



Fosfor 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.

1. Inleiding

Deze informatiefolder beoogt een indicatie te geven van de hoeveelheden en gehalten van fosfor op verschillende plekken in de afvalwaterketen. Met deze informatie zijn plekken in de afvalwaterketen aan te wijzen die mogelijk geschikt zijn om fosfor terug te winnen.

Deze folder is tevens opgenomen als hoofdstuk in het rapport "*Kritische materialen in afvalwater en slib*" dat het Centraal Bureau voor de Statistiek in opdracht van het Ministerie van Economisch Zaken heeft gepubliceerd [<link>](#). In het rapport kan met terecht voor meer informatie over de gehanteerde methoden en bronnen bij de totstandkoming van de cijfers in deze folder. Naast deze folder zijn er folders over andere kritische materialen.

De folder is als volgt samengesteld. In hoofdstuk 2 staat algemene informatie over de verschijningsvorm, de waarde van de stof en het wereldproductie- en importvolume. Hoofdstuk 3 geeft de hoeveelheden en gehalten van de stof in het *afvalwater* weer, al dan niet uitgesplitst naar bedrijfstak. De hoeveelheden en gehalten van de stof in het *slib* worden in hoofdstuk 4 behandeld. Tot slot volgt een korte samenvatting.

2. 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 P¹.

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 Rusland². 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 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.

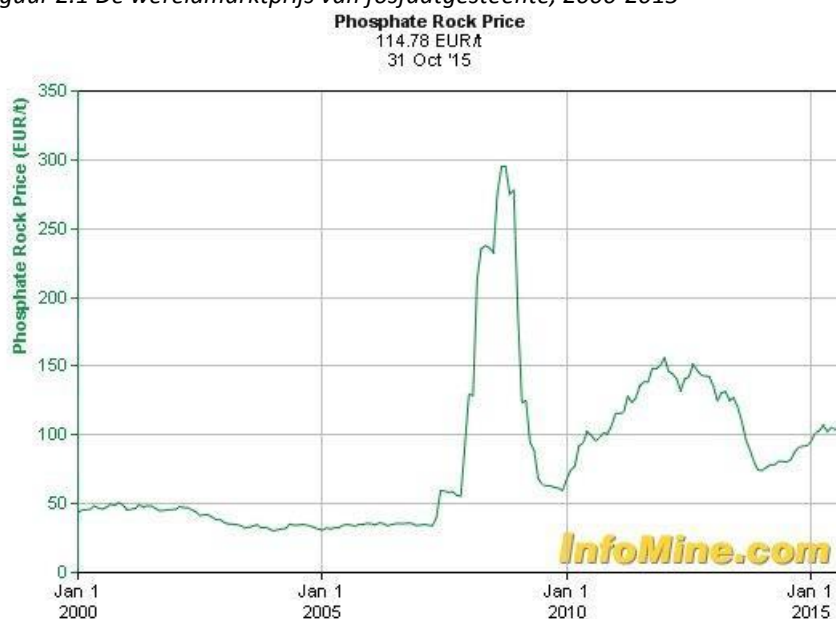
¹ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Fosfor>

² http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2012-phosp.pdf

Waarde

Figuur 2.1³ 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 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 voedselprijsstijgingen⁴.

Figuur 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, zijn⁵:

- 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.

³ <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/phosphate-rock/all/>

⁴ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:52013DC0517>

⁵ <http://nl.wikipedia.org/wiki/Fosfor>

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 waterverontreiniging tegen te gaan, hebben veel organisaties belangstelling voor terugwinnen van fosfaat uit afvalwater. Dit kan op diverse plaatsen in de afvalwaterketen^{6 7}:

- 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 slibverbranders⁸. Technologieën zoals die toegepast worden bij een RWZI zijn in principe ook toepasbaar bij particuliere bedrijven met een eigen AWZI.

3. Fosfor in afvalwater

Totale emissie aan fosfor

De totale watergerelateerde emissie⁹ 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.

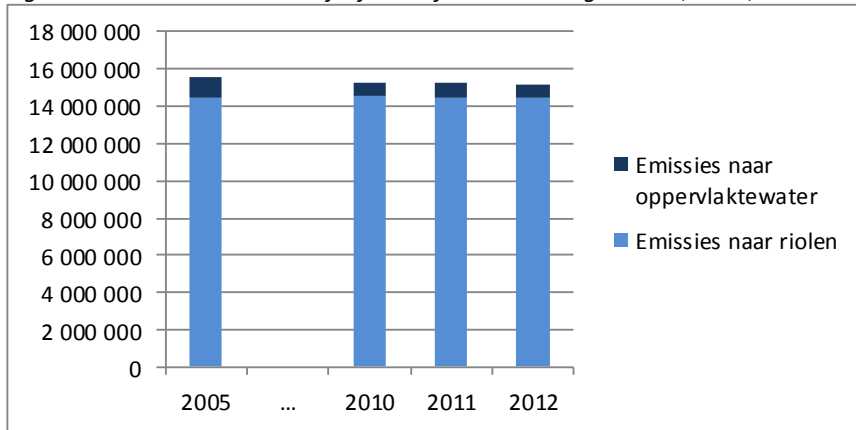
⁶ <http://www.snb.nl/fosfaat/fosfaatterugwinning/1764>

⁷ Reitsma, B.A.H., Kuipers, H., Onderzoek fosfaatterugwinning uit stripperwater BCFS RWZI Deventer, STOWA 2005-01

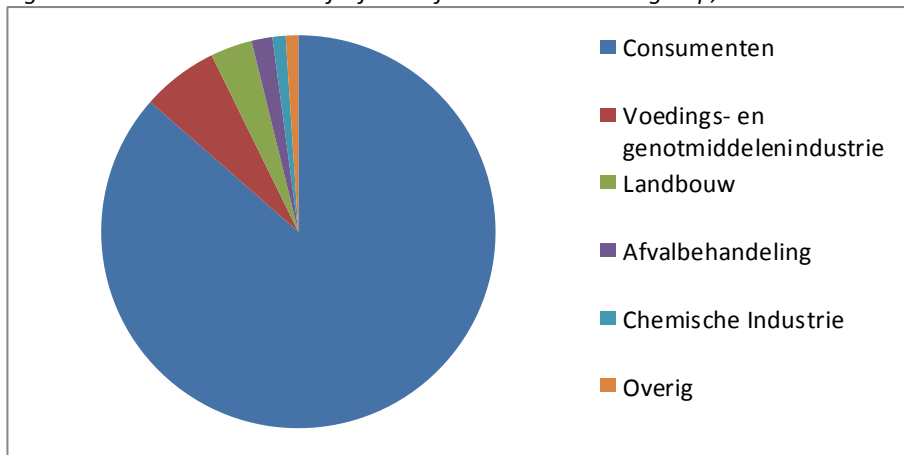
⁸ <http://www.nutrientplatform.org/images/Afvalwaterketen%20tot%202030.pdf>

⁹ Dit is exclusief de overdrachten van bodem naar water, zoals de uit- en afspoeling van landbouwgronden, en exclusief de effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

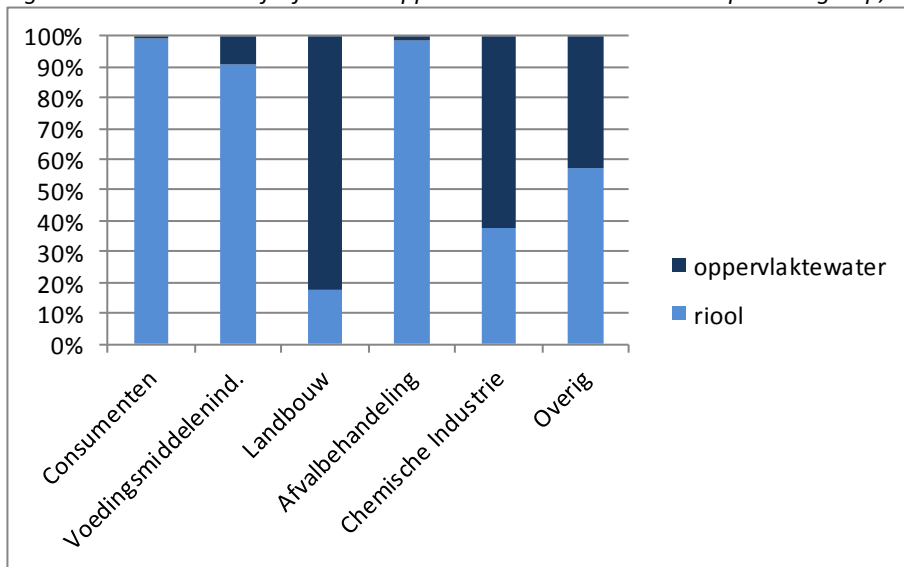
Figuur 3.1 Totale emissie aan fosfor in afvalwater in kg in 2005, 2010, 2011 en 2012



Figuur 3.2 Totale emissie aan fosfor in afvalwater naar doelgroep, 2012



Figuur 3.3 Emissies van fosfor naar oppervlaktewater en naar riool per doelgroep, in 2012



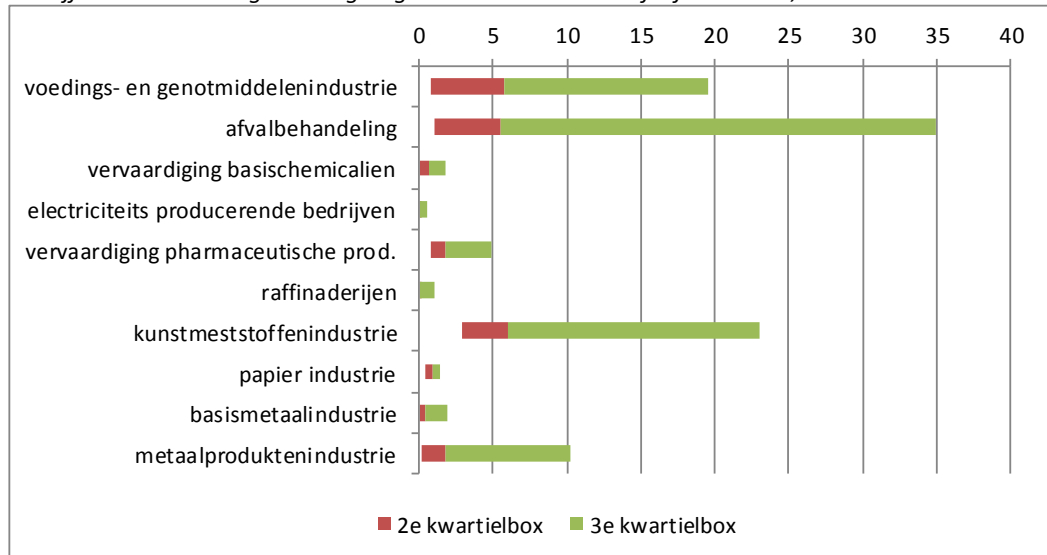
Gehalte aan fosfor in afvalwater bij industriële bedrijven

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 3.4 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 3.1). 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 3.2).

Figuur 3.4 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 3.1 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 3.2. 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 3.1 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 3.2 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.

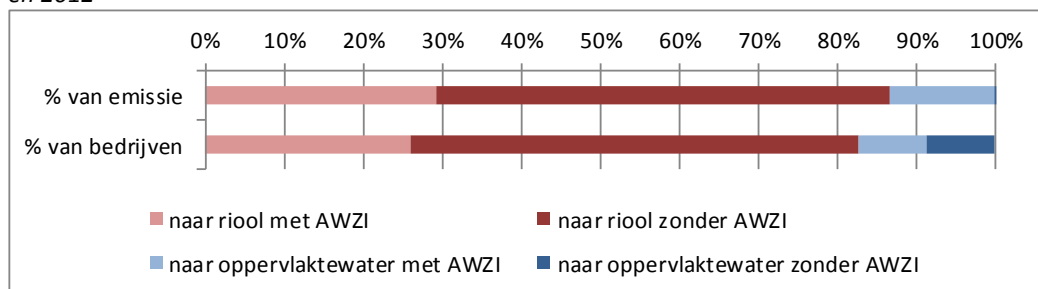
2) SBI 10.51 Vervaardiging van zuivelproducten (geen consumptie-ijs), in 2010 en 2012.

Voedings- en genotmiddelenindustrie

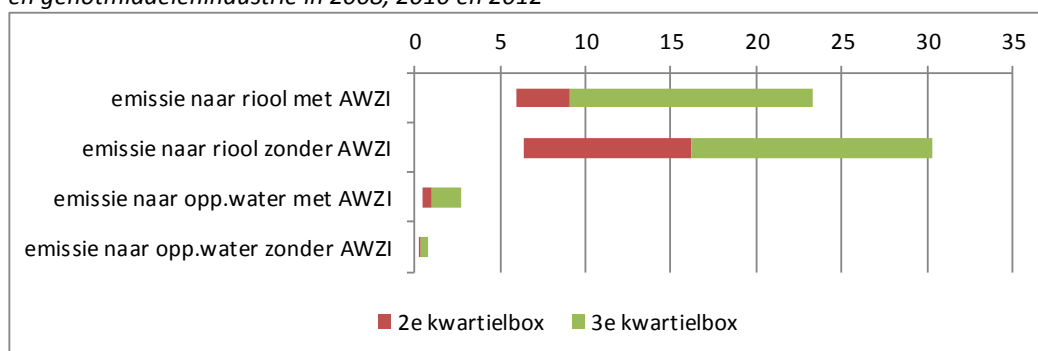
Met een emissie-aandeel van 6 procent (953 ton P) in 2012 heeft de voedings- en genotmiddelenindustrie de hoogste fosforemissie in water, na de hoge emissie door huishoudens. Deze bedrijfstak heeft ook een hoog gehalte aan fosfor in het afvalwater in vergelijking met andere bedrijfstakken. In de Emissieregistratie 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 3.6 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 3.5).

Figuur 3.5 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 3.6 Gehalte aan fosfor in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de voedings- en genotmiddelenindustrie in 2008, 2010 en 2012

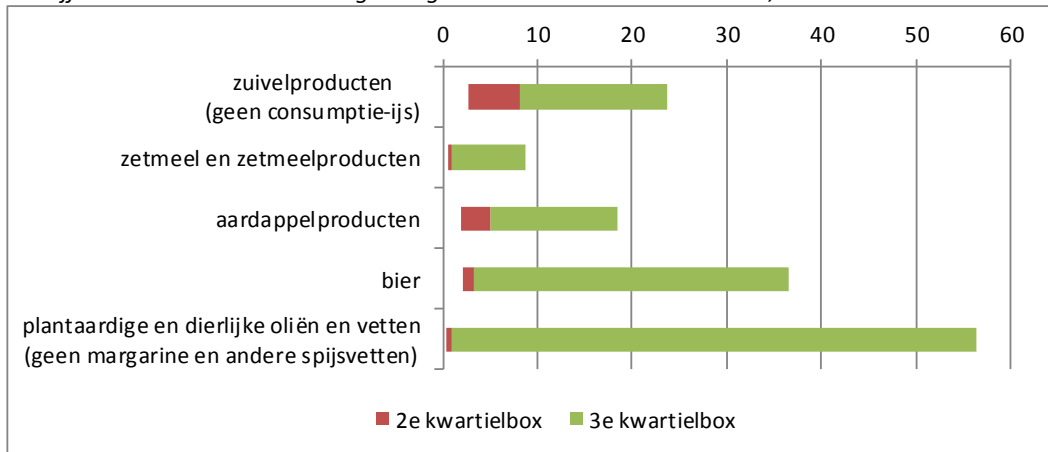


Bij uitsplitsing naar bedrijfsklasse zien we vooral hoge emissies en/of hoge gehalten bij de vervaardiging van:

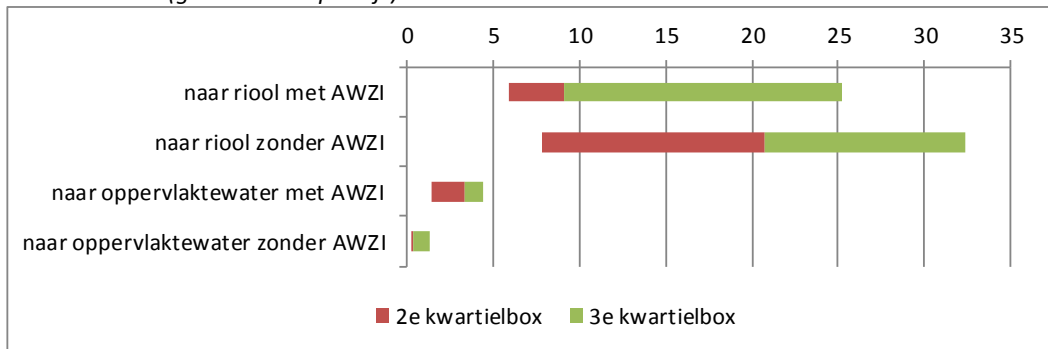
- zuivelproducten (geen consumptie-ijs, SBI 10.51);
- zetmeel en zetmeelproducten (SBI 10.62);
- aardappelproducten (SBI 10.31);
- bier (SBI 11.05);
- plantaardige en dierlijke oliën en vetten (geen margarine en andere spijsvetten, SBI 10.41).

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 3.7 en 3.8. 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 3.7 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 3.8 Gehalte aan fosfor in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de zuivelindustrie (geen consumptie-ijs) in 2010 en 2012

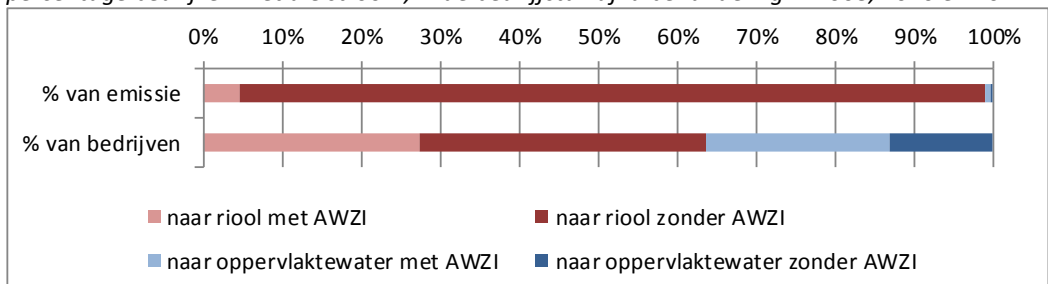


Afvalverwijdering

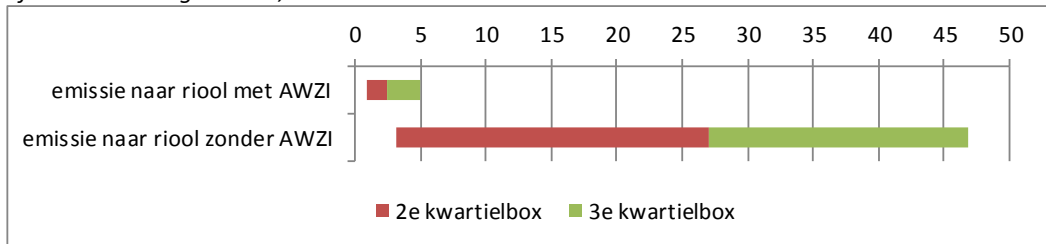
De bedrijfspgroep afvalverwijdering kenmerkt zich ook door hoge emissiegehalten van fosfor in het afvalwater. In 2012 heeft deze bedrijfspgroep een aandeel van 2 procent (262 ton P) in de totale emissie van fosfor in afvalwater.

In figuur 3.10 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 3.9).

Figuur 3.9 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 3.10 Gehalte aan fosfor in afvalwater in mg per liter per afvalwaterstroom in de afvalbehandeling in 2008, 2010 en 2012



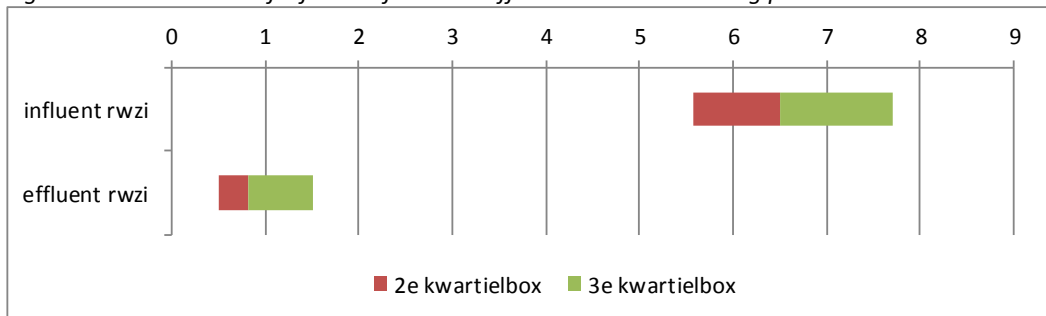
4. Fosfor in slib

Bij RWZI's

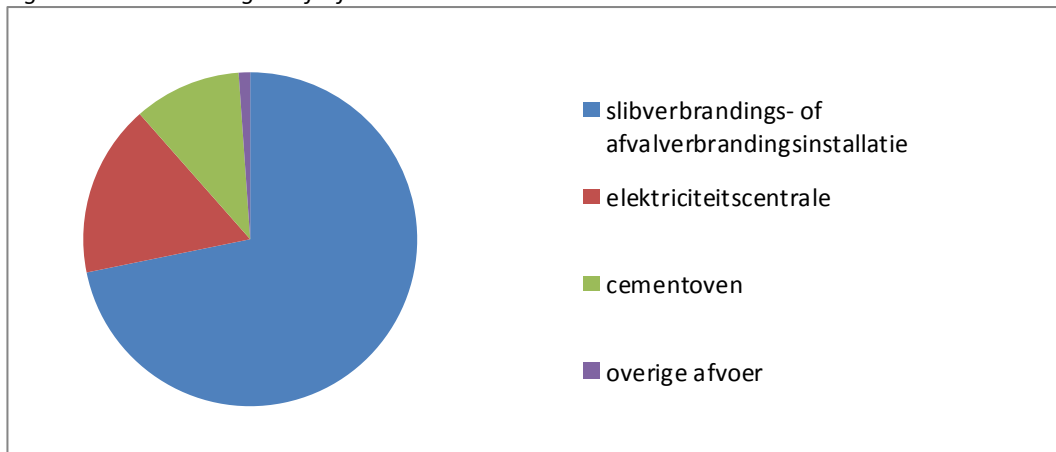
De rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) zuiveren het afvalwater van huishoudens, bedrijven e.d. dat via het openbaar riool wordt aangevoerd. Het influent bevat gemiddeld 6,8 mg fosfor per liter; in totaal 13,5 miljoen kg fosfor in 2012. Na zuivering is het gehalte omlaag gebracht tot gemiddeld 1,1 mg per liter in het effluent (figuur 4.1). 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). De resterende hoeveelheid wordt ook verbrand maar dan in cementovens of elektriciteitscentrales.

Figuur 4.1 Gehaltes aan fosfor in influent en effluent van RWZI's in mg per liter in 2012



Figuur 4.2 Bestemming van fosfor in slib van RWZI's in 2012

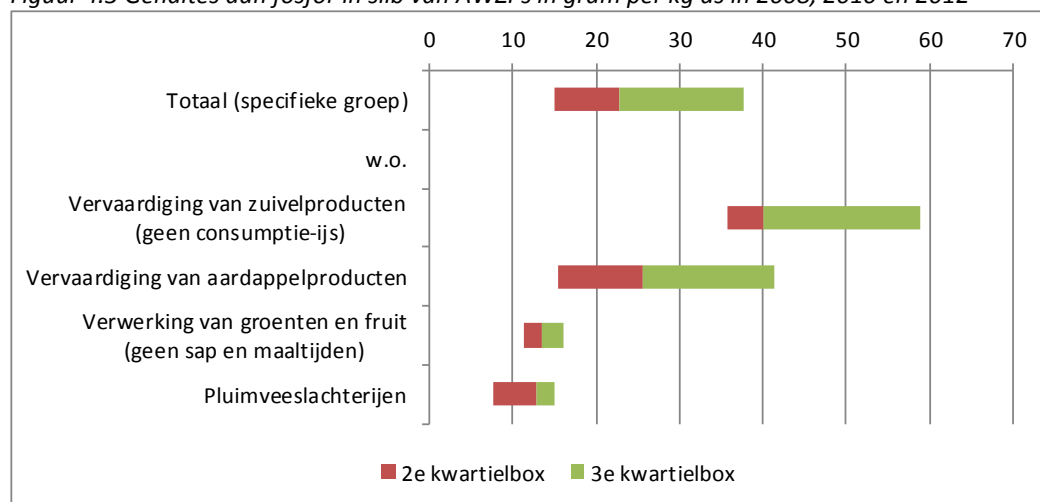


Bij AWZI's

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 voedingsmiddelen-industrie 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 fosfor¹⁰. 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 4.3 de hoogste gehalten aan fosfor in het slib zien.

Figuur 4.3 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 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 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.

¹⁰ 1 gram fosfaat bevat 0,436 gram fosfor

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.

5. 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.