



Centraal Bureau
voor de Statistiek

Rapport

Kritische materialen in afvalwater en slib

Kathleen Geertjes

Kees Baas

Stephan Verschuren

Remco Kaashoek

Cor Graveland

CBS Den Haag
Henri Faasdreef 312
2492 JP Den Haag
Postbus 24500
2490 HA Den Haag
+31 70 337 38 00
www.cbs.nl

Projectnummer: 14159

Datum: 22 maart 2016

Kennisgeving: De in dit rapport weergegeven opvattingen zijn die van de auteur(s) en komen niet noodzakelijk overeen met het beleid van het Centraal Bureau voor de Statistiek.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Methode	6
2.1 Werkwijze	6
2.2 Bronnen	11
2.3 Cijfers zijn indicatief	14
3. Algemeen beeld	16
3.1 Inleiding	16
3.2 Productie van kritische stoffen wereldwijd	16
3.3 Kritische materialen in afvalwater en slib	17
3.4 Bedrijfstacken met hoge emissies in afvalwater	21
3.5 Tot slot	22
4. Resultaten per stof	24
4.1 Leeswijzer	24
4.2 Fosfor	24
4.3 Zink	34
4.4 Koper	46
4.5 Aluminium	57
4.6 Nikkel	65
4.7 Antimoon	76
4.8 Mangaan	81
4.9 Chroom	85
4.10 Molybdeen	95
4.11 Kobalt	101
4.12 Vanadium	108
4.13 Zilver	113
4.14 Stikstof	117
5. Afkortingen	130
6. Literatuur	131
7. Bijlagen	134
7.1 Bijschattingen in Emissieregistratie voor lozingen op riool	134
7.2 Enquêteformulier voor bedrijven met eigen AWZI	135

1. Inleiding

In de afgelopen jaren heeft het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) in opdracht van het ministerie van Economische zaken (EZ) verscheidene onderzoeken uitgevoerd over materiaalstromen in de Nederlandse economie. Eén van de belangrijkste resultaten daarvan was de samenstelling van een Materiaalmonitor die het aanbod en gebruik van verschillende materialen in verband brengt met de Nederlandse economische productie, binnen het kader van de Nationale rekeningen. In 2015 heeft het ministerie van EZ een aantal vervolgonderzoeken laten uitvoeren die vooral waren gericht op het thema water. Dit rapport beschrijft de resultaten van een studie naar de aanwezigheid van kritische materialen in het afvalwater en slib.

Het idee achter de gegeven opdracht is dat de wereldwijde vraag naar grondstoffen toeneemt. Dit kan tot (geopolitieke) spanningen gaan leiden omdat van sommige delfstoffen de wereldvoorraden opraken en de voorraden zich soms maar in enkele landen bevinden. Een ander vraagstuk is dat de winning grote milieurisico's met zich mee kan brengen. Dergelijke stoffen met een groot economisch belang en een groot aanbodrisico, worden kritische materialen genoemd. Als de levering van deze materialen onzeker wordt, heeft dat consequenties voor de Nederlandse industrie.

Schaarste, milieudruk en economisch belang hebben er mede aan bijgedragen dat er steeds meer aandacht is gekomen voor het hergebruik van materialen. Dat gebeurt door recycling of herwinning uit afvalstromen. Herwinning van kritische materialen uit het afvalwater vindt, met uitzondering van fosfor, echter niet of nauwelijks plaats in Nederland. Er was tot op heden ook weinig structurele informatie voorhanden over de aanwezigheid van kritische materialen op sommige punten in de afvalwaterstroom, en vooral weinig bekend over de concentraties (gehalten) van deze stoffen.

Bedrijven of andere partijen zullen veelal tot herwinning van een bepaalde stof overgaan als de economische baten hoger zijn dan de economische kosten. Dat hangt onder andere af van de prijs van andere verkrijgingsmethoden (zoals uit de klassieke mijnbouw) ten opzichte van de prijs van herwinning. Die laatste is sterk afhankelijk van de technologische mogelijkheden en ontwikkelingen voor herwinning. Dit rapport gaat niet over economische of technische mogelijkheden, maar over het inventariseren van de hoeveelheden en de gehalten waarin kritische materialen voorkomen, die een indicatie geven voor potentiële herwinning. Voordat er sprake kan zijn van herwinning moet de stof vanzelfsprekend in betekenisvolle hoeveelheden (kilogrammen) voorkomen. Als de stof voorkomt, is het voor de herwinbaarheid daarnaast van belang dat de gehalten (bijvoorbeeld het aantal grammen per liter) voldoende hoog is. Een bekend gegeven is bijvoorbeeld dat er goud aanwezig is in de Noordzee, maar het aantal kubieke kilometers Noordzee dat bewerkt zou moeten worden voor het verkrijgen van een kilo goud is zo groot dat het winnen van goud uit de Noordzee een utopie is.

Dit rapport geeft een indruk van de hoeveelheden en gehalten van twaalf kritische materialen (plus de niet-kritische stikstof) in de Nederlandse afvalwaterhuishouding. De focus is om per stof aan te duiden op welk punt in de stroom of bij welke bedrijfstak de hoeveelheden en gehalten relatief hoog zijn. Het rapport is samengesteld voor deskundigen en geïnteresseerden die voor een bepaalde stof willen weten waar deze stof in de afvalwaterstroom te vinden is. De resultaten waar het onderzoek feitelijk om draait, staan in hoofdstuk 4. De bevindingen staan

daar per stof uitgewerkt. Daaraan voorafgaand geeft hoofdstuk 2 een overzicht van de methoden en bronnen van het onderzoek. In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting van de resultaten gegeven en worden deze ook in een wat bredere context geplaatst.

2. Methode

2.1 Werkwijze

In het onderzoek zijn twaalf kritische materialen meegenomen. Deze zijn geselecteerd op basis van het feit dat ze algemeen voorkomen in de afvalwaterketen en daarmee ook in registraties zijn opgenomen. Het gaat om:

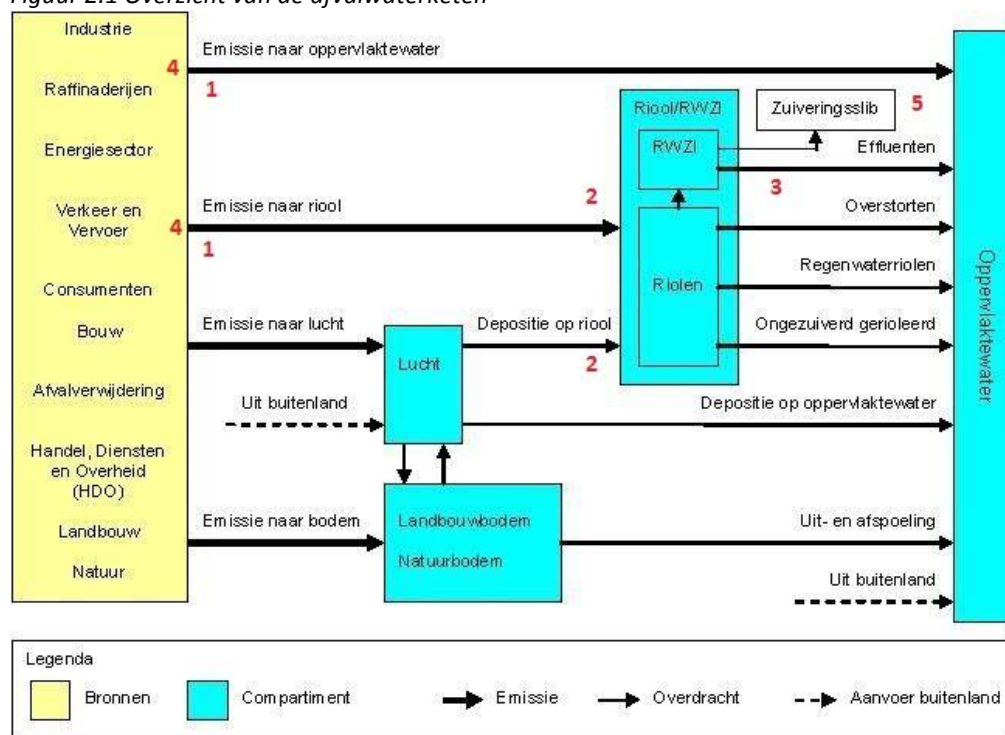
- Fosfor (P)
- Zink (Zn)
- Koper (Cu)
- Aluminium (Al)
- Nikkel (Ni)
- Antimoon (Sb)
- Mangaan (Mn)
- Chroom (Cr)
- Molybdeen (Mo)
- Kobalt (Co)
- Vanadium (V)
- Zilver (Ag)

Ook is het niet-kritische materiaal stikstof (N) meegenomen in het onderzoek, omdat dit een veelvoorkomende en kenmerkende stof is in de Nederlandse afvalstromen en tevens een bekende milieu-indicator.

Er zijn verschillende stromen in de Nederlandse afvalwater- en slibketen. De afvalwaterstroom is weergegeven in figuur 2.1. Huishoudens en bedrijven zorgen voor afvalwater. Ook regenwater dat afgevoerd wordt via straatputten is afvalwater. Het afvalwater (influent) wordt gezuiverd in afvalwaterzuiveringsinstallaties zodat het effluent (het gezuiverde afvalwater) dat op het oppervlaktewater wordt geloosd, voldoet aan de eisen van de Waterwet¹. Er zijn rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) voor het communale afvalwater en particuliere afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's) bij bedrijven. De bezinkbare stoffen die worden afgescheiden bij het zuiveren van afvalwater vormen samen het slib. Bij AWZI's wordt dit industrieel slib genoemd. Het slib wordt voor het grootste gedeelte verbrand in slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallaties, in elektriciteitscentrales of in cementovens.

¹ <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/>

Figuur 2.1 Overzicht van de afvalwaterketen



Bron: Emissieregistratie (nummering CBS).

Voor eventuele herwinbaarheid van stoffen kan op verschillende plaatsen in de keten worden gekeken. Van de volgende stromen in de keten hebben we de hoeveelheden en gehalten aan kritische materialen geïnventariseerd:

1. in het afvalwater van bedrijven;
2. in het influent (inkomend water) bij de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's);
3. in het effluent (gezuiverd water) en slib bij de rioolwaterzuiveringsinstallaties;
4. in het slib van bedrijven met een eigen afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI);
5. in het slib en de verbrandingsas van twee grote slibverbranders.

Hieronder wordt uiteengezet hoe we de aanwezigheid van kritische materialen in deze stromen hebben onderzocht.

2.1.1 Afvalwater van bedrijven (stroom 1)

Als eerste stap is de hoeveelheid kritische materialen in het afvalwater van bedrijfstakken en andere emissiebronnen (zoals consumenten en verkeer en vervoer) bekeken. Dat water wordt geloosd op het riool of het oppervlaktewater. De gegevens hiervoor zijn afkomstig van de Emissieregistratie (zie paragraaf 2.2.1). Dit is de meest uitgebreide en belangrijkste stap in het onderzoek, waarbij de nadruk ligt op het afvalwater van bedrijven. In deze stroom kan namelijk worden nagegaan van welke type bedrijven de verschillende geëmitteerde stoffen afkomstig zijn en wat de gehalten aan stoffen in het afvalwater zijn. Het doel van de analyses is tenslotte om per stof plekken in de keten aan te wijzen die potentieel geschikt zouden kunnen zijn voor herwinning. Dit terugwinnen zou door bedrijven zelf ter hand kunnen genomen en daarom is het belangrijk de potentieel kansrijke bedrijfstakken aan te wijzen.

Per stof zijn op basis van de Emissieregistraties 2008, 2010 en 2012 analyses uitgevoerd. Het is niet mogelijk of doelmatig om alle emissies per stof en per bedrijfstak (en naar andere uitsplitsingen zoals het al dan niet aanwezig zijn van een eigen AWZI) uitvoerig te beschrijven. Het doel is vooral om een indruk te geven van de bedrijfstakken waar de hoogste hoeveelheden en gehalten in het afvalwater voorkomen. Daarom is in de analyse een top-down benadering toegepast. Daarbij zijn allereerst per stof - op basis van rangschikking - de meest interessante bedrijfstakken geselecteerd. Hierbij is rekening gehouden met het aantal waarnemingen in de Emissieregistratie, de totale en gemiddelde hoeveelheden (vrachten), de gehalten en mogelijke vertekening door uitbijters. Na de eerste selectie van bedrijfstakken per stof, is ingezoomd op de afzonderlijke stromen naar oppervlaktewater en riolen, en is onderscheid gemaakt naar bedrijven met en zonder eigen afvalwaterzuiveringsinstallatie en de onderliggende economische activiteiten. De economische activiteit is weergegeven in de zogeheten Standaard Bedrijfsindeling (SBI). Uiteindelijk is toegewerkt naar het detailniveau van een kritisch materiaal om uitspraken te doen over plekken in de keten die potentie hebben voor herwinning.

De informatie over de totale en gemiddelde vrachten is verkregen uit de Emissieregistratie (ronde 2013) voor de jaren 2008, 2010 en 2012. Met behulp van bijbehorende debietgegevens (volumes geloosd afvalwater) zijn vervolgens gehalten van stoffen afgeleid. Hierbij passen op voorhand twee opmerkingen. De eerste is dat het geen integrale waarneming betreft en er mogelijk sprake is van selectiviteit. De tweede opmerking is dat er voor de emissies naar riool binnen de Emissieregistratie voor de meeste bedrijfsgroepen een ophoging plaatsvindt. Zie paragraaf 2.2.1). Voor het doel van dit onderzoek, het aanwijzen van potentiële herwinningplekken, zijn de gegevens zeer geschikt. Het doel is niet om in absolute zin op detailniveau uitspraken te doen over *de* totale hoeveelheden of *de* gehalten.

In bijlage 7.1 is een tabel opgenomen met een overzicht van de bijschatting voor 2012.

2.1.2 Afvalwater en slib bij RWZI's (stromen 2 en 3)

Het afvalwater van huishoudens en bedrijven dat op het riool wordt geloosd, komt terecht bij de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). Via afspoeling van verharde oppervlakken als daken en wegen wordt ook hemelwater aangevoerd op het riool en daarmee de RWZI's. Daarin worden ook verontreinigingen vanaf bijvoorbeeld het wegdek of vanuit dakgoten opgenomen. Om de afvalwaterstroom naar de RWZI's in kaart te brengen, zijn aan het onderzoeksbestand met gegevens over afvalwater bij bedrijven CBS-gegevens gekoppeld over het afvalwater en slib bij de openbare rioolwaterzuiveringsinstallaties in 2008 tot en met 2012. Dit zijn gegevens afkomstig uit de CBS-enquête Zuivering van afvalwater (zie paragraaf 2.2.2).

Deze afvalwatergegevens hebben betrekking op het jaardebiet en de hoeveelheden (vrachten) van stoffen die voorkomen in de aanvoer van afvalwater (influent) en de afvoer van gezuiverd afvalwater (effluent). Bij het zuiveringsslib gaat het om de hoeveelheden, samenstellingen en de verwerking ofwel eindbestemming van het slib. De gehalten aan stoffen in het influent en effluent zijn berekend door de vrachten te delen door het jaardebiet. In dit rapport zijn de hoeveelheden en gehalten van kritische materialen in het influent en effluent, de hoeveelheden in het slib en de bestemming van het slib beschreven.

Van aluminium, antimoon, mangaan, molybdeen, kobalt, vanadium en zilver zijn geen gegevens in de CBS-enquête 'Zuivering van afvalwater' bekend en zijn gegevens overgenomen vanuit de Watson-database (zie paragraaf 2.2.5).

2.1.3 Afvalwater en slib bij bedrijven met een eigen AWZI (stroom 4)

Voor meer zicht op kritische materialen in het afvalwater en slibstroom vanuit het bedrijfsleven zijn de bovengenoemde bronnen niet voldoende. Er zijn namelijk ook veel bedrijven met een eigen afvalwaterzuiveringsinstallatie. De afvalstroom uit die bedrijven wordt dus gezuiverd voordat die het riool of oppervlaktewater bereikt. De kritische materialen die in het gezuiverde slib achterblijven worden niet geregistreerd in de Emissieregistratie of bij de RWZI's. Over de samenstelling van dit slib was op voorhand weinig bekend. In dit onderzoek zijn twee bronnen ingezet.

In de eerste plaats is het eerder samengestelde onderzoeksbestand met gegevens over afvalwater bij bedrijven gekoppeld aan al bij CBS bekende gegevens over het slib bij particuliere bedrijven (zie paragraaf 2.2.3). Door deze koppeling is het mogelijk om van dezelfde groep bedrijven de hoeveelheden en gehalten in het afvalwater uit de Emissieregistratie te vergelijken met die van het slib uit het andere bestand. De bruikbare gegevens in deze registratie hebben voor een belangrijk deel betrekking op de emissies en gehalten in het slib van AWZI's met als eindbestemming landbouwgrond. Deze eindbestemming is alleen toegestaan voor slib met een gespecificeerde bovengrens van bepaalde stoffen. Ze geven daardoor een eenzijdig beeld van de samenstelling van het slib. Daarom zijn er speciaal voor dit onderzoek extra meetgegevens verzameld bij bedrijven met een eigen AWZI.

Om meer te weten te komen over het industrieel slib zijn 50 bedrijven met een eigen AWZI geënquêteerd. De bedrijven in deze steekproef zijn geselecteerd op basis van hun gegevens over de hoeveelheid droge stof en de gehalten aan kritische materialen in het afvalwater. Deze bedrijven behoren tot verschillende bedrijfssectoren. Zie verder paragraaf 2.2.4 voor deze mini-enquête.

2.1.4 Slib en as bij twee slibverwerkers (stroom 5)

Het slib, zowel van RWZI's als AWZI's, gaat voor een belangrijk deel naar slibverbranders. We zouden hier kunnen spreken van het eindpunt in de keten. Dit geeft een extra mogelijkheid om uitspraken te kunnen doen over de hoeveelheden en gehalten van kritische materialen in de Nederlandse afvalwater- en slibstroom.

CBS heeft voor dit project contact gezocht met twee grote slibverwerkers, namelijk Slibverbrandingsinstallatie Dordrecht (SVI Dordrecht) en Slibverwerking Noord-Brabant (SNB). Van beide bedrijven heeft CBS gegevens ontvangen over de samenstelling van het inkomende slib en de verbrandingsas. Deze gegevens en de informatie uit de milieujarverslagen, zijn door CBS geanalyseerd. De gegevens van beide bedrijven zijn samen genomen door sommatie van de hoeveelheden aan kritische materialen in het slib en de as, en door het berekenen van de gehalten aan stof in het slib en de as. De gehalten zijn gewogen naar de opgegeven hoeveelheden stof van SNB en SVI Dordrecht. Opgemerkt moet worden dat bepaalde stoffen ook nog via andere reststromen dan de as worden verwijderd, namelijk via filterkoek, actieve kool en/of rookgasreinigingsresidu. Ook wordt een klein deel via de rookgassen naar de lucht geëmitteerd. Echter, voor de stoffen die in dit rapport worden beschouwd, geldt dat het grootste deel via de as wordt verwijderd.

Voor alle resultaten uit de verschillende datasets geldt een onnauwkeurigheid. Zie ook paragraaf 2.3 voor een nadere beschouwing hierover.

2.2 Bronnen

2.2.1 De Emissieregistratie

De informatie uit dit rapport is hoofdzakelijk afkomstig uit de Emissieregistratie. De Emissieregistratie is in 1974 opgezet in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) om de aard, oorzaak en omvang van de milieuproblemen te kunnen inventariseren. In de Emissieregistratie worden de emissies naar bodem, water en lucht van circa 350 beleidsrelevante stoffen² op bedrijfsniveau vastgesteld en opgeslagen.

In de Emissieregistratie worden zes verschillende compartimenten onderscheiden, waaronder emissie op riool en oppervlaktewater. Dit compartiment bevat de bruto vrijkomende vracht naar het watermilieu aan de bron. Dit is dus vóór eventuele zuivering in RWZI's of overdrachten naar andere compartimenten. Dit compartiment is het totaal van emissies naar water en emissies naar riolen. Het compartiment emissie op riool bevat de (bruto vrijkomende) vracht naar het rioolsysteem: emissies naar riolen en atmosferische depositie op riolen. De belasting, de vracht die daadwerkelijk het watermilieu bereikt, is opgenomen in het compartiment belasting van oppervlaktewater. Zie figuur 2.1 van een overzicht van de afvalwaterketen.

Veel bedrijven zijn door het Besluit Milieujaarverslaglegging verplicht jaarlijks een milieujaarverslag (MJV) in te dienen met onder meer de emissies die hebben plaatsgevonden. De opgave van emissies is voor bedrijven alleen verplicht boven een bepaalde drempelwaarde. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de drempelwaardes in de Emissieregistratie. Na controle door het Bevoegd Gezag (vergunningverleners zoals provincies, gemeenten en waterschappen) worden de gegevens uit de MJV's verzameld en opgeslagen in de database. Deze gegevens worden vervolgens aangevuld door bedrijven die deze gegevens op vrijwillige basis of in het kader van een milieuconvenant aanleveren.

Tabel 2.1 Drempelwaarden voor opgave in de Emissieregistratie en aantal waarnemingen bij bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Drempel- waarde	Bedrijven	Waarnemingen bij bedrijven		
			Totaal	w.v.	boven drempelwaarde
	<i>kg/jaar</i>	<i>aantal</i>			<i>%</i>
Fosfor	5 000	272	642	130	20
Zink	100	301	692	96	14
Koper	50	269	615	53	9
Nikkel	20	240	540	81	15
Chroom	50	492	539	29	5
Stikstof	50 000	445	1 119	93	8

De kwaliteit van deze gegevens wordt bepaald door verschillende factoren: hoe bepalen bedrijven de emissies, wat zijn de meetnauwkeurigheden en hoe worden de gegevens gevalideerd door het bevoegd gezag? Uit ervaring met individuele bedrijfsgegevens en de

² Bij deze selectie zijn de internationale rapportageverplichtingen leidend, zoals het 'European Pollution Release and Transfer Register (E-PRTR)

validatie door het bevoegd gezag, kan worden gesteld dat de onzekerheid in de gegevens relatief groot is³.

CBS participeert in het samenwerkingsverband in het kader van de Emissieregistratie. Omdat de e-MJV registratie geen integrale waarneming betreft, verzorgt CBS voor de belangrijkste bedrijfstakken in de industrie een bijschatting (bijlage 7.1). Deze ophoging is gebaseerd op de omvang van de productie voor de producten op de PRODCOM-lijst en werknemersaantallen (voor bedrijven kleiner dan 20 werknemers). De PRODCOM-lijst (afgeleid van het Franse "PRODUCTION COMMUNAUTAIRE") is een lijst van industriële producten en diensten op het gebied van winning van delfstoffen en industrie (de secties B en C van de Standaard Bedrijfsindeling 2008) waarvoor binnen de Europese Unie per lidstaat omvang en waarde van de (verkochte) productie moet worden vastgesteld. Voor de industrie kunnen dan vanuit de Emissieregistratie de totale emissies worden gegenereerd. CBS publiceert ook zelf deze totale emissies naar water vanuit de industrie op StatLine.⁴

2.2.2 CBS-enquête Zuivering van afvalwater

De CBS-gegevens over hoeveelheden, de samenstelling en de bestemming van afvalwater en slib bij de rioolwaterzuiveringsinstallaties zijn afkomstig uit een integrale enquête onder de waterkwaliteitsbeheerders in Nederland. De 24 regionale waterkwaliteitsbeheerders (water- en zuiveringsschappen) beheren circa 350 RWZI's. De enquête wordt gehouden namens een aantal andere instanties, waaronder Rijkswaterstaat, het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en de Emissieregistratie. Het doel van de enquête is, het verkrijgen van gegevens over de zuivering van afvalwater in RWZI's.

Het onderzoek onder waterkwaliteitsbeheerders geeft informatie over technische kenmerken, het functioneren van het zuiveringsproces, slibstabilisatie, slibontwatering, afzet van zuiveringsslib en energieverbruik en energieopwekking. Voor een deel zijn deze gegevens beschikbaar per provincie en stroomgebied-district.

Op de meeste onderdelen van de enquête is de respons 100 procent. De gegevens over aangevoerd en gezuiverd afvalwater, respectievelijk zuiveringsslib worden door de waterkwaliteitsbeheerders berekend op basis van metingen volgens standaard monitoringprotocollen. Meetfrequenties zijn gerelateerd aan de ontwerpcapaciteit van de RWZI en analysemethoden worden uitgevoerd volgens daarvoor bestaande NEN-normen. De monitoringsverplichtingen zijn wettelijk verankerd in de Wet verontreiniging oppervlaktewater. Diverse verplichtingen zijn het gevolg van de uitvoering van de EU-richtlijn voor op het gebied van de behandeling van Stedelijk Afvalwater. Gegeven de wettelijke verankering van de monitoringsverplichtingen en de altijd bijna volledige respons is een stabiele tijdreeks opgebouwd. Er zijn gegevens voor 1981, 1985 en jaarlijks vanaf 1990.

2.2.3 Afvalwaterzuiveringsslib bij particuliere bedrijven (slibregistratie)

De gegevens over het afvalwaterzuiveringsslib bij particuliere bedrijven en instellingen is een door CBS samengestelde dataset, waarvan de gegevens afkomstig zijn uit twee bronnen: de

³ www.Emissieregistratie.nl

⁴ <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=81353NED&D1=0-11&D2=a&D3=a&D4=l&HDR=G3%2cG1&STB=T%2cG2&VW=T>

milieujaarverslagen van bedrijven en een enquête onder circa 350 bedrijfsvestigingen. In dit rapport wordt ook de benaming slibregistratie gebruikt. De bedrijven die via de e-MJV rapporteren zitten jaarlijks in de waarneming. Van de bedrijven die een schriftelijke enquête ontvangen, wordt circa een derde jaarlijks in het onderzoek meegenomen, op basis van hun aandeel in de totale slibproductie. De overige bedrijven representeren slechts een klein deel van de totale zuiveringsslibproductie en worden alternerend eens per drie jaar geënquêteerd.

De gegevens hebben betrekking op onder andere het aantal particuliere zuiveringsinstallaties, de hoeveelheden zuiveringsslib, de SBI-bedrijfsklasse, de bestemming van het gezuiverde afvalwater, de slibsoort, de klasse van droge stof en het zuiveringstype van de installatie. Ze worden gepubliceerd op StatLine⁵.

Van de AWZI's in de voedingsmiddelenindustrie, waarbij het slib als eindbestemming landbouwgrond heeft, zijn ook gegevens over gehalten aan stoffen in het slib bekend. Dit deel van de dataset met gehalten aan stoffen in het slib is gebruikt in dit onderzoek. De samenstelling van het slib van deze specifieke groep AWZI's is echter niet representatief voor het slib van alle AWZI's bij particuliere bedrijven.

2.2.4 Extra 'mini-enquête' onder bedrijven met een eigen afvalwaterzuiveringsinstallatie

Om een breder beeld te krijgen van de samenstelling van het slib bij de bedrijven die zelf afvalwater zuiveren, heeft CBS ten behoeve van dit onderzoek 50 bedrijven met een eigen AWZI geënquêteerd. De bedrijven in deze steekproef zijn geselecteerd op basis van hun gegevens over de hoeveelheid droge stof en de gehalten aan kritische materialen in het afvalwater en in het zuiveringsslib zoals ze gerapporteerd zijn in de milieujaarverslagen. De bedrijven in de steekproef behoren tot verschillende bedrijfssectoren. Tot de steekproef behoren niet de bedrijven die al gehalten hebben opgegeven in de dataset 'Zuivering van afvalwater bij particuliere bedrijven'.

Aan de 50 bedrijven zijn vragen gesteld over de gehalten aan kritische materialen in het slib en of ze ook stoffen vanuit het slib hergebruiken (zie bijlage 7.2 voor het enquêteformulier). De respons bedroeg 60 procent. Van de 30 responderende bedrijven hebben 22 bedrijven gehalten aan kritische materialen doorgegeven aan CBS.

2.2.5 Watson-database

Een aantal gehalten in het afvalwater in deze publicatie is afkomstig uit de zogeheten Watson-database. Deze database is opgezet door de Rijksoverheid en maakt deel uit van de Emissieregistratie. Sinds 2014 zijn de gegevens beschikbaar via de volgende webapplicatie: <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/monitoring/@39040/watson/>.

De database bevat informatie over de concentraties microverontreinigingen in het influent en effluent van Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallaties. Het gaat hierbij om: de prioritairere stoffen uit de Kaderrichtlijn Water, industriële stoffen, geneesmiddelen, hormoon verstorende stoffen, bestrijdingsmiddelen en meer. De gegevens in de database zijn voor het grootste gedeelte afkomstig van de regionale waterbeheerders, maar omvatten ook monitoringsgegevens vanuit verschillende landelijke onderzoeken.

⁵ <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=81604NED&D1=a&D2=a&D3=I&VW=T>

Met de Watson web applicatie kunnen gebruikers, zoals waterbeheerders en zuiveraars, allerlei meetgegevens uit de database halen. Daarbij kunnen ze diverse selecties maken en berekeningen uitvoeren. De database wordt ook gebruikt voor het afleiden van kentallen voor de Emissieregistratie.

2.2.6 Algemeen Bedrijven Register

Voor de steekproeftrekking van de mini-enquête is gebruik gemaakt van het Algemeen Bedrijven Register (ABR). Het register vormt voor CBS de ruggengraat van het statistisch proces voor economische statistieken. Het ABR is een systeem waarin identificerende gegevens en structuurgegevens over alle bedrijven en instellingen (inclusief zelfstandigen) zijn geregistreerd. Hieruit worden de statistische eenheden bedrijfseenheid, ondernemingengroep en lokale bedrijfseenheid afgeleid. Het ABR bevat informatie over de economische activiteit en het aantal werkzame personen. Daarnaast bevat het ABR ook informatie over bepaalde 'events'. Een event geeft een gebeurtenis of wijziging weer binnen het ABR: bijvoorbeeld de oprichting, overname of opheffing van een bedrijf.

2.3 Cijfers zijn indicatief

Zoals hierboven aangegeven, zijn voor analyses in dit onderzoek verschillende gegevensbronnen gebruikt om een indicatie te geven over kritische materialen op verschillende punten in de keten van afwater en slib. Deze bronnen kunnen soms resultaten laten zien die niet met elkaar in overeenstemming zijn. De hoeveelheden fosfor en koper aangevoerd bij RWZI's zijn bijvoorbeeld lager dan de lozing van fosfor en koper door bedrijven op het riool, terwijl dit eigenlijk hoger zou moeten zijn, omdat ook huishoudens op het riool lozen. Dit kan voor een deel verklaard worden door het overstorten van afvalwater van het riool naar het oppervlaktewater, maar dit verklaart waarschijnlijk niet het totale verschil. Zoals hierboven ook al aangegeven kennen de cijfers in de bronnen onzekerheid.

Een deel van deze onzekerheid hangt dan ook samen met een onvolledig inzicht in de bronnen en met de (on)nauwkeurigheid van metingen. De gepresenteerde gehalten en vrachten van stoffen in zowel afvalwater als zuiveringsslib zijn het resultaat van metingen. De metingen van concentraties kennen, afhankelijk van de toegepaste methode, een onnauwkeurigheid. Bij berekeningen van vrachten in afvalwater, slib en verbrandingsas wordt tevens de gemeten volumestroom (m^3 afvalwater of kg droge stof) meegenomen. Ook deze bepalingen kennen hun onnauwkeurigheid. De betrouwbaarheid van jaargemiddelde waarden of jaarsommen is ook nog afhankelijk van de meetfrequentie. Verder speelt bij zeer lage gehalten van stoffen de detectiegrens van de analysemethode een rol. Al deze factoren hebben hun invloed op de resultaten zoals die in dit rapport gepresenteerd zijn.

De uitkomsten in dit onderzoek worden dan ook nadrukkelijk gepresenteerd als indicatief en niet als cijfermatig absolute waarheden. Voor het doel van het onderzoek, het duiden op welke plaatsen in de keten relatief grote hoeveelheden en gehalten aan kritische materialen te vinden zijn, zijn de cijfers ruim voldoende. Het doel is niet om een sluitende balans van de keten weer te geven. Of de emissie van een stof op een bepaalde plaats in de afvalwaterketen hoog genoeg is om de stof uit het afvalwater en slib terug te winnen, valt buiten de reikwijdte van het onderzoek. Dit is sterk afhankelijk van de mate waarin een bepaald materiaal 'kritisch' is en de

kosten voor het terugwinnen. Technologische ontwikkelingen spelen voor dit kostenaspect een grote rol.

Samengevat, beoogt het rapport een indicatie te geven van de hoeveelheden en gehalten van kritische materialen op verschillende plekken in de afvalwaterketen en bij verschillende emissiebronnen. Met deze informatie zijn plekken in de afvalwaterketen aan te wijzen die het meest geschikt zijn om kritische materialen terug te winnen. Het rapport heeft niet tot doel om een volledig (sluitend en cijfermatig absoluut) beeld van de afvalwaterstromen en de kritische materialen hierin te geven.

3. Algemeen beeld

3.1 Inleiding

Door de toenemende bevolking en welvaart neemt de wereldwijde vraag naar grondstoffen toe. Om aan de vraag te voldoen, moet er meer aanbod komen, maar dit is niet altijd mogelijk. Van sommige delfstoffen, zoals antimoon en chroomerts, raken de voorraden op. Bij andere delfstoffen zijn de winningskosten of de milieurisico's groot. Dergelijke stoffen met een groot economische belang of een groot aanbodrisico worden kritische materialen genoemd. Door een beperkt aanbod kan een stabiele levering van materialen aan de industriële sector onder druk komen te staan. De sectoren productie van transportmaterieel, elektrische apparatuur, computer, optische en elektronische apparatuur, machines, basismetalen, metaalproducten en meubels zijn meer dan andere Nederlandse sectoren gevoelig voor leveringszekerheidsproblemen⁶. Schaarste, hoge productiekosten van primaire grondstoffen en een grote economische afhankelijkheid zorgen ervoor dat het aantrekkelijker wordt om materialen te hergebruiken (recycling) of te herwinnen. Metalen worden al vaak gerecycled, maar terugwinnen van schaarse stoffen uit afvalwater of slib vindt nog maar in beperkte mate plaats.

Dit onderzoek geeft de hoeveelheden en gehalten van 12 kritische materialen en het niet kritische materiaal stikstof in het afvalwater en slib weer. Dat wil zeggen de hoeveelheden en gehalten op verschillende punten in de keten van afvalwater en slib. Deze punten in de keten zijn vermeld in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 4 kunnen geïnteresseerden de details per materiaal nalezen. De nadruk ligt daarbij op de verschillende bedrijfstakken en hun afvalwater. Bedrijfstakken met hoge vrachten en gehalten van een stof in hun afvalwaterstroom zijn waarschijnlijk het meest geschikt voor het eventueel herwinnen van de stof. Het is niet de pretentie van dit rapport om aan te geven of herwinning uit afvalwater en slib een goede economisch rendabele mogelijkheid is. De pretentie is om plaatsen in de keten aan te geven waar de potentie op herwinning het grootst is. De potentie wordt bepaald door de aanwezige hoeveelheden en gehalten van de verschillende materialen op die plaatsen. Het rapport dient als cijfermatige bron voor onderzoekers en anderen die naar deze mogelijkheden op zoek zijn.

Dit hoofdstuk 3 geeft een samenvattend algemeen beeld van de aanwezigheid van kritische materialen in het afvalwater en slib. Om de bevindingen van het onderzoek naar het Nederlandse afvalwater en slib in enig perspectief te zetten, geeft paragraaf 3.2 een korte schets van de wereldwijde productie van de 12 kritische materialen. Paragraaf 3.3 geeft een samenvatting van de hoeveelheden en gehalten van deze stoffen in het Nederlandse afvalwater en slib. In 3.4 volgt een beknopt overzicht van de bedrijfstakken met hoge emissies en hoge gehalten aan kritische materialen in het afvalwater. Het hoofdstuk wordt in paragraaf 3.5 afgesloten met een korte beschouwing over herwinbaarheid naar aanleiding van de gevonden resultaten.

3.2 Productie van kritische stoffen wereldwijd

Deze studie presenteert cijfers over hoeveelheden materialen in de Nederlandse afvalwaterketen. Of die hoeveelheden 'hoog' of 'laag' genoemd moeten worden is een kwestie van perspectief en daarover worden in deze studie geen directe uitspraken gedaan. Tabel 3.1

⁶ TNO (2014)

geeft als hulpmiddel echter een overzicht van de wereldwijde productie van kritische materialen. De lezer kan deze cijfers gebruiken als illustratie bij de Nederlandse cijfers in dit rapport

De productie van kritische materialen is afkomstig uit mijnbouw, primaire productie en secundaire productie. De mijnbouw omvat het delven van mineralen uit de grond. Het product van de mijnbouw is erts en het erts bevat een bepaalde hoeveelheid metaal. Bij de primaire productie gaat het om de verwerking van het erts tot metalen platen en (in het geval van fosfor) concentraten. Metalen worden vaak gerecycled, dat is de secundaire productie. Nederland is op het wereldtoneel slechts een zeer bescheiden speler als het gaat om de productie van deze grondstoffen. In Nederland worden namelijk alleen de primaire metalen zink en aluminium geproduceerd: 275 miljoen kg zink en 81 miljoen kg aluminium in 2013.

Tabel 3.1 Wereldproductie van kritische materialen, 2012 en 2013

		2012	2013
		<i>miljoen kg</i>	
Al	Bauxiet	256 000	296 000
	Alumina (Al ₂ O ₃)	95 500	101 400
	Primair aluminium	46 200	47 100
P	Fosforerts	216 000	235 000
Cu	Mijnbouw koper (metaalgehalte)	16 900	18 100
	Smelterij koper	13 300	13 800
	Raffinage koper	20 200	21 000
Mn	Mangaanerts	48 600	52 800
Cr	Chroomerts en concentraten	25 700	28 800
Zn	Mijnbouw zink (metaalgehalte)	13 500	13 500
	Geraffineerd zink	12 600	13 200
Ni	Mijnbouw nikkel (metaalgehalte)	2 360	2 548
	Raffinage/smelterij nikkel	1 760	1 946
Mo	Mijnbouw molybdeen (metaalgehalte)	256	270
Co	Mijnbouw kobalt (metaalgehalte)	129	125
	Kobalt metaal	78	84
Sb	Mijnbouw antimoon (metaalgehalte)	162	156
V	Mijnbouw vanadium (metaalgehalte)	75	96
Ag	Mijnbouw zilver (metaalgehalte)	26	26

Bron: British Geological Survey (BGS).

3.3 Kritische materialen in afvalwater en slib

Van de kritische materialen die Nederlandse bedrijven gebruiken, komt een deel in het afvalwater terecht. Ook het rioolwater afkomstig van huishoudens en uit de bebouwde stedelijke omgeving (met verkeeremissies) bevat kritische stoffen. De vraag is in welke hoeveelheden en in welke concentraties de stoffen in de afvalwaterstroom worden teruggevonden. Eerst de hoeveelheden.

Hoeveelheden stoffen in het afvalwater en slib

In het afvalwater is relatief veel stikstof en fosfor aanwezig, gevolgd door de metalen zink, koper en aluminium. Een groot deel van de stoffen in het afvalwater is afkomstig van consumenten (tabel 3.2). Dit geldt vooral voor antimoon, fosfor en stikstof. Voor kobalt, zilver, mangaan, molybdeen en aluminium in het afvalwater zijn bedrijven de belangrijkste emissiebron.

Tabel 3.2 Volume aan kritische stoffen in afvalwater naar emissiebron in 2012

	Emissie in afvalwater						
	Totaal	w.v. lozing door					Bedrijven ¹
		Consumenten	Bedrijven ¹	Landbouw	Verkeer en vervoer	Overige ²	
	in 1 000 kg						%
Stikstof	85412	71171	10941	3202	57	41	13
Fosfor	15195	13141	1523	521	0	1	10
Zink	457	196	51	4	177	29	11
Koper	258	168	13	0	60	18	5
Aluminium	100	0	88	0	12	0	88
Nikkel	13,6	8,3	5,1	0,0	0,2	0,0	37
Antimoon	10,8	9,7	0,5	0,0	0,6	0,0	5
Mangaan	6,4	0,0	6,0	0,0	0,4	0,0	94
Chroom	6,3	3,3	2,5	0,0	0,3	0,0	41
Molybdeen	3,3	0,0	3,0	0,0	0,2	0,0	93
Kobalt	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	100
Vanadium	0,4	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	80
Zilver	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	100

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening (excl. winning energiedragers) en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

2) Handel, diensten, overheid, bouwnijverheid en bouwinstallatiebedrijven.

Bron: Emissieregistratie.

Tabel 3.3 laat het totaal aantal kilo's per stof op verschillende punten in de keten zien. De kolommen in de tabel reflecteren de stromen en bronnen zoals beschreven in hoofdstuk 2. Bij de interpretatie van de cijfers moet men in gedachten houden dat het gaat om metingen en schattingen op diverse punten in de keten en met een verschillende mate van nauwkeurigheid. De eerste kolom gaat over het afvalwater van huishoudens en bedrijven en deze cijfers zijn gelijk aan die in tabel 3.2. Dat afvalwater komt terecht op het oppervlaktewater of het riool. Het rioolwater gaat (als 'influent') naar de RWZI's waar het wordt gezuiverd. Een deel van de aanwezige stoffen blijft achter in het water dat de RWZI's weer verlaat (als 'effluent') richting het oppervlaktewater en een deel van de stoffen blijft achter in het slib van de RWZI's. Dat slib gaat naar de slibverwerkers die het verbranden, waarna er ten slotte materialen achterblijven in de as.⁷

⁷ De hoeveelheden in inkomend slib en as kennen een bandbreedte van ongeveer 10 procent. De verschillen tussen inkomend slib en as zijn dan ook het resultaat van de onnauwkeurigheid in de metingen. Voorts kan een klein deel ook nog verwijderd worden via actieve kool en filterkoek (zie ook paragraaf 2.1.4).

Tabel 3.3 Volume aan kritische stoffen in afvalwater en slib (huishoudens, bedrijven e.a.) in 2012

	Emissieregistratie			RWZI's				Slibverbranders SNB, SVI ¹	
	Afvalwater	w.v. lozing naar		Influent ²	Effluent	Slib	w.o. bestemming	Inkomend slib ³	As
		riool (rwzi)	oppervlaktewater				slib/afvalverbranding		
<i>in 1 000 kg</i>									
Stikstof	85 400	79 900	5 500	89 000	15 200	18 700	13 200	.	.
Fosfor	15 200	14 400	750	13 500	2 100	10 800	7 750	6 500	5 830
Zink	460	265	195	460	95	335	235	190	170
Koper	260	195	65	150	10	130	95	75	60
Aluminium	100	85	15	.	.	.	.	2 430	2 170
Nikkel	14	11	2	19	8	10	6	5	4
Antimoon	11	11	0	.	.	.	.	1	1
Mangaan	6	0	6	.	.	.	.	51	46
Chroom	6	5	1	16	2	14	9	8	6
Molybdeen	3	3	1	.	.	.	.	2	2
Kobalt	0,4	0,3	0,1	.	.	.	.	2	2
Vanadium	0,4	0,3	0,0	.	.	.	.	3	3
Zilver	0,2	0,2	0,0	.	.	.	.	0,4	0,3

1) De hoeveelheden slib en as zijn plus of min 10 procent (bandbreedte).

2) Afvalwater is afkomstig van bedrijven, huishoudens, de straat (regenwater).

3) Slib is afkomstig van RWZI's en bedrijven (industriële slib).

Bronnen: Emissieregistratie, E-MJV, SNB, SVI (bewerkt door CBS).

Een belangrijk deel van de keten staat niet vermeld in de tabel. Dan gaat het om de hoeveelheden materialen in het industrieel slib, dat wil zeggen het slib afkomstig uit eigen afvalwaterzuiveringsinstallaties van bedrijven. De cijfers over die stroom zijn te beperkt om een Nederlands totaal vast te stellen. Een deel van het industrieel slib komt, net als het slib van de RWZI's, bij de slibverbranders terecht.

Wel is het mogelijk om de zuivering van een groep AWZI's te vergelijken met die van de RWZI's. Deze AWZI's zetten relatief meer stoffen in het slib af dan in het effluent in vergelijking met RWZI's dat duidt op een hoger zuiveringspercentage van het afvalwater door deze AWZI's. Dit blijkt uit tabel 3.4 waarbij aan een groep bedrijven met een eigen AWZI die slib leveren aan de landbouw (vanuit de CBS-slibregistratie) gegevens over effluent (uit de Emissieregistratie) zijn gekoppeld. Deze selectieve groep AWZI's zuiveren vooral relatief meer nikkel en chroom uit het afvalwater. Bij de vergelijking moet wel rekening gehouden worden met het voornaamste doel van afvalwaterzuivering, namelijk het zodanig zuiveren van afvalwater opdat het effluent op het oppervlaktewater geloosd mag worden.

Tabel 3.4 Stoffen in effluent en slib bij RWZI's en selectieve groep van bedrijven met AWZI's

	RWZI's ¹			AWZI's (selectieve groep) ²		
	Totaal ³	In effluent	In slib	Totaal ³	In effluent	In slib
	<i>1 000 kg</i>	%		<i>1 000 kg</i>	%	
Stikstof	33 900	45	55	2 620	41	59
Fosfor	12 900	16	84	1 150	16	84
Zink	430	22	78	8	14	86
Koper	140	7	93	1	4	96
Nikkel	18	45	55	1	10	90
Chroom	16	14	86	1	3	97

1) In 2012.

2) Gemiddelde van 2008, 2010 en 2012 van AWZI's met slib bestemd voor landbouw (N = 255).

3) Het totaal aan stoffen in effluent en slib is ongelijk aan dat in influent.

Bronnen: CBS en Emissieregistratie (bewerkt door het CBS).

Gehaltes aan kritische materialen in het afvalwater

Vervolgens de gehaltes. Voor potentiële herwinning is het belangrijk om deze, naast de volumes, te kennen. Hieronder zijn in twee verschillende tabellen de gehaltes van de stoffen in het afvalwater (tabel 3.5) en het slib (tabel 3.6) samengevat. Deze gehaltes zijn gepresenteerd in de vorm van verdelingsstatistieken, waarbij per stof en plaats in de stroom de zogeheten kwartielwaardes zijn vermeld. Het eerste kwartiel (in de tabel aangeduid als Q1) geeft de waarde weer waaronder het laagste 25 procent van de bedrijven of RWZI's zich bevinden, het tweede kwartiel (Q2) is de waarde waarboven exact de helft van de waarnemingen zich bevindt. Het derde kwartiel (Q3) is de grens van het hoogste 25 procent. Voor het afvalwater van bedrijven is het om redenen van statistische betrouwbaarheid niet mogelijk een rekenkundig gemiddelde weer te geven en is daarom slechts een indicatie van dat gemiddelde gegeven.

Tabel 3.5 Gehaltes aan stoffen in het afvalwater bij bedrijven en bij RWZI's

	Emissieregistratie ¹				Rioolwaterzuiveringsinstallaties ²							
	Afvalwater bedrijven				Influent ³				Effluent			
	Q1	Q2	Q3	Gem.	Q1	Q2	Q3	Gem.	Q1	Q2	Q3	Gem.
	<i>in µg/liter</i>											
Stikstof	1 897	9 489	40 430	>Q3	37 075	43 298	50 684	44 906	4 849	6 295	8 192	7 092
Fosfor	325	1 399	7 443	>Q3	5 572	6 500	7 698	6 797	502	821	1 505	1 149
Zink	23	82	281	>Q3	168	209	252	227	26	37	55	45
Koper	3	15	61	>Q3	48	66	89	77	3	4	6	5
Aluminium	126	651	4 721	>Q3	.	1150	.	1330	.	100	.	110
Nikkel	1	10	36	>Q3	5	7	9	8	2	3	4	4
Antimoon	0,1	2	17	>Q3	.	0,0	.	0,3	.	0,0	.	0,0
Mangaan	0,2	13	1 681	Q2-Q3	.	78	.	83	.	50	.	66
Chroom	1	6	27	>Q3	4	6	8	7	1	1	1	1
Molybdeen	0,0	20	187	>Q3	.	3	.	4	.	0,0	.	2
Kobalt	0,0	0,3	89	Q2-Q3	.	0,0	.	1	.	0,0	.	0,4
Vanadium	0,0	0,2	17	>Q3	.	1	.	3	.	0,0	.	0,4
Zilver	0,0	6	46	Q2-Q3	.	0,0	.	0,3	.	0,0	.	0,0

1) Gehaltes van metingen in 2008, 2010 en 2012.

2) Gehaltes van metingen in 2012.

Gehaltes bij aluminium, antimoon, mangaan, molybdeen, kobalt, vanadium en zilver zijn afkomstig uit de Watson-database.

3) Rioolwater afkomstig van bedrijven, huishoudens, de straat (hemelwater).

4) Zuivering als gemiddelde gehalte in effluent t.o.v. gemiddelde gehalte in influent.

Bronnen: CBS, Emissieregistratie (bewerkt door CBS) en Watson-database.

De gehaltes in het afvalwater bij bedrijven, zoals geregistreerd in de Emissieregistratie, laten bij de meeste stoffen een scheve verdeling zien. Dit wordt veroorzaakt door enkele bedrijven met relatief zeer hoge gehaltes in het afvalwater. Deze bedrijven, die vaak tot een bepaalde bedrijfstak behoren, zouden eventueel geschikt zijn voor het terugwinnen van stoffen uit afvalwater. Door de hogere gehaltes is een herwinningsproces daar waarschijnlijk het eerst economisch rendabel. In de volgende paragraaf wordt iets verder ingezoomd op dergelijke bedrijfstakken met hoge gehaltes aan kritische materialen in het afvalwater

Het rioolwater afkomstig van bedrijven bevat vaak hogere gehaltes aan metalen dan het andere rioolwater dat afkomstig is van huishoudens en van neerslag die via de straatputten naar het (gecombineerde) rioolstelsel wordt afgevoerd. Tabel 3.5 laat dan ook voor de meeste metalen lagere gehaltes in het influent bij RWZI's zien in vergelijking met de Emissieregistratie. Vooral door de grote hoeveelheden hemelwater treedt er verdunning op. Voor stikstof en fosfaat en in mindere mate ook bij zink, zijn de gehaltes in het influent van RWZI's hoger dan die in het afvalwater van bedrijven. Het afvalwater van huishoudens (uit sanitatie en schoonmaak) zorgt

voor deze hoge gehalten aan stikstof en fosfaat. Zink is voor een belangrijk deel afkomstig van verkeer en vervoer.

Gehaltes aan kritische materialen in het slib

Anders dan voor de hoeveelheden, is het wel mogelijk om indicatieve cijfers te geven voor de gehalten van materialen in het industrieel slib. Die cijfers staat, samen met de gehalten in het slib van de RWZI's en slibverbranders in tabel 3.6.

Tabel 3.6 Gehaltes aan stoffen in slib bij bedrijven en slib en as bij slibverbranders

	RWZI's ¹	Bedrijven met een eigen AWZI				Slibverbranders SNB en SVI ⁴		
	Gem.	Registratie/enquête ²			Gem.	Mini-enquête ³	Inkomend slib ⁵	
		Q1	Q2	Q3			Gem.	As	Gem.
<i>in mg/kg ds</i>								
Stikstof	54 774	53 900	65 500	75 200	64 776	38 231	.	.
Fosfor	32 756	13 964	21 649	36 351	38 709	18 977	.	100 088
Zink	1 044	96	158	250	260	212	1 000	2 828
Koper	404	16	30	51	44	521	425	1 101
Aluminium	.	.	.	.	.	10 460	.	36 004
Nikkel	31	6	11	18	14	23	31	84
Antimoon	.	.	.	.	.	4	.	14
Mangaan	.	.	.	.	.	197	.	2 265
Chroom	41	11	20	29	24	23	47	130
Molybdeen	.	.	.	.	.	12	.	30
Kobalt	.	.	.	.	.	3	.	17
Vanadium	.	.	.	.	.	4	.	43
Zilver	.	.	.	.	.	.	.	13

1) Gemiddelde van metingen in 2008, 2010 en 2012 (N = 327).

2) In 2008, 2010 en 2012 in voedingsmiddelenindustrie met slib met bestemming landbouw (N = 255).

3) Gemiddelde van metingen in 2009 tot en met 2015 (N = 22).

4) Gewogen gemiddelde van metingen in 2012, 2013 en 2014.

5) Slib afkomstig van rwzi's en bedrijven (industrieel slib).

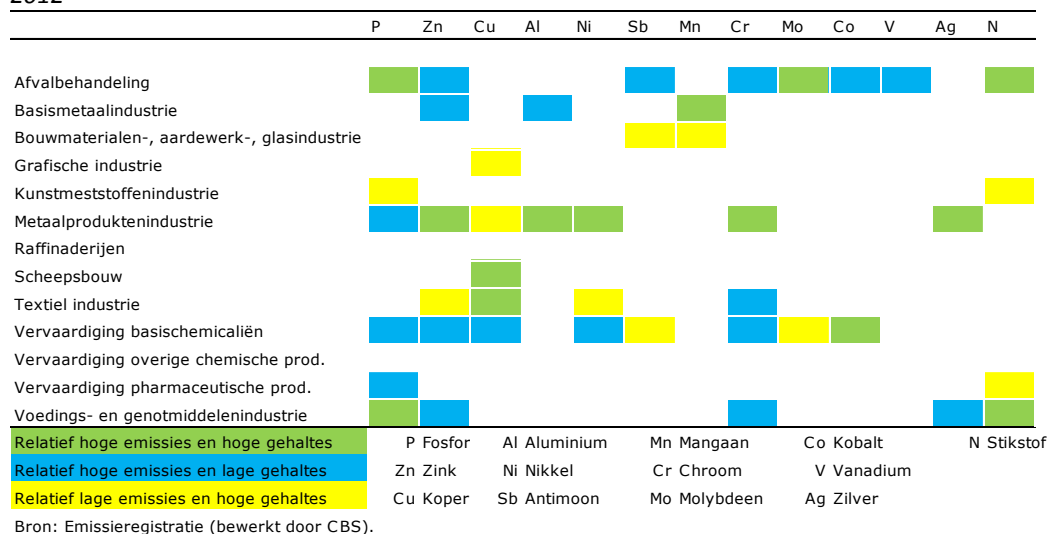
Bronnen: CBS en slibverbranders SNB en SVI (bewerkt door CBS).

In het slib komen vooral de stoffen stikstof, fosfor, aluminium, zink en koper voor. De gehalten aan stikstof en fosfor lijken het hoogst in het slib van de voedingsmiddelenindustrie, dat afgezet wordt op landbouwgronden. De gehalten aan zink en chroom in het slib zijn hoger bij RWZI's dan bij AWZI's, maar het is mogelijk dat bepaalde AWZI's met hoge emissies aan deze stoffen in het slib niet zijn waargenomen. De verbrandingsas bij de slibverbranders laat voor fosfor, aluminium, zink, mangaan en koper relatief hoge gehalten zien.

3.4 Bedrijfstakken met hoge emissies in afvalwater

Een belangrijk onderdeel van deze studie vormt het inzoomen op bedrijfstakken met relatief hoge hoeveelheden en gehalten aan kritische materialen in de afvalwaterstroom. Hoofdstuk 4 gaat hier in veel meer detail op in. Voor een samenvattend beeld geeft figuur 3.1 per stof de bedrijfstakken weer die de hoogste emissies en/of gehalten aan kritische stoffen in het afvalwater hebben. Informatie over slib is moeilijker per bedrijfstak samen te vatten, daarvoor wordt de lezer verwezen naar hoofdstuk 4.

Figuur 3.1 Bedrijfstakken met hoogste emissies en/of gehalten aan stoffen in het afvalwater in 2012



Bij een vergelijking tussen de bedrijfstakken is de metaalproductenindustrie de bedrijfstak met de hoogste emissies en hoogste gehalten aan zink, aluminium, nikkel, chroom en zilver in het afvalwater. De bedrijfstak afvalbehandeling heeft in vergelijking met andere bedrijfstakken de hoogste emissies en hoogste gehalten aan fosfor, molybdeen en stikstof. Dit is ook wel logisch omdat het de bedrijfstak is die aan het eind van de productieketen staat en stoffen uit de restproducten haalt. Bij de vervaardiging van basischemicaliën ontstaan eveneens hoge emissies aan kritische stoffen in afvalwater.

3.5 Tot slot

Herwinning van kritische materialen in Nederland uit de afvalwaterstroom vindt slechts op bescheiden schaal plaats. Alleen voor fosfor lopen er verschillende projecten en zijn er meerdere concrete plannen om de recycling daarvan op te voeren. Voor de andere stoffen niet. Dit rapport kan anderen een beeld geven van de mogelijkheden daartoe, maar geeft zelf geen oordeel over economische herwinbaarheid. In hoofdstuk 4 worden de bevindingen per materiaal in detail weergegeven, voor de economische haalbaarheid wordt als achtergrond wel informatie gegeven over de prijzen van de materialen en algemene informatie over wat er al bekend is ten aanzien van herwinningstechnieken.

Om de economische potentie toch enigszins in een algemeen perspectief te zetten, geeft tabel 3.7 een ruwe benadering van de totale hoeveelheden van de kritische materialen die in het afvalwater en slib zijn te vinden ten opzichte van de totale invoer van deze materialen. De totale invoer kan daarbij worden gezien als de jaarlijkse hoeveelheid die de Nederlandse economie van de stof gebruikt. De getallen zijn een benadering van de werkelijkheid omdat de cijfers soms behoorlijke marges kennen en de grootheden niet altijd één op één vergelijkbaar zijn. De ingevoerde ertsen, concentraten, oxiden, legeringen en dergelijke zijn hiervoor ruwweg omgerekend naar atoomgewicht. De uitkomsten zijn echter wel illustratief.

Tabel 3.7 Hoeveelheid kritische materialen in afvalwater en slib ten opzichte van de invoer, 2012

	Ten opzichte van het invoervolume ¹	
	In afvalwater ²	In slib
	%	
Fosfor	26,30	21,20
Zink	0,17	0,13
Koper	0,13	0,07
Aluminium	0,01	0,35
Nikkel	0,04	1,00
Antimoon	0,09	0,02
Mangaan	0,01	0,21
Chroom	0,04	0,09
Molybdeen	0,08	0,09
Kobalt	0,03	0,25
Vanadium	0,12	1,92
Zilver	0,05	0,22

1) Grove schatting.

2) Een deel belandt na zuivering door RWZI's in het slib.

Bronnen: BGS, Emissieregistratie, SNB, SVI (bewerkt door CBS).

Het is niet vreemd dat er momenteel veel aandacht is voor herwinning van fosfor uit afvalwater en slib, want dit betreft een groot deel van wat Nederland jaarlijks nodig heeft. Voor alle andere onderzochte kritische materialen is dat niet het geval. Voor sommige stoffen zijn slechts kleine fracties van de totale invoer in het afvalwater en slib terug te vinden.

Het doel van ons onderzoek is het geven van kwantitatieve informatie voor potentiële herwinning. Zoals eerder gezegd wordt fosfor voor een deel al teruggewonnen en hetzelfde geldt voor het niet-kritische materiaal stikstof⁸. In de zijlijn van ons onderzoek zijn bij ons nog geen concrete ideeën voor herwinning bekend voor andere stoffen dan fosfor en stikstof.

⁸ <http://www.nutrientplatform.org/images/Afvalwaterketen%20tot%202030.pdf>

4. Resultaten per stof

4.1 Leeswijzer

In dit hoofdstuk zijn per kritisch materiaal de resultaten van de analyse weergegeven. Per stof wordt in de eerste paragraaf algemene informatie over de verschijningsvorm, de waarde van de stof en het wereldproductie- en het importvolume gegeven. De tweede paragraaf geeft de hoeveelheden en gehalten aan stoffen in het afvalwater weer, al dan niet uitgesplitst naar bedrijfstak. De hoeveelheden en gehalten aan stoffen in het slib worden per stof steeds in de derde paragraaf weergegeven.

4.2 Fosfor

4.2.1 Kenmerken fosfor

Fosfor is een niet-metaal dat in verschillende kleuren kan voorkomen waarvan rode fosfor en witte fosfor het bekendst zijn. Het is een scheikundig element met symbool P⁹.

Verschijningsvorm

Fosfor komt niet in ongebonden toestand voor in de natuur. Zuivere fosfor wordt uit fosformineralen gewonnen. Deze mineralen worden in grote hoeveelheden gewonnen in China, de Verenigde Staten, Marokko en Rusland¹⁰. De productie van fosformineralen neemt met ongeveer 20 procent in de afgelopen vijf jaar enorm toe. Marokko heeft grote reserves en gaat de productie de komende jaren verdubbelen. Ook zijn er op veel andere plekken in de wereld nieuwe mijnen gepland.

In 2013 is 235 miljard kilogram fosfaatgesteente gedolven. Nederland is een kleine importeur van fosfaatgesteente. Via de invoer van diervoeders voor de Nederlandse veehouderij komt veel fosfaat in het Nederlands milieu (bodem en oppervlaktewater) terecht.

Tabel 4.2.1 De wereldproductie en Nederlandse in- en uitvoer van fosfaatgesteente

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
	<i>miljoen kg</i>					
Fosforerts	216 000	235 000	679,6	287,7	163,0	117,2

Bron: British Geological Survey.

Waarde

Figuur 4.2.1¹¹ geeft de ontwikkeling van de wereldmarktprijs van fosfaatgesteente weer. In 2007 en 2008 steeg de prijs van fosfaatgesteente enorm doordat China hoge uitvoerrechten hief op fosfaatgesteente, die vervolgens in verschillende stappen weer werden teruggebracht. De piek werd gevolgd door een instorting van de prijs tijdens de wereldwijde recessie, waarna

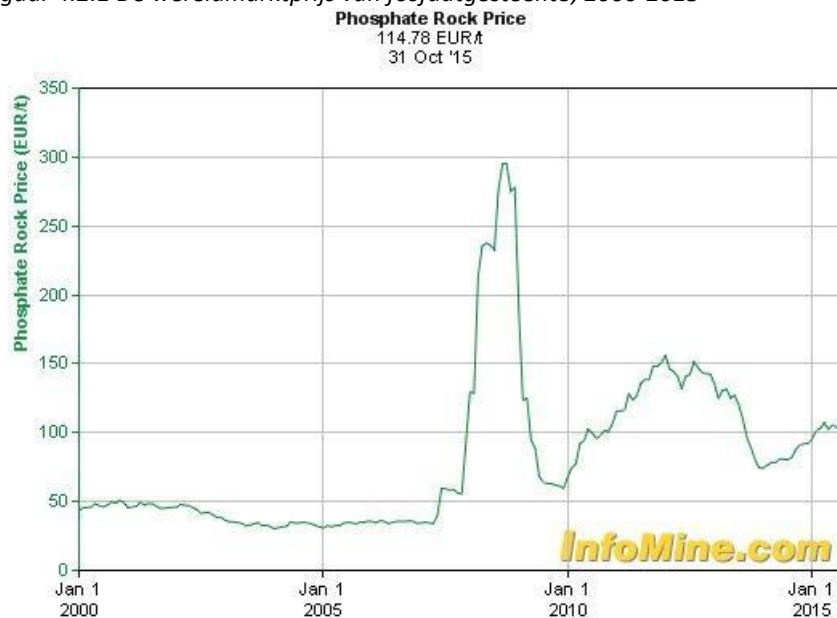
⁹ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Fosfor>

¹⁰ http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2012-phosp.pdf

¹¹ <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/phosphate-rock/all/>

de prijs sinds 2011 weer steeg. Op 31 december 2014 kostte een kilogram fosfaatgesteente 10 eurocent. Prijsstijgingen voor fosfaatgesteente hangen af van vraag en aanbod, waarbij ook de groeiende vraag naar gewassen voor biobrandstoffen een rol speelt. Ze weerspiegelen ook de voedselprijzen en kunnen in enige mate bijdragen tot voedselprijsstijgingen¹².

Figuur 4.2.1 De wereldmarktprijs van fosfaatgesteente, 2000-2013



Toepassingen

Fosfor is een essentieel element voor planten en dieren en daarmee de voedselproductie. Als nutriënt in kunstmest wordt het wereldwijd toegepast als voedingsstof voor gewassen. Door de groeiende wereldbevolking, de toenemende vleesconsumptie en het verbouwen van gewassen die worden verbouwd voor de winning van biobrandstoffen neemt de vraag naar fosfaat steeds toe. U.S. Geological Survey (USGS) verwacht een toename van de wereldconsumptie van fosfaat in kunstmest van 2,5 procent per jaar gedurende de komende 5 jaar, met de grootste toename in Azië en Zuid-Amerika.

Toepassingen van fosfor, naast kunstmest, zijn¹³:

- grondstof voor glas voor natriumlampen;
- toevoeging aan staal;
- toevoeging aan water voor het verlagen van de hardheid van water;
- voor productie van vuurwerk;
- voor militaire doeleinden (rookbommen);
- als tussenproduct fosfaatpentasulfide in de industrieel chemische industrie;
- bij het maken van veiligheidslucifers, pesticiden, tandpasta en detergents.

Hergebruik fosfaat

Wereldwijd zijn er voldoende fosfaatbronnen. De reserves aan fosfaatgesteente lijken echter beperkt. Om minder afhankelijk te zijn van de invoer van fosfaat en om bodem- en

¹² <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:52013DC0517>

¹³ <http://nl.wikipedia.org/wiki/Fosfor>

waterverontreiniging tegen te gaan, hebben veel organisaties belangstelling voor terugwinnen van fosfaat uit afvalwater. Dit kan op diverse plaatsen in de afvalwaterketen^{14 15}:

- Bij het toilet door decentrale sanitatie: het zo onverdund mogelijk opvangen van urine. De fosfaten worden teruggewonnen door kristallisatie.
- Bij de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's), door het fosfaat met magnesium en stikstof te laten neerslaan als struviet. Struviet wordt als meststof gebruikt.
- Bij de RWZI's, door een fosfaatrijke deelstroom te onttrekken aan het afvalwater met behulp van een fosfaatstripper. De deelstroom die circa 30 mg/l fosfaat bevat, leent zich goed voor precipitatie en hergebruik van fosfaat. Dit zogenaamde 'groene fosfaat' wil de fosfaatverwerkende industrie afnemen indien het aan bepaalde kwaliteitseisen voldoet.
- Bij de verbrandingsinstallaties voor slib, door terugwinnen van fosfaat uit slibas. Het fosfaat in het slib wordt bij de verbranding geconcentreerd en komt dan in deze as terecht in een hogere concentratie. De as is toepasbaar in de fosfaatverwerkende industrie.

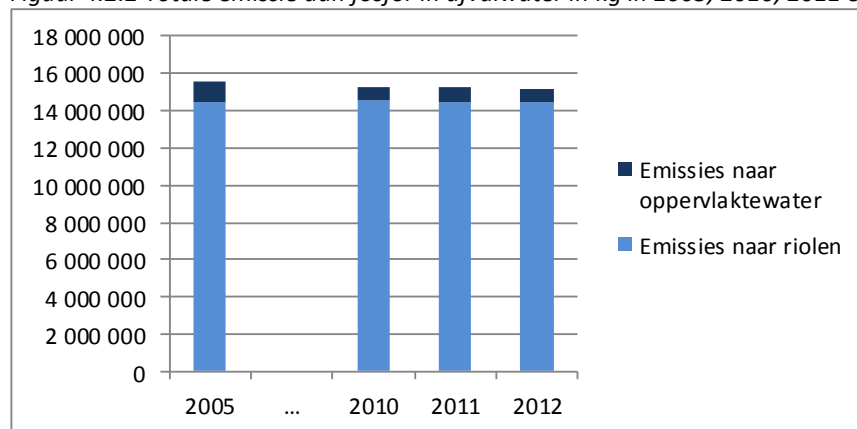
Jaarlijks wordt nu circa 14 miljoen kilogram fosfaat (is 6,1 miljoen kg P) uit het afvalwater en het slib (na verbranding) teruggewonnen bij de RWZI's en de slibverbranders¹⁶. Technologieën zoals die toegepast worden bij een RWZI zijn in principe ook toepasbaar bij particuliere bedrijven met een eigen AWZI.

4.2.2 Fosfor in afvalwater

Totale emissie aan fosfor

De totale watergerelateerde emissie¹⁷ aan fosfor in Nederland bedroeg 15,2 miljoen kg in 2012, waarvan 95% op het riool geloosd is. Consumenten lozen de meeste fosfor door sanitatie en in mindere mate door gebruik van schoonmaak- en wasmiddelen, gevolgd door de bedrijfstakken voedings- en genotmiddelenindustrie, landbouw, afvalbehandeling en chemische industrie. De bedrijfstakken landbouw en chemische industrie lozen vooral fosfor op het oppervlaktewater. Zie de volgende drie figuren.

Figuur 4.2.2 Totale emissie aan fosfor in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



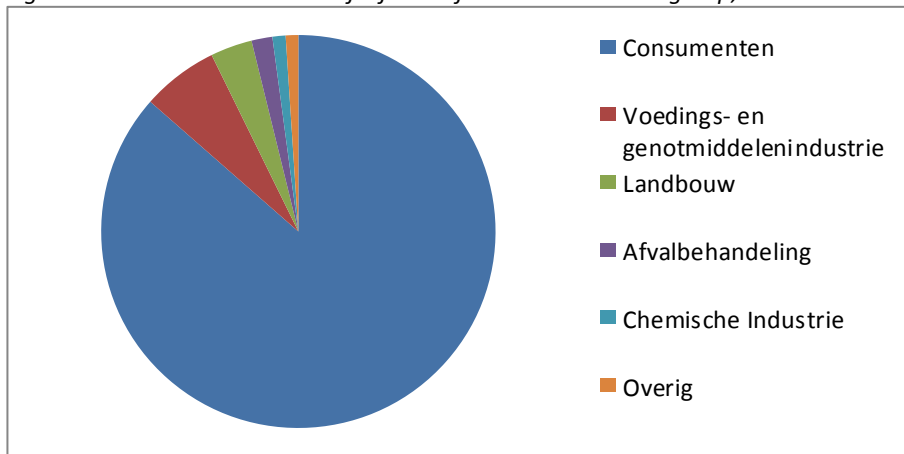
¹⁴ <http://www.snb.nl/fosfaat/fosfaatterugwinning/1764>

¹⁵ Reitsma, B.A.H., Kuipers, H., Onderzoek fosfaatterugwinning uit stripperwater BCFS RWZI Deventer, STOWA 2005-01

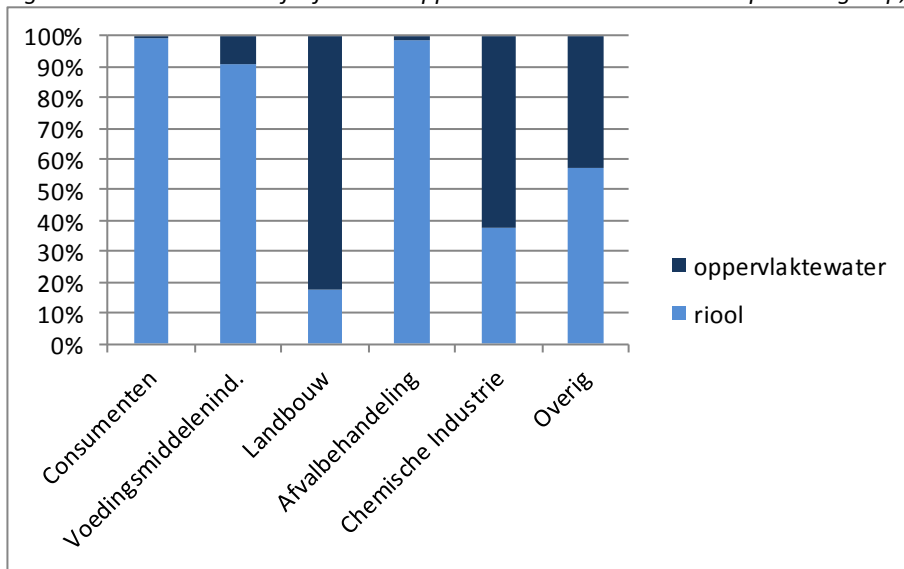
¹⁶ <http://www.nutrientplatform.org/images/Afvalwaterketen%20tot%202030.pdf>

¹⁷ Dit is exclusief de overdrachten van bodem naar water, zoals de uit- en afspoeling van landbouwgronden, en exclusief de effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Figuur 4.2.3 Totale emissie aan fosfor in afvalwater naar doelgroep, 2012



Figuur 4.2.4 Emissies van fosfor naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



Gehalte aan fosfor in afvalwater bij industriële bedrijven

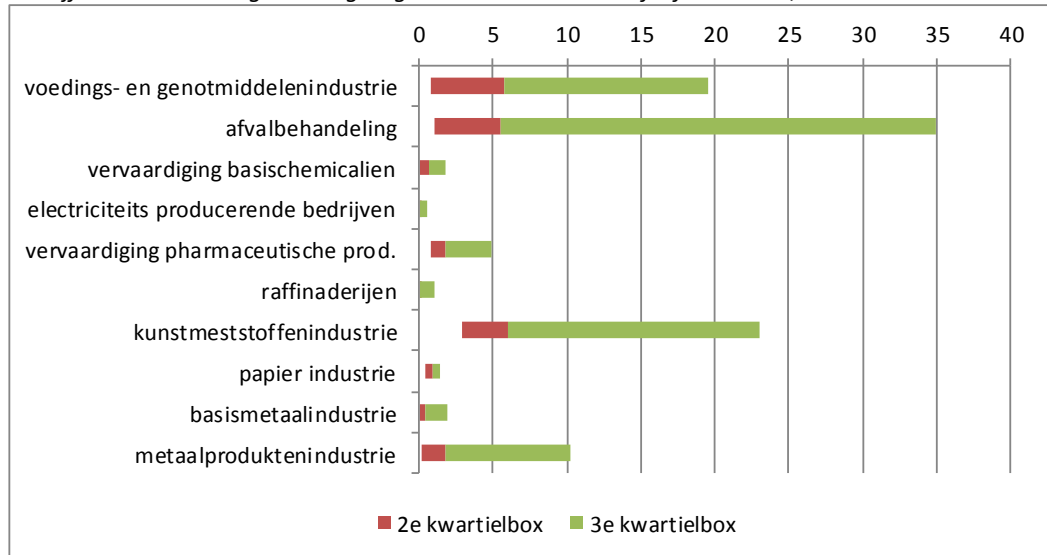
Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 10 procent een klein aandeel in de emissie van fosfor in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.2.5 een beeld van de gehalten aan fosfor in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehalten tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehalten van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor fosfor een drempelwaarde van 5 000 kg per jaar. In 2012 is circa 7 procent van de totale emissie aan fosfor waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 45 bedrijven met een emissie aan fosfor boven de drempelwaarde. Naast deze bedrijven die verplicht zijn de emissie op te geven, zijn er nog 148 bedrijven bekend in de Emissieregistratie met een uitstoot lager dan de drempelwaarde (tabel

4.2.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 620 waarnemingen over de emissie van fosfor in afvalwater bekend. Deze gegevens zijn afkomstig van 258 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.2.3).

Figuur 4.2.5 Gehalte aan fosfor in afvalwater in mg per liter (alle stromen) voor de 10 industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan fosfor in 2008, 2010 en 2012



Het gehalte aan fosfor in het afvalwater is relatief hoog in de bedrijfstakken voedings- en genotmiddelenindustrie, afvalbehandeling en kunstmeststoffenindustrie. In de voedings- en genotmiddelenindustrie loost de helft van de bedrijven in de registratie 1 tot 20 mg P per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 6 mg P per liter en het gemiddelde ligt op 102 mg P per liter afvalwater. Het gehalte aan fosfor in het afvalwater verschilt dus behoorlijk tussen de bedrijven in deze bedrijfstak. Sommige andere bedrijfstakken zoals vervaardiging van basischemicaliën en elektriciteit producerende bedrijven hebben wel een hoge emissie aan fosfor, maar het gehalte aan fosfor in het afvalwater is laag.

Ter vergelijking: het gemiddelde gehalte aan fosfor in het influent (aangevoerd afvalwater) bij rioolwaterzuiveringsinstallaties bedraagt gemiddeld 7 mg P per liter. Dit influent is een mix van huishoudelijk afvalwater, bedrijfsafvalwater, via straatkolken afgevoerd hemelwater en rioolvreemd water. Een substantieel deel van de bedrijven binnen de genoemde bedrijfstakken loost dus afvalwater op het riool met een hoger fosforgehalte dan dat in het overige afvalwater. In de volgende passage worden enkele bedrijfstakken met een relatief hoge emissie en/of een hoog gehalte aan fosfor in het afvalwater nader beschreven, namelijk de voedings- en genotmiddelenindustrie en afvalbehandeling.

In tabel 4.2.2 staan het aantal bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van fosfor in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.2.3. In de tabel stellen Q1, Q2 en Q3 de kwartielgrenzen voor. De helft van de waarnemingen heeft een gehalte die ligt tussen Q1 en Q3. Q2 is de mediaan en geeft het gehalte van de middelste waarneming weer.

Tabel 4.2.2 Waarnemingen van fosforemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissieregistratie		Emissies in afvalwater		
	Totaal	w.v. emissie > 5 000 kg/jaar	Totaal	w.v. Waargenomen Geschat	
	<i>aantal</i>		<i>1 000 kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	193	45	1 524	68	32
w.o.					
Voedings- en genotmiddelenindustrie	71	29	953	70	30
Afvalbehandeling	12	3	260	58	42

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.2.3 Waarnemingen van fosforgehaltes in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie-registratie	Gerapporteerde waarden		Gehaltes in afvalwater			
		Totaal	w.v. emissie > 5 000 kg/jaar	Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>			<i>mg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	258	620	130	0,35	1,41	7,51	>Q3
w.o.							
Voedings/genotmiddelenind.	83	228	78	0,81	5,76	19,58	>Q3
w.o. zuivelindustrie ²	36	78	41	2,73	8,20	23,67	Q2-Q3
Afvalbehandeling	23	42	14	1,09	5,55	35,00	Q2-Q3

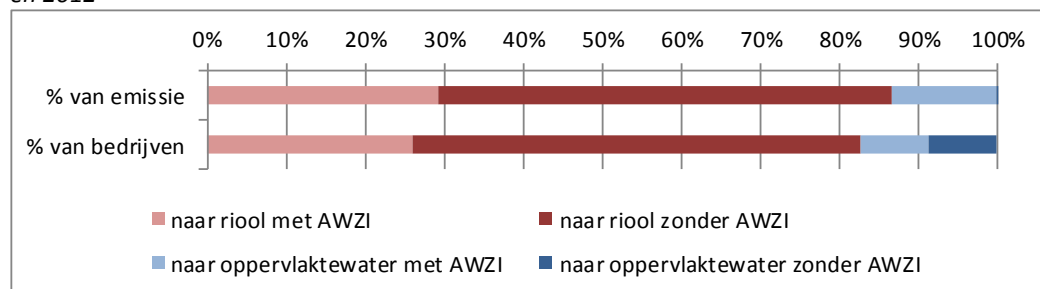
1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

2) SBI 10.51 Vervaardiging van zuivelproducten (geen consumptie-ijs), in 2010 en 2012.

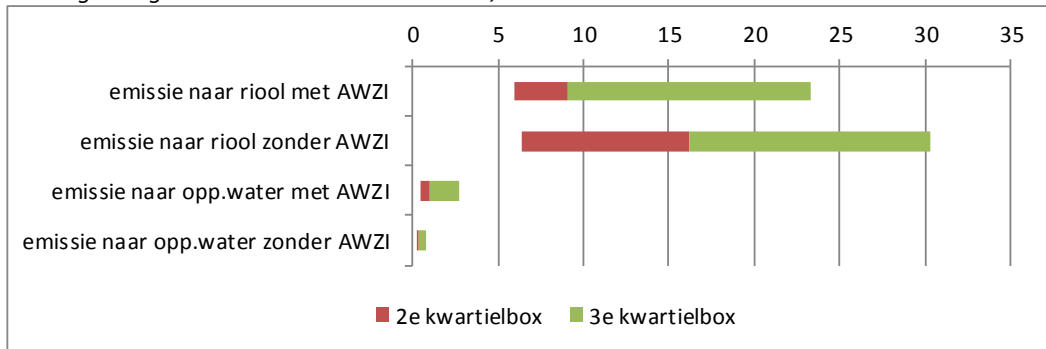
Voedings- en genotmiddelenindustrie

Met een emissie-aandeel van 6 procent (953 ton P) in 2012 heeft de voedings- en genotmiddelenindustrie de hoogste fosforemissie in water, na de hoge emissie door huishoudens. Deze bedrijfstak heeft ook een hoog gehalte aan fosfor in het afvalwater in vergelijking met andere bedrijfstakken. In de Emissieregistratie is in 2012 circa 70 procent van de emissie in de voedings- en genotmiddelenindustrie waargenomen via de registratie van individuele bedrijven. De hierna volgende analyses zijn gebaseerd op deze waarnemingen. In figuur 4.2.7 is te zien dat het gehalte aan fosfor in afvalwater het hoogst is bij bedrijven die lozen op het riool zonder eigen AWZI. Deze afvalwaterstroom betreft 57 procent van het aantal bedrijven en 57 procent van de totale emissie aan fosfor van de bedrijven in de registratie (figuur 4.2.6).

Figuur 4.2.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van fosfor in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de voedings- en genotmiddelenindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.2.7 Gehalte aan fosfor in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de voedings- en genotmiddelenindustrie in 2008, 2010 en 2012

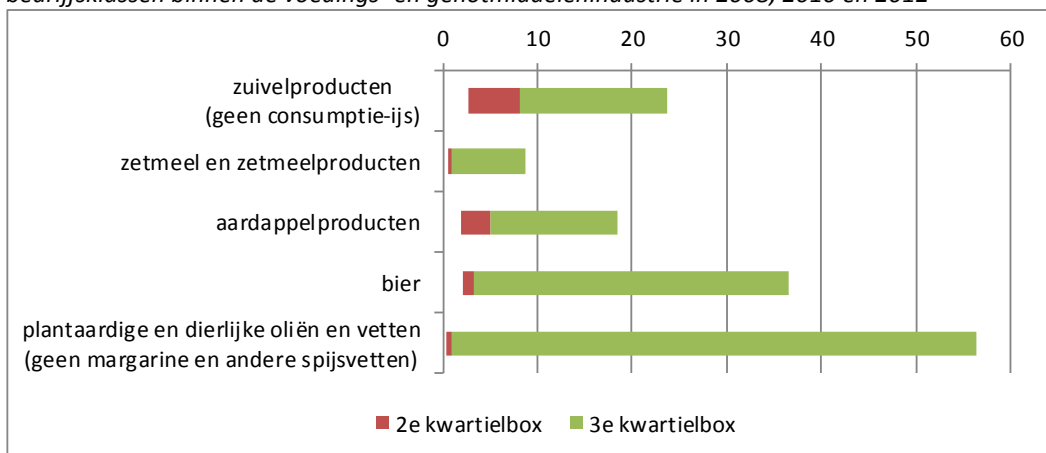


Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de vervaardiging van:

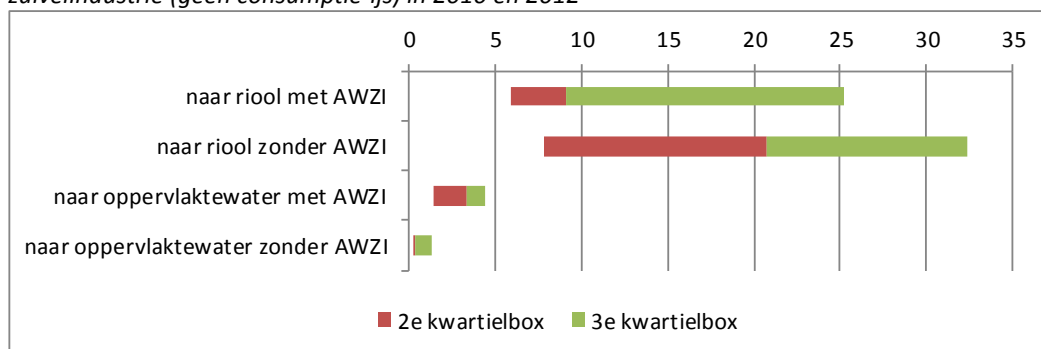
- zuivelproducten (geen consumptie-ijs, SBI 10.51);
- zetmeel en zetmeelproducten (SBI 10.62);
- aardappelproducten (SBI 10.31);
- bier (SBI 11.05);
- plantaardige en dierlijke oliën en vetten (geen margarine en andere spijsvetten, SBI 10.41).

De waargenomen emissies van fosfor in afvalwater bij de vervaardiging van zuivelproducten, zetmeelproducten, aardappelproducten, bier en oliën & vetten zijn in 2012 respectievelijk 420, 49, 58, 36 en 38 ton. De bedrijven in de zuivelindustrie hebben de hoogste emissies aan fosfor en laten vooral bij lozing op het riool zonder eigen AWZI hoge gehalten aan fosfor in het afvalwater zien. Zie figuren 4.2.8 en 4.2.9. De bedrijven met hoge gehalten bij de vervaardiging van oliën en vetten (geen spijsvetten) zijn bedrijven die op het riool lozen zonder eigen AWZI. Enkele van deze bedrijven vertonen gehalten van meer dan 5 000 mg per liter.

Figuur 4.2.8 Gehalte aan fosfor in afvalwater in mg per liter (alle stromen) voor enkele bedrijfsklassen binnen de voedings- en genotmiddelenindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.2.9 Gehalte aan fosfor in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de zuivelindustrie (geen consumptie-ijs) in 2010 en 2012

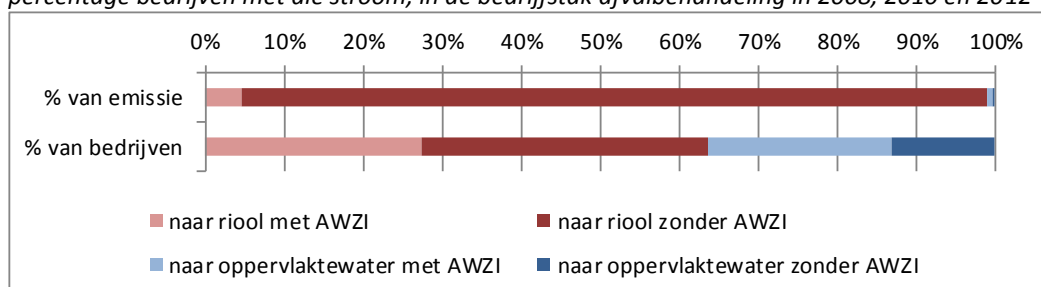


Afvalverwijdering

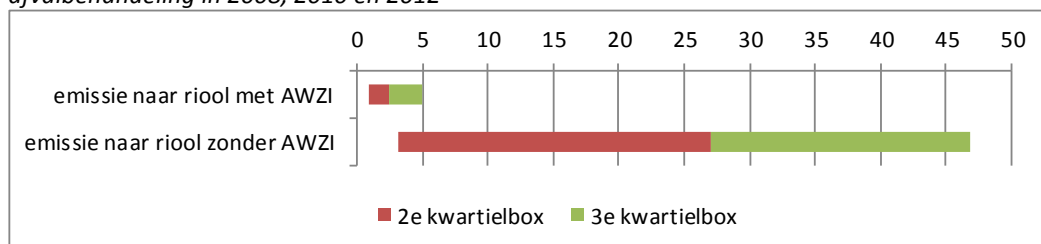
De bedrijfsgroep afvalverwijdering kenmerkt zich ook door hoge emissiegehaltenes van fosfor in het afvalwater. In 2012 heeft deze bedrijfsgroep een aandeel van 2 procent (262 ton P) in de totale emissie van fosfor in afvalwater.

In figuur 4.2.11 is te zien dat het gehalte aan fosfor in afvalwater het hoogst is bij bedrijven die lozen op het riool zonder eigen AWZI. Deze afvalwaterstroom betreft 36 procent van het aantal bedrijven en 94 procent van de totale emissie aan fosfor van de bedrijven in de registratie (figuur 4.2.10).

Figuur 4.2.10 Procentuele verdeling van emissiestromen van fosfor in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de bedrijfstak afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.2.11 Gehalte aan fosfor in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



4.2.3 Fosfor in slib

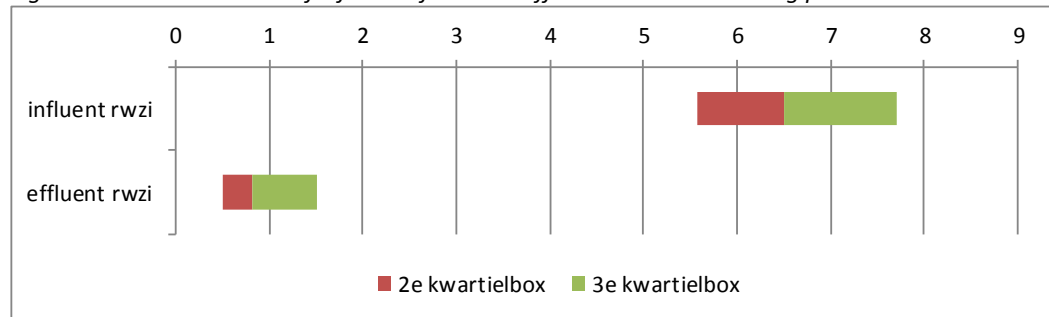
Bij RWZI's

De rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) zuiveren het afvalwater van huishoudens, bedrijven e.d. dat via het openbaar riool wordt aangevoerd. Het influent bevat gemiddeld 6,8 mg fosfor per liter; in totaal 13,5 miljoen kg fosfor in 2012. Na zuivering is het gehalte omlaag gebracht tot gemiddeld 1,1 mg per liter in het effluent (figuur 4.2.12). Het zuiveringsrendement bedraagt

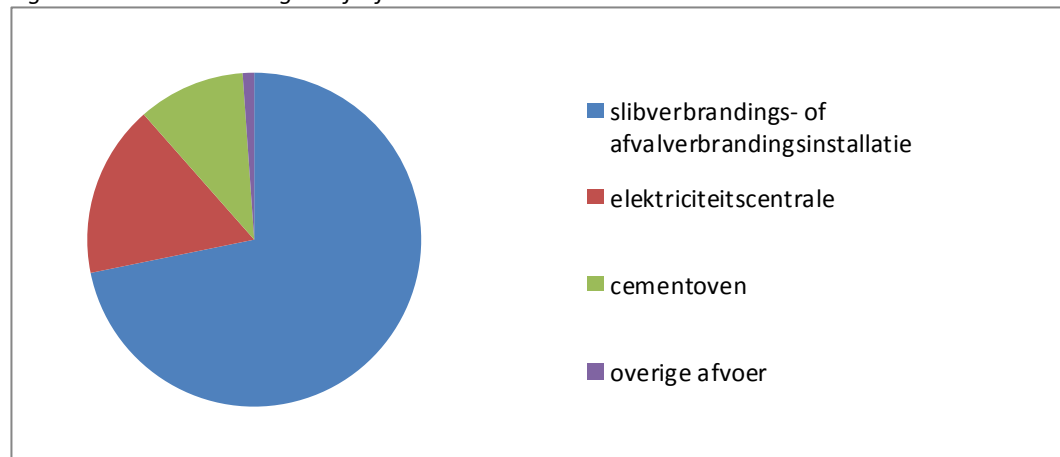
daarmee 85 procent. De rest komt voor een groot deel terecht in het zuiveringsslib. Door onnauwkeurigheden in de metingen komt de hoeveelheid in het influent niet exact overeen met die in het effluent plus slib. Daarnaast vindt er ook in beperkte mate herwinning van fosfaten plaats bij RWZI's.

Het slib van de RWZI's bevat in 2012 10,8 miljoen kg fosfor. Ruim 70 procent van de fosfor in het slib belandt in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie (figuur 4.2.13). De resterende hoeveelheid wordt ook verbrand maar dan in cementovens of elektriciteitscentrales.

Figuur 4.2.12 Gehaltes aan fosfor in influent en effluent van RWZI's in mg per liter in 2012



Figuur 4.2.13 Bestemming van fosfor in slib van RWZI's in 2012



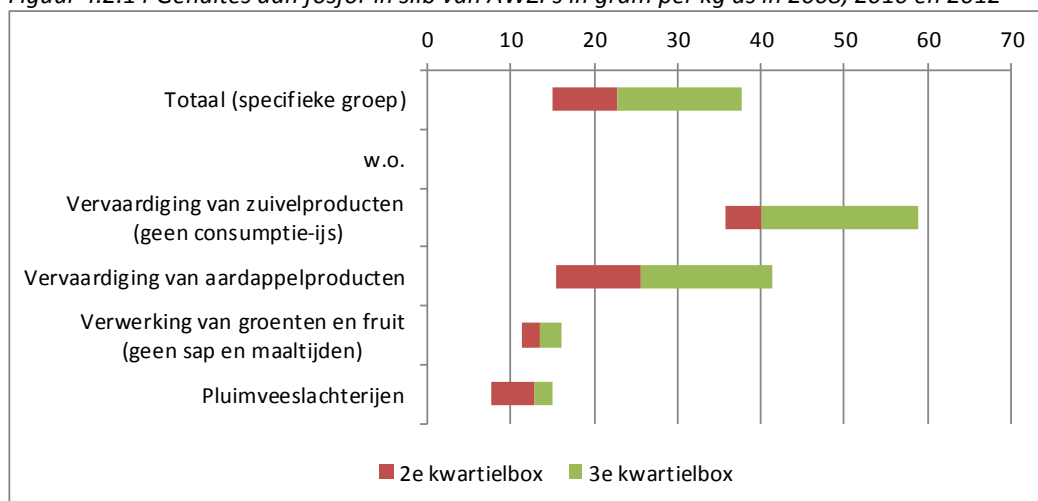
Bij AWZI's

Van 44 bedrijven in de slibregistratie zijn waarnemingen over gehalten aan stoffen in het slib bekend. Het is een enigszins specifieke groep, want het zijn bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie met een eigen AWZI die voor een groot deel hun slib afzetten in de landbouw. In totaal zijn er 218 waarnemingen over fosfor in 2008, 2010 en 2012. Voor de vergelijkbaarheid met de andere gegevens is het fosfaat omgerekend naar fosfor¹⁸. De AWZI's halen een groot deel van de fosfor uit het afvalwater. Van de hoeveelheid fosfor na zuivering zit circa 84 procent in het slib en 16 procent in het effluent.

Het gemiddelde gehalte aan fosfor in het zuiveringsslib van deze specifieke groep bedrijven bedraagt 38 gram per kg droge stof. Voor gebruik als meststof is een hoog gehalte aan fosfor gewenst. De gehalten aan fosfor in het slib verschillen behoorlijk tussen bedrijfstakken en ook binnen een bedrijfstak. De bedrijfstak vervaardiging van zuivelproducten laat in figuur 4.2.14 de hoogste gehalten aan fosfor in het slib zien.

¹⁸ 1 gram fosfaat bevat 0,436 gram fosfor

Figuur 4.2.14 Gehaltes aan fosfor in slib van AWZI's in gram per kg ds in 2008, 2010 en 2012



Van 11 bedrijven in de mini-enquête zijn 28 waarnemingen bekend over het fosforgehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 2 en 51 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 14 gram per kg droge stof (ongewogen naar volume). Dit gemiddelde is veel lager dan die van de bedrijven in de slibregistratie. Hoge gehalten zijn aangetroffen in het secundaire slib bij de vervaardiging van grafisch papier en karton. Het aantal bedrijven is te beperkt om de gehalten per bedrijfspgroep weer te geven.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 6,50 miljoen kg fosfor. In de verbrandingsas is 5,83 miljoen kg fosfor aanwezig (90 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 6,57 miljoen kg fosfor in het slib en 5,76 miljoen kg fosfor in de as (88 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan fosfor in de as bedraagt 100 gram per kg ds. Dit is het gewogen gemiddelde gehalte over 2012, 2013 en 2014. Het gehalte in het inkomende slib is onbekend.

4.2.4 Samenvatting fosfor

Consumenten zijn verreweg de belangrijkste emissiebron van fosfor in het afvalwater. Andere belangrijke emissiebronnen zijn de voedings- en genotmiddelenindustrie, de landbouw en de afvalbehandeling. Hoge gehalten aan fosfor in het afvalwater zijn aangetroffen bij bedrijven die zuivelproducten vervaardigen en bedrijven die afval behandelen. De zuivelbedrijven met een eigen AWZI laten ook hoge gehalten aan fosfor in het slib zien. Herwinning van fosfaat vindt al voor een belangrijk deel plaats bij voornamelijk de eindverwerkers van slib.

4.3 Zink

4.3.1 Kenmerken zink

Zink is een blauw/wit overgangsmetaal met symbool Zn¹⁹.

Verschijningsvorm

Zink is een zeer algemeen voorkomende stof die van nature voorkomt in de lucht, het water en de bodem. Ook voedsel en drinkwater bevatten een kleine concentratie aan zink. Het is een belangrijk sporenelement voor mensen en andere organismen. Zinkblende en smithsoniet zijn de belangrijkste zinkertsen. De grootste hoeveelheden worden gevonden in Australië, Azië en de Verenigde Staten. De productie van zink bestaat uit schuimflotatie van de ertsen, roosten en finale extractie aan de hand van elektrolyse.

Tabel 4.3.1 De wereldproductie en Nederlandse productie, in- en uitvoer van zink

	Wereldproductie		Nederland					
	2012	2013	Productie		Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013	2012	2013
<i>miljoen kg</i>								
Mijnbouw ¹	13 500	13 500	.	.	.	.	.	.
Zinkplaten	12 600	13 200	257	275	.	.	.	.
Erts en concentraten	.	.	.	.	446	475	90	91
Onbewerkt zink	.	.	.	.	222	192	213	273
Onbewerkte legeringen	.	.	.	.	8	25	40	48
Schroot	.	.	.	.	7	7	28	27

1) Zinkgehalte in erts.

Bron: Britisch Geological Survey.

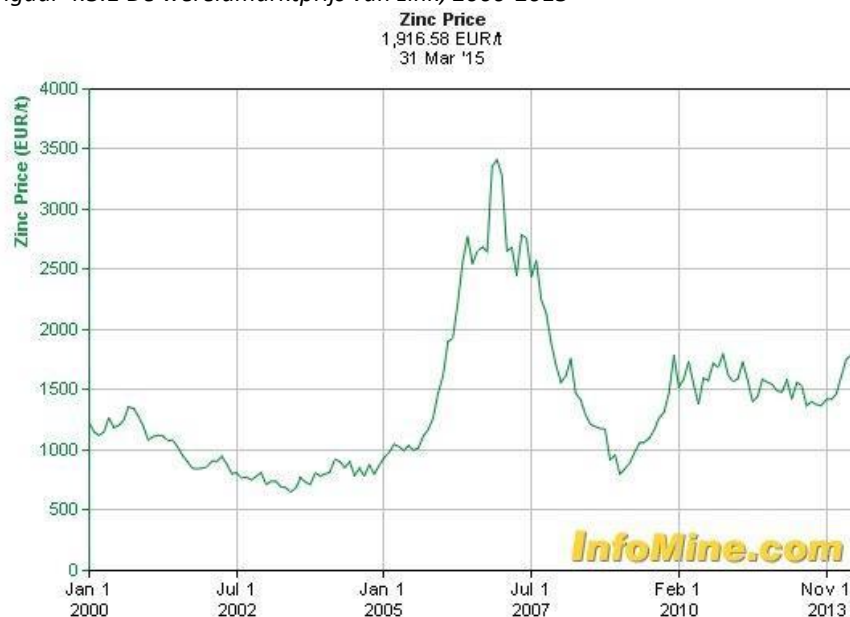
Waarde

Wereldwijd wordt jaarlijks meer dan 13 miljoen ton zink geproduceerd (tabel 4.3.1). De waarde van zink is de afgelopen vijf jaar vrij stabiel en ligt tussen de 1,5 en 2 euro per kilogram. De sterke prijsstijging na 2005 gold voor meerdere metalen. In 2006 lagen de afzetprijzen van onder meer aluminium, lood, zink en koper gemiddeld 37 procent hoger dan in december 2005²⁰.

¹⁹ [https://nl.wikipedia.org/wiki/Zink_\(element\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Zink_(element))

²⁰ <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/prijzen/publicaties/artikelen/archief/2007/2007-2113-wm.htm>

Figuur 4.3.1 De wereldmarktprijs van zink, 2000-2013



Toepassingen

Zink wordt het meest gebruikt voor galvaniseren, een methode die gebruik maakt van elektriciteit om een voorwerp, als een ijzeren plaat, te bedekken met een laagje metaal (elektrolytisch verzinken) om het corrosiebestendig te maken en te beschermen tegen roest. Daarnaast wordt zink gebruikt in batterijen en legeringen als brons, soldeer en prestat. Verder worden aanzienlijke hoeveelheden gebruikt voor verbindingen als zinkoxide (verven, halfgeleider, cosmetica) en zinkchloriden (insecticide, medicijnen) en toepassingen van bladzink als dakbedekking, dakgoten en regenpijpen²¹.

De zinkconcentraties in de natuur stijgen door menselijke activiteiten, vooral door industriële activiteiten als galvaniseren, mijnbouw en batterijproductie. Hierdoor en door de toenemende mondiale zinkproductie komt er ook steeds meer zink in het milieu terecht via onder meer het afvalwater. Dit afvalwater wordt niet voldoende gezuiverd. De grootste hoeveelheden zink in het afvalwater zijn overigens niet afkomstig van deze puntbronnen, maar van grotere oppervlaktes. Zinkverbindingen laten bijvoorbeeld ook los uit verzinkte leidingen, dakgoten en regenpijpen en uit verzinkt stalen straatmeubilair, zoals vangrails en lantaarnpalen. Zink is ook verwerkt in autobanden. Door slijtage van banden op de weg spoelt er veel bandenstof in het riool. In water oplosbaar zink uit de bodem kan ook in het grondwater terecht komen. Belangrijk is ook de atmosferische depositie van zink op gerioleerd verhard oppervlak. Via de afspoeling van hemelwater belandt dit zink in het riool.

Hergebruik zink

Voor het verwijderen van zink uit water kunnen verschillende methodes worden toegepast als zandfiltratie. Vaak wordt hierbij gebruik gemaakt van coagulatie, ionenwisselaars en actief kool (Lenntech).

²¹ <http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/zn.htm>

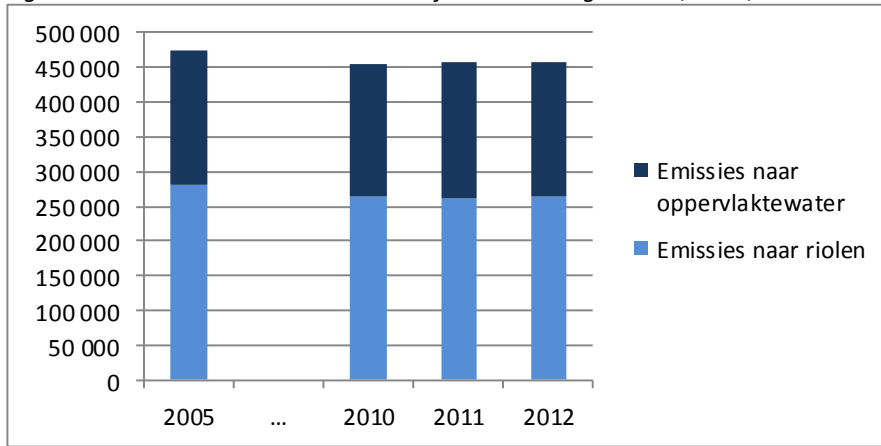
Zink kan uit afvalwater verwijderd worden door een lage druk membraanfiltratiesysteem. Het in het slib geconcentreerde zink kan via elektrolyse worden teruggewonnen, waardoor het niet als afvalstof afgevoerd hoeft te worden²².

4.3.2 Zink in afvalwater

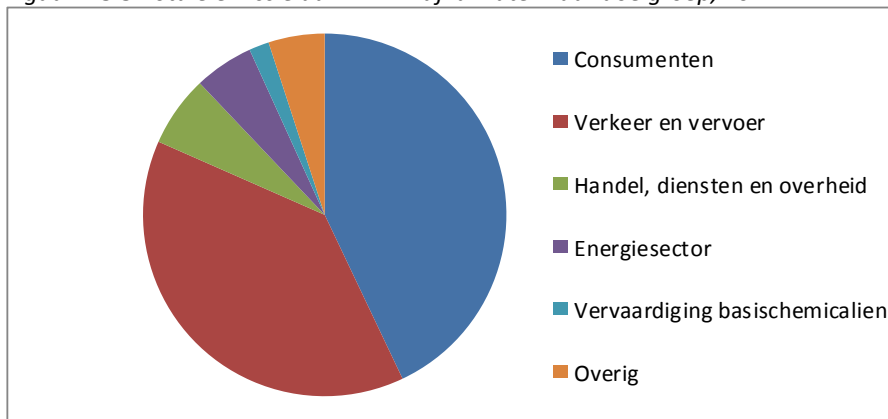
Totale emissie aan zink

De totale emissie aan zink in Nederland in het afvalwater bedroeg circa 457 ton in 2012, waarvan 58 procent op het riool geloosd is. Consumenten lozen het meeste zink door keukenafvalwater en corrosie van afvoerleidingen²³, gevolgd door de doelgroepen verkeer/vervoer (bandenstof), handel/diensten/overheid, de energiesector en de chemische industrie. De consumenten en de handel, diensten en overheid lozen het zink volledig op het riool. Daarentegen loost de energiesector alle zink op het oppervlaktewater. Zie de volgende drie figuren.

Figuur 4.3.2 Totale emissie aan zink in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



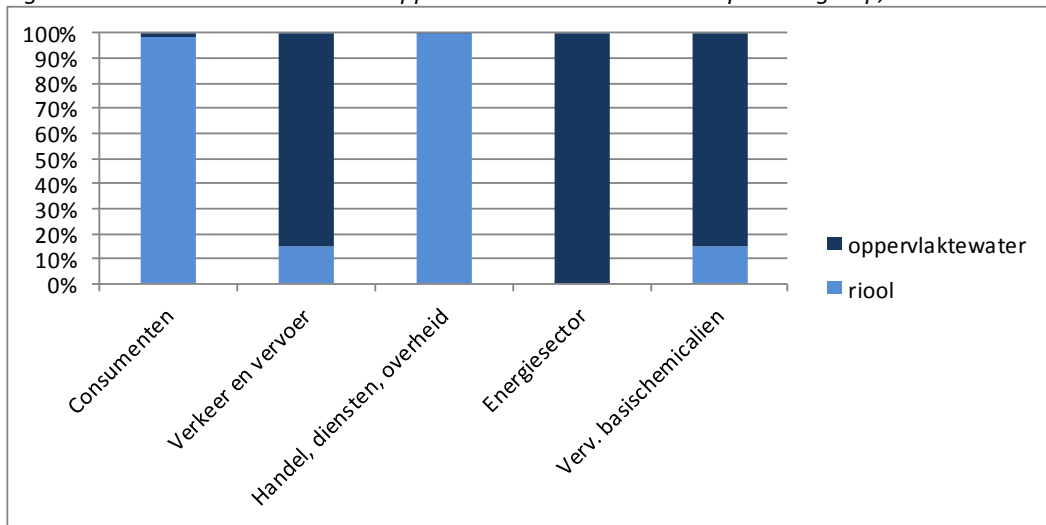
Figuur 4.3.3 Totale emissie aan zink in afvalwater naar doelgroep, 2012



²² RIZA, 1995. Ontwikkelingen op het gebied van afvalwaterbehandeling. Een samenvattende rapportage van de watergerelateerde projecten uit de stimuleringsregeling Milieutechnologie van 1992 tot 1994.

²³ Wortmann, E., Nieuwe sanitatie Westland, STOWA, 2010-10

Figuur 4.3.4 Emissies van zink naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



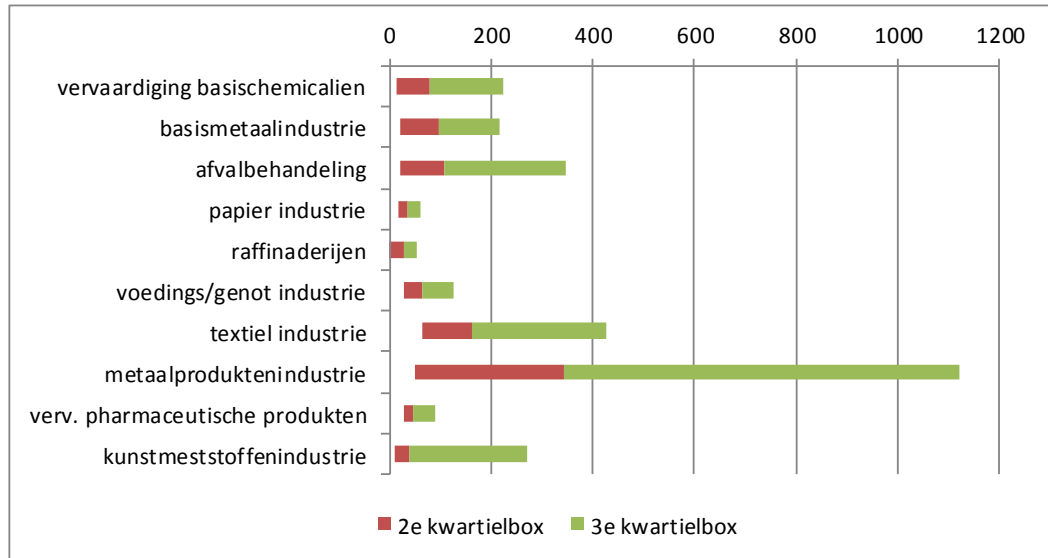
Gehalte aan zink in afvalwater bij industriële bedrijven

Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008), de industriële bedrijven, hebben met circa 11 procent een klein aandeel in de emissie van zink in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.3.5 een beeld van de gehalten aan zink in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en of het bedrijf wel of geen eigen AWZI heeft. Door de grote verschillen in gehalten tussen de bedrijven zijn de gehalten van de middelste helft van de waarnemingen weergegeven: de tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor zink een drempelwaarde van 100 kg per jaar. In 2012 is circa 9 procent van de totale emissie aan zink waargenomen via individuele registratie door de industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 29 bedrijven met een emissie aan zink boven de drempelwaarde. Naast deze bedrijven die verplicht zijn de emissie op te geven, zijn er nog 159 bedrijven bekend in de Emissieregistratie met een uitstoot lager dan de drempelwaarde (tabel 4.3.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 656 waarnemingen over de emissie van zink in afvalwater bekend bij deze bedrijfstakken (exclusief winning energiedragers). Deze gegevens zijn afkomstig van 277 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.3.3).

Figuur 4.3.5 Gehalte aan zink in afvalwater in μg (microgram) per liter (alle stromen) voor de 10 industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan zink in 2008, 2010 en 2012²⁴



Het gehalte aan zink in het afvalwater is relatief hoog in de bedrijfstakken textielindustrie en metaalproductenindustrie. In de metaalproductenindustrie loost de helft van de bedrijven in de registratie 52 tot 1121 μg Zn per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 345 μg Zn per liter en het gemiddelde ligt op 1803 μg Zn per liter afvalwater. In de textielindustrie is de gemiddelde emissie veel hoger met 4165 μg Zn per liter afvalwater wat veroorzaakt wordt door één of enkele bedrijven met een zeer hoge emissie. De bedrijfstak vervaardiging basischemicaliën heeft door een hoog volume aan afvalwater wel een hoge emissie aan zink, maar het gehalte aan zink in het afvalwater is in vergelijking met de textiel- en metaalproductenindustrie laag.

In de volgende passages worden enkele bedrijfstakken met een relatief hoge emissie en/of een hoog gehalte aan zink in het afvalwater en met voldoende waarnemingen nader bekeken, namelijk de vervaardiging basischemicaliën, metaalproductenindustrie, afvalbehandeling, basismetalaalindustrie en textielindustrie.

In tabel 4.3.2 staan het aantal bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van zink in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.3.3.

²⁴ De bedrijfstak Winning van overige niet energiedragers (9^{de} plek) is door te weinig waarnemingen niet weergegeven, maar behoort wel tot de top 10.

Tabel 4.3.2 Waarnemingen van zinkemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissieregistratie		Emissies in afvalwater		
	Totaal	w.v. emissie > 100 kg/jaar	Totaal	w.v.	
				Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>		<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	188	29	51 181	82	18
w.o.					
Vervaardiging basischemicaliën	35	8	8 139	96	4
Metaalproductenindustrie	29	1	3 653	14	86
Afvalbehandeling	23	3	3 490	63	37
Basismetalaalindustrie	15	3	2 031	96	4
Textielindustrie	2	1	869	44	56

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.3.3 Waarnemingen van zinkgehalten in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden		Gehaltes in afvalwater			
		Totaal	w.v. emissie > 100 kg/jaar	Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>			<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	277	656	95	23	79	279	>Q3
w.o.							
Vervaardiging basischemicaliën	46	125	29	14	78	225	>Q3
w.o. organische basischemicaliën ²	19	32	8	21	69	147	>Q3
anorganische basischemicaliën ³	8	17	6	29	78	294	Q2-Q3
Metaalproductenindustrie	41	84	4	52	345	1121	>Q3
Afvalbehandeling	41	94	12	23	108	349	>Q3
Basismetalaalindustrie	16	52	9	23	96	215	>Q3
Textielindustrie	7	13	4	64	162	428	>Q3

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening (excl. winning energiedragers) en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

2) SBI 20.14 Vervaardiging van petrochemische producten en overige organische basischemicaliën, in 2010 en 2012.

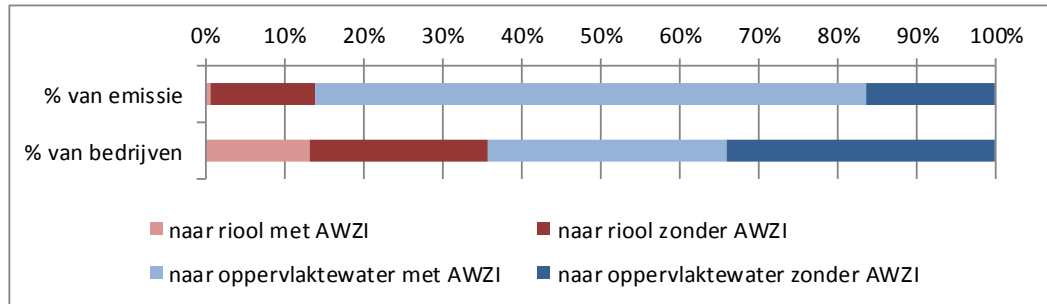
3) SBI 20.13 Vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën, in 2010 en 2012.

Vervaardiging van basischemicaliën

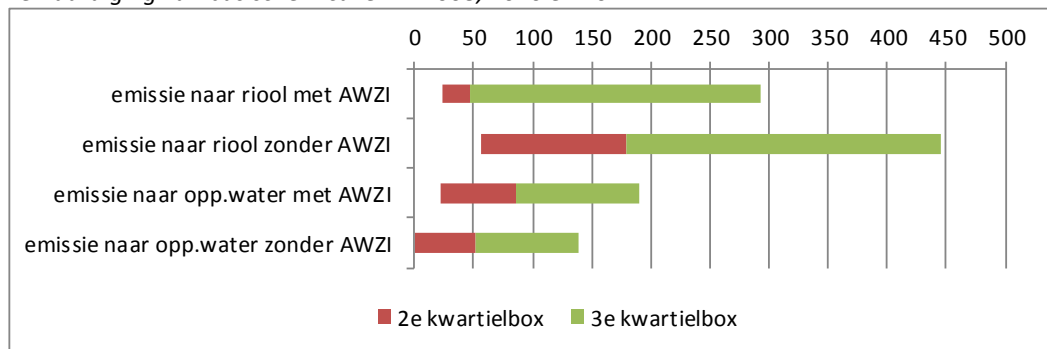
Met een emissie-aandeel van 1,8 procent (8139 kg Zn) in 2012 is de vervaardiging van basischemicaliën de industrie met de hoogste zinkemissie in water. Deze bedrijfstak heeft in vergelijking met sommige andere bedrijfstakken een lager gehalte aan zink in het afvalwater, maar wel een hoger volume aan afvalwater. In de Emissieregistratie is in 2012 is naar schatting 96 procent van de emissie in de bedrijfstak basischemicaliën waargenomen. De hierna volgende analyses zijn gebaseerd op deze waarnemingen.

In figuur 4.3.7 is te zien dat het gehalte aan zink in afvalwater het hoogst is bij bedrijven zonder eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 23 procent van het aantal bedrijven en 13 procent van de totale emissie aan zink van de bedrijven in de registratie (figuur 4.3.6).

Figuur 4.3.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van zink in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.3.7 Gehalte aan zink in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012

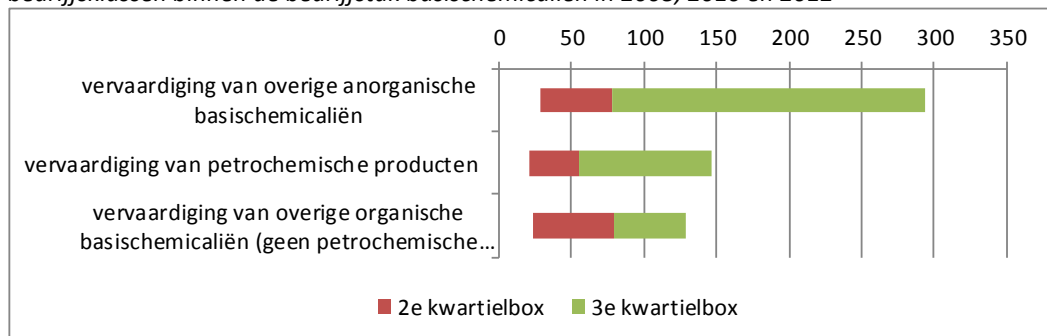


Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de vervaardiging van:

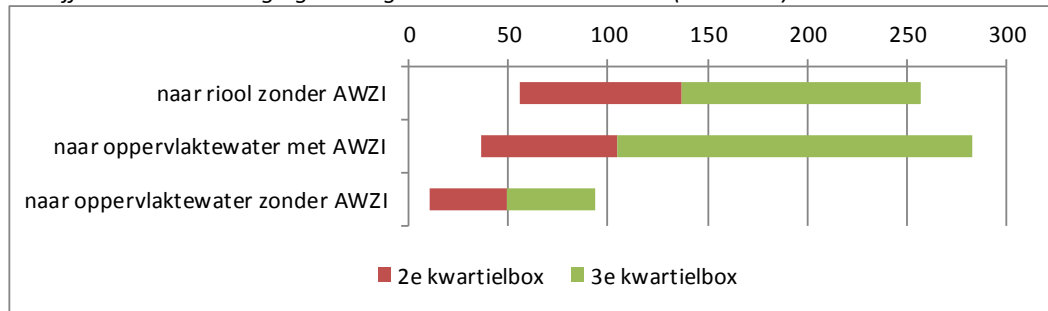
- overige anorganische basischemicaliën (SBI 20.13);
- petrochemische producten (SBI 20.14.1);
- overige organische basischemicaliën (SBI 20.14.9).

De waargenomen emissies van zink in afvalwater bij de vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën, petrochemische producten en overige organische basischemicaliën zijn in 2012 respectievelijk 2892, 1944 en 1503 kilogram. De gehalten aan zink in het afvalwater van deze bedrijfsklassen zijn te zien in volgende drie figuren.

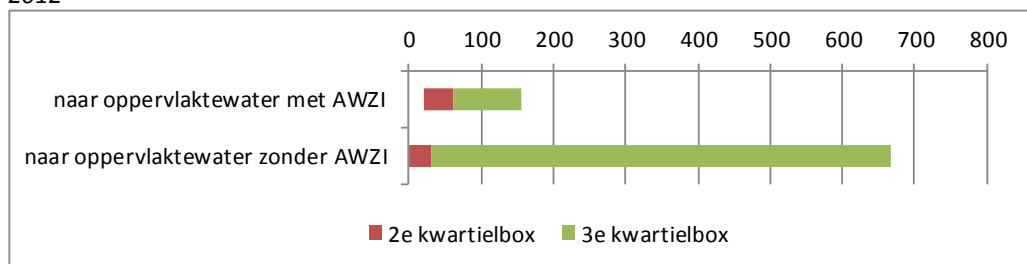
Figuur 4.3.8 Gehalte aan zink in afvalwater in μg per liter (alle stromen) voor enkele bedrijfsklassen binnen de bedrijfstak basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.3.9 Gehalte aan zink in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de bedrijfsklasse vervaardiging van organische basischemicaliën (SBI 20.14) in 2010 en 2012



Figuur 4.3.10 Gehalte aan zink in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de bedrijfsklasse vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën (SBI 20.13) in 2010 en 2012

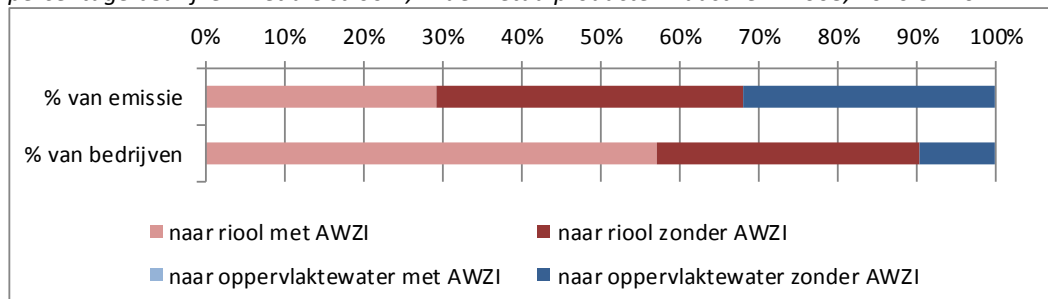


Metaalproductenindustrie

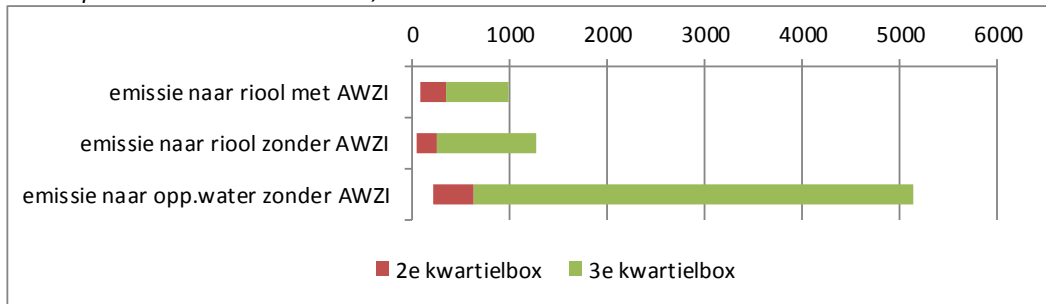
De metaalproductenindustrie kenmerkt zich door hoge emissiegehaltenes van zink in het afvalwater. Vooral bij galvanische bedrijven komt veel zink vrij. In 2012 heeft de metaalproductenindustrie een aandeel van 0,8 procent (3653 kg Zn) in de totale emissie van zink in afvalwater. In de Emissieregistratie is in 2012 naar schatting 14 procent van de zinkemissie in deze bedrijfstak waargenomen.

In figuur 4.3.12 is te zien dat het gehalte aan zink in afvalwater het hoogst is bij bedrijven zonder eigen AWZI die lozen op het oppervlaktewater. Deze afvalwaterstroom betreft 10 procent van het aantal bedrijven en 32 procent van de totale emissie aan zink van de bedrijven in de registratie (figuur 4.3.11). De meeste bedrijven lozen afvalwater op het riool.

Figuur 4.3.11 Procentuele verdeling van emissiestromen van zink in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de metaalproductenindustrie in 2008, 2010 en 2012



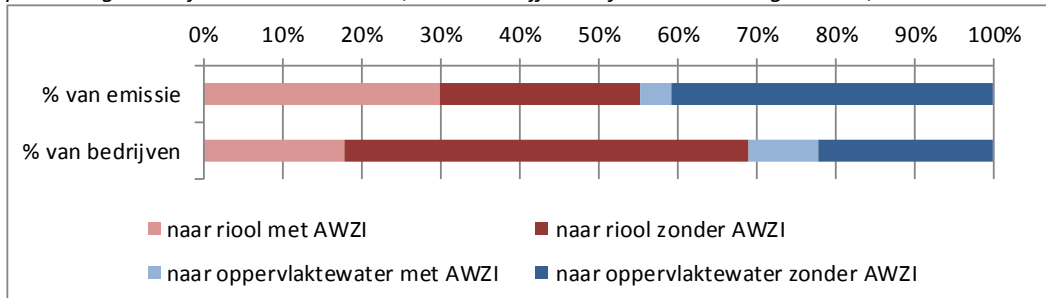
Figuur 4.3.12 Gehalte aan zink in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de metaalproductenindustrie in 2008, 2010 en 2012



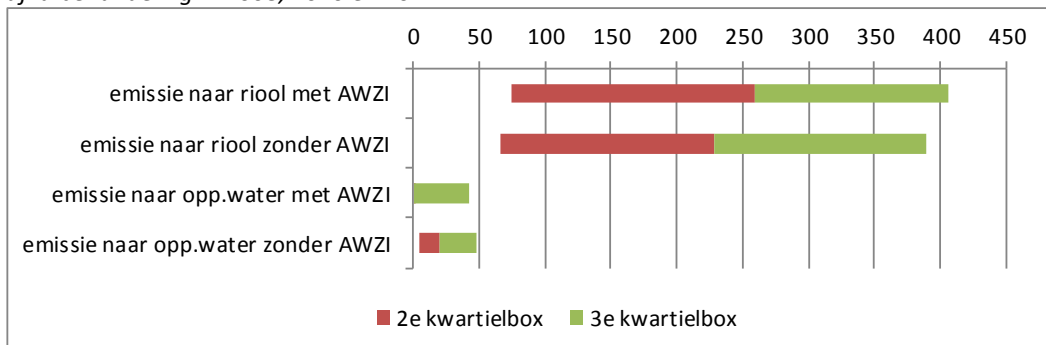
Afvalbehandeling

Bij de afvalbehandeling komen iets hogere emissiegehaltenes van zink in het afvalwater voor dan bij de vervaardiging van basischemicaliën. In 2012 heeft deze bedrijfstak een aandeel van 0,8 procent (3490 kg Zn) in de totale emissie van zink in afvalwater. In de Emissieregistratie is in 2012 naar schatting 63 procent van de zinkemissie in de afvalbehandeling waargenomen. In figuur 4.3.14 is te zien dat het gehalte aan zink in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 18 procent van het aantal bedrijven en 30 procent van de totale emissie aan zink van de bedrijven in de registratie (figuur 4.3.13).

Figuur 4.3.13 Procentuele verdeling van emissiestromen van zink in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de bedrijfstak afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.3.14 Gehalte aan zink in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



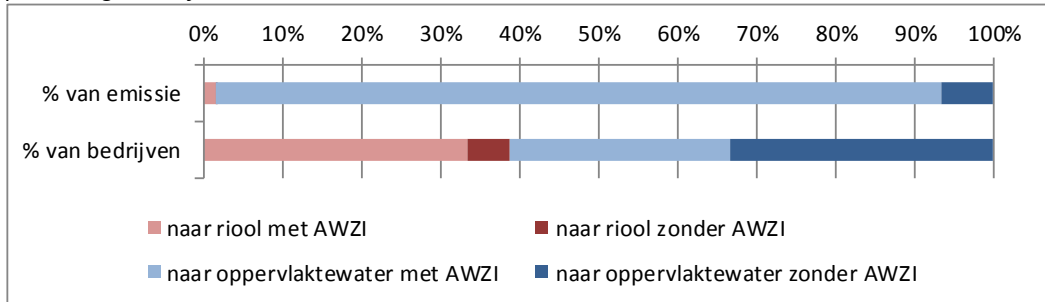
Basismetalaalindustrie

De basismetalaalindustrie heeft lagere emissiegehaltenes van zink in het afvalwater dan de metaalproductenindustrie. In 2012 heeft deze industrie een aandeel van 0,4 procent (2031 kg

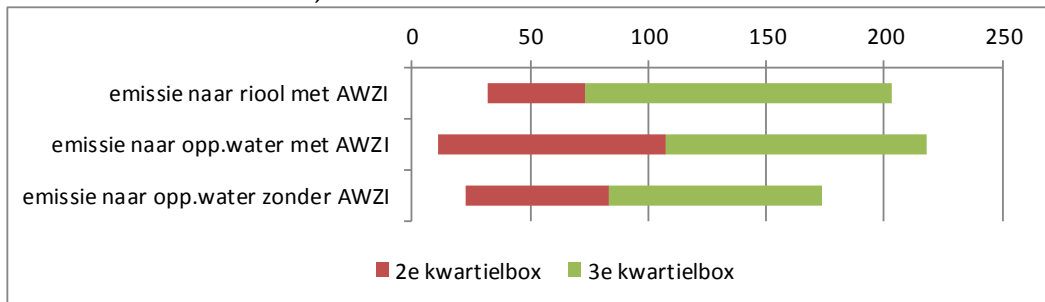
Zn) in de totale emissie van zink in afvalwater. In de Emissieregistratie is in 2012 naar schatting 96 procent van de zinkemissie in de basismetaalindustrie waargenomen.

In figuur 4.3.16 is te zien dat het gehalte aan zink in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met eigen AWZI die lozen op het oppervlaktewater. Deze afvalwaterstroom betreft 28 procent van het aantal bedrijven en 92 procent van de totale emissie aan zink van de bedrijven in de registratie (figuur 4.3.15).

Figuur 4.3.15 Procentuele verdeling van emissiestromen van zink in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de basismetaalindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.3.16 Gehalte aan zink in afvalwater in µg per liter per afvalwaterstroom in de basismetaalindustrie in 2008, 2010 en 2012

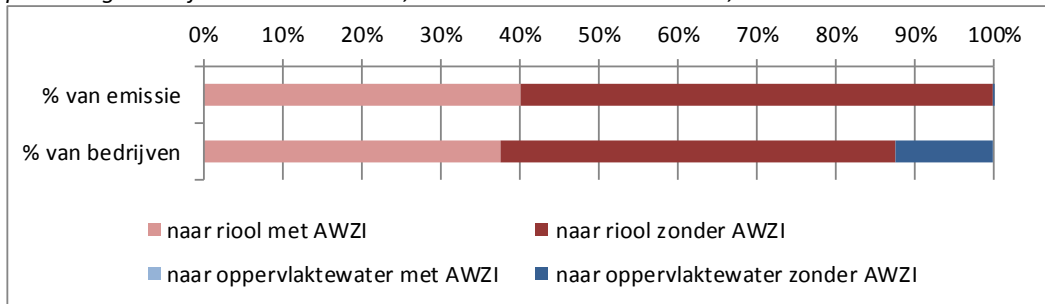


Textielindustrie

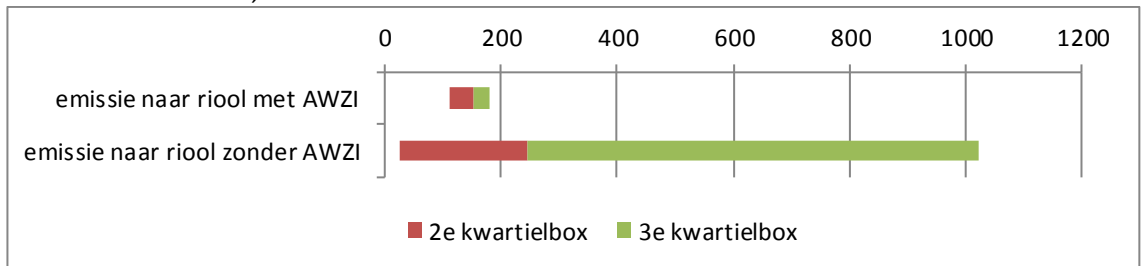
De textielindustrie laat hoge emissiegehaltes van zink in het afvalwater zien. De belangrijkste bron binnen deze bedrijfstak is de textielveredelingsindustrie. In 2012 heeft de textielindustrie een aandeel van 0,2 procent (869 kg Zn) in de totale emissie van zink in afvalwater. In de Emissieregistratie is in 2012 naar schatting 44 procent van de zinkemissie in de textielindustrie waargenomen.

In figuur 4.3.18 is te zien dat het gehalte aan zink in afvalwater het hoogst is bij bedrijven zonder eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 50 procent van het aantal bedrijven en 60 procent van de totale emissie aan zink van de bedrijven in de registratie (figuur 4.3.17).

Figuur 4.3.17 Procentuele verdeling van emissiestromen van zink in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de textiel industrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.3.18 Gehalte aan zink in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de textielindustrie in 2008, 2010 en 2012

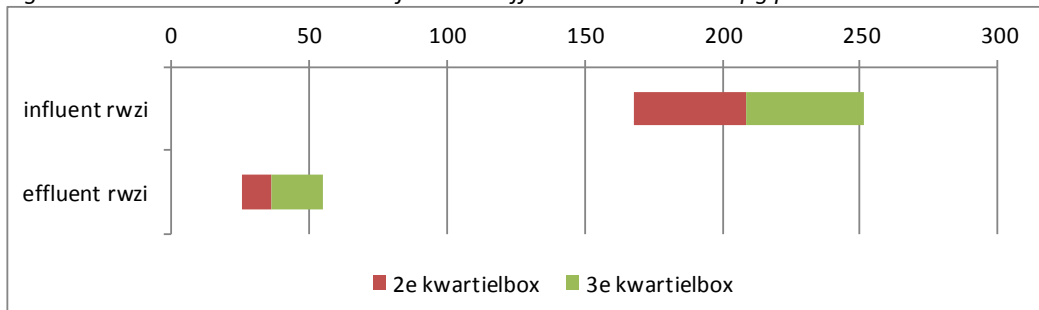


4.3.3 Zink in slib

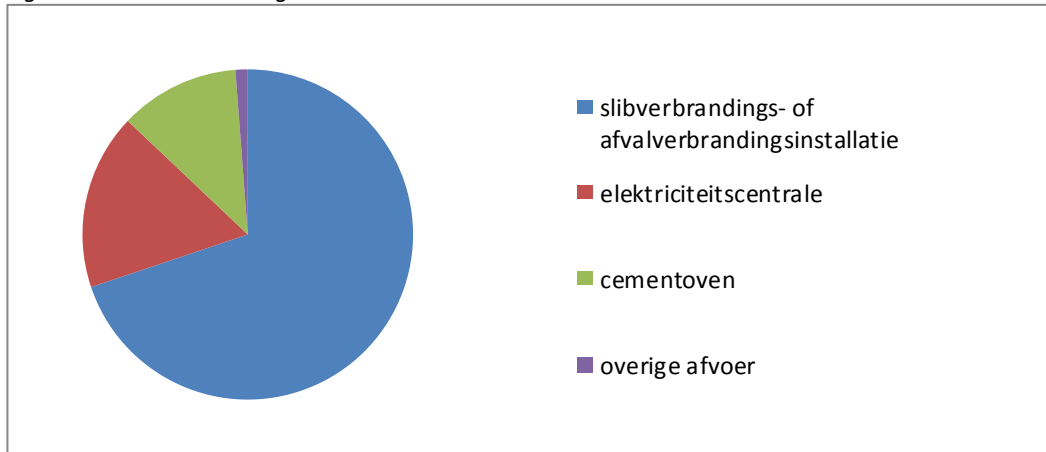
Bij RWZI's

De rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) zuiveren het afvalwater van huishoudens, bedrijven en andere RWZI's dat via het openbaar riool wordt aangevoerd. Het influent bevat gemiddeld $227 \mu\text{g Zn}$ per liter, in totaal $464,3$ ton zink in 2012. Na zuivering is het zinkgehalte in het effluent gemiddelde $45 \mu\text{g}$ per liter (figuur 4.3.19). Het zuiveringsrendement bedraagt daarmee 80 procent. De rest komt terecht in het zuiveringsslib. Door onnauwkeurigheden in de metingen komt de hoeveelheid in het influent niet exact overeen met die in het effluent plus slib. Het slib van de RWZI's bevat in 2012 $336,3$ ton zink. Circa 70 procent van het zink in het slib belandt in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie (figuur 4.3.20). De resterende hoeveelheid wordt ook verbrand maar dan in cementovens of elektriciteitscentrales.

Figuur 4.3.19 Gehaltes aan zink in influent en effluent van RWZI's in μg per liter in 2012



Figuur 4.3.20 Bestemming van zink in slib van RWZI's in 2012

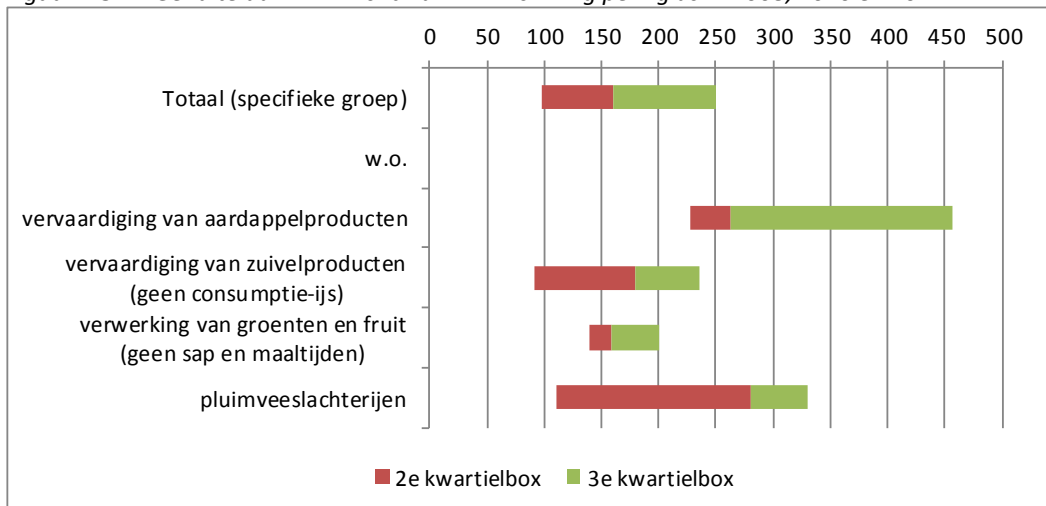


Bij AWZI's

Van 44 bedrijven in de slibregistratie zijn waarnemingen over gehalten aan stoffen in het slib bekend. Het is een enigszins specifieke groep, want het zijn bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie met een eigen AWZI die voor een groot deel hun slib afzetten in de landbouw. In totaal zijn er 218 waarnemingen over zink in 2008, 2010 en 2012. De AWZI's halen een groot deel van het zink uit het afvalwater. Van de hoeveelheid zink na zuivering zit circa 86 procent in het slib en 14 procent in het effluent.

Het gemiddelde gehalte aan zink in het zuiverings-slib van deze specifieke groep bedrijven bedraagt 256 mg per kg droge stof. De gehalten aan zink in het slib verschillen behoorlijk tussen bedrijfstakken en ook binnen een bedrijfstak. De bedrijfstak vervaardiging van aardappelproducten laat in figuur 4.3.21 de hoogste gehalten van zink in het slib zien. Enkele andere bedrijfstakken in de voedingsmiddelenindustrie laten nog hogere gehalten zien, maar het aantal bedrijven is te beperkt om ze op te nemen in de figuur.

Figuur 4.3.21 Gehalte aan zink in slib van AWZI's in mg per kg ds in 2008, 2010 en 2012



Van 20 bedrijven in de mini-enquête zijn 50 waarnemingen bekend over het zinkgehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 33 en 787 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 257 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). Dit gemiddelde is vrijwel gelijk aan die van de bedrijven in de slibregistratie. Hoge gehalten zijn aangetroffen in de bedrijfstakken

vervaardiging van plantaardige en dierlijke oliën en vetten (geen margarine en andere spijsvetten) en vervaardiging van petrochemische producten. Het aantal bedrijven is te beperkt om de gehalten per bedrijfsgroep weer te geven.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 190 ton zink. In de verbrandingsas zit 169 ton zink (89 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 180 ton zink in het slib en 164 ton zink in de as (91 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan zink in het slib bedraagt 1 000 mg/kg ds en in de as 2 828 mg/kg ds. Dit zijn de gewogen gemiddelde gehalten over 2012, 2013 en 2014.

4.3.4 Samenvatting zink

Consumenten en verkeer & vervoer zijn de belangrijkste emissiebronnen van zink in het afvalwater. Andere belangrijke industriële emissiebronnen zijn de energiesector en de bedrijven die basischemicaliën vervaardigen. Hoge gehalten aan zink in het afvalwater zijn aangetroffen in de metaalproductenindustrie, de textielindustrie en de afvalbehandeling. Hoge gehalten aan zink in slib zijn aangetroffen bij bedrijven met een eigen AWZI die aardappelproducten, plantaardige en dierlijke oliën en vetten en petrochemische producten vervaardigen.

4.4 Koper

4.4.1 Kenmerken koper

Koper is een rood/geel overgangsmetaal met het symbool Cu²⁵.

Verschijningsvorm

De belangrijkste bronnen van koper zijn de mineralen chalcopryiet, chalcociet, covelliet, azuriet, malachiet en borniet. Deze worden in ruime mate in de aardkorst aangetroffen. Belangrijke vindplaatsen van kopererts zijn Chili, Peru en de Verenigde Staten. In Chili wordt ongeveer een derde van alle koper gemijnd. Indonesië heeft het afgelopen decennium de sterkste groei van de koperproductie laten zien en was in 2009 de op drie na grootste producent.

²⁵ [https://nl.wikipedia.org/wiki/Koper_\(element\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Koper_(element))

Tabel 4.4.1 De wereldproductie en Nederlandse in- en uitvoer van koper

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013
<i>miljoen kg</i>						
Mijnbouw ¹	16 900	18 100	.	.	.	.
Smelterij ²	13 300	13 800	.	.	.	.
Raffinage ³	20 200	21 000	.	.	.	.
Metaal koper	.	.	.	.	.	.
Erts en concentraten ⁴	.	.	3	66	6,5	56,6
Schroot	.	.	214,2	166,1	328,5	295,1
Onbewerkt koper	.	.	25,4	21,7	59,3	27,7
Onbewerkte legeringen	.	.	1,9	3,0	2,4	2,5

1) Kopergehalte in erts.

2) Primair koper geproduceerd vanuit concentraten; kan ook productie vanuit schroot bevatten.

3) Primair en secundair geraffineerde koper geproduceerd door elektrolyse of smelten.

Exclusief secundair koper herwonnen door smelten.

4) Schatting BGS op basis van importcijfers voor 2013.

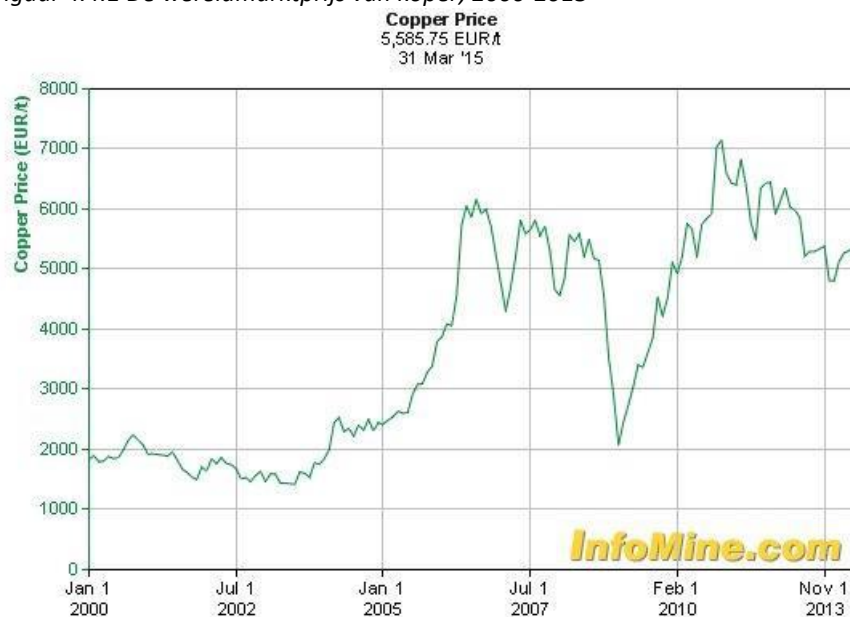
Koper komt zowel via natuurlijke bronnen (bijvoorbeeld via vegetatie en zeedamp), als via menselijke activiteiten (denk aan mijnbouw, metaalproductie, bosbouw en de productie van fosfaatmeststoffen) in het milieu. Door de stijgende productie van koper is ook het gehalte aan koper in het milieu toegenomen. Daarnaast zorgt de corrosie van waterleidingen voor hogere kopergehalten in het slib van RWZI's²⁶.

Waarde

De vraag naar koper neemt sneller toe dan het aanbod, waarmee de voorraden afnemen en de prijzen stijgen. Het hedendaagse koperverbruik is zo hoog, dat volgens schattingen over 35 jaar alle koperreserves zijn uitgeput.

²⁶ <http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/cu.htm#ixzz3SINd25Td>

Figuur 4.4.1 De wereldmarktprijs van koper, 2000-2013



Toepassingen

Koper wordt vanwege de hoge elektrische geleidbaarheid vooral toegepast in de elektrische industrie, bijvoorbeeld in de vorm van koperdraad. Daarnaast wordt het vanwege zijn corrosiebestendigheid veel gebruikt voor munten, waterleidingen, dakbedekkingen, werktuigen en juwelen. Koper wordt ook verwerkt in de remvoeringen van voertuigen. Specifiek voor de Nederlandse situatie is ook het gebruik van koper in siervuurwerk wat in grote hoeveelheden wordt afgestoken rond de jaarwisseling.

Puur koper is te zacht voor de meeste toepassingen, waardoor legeringen met tin (brons) en zink (messing) veel worden toegepast. De bekendste koperverbinding is blauw vitriol, gehydrateerd koper sulfaat, wat wordt gebruikt als landbouwbestrijdingsmiddel, bij de waterzuivering en als blauw pigment in inkt.

Hergebruik koper

Koper kan voor een deel worden gerecycled. Vaak belandt het koper echter in afvalverbrandingsinstallatie, waaruit het voor een deel in het milieu terecht komt. Er zijn diverse onderzoeken geweest naar herwinning van koper:

- Er bestaat een chemisch proces (ECR-proces²⁷) waarbij koper in pure toestand kan worden herwonnen uit de as van afvalverbranders. Dit proces zou 85 procent minder energie kosten dan de delving van koper uit de mijnen.
- Het terugwinnen van koper uit het afvalwater door middel van bioreactoren met bacteriën²⁸.
- Het terugwinnen van koper uit afvalwater in de elektro-industrie door het koper op te lossen met een zwavelzuur- of ammonia-ammonium-oplossing. Met de ammonia-oplossing kan een hogere productzuiverheid behaald worden dan met zwavelzuur²⁹.
- De biobrandstofcel³⁰ kan naast de productie van energie ook koper terugwinnen uit afvalwater. Op de anode van de brandstofcel groeien bacteriën die organisch afval in het

²⁷ <http://www.elemetal.eu/technology/ecr>

²⁸ <http://www.nrc.nl/handelsblad/2012/02/24/krioelen-met-paques-12264632>

²⁹ <http://www.plusbusiness.nl/GerritBoersma.php>

³⁰ <http://resource.wageningenur.nl/nl/show/Biobrandstofcel-wint-koper-terug.htm>

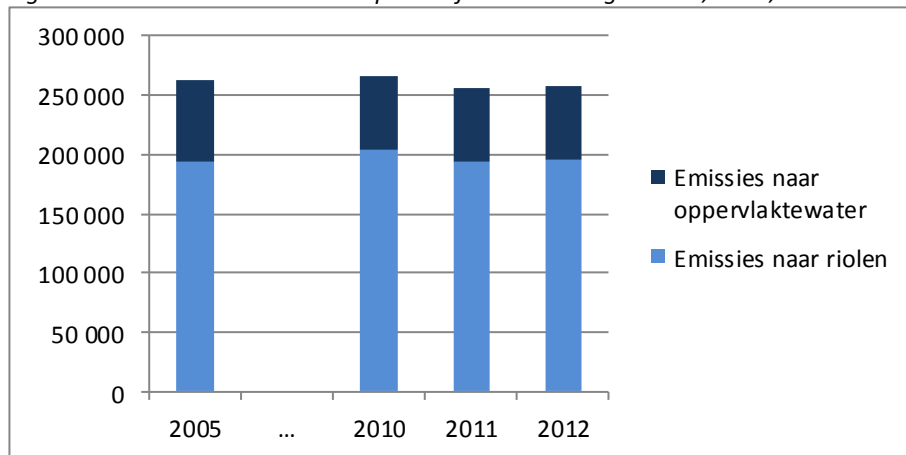
water afbreken en elektronen opleveren, die op hun beurt weer de aan de kathode positief geladen koperionen omzetten in vast koper. In principe kunnen met deze methode alle metaalionen worden teruggewonnen die in een waterig milieu kunnen worden neergeslagen, denk aan als koper, nikkel, cadmium, kobalt, lood en zink. Verder onderzoek is nog wel nodig.

4.4.2 Koper in afvalwater

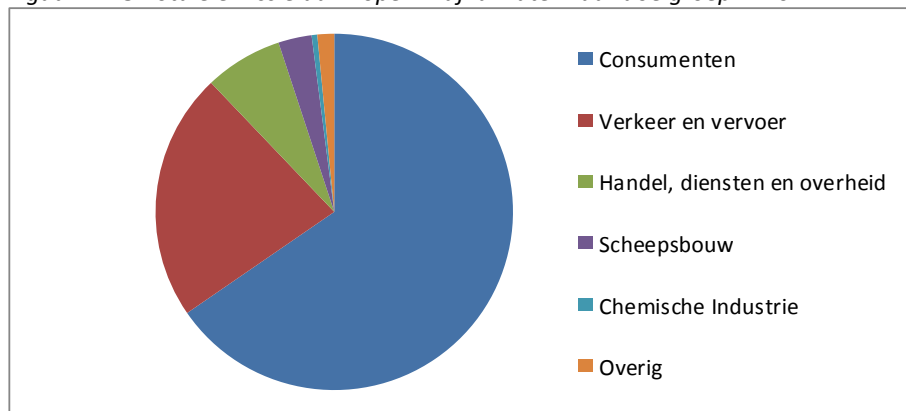
Totale emissie aan koper

De totale emissie aan koper in Nederland in afvalwater bedroeg circa 258 ton in 2012, waarvan 76 procent op het riool geloosd is. Consumenten lozen het meeste koper door corrosie van koperen waterleidingen³¹. Een tweede belangrijke maar diffuse bron is de afspoeling van koper vanaf verharde oppervlakten naar het riool. Het koper is dan afkomstig van voornamelijk slijtage van remvoeringen van voertuigen, slijtage van bovenleidingen van trams (doelgroep Verkeer en vervoer), het afsteken van siervuurwerk (Consumenten) en de atmosferische depositie³². Andere belangrijke bronnen zijn de bedrijfstakken handel, diensten en overheid, de scheepsbouw en de chemische industrie. De consumenten en de handel, diensten en overheid lozen het koper volledig op het riool. Zie de volgende drie figuren.

Figuur 4.4.2 Totale emissie aan koper in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012.



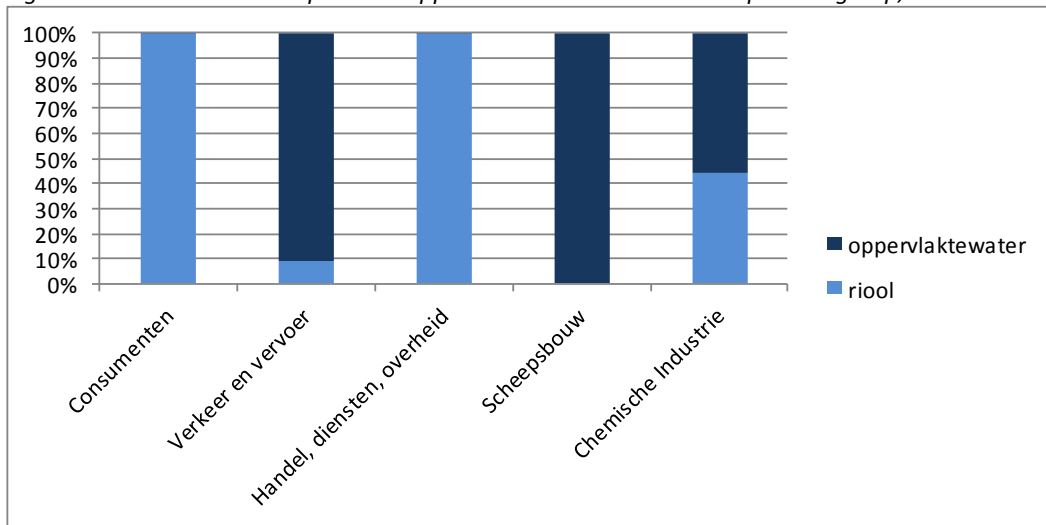
Figuur 4.4.3 Totale emissie aan koper in afvalwater naar doelgroep in 2012



³¹ Wortmann, E., Nieuwe sanitatie Westland, STOWA, 2010-10

³² Depositie is het neerslaan van minerale stoffen en gassen op een vaste ondergrond.

Figuur 4.4.4 Emissies van koper naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



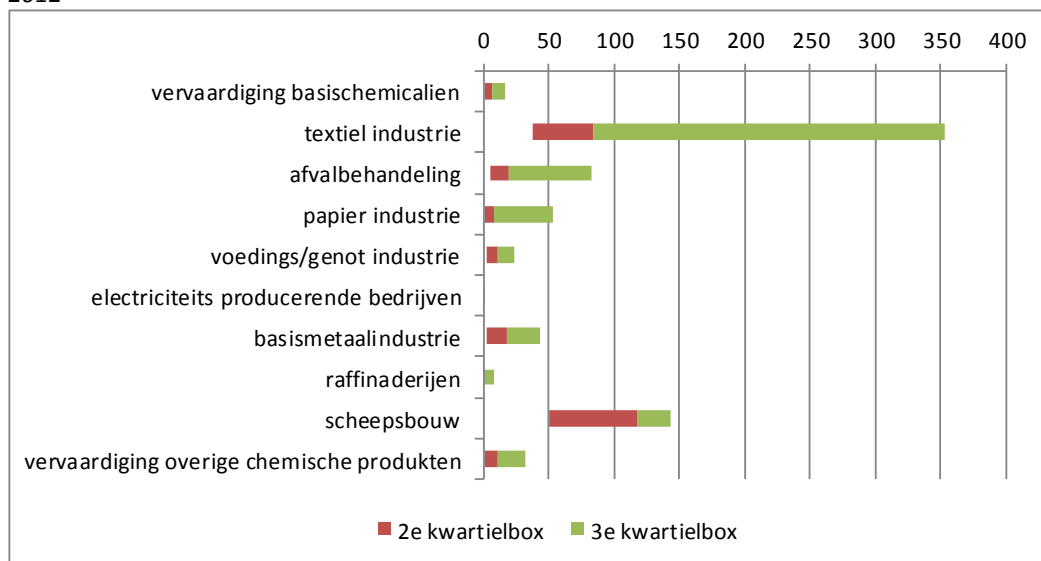
Gehalte aan koper in afvalwater bij industriële bedrijven

Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 5 procent een klein aandeel in de emissie van fosfor in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.4.5 een beeld van de gehalten aan koper in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehalten tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehalten van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor koper een drempelwaarde van 50 kg per jaar. In 2012 is circa 4 procent van de totale emissie aan koper waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 12 bedrijven met een emissie aan koper boven de drempelwaarde. Naast deze bedrijven die verplicht zijn de emissie op te geven, zijn er nog 153 bedrijven bekend in de Emissieregistratie met een uitstoot lager dan de drempelwaarde (tabel 4.4.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 615 waarnemingen over de emissie van koper in afvalwater. Deze gegevens zijn afkomstig van 247 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.4.3).

Figuur 4.4.5 Gehalte aan koper in afvalwater in μg (microgram) per liter (alle stromen) voor de 10 industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan koper in 2008, 2010 en 2012



Het gehalte aan koper in het afvalwater is relatief hoog in de bedrijfstakken textielindustrie en scheepsbouw. In de textielindustrie loost de helft van de bedrijven in de registratie 38 tot 354 μg Cu per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 85 μg Cu per liter en het gemiddelde ligt op 579 μg Cu per liter afvalwater. Het gehalte aan koper in het afvalwater verschilt dus behoorlijk tussen de bedrijven in deze bedrijfstak. De bedrijfstak vervaardiging basischemicaliën heeft wel een hoge emissie aan koper, maar het gehalte aan koper in het afvalwater is laag.

Enkele bedrijfstakken met een relatief hoge emissie en/of een hoog gehalte aan koper in het afvalwater zijn nader beschreven, namelijk de vervaardiging basischemicaliën, textielindustrie en afvalbehandeling.

In tabel 4.4.2 staan het aantal bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van koper in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.4.3.

Tabel 4.4.2 Waarnemingen van koperemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissieregistratie		Emissies in afvalwater		
	Totaal	w.v. emissie > 50 kg/jaar	Totaal	w.v. Waargenomen Geschat	
	<i>aantal</i>		<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	165	12	13 001	82	18
w.o.					
Vervaardiging basischemicaliën	36	5	1 137	72	28
Textielindustrie	2	1	1 008	75	25
Afvalbehandeling	23	1	437	64	36

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.4.3 Waarnemingen van kopergehalten in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden		Gehaltes in afvalwater			
		Totaal	w.v. emissie > 50 kg/jaar	Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>			<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	247	615	50	3	15	57	>Q3
w.o.							
Vervaardiging basischemicaliën	40	107	14	1	7	17	>Q3
w.o. organische chemicaliën ²	15	28	7	2	10	25	>Q3
Textielindustrie	7	13	4	38	85	354	>Q3
Afvalbehandeling	40	90	4	5	20	82	>Q3

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

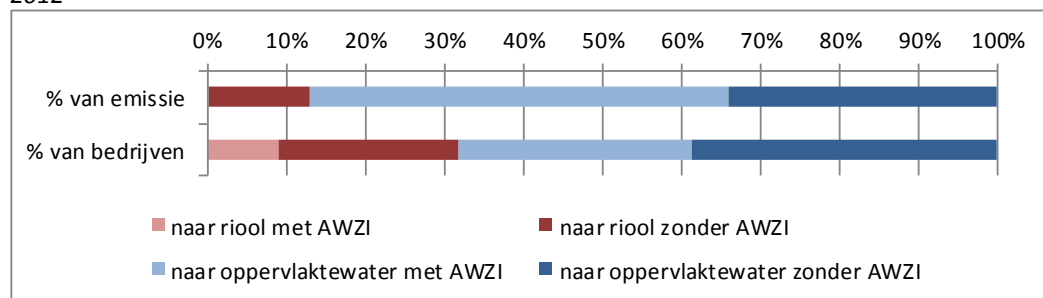
2) SBI 20.14 Vervaardiging van petrochemische producten en overige organische basischemicaliën, in 2010 en 2012.

Vervaardiging van basischemicaliën

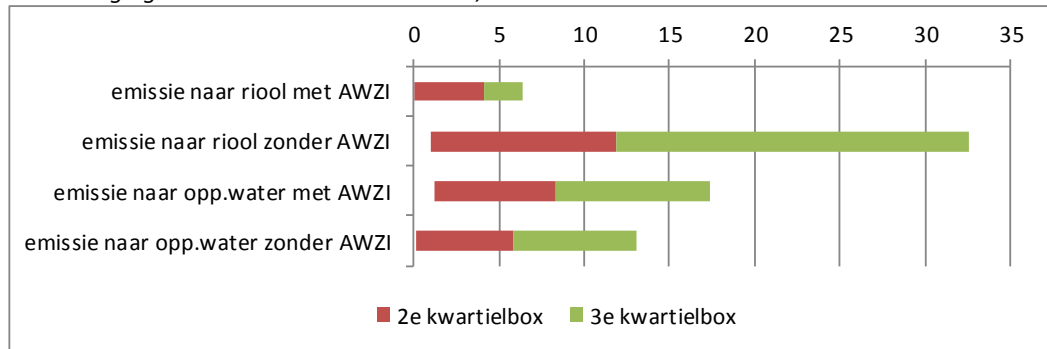
Met een emissie-aandeel van 0,4 procent (1137 kg Cu) in 2012 is de bedrijfstak vervaardiging van basischemicaliën de groep met de hoogste koperemissie in water. Deze bedrijfstak heeft een laag gehalte aan koper in het afvalwater in vergelijking met sommige andere bedrijfstakken. In de Emissieregistratie is in 2012 naar schatting 72 procent van de emissie in de bedrijfstak basischemicaliën waargenomen. De hierna volgende analyses zijn gebaseerd op deze waarnemingen.

In figuur 4.4.7 is te zien dat het gehalte aan koper in afvalwater het hoogst is bij bedrijven zonder een eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 23 procent van het aantal bedrijven en 13 procent van de totale emissie aan koper van de bedrijven in de registratie (figuur 4.4.6).

Figuur 4.4.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van koper in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.4.7 Gehalte aan koper in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



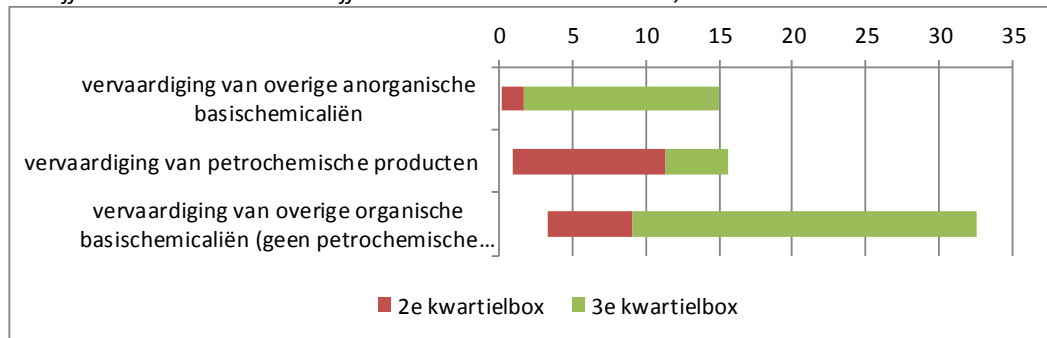
Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de vervaardiging van:

- overige anorganische basischemicaliën (SBI 20.13);
- petrochemische producten (SBI 20.14.1);
- overige organische basischemicaliën (SBI 20.14.9).

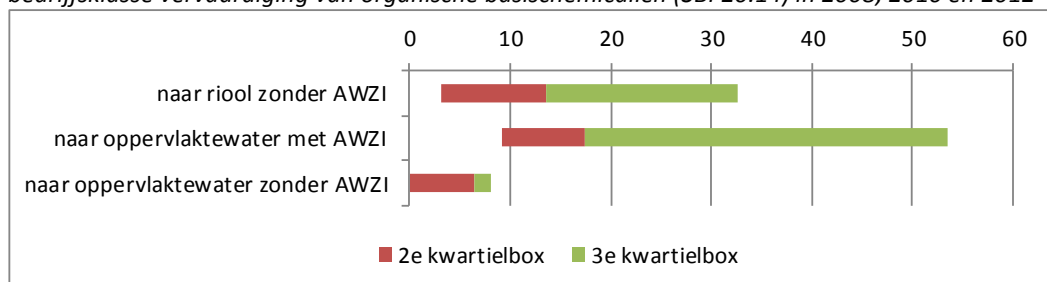
De waargenomen emissies van koper in afvalwater bij de vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën, petrochemische producten en overige organische basischemicaliën zijn in 2012 respectievelijk 356, 258 en 29 kilogram.

De bedrijven die organische basischemicaliën (SBI 20.14) vervaardigen, hebben de hoogste emissies aan koper in afvalwater en laten, vooral bij lozing naar oppervlaktewater met eigen AWZI, hoge gehalten aan koper in het afvalwater zien. Zie figuren 4.4.8 en 4.4.9.

Figuur 4.4.8 Gehalte aan koper in afvalwater in μg per liter (alle stromen) voor enkele bedrijfsklassen binnen de bedrijfstak basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.4.9 Gehalte aan koper in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de bedrijfsklasse vervaardiging van organische basischemicaliën (SBI 20.14) in 2008, 2010 en 2012

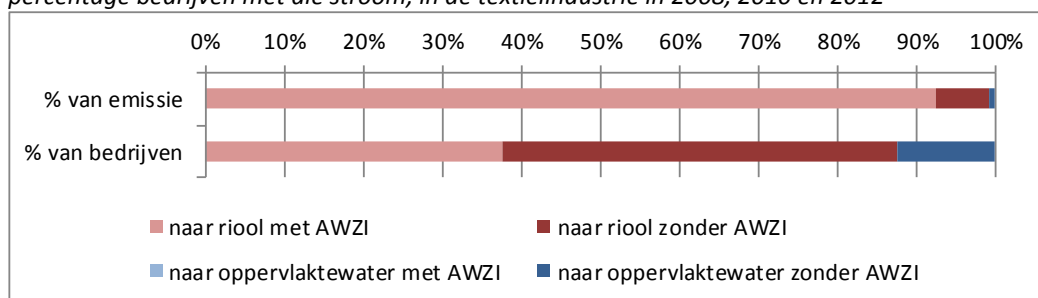


Textielindustrie

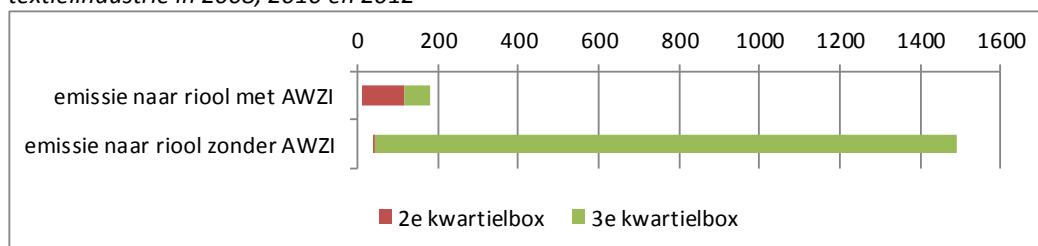
De textielindustrie kenmerkt zich door hoge emissiegehalten van koper in het afvalwater. De belangrijkste bron binnen deze bedrijfstak is de textielverdelingsindustrie. In 2012 heeft de textielindustrie een aandeel van 0,4 procent (1008 kg Cu) in de totale emissie van koper.

In figuur 4.4.11 is te zien dat het gehalte aan koper in afvalwater de minste spreiding vertoont bij bedrijven met een eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 38 procent van het aantal bedrijven en 92 procent van de totale emissie aan koper van de bedrijven in de registratie (figuur 4.4.10).

Figuur 4.4.10 Procentuele verdeling van emissiestromen van koper in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de textielindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.4.11 Gehalte aan koper in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de textielindustrie in 2008, 2010 en 2012

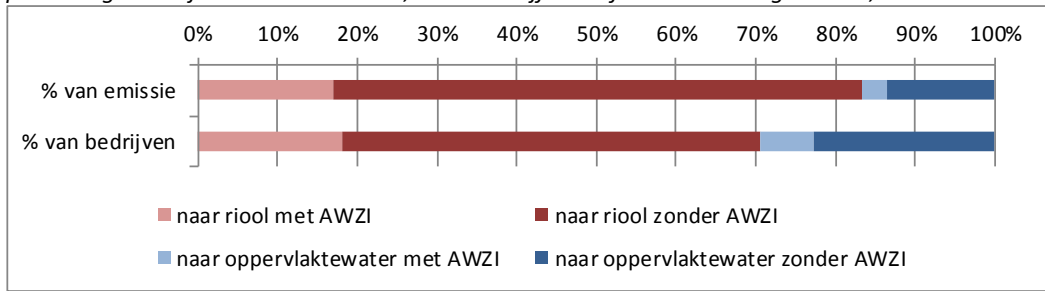


Afvalbehandeling

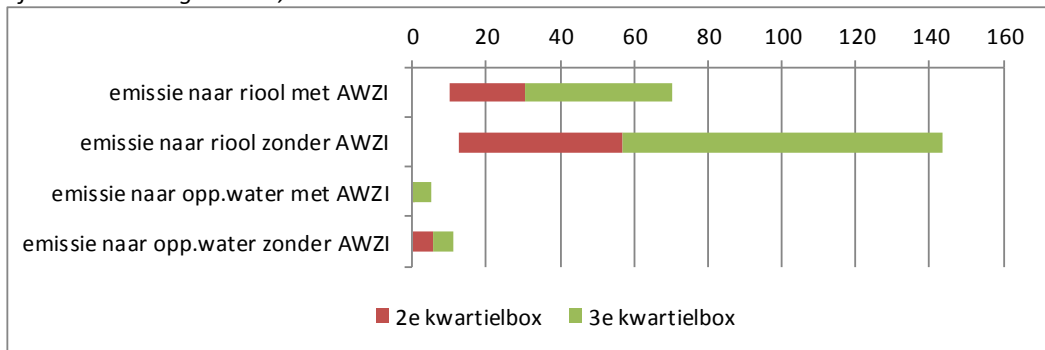
Bij de afvalbehandeling komen vrij hoge emissiegehalten van koper in het afvalwater voor. In 2012 heeft deze bedrijfsgroep een aandeel van 0,2 procent (437 kg Cr) in de totale emissie van koper in afvalwater. In de Emissieregistratie is in 2012 naar schatting 64 procent van de koperemissie in de afvalbehandeling waargenomen.

In figuur 4.4.13 is te zien dat het gehalte aan koper in afvalwater het hoogst is bij bedrijven zonder eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 52 procent van het aantal bedrijven en 66 procent van de totale emissie aan koper van de bedrijven in de registratie (figuur 4.4.12).

Figuur 4.4.12 Procentuele verdeling van emissiestromen van koper in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de bedrijfstak afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.4.13 Gehalte aan koper in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



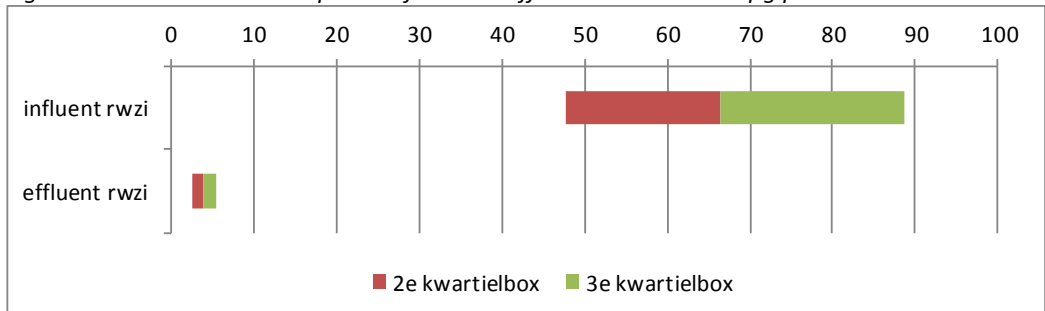
4.4.3 Koper in slib

Bij RWZI's

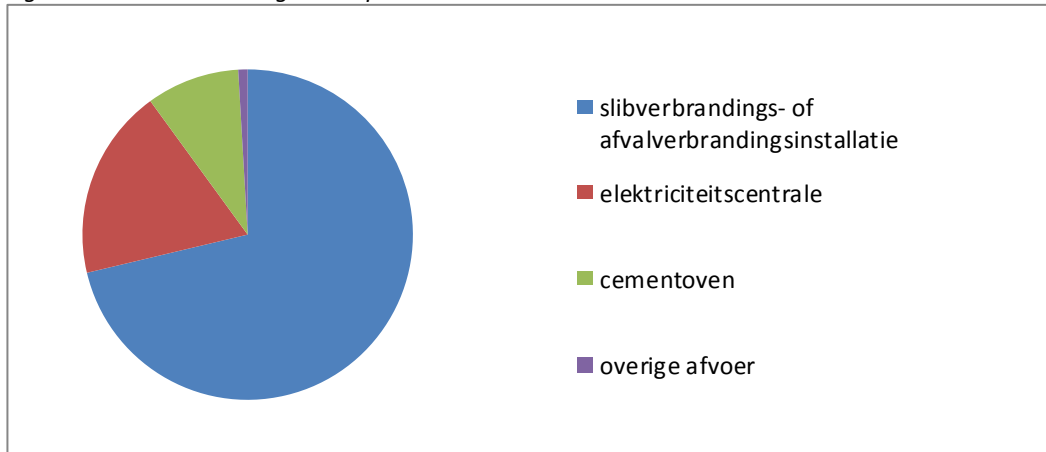
De rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) zuiveren het afvalwater van huishoudens, bedrijven en ander afvalwater dat via het openbaar riool wordt aangevoerd. Het influent bestaat voor gemiddeld $77 \mu\text{g Cu}$ per liter; in totaal 150,1 ton koper in 2012. Na zuivering is het gehalte omlaag gebracht tot gemiddelde $5 \mu\text{g}$ per liter in het effluent (figuur 4.4.14). Het zuiveringsrendement bedraagt daarmee 94 procent. De rest komt terecht in het zuiveringsslib.

Door onnauwkeurigheden in de metingen komt de hoeveelheid in het influent niet exact overeen met die in het effluent plus slib. Het slib van de RWZI's bevat in 2012 130,8 ton koper. Circa 70 procent van het slib belandt in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie (figuur 4.4.15). De resterende hoeveelheid wordt ook verbrand maar dan in cementovens of elektriciteitscentrales.

Figuur 4.4.14 Gehalte aan koper in influent en effluent van RWZI's in μg per liter in 2012



Figuur 4.4.15 Bestemming van koper in slib van RWZI's in 2012

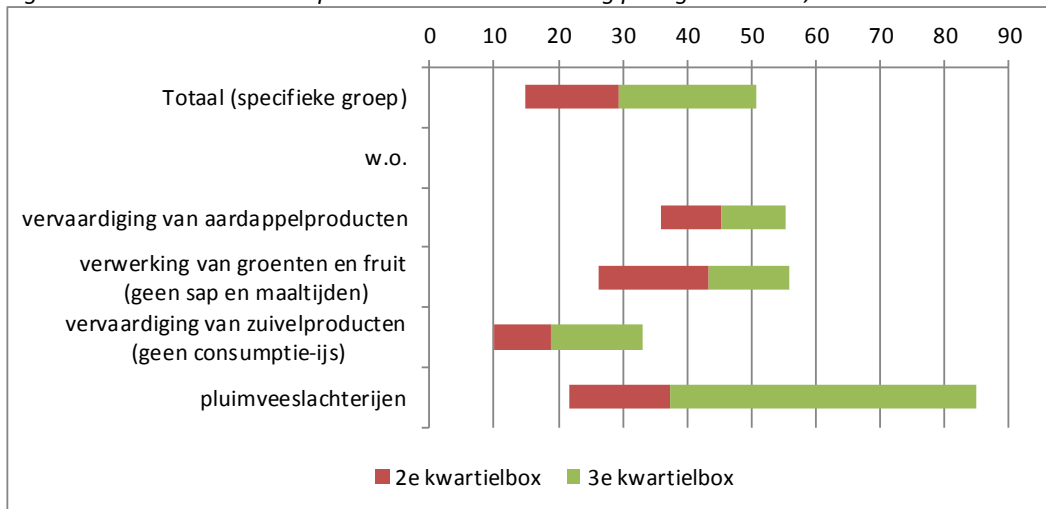


Bij AWZI's

Van 44 bedrijven in de slibregistratie zijn waarnemingen over gehalten aan stoffen in het slib bekend. Het is een enigszins specifieke groep, want het zijn bedrijven in de voedingsmiddelen-industrie met een eigen AWZI die voor een groot deel hun slib afzetten in de landbouw. In totaal zijn er 218 waarnemingen over koper in 2008, 2010 en 2012. De AWZI's halen een groot deel van het koper uit het afvalwater. Van de hoeveelheid koper na zuivering zit circa 96 procent in het slib en 4 procent in het effluent.

Het gemiddelde gehalte aan koper in het zuiveringsslib van deze specifieke groep bedrijven bedraagt 41 mg per kg droge stof. De gehalten aan koper in het slib verschillen behoorlijk tussen bedrijfstakken en ook binnen een bedrijfstak. De bedrijfstak vervaardiging van aardappelproducten laat in figuur 4.4.16 de hoogste gehalten aan koper in het slib zien.

Figuur 4.4.16 Gehalte aan koper in slib van AWZI's in mg per kg ds in 2008, 2010 en 2012



Van 21 bedrijven in de mini-enquête zijn 52 waarnemingen bekend over het kopergehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 0 en 6700 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 441 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). Dit gemiddelde is veel hoger dan die van de bedrijven in de slibregistratie. Hoge gehalten zijn aangetroffen in de bedrijfstakken vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën en vervaardiging van golfpapier en -karton. Het aantal bedrijven is te beperkt om de gehalten per bedrijfstak weer te geven.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 75,6 ton koper. In de verbrandingsas zit 61,3 ton koper (81 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 76,4 ton koper in het slib en 64,2 ton koper in de as (84 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan koper in het slib bedraagt 425 mg/kg ds en in de as 1 101 mg/kg ds. Dit zijn de gewogen gemiddelde gehalten over 2012, 2013 en 2014.

4.4.4 Samenvatting koper

Consumenten en verkeer & vervoer zijn de belangrijkste emissiebronnen van koper in het afvalwater. Andere belangrijke industriële emissiebronnen zijn de scheepsbouw, de bedrijven die basischemicaliën vervaardigen, de voedings- en genotmiddelenindustrie en de textielindustrie. Hoge gehalten aan koper in het afvalwater zijn aangetroffen in de scheepsbouw en de textielindustrie. In het slib zijn hoge gehalten aan koper aangetroffen bij bedrijven met een eigen AWZI die aardappelproducten, overige anorganische basischemicaliën en golfpapier en -karton vervaardigen.

4.5 Aluminium

4.5.1 Kenmerken aluminium

Aluminium is een zilverwit, buigzaam metaal. Het is stabiel aan de lucht, maar alleen dankzij een dun en gesloten oxidehuidje, dat het metaal een doffe indruk geeft. Het is een scheikundig element met het symbool Al³³.

Verschijningsvorm

Aluminium komt niet in pure vorm in de natuur voor. In verbindingen echter is aluminium bijzonder algemeen. Aluminiumhoudende mineralen zijn verantwoordelijk voor een flink percentage (circa 8%) van de aardkorst. Hoewel aluminium een bestanddeel is van klei, gebruikt de aluminiumindustrie als erts bij voorkeur het mineraal bauxiet. In 2013 werd 296 miljard kilogram bauxiet gedolven (tabel 4.5.1). Australië, Indonesië, China, Brazilië en India zijn grote producenten van bauxiet (BGS). Winning uit klei is moeilijker en daardoor onrendabel.

³³ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

Tabel 4.5.1 De wereldproductie en Nederlandse productie, in- en uitvoer van aluminium

	Wereldproductie		Nederland					
	2012	2013	Productie		Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013	2012	2013
	<i>miljoen kg</i>							
Bauxiet ¹	256 000	296 000	.	.	108	35	19	69
Alumina ²	95 500	101 400	.	.	627	792	10	583
Primair aluminium ³	46 200	47 100	86	81	.	.	.	.
Alumina hydraat	.	.	.	.	243	287	128	159
Onbewerkt aluminium	.	.	.	.	488	163	371	381
Onbewerkte legeringen	.	.	.	.	465	445	204	223
Schroot	.	.	.	.	270	221	373	321

1) Inclusief productie van vuurvast bauxiet.

2) Al₂O₃-gehalte. Alumina geproduceerd uit bauxiet.

Bron: Britisch Geological Survey.

Bauxiet bestaat uit Al₂O₃ (aluminiumoxide) en restant. Uit het bauxiet wordt via een aantal processtappen aluminiumoxide (Al₂O₃) gewonnen. Het aluminiumoxidepoeder, aluinaarde, wordt daarna in een speciale oven gebracht. Door middel van elektrolyse wordt de aluinaarde gesplitst in vloeibaar aluminium en zuurstof. Het vloeibare aluminium gaat naar de gieterij waar het gereinigd wordt en eventueel gemengd met andere stoffen om bepaalde kwaliteiten aluminium te maken. Daarna worden walsplakken en persstaven gegoten waaruit de uiteindelijke aluminiumproducten kunnen worden gemaakt. Zo wordt uit 4 ton bauxiet 2 ton aluminiumoxide gemaakt, dat 1,5 ton aluminium oplevert (Wikipedia).

Aluminium is licht (slechts een derde van het gewicht van staal of brons). Met een legering bestaande uit 93,5 procent aluminium, 4 procent koper, 1 procent magnesium, 1 procent mangaan en een 0,5 procent silicium is het even sterk en corrosie bestendig als staal.

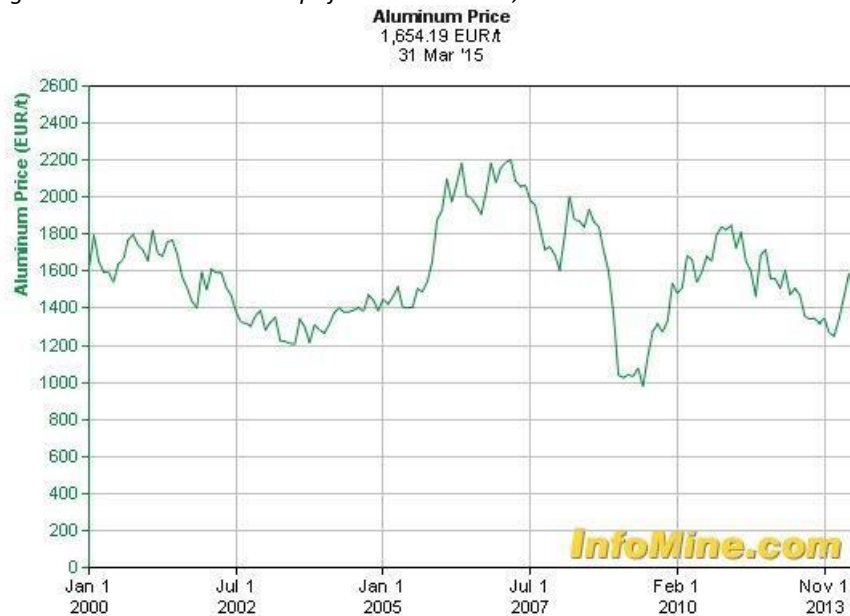
Nederland beschikt over meerdere producenten van primair aluminium (primaire smelters), waarvan er ondertussen wel enkele zijn gesloten. In 2013 bedroeg de Nederlandse productie 81 miljoen kg (tabel 4.5.1). Daarnaast zijn er in Nederland ongeveer tien producenten van secundair aluminium (secundaire smelters)³⁴.

Waarde

De prijs van aluminium ligt rond de 1,6 euro per kilogram (figuur 4.5.1) in 2015. De prijs was hoger in 2006 en lager in 2009.

³⁴ <http://www.roval.nl/NL/Van-grondstof-tot-materiaal>

Figuur 4.5.1 De wereldmarktprijs van aluminium, 2000-2013



Toepassingen

Aluminium is een goede geleider. Het vonkt niet en het laat zich relatief gemakkelijk vormen. Aluminium wordt veel gebruikt in de vliegtuig- en ruimtevaartindustrie. Andere toepassingen zijn: verpakkingsmateriaal, huishoudelijke apparatuur, aluminiumfolie, speelgoed, antennes, auto industrie, dakbedekking en geveldelen van gebouwen, bouwsteigers en constructies in de licht- en geluid industrie³⁵.

Hergebruik aluminium

Recycling van aluminium bestaat al sinds de productie van aluminium. Het metaal is eenvoudig om te smelten en daarbij is 95 procent minder energie nodig dan voor het maken van aluminium uit ruwe grondstoffen. In 2000 werd 72 procent van de totale hoeveelheid aluminium in Nederland gerecycled. Per sector zijn de recyclingpercentages verschillend. In de bouw en transportsector ligt dit percentage rond 94 procent³⁶.

Voor zover bekend vindt er geen herwinning van aluminium uit afvalwater plaats. Wel zijn er mogelijkheden om aluminium uit bodemas, het restproduct bij de verbranding in afvalenergiecentrales, terug te winnen. Onderzoek van de Vereniging Afvalbedrijven, de TU Delft en het ministerie van Infrastructuur en Milieu naar het terugwinnen van aluminium heeft uitgewezen dat na het verbrandingsproces vrijwel dezelfde hoeveelheid aan metallisch aluminium over is als voor de verbranding aanwezig was. Het aluminium blijft in metaalvorm in bodemas achter³⁷.

4.5.2 Aluminium in afvalwater

Totale emissie aan aluminium

De totale emissie aan aluminium in Nederland in afvalwater bedroeg circa 100 ton in 2012, waarvan 86 procent op het riool geloosd is. Aluminium wordt voornamelijk geloosd door

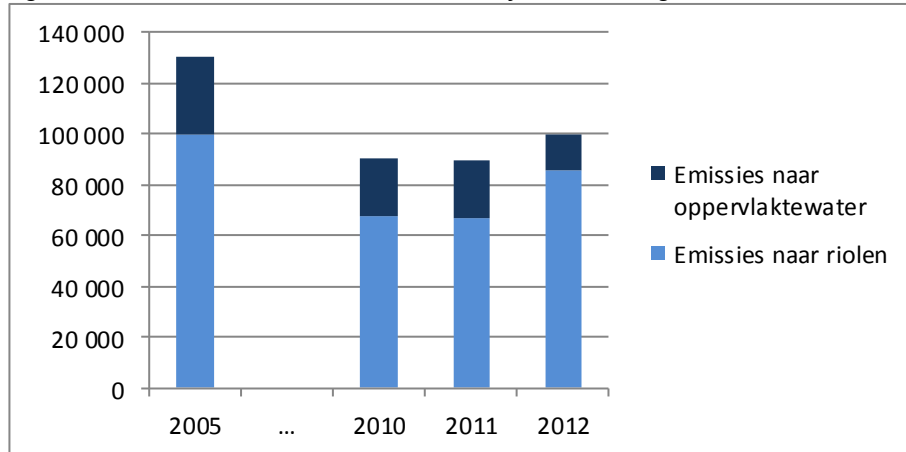
³⁵ <http://www.aluminiumprijs.eu/aluminium-info.html>

³⁶ http://www.aluminiumcentrum.nl/aluminiumcentrum.nl/files/Doc/Aluminium/Milieu-%20en%20ketenbeheer/Recycling_van_aluminium.PDF

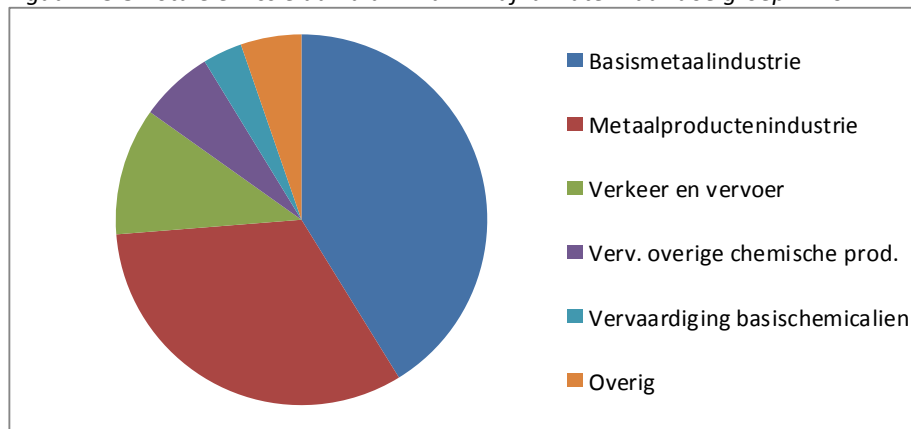
³⁷ <http://www.verenigingafvalbedrijven.nl/afvalmanagement/energie-uit-afval/bodemas-als-grondstof.html>

bedrijven. Er zijn geen grote diffuse bronnen. Bedrijven in de basismetaalindustrie lozen het meeste aluminium, gevolgd door de metaalproductenindustrie en de chemische industrie. De basismetaalindustrie en de metaalproductenindustrie lozen het aluminium vrijwel volledig op het riool. Het aluminium afkomstig van verkeer & vervoer wordt vooral naar het oppervlaktewater geëmitteerd. Het betreft hier een hele specifieke bron, namelijk de corrosie van aluminium uit opofferingsanodes op de scheepshuid van zeegaande schepen. Daarnaast komt er wat aluminium vrij uit slijtage van remvoeringen bij voertuigen. De remstof spoelt via hemelwater vanaf het wegoppervlak naar het riool. Zie de figuren 4.5.2, 4.5.3 en 4.5.4.

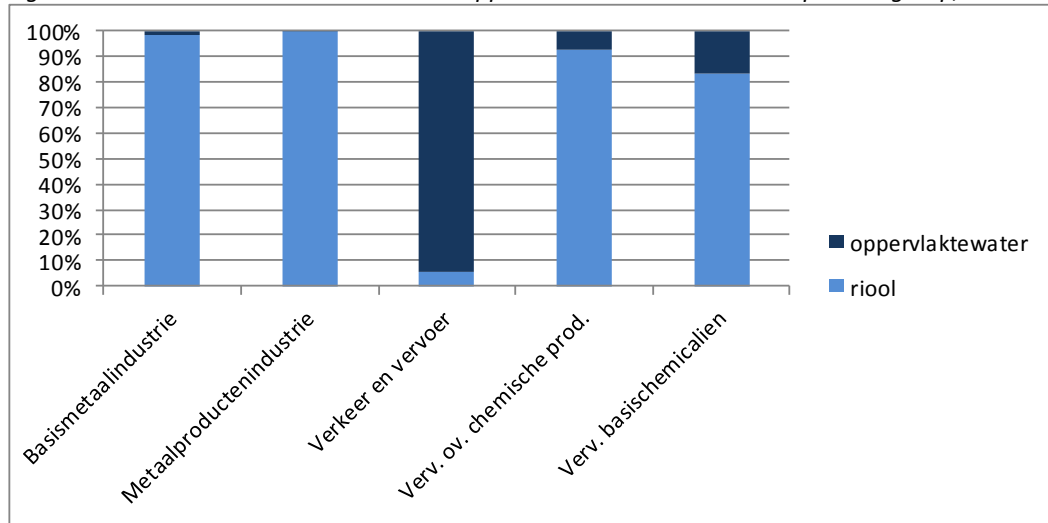
Figuur 4.5.2 Totale emissie aan aluminium in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



Figuur 4.5.3 Totale emissie aan aluminium in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.5.4 Emissies van aluminium naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



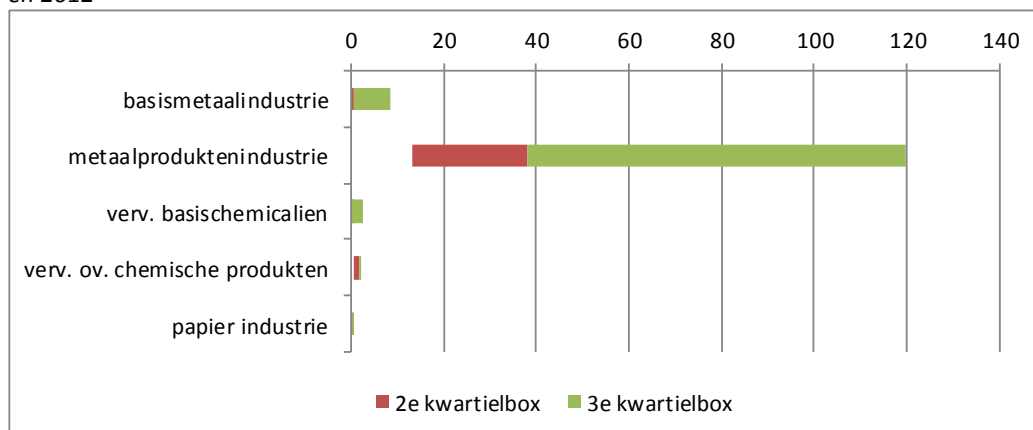
Gehaltes aan aluminium in afvalwater bij industriële bedrijven

Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 88 procent een groot aandeel in de emissie van aluminium in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.5.5 een beeld van de gehaltes aan aluminium in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehaltes tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehaltes van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehaltes bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor aluminium geen drempelwaarde. In 2012 is circa 48 procent van de totale emissie aan aluminium waargenomen via individuele registratie door de industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 21 bedrijven in de Emissieregistratie bekend met een emissie aan aluminium (tabel 4.5.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 67 waarnemingen over de emissie van aluminium in afvalwater bekend. Deze gegevens zijn afkomstig van 25 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.5.3).

Figuur 4.5.5 Gehalte aan aluminium in afvalwater in mg per liter (alle stromen) voor de industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan aluminium in 2008, 2010 en 2012



Het gehalte aan aluminium in het afvalwater is hoog in de metaalproductenindustrie. In de metaalproductenindustrie loost de helft van de bedrijven in de registratie 13 tot 120 mg Al per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 38 mg Al per liter en het gemiddelde ligt op 68 mg Al per liter afvalwater. In de basismetaalindustrie is de gemiddelde emissie ook hoog met 50 mg Al per liter, maar wordt dit veroorzaakt door één of enkele bedrijven met een hoge emissie. In de basismetaalindustrie loost de helft van de bedrijven in de registratie 0,4 tot 8,3 mg Al per liter.

De bedrijfsgroepen basismetaalindustrie en metaalproductenindustrie zijn nader beschreven voor zover er voldoende waarnemingen zijn.

In tabel 4.5.2 staan het aantal industriële bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van aluminium in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.5.3.

Tabel 4.5.2 Waarnemingen van aluminiumemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Emissies in afvalwater		
		Totaal	w.v.	
			Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>	<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	21	88 496	54	46
w.o.				
Basismetaalindustrie	6	42 676	31	69
Metaalproductenindustrie	4	33 692	72	28

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.5.3 Waarnemingen van aluminiumgehalten in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden	Gehaltes in afvalwater			
			Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>		<i>mg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	25	67	0,13	0,65	4,72	>Q3
w.o.						
Basismetalaalindustrie	7	19	0,38	0,67	8,31	>Q3
w.o. aluminiumindustrie ²	5	10	0,59	1,11	20,82	>Q3
Metaalproductenindustrie	5	12	13,13	38,27	119,71	Q2-Q3

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

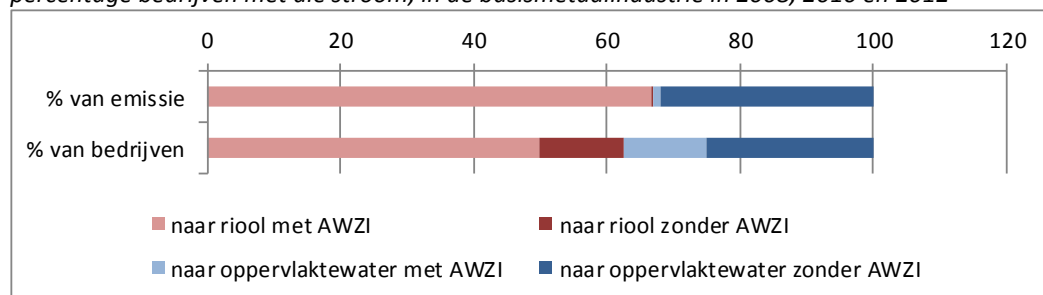
2) SBI 24.42 Vervaardiging van aluminium, in 2010 en 2012.

Basismetalaalindustrie

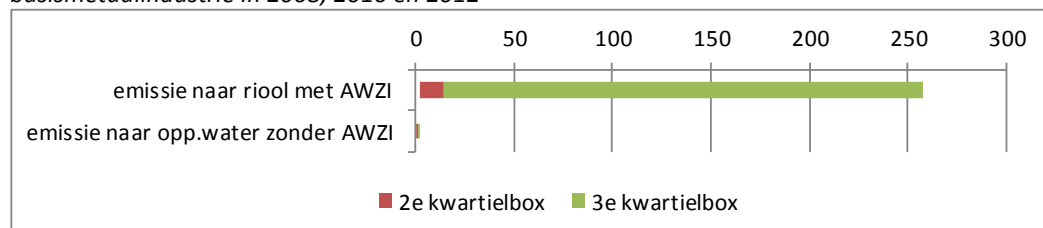
Met een emissie-aandeel van 43 procent (42 676 kg Al) in 2012 heeft de basismetalaalindustrie de hoogste aluminiumemissie in water. In de Emissieregistratie is in 2012 naar schatting 31 procent van de emissie in de bedrijfstak basismetalaalindustrie waargenomen. Binnen de basismetalaalindustrie laten de aluminiumbedrijven met een eigen AWZI die lozen op het riool hoge gehalten aan aluminium zien in de afvalwaterstroom (figuur 4.5.7). Deze afvalwaterstroom betreft 50 procent van het aantal bedrijven en 67 procent van de totale emissie aan aluminium van de bedrijven in de registratie (figuur 4.5.6). De meeste bedrijven lozen afvalwater op het riool.

In figuur 4.5.8 is het Al-gehalte in het afvalwater van de aluminiumbedrijven weergegeven.

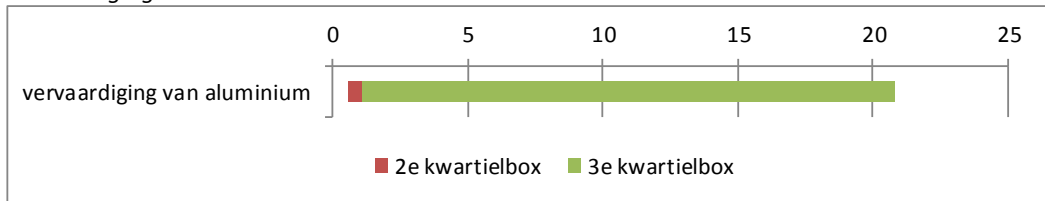
Figuur 4.5.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van aluminium in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de basismetalaalindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.5.7 Gehalte aan aluminium in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de basismetalaalindustrie in 2008, 2010 en 2012



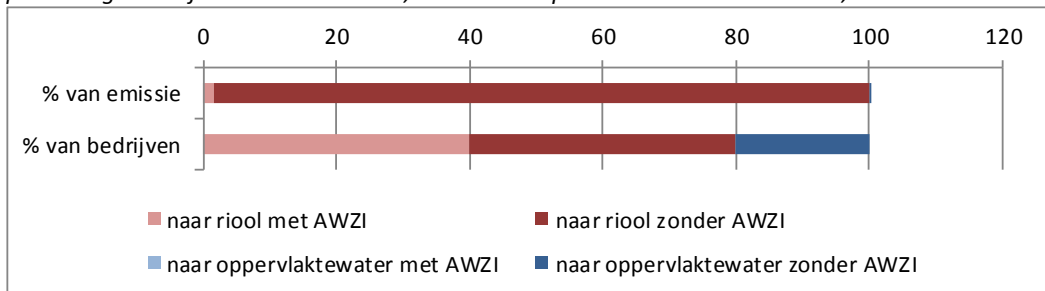
Figuur 4.5.8 Gehalte aan aluminium in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de vervaardiging van aluminium in 2010 en 2012



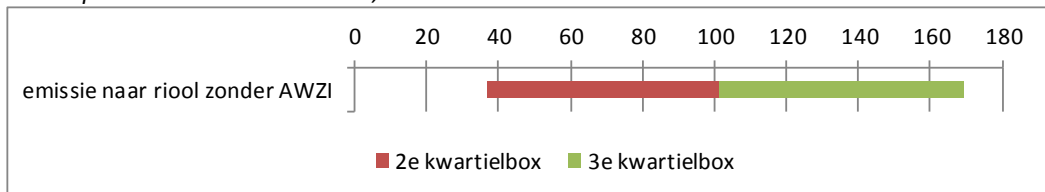
Metaalproductenindustrie

De metaalproductenindustrie kenmerkt zich door hoge emissiegehaltes van aluminium in het afvalwater. In 2012 heeft deze bedrijfsgroep een aandeel van 34 procent (33 690 kg Al) in de totale emissie van aluminium in afvalwater. In figuur 4.5.10 is te zien dat het gehalte aan aluminium in afvalwater hoog is bij bedrijven zonder eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 40 procent van het aantal bedrijven en 98 procent van de totale emissie aan aluminium van de bedrijven in de registratie (figuur 4.5.9). De meeste bedrijven lozen afvalwater op het riool.

Figuur 4.5.9 Procentuele verdeling van emissiestromen van aluminium in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de metaalproductenindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.5.10 Gehalte aan aluminium in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de metaalproductenindustrie in 2008, 2010 en 2012



4.5.3 Aluminium in slib

Van 3 bedrijven in de mini-enquête zijn 5 waarnemingen bekend over het aluminiumgehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 5 en 13 gram per kg droge stof, met een gemiddelde van 10 gram per kg droge stof (ongewogen naar volume). De waarnemingen zijn van bedrijven in de chemische industrie en in de papierindustrie.

In de slibregistratie zijn geen gegevens bekend over aluminium.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 2,43 miljoen kg aluminium. In de verbrandingsas is 2,17 miljoen kg aluminium (89 procent) aanwezig. Gemiddeld over de jaren

2012, 2013 en 2014 is dat 2,50 miljoen kg aluminium in het slib en 2,17 miljoen kg aluminium in de as (87 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen. De grote hoeveelheden aluminium in het slib worden voor een deel veroorzaakt doordat bij een aantal rioolwaterzuiveringsinstallaties aluminiumzouten worden toegepast om fosfaat op chemische wijze uit het afvalwater te verwijderen. Het onoplosbare aluminiumfosfaat komt dan terecht in het zuiverings-slib.

Het gehalte aan aluminium in de as bedraagt 36 gram per kg ds. Dit is het gewogen gemiddelde gehalte over 2012, 2013 en 2014. Het gehalte in het inkomende slib is onbekend.

4.5.4 Samenvatting aluminium

De basismetaleindustrie en de metaalproductenindustrie zijn de belangrijkste emissiebronnen van aluminium in het afvalwater. Hoge gehalten aan aluminium in het afvalwater zijn aangetroffen in de metaalproductenindustrie en bij bedrijven die aluminium vervaardigen. In de as van slibverbranders worden ook hoge gehalten aan aluminium aangetroffen.

4.6 Nikkel

4.6.1 Kenmerken nikkel

Het basismetale nikkel is een zilverwit/grijs overgangsmateriaal. Het is een scheikundig element met symbool Ni³⁸.

Versijningsvorm

In de natuur komt nikkel niet als vrij metaal voor. De belangrijkste bronnen van nikkel zijn de mineralen limoniet, garnieriet en pentlandiet. De laatste komt alleen voor in magma dat in vulkanen naar de oppervlakte komt. In 2013 is wereldwijd 2,5 miljoen ton nikkel gedolven (tabel 4.6.1). Delving van nikkelerts vindt vooral plaats in Indonesië, de Filipijnen, Rusland, Australië en Canada. In Australië en Nieuw-Caledonië zijn grote reserves aanwezig. De totale reserves zijn naar schatting meer dan 130 miljoen ton op land, uitgaande van een concentratie van ten minste 1 procent nikkel. Verder liggen er nog onbekende hoeveelheden nikkel op de zeebodem³⁹.

³⁸ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Nikkel>

³⁹ <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/mcs-2014-nicke.pdf>

Tabel 4.6.1 De wereldproductie en Nederlandse invoer en uitvoer van nikkel

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013
<i>miljoen kg</i>						
Mijnbouw ¹	2 360	2 548	.	.	.	.
Raffinage/smelterij ²	1 760	1 946	.	.	.	.
Metaal nikkel	.	.	.	.	.	.
Mattes, sinters ³	.	.	.	.	1,4	1,0
Schroot	.	.	2,6	2,8	1,4	2,9
Erts en concentraten	.	.	0,7	0,0	3,8	1,1
Onbewerkt nikkel ⁴	.	.	33,0	43,0	46,9	45,6
Oxiden	.	.	0,2	0,3	1,4	1,4

1) Nikkelgehalte in erts.

2) Geraffineerd nikkel plus nikkel uit ferro-nikkel, nikkeloxiden en nikkelzouten.

3) Schatting BGS op basis van importcijfers.

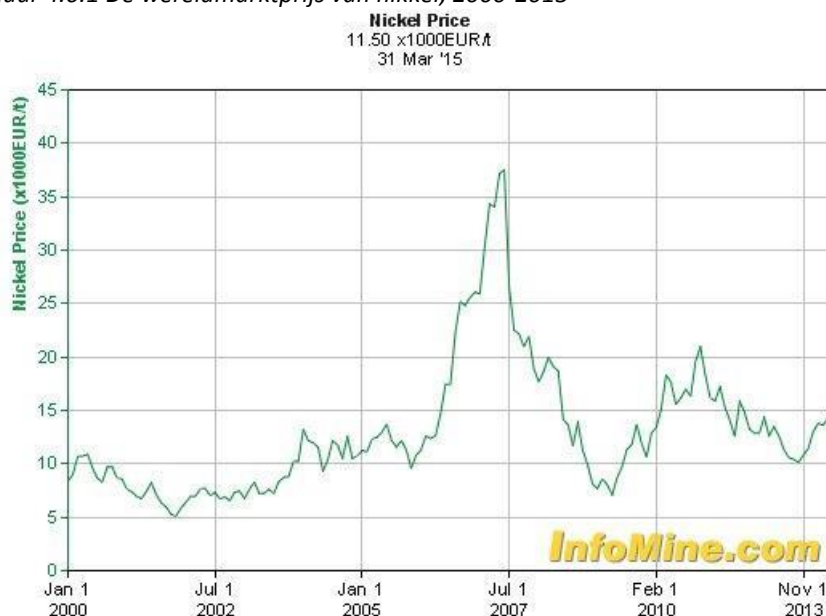
4) Inclusief legeringen.

Bron: British Geological Survey.

Waarde nikkel

De prijs fluctueert sterk en bedraagt circa 12 euro per kilogram in 2015. Zie figuur 4.6.1 van InfoMine⁴⁰.

Figuur 4.6.1 De wereldmarktprijs van nikkel, 2000-2013



Toepassingen

Nikkel wordt voornamelijk (voor 65%) gebruikt bij de productie van roestvrij staal. Daarnaast wordt het gebruikt in allerlei legeringen die vaak als bescherm laag op metalen voorwerpen worden gebruikt. De vliegtuigindustrie is een belangrijke afnemer van deze legeringen. In de elektronica wordt nikkel vaak gebruikt in combinatie met andere metalen voor bijvoorbeeld het

⁴⁰ <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/nickel/all/>

fabriceren van weerstandsdraad en thermokoppels. Andere toepassingen van nikkel zijn: turbines, keukenapparaten, sieraden, muntgeld, oplaadbare batterijen, accu's, katalysatoren voor de harding van plantaardige vetten, andere chemicaliën voor o.a. textiel- en verfindustrie⁴¹. Nikkel komt ook in planten voor en is kleine hoeveelheid onmisbaar voor de mens.

Nikkel is een vrij duur metaal en er voor verschillende toepassingen zijn substituten beschikbaar als nikkelvrij staal, titaniumlegeringen en lithium in batterijen.

Hergebruik nikkel

Er zijn wereldwijd vier of vijf bedrijven die zich bezig houden met de recycling van roestvrij staal en andere nikkelhoudende materialen. Deze bedrijven produceren ongeveer 350 duizend ton nikkel per jaar, wat overeenkomt met ongeveer een kwart van de totale jaarlijkse vraag naar nikkel⁴².

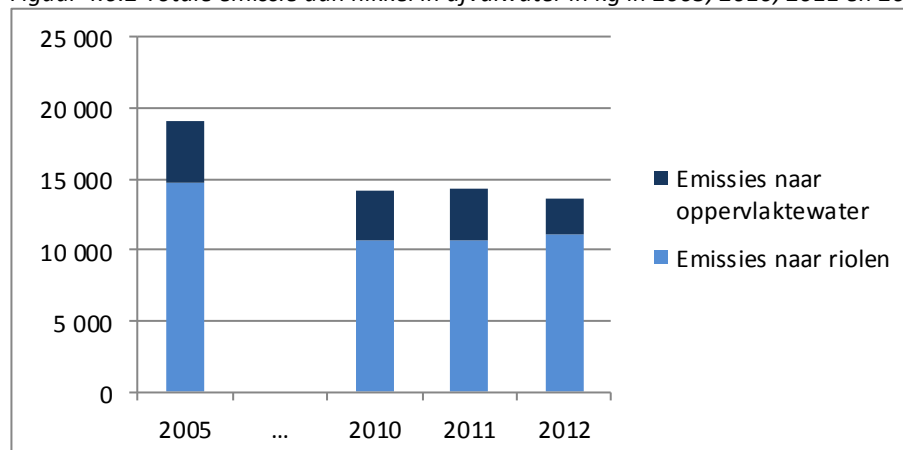
Membraanelektrolyse kan leiden tot metaaldepositie, zoals bij nikkelvloeistoffen. De elektrolyse kan worden toegepast op halfconcentraten, zoals spaarbadvloeistoffen en regeneraten van ionenwisselaars. Voor het verkrijgen van nikkel moet het restant aan opgeloste metalen een tweede zuiveringstechniek ondergaan, zoals ONO, ionenwisseling of verdamping⁴³.

4.6.2 Nikkel in afvalwater

Totale emissie aan nikkel in afvalwater

De totale Nederlandse emissie aan nikkel in afvalwater bedroeg circa 13,6 ton in 2012, waarvan 82 procent op het riool geloosd is. Consumenten lozen het meeste nikkel via onder andere de corrosie van roestvrijstaal wat wordt toegepast in huishoudapparatuur en aanrechtbladen, gevolgd door de bedrijfstakken vervaardiging van basischemicaliën, metaalproductenindustrie, afvalbehandeling en raffinaderijen. De bedrijfstakken vervaardiging van basischemicaliën en raffinaderijen lozen vooral nikkel op het oppervlaktewater. Een belangrijke bron voor emissie naar het riool is ook de atmosferische depositie van nikkel op verhard oppervlak. Een wat kleinere bron is de aanvoer op het riool door slijtage van autobanden en remvoeringen. Beide bronnen bevatten een klein gehalte aan nikkel. Zie de volgende drie figuren.

Figuur 4.6.2 Totale emissie aan nikkel in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012

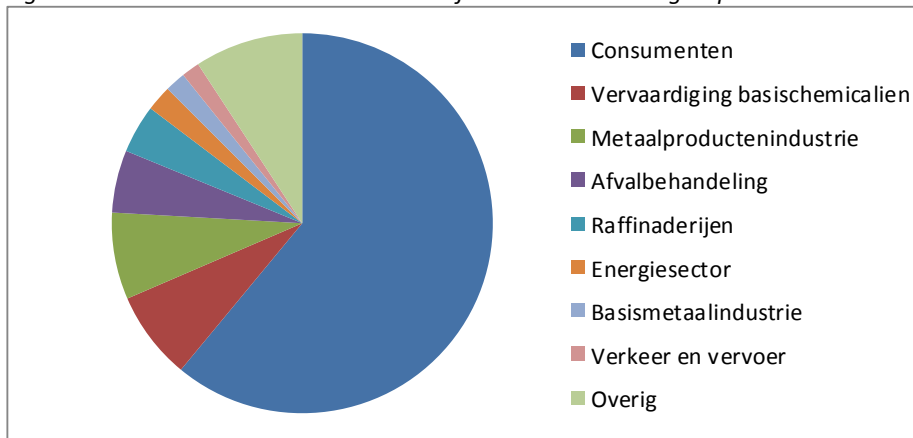


⁴¹ <http://www.insg.org/whatnickel.aspx>

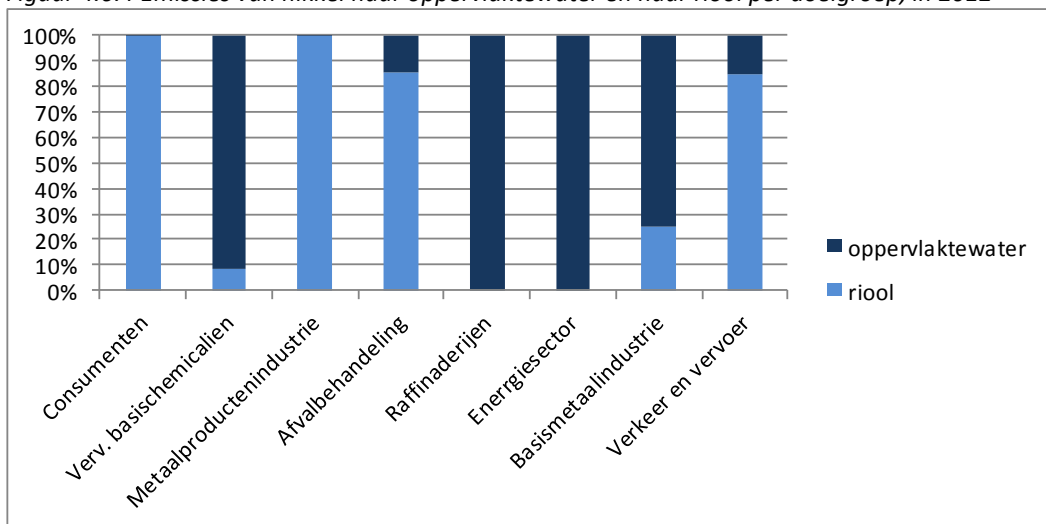
⁴² <http://www.insg.org/recycling.aspx>

⁴³ <http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/afvalwater/milieumaatregelen-0/milieumaatregelen/@113637/membraanelektrolyse/>

Figuur 4.6.3 Totale emissie aan nikkel in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.6.4 Emissies van nikkel naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



Gehaltes aan nikkel in afvalwater bij industriële bedrijven

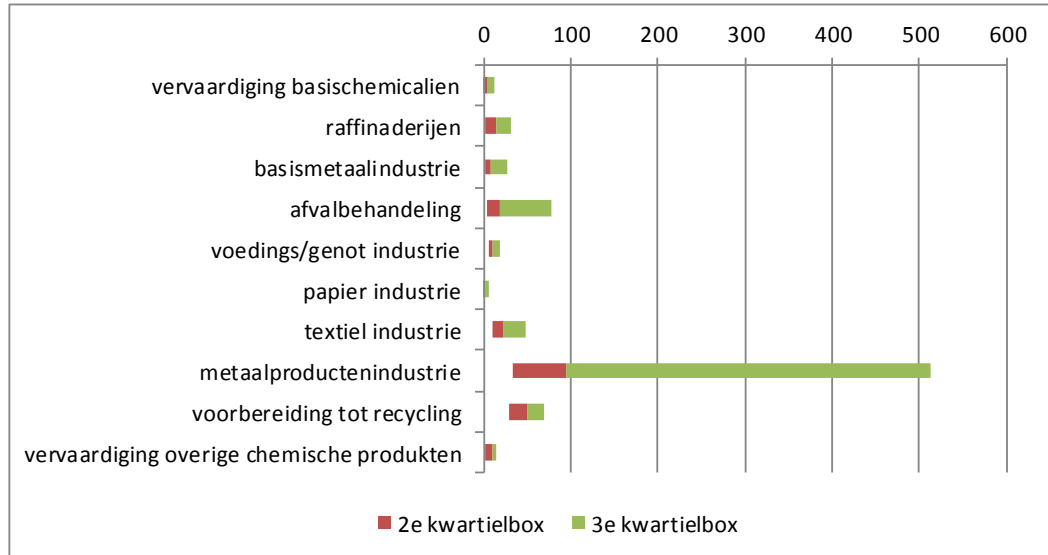
Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 38 procent een redelijk aandeel in de emissie van nikkel in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.6.5 een beeld van de gehalten aan nikkel in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehalten tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehalten van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor nikkel een drempelwaarde van 20 kg per jaar. In 2012 is circa 24 procent van de totale emissie aan nikkel waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 26 bedrijven met een emissie aan nikkel boven de drempelwaarde. Naast deze bedrijven die verplicht zijn de emissie op te geven, zijn er nog 125 bedrijven bekend in de Emissieregistratie met een uitstoot lager dan de drempelwaarde (tabel 4.6.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 540 waarnemingen over de emissie

van nikkel in afvalwater. Deze gegevens zijn afkomstig van 223 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.6.3).

Figuur 4.6.5 Gehalte aan nikkel in afvalwater in µg (microgram) per liter (alle stromen) voor de 10 industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan nikkel in 2008, 2010 en 2012⁴⁴



Het gehalte aan nikkel in het afvalwater is relatief hoog in de bedrijfstakken metaalproductenindustrie en voorbereiding tot recycling. In de metaalproductenindustrie loost de helft van de bedrijven in de registratie 0,03 tot 0,51 mg Ni per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 0,09 mg Ni per liter en het gemiddelde ligt op 0,67 mg Ni per liter afvalwater. Het gehalte aan nikkel in het afvalwater verschilt dus behoorlijk tussen de bedrijven in deze bedrijfstakgroep.

De bedrijven die basischemicaliën vervaardigen hebben wel een hoge emissie aan nikkel, maar het gehalte aan nikkel in het afvalwater is laag.

Ter vergelijking: het gemiddelde gehalte aan nikkel in het influent (aangevoerd afvalwater) bij rioolwaterzuiveringsinstallaties bedraagt de laatste jaren circa 0,01 mg Ni per liter. Dit influent is een mix van huishoudelijk afvalwater, bedrijfsafvalwater, via straatkolken afgevoerd hemelwater en rioolvreemd water. Een deel van de bedrijven binnen de genoemde bedrijfstakken loost dus afvalwater op het riool met een hoger nikkelgehalte dan dat in het ruwe rioolwater.

Enkele bedrijfstakken met een relatief hoge emissie en/of een hoog gehalte aan nikkel in het afvalwater en met voldoende waarnemingen zijn nader beschreven, namelijk de vervaardiging van basischemicaliën, de metaalproductenindustrie, de afvalbehandeling en raffinaderijen.

In tabel 4.6.2 staan het aantal industriële bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van nikkel in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.6.3.

⁴⁴ De bedrijfstak Winning van overige niet energiedragers (6^{de} plek) is door te weinig waarnemingen niet weergegeven, maar behoort wel tot de top 10.

Tabel 4.6.2 Waarnemingen van nikkelemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissieregistratie		Emissies in afvalwater		
	Totaal	w.v. emissie > 20 kg/jaar	Totaal	w.v.	
				Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>		<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	151	26	5 180	64	36
w.o.					
Vervaardiging basischemicaliën	31	6	1 022	100	0
Metaalproductenindustrie	23	0	1 003	5	95
Afvalbehandeling	23	6	722	62	38
Raffinaderijen	3	3	559	100	0

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.6.3 Waarnemingen van nikkelgehalten in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden		Gehaltes in afvalwater			
		Totaal	w.v. emissie > 20 kg/jaar	Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>			<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	223	540	81	2	10	36	>Q3
w.o.							
Vervaardiging basischemicaliën	40	104	20	0	5	13	>Q3
w.o. organische basischemicaliën ²	18	30	9	5	10	21	>Q3
Metaalproductenindustrie	34	66	1	33	95	513	>Q3
Afvalbehandeling	36	85	17	4	19	78	>Q3
Raffinaderijen	3	8	8	1	14	32	Q2-Q3

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

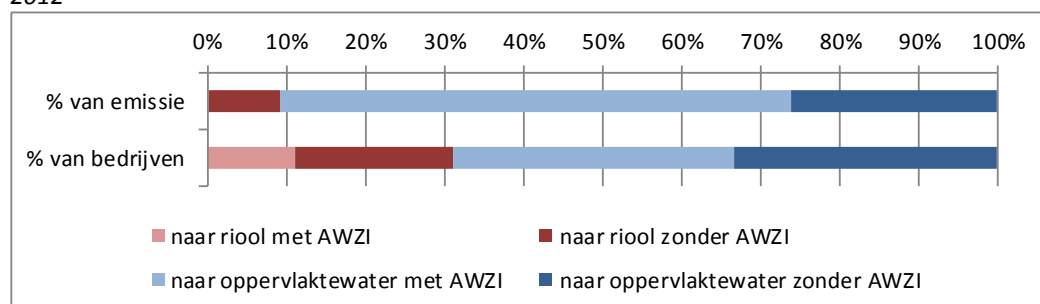
2) SBI 20.14 Vervaardiging van petrochemische producten en overige organische basischemicaliën, in 2010 en 2012.

Vervaardiging van basischemicaliën

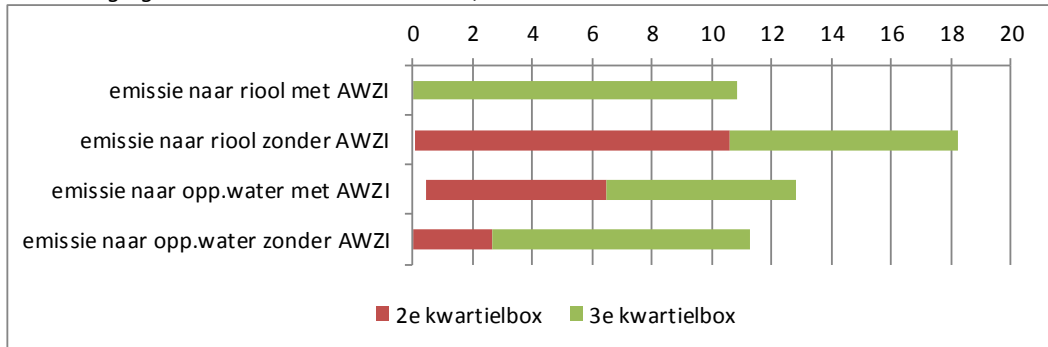
Met een emissie-aandeel van 7,5 procent (1022 kg Ni) in 2012 is dit de bedrijfstak met de hoogste nikkelemissie in water. Het gehalte aan nikkel in het afvalwater bij de vervaardiging van basischemicaliën is in vergelijking met andere bedrijfstakken wel vrij laag.

Bij bedrijven die lozen op het riool zonder eigen AWZI, zoals te zien in figuur 4.6.7, is het gehalte aan nikkel in afvalwater het hoogst is. Deze afvalwaterstroom betreft 20 procent van het aantal bedrijven en 9 procent van de totale emissie aan nikkel van de bedrijven in de registratie (figuur 4.6.6).

Figuur 4.6.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van nikkel in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.6.7 Gehalte aan nikkel in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



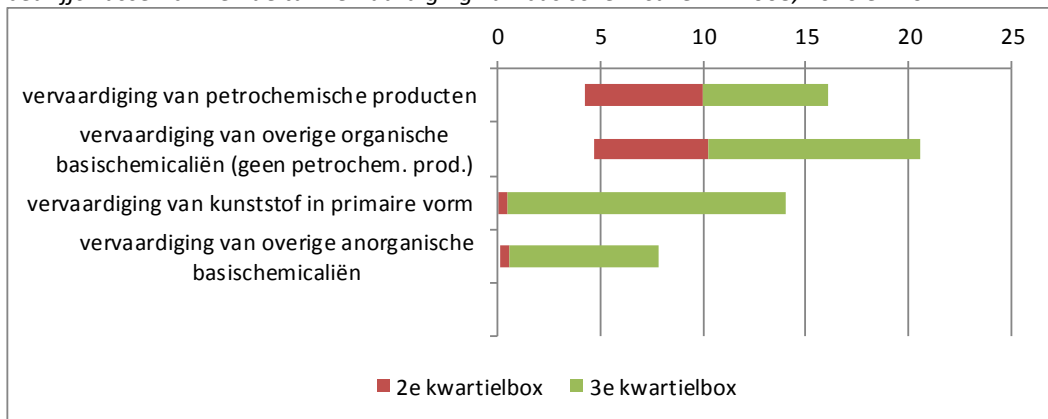
Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de vervaardiging van:

- overige anorganische basischemicaliën (SBI 20.13);
- petrochemische producten (SBI 20.14.1);
- overige organische basischemicaliën (SBI 20.14.9);
- kunststof in primaire vorm (20.16).

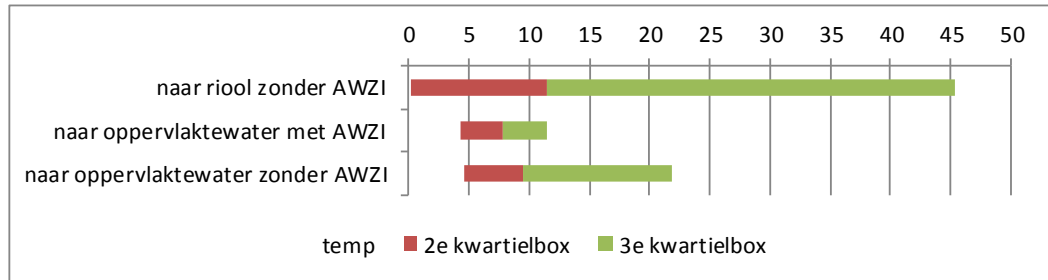
De emissies van nikkel in afvalwater bij de vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën, petrochemische producten, overige organische basischemicaliën en kunststof in primaire vorm zijn in 2012 respectievelijk 334, 154, 44 en 473 kilogram.

De bedrijven die organische basischemicaliën vervaardigen laten vooral bij lozing op het riool zonder eigen AWZI hoge gehalten aan nikkel in het afvalwater zien. Zie figuren 4.6.8 en 4.6.9.

Figuur 4.6.8 Gehalte aan nikkel in afvalwater in μg per liter (alle stromen) voor enkele bedrijfsklassen binnen de tak vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.6.9 Gehalte aan nikkel in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de bedrijfsklasse vervaardiging van organische basischemicaliën (w.o. petrochemische producten) in 2010 en 2012

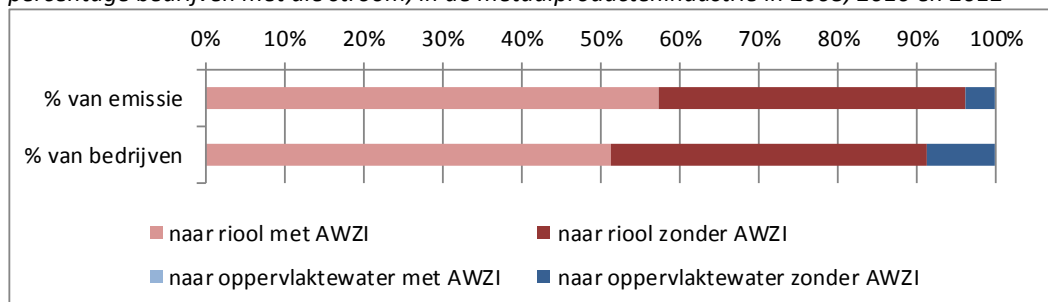


Metaalproductenindustrie

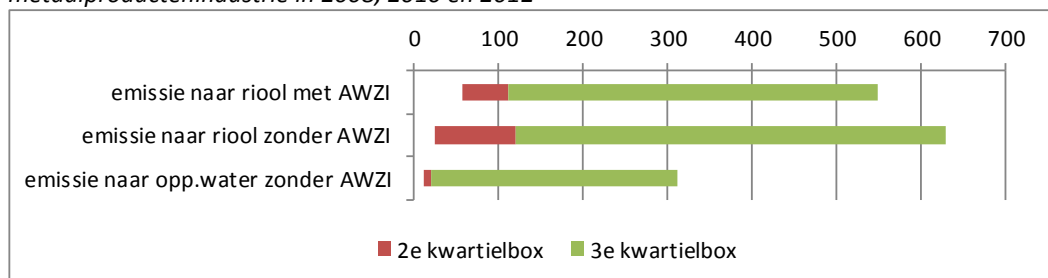
De bedrijfsgroep metaalproductenindustrie laat de hoogste gehalten aan nikkel in het afvalwater zien. Wel is in de Emissieregistratie in 2012 de nikkelemissie in deze bedrijfsgroep maar voor circa 5 procent waargenomen via de milieujarverslagen. De totale emissie bedraagt 1 003 kg per jaar.

In figuur 4.6.11 is te zien dat het gehalte aan nikkel in afvalwater het hoogst is bij bedrijven die lozen op het riool. Daarbij is er weinig verschil in gehalte tussen bedrijven met en zonder eigen AWZI. De bedrijven in de Emissieregistratie in de metaalproductenindustrie, lozen vrijwel al het afvalwater op het riool (figuur 4.6.10).

Figuur 4.6.10 Procentuele verdeling van emissiestromen van nikkel in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de metaalproductenindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.6.11 Gehalte aan nikkel in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de metaalproductenindustrie in 2008, 2010 en 2012

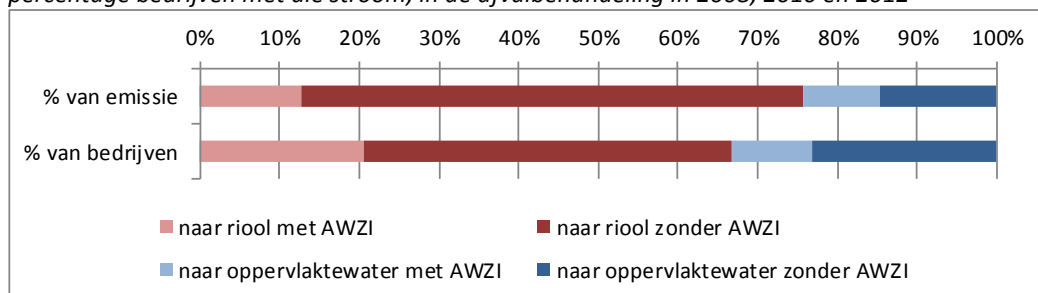


Afvalbehandeling

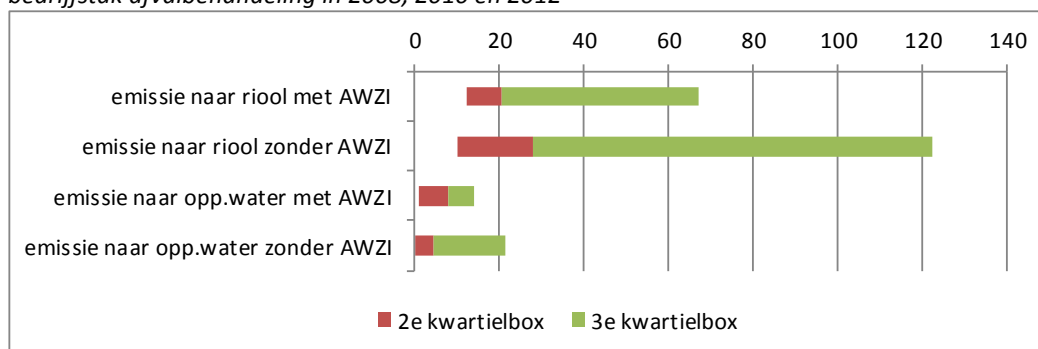
De bedrijfsgroep afvalbehandeling heeft een lager gehalte aan nikkel in het afvalwater dan de metaalproductenindustrie, maar heeft door meer afvalwater wel een hogere emissie aan nikkel, namelijk 722 kg nikkel per jaar.

In figuur 4.6.13 is te zien dat het gehalte aan nikkel in afvalwater het hoogst is bij bedrijven die lozen op het riool zonder eigen AWZI. Deze afvalwaterstroom betreft 46 procent van het aantal bedrijven en 63 procent van de totale emissie aan nikkel van de bedrijven in de registratie (figuur 4.6.12).

Figuur 4.6.12 Procentuele verdeling van emissiestromen van nikkel in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.6.13 Gehalte aan nikkel in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de bedrijfstak afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012

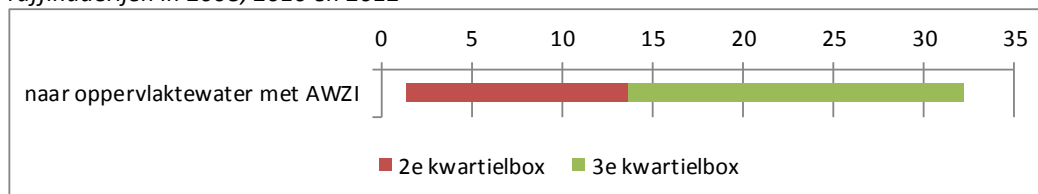


De nikkelemissie betreft vooral bedrijven die onschadelijk afval behandelen (SBI 38.21).

Raffinaderijen

De bedrijfspgroep raffinaderijen kenmerkt zich door een vrij hoog gehalte aan nikkel wat op het oppervlaktewater wordt geloosd (figuur 4.6.14). Alle bedrijven hebben een eigen AWZI.

Figuur 4.6.14 Gehalte aan nikkel in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in raffinaderijen in 2008, 2010 en 2012



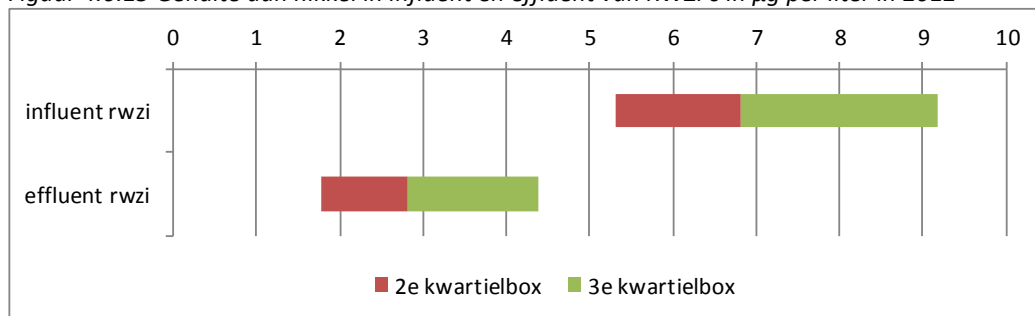
4.6.3 Nikkel in slib

Bij RWZI's

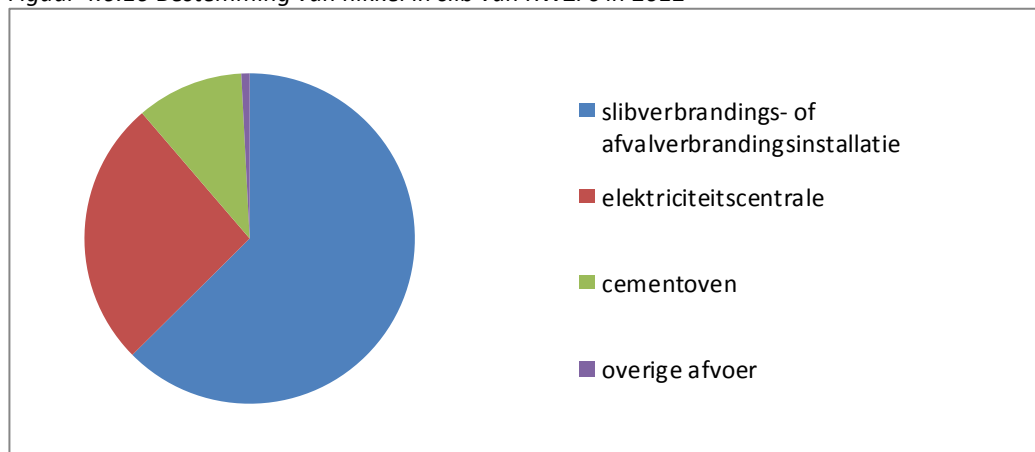
De rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) zuiveren het afvalwater van huishoudens, bedrijven e.d. dat via het openbaar riool wordt aangevoerd. Het influent bestaat voor gemiddeld $8,2 \mu\text{g Ni}$ per liter; in totaal 18,6 ton nikkel in 2012. Na zuivering is het gehalte lager met gemiddeld $3,5 \mu\text{g}$ per liter in het effluent (zie figuur 4.6.15). Het zuiveringsrendement bedraagt daarmee 57

procent. De rest komt terecht in het zuiveringsslib. Door onnauwkeurigheden in de metingen komt de hoeveelheid in het influent niet exact overeen met die in het effluent plus slib. Het slib van de RWZI's bevat in 2012 10,0 ton nikkel. Bijna twee derde van het nikkel in het slib belandt in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie (figuur 4.6.16). De resterende hoeveelheid wordt ook verbrand maar dan in cementovens of elektriciteitscentrales.

Figuur 4.6.15 Gehalte aan nikkel in influent en effluent van RWZI's in µg per liter in 2012



Figuur 4.6.16 Bestemming van nikkel in slib van RWZI's in 2012

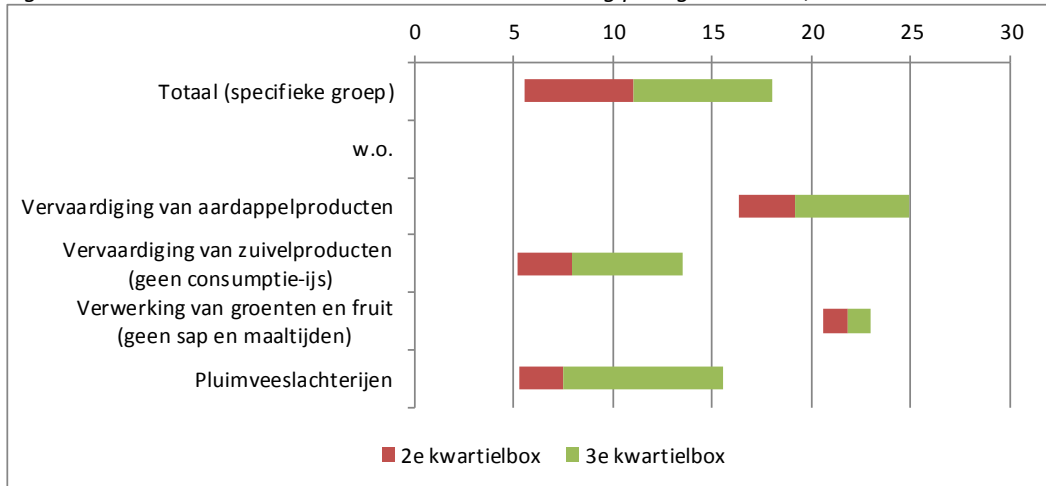


Bij AWZI's

Van 44 bedrijven in de slibregistratie zijn waarnemingen over gehalten aan stoffen in het slib bekend. Het is een enigszins specifieke groep, want het zijn bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie met een eigen AWZI die voor een groot deel hun slib afzetten in de landbouw. In totaal zijn er 218 waarnemingen over zink in 2008, 2010 en 2012. De AWZI's halen een groot deel van het nikkel uit het afvalwater. Van de hoeveelheid nikkel na zuivering zit circa 90 procent in het slib en 10 procent in het effluent. Dit resultaat is wel opmerkelijk. Bij RWZI's worden slechts rendementen gehaald tot maximaal 60 procent. Het is mogelijk dat de industriële AWZI's gebruikmaken van aanvullende waterzuiveringstechnieken waardoor de verwijdering van nikkel hoger wordt en er meer in het slib terecht komt.

Het gemiddelde gehalte aan nikkel in het zuiveringsslib van deze specifieke groep bedrijven bedraagt 13 mg per kg droge stof. De gehalten aan nikkel in het slib verschillen behoorlijk tussen bedrijfstakken en ook binnen een bedrijfstak. De bedrijfstak verwerking van groenten en fruit laat in figuur 4.6.17 de hoogste gehalten aan nikkel in het slib zien.

Figuur 4.6.17 Gehalte aan nikkel in slib van AWZI's in mg per kg ds in 2008, 2010 en 2012



Van 21 bedrijven in de mini-enquête zijn 51 waarnemingen bekend over het zinkgehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 3 en 158 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 23 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). Dit gemiddelde is beduidend hoger dan die van de bedrijven in de slibregistratie. Hoge gehalten zijn aangetroffen in de bedrijfspgroep vervaardiging basischemicaliën. Het aantal bedrijven is te beperkt om de gehalten per bedrijfspgroep weer te geven.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 5,3 ton nikkel. In de verbrandingsas zit 4,4 ton nikkel (83 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 5,6 ton nikkel in het slib en 4,9 ton nikkel in de as (88 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan nikkel in het slib bedraagt 31 mg/kg ds en in de as 84 mg/kg ds. Dit zijn de gewogen gemiddelde gehalten over 2012, 2013 en 2014.

4.6.4 Samenvatting nikkel

De consumenten zijn de belangrijkste emissiebron van nikkel in het afvalwater. Belangrijke industriële emissiebronnen zijn de basischemicaliënindustrie, de metaalproductenindustrie, de afvalbehandeling en raffinaderijen. Hoge gehalten aan nikkel in het afvalwater zijn aangetroffen in de metaalproductenindustrie en bij de bedrijven die voorbereiden tot recycling.

Relatief hoge gehalten in het slib zijn aangetroffen bij bedrijven met een eigen AWZI die basischemicaliën vervaardigen, die groente en fruit verwerken en bedrijven die aardappelproducten vervaardigen.

4.7 Antimoon

4.7.1 Kenmerken antimoon

Antimoon, ook antimonium of stibium geheten, is een zilvergrijs broos metalloïde (semi-metaal). Het is een scheikundig element met symbool Sb⁴⁵.

Verschijningsvorm

In vrije vorm komt antimoon in de natuur niet voor. Er zijn echter wel ruim honderd antimoon bevattende mineralen bekend. Antimoon wordt meestal gewonnen uit de ertsen stribniet (Sb₂S₃) en valentniet (Sb₂O₃). China is met een aandeel van circa 75 procent de grootste producent van antimoon ter wereld. In 2010 heeft de Chinese regering veel illegale mijnen gesloten vanwege onveilige werksituaties en om milieuvervuiling tegen te gaan (een derde van de productiecapaciteit). Mede hierdoor verdubbelde de prijs van antimoon op de wereldmarkt (figuur 4.7.1). Andere belangrijke producenten zijn Turkije, Tadzjikistan, Rusland en Bolivia.

Tabel 4.7.1 De wereldproductie en Nederlandse invoer en uitvoer van antimoon

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
	<i>miljoen kg</i>					
Mijnbouw ¹	162	156	.	.	.	.
Metaal antimoon	.	.	0,6	0,7	0,5	0,4
Oxiden	.	.	18,3	16,0	0,2	0,2

1) Antimoongehalte in erts; inclusief antimoon uit antimoon-lood legeringen.

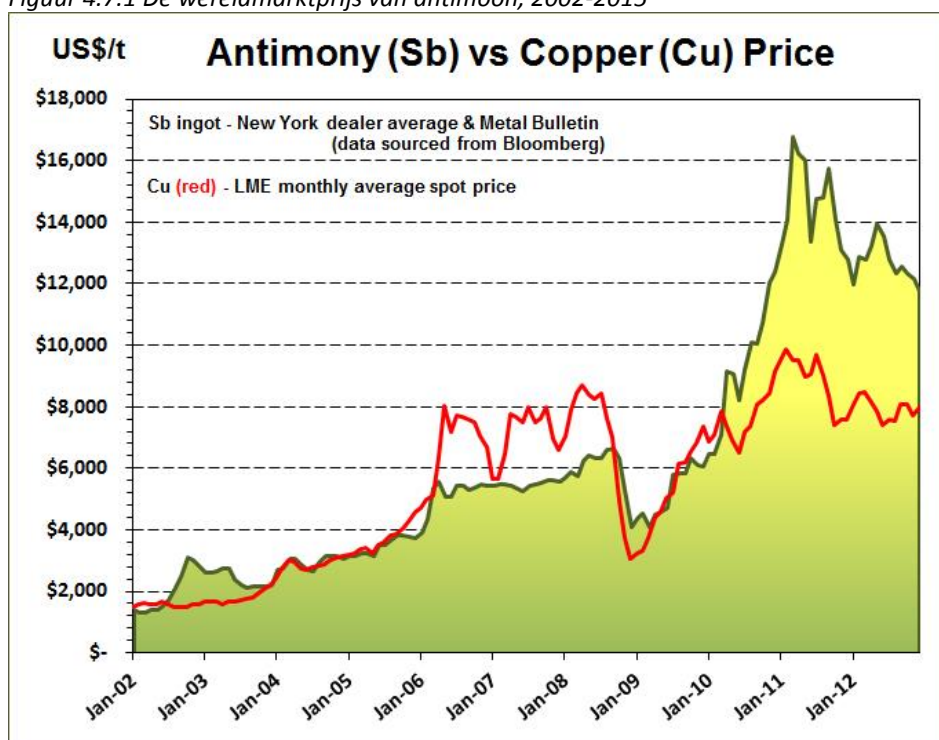
Bron: British Geological Survey.

Waarde

De wereldmarktprijs van antimoon was tot 2006 vrijwel gelijk aan die van koper (figuur 4.7.1). Na de verdubbeling van de prijs in 2010 door een kleiner aanbod uit China, neemt de prijs af. China domineert de markt en hierdoor is het aanbodrisico groot.

⁴⁵ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Antimoon>

Figuur 4.7.1 De wereldmarktprijs van antimoon, 2002-2015



Bron: Artemis Resources⁴⁶.

Toepassingen

Antimoon wordt veel gebruikt als brandvertrager in kunststoffen en textiel en als pigment voor verf, lak, kunststof, glas en glazuur. In de halfgeleiderindustrie wordt antimoon gebruikt bij de productie van dioden, infrarood detectors en hallsensoren. In legeringen levert antimoon een grote bijdrage in de hardheid en sterkte van lood (accu's) en tin. Antimoon legeringen worden gebruikt in batterijen, metalen met lage wrijving, kabelbescherming en andere producten. Antimoon is een katalysator bij de productie van PET-flessen⁴⁷.

Hergebruik antimoon

Over hergebruik van antimoon uit afvalwater en slib is weinig tot niets bekend.

4.7.2 Antimoon in afvalwater

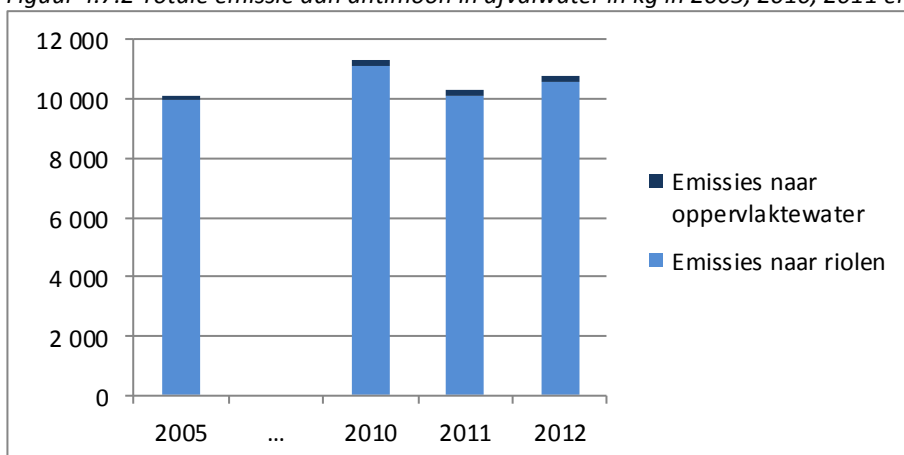
Totale emissie aan antimoon

De totale emissie aan antimoon in Nederland in afvalwater bedroeg circa 11 ton in 2012, waarvan 98 procent op het riool geloosd is. Veruit de belangrijkste bron is een diffuse: het afsteken van consumentenvuurwerk. Siervuurwerk bevat veel zware metalen om daarmee de kleureffecten te genereren. Antimoon zorgt voor de kleur- en rookeffecten. Een tweede belangrijke diffuse bron is de slijtage van remvoeringen in voertuigen (doelgroep verkeer & vervoer). Puntlozingen van antimoon op riool en oppervlaktewater komen voornamelijk voor bij de bedrijfstakken afvalbehandeling en de chemische industrie. De emissies via afsteken van vuurwerk (consumenten) en het verkeer & vervoer komen vrijwel volledig in het riool terecht. De chemische industrie loost het antimoon in het afvalwater vooral op het oppervlaktewater. Zie de volgende drie figuren.

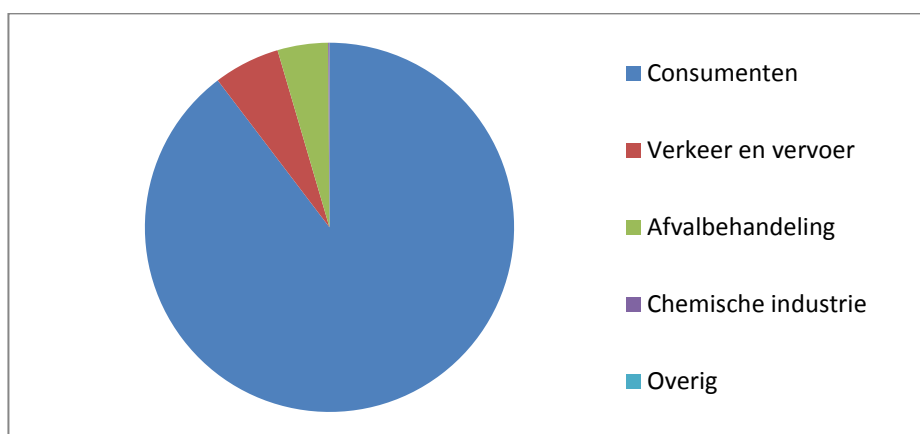
⁴⁶ <http://artemisresources.com.au/projects/eastern-hills-antimony-project/antimony-prices-and-market/>

⁴⁷ <http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/sb.htm#ixzz3tAbcKxyu>

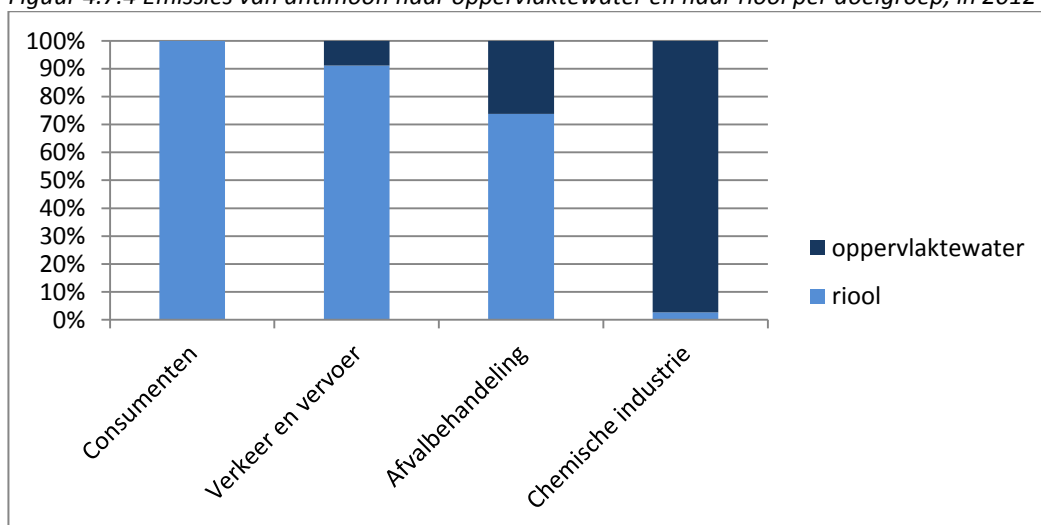
Figuur 4.7.2 Totale emissie aan antimoon in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



Figuur 4.7.3 Totale emissie aan antimoon in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.7.4 Emissies van antimoon naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



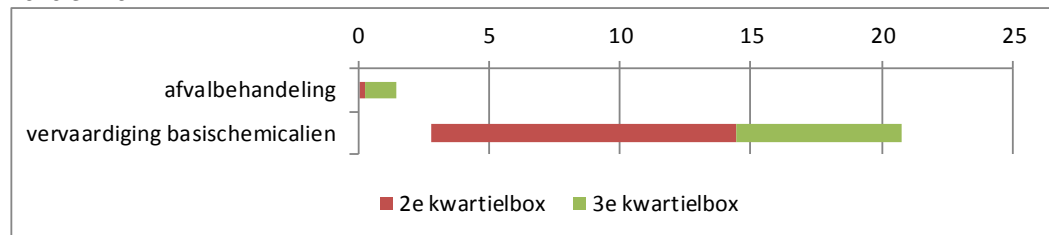
Gehaltes aan antimoon in afvalwater bij industriële bedrijven

Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 5 procent maar een klein aandeel in de emissie van antimoon in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.7.5 een beeld van de gehaltes aan antimoon in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehaltes tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehaltes van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehaltes bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor antimoon geen drempelwaarde. In 2012 is circa 5 procent van de totale emissie aan antimoon waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 9 bedrijven in de Emissieregistratie bekend met een emissie aan antimoon (tabel 4.7.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 28 waarnemingen over de emissie van antimoon in afvalwater bekend. Deze gegevens zijn afkomstig van 11 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.7.3).

Figuur 4.7.5 Gehalte aan antimoon in afvalwater in μg (microgram) per liter (alle stromen) voor de industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan antimoon in 2008, 2010 en 2012



Het gehalte aan antimoon in het afvalwater is hoog in de vervaardiging van basischemicaliën. In deze bedrijfstak loost de helft van de bedrijven in de registratie 3 tot 21 μg Sb per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 14 μg Sb per liter en het gemiddelde ligt op 15 μg Sb per liter afvalwater. In de afvalbehandeling is de gemiddelde emissie hoger met 150 μg Sb per liter, maar wordt dit veroorzaakt door één of enkele bedrijven met een hoge emissie. In de afvalbehandeling loost de helft van de bedrijven in de registratie 0,1 tot 1,4 μg Sb per liter. De bedrijfstakgroep afvalbehandeling is nader beschreven voor zover er voldoende waarnemingen zijn.

In tabel 4.7.2 staan het aantal industriële bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van antimoon in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehaltes is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.7.3.

Tabel 4.7.2 Waarnemingen van antimoonemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Emissies in afvalwater		
		Totaal	w.v.	
			Waargenomen	Geschat
<i>aantal</i>	<i>kg</i>	<i>%</i>		
Totaal industrie ¹	9	489	100	0
w.o.				
Afvalbehandeling	4	477	100	0

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.7.3 Waarnemingen van antimoongehaltenes in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

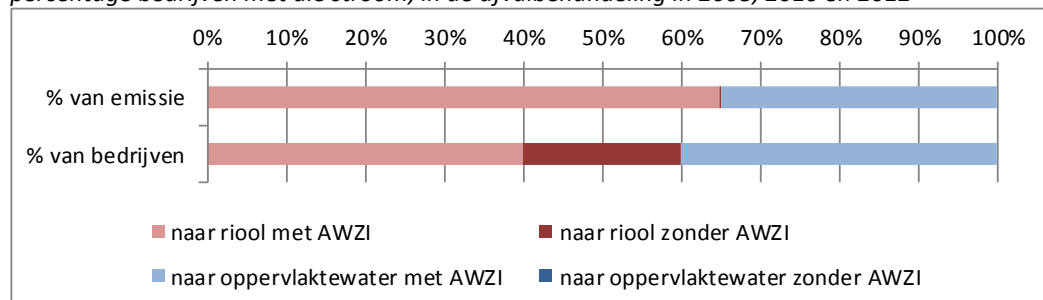
	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden	Gehaltes in afvalwater			
			Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
			<i>aantal</i>	<i>µg/liter</i>		
Totaal industrie ¹	11	28	0,05	1,64	16,72	>Q3
w.o.						
Afvalbehandeling	4	12	0,05	0,28	1,43	>Q3

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

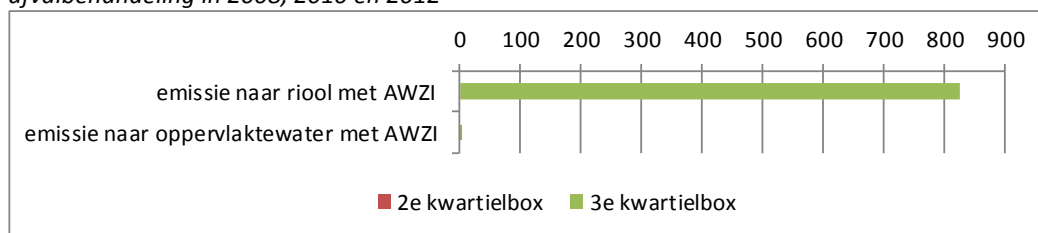
Afvalbehandeling

Met een emissie-aandeel van 4 procent (477 kg Sb) in 2012 heeft de afvalbehandeling van alle industriële bedrijfstakken de hoogste antimoonemissie in water. In de Emissieregistratie is in 2012 is de emissie in de bedrijfstak afvalbehandeling volledig waargenomen (bij 4 bedrijven). De hierna volgende analyses zijn gebaseerd op deze waarnemingen en die in 2008 en 2010. In figuur 4.7.7 is te zien dat het gehalte aan antimoon in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met een eigen AWZI die lozen naar het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 40 procent van het aantal bedrijven en 65 procent van de totale emissie aan antimoon van de bedrijven in de registratie (figuur 4.7.6).

Figuur 4.7.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van antimoon in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.7.7 Gehalte aan antimoon in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



4.7.3 Antimoon in slib

Van 7 bedrijven in de mini-enquête zijn 11 waarnemingen bekend over het antimoongehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 0 en 18 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 5 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). De waarnemingen zijn van bedrijven in de chemische industrie en de papierindustrie.

In de slibregistratie zijn geen gegevens bekend over antimoon.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 1 100 kg antimoon. In de verbrandingsas zit 950 kg antimoon (86 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 1 010 kg antimoon in het slib en 860 kg antimoon in de as (85 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan antimoon in de as bedraagt 14 mg per kg ds. Dit is het gewogen gemiddelde gehalte over 2012, 2013 en 2014. Het gehalte in het inkomende slib is onbekend.

4.7.4 Samenvatting antimoon

Consumenten zijn door het afsteken van vuurwerk verreweg de belangrijkste emissiebron van antimoon in het afvalwater, gevolgd door verkeer & vervoer en de afvalbehandeling. Relatief hoge gehalten aan antimoon in het afvalwater zijn aangetroffen bij bedrijven die afval behandelen.

4.8 Mangaan

4.8.1 Kenmerken mangaan

Mangaan is een zilverkleurig broos overgangsmetaal. Het is een scheikundig element met symbool Mn⁴⁸.

Versrijningsvorm

Mangaan komt op veel plaatsen in de aardkorst voor in de vorm van mangaanmineralen bestaande uit oxiden, silicaten en carbonaten. Het meeste mangaan wordt verkregen uit ertsen in Zuid-Afrika, China, Australië, Gabon, Brazilië en India. Er zijn grote reserves in Zuid-Afrika, Oekraïne en Australië. Op de bodem van de oceanen worden veel mangaanknollen aangetroffen, maar de winning hiervan is niet aantrekkelijk.

⁴⁸ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Mangaan>

Tabel 4.8.1 De wereldproductie en Nederlandse invoer en uitvoer van mangaan

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013
<i>miljoen kg</i>						
Mijnbouw ¹	48 600	52 800	.	.	.	.
Metaal mangaan	.	.	40,1	30,7	30	27
Erts en concentraten	.	.	66,3	38,1	27,2	3,1

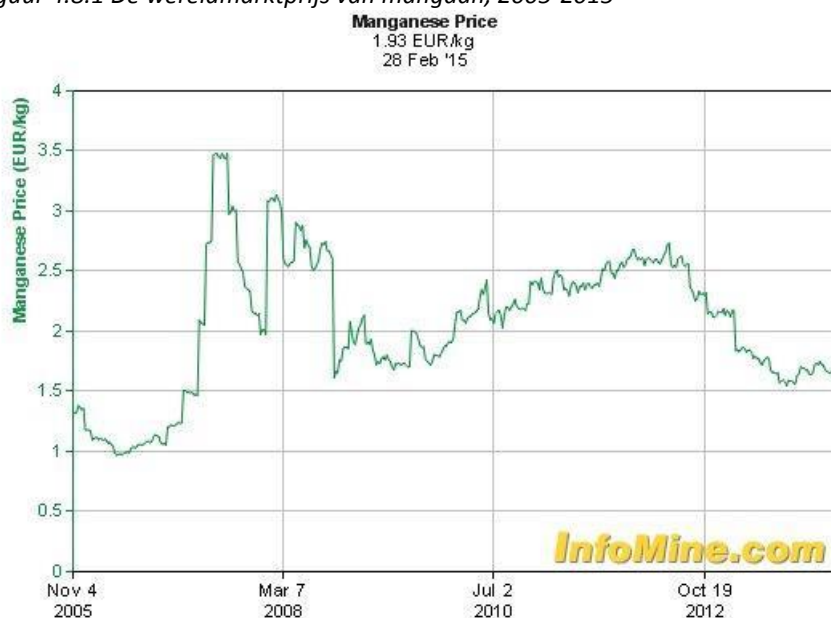
1) Mangaanerts.

Bron: British Geological Survey.

Waarde

Figuur 4.8.1 geeft de ontwikkeling van de wereldmarktprijs van mangaan weer⁴⁹. Op 31 december 2014 kostte een kilogram mangaan 1,84 euro. In januari 2008 was de prijs nog boven de 3 euro.

Figuur 4.8.1 De wereldmarktprijs van mangaan, 2005-2015



Toepassingen

Mangaan wordt voornamelijk gebruikt als additief in de staalproductie. Het wordt toegevoegd aan gesmolten staal om zuurstof en zwavel te verwijderen en vormt een legering met staal, zodat dit makkelijker in vorm te buigen is. Verder verstevigt mangaan het staal en maakt het staal beter bestand tegen corrosie. Er is geen ander metaal met dezelfde eigenschappen als mangaan.

Mangaan is ook een belangrijk sporenelement voor de vorming van botweefsel en de stofwisseling.

Andere toepassingen van mangaan zijn:

- in batterijen wordt mangaan(IV)oxide gebruikt;

⁴⁹ <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/manganese/all/>

- in de vorm van kaliumpermanganaat als reagens; oxidator en katalysator in de organische chemie;
- op kleine schaal voor de kleuring van glas; mangaan geeft glas een paarse kleur;
- in allerlei legeringen, zoals in mangaanstaal.

Hergebruik mangaan

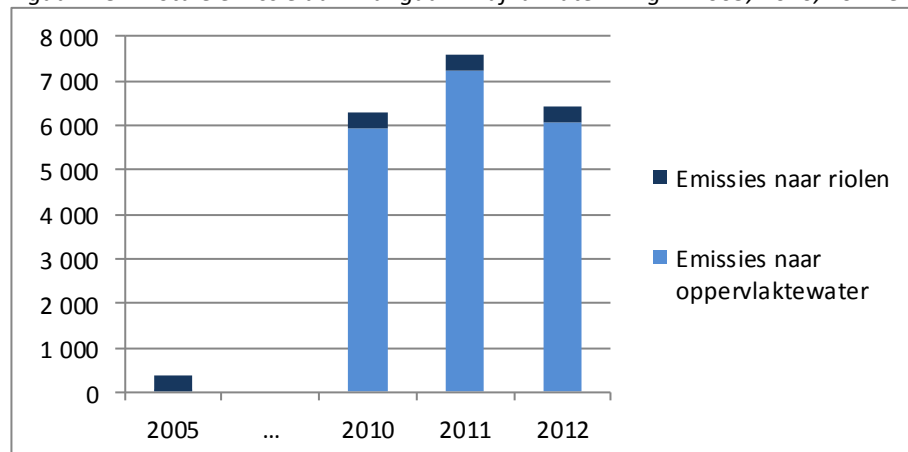
Over hergebruik van mangaan uit afvalwater of slib is weinig tot niets bekend.

4.8.2 Mangaan in afvalwater

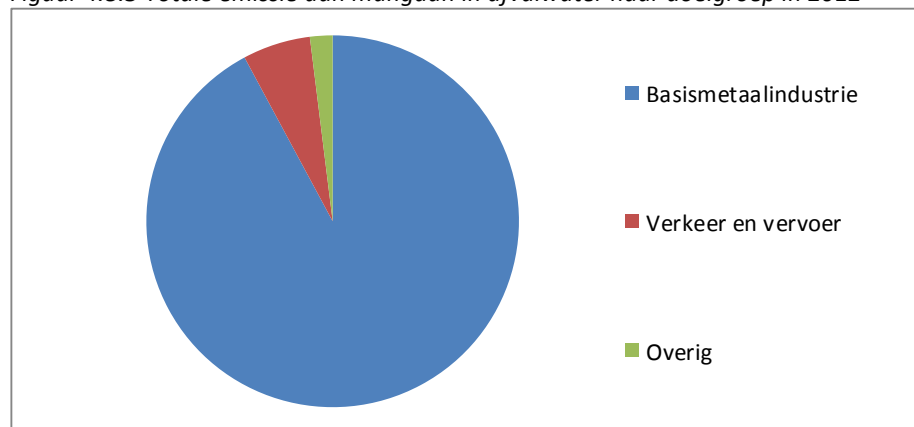
Totale emissie aan mangaan

De totale emissie aan mangaan in Nederland in afvalwater bedroeg circa 6,4 ton in 2012, waarvan 95 procent op het oppervlaktewater geloosd is. Verreweg de grootste emissiebron is de basismetaalindustrie, gevolgd door de bron slijtage van remvoeringen bij voertuigen (verkeer & vervoer). De basismetaalindustrie loost het mangaan vrijwel geheel op het oppervlaktewater, terwijl de emissies via remslijtage voor het grootste gedeelte op het riool terechtkomen. Zie de volgende drie figuren.

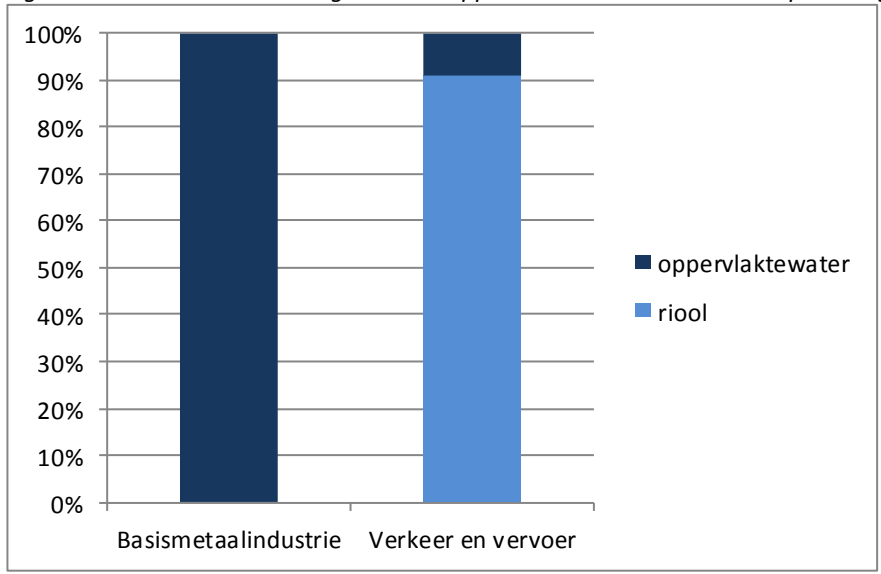
Figuur 4.8.2 Totale emissie aan mangaan in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



Figuur 4.8.3 Totale emissie aan mangaan in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.8.4 Emissies van mangaan naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



Gehalte aan mangaan in afvalwater bij industriële bedrijven

Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 94 procent het grootste aandeel in de emissie van mangaan in afvalwater.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor mangaan geen drempelwaarde.

In 2012 is circa 94 procent (6 043 kg Mn) van de totale emissie aan mangaan waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 6 bedrijven in de Emissieregistratie bekend met een emissie aan mangaan. Over 2008, 2010 en 2012 zijn 14 waarnemingen over de emissie van mangaan in afvalwater bekend. Deze gegevens zijn afkomstig van 7 verschillende industriële bedrijven.

Tabel 4.8.2 Waarnemingen van mangaanemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

Bedrijven in Emissie- registratie	Emissies in afvalwater			
	Totaal	w.v.		
		Waargenomen	Geschat	
<i>aantal</i>	<i>kg</i>	<i>%</i>		
Totaal industrie ¹	6	6 043	100	0

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.8.3 Waarnemingen van antimoongehalten in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden	Gehaltes in afvalwater			
			Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>		<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	7	14	0,2	5,2	1680,9	Q2-Q3

1.) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

4.8.3 Mangaan in slib

Van 6 bedrijven in de mini-enquête zijn 12 waarnemingen bekend over het mangaangehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 50 en 735 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 212 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). De waarnemingen zijn van bedrijven in de papierindustrie en de chemische industrie.

In de slibregistratie zijn geen gegevens bekend over antimoon.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 50,8 ton mangaan. In de verbrandingsas zit 46,0 ton mangaan (91 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 57,1 ton mangaan in het slib en 51,6 ton mangaan in de as (90 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan mangaan in de as bedraagt 2,3 gram per kg ds. Dit is het gewogen gemiddelde gehalte over 2012, 2013 en 2014. Het gehalte in het inkomende slib is onbekend.

4.8.4 Samenvatting mangaan

De basismetalaalindustrie is verreweg de belangrijkste emissiebron van mangaan in het afvalwater. In de as van slibverbranders worden ook hoge gehalten aan mangaan aangetroffen.

4.9 Chroom

4.9.1 Kenmerken chroom

Chroom is een zilverkleurig overgangsmetaal met symbool Cr⁵⁰.

Versijningsvorm

De belangrijkste bron van chroom is het mineraal chromiet dat voornamelijk in Zuid-Afrika, Kazachstan, India en Turkije wordt gedolven. In 2000 werd er jaarlijks ongeveer 15 miljoen ton chromiet uit de grond gehaald, dat ongeveer 4 miljoen ton metallisch chroom oplevert. Soms

⁵⁰ [https://nl.wikipedia.org/wiki/Chroom_\(element\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Chroom_(element))

wordt metallisch chroom in de aardbodem aangetroffen. De wereldvoorraad kan naar schatting nog eeuwen aan de vraag voldoen⁵¹.

Chroom wordt voornamelijk gewonnen door chromiet in aanwezigheid van aluminium of silicium te verhitten. Door de reductie met aluminium ontstaat ferrochroom. Circa 90 procent van het chroom wordt als ferrochroom gewonnen⁵². Vervolgens kan door middel van bijvoorbeeld elektrolyse zuiver chroom worden verkregen.

Van nature komen chroomverbindingen, die moeilijk en soms zelfs niet oplosbaar zijn in water, slechts in kleine hoeveelheden voor in het water⁵³. Chroom vervult een onmisbare functie in het menselijk lichaam, onder meer in de koolhydraat- en vetstofwisseling.

Tabel 4.9.1 De wereldproductie en Nederlandse invoer en uitvoer van chroom

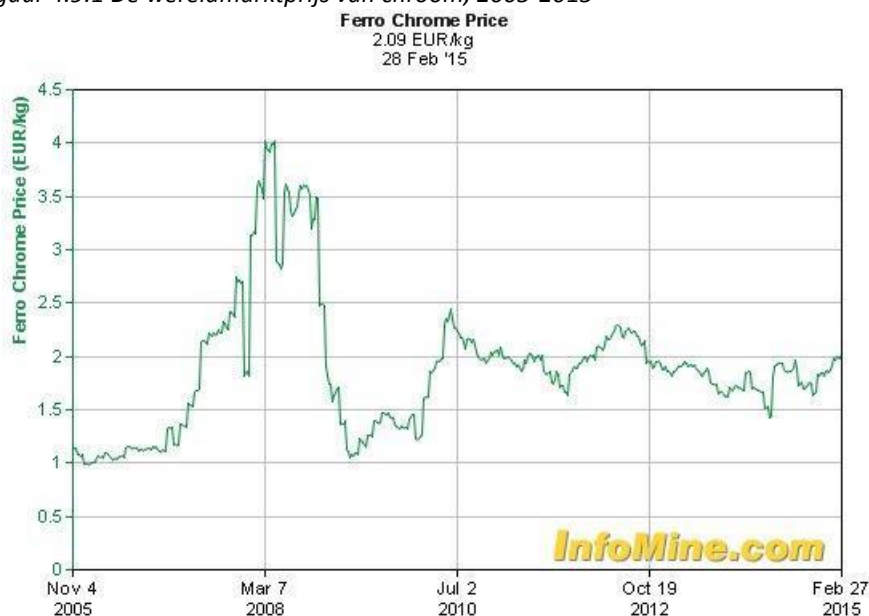
	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013
<i>miljoen kg</i>						
Ertsen en concentraten	25 700	28 800	180,7	150,9	157,0	175,7
Metaal chroom	.	.	0,5	0,5	0,3	0,6

Bron: British Geological Survey.

Waarde chroom

De prijs van puur chroom is niet bekend op InfoMine. Als indicatie voor de waarde van chroom is de prijsontwikkeling van ferrochroom weergegeven (figuur 4.9.1). De prijs van ferrochroom fluctueert sterk en bedroeg 2,00 euro per kilogram op 31 december 2014.

Figuur 4.9.1 De wereldmarktprijs van chroom, 2005-2015



⁵¹ <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf>

⁵² <http://www.merferesources.co.za/bus-perating-context.php#.VngXkDqYZaR>

⁵³ <http://www.lenntech.nl/periodiek/water/chroom/chroom-en-water.htm#ixzz3SIOZCmDk>

Toepassingen

Chroom is een hard, corrosie/zuurstof resistent en zeer hittebestendig metaal. Daarom wordt chroom ook vaak als beschermende laag gebruikt op andere metalen. Chroom wordt onder meer toegepast als vuurvast materiaal (bekleding ovens) en aan staal toegevoegd om het harder te maken en roestvrij staal te creëren. 60 procent van het ferrochroom wordt voor het laatstgenoemde doel ingezet⁵⁴.

Verder kan chroom vele verschillende verbindingen aangaan en kent het hierdoor een verscheidenheid aan industriële toepassingen. Bijvoorbeeld als pigment in verf, als kleurstof in de glasindustrie, als beits, als mal bij het produceren van vuurvaste bakstenen, als katalysator van chemische reacties en voor het looien van leer⁵⁵.

Hergebruik chroom

Er zijn enkele onderzoeken uitgevoerd naar het herwinnen van chroom en dan in het bijzonder uit afvalwater van de leerindustrie. In looierijen in Duitsland, Portugal en Italië wordt chroomsulfaat terug gewonnen uit het afvalwater via de techniek van neerslaan en afscheiding. Hierdoor kan 20 tot 35 procent van de chroominput vervangen worden door teruggewonnen chroom. Bepaalde soorten leer (bijvoorbeeld split) kunnen worden gelooid met 100 procent gerecycled chroom⁵⁶.

In een haalbaarheidsonderzoek (1992) naar het terugwinnen van chroom in afvalwater door middel van pertractie bleek dat de kosten van het zuurverbruik alleen al hoger waren dan de kosten van het verwerken van chroomhoudend afvalwater. Pertractie werd alleen zinvol gevonden indien een extractant gevonden wordt die onder minder extreme condities (minder zuur) het chroom bij het strippen weer loslaat⁵⁷.

4.9.2 Chroom in afvalwater

Totale emissie aan chroom

De totale emissie aan chroom in Nederland in afvalwater bedroeg circa 6,3 ton in 2012, waarvan 83 procent op het riool geloosd is. In vergelijking met 2005 is de emissie in afvalwater gehalveerd. Consumenten lozen het meeste chroom door corrosie van leidingen⁵⁸ en roestvaststaal (RVS). In de industrie komt chroom vrij via corrosie van RVS procesinstallaties en het gebruik van chroom als katalysator in reinigingsmiddelen. De meeste emissies komen vrij bij de bedrijfstakken vervaardiging basischemicaliën, metaalproductenindustrie en voedings- en genotmiddelenindustrie. Voorts komt ook chroom vrij bij de doelgroep verkeer & vervoer (slijtage remvoeringen en banden) en bij de afvalbehandeling. De bedrijfstak vervaardiging basischemicaliën loost vooral chroom op het oppervlaktewater, terwijl de metaalproductenindustrie en voedings- en genotmiddelenindustrie afvalwater op het riool lozen. Een andere belangrijke bron voor aanvoer op riool is atmosferische depositie op verhard oppervlak, maar dit is niet in de onderstaande figuren opgenomen. Zie de volgende drie figuren.

⁵⁴ <http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/h069-Chroom.pdf>

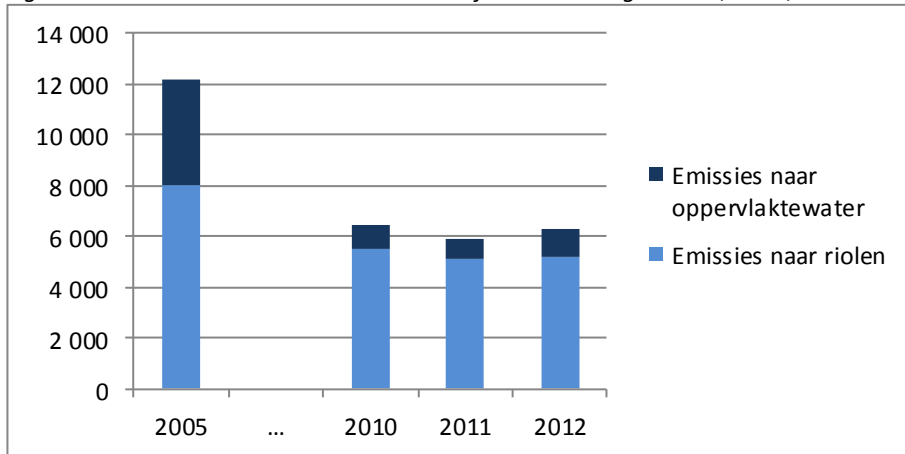
⁵⁵ <http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/cr.htm#ixzz3RvSuXApF>

⁵⁶ http://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/pages/migrated/BREF_tanneries_samenvatting.pdf

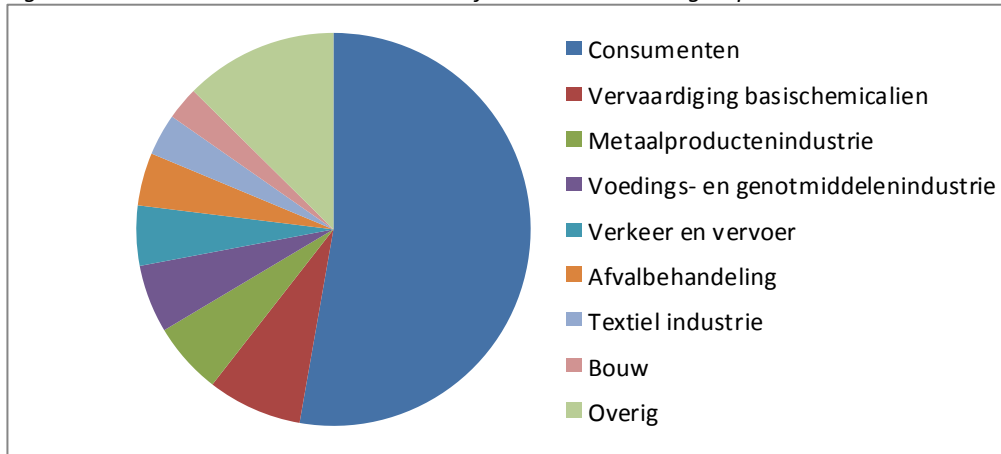
⁵⁷ RIZA 1995. Een samenvattende rapportage van de watergerelateerde projecten uit de Stimuleringsregeling Milieutechnologie van 1992 tot 1994.

⁵⁸ Wortmann, E., Nieuwe sanitatie Westland, STOWA, 2010-10

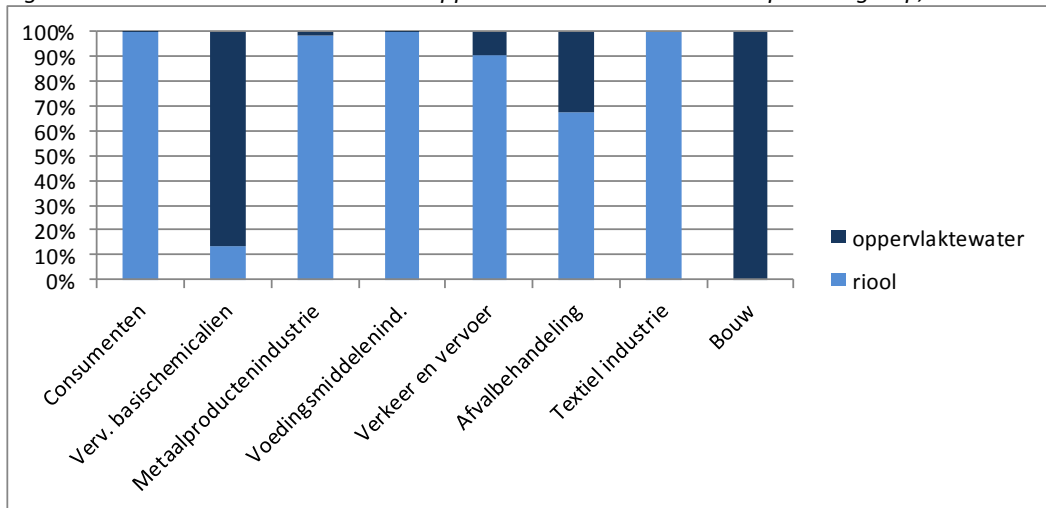
Figuur 4.9.2 Totale emissie aan chroom in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



Figuur 4.9.3 Totale emissie aan chroom in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.9.4 Emissies van chroom naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



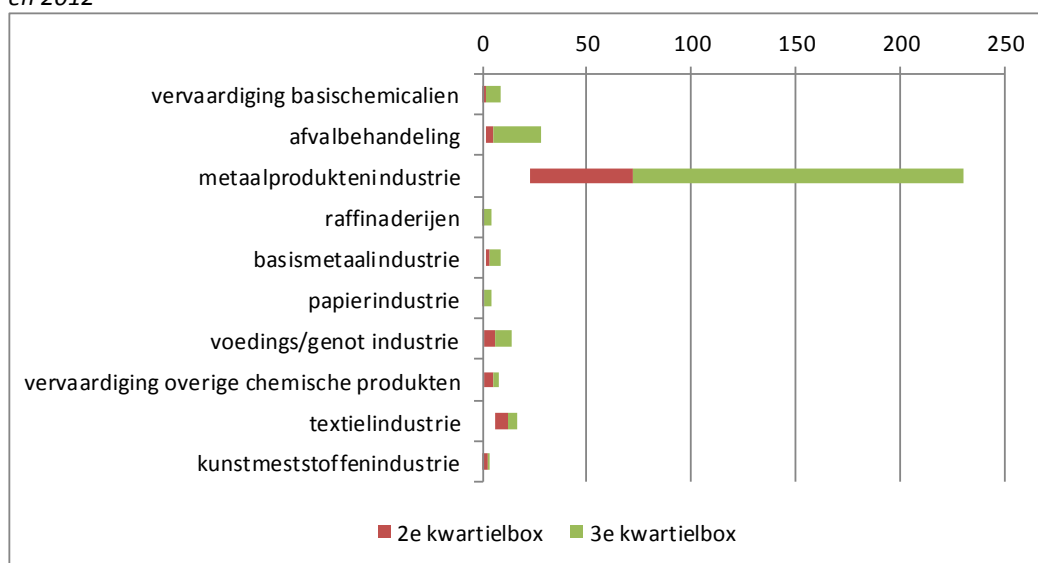
Gehalte aan chroom in afvalwater bij industriële bedrijven

Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 41 procent een redelijk groot aandeel in de emissie van chroom in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.9.5 een beeld van de gehalten aan chroom in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehalten tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehalten van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor chroom een drempelwaarde van 50 kg per jaar. In 2012 is circa 25 procent van de totale emissie aan chroom (chrom- en chrom-VI-verbindingen) waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 9 bedrijven met een emissie aan chroom boven de drempelwaarde. Naast deze bedrijven die verplicht zijn de emissie op te geven, waren er nog 136 bedrijven bekend in de Emissieregistratie met een uitstoot lager dan de drempelwaarde (tabel 4.9.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 539 waarnemingen over de emissie van chroom in afvalwater. Deze gegevens zijn afkomstig van 215 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.9.3).

Figuur 4.9.5 Gehalte aan chroom in afvalwater in μg (microgram) per liter (alle stromen) voor de 10 industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan chroom in 2008, 2010 en 2012⁵⁹



Het gehalte aan chroom in het afvalwater is relatief hoog in de bedrijfstak metaalproductenindustrie. In de metaalproductenindustrie loost de helft van de bedrijven in de registratie 23 tot 230 μg Cr per liter afvalwater. Het aanbrengen van chroomlaagjes op ijzer (verchromen) is een belangrijke activiteit binnen deze bedrijfstak. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 72 μg Cr per liter en het gemiddelde ligt op 477 μg Cr per liter afvalwater. Het gehalte aan chroom in het afvalwater verschilt dus behoorlijk tussen de bedrijven in deze bedrijfstak. Sommige andere bedrijfstakken zoals vervaardiging basischemicaliën en afvalbehandeling hebben wel een hoge emissie aan chroom, maar het gehalte aan chroom in het afvalwater is laag.

⁵⁹ De bedrijfstakken Winning van overige niet energiedragers (3^{de} plek) en Leder industrie (8^{ste} plek) zijn door te weinig waarnemingen niet weergegeven, maar behoren wel tot de top 10.

Enkele bedrijfspgroepen met een relatief hoge emissie en/of een hoog gehalte aan chroom in het afvalwater zijn nader beschreven, namelijk de vervaardiging basischemicaliën, metaalproductenindustrie en afvalbehandeling.

In tabel 4.9.2 staan het aantal industriële bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van chroom in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.9.3.

Tabel 4.9.2 Waarnemingen van chroomemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissieregistratie		Emissies in afvalwater		
	Totaal	w.v. emissie > 50 kg/jaar	Totaal	w.v. Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>		<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	145	9	2 544	61	39
w.o.					
Vervaardiging basischemicaliën	28	3	488	99	1
Metaalproductenindustrie	28	0	371	13	87
Afvalbehandeling	22	1	273	70	30

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.9.3 Waarnemingen van chroomgehalten in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie-registratie	Gerapporteerde waarden		Gehaltes in afvalwater			
		Totaal	w.v. emissie > 50 kg/jaar	Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>			<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	215	539	27	1	6	26	>Q3
w.o.							
Vervaardiging basischemicaliën	36	95	12	0	2	9	>Q3
w.o. organische basischemicaliën ²	14	24	5	2	11	23	>Q3
Metaalproductenindustrie	37	84	2	23	72	230	>Q3
Afvalbehandeling	35	85	2	2	5	28	>Q3

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

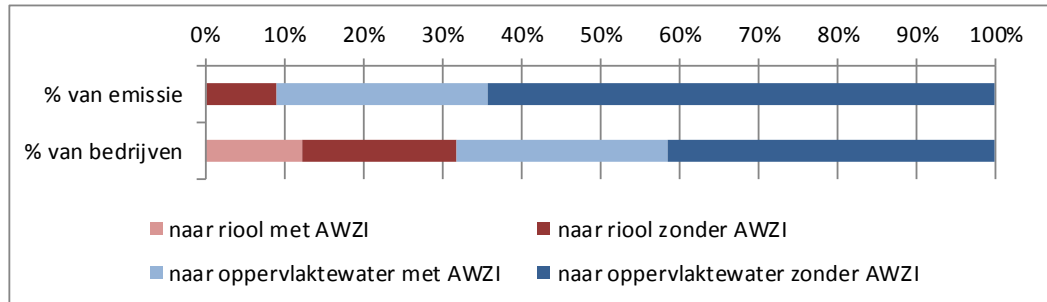
2) SBI 20.14 Vervaardiging van petrochemische producten en overige organische basischemicaliën, in 2010 en 2012.

Vervaardiging van basischemicaliën

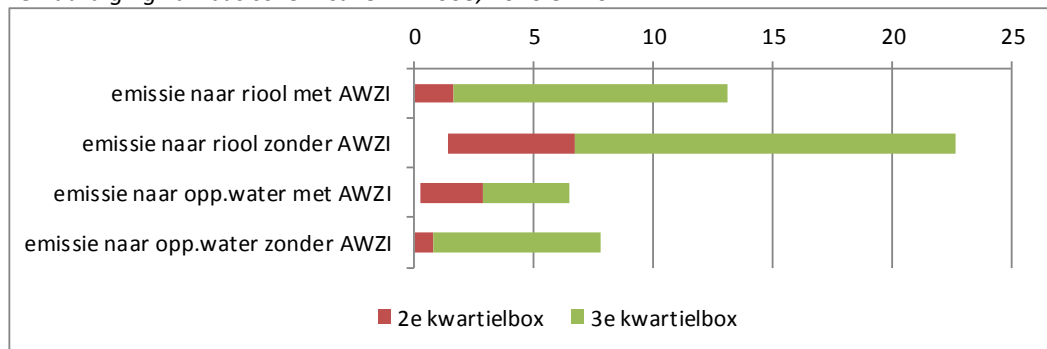
Met een emissie-aandeel van 8 procent (490 kg Cr) in 2012 is de vervaardiging van basischemicaliën de bedrijfstak met de hoogste chroomemissie in water, na de hoge emissie door huishoudens. Deze bedrijfstak heeft een laag gehalte aan chroom in het afvalwater in vergelijking met andere bedrijfstakken en het gehalte is vaak even hoog als in het influent van de RWZI's (zie volgend hoofdstuk).

In figuur 4.9.7 is te zien dat het gehalte aan chroom in afvalwater het hoogst is bij bedrijven die lozen op het riool zonder eigen AWZI. Deze afvalwaterstroom betreft 20 procent van het aantal bedrijven en 9 procent van de totale emissie aan chroom van de bedrijven in de registratie (figuur 4.9.6).

Figuur 4.9.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van chroom in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.9.7 Gehalte aan chroom in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



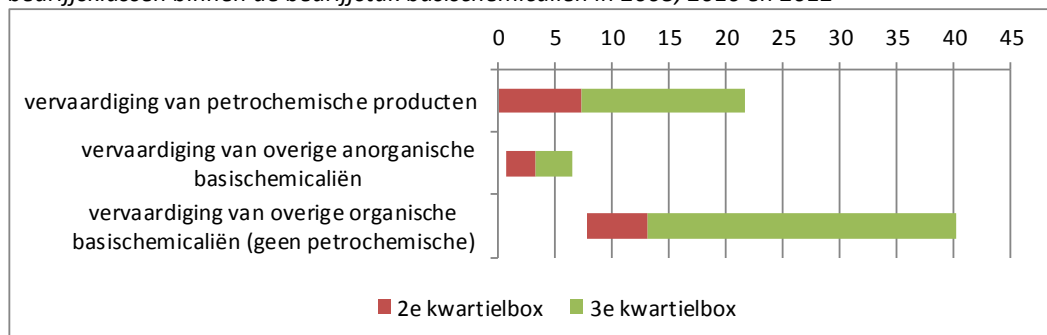
Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de vervaardiging van:

- overige anorganische basischemicaliën (SBI 20.13);
- petrochemische producten (SBI 20.14.1);
- overige organische basischemicaliën (SBI 20.14.9).

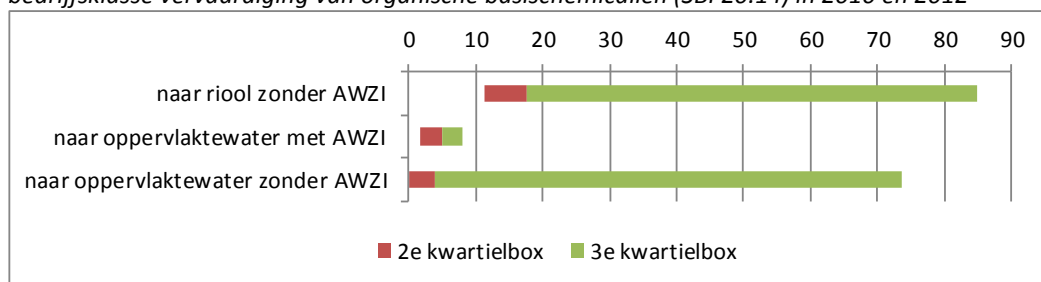
De emissies van chroom in afvalwater bij de vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën, petrochemische producten en overige organische basischemicaliën zijn in 2012 respectievelijk 179, 161 en 20 kg.

De bedrijven die organische basischemicaliën (SBI 20.14) vervaardigen, laten vooral bij lozing op het riool zonder eigen AWZI hoge gehalten aan chroom in het afvalwater zien. Zie figuren 4.9.8 en 4.9.9.

Figuur 4.9.8 Gehalte aan chroom in afvalwater in μg per liter (alle stromen) voor enkele bedrijfsklassen binnen de bedrijfstak basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.9.9 Gehalte aan chroom in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de bedrijfsklasse vervaardiging van organische basischemicaliën (SBI 20.14) in 2010 en 2012

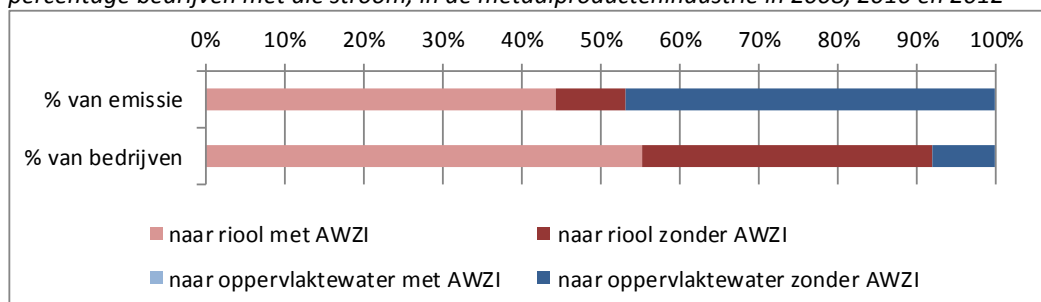


Metaalproductenindustrie

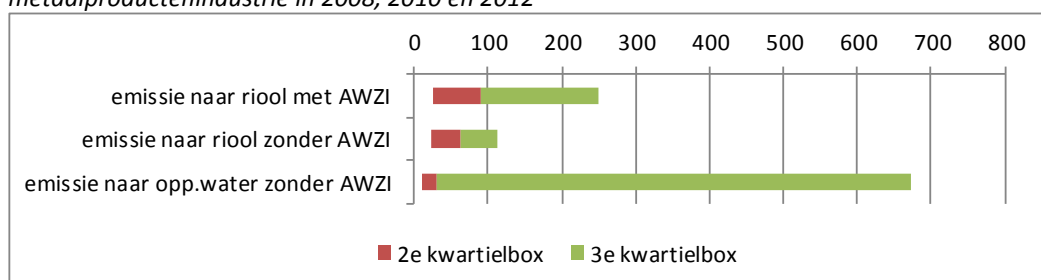
De metaalproductenindustrie en in het bijzonder de galvanische industrie (verchromen) kenmerkt zich door hoge emissiegehaltes van chroom in het afvalwater. In 2012 heeft deze bedrijfsgroep een aandeel van 6 procent (370 kg Cr) in de totale emissie van chroom in afvalwater.

In figuur 4.9.11 is te zien dat het gehalte aan chroom in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met een eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 55 procent van het aantal bedrijven en 44 procent van de totale emissie aan chroom van de bedrijven in de registratie (figuur 4.9.10).

Figuur 4.9.10 Procentuele verdeling van emissiestromen van chroom in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de metaalproductenindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.9.11 Gehalte aan chroom in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de metaalproductenindustrie in 2008, 2010 en 2012



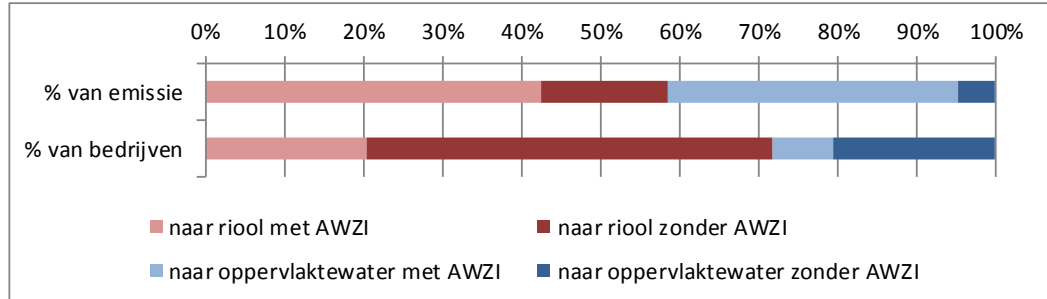
Afvalbehandeling

Bij de afvalbehandelingsbedrijven komen vrij hoge emissiegehaltes van chroom in het afvalwater voor. In 2012 heeft deze bedrijfsgroep een aandeel van 4 procent (270 kg Cr) in de totale emissie van chroom in afvalwater.

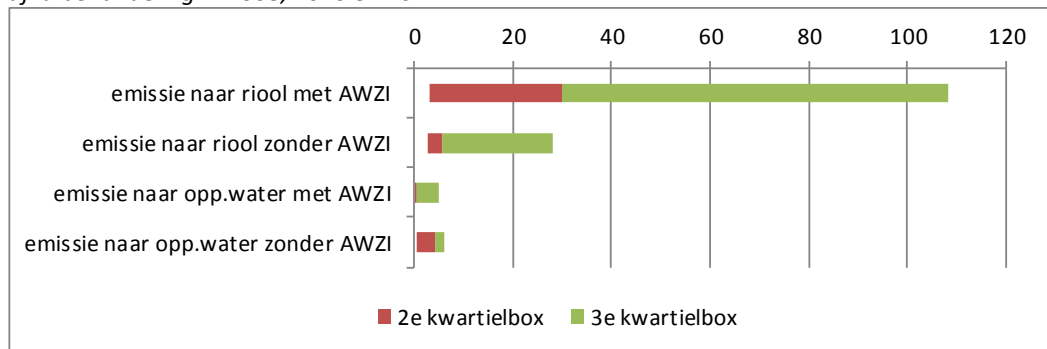
In figuur 4.9.13 is te zien dat het gehalte aan chroom in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met een eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 21 procent van het

aantal bedrijven en 42 procent van de totale emissie aan chroom van de bedrijven in de registratie (figuur 4.9.12).

Figuur 4.9.12 Procentuele verdeling van emissiestromen van chroom in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de bedrijfstak afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.9.13 Gehalte aan chroom in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012

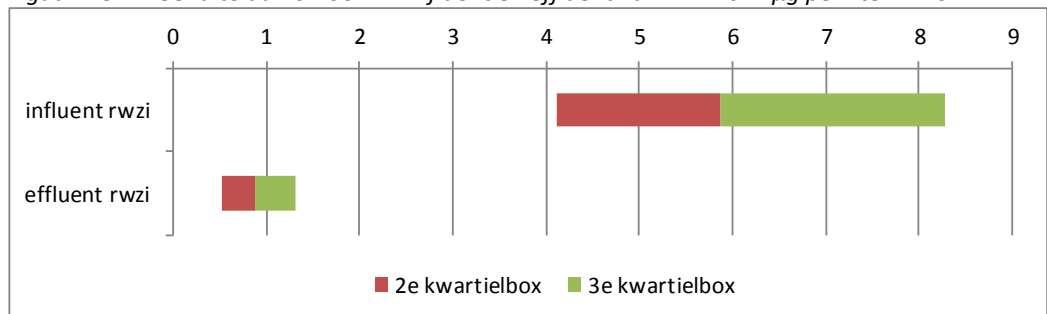


4.9.3 Chroom in slib

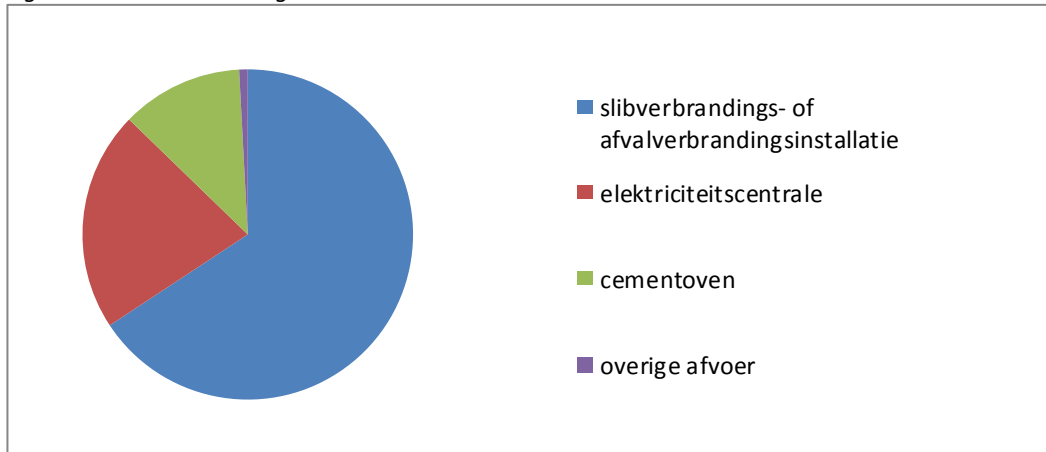
Bij RWZI's

De rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) zuiveren het afvalwater van huishoudens, bedrijven en ander afvalwater dat via het openbaar riool wordt aangevoerd. Het gemiddelde gehalte in het influent is $7,2 \mu\text{g Cr}$ per liter; in totaal 15,8 ton chroom in 2012. Na zuivering is het gehalte omlaag gebracht tot gemiddeld $1,1 \mu\text{g}$ per liter in het effluent (figuur 4.9.14). Het zuiveringsrendement bedraagt daarmee 85 procent. De rest komt terecht in het zuiverings-slib. Dit slib van de RWZI's bevat in 2012 13,8 ton chroom. Twee derde van het chroom in slib belandt in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie (figuur 4.9.15). De resterende hoeveelheid wordt ook verbrand maar dan in cementovens of elektriciteitscentrales.

Figuur 4.9.14 Gehalte aan chroom in influent en effluent van RWZI's in μg per liter in 2012



Figuur 4.9.15 Bestemming chroom in slib van RWZI's in 2012

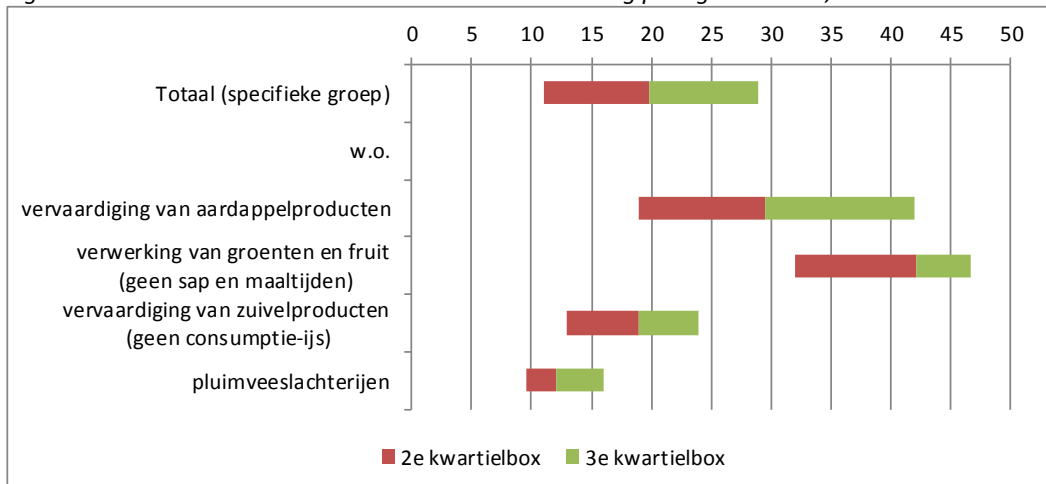


Bij AWZI's

Van 44 bedrijven in de slibregistratie zijn waarnemingen over gehalten aan chroom in het slib bekend. Het is een enigszins specifieke groep, want het zijn bedrijven in de voedingsmiddelen-industrie met een eigen AWZI die voor een groot deel hun slib afzetten in de landbouw. In totaal zijn er 218 waarnemingen over chroom in 2008, 2010 en 2012. De AWZI's halen een groot deel van het chroom uit het afvalwater. Van de hoeveelheid chroom na zuivering zit circa 97 procent in het slib en 3 procent in het effluent.

Het gemiddelde gehalte aan chroom in het zuiveringsslib van deze specifieke groep bedrijven bedraagt 24 mg per kg droge stof. De gehalten aan chroom in het slib verschillen behoorlijk tussen bedrijfstakken en ook binnen een bedrijfstak. De bedrijfstak verwerking van groenten en fruit laat in figuur 4.9.16 de hoogste gehalten aan chroom in het slib zien.

Figuur 4.9.16 Gehalte aan chroom in slib van AWZI's in mg per kg ds in 2008, 2010 en 2012



Van 21 bedrijven in de mini-enquête zijn 52 waarnemingen bekend over het chroomgehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 0 en 87 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 23 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). Dit gemiddelde is vrijwel gelijk aan die van de bedrijven in de slibregistratie. Hoge gehalten zijn aangetroffen in de bedrijfstak verwerking basischemicaliën. Het aantal bedrijven is te beperkt om de gehalten per bedrijfstak weer te geven.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 7,9 ton chroom. In de verbrandingsas zit 6,3 ton chroom (81 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 8,5 ton chroom in het slib en 7,6 ton chroom in de as (90 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan chroom in het slib bedraagt 47 mg/kg ds en in de as 130 mg/kg ds. Dit zijn de gewogen gemiddelde gehalten over 2012, 2013 en 2014.

4.9.4 Samenvatting chroom

Consumenten zijn door corrosie van leidingen en RVS de belangrijkste emissiebron van chroom in het afvalwater. Belangrijke industriële emissiebronnen zijn de basischemicaliënindustrie, de metaalproductenindustrie, de voedings- en genotmiddelenindustrie en de afvalbehandeling. Hoge gehalten aan chroom in het afvalwater zijn aangetroffen in de metaalproductenindustrie. Relatief hoge gehalten in het slib zijn aangetroffen bij bedrijven met een eigen AWZI die groente en fruit verwerken, aardappelproducten vervaardigen en bedrijven die overige organische basischemicaliën (geen petrochemische producten) vervaardigen.

4.10 Molybdeen

4.10.1 Kenmerken molybdeen

Molybdeen is een grijs overgangsmateriaal. Het is een chemisch element met symbool Mo⁶⁰.

Versrijningsvorm

Molybdeen wordt in verschillende mineralen aangetroffen, maar alleen molybdeniet is commercieel aantrekkelijk. Molybdeniet, ook wel molybdeenglans geheten, wordt als zodanig gewonnen maar komt ook vrij als bijproduct van de koperwinning. Het gehalte zuivere molybdeen in het erts varieert van 0,01 tot 0,5 procent. De belangrijkste molybdeenmijnen zijn te vinden in China, de Verenigde Staten en Chili.

⁶⁰ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Molybdeen>

Tabel 4.10.1 De wereldproductie en Nederlandse invoer en uitvoer van molybdeen

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013
	<i>miljoen kg</i>					
Mijnbouw ¹	256	270	.	.	.	.
Metaal molybdeen	.	.	0,2	0,2	0	0
Erts en concentraten	.	.	39,8	30,2	24,1	29,8
Oxiden	.	.	0,6	0,6	6,4	7,3

1) Molybdeengehalte in erts.

Bron: British Geological Survey.

Waarde

De prijs van molybdeenoxide is gedaald in 2015 en ligt rond de 10 euro per kilogram. De prijs hangt deels af van de koperproductie, omdat molybdeen een bijproduct is bij het delven van koper. Van 2008 tot 2012 was er veel vraag naar koper en molybdeen⁶¹.

Figuur 4.10.1 De wereldmarktprijs van molybdeen, 2000-2015



Toepassingen

Ongeveer 70 procent van al het wereldwijd geproduceerde molybdeen wordt in legeringen gebruikt, zoals in hastelloy⁶². Molybdeen bevattend staal is aanmerkelijk sterker, corrosiebestendiger en beter bestand tegen temperatuurwisselingen dan normaal staal. Om die redenen vindt er veel toepassing van molybdeen plaats in raketmotoren en chemische pijpleidingen. Behalve als legeringselement wordt molybdeen in de chemie toegepast. Slechts een paar procent wordt voor molybdeenmetaal gebruikt. Molybdeen is waardevol als katalysator bij de verrijking van petroleum. Het wordt toegepast als glasvezel in elektronische en elektrische apparatuur. Molybdeen is een essentieel ingrediënt van plantenvoeding. Molybdeen sulfide is een smeerolie.

⁶¹ <http://www.wallstreetdaily.com/2015/01/19/molybdenum-bottoming-out/>

⁶² <http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/mo.htm#ixzz3tBM2Ga5f>

Hergebruik molybdeen

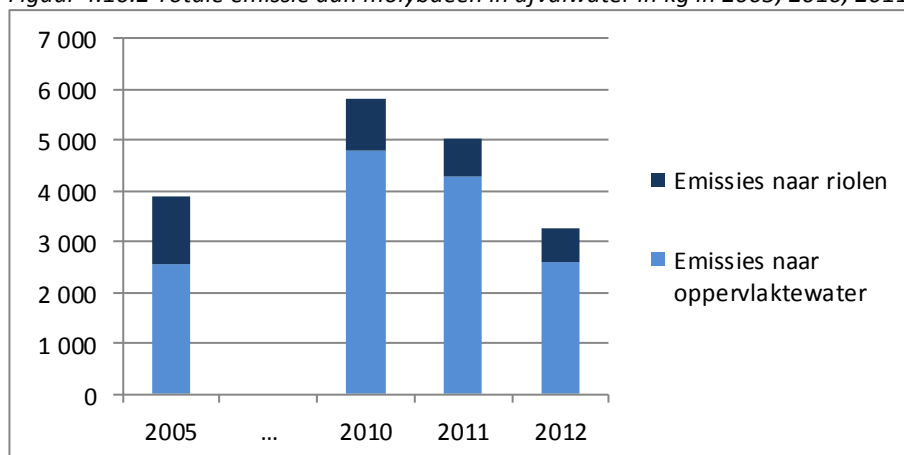
Over hergebruik van molybdeen uit afvalwater en slib is weinig tot niets bekend.

4.10.2 Molybdeen in afvalwater

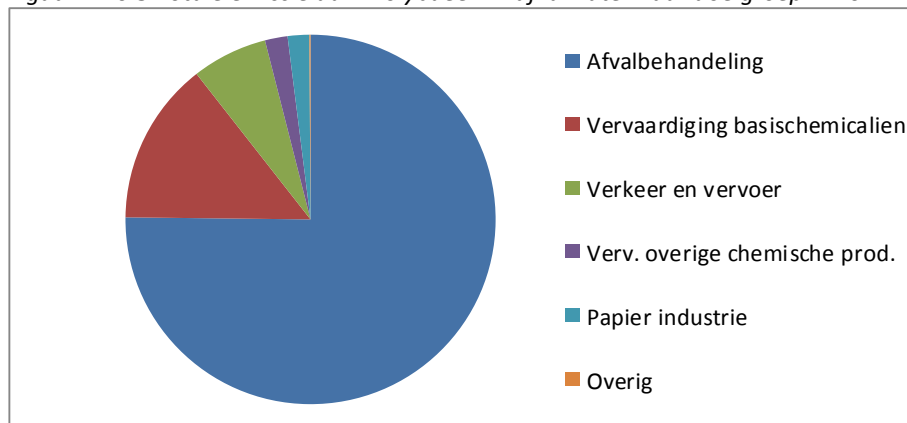
Totale emissie aan molybdeen

De totale emissie aan molybdeen in Nederland in afvalwater bedroeg circa 3,3 ton in 2012, waarvan 80 procent op het oppervlaktewater geloosd is. Afvalbehandelingsbedrijven lozen driekwart van al het molybdeen in afvalwater, gevolgd door vervaardiging basischemicaliën en verkeer & vervoer (slijtage van remvoeringen). De afvalbehandeling en chemische industrie lozen het molybdeen vrijwel volledig op het oppervlaktewater. Het molybdeen afkomstig van verkeer & vervoer en de papierindustrie wordt voornamelijk naar het riool afgevoerd. Zie de volgende drie figuren.

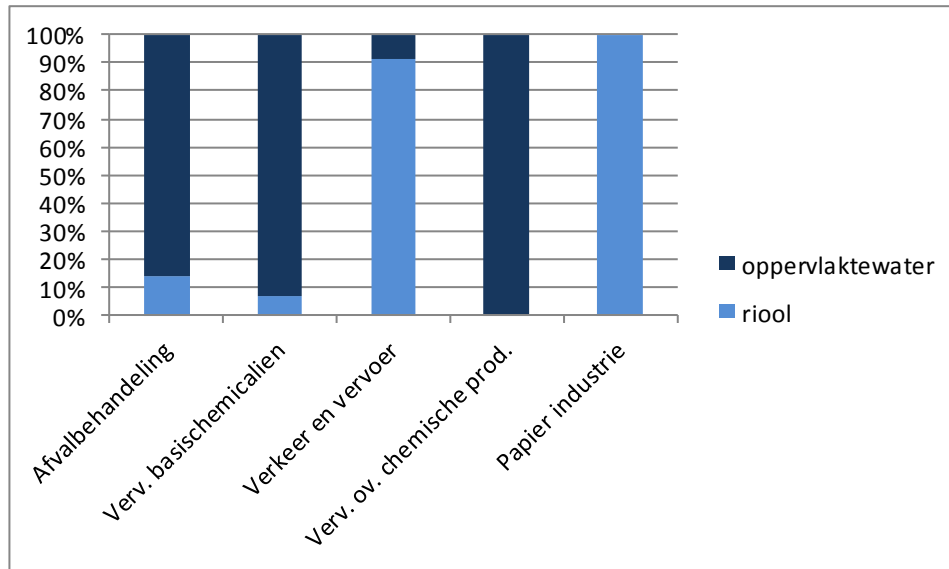
Figuur 4.10.2 Totale emissie aan molybdeen in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



Figuur 4.10.3 Totale emissie aan molybdeen in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.10.4 Emissies van molybdeen naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



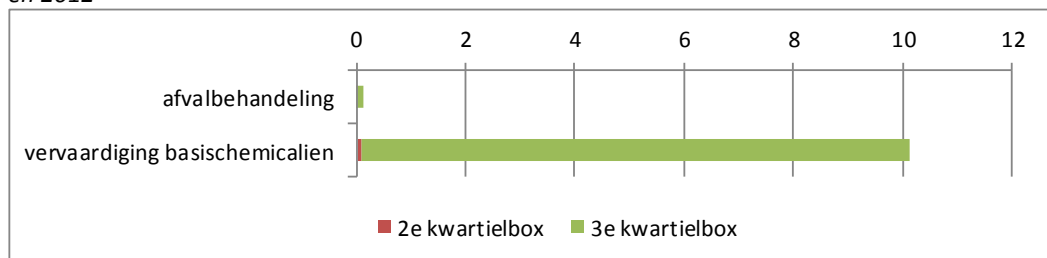
Gehalte aan molybdeen in afvalwater bij industriële bedrijven

Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 93 procent een groot aandeel in de emissie van molybdeen in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.10.5 een beeld van de gehalten aan molybdeen in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehalten tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehalten van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor molybdeen geen drempelwaarde. In 2012 is circa 86 procent van de totale emissie aan molybdeen waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 15 bedrijven in de Emissieregistratie bekend met een emissie aan molybdeen (tabel 4.10.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 51 waarnemingen over de emissie van molybdeen in afvalwater bekend. Deze gegevens zijn afkomstig van 22 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.10.3).

Figuur 4.10.5 Gehalte aan molybdeen in afvalwater in mg per liter (alle stromen) voor de industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan molybdeen in 2008, 2010 en 2012



Het gehalte aan molybdeen in het afvalwater is hoog bij de bedrijven die basischemicaliën vervaardigen. In deze bedrijfstak loost de helft van de bedrijven in de registratie 0,03 tot 10 mg Mo per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 0,1 mg Mo per liter en het gemiddelde ligt op 3 mg Mo per liter afvalwater. In de afvalbehandeling is de gemiddelde emissie veel lager met 0,1 mg Mo per liter afvalwater, maar is de totale emissie hoger door een meer omvangrijke afvalwaterstroom.

De bedrijfsgroepen afvalbehandeling en vervaardiging basischemicaliën zijn nader beschreven voor zover er voldoende waarnemingen zijn.

In tabel 4.10.2 staan het aantal industriële bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van molybdeen in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.10.3.

Tabel 4.10.2 Waarnemingen van molybdeenemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Emissies in afvalwater		
		Totaal	w.v. Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>	<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	15	3 039	92	8
w.o.				
Afvalbehandeling	6	2 446	94	6
Vervaardiging basischemicaliën	4	464	95	5

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.10.3 Waarnemingen van molybdeengehaltes in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden	Gehaltes in afvalwater			
			Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>		<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	22	51	0	20	187	>Q3
w.o.						
Afvalbehandeling	8	23	0	12	134	Q2-Q3
Vervaardiging basischemicaliën	4	11	25	95	10122	Q2-Q3

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

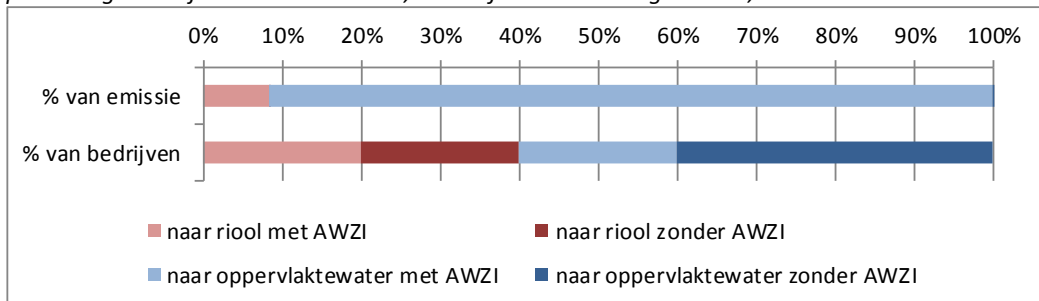
Afvalbehandeling

Met een emissie-aandeel van 75 procent (2,4 ton Mo) in 2012 heeft de afvalbehandeling de hoogste molybdeenemissie in water. In de Emissieregistratie is in 2012 naar schatting 94 procent van de emissie in de afvalbehandeling waargenomen (bij 6 bedrijven). De hierna volgende analyses zijn gebaseerd op deze waarnemingen en die in 2008 en 2010.

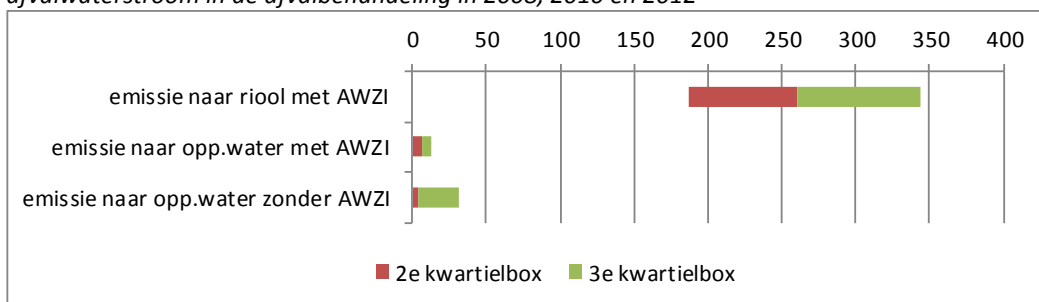
In figuur 4.10.7 is te zien dat het gehalte aan molybdeen in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met een eigen AWZI die lozen naar het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 20 procent van het aantal bedrijven en 8 procent van de totale emissie aan molybdeen van de

bedrijven in de registratie (figuur 4.10.6). Veel lagere gehalten zijn er bij de bedrijven met een eigen AWZI die op het oppervlaktewater lozen.

Figuur 4.10.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van molybdeen in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.10.7 Gehalte aan molybdeen in afvalwater in µg (microgram) per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012

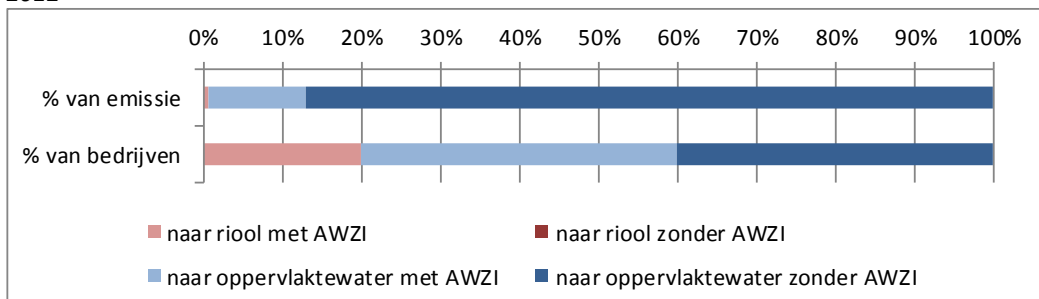


Vervaardiging basischemicaliën

De bedrijven die basischemicaliën vervaardiging hebben hoge emissiegehalten van molybdeen in het afvalwater. In 2012 heeft deze bedrijfspgroep een aandeel van 14 procent (464 kg Mo) in de totale emissie van molybdeen in afvalwater.

De gehalten aan molybdeen in afvalwater bij vervaardiging van basischemicaliën zijn het hoogst bij bedrijven zonder eigen AWZI die lozen op het oppervlaktewater. Door een te klein aantal waarnemingen zijn de gehalten per afvalwaterstroom niet opgenomen in een figuur. Figuur 4.10.8 geeft nog een beeld van de afvalwaterstromen van molybdeen in de basischemicaliën industrie.

Figuur 4.10.8 Procentuele verdeling van emissiestromen van molybdeen in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de vervaardiging basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



4.10.3 Molybdeen in slib

Van 7 bedrijven in de mini-enquête zijn 11 waarnemingen bekend over het molybdeengehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 1 en 60 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 14 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). De waarnemingen zijn van bedrijven in de afvalbehandeling, de chemische industrie en de voedingsmiddelenindustrie.

In de slibregistratie zijn geen gegevens bekend over molybdeen.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 1,9 ton molybdeen. In de verbrandingsas zit 1,8 ton molybdeen (94 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 2,0 ton molybdeen in het slib en 1,8 ton molybdeen in de as (91 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan molybdeen in de as bedraagt 30 mg per kg ds. Dit is het gewogen gemiddelde gehalte over 2012, 2013 en 2014. Het gehalte in het inkomende slib is onbekend.

4.10.4 Samenvatting molybdeen

De bedrijfsgroep afvalbehandeling is de belangrijkste emissiebron van molybdeen in het afvalwater, gevolgd door vervaardiging basischemicaliën en verkeer & vervoer. Bij bedrijven die afval behandelen of basischemicaliën produceren, zijn ook relatief hoge gehalten aan molybdeen in het afvalwater aangetroffen.

4.11 Kobalt

4.11.1 Kenmerken kobalt

Kobalt is een zilverkleurig overgangsmetaal. Het is een scheikundig element met symbool Co⁶³.

Versijningsvorm

In de aardkorst komt kobalt voor als kobaltiet, erythriet, skutterudiet en andere mineralen. De grootste hoeveelheid kobalterts worden gedolven in Congo. Andere landen waar kobalterts wordt gedolven, zijn Turkije, China, Zambia, Rusland en Australië. Kobalt wordt meestal verkregen als bijproduct van mijnwerken en bij het verrijken van nikkel, zilver, lood, koper en ijzer.

⁶³ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kobalt>

Tabel 4.11.1 De wereldproductie en Nederlandse invoer en uitvoer van kobalt

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013
<i>miljoen kg</i>						
Mijnbouw ¹	129	125	.	.	.	.
Metaal kobalt	78	84	1,2	1,6	0,0	0,0
Oxiden	.	.	0,0	0,0	1,9	2,1

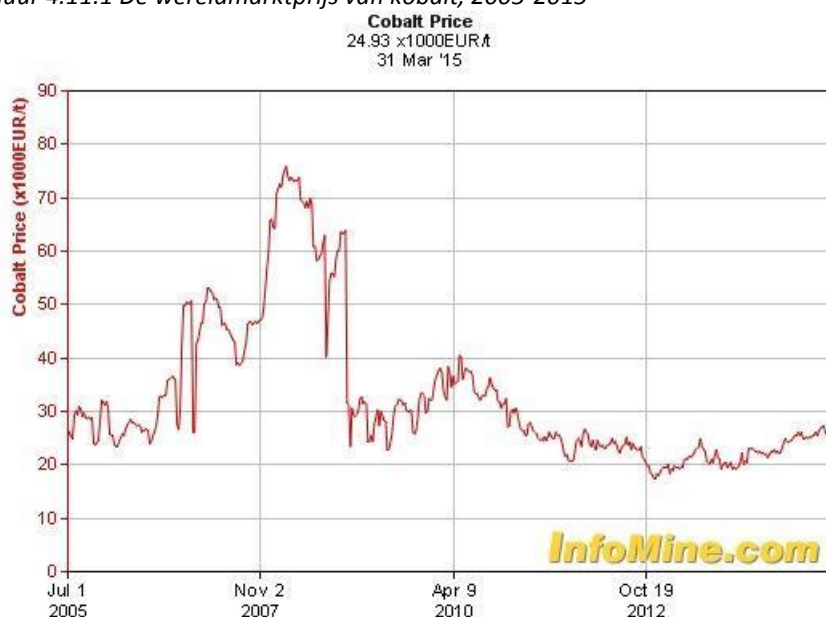
1) Kobaltgehalte in erts.

Bron: British Geological Survey.

Waarde

Kobalt was tot de uitvinding van de mobiele telefoon en de laptop nauwelijks iets waard. In 2008 steeg de prijs van kobalt enorm door de grote vraag naar oplaadbare batterijen en het kleinere aanbod als gevolg van politieke instabiliteit in Congo⁶⁴. De wereldmarktprijs van kobalt is vanaf 2011 redelijk stabiel en bedraagt 25 euro per kilogram in maart 2015. Zie figuur 4.11.1. Een toenemende vraag naar mobieltjes, laptops en elektrische auto's kan de prijs van kobalt opdrijven.

Figuur 4.11.1 De wereldmarktprijs van kobalt, 2005-2015



Toepassingen

Kobalt is een belangrijke grondstof bij de productie van mobieltjes, laptops en accu's en oplaadbare batterijen. Ook wordt kobalt vaak gebruikt in legeringen. Alnico, een legering die bestaat uit aluminium, nikkel en kobalt, wordt gebruikt om zeer krachtige magneten te maken. Stellite legeringen, die kobalt, chroom en wolfram bevatten, worden gebruikt voor hoge-snelheid en hoge-temperatuur bestendige gereedschappen. Kobalt wordt ook gebruikt om legeringen te maken voor vliegtuigmotoren en gasturbines, magnetisch staal en sommige typen

⁶⁴ <http://www.volkskrant.nl/economie/toyota-prius-drijft-prijs-kobalt-op~a882030/>

roestvrij staal. Daarnaast wordt kobalt gebruikt voor elektroplating om voorwerpen een aantrekkelijk oppervlak te geven dat oxidatie kan weerstaan en als pigment in verf⁵⁸.

Hergebruik kobalt

Kobalt kan, evenals molybdeen, nikkel en vanadium, terug gewonnen worden uit oude katalysatoren. In een thermische stap worden eerst koolstof, koolwaterstoffen en zwavelverbindingen verwijderd, waarna de metalen door middel van hydrometallurgische processen gewonnen kunnen worden. Hierbij worden de metalen uit het uitgangsmateriaal opgelost in een waterige fase (meestal een zuur), onderling gescheiden en omgevormd tot producten⁶⁵.

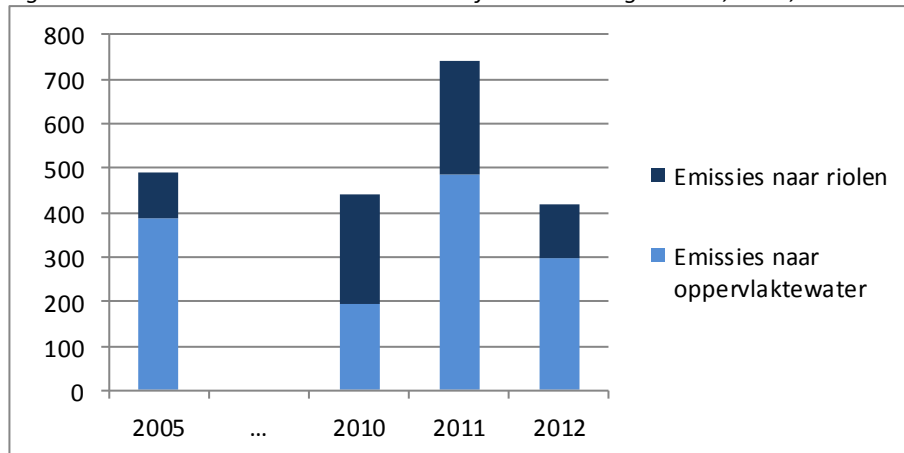
Kobalt wordt in de vorm van lithium kobalt oxide (LCO) terug gewonnen bij het recyclen van batterijen van onder andere de auto-industrie. Dit LCO wordt weer als grondstof verkocht aan batterij fabrikanten⁶⁶.

4.11.2 Kobalt in afvalwater

Totale emissie aan kobalt

De totale emissie aan kobalt in Nederland in afvalwater bedroeg 416 kg in 2012, waarvan 28 procent op het riool geloosd is. Industriële bedrijven zijn volledig verantwoordelijk voor de emissie van kobalt in afvalwater; er zijn geen andere doelgroepen met emissie van kobalt in het afvalwater. De chemische industrie loost verreweg het meeste kobalt, gevolgd door afvalverwijdering. De chemische industrie loost volledig op het oppervlaktewater en de afvalverwijdering loost vrijwel al het kobalt op het riool. Zie de volgende drie figuren.

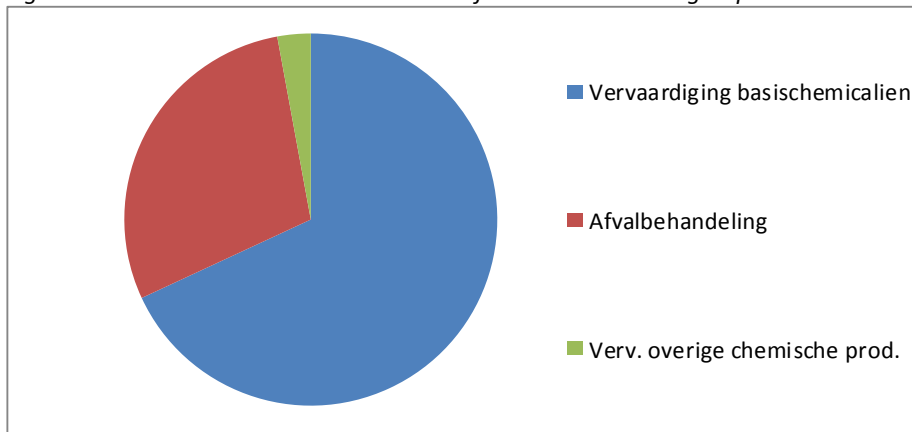
Figuur 4.11.2 Totale emissie aan kobalt in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



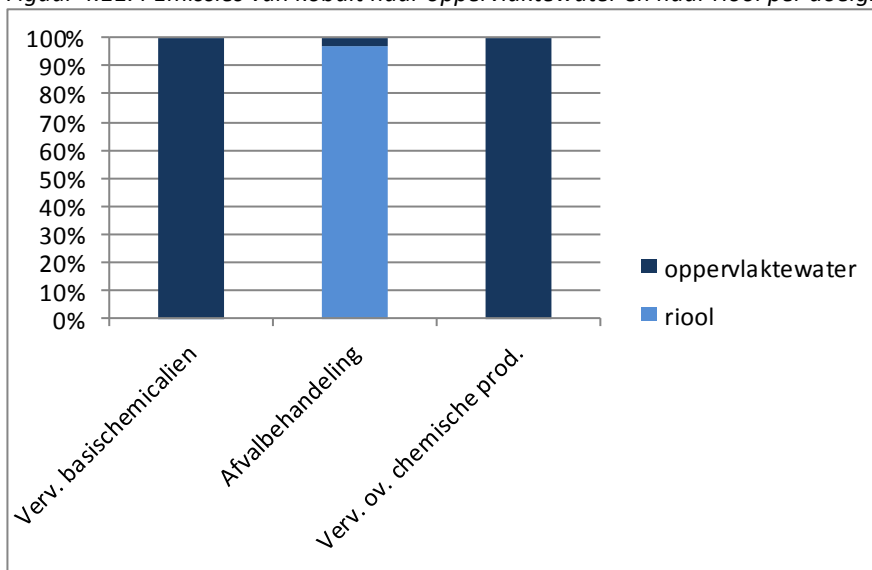
⁶⁵ <http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/CF-138-Metaalhoudende-afvalstoffen.pdf>

⁶⁶ <http://elektrischeauto.com/recyclen-van-batterijen/>

Figuur 4.11.3 Totale emissie aan kobalt in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.11.4 Emissies van kobalt naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



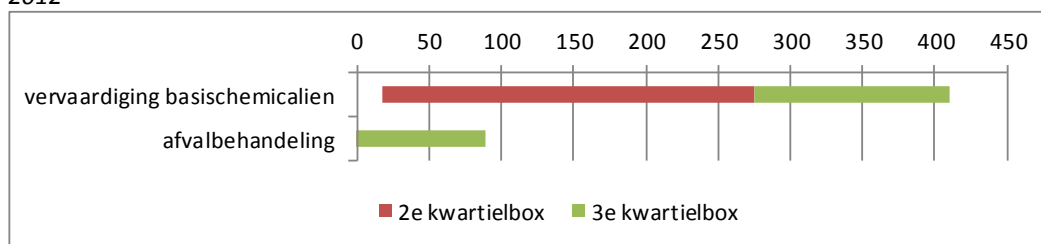
Gehaltes aan kobalt in afvalwater bij industriële bedrijven

Vrijwel al het kobalt in het afvalwater is afkomstig van bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008), de industriële bedrijven.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.11.5 een beeld van de gehaltes aan kobalt in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehaltes tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehaltes van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehaltes bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor kobalt geen drempelwaarde. In 2012 is circa 88 procent van de totale emissie aan kobalt waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 12 bedrijven in de Emissieregistratie bekend met een emissie aan kobalt (tabel 4.11.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 39 waarnemingen over de emissie van kobalt in afvalwater bekend. Deze gegevens zijn afkomstig van 12 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.11.3).

Figuur 4.11.5 Gehalte aan kobalt in afvalwater in μg (microgram) per liter (alle stromen) voor de industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan kobalt in 2008, 2010 en 2012



Het gehalte aan kobalt in het afvalwater is hoog in de vervaardiging van basischemicaliën. In deze bedrijfstak loost de helft van de bedrijven in de registratie 18 tot 410 μg Co per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 276 μg Co per liter en het gemiddelde ligt op 277 μg Co per liter afvalwater. In de afvalbehandeling is de gemiddelde emissie lager met 40 μg Co per liter. In de afvalbehandeling loost de helft van de bedrijven in de registratie 0 tot 89 μg Co per liter.

De bedrijfsgroepen vervaardiging van basischemicaliën en afvalbehandeling zijn nader beschreven voor zover er voldoende waarnemingen zijn.

In tabel 4.11.2 staan het aantal industriële bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van kobalt in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.11.3.

Tabel 4.11.2 Waarnemingen van kobaltemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Emissies in afvalwater		
		Totaal	w.v.	
			Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>	<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	12	416	88	12
w.o.				
Vervaardiging basischemicaliën	3	283	59	41
Afvalbehandeling	5	121	100	0

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.11.3 Waarnemingen van kobaltgehaltes in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden	Gehaltes in afvalwater			
			Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>		<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	12	39	0	1	108	Q2-Q3
w.o.						
Vervaardiging basischemicaliën	3	7	18	276	410	Q2-Q3
Afvalbehandeling	5	19	0	0	89	Q2-Q3

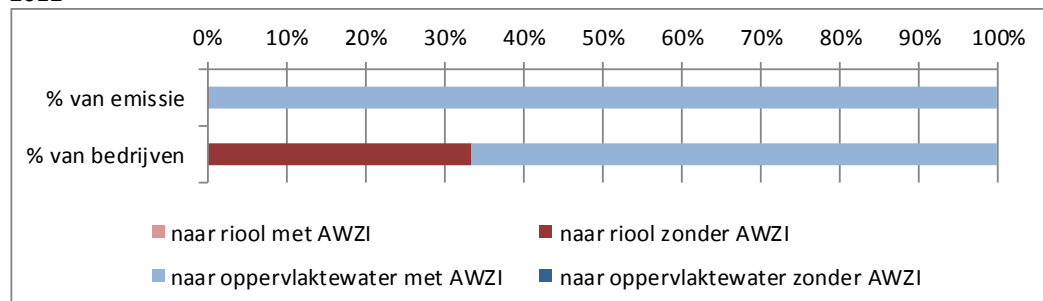
1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Vervaardiging van basischemicaliën

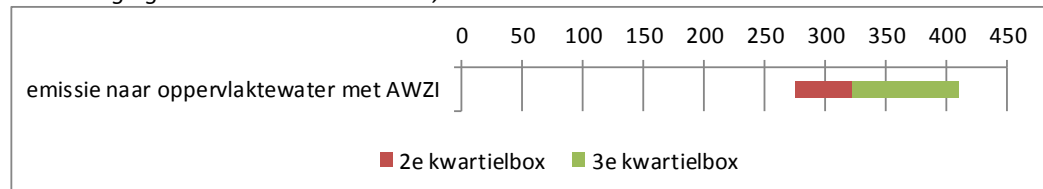
Met een emissie-aandeel van 68 procent (283 kg Co) in 2012 heeft de bedrijfspgroep vervaardiging basischemicaliën de hoogste kobaltemissie in water.

In figuur 4.11.7 is te zien dat het gehalte aan kobalt in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met een eigen AWZI die lozen naar het oppervlaktewater. Deze afvalwaterstroom betreft 67 procent van het aantal bedrijven en vrijwel de totale emissie aan kobalt van de bedrijven in de registratie (figuur 4.11.6).

Figuur 4.11.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van kobalt in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de vervaardiging basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.11.7 Gehalte aan kobalt in afvalwater in µg per liter per afvalwaterstroom in de vervaardiging basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012

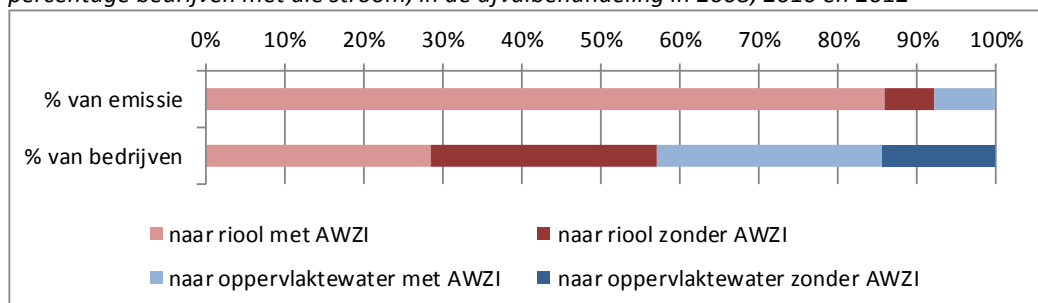


Afvalbehandeling

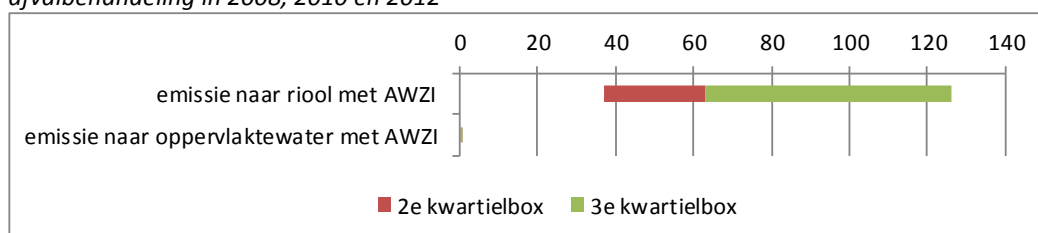
Na de vervaardiging van basischemicaliën volgt de afvalbehandeling met een emissie-aandeel van 29 procent (121 kg Co) kobalt in het afvalwater.

In figuur 4.11.9 is te zien dat het gehalte aan kobalt in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met een eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 29 procent van het aantal bedrijven en 86 procent van de totale emissie aan kobalt van de bedrijven in de registratie (figuur 4.11.8).

Figuur 4.11.8 Procentuele verdeling van emissiestromen van kobalt in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.11.9 Gehalte aan kobalt in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



4.11.3 Kobalt in slib

Van 8 bedrijven in de mini-enquête zijn 16 waarnemingen bekend over het kobaltgehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 0 en 9 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 3 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). De waarnemingen zijn van bedrijven in de afvalbehandeling, de papierindustrie en de voedingsmiddelenindustrie. Bedrijven in de papierindustrie laten de hoogste gehalten zien.

In de slibregistratie zijn geen gegevens bekend over kobalt.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 1,7 ton kobalt. In de verbrandingsas zit 1,5 ton kobalt (89 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 1,2 ton kobalt in het slib en 1,0 ton kobalt in de as (88 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan kobalt in de as bedraagt 17 mg per kg ds. Dit is het gewogen gemiddelde gehalte over 2012, 2013 en 2014. Het gehalte in het inkomende slib is onbekend.

4.11.4 Samenvatting kobalt

De basischemicaliënindustrie en de bedrijfspgroep afvalbehandeling zijn de belangrijkste emissiebronnen van kobalt in het afvalwater. Vooral bij bedrijven die basischemicaliën vervaardigen, zijn hoge gehalten aan kobalt in het afvalwater aangetroffen.

4.12 Vanadium

4.12.1 Kenmerken vanadium

Vanadium is een zilvergrijs overgangsmetaal. Het is een scheikundig element met symbool V⁶⁷.

Versrijningsvorm

Vanadium komt in ongebonden toestand niet in de natuur voor. Er zijn ongeveer 65 mineralen bekend waarin vanadium voorkomt, waarvan patroniet, vanadiniet, bauxiet en carnotiet de meest voorkomende zijn. Bij de winning van deze grondstoffen wordt vanadium als bijproduct gewonnen. Ook bevat aardolie, steenkool en oliehoudende leisteen vaak wat vanadium, maar het vanadium wordt hier niet uit gewonnen.

Het metaal beschikt over sterke stabiele kristalstructuur en is corrosie vast voor zuren en basen. In 2013 is 96 duizend ton vanadium gewonnen (tabel 4.12.1). China is de belangrijkste leverancier met 40 duizend ton in 2013, gevolgd door Rusland en Zuid-Afrika⁶⁸.

Tabel 4.12.1 De wereldproductie en Nederlandse invoer en uitvoer van vanadium, 2012-2013

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
	<i>1 000 kg</i>					
Mijnbouw ¹	75 000	96 000	.	.	.	.
Vanadium pentoxide	.	.	558,0	1240,0	328,0	492,0

1) Vanadiumgehalte in erts; inclusief vanadium in slakken; exclusief vanadium uit olieraffinage.

Bron: British Geological Survey.

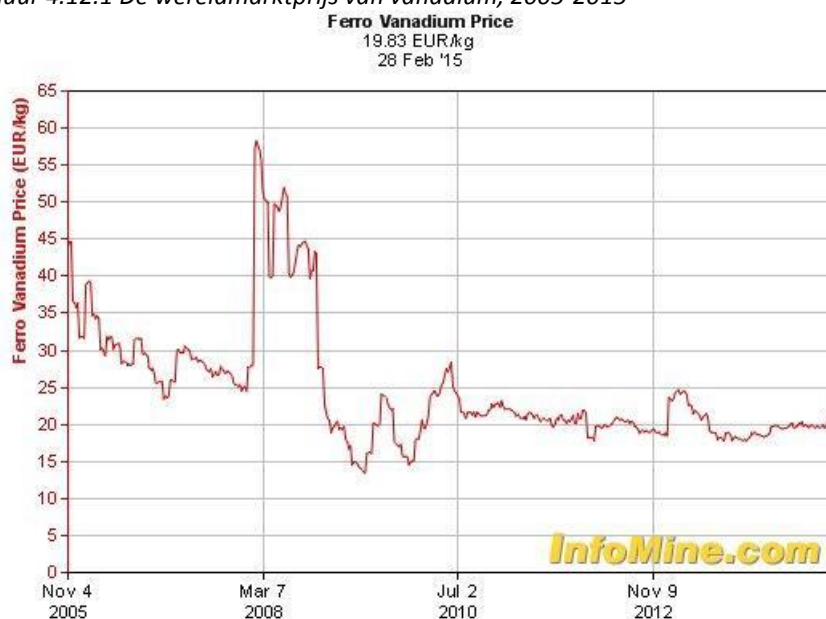
Waarde

De wereldmarktprijs van ferrovanadium, de legering waarin vanadium het meest wordt toegepast, bedraagt 20 euro per kilogram en is de afgelopen jaren vrij stabiel (figuur 4.12.1).

⁶⁷ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Vanadium>

⁶⁸ BGS 2015. World Mineral Production, 2009-2013.

Figuur 4.12.1 De wereldmarktprijs van vanadium, 2005-2015



Toepassingen

Bijna 80 procent van alle vanadium dat wordt geproduceerd, wordt gebruikt voor ferrovanadium of als staaladditief⁶⁹. Ferrovanadium, dat voor 1 tot 6 procent uit vanadium bestaat, is een sterke ijzerlegering die tegen schokken en corrosie kan. Ferrovanadium en vanadium staallegeringen worden gebruikt voor onderdelen in voertuigen die zwaar belast worden (wielassen, krukassen, auto-onderdelen), in straalmotoren van vliegtuigen, in (snij)gereedschap en kernreactoren⁷⁰.

Vanadium pentoxide (V_2O_5) is de nuttigste vanadiumverbinding. Het wordt gebruikt als beits, een materiaal dat verf permanent aan textiel hecht. Vanadium pentoxide wordt ook gebruikt als katalysator bij verschillende chemische reacties tijdens de fabricage van keramiek. Verder wordt het vermengd met gallium voor de productie van supergeleidende magneten.

Vanadiumoxide levert als elektrolyt een stabiel opslagsysteem. Accu's zijn daardoor goedkoper en gaan langer mee.

Hergebruik vanadium

Vanadium kan teruggewonnen worden uit vliegias, olieslib en mijnafval. Een Amerikaans bedrijf dat brandstofcellen produceert haalt na recycling een pure vorm van 98 procent. Dit vanadium kan in accu's verwerkt worden⁷¹.

4.12.2 Vanadium in afvalwater

Totale emissie aan vanadium

De totale emissie aan vanadium in Nederland in afvalwater bedroeg 366 kg in 2012, waarvan 90 procent op het riool geloosd is. De bedrijfstak afvalbehandeling loost verreweg het meeste vanadium, gevolgd door verkeer & vervoer (slijtage remvoeringen) en de chemische industrie. De afvalbehandeling en verkeer & vervoer lozen voor het grootste gedeelte het vanadium op het riool, terwijl de chemische industrie dit vooral op het oppervlaktewater loost. Zie de volgende drie figuren. Een belangrijke bron van aanvoer van vanadium op het riool is voorts het

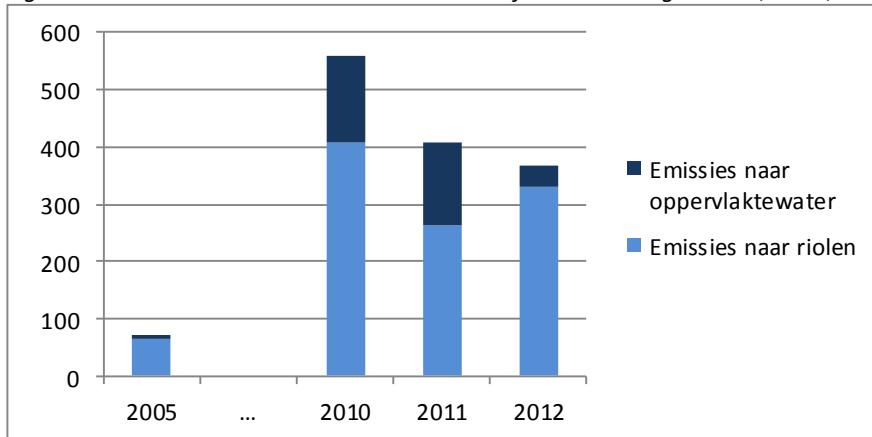
⁶⁹ <http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/v.htm>

⁷⁰ <http://wetenschap.infonu.nl/techniek/115664-vanadium-het-element.html>

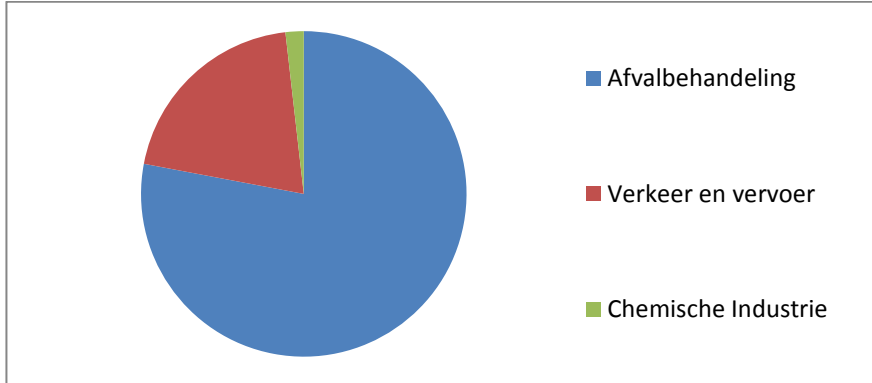
⁷¹ <http://www.duurzaambedrijfsleven.nl/energie/2905/accus-goedkoper-met-vanadium-uit-mijnafval>

inspoelen van hemelwater vanaf verhard oppervlak door atmosferische depositie. Deze bron is niet in onderstaande figuren opgenomen.

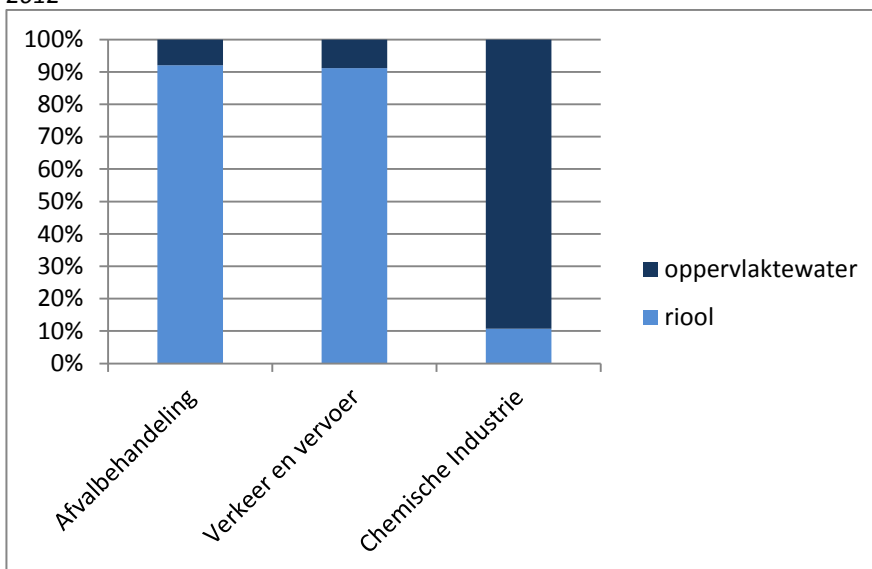
Figuur 4.12.2 Totale emissie aan vanadium in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



Figuur 4.12.3 Totale emissie aan vanadium in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.12.4 Emissies van vanadium naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



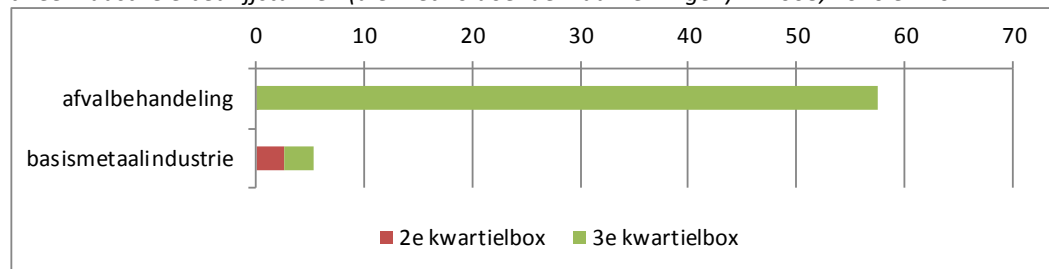
Gehalte aan vanadium in afvalwater bij industriële bedrijven

Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 80 procent een groot aandeel in de emissie van vanadium in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.12.5 een beeld van de gehalten aan vanadium in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehalten tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehalten van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor vanadium geen drempelwaarde. In 2012 is circa 49 procent van de totale emissie aan vanadium waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 10 bedrijven in de Emissieregistratie bekend met een emissie aan vanadium (tabel 4.12.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 31 waarnemingen over de emissie van vanadium in afvalwater bekend. Deze gegevens zijn afkomstig van 11 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.12.3).

Figuur 4.12.5 Gehalte aan vanadium in afvalwater in μg (microgram) per liter (alle stromen) in twee industriële bedrijfstakken (die met voldoende waarnemingen) in 2008, 2010 en 2012



Het gehalte aan vanadium in het afvalwater is het hoogst in de afvalbehandeling. In de bedrijfstak afvalwater loost de helft van de bedrijven in de registratie 0 tot 58 μg V per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 0,1 μg V per liter en het gemiddelde ligt op 6,1 μg V per liter afvalwater.

De bedrijfsgroep afvalbehandeling is nader beschreven voor zover er voldoende waarnemingen zijn.

In tabel 4.12.2 staan het aantal industriële bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van vanadium in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.12.3.

Tabel 4.12.2 Waarnemingen van vanadiumemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Emissies in afvalwater		
		Totaal	w.v.	
			Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>	<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	10	292	61	39
w.o.				
Afvalbehandeling	4	285	60	40

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.12.3 Waarnemingen van vanadiumgehalten in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden	Gehaltes in afvalwater			
			Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>		<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	11	31	0	0	17	>Q3
w.o.						
Afvalbehandeling	4	15	0	0	58	>Q3

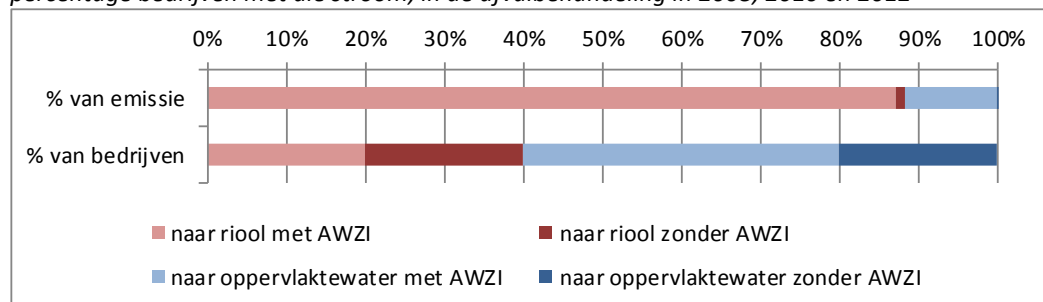
1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Afvalbehandeling

Met een emissie-aandeel van 78 procent in 2012 (285 kg V) heeft de bedrijfsgroep afvalbehandeling de hoogste vanadiumemissie in water. In de Emissieregistratie is in 2012 is de emissie in de bedrijfstak afvalbehandeling voor 60 procent waargenomen. De hierna volgende analyses zijn gebaseerd op deze waarnemingen en die in 2008 en 2010.

Eén van de vier bedrijven met een emissie aan vanadium in de Emissieregistratie loost 87 procent van de totale geregistreerde emissie aan vanadium in het afvalwater naar het riool met een eigen AWZI. Het afvalwater van dit bedrijf heet ook de hoogste gehalten aan vanadium.

Figuur 4.12.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van vanadium in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



4.12.3 Vanadium in slib

Van 7 bedrijven in de mini-enquête zijn 15 waarnemingen bekend over het vanadiumgehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 0 en 13 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 4 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). Bedrijven in de papierindustrie laten de hoogste gehalten zien. Andere waarnemingen van vanadium in slib zijn aangetroffen in de voedingsmiddelenindustrie.

In de slibregistratie zijn geen gegevens bekend over vanadium.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 3,2 ton vanadium. In de verbrandingsas zit 2,8 ton vanadium (90 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 2,8 ton vanadium in het slib en 2,4 ton vanadium in de as (88 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan vanadium in de as bedraagt 43 mg per kg ds. Dit is het gewogen gemiddelde gehalte over 2012, 2013 en 2014. Het gehalte in het inkomende slib is onbekend.

4.12.4 Samenvatting vanadium

De afvalverwijdering en verkeer & vervoer zijn de belangrijkste emissiebronnen van vanadium in het afvalwater. Vooral bij bedrijven die afval behandelen zijn relatief hoge gehalten aan vanadium in het afvalwater aangetroffen. De hoogste gehalten aan vanadium in het slib zijn aangetroffen bij bedrijven in de papierindustrie.

4.13 Zilver

4.13.1 Kenmerken zilver

Zilver is een wit overgangsmateriaal. Het is een scheikundig element met het symbool Ag⁷².

Verschijningsvorm

In de natuur komt zilver zowel ongebonden als in ertsen voor, zoals argentiet, acanthiet en chlorargyriet. Ook wordt het aangetroffen in lood-, loodzink-, koper-, goud- en kopernikkelertsen. Het meeste zilver is niet afkomstig uit primaire mijnen, maar ontstaat als bijproduct bij de winning van andere metalen, zoals lood en zink.

Geografisch gezien komt bijna de helft van het gedolven zilver uit Zuid-Amerika. Vijf van de tien meest producerende landen komen uit deze regio, waarvan Mexico en Peru de grootste zijn.

⁷² <https://nl.wikipedia.org/wiki/Zilver>

Tabel 4.13.1 De wereldproductie en Nederlandse invoer en uitvoer van zilver, 2012-2013

	Wereldproductie		Nederland			
	2012	2013	Invoer		Uitvoer	
			2012	2013	2012	2013
<i>1 000 kg</i>						
Mijnbouw ¹	26 449	26 107	.	.	.	.
Metaal zilver	.	.	301,1	321,3	241,6	555,5

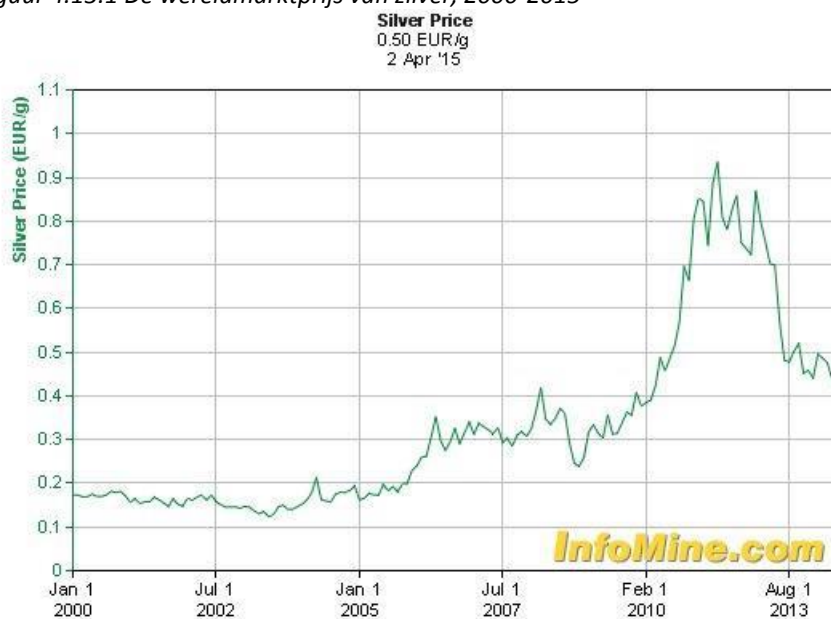
1) Zilvergehalte in erts.

Bron: British Geological Survey.

Waarde

De prijs van zilver is tijdens de economische crisis flink gaan stijgen. Dit komt doordat de vraag van beleggers naar zilver is toegenomen om vermogen veilig te stellen⁷³. De vraag naar zilver vanuit speculatieve of beleggingsdoeleinden fluctueert van jaar tot jaar en dit is terug te zien in de prijs (figuur 4.13.1). Een kilogram zilver kost in 2015 circa 500 euro.

Figuur 4.13.1 De wereldmarktprijs van zilver, 2000-2015



Toepassingen

Zilver en zilververbindingen kennen veel toepassingen. Zuiver zilver is de beste geleider van warmte en elektriciteit van alle bekende metalen, daarom wordt het wel gebruikt om soldeer, stopcontacten en stroomplinten van te maken. Zilver is daarnaast de beste licht weerkaatsende stof die we kennen, waardoor er spiegels van worden gemaakt. Sterling zilver, een legering die 92,5 procent zilver bevat, wordt gebruikt om bestek, sieraden en andere decoratieve voorwerpen van te maken. Met behulp van zilver en zink of zilver en cadmium kunnen hoge capaciteit batterijen worden gemaakt. Zilver nitraat (AgNO_3) is lichtgevoelig en wordt daarom gebruikt om fotofilm en -papier van te maken. Zilver jodide (AgI) wordt gebruikt om wolken te creëren voor regenproductie⁷⁴.

⁷³ <http://www.dawsongold.nl/goudkoers/verleden-zilverprijs/>

⁷⁴ <http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/ag.htm>

Hergebruik zilver

Zilver kan goed gerecycled worden.

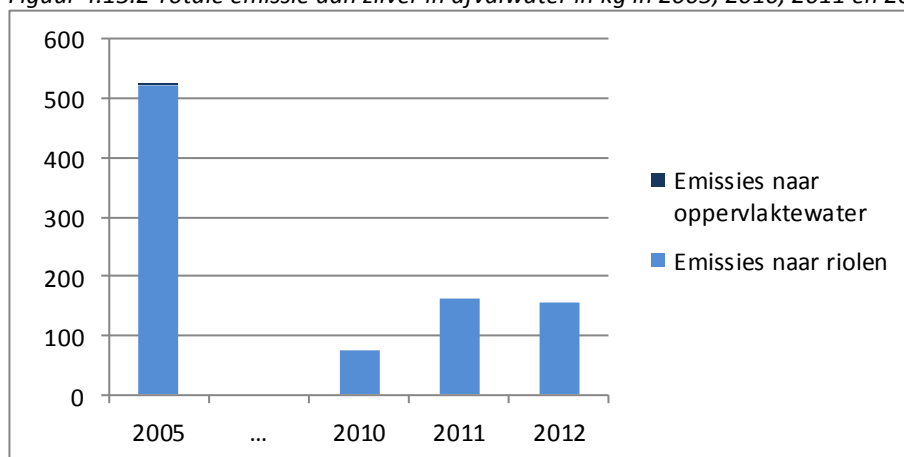
In ionische vorm kan zilver met behulp van ionenwisselaars uit afvalwater verwijderd worden. Bepaalde zilververbindingen kunnen door middel van precipitatie neerslaan. Effectief is het gebruik van actief kool en zandfilters.

4.13.2 Zilver in afvalwater

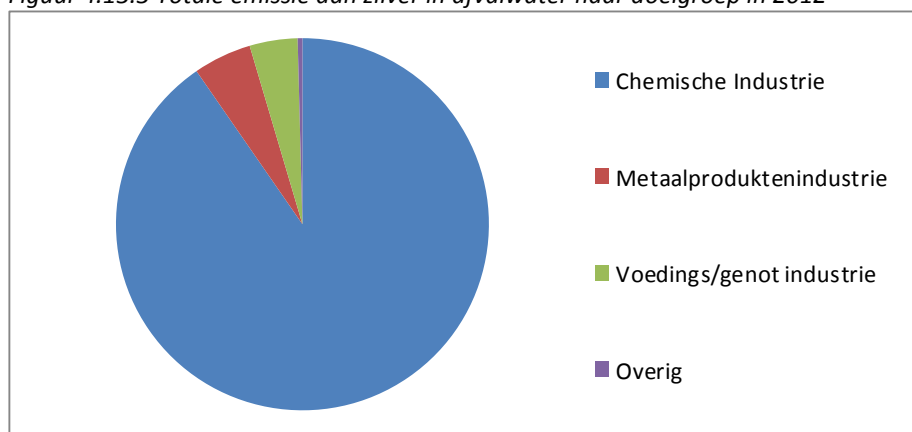
Totale emissie aan zilver

De totale emissie aan zilver in Nederland in afvalwater bedraagt 157 kg in 2012. Al het zilver in het afvalwater wordt geloosd op het riool. De chemische industrie loost verreweg het meeste zilver, gevolgd door de metaalproductenindustrie en de voedings- en genotmiddelenindustrie. Zie de volgende twee figuren.

Figuur 4.13.2 Totale emissie aan zilver in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



Figuur 4.13.3 Totale emissie aan zilver in afvalwater naar doelgroep in 2012



Gehaltes aan zilver in afvalwater bij industriële bedrijven

Vrijwel al het zilver in het afvalwater is afkomstig van bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008), de industriële bedrijven.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor zilver ook geen drempelwaarde. In 2012 is circa 69 procent van de totale emissie aan zilver waargenomen via individuele registratie door

industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 8 bedrijven in de Emissieregistratie bekend met een emissie aan zilver (tabel 4.13.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 30 waarnemingen over de emissie van zilver in afvalwater bekend. Deze gegevens zijn afkomstig van 13 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.13.3).

Tabel 14.13.2 Waarnemingen van zilveremissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Emissies in afvalwater		
		Totaal	w.v.	
			Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>	<i>kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	8	157	69	31
w.o.				
Metaalproductenindustrie	2	8	12	88

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 14.13.3 Waarnemingen van zilveragehaltes in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden	Gehaltes in afvalwater			
			Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>		<i>µg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	13	30	0	5	59	Q2-Q3
w.o.						
Metaalproductenindustrie	3	7	0	110	131	Q1-Q2

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Bedrijven die overige chemische producten vervaardigen, hebben de hoogste emissie aan zilver in afvalwater in 2008, 2010 en 2012. Door een te klein aantal waarnemingen zijn de zilveragehaltes van deze bedrijfstak niet weergegeven in tabel 14.13.3.

De hoogste gehalten aan zilver in het afvalwater zijn aangetroffen in de metaalproductenindustrie. In deze industrie loost de helft van de bedrijven in de registratie 0 tot 130 µg Ag per liter afvalwater.

4.13.3 Zilver in slib

Van 3 bedrijven in de mini-enquête zijn 4 waarnemingen bekend over het zilveragehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 0 en 320 mg per kg droge stof, met een gemiddelde van 107 mg per kg droge stof (ongewogen naar volume). De waarnemingen zijn van bedrijven in de afvalbehandeling en chemische industrie.

In de slibregistratie zijn geen gegevens bekend over zilver.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. Het slib bij SVI Dordrecht en SNB, de twee bedrijven waar CBS gegevens van heeft ontvangen, bevat in 2012 in totaal 360 kg zilver. In de verbrandingsas zit

320 kg zilver (91 procent). Gemiddeld over de jaren 2012, 2013 en 2014 is dat 210 kg zilver in het slib en 190 kg zilver in de as (90 procent). De verschillen tussen de hoeveelheden in het aangevoerde slib en in de as zijn voornamelijk toe te schrijven aan onnauwkeurigheden in de metingen.

Het gehalte aan zilver in de as bedraagt 13 mg per kg ds. Dit is het gewogen gemiddelde gehalte over 2012, 2013 en 2014. Het gehalte in het inkomende slib is onbekend.

4.13.4 Samenvatting zilver

De chemische industrie is verreweg de belangrijkste emissiebron van zilver in het afvalwater. Bij bedrijven in de metaalproductenindustrie zijn hoge gehalten aan zilver in het afvalwater aangetroffen.

4.14 Stikstof

4.14.1 Kenmerken stikstof

Stikstof behoort niet tot de schaarse stoffen, maar is een veel voorkomende stof in afvalwater. Stikstof is een niet-metaal en een reukloos en kleurloos gas dat 78 procent van de aardatmosfeer uitmaakt. Het is een scheikundig element met symbool N⁷⁵.

Versrijningsvorm

Stikstofgas bestaat uit twee-atomige moleculen N₂ met een drievoudige binding, die het molecuul een grote stabiliteit verleent. Losse atomen van dit element zijn zeer reactief en verbinden zich direct met andere stikstofatomen. Hierbij wordt meestal distikstof gevormd (N₂ of moleculaire stikstof). Naast de moleculaire stikstof komen stikstofverbindingen als mineralen voor, zoals salpeter. Stikstofhoudende afzettingen zijn vaak van organische herkomst, zoals de guano (vogelpoep). Dierlijke mest in de Nederlandse veehouderij zorgt voor veel emissie van stikstof naar de bodem, het oppervlaktewater en de lucht.

In gemineraliseerde vorm komt stikstof voor als nitraat en kaliumnitraat in de Atacamawoestijn in Chili⁷⁶. De beschikbaarheid van stikstof vanuit de atmosfeer voor de productie van vaste stikstof is oneindig en hier kan samen met waterstof ammoniak uit gemaakt worden (d.m.v. zuurstofbinding met gas). Vooral in China, India, Rusland en de Verenigde Staten wordt veel ammoniak geproduceerd. De totale productie aan stikstof in meststoffen bedraagt in 2012 122 miljoen ton (tabel 4.14.1).

Tabel 4.14.1 De wereldproductie en Nederlandse productie, invoer en uitvoer van stikstofkunstmest, 2011-2012

	Wereldproductie		Nederland					
	2011	2012	Productie		Invoer		Uitvoer	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
<i>miljoen kg N</i>								
Kunstmeststoffen	114 020	122 137	1 469	1 593	122	97	1 362	1 412

Bron: FAOSTAT.

⁷⁵ [https://nl.wikipedia.org/wiki/Stikstof_\(element\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Stikstof_(element))

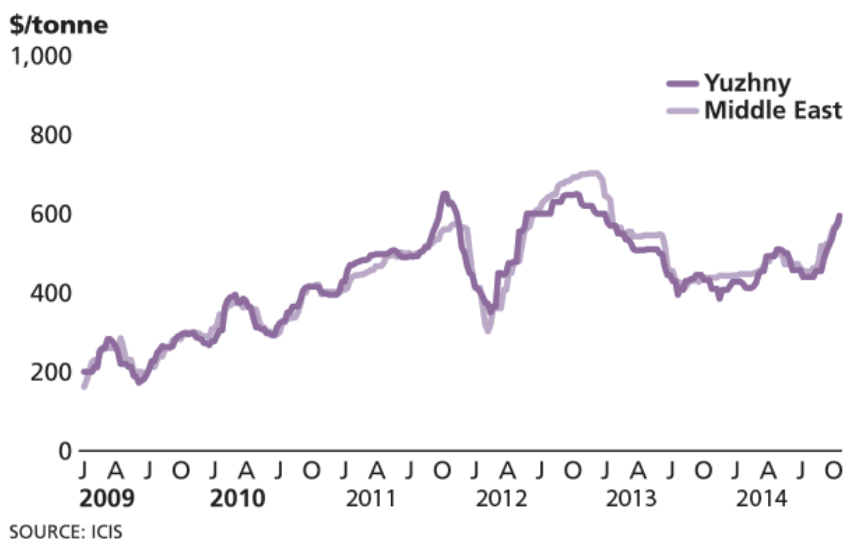
⁷⁶ <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nitrogen/mcs-2015-nitro.pdf>

Waarde

Vanaf 2009 neemt de ammoniakprijs geleidelijk aan toe door een toenemende wereldwijde vraag naar kunstmeststoffen voor de agrarische sector (figuur 4.14.1). De productiekosten van ammoniak zijn afhankelijk van de gasprijs. Gas is een grondstof in de ammoniakproductie. De ammoniakprijs is dan ook sterk gerelateerd aan de prijs van gas.

Figuur 4.14.1 De wereldmarktprijs van ammoniak, 2000-2015

AMMONIA FOB YUZHNY AND MIDDLE EAST



Stikstof is een belangrijke voedingsstof voor planten en daar is geen substituut voor. Er zijn veel toepassingen voor stikstofverbindingen:

- ammoniumverbindingen en nitraten zijn belangrijke kunstmeststoffen;
- ammoniumnitraat is in combinatie met een koolwaterstof zoals dieselolie of kerosine als koolstofbron een veelgebruikt, goedkoop explosief;
- nitraten zijn ook een onderdeel van buskruit en nitroglycerine, het product van de reactie tussen glycerine en nitreerzuur (salpeterzuur plus zwavelzuur), is een bekend explosief;
- cyaniden worden gebruikt in de mijnbouw voor het uitloggen van goud;
- ammonia is bekend als schoonmaakmiddel;
- ammoniak is de basis voor de productie van salpeterzuur;
- aniline, een organische verbinding met een NH_2 groep, is de basis voor de chemie van veel kleurstoffen;
- stikstofoxide (NO) speelt een grote rol als neurotransmitter, dat wil zeggen in het doorgeven van signalen van de ene zenuwcel naar de andere;
- vloeibare stikstof wordt in de computerwereld gebruikt om zeer extreme overklokresultaten te behalen; een andere toepassing is het behandelen van wratten;
- distikstof (N_2) wordt veel gebruikt als inerte atmosfeer om stoffen/producten die gemakkelijk oxideren tegen de lucht te beschermen, door olieverwerkende industrie voor het schoonspoelen van olieleidingen, in gasflessen en in voedselverpakkingen als conserveringsmiddel.

Hergebruik stikstof

Bijzonder is dat in rioolwaterzuiveringen de stikstofverbindingen veelal de meest kritische stoffen zijn om uit het afvalwater te verwijderen en er dus relatief veel inspanning wordt geleverd om de stikstof uiteindelijk weer in de atmosfeer te laten vervluchtigen. Anderzijds moet men bij industriële winning juist de atmosferische stikstof met inzet van fossiele brandstoffen (aardgas) weer winnen (het Haber-Bosch proces).

Slibverwerker GMB BioEnergie BV wint en hergebruikt stikstof uit zuiveringsslib bij de reiniging van proceslucht⁷⁷. Bij het biologisch drogen van zuiveringsslib (composteren) komt veel ammoniak (stikstof) vrij. Deze ammoniak wordt via de proceslucht afgevoerd. GMB heeft een werkwijze ontwikkeld waarbij de proceslucht in een zure water wordt behandeld. De ammoniak wordt vastgelegd als ammoniumsulfaat. Per jaar produceert GMB op haar locaties in Tiel en Zutphen ongeveer 12 duizend ton vloeibaar ammoniumsulfaat uit zuiveringsslib, wat gebruikt kan worden als meststof.

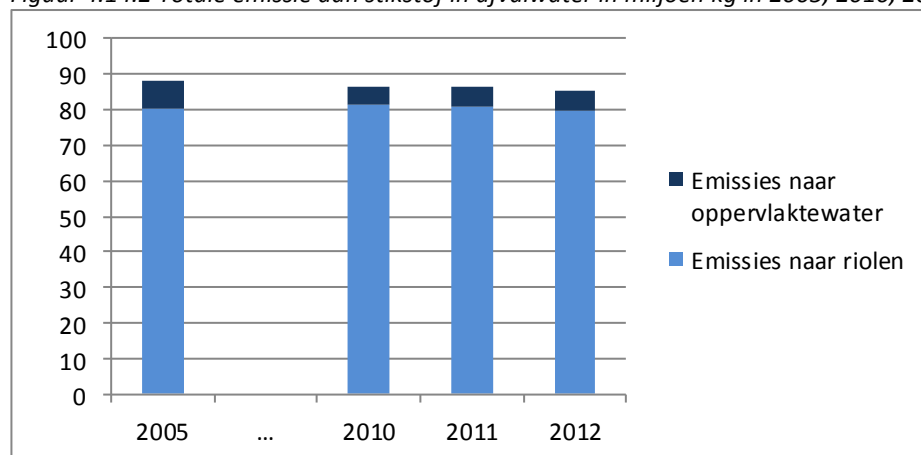
4.14.2 Stikstof in afvalwater

Totale emissie aan stikstof

De totale emissie aan stikstof in Nederland in afvalwater bedroeg 85 412 ton in 2012, waarvan 94 procent op het riool geloosd is. In deze cijfers zijn dus niet inbegrepen de omvangrijke diffuse belasting van stikstof vanuit bodems naar water en de belasting vanuit atmosferische depositie.

Consumenten lozen verreweg het meeste stikstof door sanitatie en keukenafvalwater⁷⁸, gevolgd door de voedings- en genotmiddelenindustrie, landbouw en afvalbehandeling. Consumenten, afvalbehandeling en de voedings- en genotmiddelenindustrie lozen de stikstof vooral op het riool. De bedrijfsgroep die basischemicaliën vervaardigt en de landbouw lozen stikstof op het oppervlaktewater. Zie de volgende drie figuren.

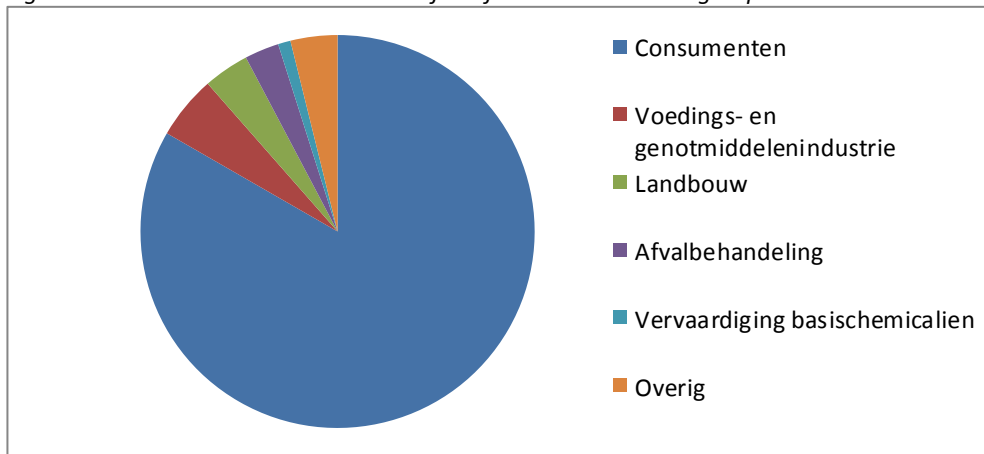
Figuur 4.14.2 Totale emissie aan stikstof in afvalwater in miljoen kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



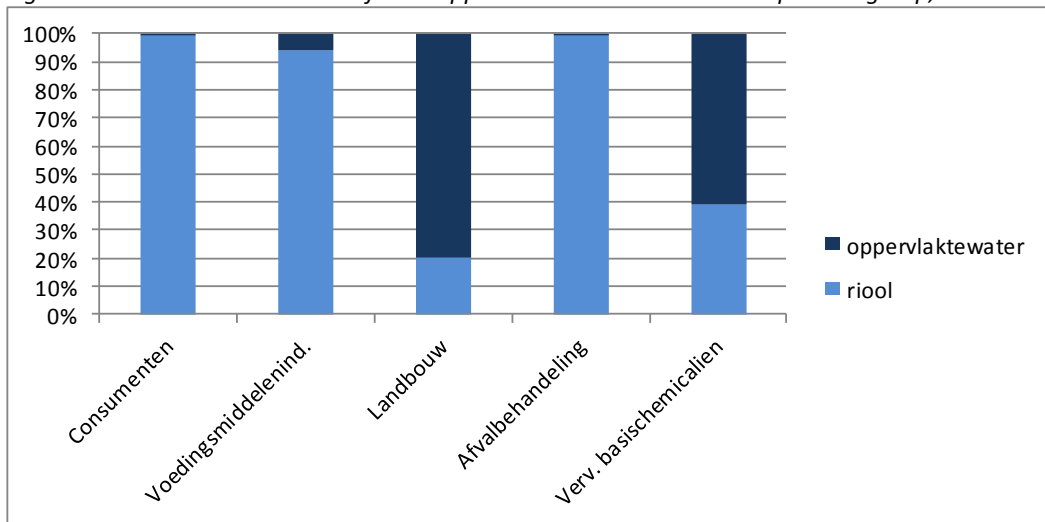
⁷⁷ <http://www.nutrientplatform.org/business-cases/bedrijfsnaam/a-tm-z/149-gmb-2.html>

⁷⁸ Wortmann, E., Nieuwe sanitatie Westland, STOWA, 2010-10

Figuur 4.14.3 Totale emissie aan stikstof in afvalwater naar doelgroep in 2012



Figuur 4.14.4 Emissies van stikstof naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



Gehalte aan stikstof in afvalwater bij industriële bedrijven

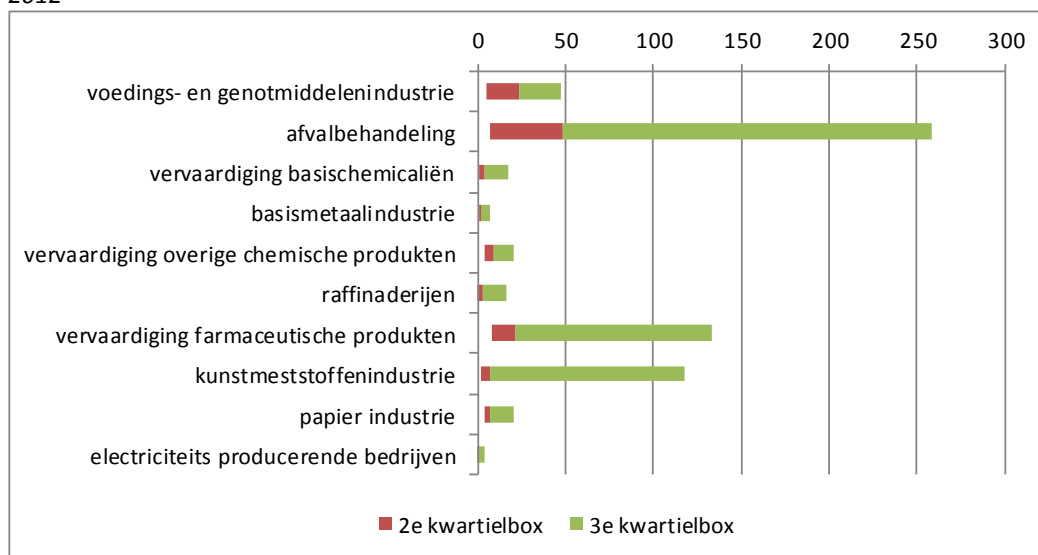
Bedrijven in de bedrijfstakken B Winning van delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer (SBI2008) hebben met circa 13 procent een klein aandeel in de emissie van stikstof in afvalwater.

Van de bedrijfstakken met de hoogste emissies geeft figuur 4.14.5 een beeld van de gehalten aan stikstof in het afvalwater. Hierbij is geen onderscheid gemaakt naar lozing op riool of oppervlaktewater en wel/geen eigen AWZI (afvalwaterzuiveringsinstallatie). Door de grote verschillen in gehalten tussen bedrijven geven we, na sortering op gehalte, de gehalten van de middelste helft van de waarnemingen weer: tweede en derde kwartielbox. De mediaan (middelste waarneming) is ook weergegeven en is de overgang van het tweede naar derde kwartiel.

Niet van alle bedrijven zijn de emissies in afvalwater en daarmee de gehalten bekend. Voor opgave aan de Emissieregistratie geldt voor stikstof een drempelwaarde van 50 ton per jaar. In 2012 is circa 8 procent van de totale emissie aan stikstof waargenomen via individuele registratie door industriële bedrijven. Er zijn dat jaar 32 bedrijven met een emissie aan stikstof boven de drempelwaarde. Naast deze bedrijven die verplicht zijn de emissie op te geven, zijn er nog 270 bedrijven bekend in de Emissieregistratie met een uitstoot lager dan de drempelwaarde (tabel 4.14.2). Over 2008, 2010 en 2012 zijn 1119 waarnemingen over de

emissie van stikstof in afvalwater. Deze gegevens zijn afkomstig van 418 verschillende industriële bedrijven (tabel 4.14.3).

Figuur 4.14.5 Gehalte aan stikstof in afvalwater in mg per liter (alle stromen) voor de 10 industriële bedrijfstakken met de grootste geregistreerde emissie aan stikstof in 2008, 2010 en 2012



Het gehalte aan stikstof in het afvalwater is relatief hoog in de bedrijfstakken afvalbehandeling en de vervaardiging van farmaceutische producten. In de afvalbehandeling loost de helft van de bedrijven in de registratie 8 tot 258 mg N per liter afvalwater. De mediaan ligt binnen deze bedrijfstak op 49 mg N per liter en het gemiddelde ligt op 179 mg N per liter afvalwater. In de voedings- en genotmiddelenindustrie, de bedrijfstak met de hoogste stikstofemissie, is de gemiddelde emissie 57 mg N per liter.

Enkele bedrijfsgroepen met een relatief hoge emissie en/of een hoog gehalte aan stikstof in het afvalwater en met voldoende waarnemingen zijn nader beschreven, namelijk voedings- en genotmiddelenindustrie, afvalbehandeling en vervaardiging van basischemicaliën.

In tabel 4.14.2 staan het aantal industriële bedrijven en het aantal waarnemingen bij deze bedrijfstakken waarop de emissies van stikstof in afvalwater in 2012 zijn gebaseerd. Voor de gehalten is uitgegaan van de waarnemingen in 2008, 2010 en 2012 en die staan in tabel 4.14.3 .

Tabel 4.14.2 Waarnemingen van stikstofemissie in afvalwater door bedrijven in 2012

	Bedrijven in Emissieregistratie		Emissies in afvalwater		
	Totaal	w.v. emissie > 5 000 kg/jaar	Totaal	w.v. Waargenomen	Geschat
	<i>aantal</i>		<i>1 000 kg</i>	<i>%</i>	
Totaal industrie ¹	302	32	10 941	61	39
w.o.					
Voedings- en genotmiddelenindustrie	90	9	4 462	46	54
Afvalbehandeling	38	8	2 412	57	43
Vervaardiging basischemicaliën	50	3	879	83	17

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

Tabel 4.14.3 Waarnemingen van stikstofgehalten in afvalwater door bedrijven in 2008, 2010 en 2012

	Bedrijven in Emissie- registratie	Gerapporteerde waarden		Gehaltes in afvalwater			
		Totaal	w.v. emissie > 5 000 kg/jaar	Q1	Q2	Q3	Gemiddelde
	<i>aantal</i>			<i>mg/liter</i>			
Totaal industrie ¹	418	1 119	93	2	9	40	>Q3
w.o.							
Voedings/genotmiddelenind.	110	287	25	5	24	47	>Q3
w.o. slachterijen (geen pluimvee-) ²	8	11	1	28	56	129	Q2-Q3
zuivelindustrie (geen cons. ijs) ²	38	89	11	4	26	51	>Q3
Afvalbehandeling	58	147	24	8	49	258	Q2-Q3
w.o. van onschadelijk afval ²	32	43	8	22	101	329	Q2-Q3
Vervaardiging basischemicaliën	72	213	13	1	4	18	>Q3
w.o. organische basischemicaliën ³	27	52	6	1	3	14	>Q3
kunststof in primaire vorm ²	15	43	1	1	4	19	>Q3

1) SBI bedrijfstakken B Delfstoffen, C Industrie, D Energievoorziening en E Waterbedrijven & afvalbeheer.

2) In 2010 en 2012.

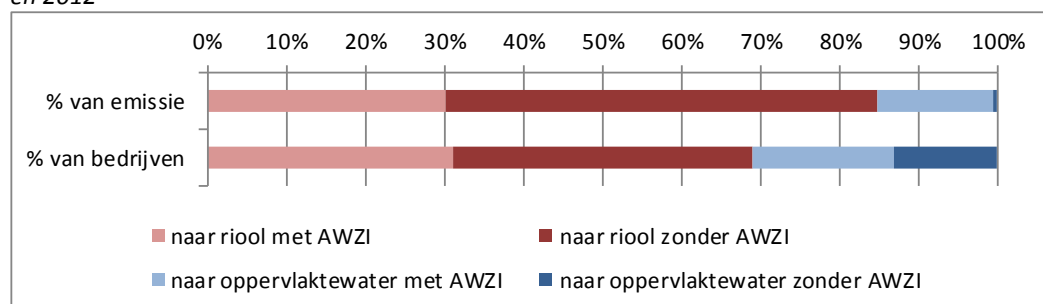
3) SBI 20.14 Vervaardiging van petrochemische producten en overige organische basischemicaliën, in 2010 en 2012.

Voedings- en genotmiddelenindustrie

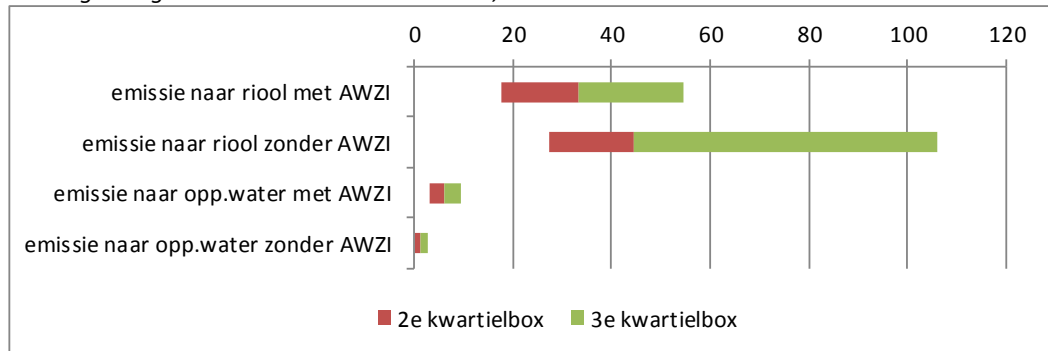
Met een emissie-aandeel van 5 procent in 2012 (4462 ton N) is dit de bedrijfstak met de hoogste stikstofemissie in water, na de hoge emissie door huishoudens. Deze bedrijfstak heeft ook een vrij hoog gehalte aan stikstof in het afvalwater in vergelijking met andere bedrijfstakken.

In figuur 4.14.7 is te zien dat het gehalte aan stikstof in afvalwater het hoogst is bij bedrijven die lozen op het riool zonder eigen AWZI. Deze afvalwaterstroom betreft 38 procent van het aantal bedrijven en 55 procent van de totale emissie aan stikstof van de bedrijven in de registratie (figuur 4.14.6).

Figuur 4.14.6 Procentuele verdeling van emissiestromen van stikstof in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de voedings- en genotmiddelenindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.14.7 Gehalte aan stikstof in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de voedings- en genotmiddelenindustrie in 2008, 2010 en 2012

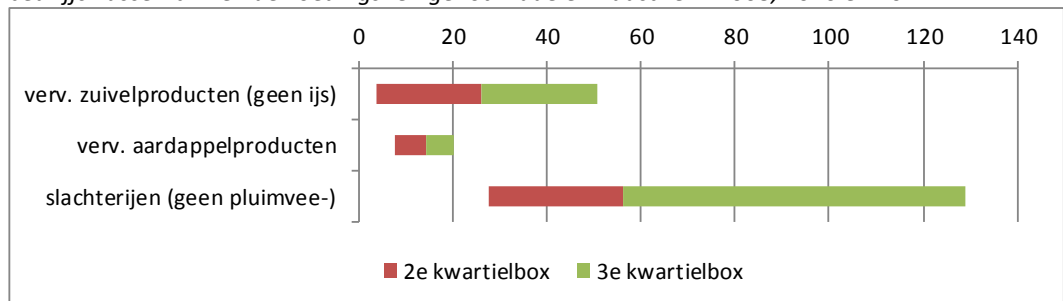


Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de:

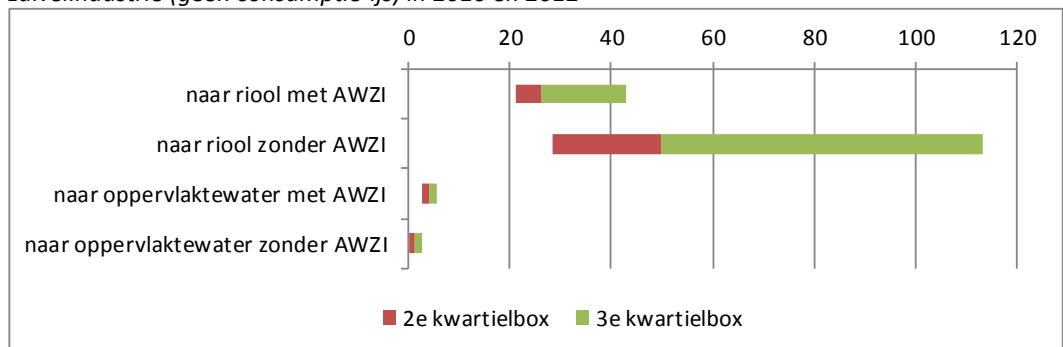
- vervaardiging van zuivelproducten (geen consumptie-ijs, SBI 10.51);
- vervaardiging van aardappelproducten (SBI 10.31);
- slachterijen (geen pluimveeslachterijen; SBI 10.11).

De waargenomen emissies van stikstof in afvalwater bij de vervaardiging van zuivelproducten, aardappelproducten en bij slachterijen zijn in 2012 respectievelijk 1114, 279 en 36 ton. De bedrijven in de zuivelindustrie lozen vooral op het riool zonder eigen AWZI en in deze afvalwaterstroom zijn ook de hoogste gehalten aan stikstof in het afvalwater aangetroffen. Zie figuren 4.14.8 en 4.14.9. De slachterijen (geen pluimvee-) lozen vooral op het riool met AWZI en dit afvalwater bevat hoge gehalten aan stikstof (figuur 4.14.9).

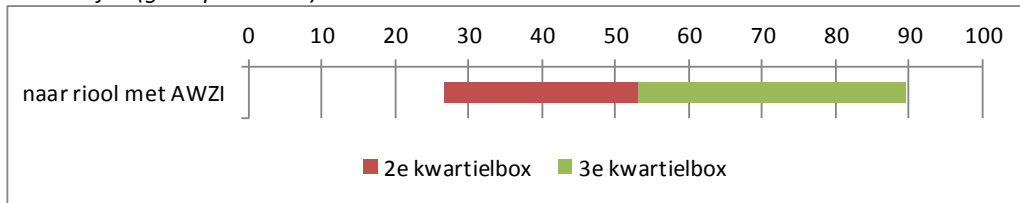
Figuur 4.14.8 Gehalte aan stikstof in afvalwater in mg per liter (alle stromen) voor enkele bedrijfsklassen binnen de voedings- en genotmiddelenindustrie in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.14.9 Gehalte aan stikstof in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de zuivelindustrie (geen consumptie-ijs) in 2010 en 2012



Figuur 4.14.10 Gehalte aan stikstof in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in slachterijen (geen pluimvee-) in 2010 en 2012

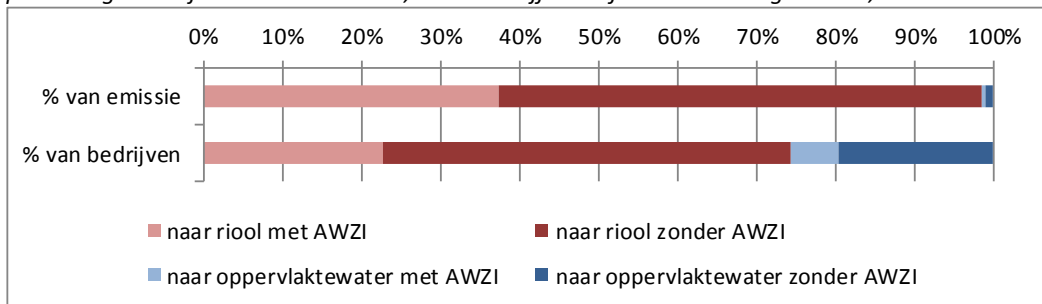


Afvalbehandeling

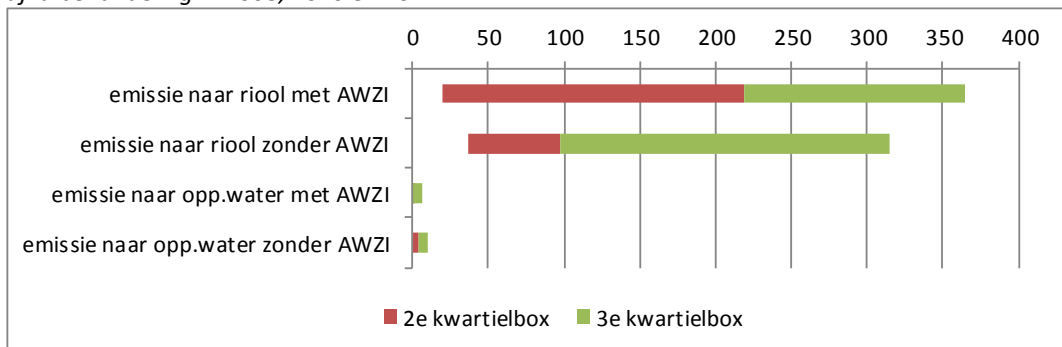
Bij de afvalbehandeling komen hogere emissiegehalten van stikstof in het afvalwater voor dan bij de voedings- en genotmiddelenindustrie. In 2012 heeft deze bedrijfspgroep een aandeel van 3 procent in de totale emissie van stikstof in afvalwater (2412 ton N).

In figuur 4.14.12 is te zien dat het gehalte aan stikstof in afvalwater het hoogst is bij bedrijven met eigen AWZI die lozen op het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 23 procent van het aantal bedrijven en 37 procent van de totale emissie aan stikstof van de bedrijven in de registratie (figuur 4.14.11).

Figuur 4.14.11 Procentuele verdeling van emissiestromen van stikstof in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de bedrijfstak afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.14.12 Gehalte aan stikstof in afvalwater in µg per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



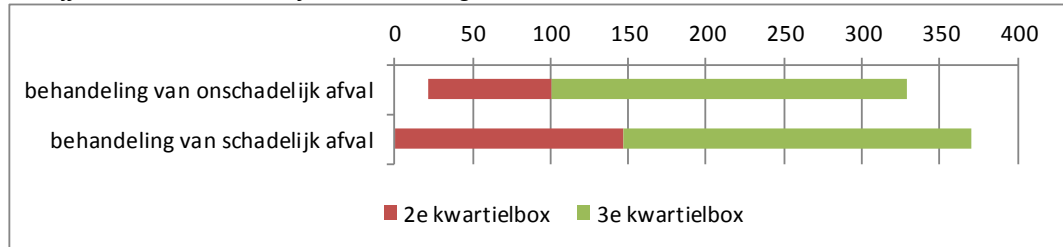
Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de behandeling van:

- onschadelijk afval (SBI 38.21);
- schadelijk afval (SBI 38.22).

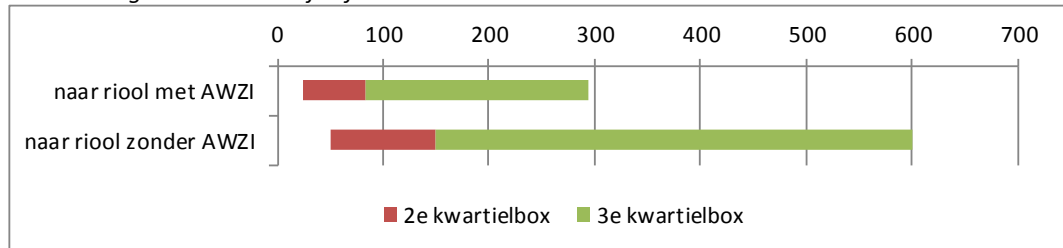
De waargenomen emissies van stikstof in afvalwater bij de behandeling van onschadelijk afval en bij de behandeling van schadelijk afval zijn in 2012 respectievelijk 583 en 333 ton.

Het afvalwater van bedrijven die schadelijk afval behandelen, bevat iets hogere gehalten aan stikstof dan bedrijven die onschadelijk afval behandelen. Bij de laatstgenoemde bedrijven zijn de N-gehalten hoger bij bedrijven die geen eigen AWZI hebben (figuur 4.14.14).

Figuur 4.14.13 Gehalte aan stikstof in afvalwater in mg per liter (alle stromen) voor enkele bedrijfsklassen binnen de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



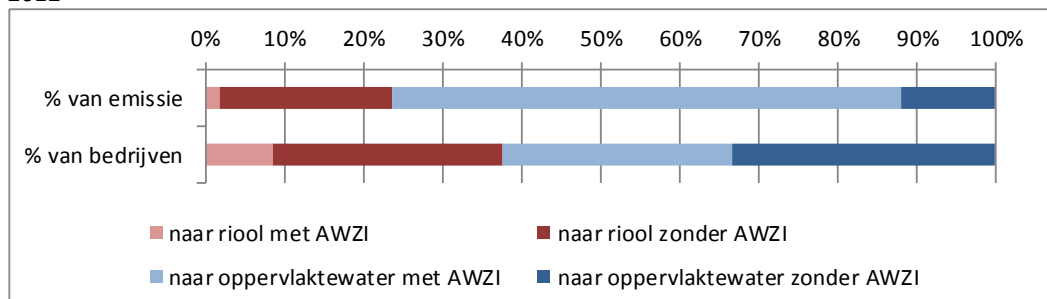
Figuur 4.14.14 Gehalte aan stikstof in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de behandeling van onschadelijk afval in 2010 en 2012



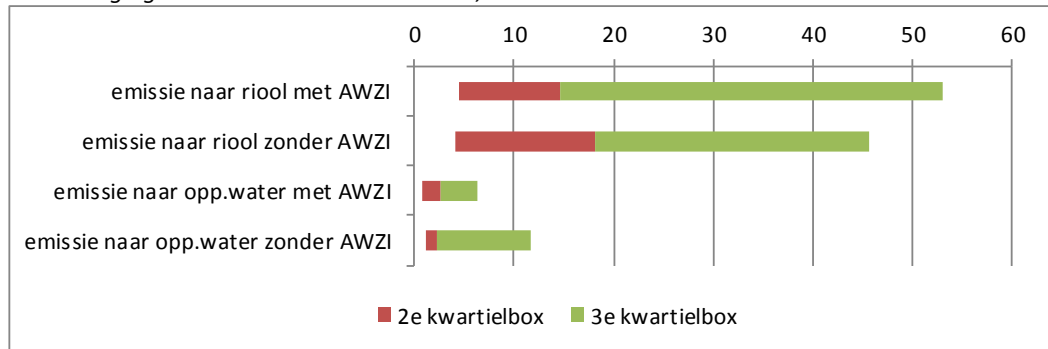
Vervaardiging van basischemicaliën

De bedrijfstak vervaardiging basischemicaliën heeft een emissie-aandeel van 1 procent in 2012 (879 ton N). Deze bedrijfstak heeft in vergelijking met de voeding- en genotmiddelenindustrie en de afvalbehandeling een laag gehalte aan stikstof in het afvalwater, maar heeft wel een vrij hoog volume aan afvalwater. In figuur 4.14.16 is te zien dat het gehalte aan stikstof in afvalwater het hoogst is bij bedrijven zonder een eigen AWZI die lozen naar het riool. Deze afvalwaterstroom betreft 29 procent van het aantal bedrijven en 22 procent van de totale emissie aan stikstof van de bedrijven in de registratie (figuur 4.14.15).

Figuur 4.14.15 Procentuele verdeling van emissiestromen van stikstof in afvalwater met het percentage bedrijven met die stroom, in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.14.16 Gehalte aan stikstof in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de vervaardiging van basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012

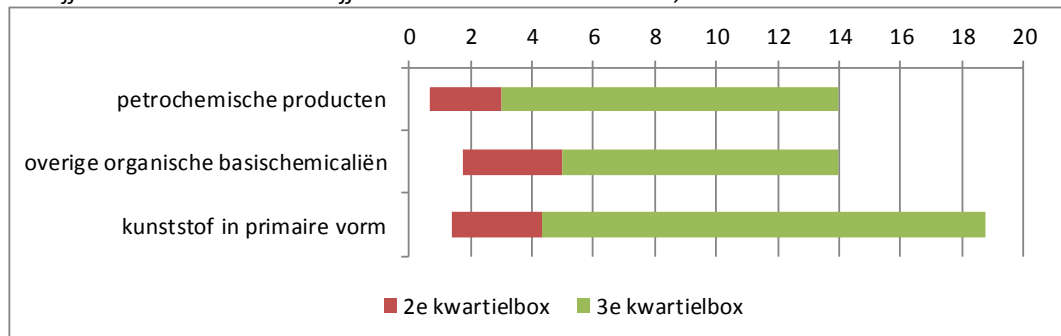


Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de vervaardiging van:

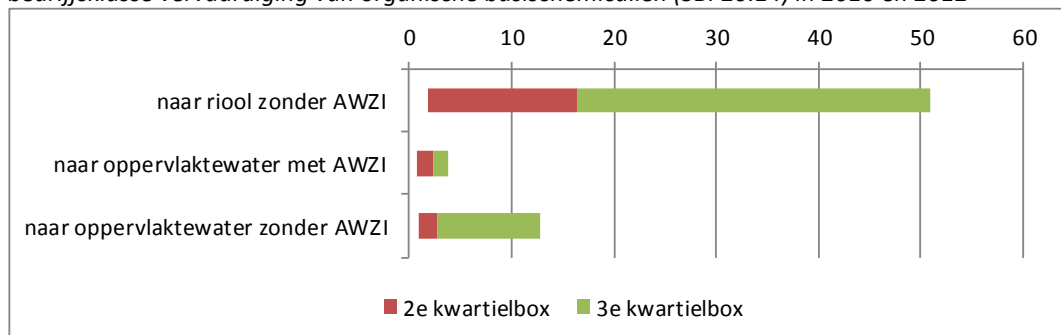
- petrochemische producten (SBI 20.14.1);
- overige organische basischemicaliën (SBI 20.14.9);
- kunststof in primaire vorm (SBI 20.16).

De waargenomen emissies van stikstof in afvalwater bij de vervaardiging van petrochemische producten, overige organische basischemicaliën en kunststof in primaire vorm zijn in 2012 respectievelijk 157, 66 en 449 ton. De gehalten aan stikstof in het afvalwater van deze bedrijfsklassen zijn te zien in figuren 4.14.17, 4.14.18 en 4.14.19.

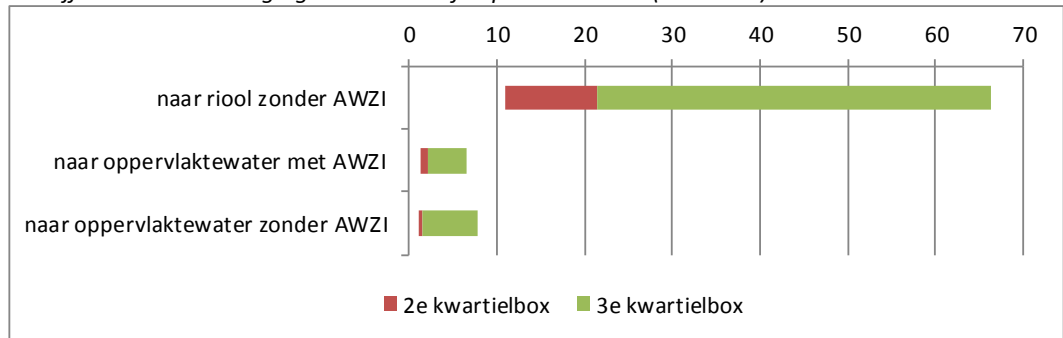
Figuur 4.14.17 Gehalte aan stikstof in afvalwater in μg per liter (alle stromen) voor enkele bedrijfsklassen binnen de bedrijfstak basischemicaliën in 2008, 2010 en 2012



Figuur 4.14.18 Gehalte aan stikstof in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de bedrijfsklasse vervaardiging van organische basischemicaliën (SBI 20.14) in 2010 en 2012



Figuur 4.14.19 Gehalte aan stikstof in afvalwater in μg per liter per afvalwaterstroom in de bedrijfsklasse vervaardiging van kunststof in primaire vorm (SBI 20.16) in 2010 en 2012



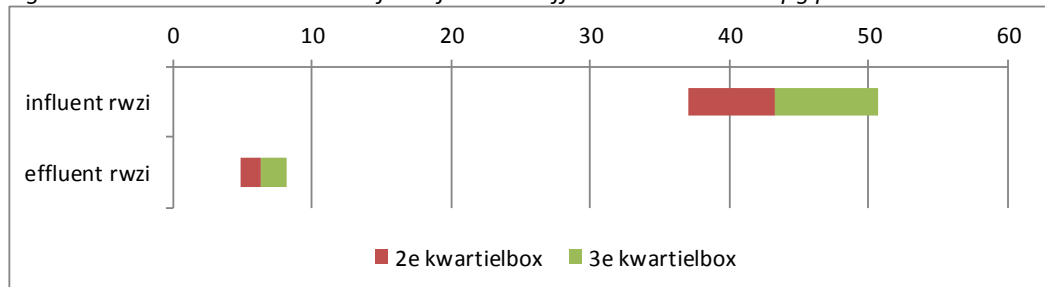
4.14.3 Stikstof in slib

Bij RWZI's

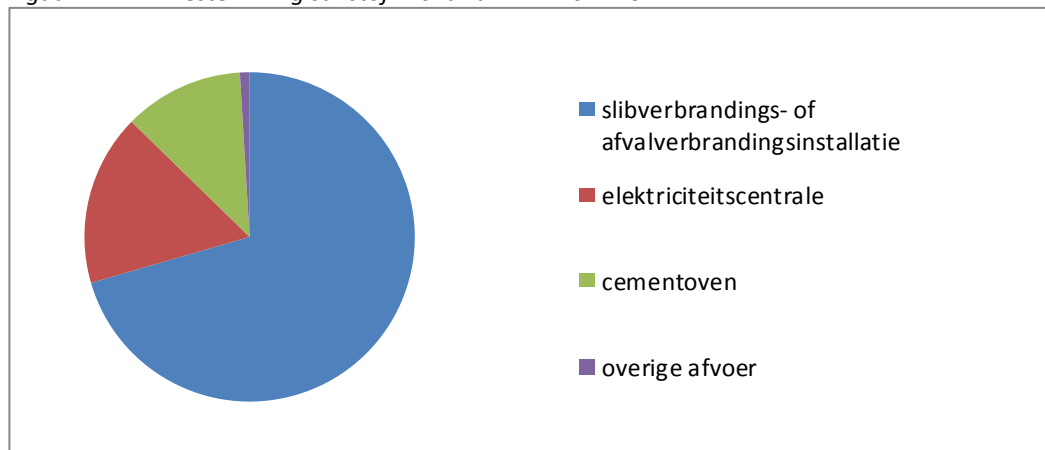
De rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) zuiveren het afvalwater van huishoudens, bedrijven en andere RWZI's dat via het openbaar riool wordt aangevoerd. Het influent bevat gemiddeld 45 mg N per liter; in totaal 89,0 miljoen kg stikstof in 2012. Na zuivering is het gehalte omlaag gebracht tot gemiddeld 7 mg per liter in het effluent (figuur 4.14.20). Het zuiveringsrendement bedraagt daarmee 83 procent. Een groot deel van de stikstof vervluchtigt tijdens de zuivering en er komt een kleiner deel terecht in het zuiveringsslib.

Het slib van de RWZI's bevat in 2012 18,7 miljoen kg stikstof. Circa 70 procent van de stikstof in het slib belandt in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie (figuur 4.14.21). De resterende hoeveelheid wordt ook verbrand maar dan in cementovens of elektriciteitscentrales.

Figuur 4.14.20 Gehalte aan stikstof in influent en effluent van RWZI's in μg per liter in 2012



Figuur 4.14.21 Bestemming stikstof in slib van RWZI's in 2012

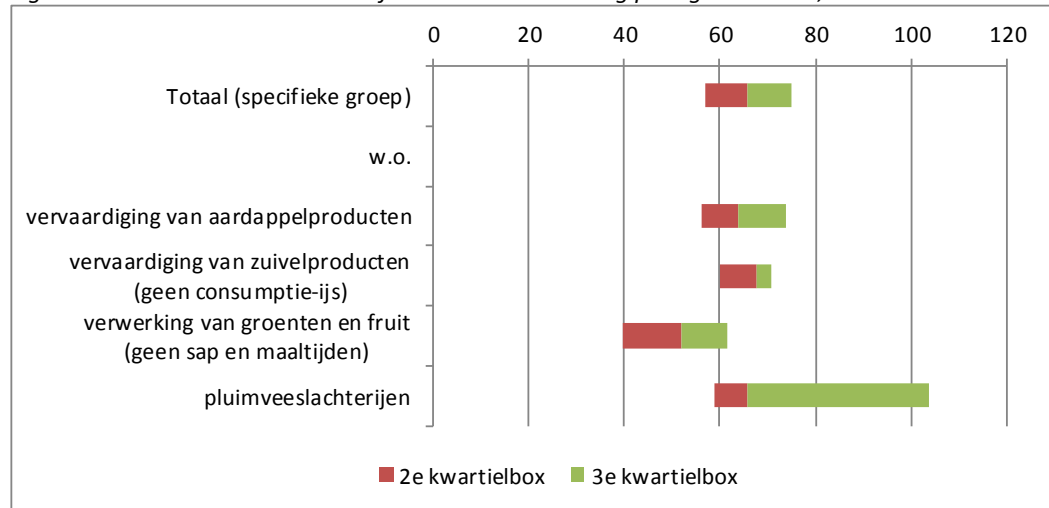


Bij AWZI's

Van 44 bedrijven in de slibregistratie zijn waarnemingen over gehalten aan stoffen in het slib bekend. Het is een enigszins specifieke groep, want het zijn bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie met een eigen AWZI die voor een groot deel hun slib afzetten in de landbouw. In totaal zijn er 218 waarnemingen over stikstof in 2008, 2010 en 2012. De AWZI's halen een groot deel van de stikstof uit het afvalwater. Van de hoeveelheid stikstof na zuivering zit circa 59 procent in het slib en 41 procent in het effluent.

Het gemiddelde gehalte aan stikstof in het zuiveringsslib van deze specifieke groep bedrijven bedraagt 66 gram per kg droge stof. Voor gebruik als meststof is een hoog gehalte aan stikstof in het slib gewenst. De gehalten aan stikstof in het slib verschillen behoorlijk tussen bedrijfstakken en ook binnen een bedrijfstak. De bedrijfstak pluimveeslachterijen laat in figuur 4.14.22 de hoogste gehalten aan stikstof in het slib zien.

Figuur 4.14.22 Gehalte aan stikstof in slib van AWZI's in g per kg ds in 2008, 2010 en 2012



Van 10 bedrijven in de mini-enquête zijn 26 waarnemingen bekend over het stikstofgehalte in het slib. De gehalten liggen tussen de 0,4 en 73 gram per kg droge stof, met een gemiddelde van 39 gram per kg droge stof (ongewogen naar volume). Dit gemiddelde is veel lager dan die van de bedrijven in de slibregistratie. Hoge gehalten zijn aangetroffen in de bedrijfstakken vervaardiging van overige organische basischemicaliën (geen petrochemische producten), de vervaardiging van golfpapier en -karton en de vervaardiging van zetmeel en zetmeelproducten. Het aantal bedrijven is te beperkt om de gehalten per bedrijfstak weer te geven.

Bij slibverbranders

In 2012 is 66 procent van het slib van RWZI's verbrand in een slibverbrandings- of afvalverbrandingsinstallatie. CBS heeft geen gegevens ontvangen over de hoeveelheid stikstof in het inkomende slib bij SVI Dordrecht en SNB.

4.14.4 Samenvatting stikstof

Consumenten zijn verreweg de belangrijkste emissiebron van stikstof in het afvalwater. Andere belangrijke emissiebronnen zijn de voedingsmiddelenindustrie en de landbouw. Hoge gehalten aan stikstof in het afvalwater zijn aangetroffen bij bedrijven die afval behandelen, bij slachterijen en bij bedrijven in de farmaceutische industrie en kunstmeststoffenindustrie. Hoge

gehalten aan stikstof in het slib zijn aangetroffen bij pluimveeslachterijen en andere bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie.

5. Afkortingen

ABR	Algemeen Bedrijven Register
Al	Aluminium
Ag	Zilver
AWZI	Afvalwaterzuiveringsinstallatie
BGS	British Geological Survey
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CvB	Centrum voor Beleidsstatistiek
Co	Kobalt
Cr	Chroom
Cu	Koper
ds	Droge stof
e-MJV	Elektronisch Milieujaarverslag
EZ	Ministerie van Economische Zaken
EU	Europese Unie
g	Gram
IenM	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
kg	Kilogram
l	Liter
mg	Milligram
MJV	Milieujaarverslag
Mn	Mangaan
Mo	Molybdeen
N	Stikstof
Nen	Nederlandse norm
Ni	Nikkel
P	Fosfor
PRODCOM	PRODUCTION COMMUNAUTAIRE
RIVM	Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieu
RVS	Roestvrij staal
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
SBI	Standaard Bedrijfsindeling
SNB	Slibverwerking Noord-Brabant
SVI Dordrecht	Slibverbrandingsinstallatie Dordrecht
V	Vanadium
Zn	Zink
Sb	Antimoon
µg	Microgram

6. Literatuur

- Aluminium centrum. *Recycling van aluminium*. Houten. Geraadpleegd in 2015.
http://www.aluminiumcentrum.nl/aluminiumcentrum.nl/files/Doc/Aluminium/Milieu-%20en%20ketenbeheer/Recycling_van_aluminium.PDF
- Aluminiumprijs.eu. *Aluminium: De meest gebruikte toepassingen van dit basis metaal*. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.aluminiumprijs.eu/aluminium-info.html>
- Artemis resources. Antimony Prices And Market. West-Perth. Geraadpleegd in 2015.
<http://artemisresources.com.au/projects/eastern-hills-antimony-project/antimony-prices-and-market/>
- Bastein, T en E. Rietveld en S. van Zyl (2014). *Materialen in de Nederlandse Economie - een beoordeling van de kwetsbaarheid*. Delft: TNO.
- Boersma, G. (2013). *Direct copper electrowinning from ammoniacal e-waste leach solutions*. Plusbusiness.nl.
<http://www.plusbusiness.nl/GerritBoersma.php>
- Brown, T.J. en S.F. Hobbs, A.J. Mills, N.E. Idoine en C.E. Wrighton (2015). *European Mineral Statistics, 2009-13*. Nottingham: British Geological Survey (BGS).
- Brown, T.J. en S.F. C.E. Wrighton, E.R. Raycraft, R.A. Shaw, E.A. Deady, J. Rippingale, T.Bide en N.E. Idoine (2015). *World Mineral Production, 2009-13*. Nottingham: British Geological Survey (BGS).
- Chemische feitelijkheden (1996). *Chroom*.
<http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/h069-Chroom.pdf>
- Dawsongold.nl. *Zilverprijs verleden, ontwikkeling zilver koers*. Cuijk.
<http://www.dawsongold.nl/goudkoers/verleden-zilverprijs/>
- DuurzaamBedrijfsleven.nl (2014, 7 augustus). *Accu's goedkoper met vanadium uit mijnafval*.
<http://www.duurzaambedrijfsleven.nl/energie/2905/accus-goedkoper-met-vanadium-uit-mijnafval>
- Electrischeauto.com (2014, 31 augustus). *Recyclen van batterijen – stand van zaken*.
<http://elektrischeauto.com/recyclen-van-batterijen/>
- Elemetal, *Elemetal Copper Recovery process*. Delft. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.elemetal.eu/technology/ecr>
- Emis, energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest. *BREF voor de leerlooi-industrie*. Geraadpleegd in 2015.
http://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/pages/migrated/BREF_tanneries_samenvatting.pdf

Erkel, J. van. *Metaalhoudende afvalstoffen: hergebruik*. Apeldoorn: TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie. Gepubliceerd in Chemische feitelijkheden (1997, november).
<http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/CF-138-Metaalhoudende-afvalstoffen.pdf>

EUR-Lex -52013DC0517. *Consultatieve mededeling over het duurzaam gebruik van fosfor (COM/2013/0517 final)*
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:52013DC0517>

Infonu.nl. Wetenschap. *Vanadium: Het element*. Geraadpleegd in 2015.
<http://wetenschap.infonu.nl/techniek/115664-vanadium-het-element.html>

International Nickel Study Group (INSG). About Nickel. Lissabon. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.insg.org/whatnickel.aspx>

Lenntech Waterbehandeling. Elementen. Delft. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.lenntech.nl/periodiek/elementen/index.htm>

Merafe resources. The global position of ferrochrome. Bryanston.
<http://www.meraferesources.co.za/bus-perating-context.php#.Vp--gzqYa72>

Nrc.nl (2012, 24 februari). *Krioelen met Paques. Paques in Balk is gespecialiseerd in de winning van reststoffen uit afvalwater en -gas van de industrie*.
<http://www.nrc.nl/handelsblad/2012/02/24/krioelen-met-paques-12264632>

Nutriëntplatform.nl. *Visiebrochure. Afvalwaterketen tot 2030*. Geraadpleegd in januari 2016.
<http://www.nutriëntplatform.org/images/Afvalwaterketen%20tot%202030.pdf>

Nutriëntplatform.nl. *GMB (2) Stikstofterugwinning uit zuiveringsslib*. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.nutriëntplatform.org/business-cases/bedrijfsnaam/a-tm-z/149-gmb-2.html>

SNB (2015, 24 september). *Fosfaat terugwinning*. Moerdijk.
<http://www.snb.nl/fosfaat terugwinning/>

InvestmentMine. Commodity and Metal Prices. Vancouver. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/>

Reitsma, B.A.H. en H. Kuipers (2004). *Onderzoek fosfaat terugwinning uit stripperwater BCFS RWZI Deventer, 2005-01*. Utrecht: STOWA.

Rijksoverheid. Emissieregistratie. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/bumper.nl.aspx>

Rijksoverheid. Helpdesk Water. Waterwet. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/>

Rijksoverheid. Helpdesk Water. Watson. Geraadpleegd in 2015.
<http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/monitoring/@39040/watson/>

Rijkswaterstaat. Kenniscentrum InfoMil. Afvalwater. *Membraanelektrolyse*. Geraadpleegd in 2015.

<http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/afvalwater/milieumaatregelen-0/milieumaatregelen/@113637/membraanelektrolyse/>

RIZA (1995). *Ontwikkelingen op het gebied van afvalwaterbehandeling. Een samenvattende rapportage van de watergerelateerde projecten uit de stimuleringsregeling Milieutechnologie van 1992 tot 1994*.

Royal aluminium. *Grondstof tot materiaal*. Helmond. Geraadpleegd in 2015.

<http://www.roval.nl/NL/Van-grondstof-tot-materiaal>

Saakes, M. (2015, 15 januari). *Elektronen producerende micro-organismen: hoe wij onze grondstoffen daarmee kunnen terugwinnen*. Leeuwarden: Wetsus.

<http://www.wetusus.nl/websites/wetusus.nl/mediadepot/2584d36b7d54.pdf>

StatLine, *Afvalwaterzuivering bij bedrijven; naar bedrijfstak* (2015, 18 maart).

<http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=81604NED&D1=a&D2=a&D3=l&VW=T>

StatLine, *Emissies naar water, type lozing, bedrijfstak industrie* (2015, 10 juli).

<http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=81353NED&D1=0-11&D2=a&D3=a&D4=l&HDR=G3%2cG1&STB=T%2cG2&VW=T>

Taal, G. (2007, 30 januari). *Fors hogere afzetsprijzen metaalindustrie*. CBS-Webmagazine.

U.S. Geological Survey (USGS) Minerals Information. Commodity Statistics and Information. Geraadpleegd in 2015.

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>

Vereniging Afvalbedrijven. *Bodemas als grondstof*. 's-Hertogenbosch. Geraadpleegd in 2015.

<http://www.verenigingafvalbedrijven.nl/afvalmanagement/energie-uit-afval/bodemas-als-grondstof.html>

Volkskrant.nl (2008, 3 januari). Toyota Prius drijft prijs kobalt op.

<http://www.volkskrant.nl/economie/toyota-prius-drijft-prijs-kobalt-op~a882030/>

Wageningen UR. Resource (2010, 9 juni). Biobrandstofcel wint koper terug.

<http://resource.wageningenur.nl/nl/show-31/Biobrandstofcel-wint-koper-terug.htm>

Wall Street Daily (2015, 19 januari). *Has Molybdenem Seen the Bottom?* Baltimore.

<http://www.wallstreetdaily.com/2015/01/19/molybdenum-bottoming-out/>

Wortmann, E. en K. Kujawa-Roeleveld, G. Zeeman, C. van Erp Taalman Kip, W. van Betuw, E. Voorthuizen et al (2010). *Nieuwe sanitatie Westland*, STOWA, 2010-10.

7. Bijlagen

7.1 Bijschattingen in Emissieregistratie voor lozingen op riool

Bijschattingen van de emissies naar riool van kritische stoffen bij enkele bedrijfstakken, in 2012

		Registratie in kg	Totaal in kg	Bijschatting
Aluminiumverb. (als Al)	basismetalaalindustrie	12.680	42.150	70%
	metaalproductenindustrie	24.160	33.690	28%
Antimoonverb. (als Sb)	afvalbehandeling	350	350	0%
Chroomverb. (als Cr)	afvalbehandeling	100	180	44%
	metaalproductenindustrie	40	360	88%
	vervaardiging basischemicaliën	60	60	5%
Kobaltverb. (als Co)	afvalbehandeling	70	120	43%
Koperverb. (als Cu)	afvalbehandeling	220	380	42%
	textiel industrie	750	1.010	25%
	vervaardiging basischemicaliën	120	440	72%
Molybdeenverb. (als Mo)	afvalbehandeling	200	350	43%
	vervaardiging basischemicaliën	10	30	79%
N - Totaal	afvalbehandeling	1.354.960	2.392.940	43%
	basismetalaalindustrie	2.820	9.030	69%
	kunstmeststoffenindustrie	206.110	206.110	0%
	vervaardiging basischemicaliën	194.250	346.230	44%
	vervaardiging farmaceutische producten	25.500	135.290	81%
	voedings- en genotmiddelenindustrie	1.758.810	4.182.500	58%
Nikkelverb. (als Ni)	afvalbehandeling	340	620	44%
	basismetalaalindustrie	20	60	70%
	metaalproductenindustrie	50	1.000	95%
	vervaardiging basischemicaliën	80	90	3%
P - Totaal	afvalbehandeling	146.310	256.770	43%
	kunstmeststoffenindustrie	17.080	17.080	0%
	vervaardiging basischemicaliën	10.680	18.100	41%
	voedings- en genotmiddelenindustrie	580.360	865.040	33%
Vanadiumverb. (als V)	afvalbehandeling	150	260	43%
Zilververb. (als Ag)	chemische industrie	107	142	25%
Zinkverb. (als Zn)	afvalbehandeling	540	1.850	71%
	basismetalaalindustrie	30	110	73%
	metaalproductenindustrie	430	3.580	88%
	papier industrie	130	850	85%
	textiel industrie	390	870	56%
	vervaardiging basischemicaliën	920	1.210	24%
	voedings- en genotmiddelenindustrie	600	3.450	83%

7.2 Enquêteformulier voor bedrijven met eigen AWZI



Centraal Bureau voor de Statistiek
Divisie Sociaal-economische en ruimtelijke statistieken
Sector Dienstverlening en informatieverstrekking
Henri Faasdreef 312, Postbus 24500, 2492 JP Den Haag

Inventarisatie samenstelling van zuiverings-slib

Referentienummer (zie mail)

1. Gehaltes in slib

De gemiddelde gehalten (in g/mg/ug per kg droge stof) van stikstof en kritische materialen in het slib, naar verslagperiode.

Bij het 'aantal metingen' kunt u aangeven of het een eenmalige meting betrof of dat het gemiddelde gehalte betrekking heeft op x aantal metingen. U zou ons enorm van dienst zijn om de gehalten, indien bekend, voor meerdere verslagperiodes op te geven.

	Verslagperiode	Selecteer jaar		
		Aantal metingen in verslagperiode		
	Eenheid*	Gemiddelde	Gemiddelde	Gemiddelde
Totaal-Stikstof als N	1 Selecteer eenheid	101	201	301
Totaal-Fosfor als P	2 Selecteer eenheid	102	202	302
Nikkel	3 Selecteer eenheid	103	203	303
Koper	4 Selecteer eenheid	104	204	304
Chroom	5 Selecteer eenheid	105	205	305
Aluminium	6 Selecteer eenheid	106	206	306
Zink	7 Selecteer eenheid	107	207	307
Antimoon	8 Selecteer eenheid	108	208	308
Kobalt	9 Selecteer eenheid	109	209	309
Vanadium	10 Selecteer eenheid	110	210	310
Beryllium	11 Selecteer eenheid	111	211	311
Gallium	12 Selecteer eenheid	112	212	312
Mangaan	13 Selecteer eenheid	113	213	313
Molybdeen	14 Selecteer eenheid	114	214	314
Zilver	15 Selecteer eenheid	115	215	315

d.s.=droge stof

2. Hergebruik

Mogelijk worden bepaalde stoffen door uw bedrijf hergebruikt. Selecteer deze stoffen in onderstaande lijsten en geef daarbij de gebruikte techniek voor herwinning aan.

Gebruikte techniek bij herwinning

Kies een stof	21	
Kies een stof	22	
Kies een stof	23	
Kies een stof	24	

3. Tot slot

Tot slot nog twee vragen die ons verder kunnen helpen bij de inventarisatie.

Hoe groot acht u de kans dat u slib in de toekomst laat analyseren?

31 kies een optie

Kent u eventueel nog andere bronnen die ons verder kunnen helpen. Geef deze bronnen aan in het tekstvlak hieronder. U kunt deze bronnen ook aanhangen als bijlagen

32

Contactpersoon: