarde.</p> <p>De uiteindelijke emissie van kwik op een specifieke locatie wordt berekend met een formule die drie componenten combineert: de hoeveelheid kwik die via elk aanvoertype het riool binnenkomt, het aandeel van deze vracht dat de betreffende locatie bereikt, en het verwijderingsrendement van kwik binnen het rioolstelsel.</p>

De hoeveelheid kwik emissies naar oppervlaktewater, inclusief de bijbehorende betrouwbaarheidsklasse, is weergegeven in Figuur 2.9. Voor de grootste bron atmosferische depositie geldt een maximale onzekerheid van 50%, wat overeenkomt met een middelmatige betrouwbaarheid. Dit is te wijden aan de invoergegevens in het Operationele Prioritaire Stoffen-model (OPS-model) voor metalen. Deze zijn redelijk goed bekend, maar dienen wel nog gevalideerd te worden met meetgegevens. Deze validatie gebeurt aan de hand van meetgegevens uit het landelijk meetnet regenwater van RIVM.

Ook voor industriële vrachten naar het oppervlaktewater wordt een onzekerheid van 50% aangehouden. Dit komt doordat bedrijven alleen rapporteren als gemeten concentraties boven de drempelwaarde uitkomen. Sinds de invoering van E-PRTR is de jaarlijkse enquête onder waterbeheerders vervallen, en rapporteren alleen grotere bedrijven via het eMJV. Kleinere vrachten blijven daardoor vaak buiten beeld. Tegelijkertijd wordt er minder gemeten om de administratieve lasten te verlagen en is de handhaving overgegaan van waterbeheerders naar gemeenten, wat de betrouwbaarheid verder beïnvloedt.

Voor de effluënten RWZI's is er een gemiddelde betrouwbaarheid met een maximaal onzekerheidspercentage van 50%. Bij kwik wordt een deel van de berekende jaarvrachten door het waterschap op 0 gesteld; daar speelt met name de detectiegrens een rol (Factsheet effluënten RWZI's (gemeten stoffen)). Bovendien is het lastig om jaarlijkse betrouwbare rendementen af te leiden uit beschikbare gegevens. Bij de meeste RWZI's worden de vrachten dan ook bepaald uit de gemeten slibvrachten en een vast rendement, afkomstig uit de literatuur. Belangrijk om te vermelden is dat in werkveld 31 ook de emissies vanuit de effluënten van RWZI's worden berekend (*Effluënten RWZI's, berekend*), maar dat deze worden overschreven door de meer betrouwbare inschatting uit werkveld 6, gebaseerd op de bron *Effluënten RWZI's, individueel*.

Voor regenwaterriolen geldt dat de emissies wél worden berekend in werkveld 31, ondanks dat deze bron een lage betrouwbaarheid heeft, met een bijbehorende onzekerheid van 200%. Deze hoge onzekerheid komt voort uit het feit dat er onvoldoende metingen in hemelwater zijn, waarmee de berekende emissies uit het hydraulische model geoptimaliseerd kunnen worden.



*Figuur 2.9 Emissies van de belangrijkste bronnen van kwik naar oppervlaktewater volgens de Emissieregistratie voor het emissiejaar 2022, inclusief de betrouwbaarheidscategorie per bron. De percentages in de balken geven de relatieve bijdrage van elke bron aan de totale nationale emissie weer.*

### 2.4.3

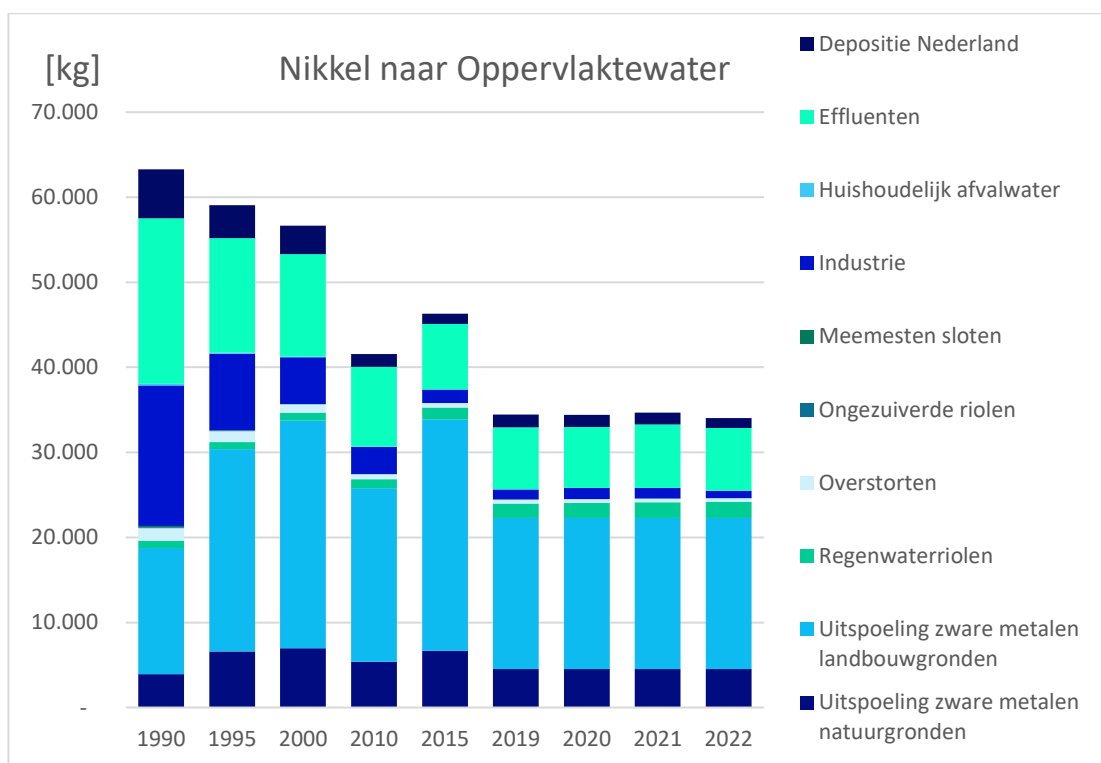
#### Aanvullende inzichten

De Emissieregistratie laat zien dat atmosferische depositie nog steeds de grootste bron van kwik is, net als in Van Duinhoven (2010). De verdeling van bronnen is daarmee nauwelijks gewijzigd ten opzichte van toen. In eerdere studies van van Duinhoven (2010) en Ministerie Infrastructuur en Waterstaat (2022) misten de relevante uitspoelingsbron vanuit natuur- en landbouwgronden. Deze bron is voor arseen en kobalt in de tussentijd toegevoegd waardoor voor deze stoffen en completer beeld is ontstaan. Wellicht zou dit voor kwik en zilver ook kunnen bijdragen aan een completer emissiebeeld. Op dit moment zit deze bron niet in de Emissieregistratie voor kwik. Kwikemissies naar de lucht kunnen neerslaan op bodems en zo indirect bijdragen aan deze belasting.

## 2.5 Nikkel

Voor de stof nikkel zijn de grootste bronnen van emissies naar oppervlaktewater in 2022: 'uitspoeling landbouwgronden' (52%; 17,760 kg), 'uitspoeling natuurgronden' (13%; 4,519 kg), 'effluënten' (22%; 7,360 kg), 'regenwaterriolen' (6%; 1,903 kg) en 'industrie' (3%; 883 kg) (zie Tabel 2.2). Deze bronnen zijn niet altijd consistent over de tijd. Figuur 2.10 toont de ontwikkeling van de nationale totale emissies van nikkel naar oppervlaktewater, opgesplitst per bron, over de periode 1990–2022. De figuur laat zien hoe de relatieve bijdragen van de verschillende bronnen gedurende de jaren zijn veranderd. Sinds 1990 is de totale emissie van nikkel afgenomen, voornamelijk door een daling in de industrie. De laatste jaren lijkt de daling af te vlakken.

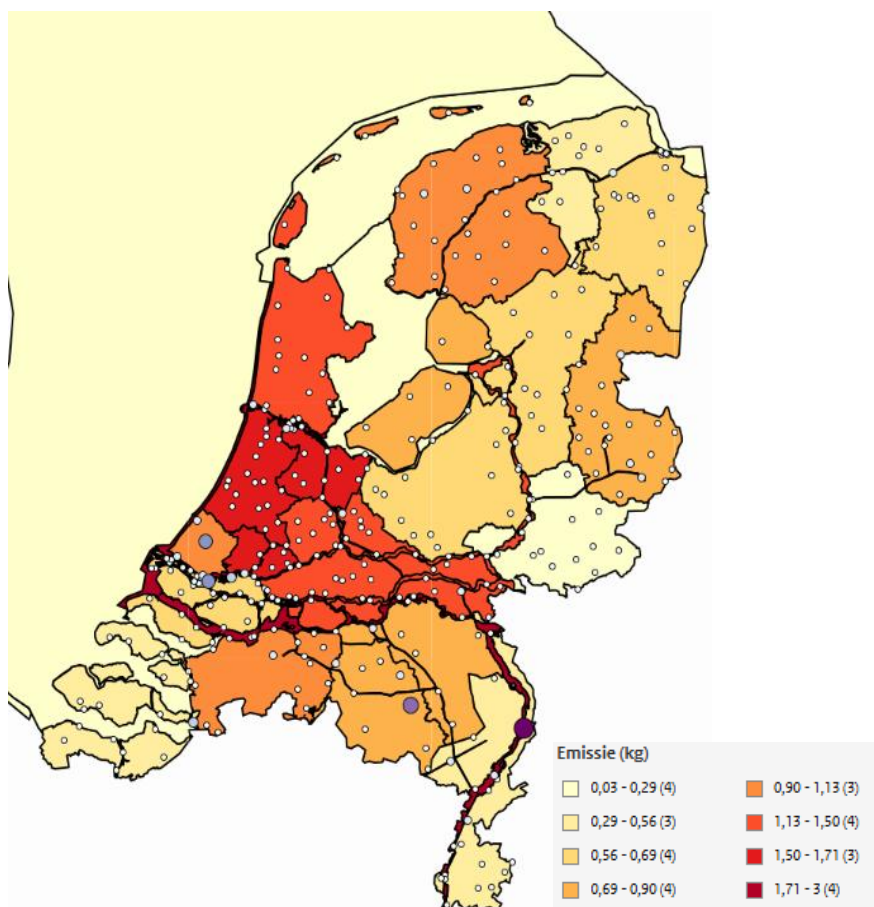
In dit hoofdstuk worden de bronnen met de hoogste bijdrage (> 5% van de totale emissie) nader toegelicht. Er wordt ingezoomd op de regionale bijdrage waarbij de belangrijkste puntbronnen worden toegelicht om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de emissies (paragraaf 2.5.1). Daarna wordt ingegaan op de methoden die gebruikt worden bij de emissieberekening van de belangrijkste bronnen (paragraaf 2.5.2). Per bron wordt de toegepaste berekeningswijze beschreven, inclusief de aannames die daarin worden gehanteerd en de mate van onzekerheid die bij deze schattingen komt kijken. Tot slot wordt gekeken of er nog aanvullende inzichten zijn per stof (paragraaf 2.5.3).



Figuur 2.10 Nationale totale emissies van nikkel opgesplitst per bron over de periode van 1990 tot en met 2022.

## 2.5.1 Regionale bijdrage

Het ruimtelijke beeld van nikkel laat vooral hoge waarden zien op de grote rivieren (per oppervlakte-eenheid). Ook in de beheergebieden van de waterschappen rond Amsterdam en in de rivierklei gebieden is de nikkel belasting relatief hoog (Figuur 2.11).



Figuur 2.11 Ruimtelijke verdeling van de totale belasting van nikkel op het oppervlaktewater (kg/km<sup>2</sup>), gebaseerd op zowel diffuse als puntbronnen. De grenzen geven de gebieden van de waterbeheerders weer.

### Puntbronnen

De emissieoorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden gerekend tot de puntbronnen vormen ongeveer 25% van de totale belasting van het oppervlaktewater voor nikkel (34,056 kg) wat een grote bijdrage is. Hier onder is de top-5 weergegeven van de grootste puntbronnen voor nikkel. Deze puntbronnen laten geen onverwachte patronen zien voor de ruimtelijke verdeling.

Puntbronnen top-5:

	Puntbron	Waterbeheerder	Oppervlaktewater
1	RWZI Venlo: 615 kg	Ws Limburg	MAAS
2	RWZI Eindhoven: 415 kg	Ws De Dommel	DE DOMMEL
3	Delfluent Services BV: 381 kg	Hhs van Delfland	NOORDZEE RWS
4	Shell Nederland Raffinaderij BV: 333 kg	Dienst West-Nederland Zuid (RWS)	Petroleumhaven, eerste bij Pernis
5	RWZI Bath: 222 kg	Ws Brabantse Delta	WESTERSCHELDE

### Diffuse bronnen

De emissie oorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden toegekend aan diffuse bronnen vormen 68% van de belasting van het oppervlaktewater voor nikkel. Hiervan is uitspoeling van natuur- en landbouwgronden de grootste (65%). Mogelijk spelen hierbij regionale achtergrondconcentraties en bodemeigenschappen een rol.

### 2.5.2 Berekeningsmethode en onzekerheden

In Tabel 2.7 wordt per bron beknopt de gehanteerde methodiek toegelicht, zoals beschreven in de bijbehorende factsheets<sup>10</sup>, voor de emissies van nikkel naar het oppervlaktewater.

Tabel 2.7 Samenvatting van de berekening per bron voor emissies van nikkel naar het oppervlaktewater.

Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
Uitspoeling zware metalen landbouw- en natuurgronden (23)	<p>De berekeningen van nikkelemisaties zijn uitgevoerd met behulp van het Landelijk waterkwaliteits model (LWKM). Dit model houdt rekening met diverse factoren die van invloed zijn op de uit- en afspoeling van zware metalen, waaronder bodemtype, landgebruik en hydrologie. Een belangrijke sturingsfactor in deze processen is de hoeveelheid neerslag: bij hogere neerslaghoeveelheden neemt de uitspoeling van stoffen toe, terwijl bij droge jaren juist minder uitspoeling optreedt. Eens in de 5 jaar wordt het model geactualiseerd waardoor de emissiegegevens voor emissiejaar 2022 gelijk zijn aan de emissiegegevens in emissiejaar 2019. Het gedrag van nikkel bepaald de mate van uitspoeling uit de bodem. Een relevant deel van de nikkelbelasting vindt plaats via het grondwater, wat erop kan duiden dat nikkel op natuurlijke wijze uit diepere bodemlagen kan vrijkomen en in het oppervlaktewater terecht komt. De totale aanvoer van nikkel naar de bodems waar het weer uit kan spoelen wordt gevoed door met name dierlijke mest maar ook door depositie.</p> <p>Voor deze bron wordt geen onderscheid gemaakt tussen het antropogene en het natuurlijke aandeel van emissies. Uit Osté et al. (2025) blijkt echter dat een deel van de metalen van nature voorkomt in Nederlandse bodems. Dit impliceert dat deze metalen ook zonder menselijke invloed via uitspoeling in het oppervlaktewater kunnen terechtkomen en daarmee mogelijk bijdragen aan het niet behalen van de KRW-doelen. Het zou daarom relevant zijn om in toekomstig onderzoek het natuurlijke en antropogene aandeel in emissies beter te onderscheiden.</p> <p>Naast de directe depositie op oppervlaktewater, die voor nikkel als kleinere bron is gekwantificeerd, vindt ook indirecte depositie plaats op de onverharde bodem. Deze indirecte depositie wordt meegenomen in de berekening van de uitspoeling van natuur- en landbouwgronden. Dit betekent dat de indirecte atmosferische depositie ook een bijdrage levert aan de bron uitspoeling van natuur- en landbouwbodems.</p>
Effluenten RWZI's, individueel (6)	<p>Werkveld 6 bevat een beschrijving van de bepaling van de effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties voor de zogenaamde gemeten stoffen: Totaal Stikstof, Totaal Fosfor, de parameter Chemisch Zuurstofverbruik en de zware metalen Koper, Chroom, Lood, Zink, Cadmium, Nikkel, Kwik, alsmede Arseen. De vrachten vanuit effluenten voor de overige stoffen in de Emissieregistratie worden berekend in werkveld 31.</p> <p>Het berekenen van nikkel emissies vanuit effluenten bestaat uit een methode voor even en een methode voor oneven jaren. Voor even jaren worden de emissies bepaald op basis van gegevens die waterschappen aanleveren via het systeem Z-info of die uit de E-PRTR rapportage komen. Deze gegevens bevatten metingen van concentraties na filtratie en debieten, waarmee de jaarvrachten worden berekend volgens de voorschriften in de Activiteitenregeling Milieubeheer. Bij circa 60 rwzi's worden zowel het influent als het effluent gemeten. Bij circa 100 andere rwzi's worden alleen effluentmetingen uitgevoerd. In deze gevallen wordt de effluentvracht op dezelfde manier berekend, terwijl de influentvracht wordt geschat met behulp van de vracht van metalen in het zuiveringsslib. Hieruit wordt per stof een gemiddeld zuiveringsrendement bepaald via een statistische analyse. Hierbij wordt gebruikgemaakt van het gewogen gemiddelde volgens Tukey, dat minder gevoelig is voor uitschieters. Deze berekende gemiddelde zuiveringsrendementen worden gebruikt om bij de rwzi's waar geen zware metalen in het effluent worden gemeten, de</p>

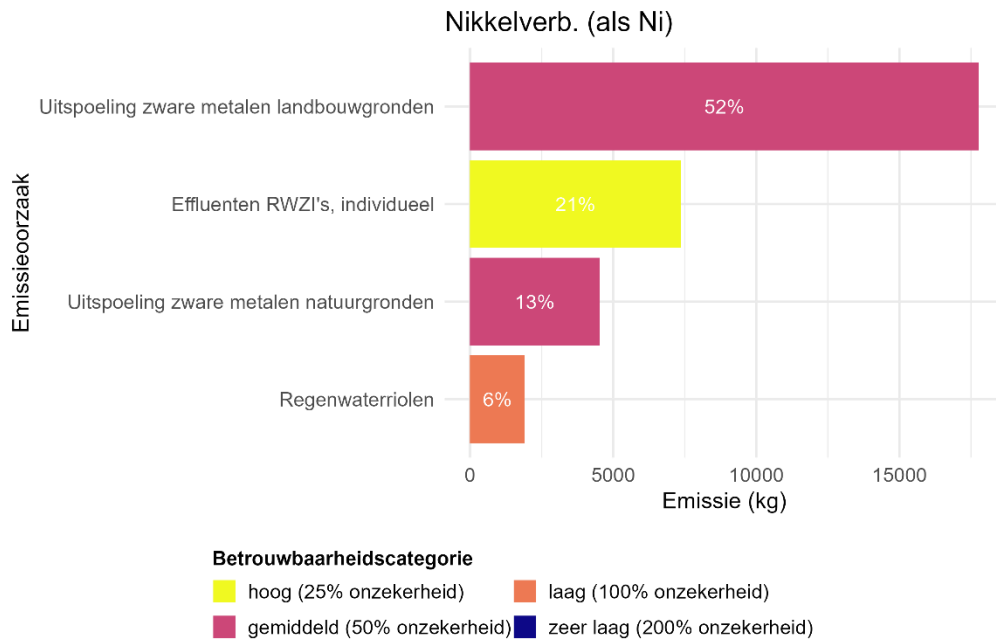
<sup>10</sup> De factsheets zijn beschikbaar via: <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten/factsheets-water>.

Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
	<p>effluenten te schatten op basis van de vrachten metalen in het geproduceerde zuiveringsslib.</p> <p>In de oneven jaren worden alleen de gemeten effluenten na filtratie uit de e-PRTR rapportage of Z-info meegenomen. Voor rwzi's waar geen gemeten jaarvrachten beschikbaar zijn, worden de berekende getallen uit het voorgaande jaar gekopieerd. Omdat met name de grotere rwzi's gemeten effluentvrachten rapporteren, wordt maar een klein deel van de landelijke effluentvracht nikkel bepaald op basis van de vrachten in het slib. De laatste jaren schommelt dit aandeel rond de 20%; 80% van de landelijke effluent jaarvracht bestaat dus uit gemeten jaarvrachten.</p>
Regenwaterriolen (31)	<p>Voor het berekenen van de emissies van nikkel vanuit regenwaterriolen binnen werkveld 31 vormt de vervuilingsvracht op het rioleringsstelsel het uitgangspunt. Deze vervuilingsvracht is afkomstig van zowel diffuse als puntbronnen die zijn opgenomen in de EmissieRegistratie. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende typen aanvoer: hemelwaterafvoer van daken (hwa-dak), van wegen (hwa-weg), van beide (hwa-beide), droogweerafvoer van huishoudens (dwa-hh), droogweerafvoer van overige bronnen (dwa), en rioolvreemd water (rv).</p> <p>In een volgende stap wordt met behulp van een hydraulisch model bepaald welk deel van deze vervuiling via welke route binnen de afvalwaterketen wordt getransporteerd en op welke locatie deze uiteindelijk terechtkomt. Voor regenwaterriolen wordt hierbij specifiek gekeken naar het aandeel van gescheiden hemelwaterafvoer en verbeterd gescheiden systemen dat wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater.</p> <p>Binnen de verschillende onderdelen van het regenwaterriool vinden processen plaats die leiden tot (gedeeltelijke) verwijdering van nikkel, zoals sedimentatie in kolkenslib en verwijdering tijdens het reinigen van leidingen. In tegenstelling tot sommige andere stoffen zijn voor nikkel metingen uitgevoerd in kolkenslib, waardoor de verwijderingsrendementen hierop zijn gebaseerd in plaats van schattingen via een log Kd-waarde.</p> <p>De uiteindelijke emissie van nikkel op een specifieke locatie wordt berekend met een formule die drie componenten combineert: de hoeveelheid nikkel die via elk aanvoertype het riool binnenkomt, het aandeel van deze vracht dat de betreffende locatie bereikt, en het verwijderingsrendement van kwik binnen het rioolstelsel.</p>

De hoeveelheid nikkel emissies naar oppervlaktewater, inclusief de bijbehorende betrouwbaarheidsklasse, is weergegeven in Figuur 2.12. Voor de uitspoeling van zware metalen vanaf landbouw- en natuurgronden geldt een maximale onzekerheid van 50%, wat overeenkomt met een middelmatige betrouwbaarheid. Deze inschatting is gebaseerd op de aannames rond de gewasopname van zware metalen. Voor meer details over de verschillende factoren die de onzekerheid in de emissieschattingen beïnvloeden, wordt verwezen naar de bijbehorende factsheet (Factsheet Uitspoeling van zware metalen uit landbouw- en natuurbodems, 2021) en Van der Bolt et al., 2020.

Voor de effluenten RWZI's is er een hoge betrouwbaarheid met een maximaal onzekerheidspercentage van 25%. Bij ruim de helft van de RWZI's zijn de vrachten van metalen als arseen, koper, chroom, lood, zink en nikkel rechtstreeks bepaald op basis van metingen van zowel concentratie als debiet (Factsheet effluenten RWZI's (gemeten stoffen) 2024, K. Baas pers. comm., 2025)). Bij de overige RWZI's, voornamelijk kleinere installaties, worden de vrachten geschat aan de hand van gemeten slibvrachten en gemiddelde rendementen. Omdat er dus sprake is van een combinatie van directe metingen en schattingen, is gekozen voor een onzekerheid van 25%. Belangrijk om te vermelden is dat in werkveld 31 ook de emissies vanuit de effluenten van RWZI's worden berekend (*Effluenten RWZI's, berekend*), maar dat deze worden overschreven door de meer betrouwbare inschatting uit werkveld 6, gebaseerd op de bron *Effluenten RWZI's, individueel*.

Voor regenwaterriolen geldt dat de emissies wél worden berekend in werkveld 31, ondanks dat deze bron een lage betrouwbaarheid heeft, met een bijbehorende onzekerheid van 100%. Deze hoge onzekerheid komt voort uit het feit dat er het percentage foutaansluitingen onzeker is. In tegenstelling tot de andere stoffen zijn er voor nikkel wel metingen in hemelwater, waarmee de berekende emissies uit het hydraulische model geoptimaliseerd kunnen worden.



*Figuur 2.12 Emissies van de belangrijkste bronnen van nikkel naar oppervlaktewater volgens de Emissieregistratie voor het emissiejaar 2022, inclusief de betrouwbaarheidscategorie per bron. De percentages in de balken geven de relatieve bijdrage van elke bron aan de totale nationale emissie weer.*

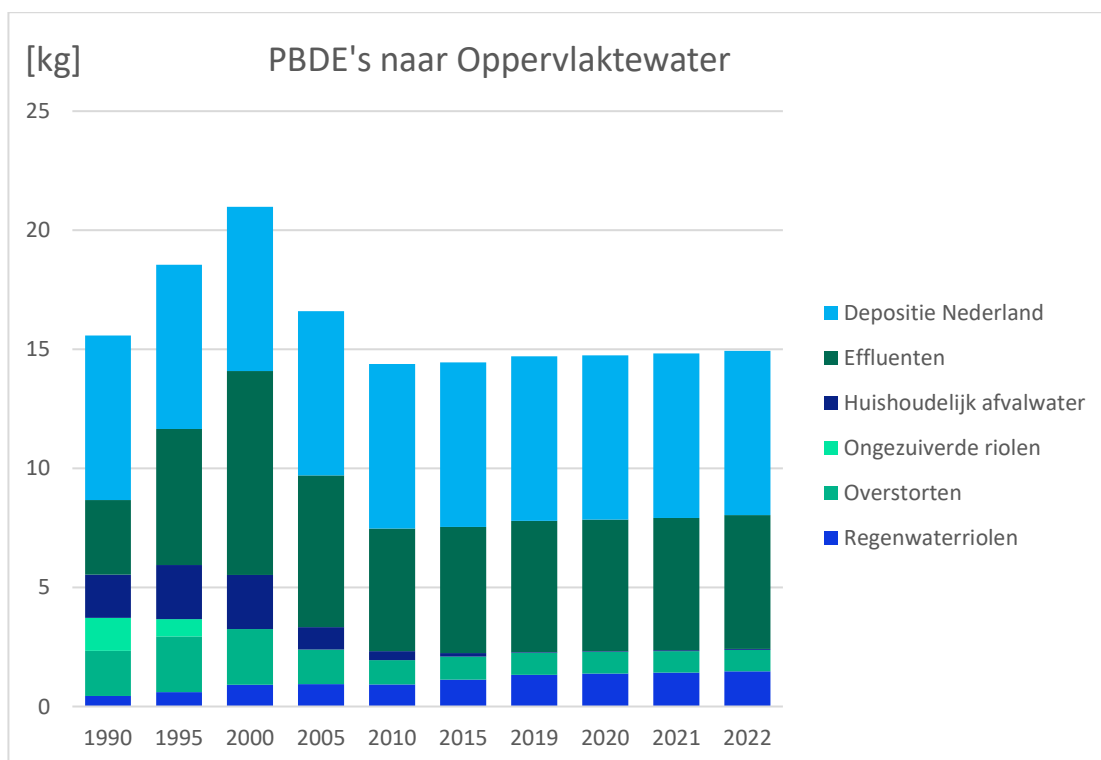
### 2.5.3 Aanvullende inzichten

De grootste bijdrages worden geleverd door de uitspoeling van landbouw- en natuurgronden en de effluenten. Voor nikkel lijkt er een redelijk compleet beeld van de belasting van oppervlaktewater te zijn doordat nikkel is meegenomen in de berekeningen voor alle grote emissiebronnen binnen de Emissieregistratie.

## 2.6 PBDE's

Voor de PBDE's zijn de grootste bronnen van emissies naar oppervlaktewater in 2022: 'atmosferische depositie' (46%; 5.6 kg), 'effluenten' (38%; 1.5 kg), 'regenwaterriolen' (10%; 0.9 kg) en 'overstorten' (6%; 0.04 kg) (zie Tabel 2.2). Deze bronnen zijn niet altijd consistent over de tijd. Figuur 2.13 toont de ontwikkeling van de nationale totale emissies van PBDE's naar oppervlaktewater, opgesplitst per bron, over de periode 1990–2022. De figuur laat zien hoe de relatieve bijdragen van de verschillende bronnen gedurende de jaren zijn veranderd. De totale hoeveelheid PBDE's lijkt stabiel te zijn met een lichte stijging door 'effluenten' sinds 2010.

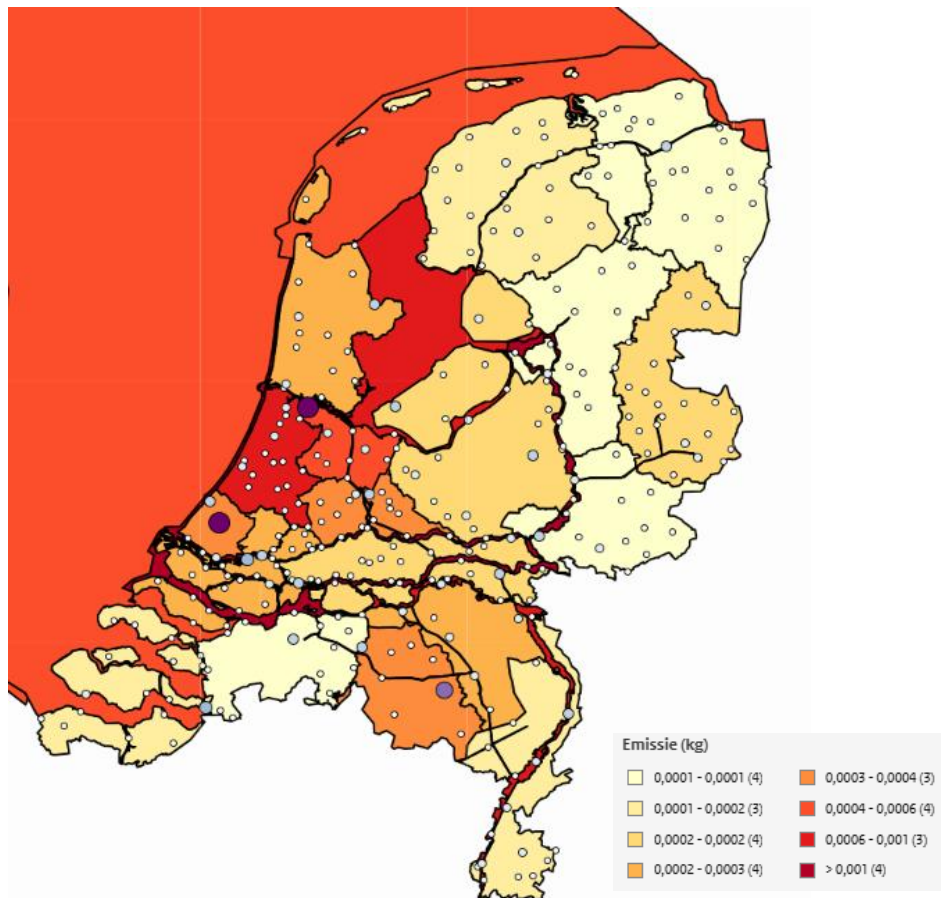
In dit hoofdstuk worden de bronnen met de hoogste bijdrage (> 5% van de totale emissie) nader toegelicht. Er wordt ingezoomd op de regionale bijdrage waarbij de belangrijkste puntbronnen worden toegelicht om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de emissies (paragraaf 2.6.1). Daarna wordt ingegaan op de methoden die gebruikt worden bij de emissieberekening van de belangrijkste bronnen (paragraaf 2.6.2). Per bron wordt de toegepaste berekeningswijze beschreven, inclusief de aannames die daarin worden gehanteerd en de mate van onzekerheid die bij deze schattingen komt kijken. Tot slot wordt gekeken of er nog aanvullende inzichten zijn per stof (paragraaf 2.6.3).



Figuur 2.13 Nationale totale emissies van PBDEs opgesplitst per bron over de periode van 1990 tot en met 2022.

### 2.6.1 Regionale bijdrage

Het ruimtelijke beeld voor PBDE's laat vooral een hoge belasting (per oppervlakte-eenheid) zien op de Rijkswateren. Ook in de beheergebieden van de waterschappen onder Amsterdam is de belasting van PBDE's relatief hoog (Figuur 2.14).



Figuur 2.14 Ruimtelijke verdeling van de totale belasting van PBDE's op het oppervlaktewater (kg/km<sup>2</sup>), gebaseerd op zowel diffuse als puntbronnen. De grenzen geven de gebieden van de waterbeheerders weer.

#### Puntbronnen

De emissie oorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden gerekend tot de puntbronnen vormen ongeveer 38% van de totale belasting van het oppervlaktewater voor PBDE's (14.9 kg) wat een grote bijdrage is. Hier onder is de top-5 weergegeven van de grootste puntbronnen voor PBDE's. Deze puntbronnen laten geen onverwachte patronen zien voor de ruimtelijke verdeling.

Puntbronnen top-5:

	Puntbron	Waterbeheerder	Oppervlaktewater
1	Delfluent Services BV: 0.24 kg	Hhs van Delfland	NOORDZEE RWS
2	RWZI Amsterdam-West: 0.21 kg	Hhs Amstel, Gooi en Vecht	NOORDZEEKANAAL
3	RWZI Eindhoven: 0.16 kg	Ws De Dommel	DE DOMMEL
4	RWZI Rotterdam-Dokhaven: 0.1 kg	Ws Hollandse delta	NIEUWE MAAS
5	RWZI Bath: 0.09 kg	Ws Brabantse Delta	WESTERSCHELDE

### Diffuse bronnen

De emissie oorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden toegekend aan diffuse bronnen (o.a. atmosferische depositie) vormen 46% van de belasting van het oppervlaktewater voor PBDE's. Dit kan een mogelijke verklaring zijn voor de relatief hoge belasting op de grotere open Rijkswateren.

### 2.6.2 Berekeningsmethode en onzekerheden

In Tabel 2.8 wordt per bron beknopt de gehanteerde methodiek toegelicht, zoals beschreven in de bijbehorende factsheets<sup>11</sup>, voor de emissies van PBDE's naar het oppervlaktewater.

Tabel 2.8 Samenvatting van de berekening per bron voor emissies van PBDE's naar het oppervlaktewater.

Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
Atmosferische depositie (32)	<p>De PBDE-emissies op het oppervlaktewater vanuit atmosferische depositie zijn in 2008 berekend met het EMEP/OPS-model voor het jaar 2000. Dit referentiejaar wordt jaarlijks geschaald aan een berekende trendfactor. In het model worden de bijdrages van binnenlandse bronnen, buitenlandse bronnen en zeescheepvaart samengenomen met ieder eigen trends en gemodelleerde vrachten. Voor PBDE's zijn de trendfactoren afkomstig uit literatuur en door de tijd gezet op 1.0 voor zowel binnenland als buitenland. Er zijn geen vrachten uit zeescheepvaart bekend. Elk jaar zijn de emissievrachten dus gelijk aan de initieel gemodelleerde vrachten.</p>
Effluenten RWZI's, berekend (31)	<p>Voor het berekenen van de emissies van PBDE's in effluenten binnen werkveld 31 vormt de vervuilingvracht op het rioleringsstelsel het uitgangspunt. Deze vervuilingvracht is afkomstig van zowel diffuse als puntbronnen die zijn opgenomen in de Emissieregistratie. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende typen aanvoer: hemelwaterafvoer van daken (hwa-dak), van wegen (hwa-weg), van beide (hwa-beide), droogweerafvoer van huishoudens (dwa-hh), droogweerafvoer van overige bronnen (dwa), en rioolvreemd water (rv).</p> <p>In een volgende stap wordt met behulp van een hydraulisch model bepaald welk deel van de vervuiling via welke route binnen de afvalwaterketen wordt getransporteerd en op welke locatie deze uiteindelijk terechtkomt. Voor de effluenten van RWZI's zijn alle rioolroutes van belang, waaronder gemengde stelsels, gescheiden systemen voor vuilwater, verbeterd gescheiden systemen voor vuilwater én verbeterd gescheiden systemen voor hemelwater.</p> <p>Binnen de verschillende onderdelen van het regenwaterriool vinden processen plaats die leiden tot (gedeeltelijke) verwijdering van PBDE's, zoals sedimentatie in kolkenslib en verwijdering tijdens het reinigen van het riool. Omdat directe meetgegevens ontbreken, wordt de mate van verwijdering van PBDE's in deze processen geschat op basis van de verdelingscoëfficiënt (log Kd). Het overgrote deel van de verwijdering vindt echter plaats tijdens de zuivering in de RWZI. Dit zuiveringsrendement (95%) is berekend door Pieters et al. (2011) gebaseerd op in- en effluent metingen uit de Watson database.</p> <p>De uiteindelijke emissie van PBDE's op een specifieke locatie wordt berekend met een formule die drie componenten combineert: de hoeveelheid PBDE's die via elk aanvoertype het riool binnenkomt, het aandeel van deze vracht dat de betreffende locatie bereikt, en het verwijderingsrendement van PBDE's binnen het rioolstelsel.</p>
Regenwaterriolen (31)	<p>Voor regenwaterriolen wordt hierbij specifiek gekeken naar het aandeel van gescheiden hemelwaterafvoer en verbeterd gescheiden systemen dat wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. Binnen de verschillende onderdelen van het regenwaterriool vinden processen plaats die leiden tot (gedeeltelijke) verwijdering van PBDE's, zoals sedimentatie in kolkenslib en verwijdering tijdens het reinigen van het riool. Omdat directe meetgegevens ontbreken, wordt de mate van verwijdering van PBDE's in deze processen geschat op basis van de verdelingscoëfficiënt (log Kd).</p>
Overstorten (31)	<p>Voor overstorten wordt hierbij specifiek gekeken naar het aandeel van het gemengde rioolstelsel. Binnen de overstorten vinden processen plaats die leiden tot (gedeeltelijke) verwijdering van PBDE's, zoals sedimentatie in kolkenslib en door bezinking in bergbezinkvoorzieningen. Omdat directe meetgegevens ontbreken, wordt de mate van</p>

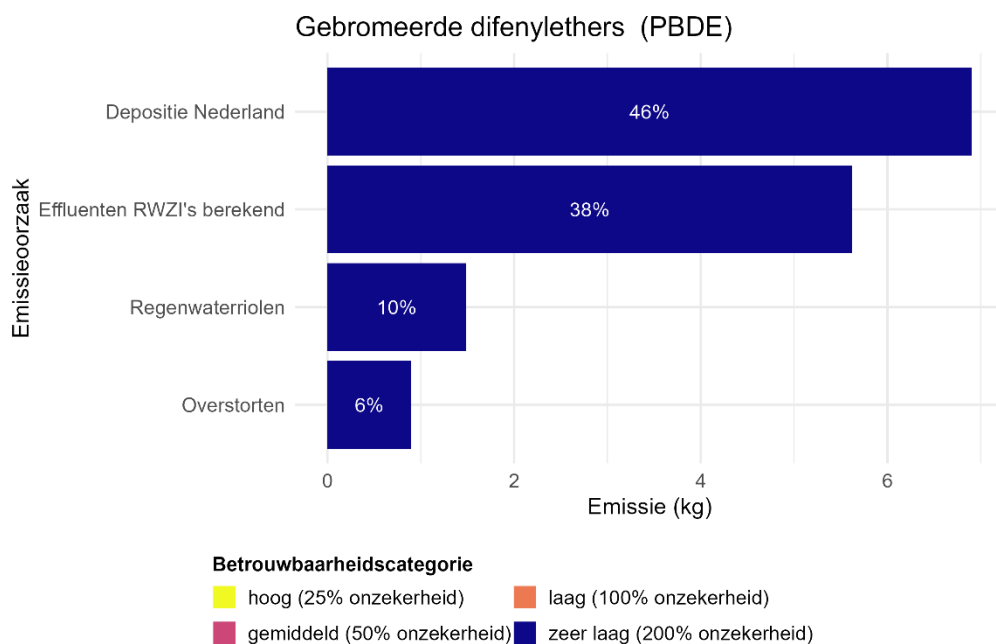
<sup>11</sup> De factsheets zijn beschikbaar via: <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten/factsheets-water>.

Emissieoorzaak (Werkveld nr.)	Samenvattende omschrijving van de berekening
	verwijdering van PBDE's in deze processen geschat op basis van de verdelingscoëfficiënt (log Kd).

De hoeveelheid PBDE's emissies naar oppervlaktewater, inclusief de bijbehorende betrouwbaarheidsklasse, is weergegeven in Figuur 2.15. Voor de grootste bron atmosferische depositie geldt een maximale onzekerheid van 200%, wat overeenkomt met een zeer lage betrouwbaarheid. Dit is te wijten aan het ontbreken van metingen, waardoor de Operationele Prioritaire Stoffen-model (OPS-model) resultaten niet gevalideerd kunnen worden.

Voor de berekende effluentvrachten van PBDE's is de betrouwbaarheid laag; de onzekerheid wordt geschat op 200%. Dit komt vooral door de grote onzekerheid in de aanvoer vanuit andere bronnen binnen de Emissieregistratie.

Voor zowel regenwaterriolen als overstorten wordt een onzekerheidspercentage van 200% gehanteerd. Deze hoge onzekerheid komt doordat in het systeem processen plaatsvinden die PBDE's (deels) verwijderen, zoals sedimentatie in kolken-slib, verwijdering tijdens rioolreiniging en bezinking in bergbezinkvoorzieningen. Omdat er geen directe meetgegevens beschikbaar zijn, wordt de verwijdering geschat op basis van de verdelingscoëfficiënt (log Kd). Ook zijn er te weinig metingen in hemelwater en overstorten beschikbaar om de emissies uit het hydraulisch model goed te kunnen kalibreren.



*Figuur 2.15 Emissies van de belangrijkste bronnen van PBDE's naar oppervlaktewater volgens de Emissieregistratie voor het emissiejaar 2022, inclusief de betrouwbaarheidscategorie per bron. De percentages in de balken geven de relatieve bijdrage van elke bron aan de totale nationale emissie weer.*

### 2.6.3 Aanvullende inzichten

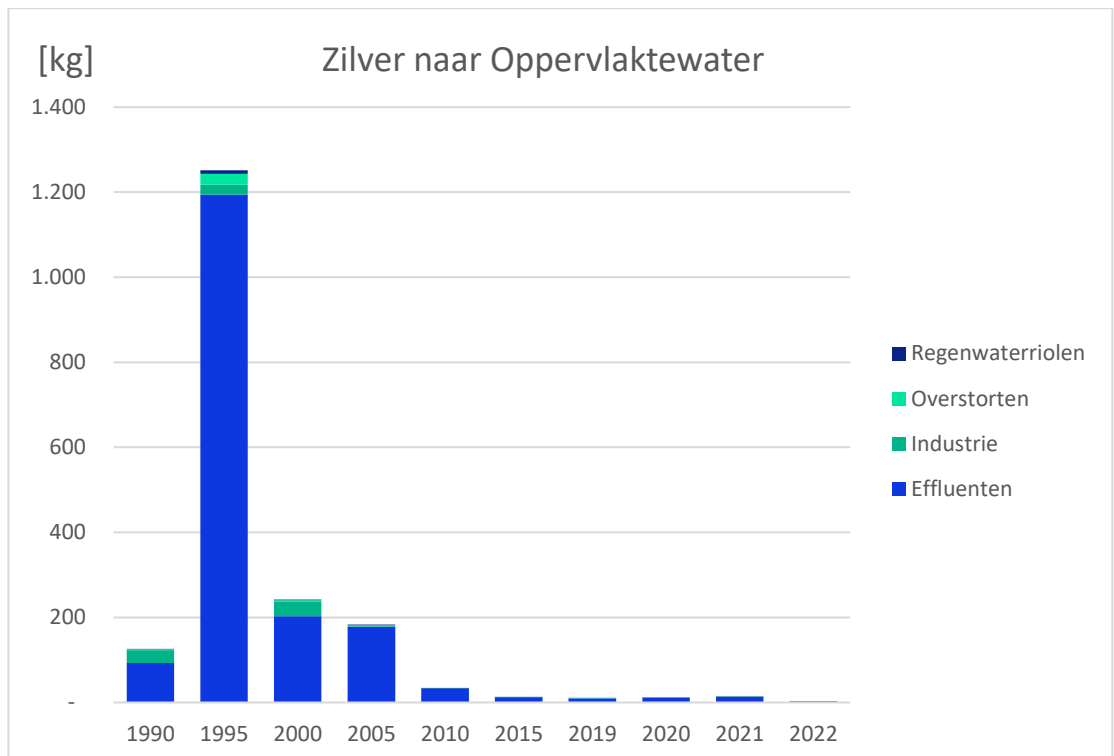
PBDE's (polybroomdifenylethers) komen in het oppervlaktewater terecht via atmosferische depositie en het rioolwatersysteem. Beide routes zijn echter onzeker en mogelijk zijn er aanvullende bronnen die momenteel niet in beeld zijn. De landelijke trend van PBDE's is sinds 1990 relatief constant, wat deels verklaard kan worden door de aanname dat de atmosferische depositie tussen 1990 en 2022 niet is veranderd.

Sinds kort worden PBDE's meegenomen in emissies via het riool, maar ten tijde van de analyse door Van Duinhoven (2010) was dat nog niet het geval. Opvallend is dat PBDE's, hoewel het stoffen zijn die vooral in consumentenproducten voorkomen, niet als emissiebron in de industrie zijn opgenomen. Dat roept vragen op, omdat dergelijke producten ergens geproduceerd of verwerkt moeten zijn. Mogelijk worden PBDE's niet of nauwelijks gedetecteerd in watermonsters, waardoor ze onder de rapportagedrempel van het E-PRTR blijven. Gezien de grote onzekerheid over herkomst en omvang van PBDE-emissies zoals nu opgenomen in de Emissieregistratie, is vervolgonderzoek wenselijk. Dit kan bijdragen aan een betere bronidentificatie en het verminderen van onzekerheden.

## 2.7 Zilver

Voor de stof zilver is de grootste bron van emissies naar oppervlaktewater in 2022: 'effluenten' (98%; 2.47 kg) (zie Tabel 2.2). Deze bron is niet altijd consistent over de tijd. Figuur 2.16 toont de ontwikkeling van de nationale totale emissies van zilver naar oppervlaktewater, opgesplitst per bron, over de periode 1990–2022. De figuur laat zien hoe de relatieve bijdragen van de verschillende bronnen gedurende de jaren zijn veranderd. Sinds 1995 is de totale emissie van zilver flink afgenomen.

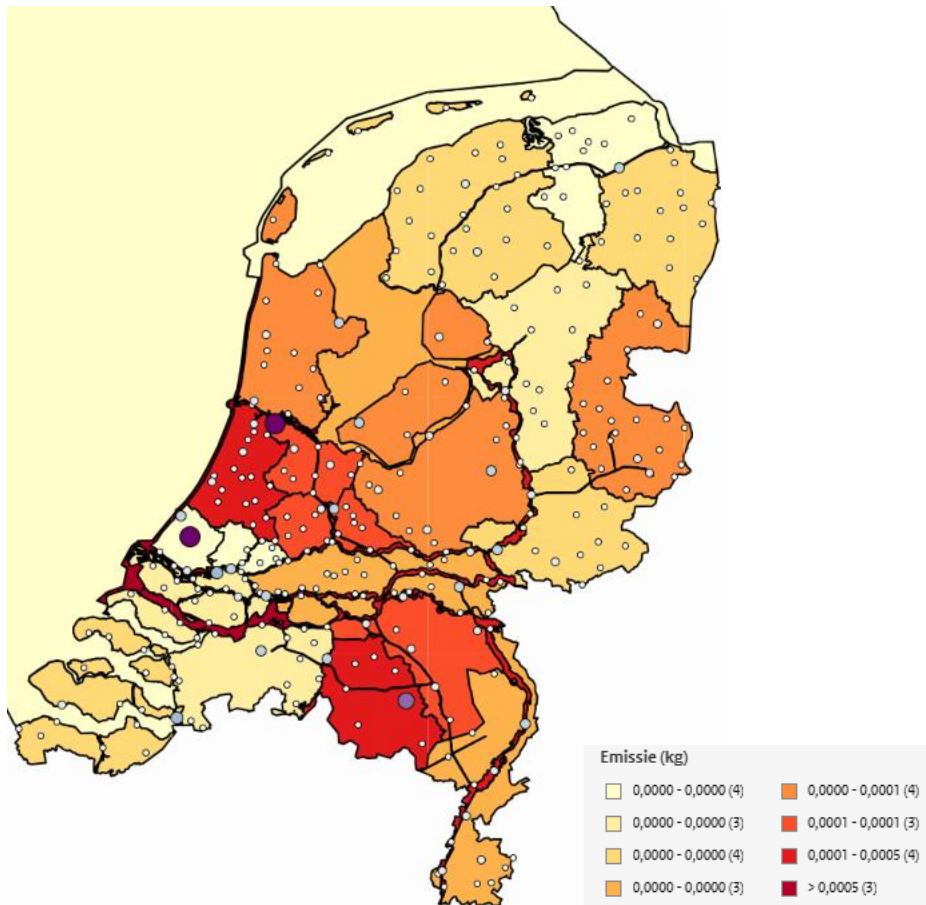
In dit hoofdstuk worden de bronnen met de hoogste bijdrage (> 5% van de totale emissie) nader toegelicht. Er wordt ingezoomd op de regionale bijdrage waarbij de belangrijkste puntbronnen worden toegelicht om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de emissies (paragraaf 2.7.1). Daarna wordt ingegaan op de methoden die gebruikt worden bij de emissieberekening van de belangrijkste bronnen (paragraaf 2.7.2). Per bron wordt de toegepaste berekeningswijze beschreven, inclusief de aannames die daarin worden gehanteerd en de mate van onzekerheid die bij deze schattingen komt kijken. Tot slot wordt gekeken of er nog aanvullende inzichten zijn per stof (paragraaf 2.7.3).



Figuur 2.16 Nationale totale emissies van zilver opgesplitst per bron over de periode van 1990 tot en met 2022.

### 2.7.1 Regionale bijdrage

Het ruimtelijke beeld voor zilver laat vooral een hoge belasting (per oppervlakte-eenheid) zien op de grote rivieren. Ook in de beheergebieden van Rijnland en De Dommel is de belasting van zilver relatief hoog (Figuur 2.17).



Figuur 2.17 Ruimtelijke verdeling van de totale belasting van zilver op het oppervlaktewater (kg/km<sup>2</sup>), gebaseerd op zowel diffuse als puntbronnen. De grenzen geven de gebieden van de waterbeheerders weer.

#### Puntbronnen

De emissie oorzaken uit Tabel 2.2 die kunnen worden gerekend tot de puntbronnen vormen ongeveer de volledige (98%) belasting van het oppervlaktewater voor zilver (2.53 kg) wat een hele grote bijdrage is. Hier onder is de top-5 weergegeven van de grootste puntbronnen voor zilver. De ruimtelijke verdeling wordt dus ook bijna volledig door de puntbronnen beïnvloed. Een opvallend gebied met lage belasting is dan wel het beheergebied van Delfland omdat hier een aantal grote puntbronnen aanwezig zijn.

Puntbronnen top-5:

	Puntbron	Waterbeheerder	Oppervlaktewater
1	Delfluent Services BV: 0.1 kg	Hhs van Delfland	NOORDZEE RWS
2	RWZI Amsterdam-West: 0.09 kg	Hhs Amstel, Gooi en Vecht	NOORDZEEKANAAL
3	RWZI Eindhoven: 0.07 kg	Ws De Dommel	DE DOMMEL
4	RWZI Rotterdam-Dokhaven: 0.04 kg	Ws Hollandse delta	NIEUWE MAAS
5	RWZI Bath: 0.04 kg	Ws Brabantse Delta	WESTERSCHELDE

### Diffuse bronnen

Voor zilver zijn er geen diffuse bronnen bekend, dit kan mogelijk een indicatie zijn dat er nog emissiebronnen ontbreken en dus nog in kaart gebracht moeten worden.

## 2.7.2 Berekeningmethode en onzekerheden

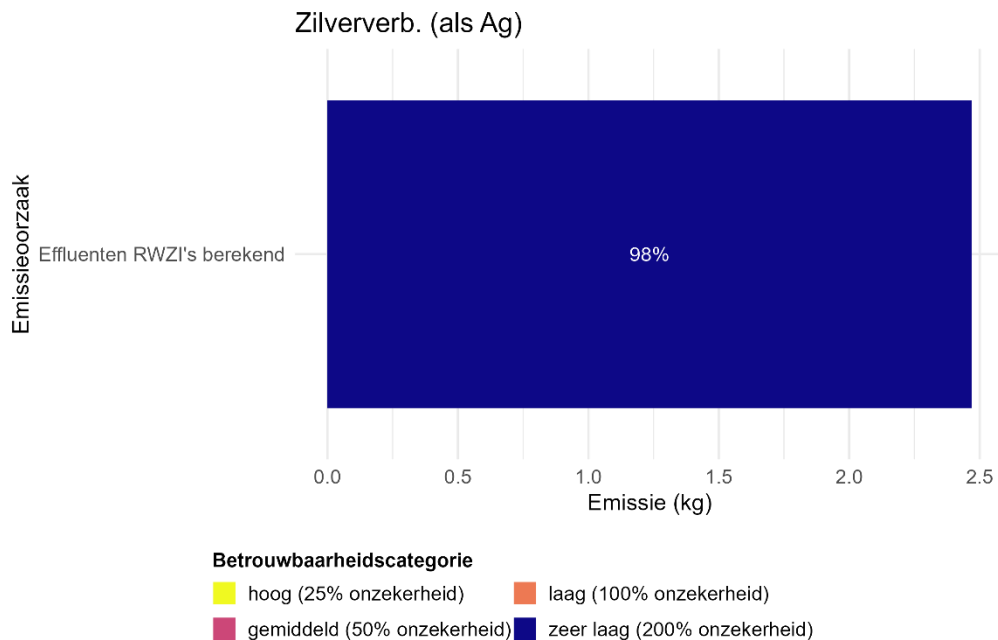
In Tabel 2.9 wordt per bron beknopt de gehanteerde methodiek toegelicht, zoals beschreven in de bijbehorende factsheets<sup>12</sup>, voor de emissies van zilver naar het oppervlaktewater.

Tabel 2.9 Samenvatting van de berekening per bron voor emissies van zilver naar het oppervlaktewater.

Emissieoorzaak (Werkveld nr)	Samenvattende omschrijving van de berekening
Effluenten RWZI's, berekend (31)	<p>Voor het berekenen van de emissies van Zilver in effluenten binnen werkveld 31 vormt de vervuilingsvracht op het rioleringsstelsel het uitgangspunt. Deze vervuilingsvracht is afkomstig van zowel diffuse als puntbronnen die zijn opgenomen in de Emissieregistratie. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende typen aanvoer: hemelwaterafvoer van daken (hwa-dak), van wegen (hwa-weg), van beide (hwa-beide), droogweerafvoer van huishoudens (dwa-hh), droogweerafvoer van overige bronnen (dwa), en rioolvreemd water (rv).</p> <p>In een volgende stap wordt met behulp van een hydraulisch model bepaald welk deel van de vervuiling via welke route binnen de afvalwaterketen wordt getransporteerd en op welke locatie deze uiteindelijk terechtkomt. Voor de effluenten van RWZI's zijn alle rioolroutes van belang, waaronder gemengde stelsels, gescheiden systemen voor vuilwater, verbeterd gescheiden systemen voor vuilwater én verbeterd gescheiden systemen voor hemelwater.</p> <p>Binnen de verschillende onderdelen van het regenwaterriool vinden processen plaats die leiden tot (gedeeltelijke) verwijdering van Zilver, zoals sedimentatie in kolkenslib en verwijdering tijdens het reinigen van het riool. Omdat directe meetgegevens ontbreken, wordt de mate van verwijdering van Zilver in deze processen geschat op basis van de verdelingscoëfficiënt (log Kd). Het overgrote deel van de verwijdering vindt echter plaats tijdens de zuivering in de RWZI. Dit zuiveringsrendement (95%) is berekend door Pieters et al. (2011) gebaseerd op in- en effluent metingen uit de Watson database.</p> <p>De uiteindelijke emissie van Zilver op een specifieke locatie wordt berekend met een formule die drie componenten combineert: de hoeveelheid zilver die via elk aanvoertype het riool binnenkomt, het aandeel van deze vracht dat de betreffende locatie bereikt, en het verwijderingsrendement van Zilver binnen het rioolstelsel.</p>

Voor de berekende effluentvrachten van zilver is de betrouwbaarheid laag; de onzekerheid wordt geschat op 200%. Dit komt vooral door de grote onzekerheid in de aanvoer vanuit andere bronnen binnen de Emissieregistratie.

<sup>12</sup> De factsheets zijn beschikbaar via: <https://www.emissieregistratie.nl/documentatie/water-documenten/factsheets-water>.



*Figuur 2.18 Emissies van de belangrijkste bronnen van zilver naar oppervlaktewater volgens de Emissieregistratie voor het emissiejaar 2022, inclusief de betrouwbaarheidscategorie per bron. De percentages in de balken geven de relatieve bijdrage van elke bron aan de totale nationale emissie weer.*

### 2.7.3

#### Aanvullende inzichten

Naar het oppervlaktewater zijn RWZI-effluenten momenteel de enige aantoonbare bron van zilver. Afvalverwijdering was in het verleden een relevante bron van emissies, maar speelt in 2022 geen rol van betekenis meer. In de aanvoer vanuit het buitenland zien we een factor 500x meer zilvervracht dan wat we in Nederland toevoegen aan zilvervracht. Dit kan duiden op het ontbreken van bronnen voor zilver. In eerdere studies van Osté et al. (2018) en Ministerie Infrastructuur en Waterstaat (2022) misten de relevante uitspoelingsbron vanuit natuur- en landbouwgronden. Deze bron is voor arseen en kobalt in de tussentijd toegevoegd waardoor voor deze stoffen en completer beeld is ontstaan. Wellicht zou dit voor kwik en zilver ook kunnen bijdragen aan een completer emissiebeeld.

### 3 Conclusie

Volgens de Emissieregistratie zijn de bronnen uitspoeling van landbouw- en natuurgronden, atmosferische depositie, effluënten van RWZI's, regenwaterriolen, overstorten, industriële lozingen en het gebruik van gewolmaniseerd hout in de waterbouw samen verantwoordelijk voor vrijwel 100% van de emissievrachten van de zes KRW-impulsstoffen: arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE's en zilver (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Overzicht van de relatieve emissievrachtenbijdrage op oppervlaktewater van de belangrijkste Emissieregistratie bronnen voor de stoffen arseen, kobalt, kwik, nikkel, PBDE's en zilver. In de laatste rij zijn de totale bijdrage van de genoemde bronnen weergegeven. Een ontbrekende waarde (-) geeft aan dat er voor deze stof geen bijdrage vanuit deze bron is berekend. Voor de emissies naar oppervlaktewater is met een achtergrondkleur de betrouwbaarheid aangegeven: geel duidt op een hoge betrouwbaarheid, rood op een matige, oranje op een lage en blauw op een zeer lage betrouwbaarheid.

Emissieoorzaak (Werkveld nr)	Arseen	Kobalt	Kwik	Nikkel	PBDE	Zilver
Uitspoeling landbouwgronden (23)	47%	71%	-	52%	-	-
Uitspoeling natuurgronden (23)	14%	20%	-	13%	-	-
Atmosferische depositie (32)	2%	2%	64%	3%	46%	-
Effluënten (31/6)	11%	<1%	12%	22%	38%	98%
Regenwaterriolen (31)	6%	<1%	7%	6%	10%	1%
Overstorten (31)	<1%	<1%	3%	1%	6%	1%
Industrie (9)	1%	6%	15%	3%	-	-
Gewolmaniseerd hout in de waterbouw (12)	17%	-	-	-	-	-
Totaal bovengenoemde bronnen	98%	98%	99.9%	99.9%	100%	100%

Uitspoeling vanuit natuur- en landbouwgronden is de grootste bron voor zowel arseen, kobalt als nikkel en deze heeft voor alle stoffen een matige betrouwbaarheid (een onzekerheidspercentage van 50%). De stoffen kwik, PBDE's en zilver worden op dit moment niet meegenomen in deze berekening.

Atmosferische depositie is de grootste bron voor kwik en PBDE's. Deze bron heeft voor kwik een matige betrouwbaarheid (een onzekerheidspercentage van 50%) en voor PBDE's een zeer lage betrouwbaarheid (een onzekerheidspercentage van 200%). Voor arseen, kobalt en nikkel draagt deze bron slechts in beperkte mate bij (<4%), en voor zilver is atmosferische depositie niet meegenomen in de berekening.

Effluënten van RWZI's vormen een relevante bron voor alle stoffen, met uitzondering van kobalt. Voor zilver is dit zelfs de dominante bron, waaruit nagenoeg alle emissies afkomstig zijn. De betrouwbaarheid van deze gegevens is sterk afhankelijk van de wijze van bepaling: wanneer gebaseerd op metingen (werkveld 6) is de betrouwbaarheid hoog, maar wanneer gebruik wordt gemaakt van schattingen en modellen (werkveld 31) is de betrouwbaarheid laag. RWZI's lozen als puntbron op oppervlaktewater, waardoor de lokale belasting en daardoor de effecten op de waterkwaliteit groot kunnen zijn.

Regenwaterriolen is voor arseen, kwik, nikkel en PBDE's een relevante bron, maar heeft een lage betrouwbaarheid (onzekerheidspercentage van 100 tot 200%). Voor Kobalt en zilver is het een minder grote bron.

Overstorten is alleen voor PBDE's een relevante bron, maar ook hier is er sprake van een zeer lage betrouwbaarheid (onzekerheidspercentage van 200%).

Industrie is alleen voor kobalt en kwik een relevante bron. Deze bron heeft voor deze stoffen een matige betrouwbaarheid (een onzekerheidspercentage van 50%). PBDE's en zilver worden niet meegenomen in dit werkveld (Tabel 3.1). De industrie loost als puntbron op oppervlaktewater waardoor de lokale belasting en daardoor de effecten op de waterkwaliteit groot kunnen zijn.

Gewolmaniseerd hout is alleen voor arseen een relevante bron met een zeer lage betrouwbaarheid (onzekerheidspercentage van 200%). Het ruimtelijke patroon van deze bron hangt samen met de slootdichtheid die relatief hoog is rond de Randstand. De overige stoffen komen niet voor bij de berekening van gewolmaniseerd hout.

## 4 Aanbevelingen

- Voor meerdere stoffen zoals arseen, kwik, nikkel, PBDE's en zilver zijn emissies via het riool (inclusief regenwaterriolen, overstorten en RWZI-effluenten) relevant tot zeer bepalend. Vooral bij berekeningen die gebaseerd zijn op werkveld 31 (modellen en schattingen) is de onzekerheid echter bijzonder hoog, oplopend tot 200%. Om deze betrouwbaarheid te verbeteren, is het aan te bevelen om de gebruikte modellen in werkveld 31 te verfijnen, toekomst robuuster te maken en te onderbouwen met actuele metingen en rioleringsdata.
- Voor kwik en zilver valt het op dat er op dit moment geen emissies vanuit landbouw- en natuurbodems beschikbaar zijn in de Emissieregistratie. Voor arseen en kobalt zijn sinds 2019 emissies vanuit de bron uitspoeling landbouw- en natuurgronden opgenomen. Het is aan te bevelen om te onderzoeken of vanuit de uitspoeling van bodems kwik en/of zilver en wellicht ook PBDE's in het milieu terechtkomen.
- Voor de emissiebron atmosferische depositie zou het van belang zijn om de specifieke herkomst van de belasting beter te kunnen duiden. Momenteel wordt er in de berekening onderscheid gemaakt tussen binnenlandse, buitenlandse en zeescheepvaart bijdrage, maar deze bronnen worden niet apart opgenomen als emissieoorzaak in de Emissieregistratie. Voor gerichte sturing op KRW-doelen kan het waardevol zijn om deze bijdragen apart te onderscheiden. In 2025 loopt er een verbeterpunt rond de bron '*atmosferische depositie*' waarin dit punt kan worden meegenomen.
- Om de link tussen de KRW-toestand die gebaseerd is op concentratiemetingen en de vrachten uit de Emissieregistratie te leggen, is het gewenst om ook de lokale hydrologie mee te nemen. Door de KRW-Verkenner in te zetten kan met de hydrologie en de vrachten een inschatting worden gemaakt van de gemodelleerde concentraties en metingen. Als tussen de gemodelleerde en gemeten concentraties een groot gat zit dan kan worden aangenomen dat er nog bepaalde bronnen missen die verantwoordelijk zijn voor de heersende concentraties.

## 5 Referenties

- Bolt, F.J.E. van der, T. Kroon, P. Groenendijk, L.V. Renaud, J. van den Roovaart, C.M.C.M. Janssen, S. Loos, P. Cleij, A. van den Linden en A. Marsman 2020. Het Landelijk Waterkwaliteitsmodel: Uitbreiding van het Nationaal Water Model met waterkwaliteit ten behoeve van berekeningen voor nutriënten. Wageningen Environmental Research rapport 3005
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2022). Stoffiches SGBP 2022-2027 definitieve versie 1 februari 2022.zip. Geraadpleegd op 27-05-2025 van <https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/sGBP-achtergronddocumenten>
- Osté, L.A., Postma, J.F., Roskam, G.o., Keijzers, R., Van Duijnhoven, N., 2018. Basisdocumentatie probleemstoffen. Rapport bij de basisdocumenten 2018.
- Osté, L. A., Postma, J., Ouwerkerk, K., Kelderman, S. R., & Sulu-Gambari, F. (2025, mei). Regionale variaties achtergrondconcentraties metalen in oppervlaktewater [Rapport]. Deltares; Aveco de Bondt; Ecofide.
- Pieters, B.J., M. Hehenkamp en L.M. Janmaat, Verbetering effluentschattingen RWZI's. Aanbevelingen effluentvrachten voor EmissieRegistratie op basis van de Watson database. Grontmij, rapportnummer 311275, 2011.
- Slagter, L., Roseboom, M. H., van Wieringen, D., Phernambucq, I. H., Nieuwkamer, R. L. J., Oosterom, L. C., Ruijgrok, E. C. M., & Turlings, L. G. (2024, 11 december). Koepelrapport Tussenevaluatie KRW: Definitief. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Geraadpleegd via <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/12/20/bijlage-2-koepelrapport-tussenevaluatie-krw>
- Zee, M.E. van der, 2002. Emissies van koper, chroom en arseen uit verduurzaamd hout. SHR rapport 1.513, Wageningen.

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

**Deltares**

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