



PFAS IN INFLUENT, EFFLUENT EN ZUIVERINGSSLIB RESULTATEN VAN EEN MEETCAMPAGNE OP ACHT RWZI'S



PFAS IN INFLUENT, EFFLUENT EN ZUIVERINGSSLIB
RESULTATEN VAN EEN MEETCAMPAGNE OP ACHT RWZI'S

RAPPORT

2021

46

ISBN 978.90.5773.960.6



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Anja Derksen – AD eco advies
Joop Baltussen – BACO-adviesbureau BV

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Cora Uijterlinde – STOWA
Saskia Onnink – Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Paul Bakker - Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Janneke Sniijders – Waterschap Aa en Maas
Edith Kruger – Unie van Waterschappen
Pieter van Dongen – Waterschap Hollandse Delta
Johanna Weststrate – Waterschap Hollandse Delta
Frank Groot – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Roger Vingerhoeds – Waterschap Brabantse Delta
Bianca Blom – Waterschap De Dommel
Coert Petri – Waterschap Vallei en Veluwe
Anouska ten Have – Waterschap Rijn en IJssel
Luc Sijstermans – SNB
Johan te Marvelde – HVC
Michael Gerritsen – HVC
Kit Tang – HVC
Martin Wilschut – GMB

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA STOWA 2021-46
ISBN 978.90.5773.960.6

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

PFAS zijn in rioolwater aanwezig en worden niet of nauwelijks verwijderd in rwzi's. Onderzoek naar de herkomst van PFAS in rioolwater is wenselijk.

Dit rapport presenteert de resultaten van een breed opgezette meetcampagne naar PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). Uit de studie blijkt dat PFAS niet of nauwelijks worden verwijderd in rwzi's. In influent zitten naast de bekende stabiele PFAS (zoals PFOS en PFOA) ook andere groepen van PFAS, waaronder diverse afbreekbare PFAS – oftewel precursors. Deze precursors zijn niet stabiel: (on)bekende precursors in het influent lijken te worden omgezet in de rwzi, wat resulteert in hogere concentraties stabiele PFAS (en andere precursors) in het effluent.

PFAS in het milieu vormen een probleem. PFAS zijn schadelijk, zeer slecht afbreekbaar en worden overal gevonden. Er zijn verschillende landelijke onderzoeken gestart om de bronnen van PFAS beter in beeld te krijgen. Het onderzoek naar PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib van rwzi's is één van die onderzoeken. Het onderzoek geeft antwoord op de vraag welke PFAS worden aangetroffen en in welke concentraties. Met deze resultaten kunnen de waterschappen en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat beter bepalen welke acties nodig zijn.

In de meetcampagne zijn acht rwzi's onderzocht. Dit is een mix van rwzi's met een bekende grote emissie van PFAS (hotspots), een voormalige hotspot waar de PFAS-emissie aan de bron reeds terug is gebracht en rwzi's met een wisselend aandeel industrieel afvalwater. De hotspots leveren veruit de belangrijkste bijdrage. Op alle rwzi's wordt PFAS aangevoerd. Op basis van de variatie in aangetroffen PFAS in het influent lijkt er sprake te zijn van een achtergrondbelasting vanuit huishoudelijk afvalwater, en daarnaast diverse andere bronnen. Wat deze bronnen zijn is lang niet altijd bekend. Daarnaast zijn er sterke aanwijzingen dat PFAS-precursors een belangrijke rol spelen. Precursors kunnen afbreken tot stabiele PFAS. Op de meeste rwzi's gaan er méér stabiele PFAS de rwzi uit dan dat er binnenkomen.

Een aantal stabiele PFAS, waaronder PFOS en PFOA, zijn aangemerkt als prioritair gevaarlijke stoffen en/of Zeer Zorgwekkende Stoffen. Dit betekent dat de emissie naar nul moet worden gereduceerd. Aanpak aan de bron heeft de voorkeur, want eenmaal in het milieu zijn PFAS niet of nauwelijks te verwijderen. Nederland werkt samen met een aantal andere landen aan een Europese restrictie op het gebruik voor alle PFAS. Op nationaal niveau werken in het PFAS-actieprogramma de waterschappen, andere overheden en bedrijfsleven samen aan handelingsperspectieven ter vermindering van de overdracht van PFAS naar het milieu en blootstelling voor mensen. Daarbij is er aandacht voor verschillende schakels in de keten, van de productie van PFAS, het gebruik in bedrijfsprocessen, en de verschillende emissieroutes. Onderhavig onderzoek levert hiervoor waardevolle informatie. Echter, zoals dit onderzoek ook laat zien wordt zonder emissiereductie van PFAS-precursors de emissiereductie van PFOS en PFOA waarschijnlijk erg lastig. Verder onderzoek naar precursors wordt voorgelegd aan de landelijke Werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen.

Door metingen is vast te stellen bij welke rwzi's er sprake is van een verhoogde belasting met (precursors van) PFAS. Voor die rwzi's kunnen waterschappen, provincies, gemeenten en omgevingsdiensten in samenwerking de bronnen van PFAS beter in beeld brengen. Als de bron geïdentificeerd kan worden, vormt dit een startpunt voor een gesprek over aanpak aan de bron.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

Liz van Duin
Directeur Waterkwaliteit, Ondergrond en Marien MinIenW

SAMENVATTING

In een breed opgezette meetcampagne zijn PFAS gemeten in influent, effluent en zuiveringsslib van rwzi's. In totaal zijn acht rwzi's onderzocht, bestaande uit een mix van rwzi's met een bekende grote emissie van PFAS (hotspots), een voormalige hotspot (waar de PFAS-emissie aan de bron reeds terug is gebracht) en rwzi's met een verschillend aandeel industrieel afvalwater. Daarnaast zijn een aantal bijzondere afvalwaterstromen onderzocht, die allen worden geloosd op rwzi Dordrecht.

De concentraties PFAS totaal liggen in influent én effluent in de ordegrootte 10 – 1000 ng/l en voor zuiveringsslib in de ordegrootte 10 – 100 µg/kgds. In het influent en effluent zijn vooral PFAS met korte gefluoreerde ketens (C4 tot C8) aangetroffen, in slib vooral PFAS met langere gefluoreerde ketens en precursors. Van de totale hoeveelheid PFAS verlaat het grootste deel de rwzi via effluent. Het aandeel dat via slib de rwzi verlaat is 2,6 tot 41% van het totaal dat de zuivering verlaat.

PFAS worden niet of nauwelijks verwijderd op de rwzi. Vaak blijken de concentraties PFAS in het effluent zelfs hoger te zijn dan in het influent. PFAS-precursors lijken hierbij een rol te spelen. Precursors zijn PFAS-verbindingen, vaak met een niet volledig gefluoreerde koolstofketen, die kunnen afbreken tot stabiele PFAS (met een volledig gefluoreerde koolstofketen). Bekende en onbekende precursors in het influent kunnen worden omgezet in stabiele PFAS zoals PFOS (C8), PFOA (C8) en perfluoralkylcarbonsuren met kortere ketenlengtes (C4-C7). In de meeste rwzi's is er sprake van een toename van gemeten precursors en/of deze stabiele PFAS in het effluent.

Het karakteristieke patroon van individuele PFAS-verbindingen in het influent (de 'fingerprint') verschilt per rwzi. Dit duidt op verschillende voorliggende bronnen van PFAS. Deze zijn lang niet altijd goed in beeld. Het aandeel industrieel afvalwater blijkt geen goede voorspeller van de aangetroffen PFAS-concentraties. Op basis van de PFAS-concentraties in het effluent is een indeling gemaakt in hoog, matig en laag met PFAS belaste rwzi's. De emissie van PFAS via het effluent naar het oppervlaktewater (uitgedrukt als emissiefactor, dat wil zeggen mg) bedraagt ongeveer 50 mg/IE150/jaar voor de hoog belaste rwzi's, 5 mg/IE150/jaar voor de matig belaste rwzi's en 1 mg/IE150/jaar voor de laag belaste rwzi's. De emissie via effluent wordt voor heel Nederland globaal geschat op 65 – 180 kg PFAS/jaar, terwijl 15 – 45 kg PFAS/jaar de zuivering via zuiveringsslib verlaat.

De concentraties PFOA, HFPO-DA en/of PFAS totaal in effluent zijn op de hotspotlocaties hoger dan normen die gelden voor oppervlaktewater. De PFOS-concentraties in effluent zijn op alle locaties hoger dan de normen voor oppervlaktewater. Het hangt van de lokale situatie af of de effluentlozing ook tot overschrijding van normen in het ontvangende oppervlaktewater zal leiden. De concentraties PFAS in zuiveringsslib komen slechts voor één rwzi uit boven normen die in het buitenland worden gehanteerd voor toepassing van zuiveringsslib op land (dergelijke toepassing vindt in Nederland in de praktijk niet plaats).

PFAS kennen een zeer groot aantal toepassingen en daarmee ook potentiële bronnen. Om de potentiële aangrijpingspunten voor de terugdringing van de emissie te kunnen bepalen wordt aanbevolen om te meten bij welke rwzi's er sprake is van een verhoogde PFAS-belasting en om voor deze rwzi's de voorliggende bronnen beter in beeld te krijgen. Hiervoor is samenwerking met gemeenten, omgevingsdiensten en andere partijen noodzakelijk. De in dit rapport samengebrachte indicatieve schattingen van de emissie van PFAS in Nederland via verschillende routes en producten bieden aanknopingspunten voor deze zoektocht.

PFAS-precursors verdienen meer aandacht: zonder emissiereductie van PFAS-precursors is verdere emissiereductie van stabiele PFAS in het milieu lastig. Nader onderzoek om meer inzicht te krijgen in de aard, omvang en bronnen van PFAS-precursors is dan ook wenselijk.

Hoewel geen uitgebreide vergelijking is gemaakt met andere onderzoeken in binnen- en buitenland bevestigen de resultaten de bevindingen uit andere onderzoeken. Het wordt ingeschat dat de onderzochte hotspots uniek zijn, en de resultaten van de overige rwzi's een redelijke afspiegeling zijn van veelvoorkomende situaties op andere rwzi's. Er blijft wel onzekerheid in hoeverre alle belangrijke bronnen van PFAS zijn afgedekt binnen dit onderzoek. Ook is niet goed in te schatten welk aandeel van de rwzi's in Nederland laag met PFAS belast is, en welk deel matig met PFAS belast.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

PFAS IN INFLUENT, EFFLUENT EN ZUIVERINGSSLIB

RESULTATEN VAN EEN MEETCAMPAGNE OP ACHT RWZI'S

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Doel en afbakening	1
	1.3 Leeswijzer	1
2	WAT ZIJN PFAS?	2
	2.1 Algemeen	2
	2.2 Onderzochte groepen van PFAS	3
	2.2.1 PFCA's: PFOA-gerelateerde stoffen	3
	2.2.2 PFSA's: PFOS-gerelateerde stoffen	4
	2.2.3 Fluortelomeersulfonaten, polyfluoralkylfosforzuurdiesters en perfluoralkaansulfonamides: precursors	4
	2.2.4 Overige PFAS	4
	2.3 Gedrag van PFAS in de waterzuivering	6
3	OPZET ONDERZOEK	7
	3.1 Selectie rwzi's	7
	3.2 Bemonstering	8
	3.2.1 Algemeen	8
	3.2.2 Influent en effluent	8
	3.2.3 Zuiveringslib	9
	3.2.4 Overige monsters	9
	3.3 Kwaliteitsborging bemonstering	9
	3.4 Analyse	10
	3.5 Dataverwerking	10

4	CONCENTRATIES	11
4.1	Influent en effluent	11
4.2	Bijzondere afvalwaterstromen	16
4.3	Zuiveringslib	16
5	VRACHTEN	20
6	ZUIVERINGSRENDEMENTEN	22
7	NADERE BESCHOUWING PER RWZI	23
7.1	Rwzi Dordrecht	23
7.2	Rwzi Lelystad	25
7.3	Rwzi Piershil	26
7.4	Overige rwzi's	26
8	DUIDING	27
8.1	Representativiteit resultaten	27
8.2	Duiding concentraties	28
8.2.1	Vergelijking met normen	28
8.2.2	Concentraties in PFOA-equivalenten	29
8.3	Duiding vrachten	31
8.3.1	Doorvertaling naar landelijke vracht	31
8.3.2	Bijdrage vanuit verschillende bronnen	31
8.4	Rol precursors	36
8.4.1	Gebruik van precursors	36
8.4.2	Rol precursors in rwzi's	36
8.5	Vergelijking met andere onderzoeken	37
9	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	39
9.1	Conclusies	39
9.2	Aanbevelingen	41
10	LITERATUUR	43
11	GEBRUIKTE AFKORTINGEN EN TERMEN	45
BIJLAGE 1	GESELECTEERDE RWZI'S EN OVERIGE ONDERZOEKSLOCATIES	48
BIJLAGE 2	UITVOERING BEMONSTERING	58
BIJLAGE 3	AANTAL GEANALYSEERDE MONSTERS EN MONSTERDATA	61
BIJLAGE 4	ANALYSEPAKKET EN RAPPORTAGEGRENZEN	62
BIJLAGE 5	ANALYSEMETHODE	64
BIJLAGE 6	DATAVERWERKING	65
BIJLAGE 7	DOOR CHEMOURS AANGELEVERDE INFORMATIE	68
BIJLAGE 8	VRACHTEN PER INWONEREQUIVALENT VOOR VERSCHILLENDE STOF(GROEPEN)	69
BIJLAGE 9	ZUIVERINGSRENDEMENTEN	70
BIJLAGE 10	GRAFISCHE WEERGAVE VRACHTEN INFLUENT, EFFLUENT EN SLIB (SANKEY DIAGRAMMEN)	72
BIJLAGE 11	VERGELIJKING CONCENTRATIES MET NORMEN	77
BIJLAGE 12	RELATIEVE POTENTIEFACTOREN	78
BIJLAGE 13	BEREKENDE CONCENTRATIE IN PFOA-EQUIVALENTEN	79
BIJLAGE 14	INDICATIEVE BEREKENING VRACHTEN PFAS IN SLIB DOOR SLIBEINDVERWERKERS	81
BIJLAGE 15	NEDERLANDSE ONDERZOEKEN NAAR BRONNEN VAN PFAS	82
BIJLAGE 16	ANALYSERESULTATEN ZUIVERINGSSLIB HVC	83

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Met het Tijdelijk Handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie is een deel van de knelpunten met PFAS-houdende grond- en baggerstromen opgelost. De aandacht verschuift nu naar PFAS in reststromen (afval, communaal zuiveringsslib) en het water (oppervlaktewater, grondwater en in- en effluent). Een tijdelijke werkgroep van de Vereniging van Zuiveringsbeheerders (VvZB) heeft in februari 2020 een advies aan de Unie van Waterschappen opgesteld. Eén van de adviezen was om een gedegen meetcampagne uit te voeren waarmee een voor Nederland representatief beeld van PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) wordt verkregen. In opdracht van STOWA en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (MinIenW) is daarom een meetcampagne uitgevoerd. In deze meetcampagne zijn bij acht rwzi's influent, effluent en zuiveringsslib bemonsterd. Bij één rwzi zijn ook industriële afvalwaterstromen bemonsterd die met het influent worden aangevoerd. Deze rapportage beschrijft de aanpak, de resultaten van de meetcampagne en geeft verdere duiding aan de bevindingen.

1.2 DOEL EN AFBAKENING

Deze meetcampagne in influent, effluent en zuiveringsslib van rwzi's geeft antwoord op de vraag welke PFAS-achtige stoffen worden aangetroffen en in welke concentraties. Gestreefd is om een representatief landelijk beeld te verkrijgen. Tevens is een beeld verkregen in hoeverre PFAS verwijderd worden op een rwzi en wat achterblijft in zuiveringsslib. Met deze resultaten kunnen de waterschappen en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu beter inschatten in hoeverre acties nodig zijn.

De doelstellingen zijn als volgt:

- Inzicht in influent- en effluentconcentraties en vrachten van PFAS (hoogte, verschillen per zuivering, eventueel weekpatroon).
- Inzicht in de verwijdering van PFAS in de waterlijn (i.e. zuiveringsrendement).
- Inzicht in de mogelijke bijdrage vanuit huishoudens en andere (industriële) bronnen.
- Inzicht in de concentraties en vrachten die worden afgevoerd met het slib.

1.3 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 geeft algemene achtergrondinformatie over PFAS en het gedrag van PFAS in het milieu en de rwzi. De opzet van de meetcampagne wordt beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten worden uitgewerkt in hoofdstuk 4 (concentraties), hoofdstuk 5 (vrachten) en hoofdstuk 6 (zuiveringsrendementen). In hoofdstuk 7 wordt ingezoomd op vrachten in influent en effluent per rwzi. In hoofdstuk 8 wordt nadere duiding gegeven aan de resultaten. De conclusies en aanbevelingen staan in hoofdstuk 9. De gebruikte afkortingen en termen worden verklaard in hoofdstuk 11.

2

WAT ZIJN PFAS?

2.1 ALGEMEEN

PFAS staat voor poly- en perfluoralkylstoffen. Het is een verzamelnaam voor door de mens gemaakte gefluoreerde verbindingen die van nature niet in het milieu voorkomen. PFAS worden sinds ongeveer 1940 toegepast vanwege hun vuil-, vet- en waterafstotende eigenschappen (ITRC, 2020). Het aantal toepassingen is groot, onder andere in blusschuim, textiel en tapijt, voedselverpakkingsmaterialen, papier, bouwmaterialen, coatings en meer (Jans & Berbee, 2020; Pancras et al., 2021; Zie paragraaf 8.3.2 voor meer toepassingen).

PFAS zijn persistent, mobiel en nauwelijks biologisch afbreekbaar. Vanwege hun slechte afbreekbaarheid worden ze ook wel 'forever chemicals' genoemd: wat eenmaal in het milieu terecht komt, verdwijnt daar niet meer zomaar uit. Van sommige PFAS is aangetoond dat ze toxisch en/of bioaccumulerend zijn. De stoffen PFOS, PFOA en GenX behoren tot de zogenaamde Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS). Een aantal andere stoffen uit de PFAS-groep staan op de lijst van potentiële ZZS (pZZS).

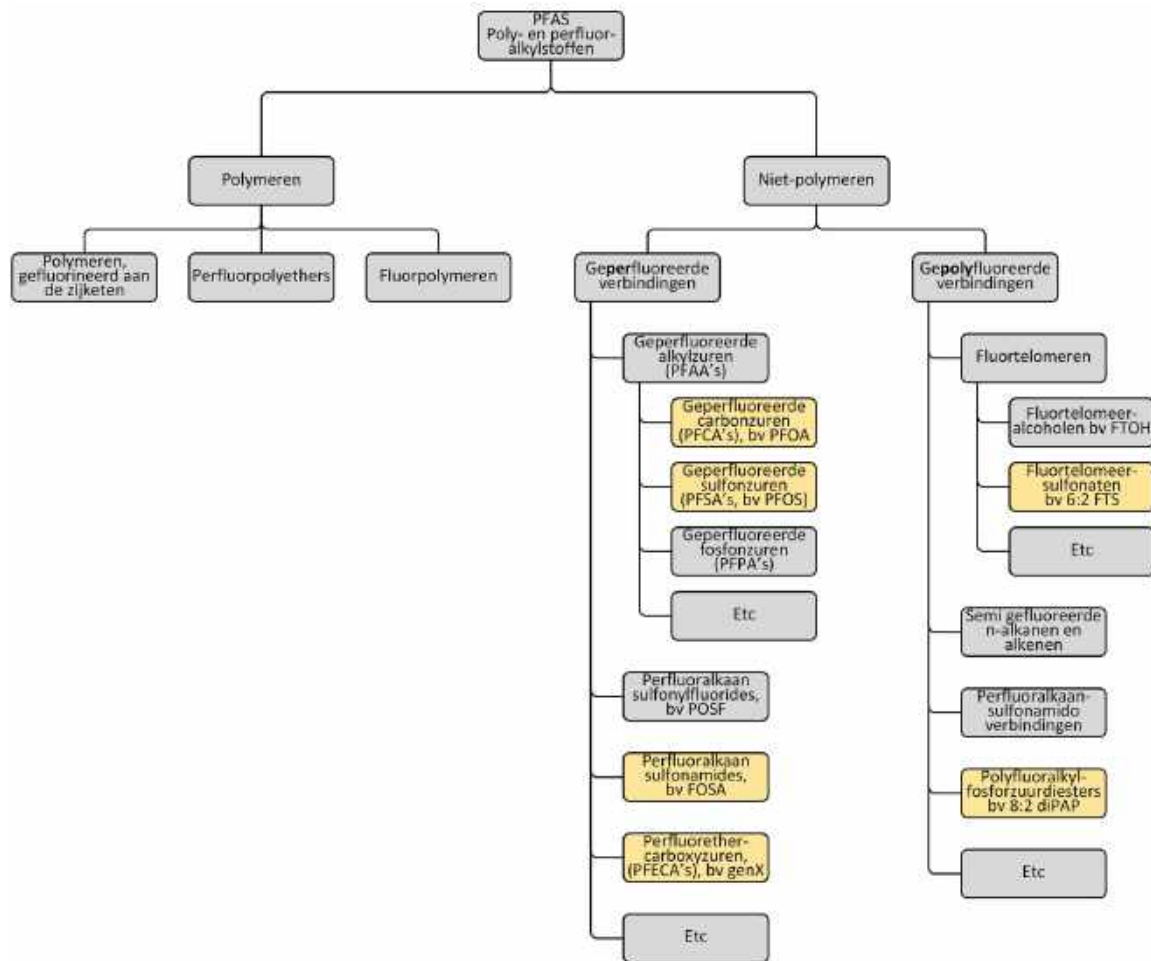
Kenmerkend voor PFAS is dat ze bestaan uit een of meerdere koolstofketens, met daaraan fluoratomen. De koolstofketen kan volledig met fluoratomen bezet zijn (perfluoralkylstoffen) of onvolledig met fluoratomen bezet zijn (polyfluoralkylstoffen). Er bestaan zeer veel verschillende PFAS, schattingen lopen uiteen van 3.000 – 9.000 stoffen. De exacte definitie van welke stoffen er wel en niet tot de PFAS behoren, staat nog ter discussie.

PFAS kunnen opgedeeld worden in verschillende groepen, zie figuur 1. De naamgeving van PFAS is complex en niet altijd eenduidig. Een uitgebreide toelichting op verschillende groepen van PFAS valt buiten de reikwijdte van dit onderzoek. De in de meetcampagne onderzochte groepen van PFAS¹ worden in paragraaf 2.2 kort toegelicht. Deze toelichting is grotendeels overgenomen uit Pancras et al. (2018). Fluoropolymeren worden in dit rapport niet verder besproken. Zij zijn niet erg mobiel in het milieu en er zijn weinig schadelijke effecten van te verwachten (tenzij zij afbreken tot nano- of microplastics).

1 De volledige lijst met geanalyseerde PFAS is terug te vinden in bijlage 4. Voor de motivatie voor selectie van dit analysepakket zie paragraaf 3.4.

FIGUUR 1

GROEPEN VAN PFAS. DE IN DE MEETCAMPAGNE ONDERZOCHE STEGROEPEN ZIJN GEEL WEERGEGEVEN EN WORDEN IN PARAGRAAF 2.2 KORT TOEGELICHT. AANGEPAST UIT PANCRAS ET AL. (2018).



2.2 ONDERZOCHE GROEPEN VAN PFAS

2.2.1 PFCA'S: PFOA-GERELATEERDE STOFFEN

Geperfluoreerde carbonzuren (PFCA's) zijn stoffen die bestaan uit een geperfluoreerde koolstofketen met een lengte tussen de 2 en 16 koolstofatomen, met op het einde een carbonzuur als functionele groep. Het aantal koolstofatomen (C) wordt gebruikt om de lengte van de koolstofketen aan te duiden. Perfluorooctaanzuur (PFOA, ook wel C8 genoemd) is de meest aangetroffen PFCA. PFOA is veel gebruikt als hulpstof voor de productie van fluorpolymeren met name PTFE, zoals bij de productie van Teflon door DuPont (tegenwoordig Chemours) in Dordrecht. In 2012 heeft DuPont het gebruik van PFOA in de productieprocessen beëindigd en vervangen door de GenX-technologie (Zeilmaker et al., 2016). PFOA heeft 8 koolstofatomen, bestaande uit zeven geperfluoreerde koolstofatomen en een carbonzuur groep met daarin het achtste koolstofatoom (zie figuur 2 voor de structuur van PFOA).

FIGUUR 2 CHEMISCHE STRUCTUUR VAN PFOA

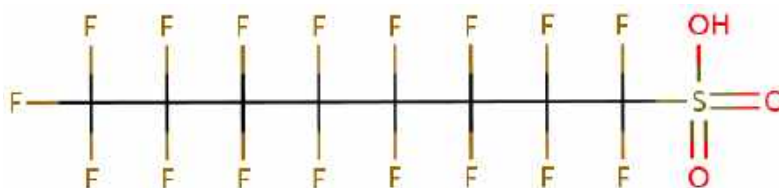


2.2.2 PFSA'S: PFOS-GERELATEERDE STOFFEN

Perfluoralkylsulfonzuren (PFSA's) zijn stoffen die bestaan uit een keten van volledig gefluoreerde koolstofatomen met een sulfonaat groep als functionele groep aan het laatste koolstofatoom. De geperfluoreerde sulfonzuren hebben koolstofketens variërend in lengte, in het algemeen van C2 tot C16. De lengte van de koolstofketens is terug te zien in de naamgeving van de componenten. PFOS, oftewel perfluorooctaanzuur, bestaat uit een keten van acht volledig gefluoreerde koolstofatomen met een sulfonaat groep als functionele groep aan het laatste koolstofatoom (zie figuur 3 voor de structuur van PFOS). PFOS is het meest bekende perfluoralkylsulfonzuur. In toenemende mate worden PFSA's met korte ketens gebruikt als vervanger van PFOS, bijvoorbeeld PFBS (perfluorbutaansulfonzuur, een C4 PFSA).

FIGUUR 3

CHEMISCHE STRUCTUUR VAN PFOS



2.2.3 FLUORTELOMEERSULFONATEN, POLYFLUORALKYLFOSFORZUURDIESTERS EN PERFLUORALKAANSULFONAMIDES: PRECURSORS

Precursors zijn PFAS die kunnen worden afgebroken tot stabiele PFCA's of PFSA's. Dit kunnen fluortelomeer afgeleide stoffen zijn, maar gefluoreerde polymeren met een of meer poly- of pergefluoreerde zijketens (OECD, 2018). Er zijn zeer veel mogelijke precursors. Door OECD (2018) zijn er meer dan 1000 geïdentificeerd. In reguliere PFAS-analyses worden en kunnen slechts een beperkt aantal precursors gemeten worden. In deze meetcampagne zijn precursors uit drie groepen onderzocht (zie figuur 4):

1. Fluortelomeersulfonaten

Een voorbeeld van deze stofgroep is 6:2 fluortelomeer sulfonaat (6:2 FTS). 6:2 FTS bestaat uit 6 volledig gefluoreerde koolstofatomen, 2 niet gefluoreerde koolstofatomen en een sulfonaatgroep. Het is een voorbeeld van een PFCA-precursor. 6:2 FTS wordt voor verschillende doeleinden als vervanger van PFOS gebruikt, onder andere in brandblusschuim en als oppervlakte-actieve stof bij industriële toepassingen.

2. Polyfluoralkylfosforzuurdiesters

Een voorbeeld van deze stofgroep is 8:2 fluortelomeer fosfaatdiester (8:2 diPAP). PAP's worden onder andere gebruikt in de papierindustrie.

3. Perfluoralkaansulfonamides

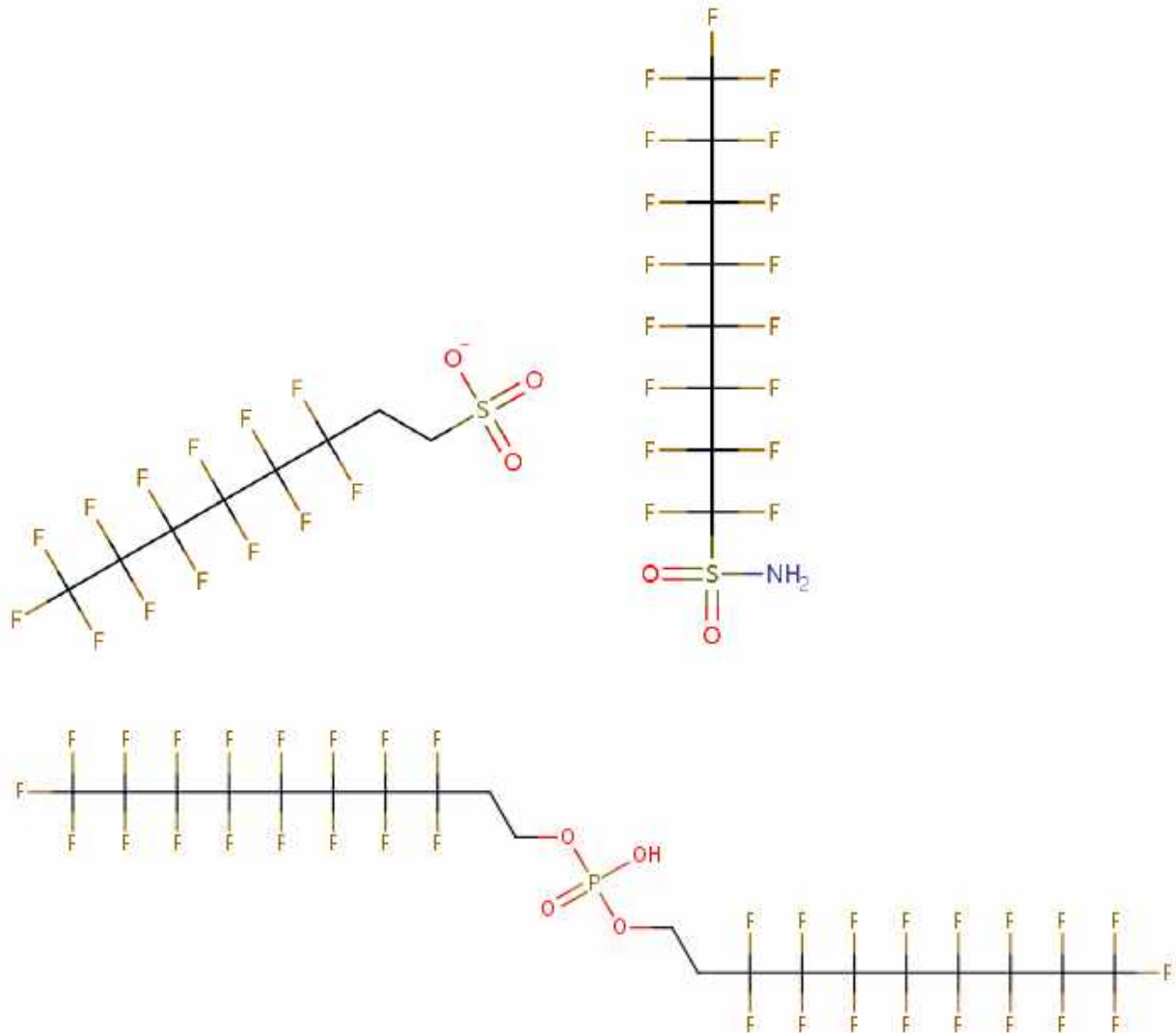
Een voorbeeld van deze stofgroep is perfluorooctaansulfonamide (PFOSA). Dit is een voorbeeld van een precursor die kan afbreken tot PFOS.

2.2.4 OVERIGE PFAS

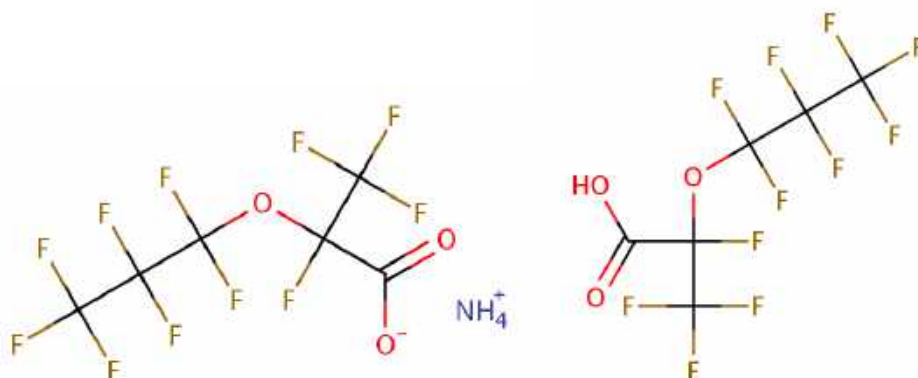
Naast bovengenoemde stofgroepen zijn er nog een aantal vervangers van o.a. PFOA onderzocht. Het gaat om HFPO-DA ('GenX'), ADONA en twee componenten uit F53B (hoofdcomponent 9CIPF3ONS en nevencomponent 11CIPF3OUdNS). HFPO-DA wordt gebruikt door Chemours, ADONA wordt gebruikt door 3M in Antwerpen en F53B wordt in China gebruikt (Pancras et al., 2021).

Chemours gebruikt de GenX technologie als vervanging van PFOA bij de productie van Teflon. Bij de GenX technologie spelen drie componenten een rol (zie figuur 5). In het huidige onderzoek is HFPO-DA (of FRD-903) geanalyseerd. FRD-902 dissocieert in water tot FRD-903 en ammonium. Ook ADONA dissocieert in water tot DONA.

FIGUUR 4 CHEMISCHE STRUCTUUR VAN 6:2 FTS (LINKSBOVEN), 8:2 DIPAP (ONDER) EN PFOSA (RECHTSBOVEN). BRON: WWW.COMPTOX.EPA.GOV.



FIGUUR 5 COMPONENTEN UIT DE GENX TECHNOLOGIE: FRD902 (LINKS) EN FRD903 (RECHTS). BRON: WWW.COMPTOX.EPA.GOV.



2.3 GEDRAG VAN PFAS IN DE WATERZUIVERING

Afbraak

Precursors kunnen afbreken tot stabielere PFAS zoals PFOA, PFOS of andere PFAS met kortere koolstofketens. Precursors krijgen om die reden steeds meer aandacht. Maar over de toepassingen, het gedrag, de afbraakroutes en de eindproducten van de afbraak is nog veel onbekend. In Van Gijn et al. (2021) worden een groot aantal afbraakroutes toegelicht. In veel gevallen worden andere precursors als tussenstap in het afbraakproces gevormd.

Op basis van literatuur en de huidige meetcampagne, concluderen Van Gijn et al. (2021) dat de gehalten van de meeste perfluorverbindingen (zoals PFOS en PFOA gerelateerde stofgroepen) toenemen in de rwzi, hetgeen verklaard kan worden door vorming van deze stoffen uit precursors. Een aantal subgroepen binnen de polyfluorverbindingen nemen over het algemeen af in de rwzi, maar deze afnames zijn niet genoeg om de toenames in perfluorverbindingen te verklaren. Dit betekent dat er nog onbekende precursors in het water zitten. Andere subgroepen binnen de polyfluorverbindingen, met name met een sulfonaat of carbonzuurgroep, nemen niet altijd duidelijk af. Deze subgroepen zijn stabiel in rwzi's dan de andere subgroepen binnen de polyfluorverbindingen.

Precursors lijken in aanwezigheid van zuurstof (dat wil zeggen onder aerobe omstandigheden) beter af te breken dan onder zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden (Eggen et al., 2019).

Sorptie

Normaliter worden verdelingscoëfficiënten gebruikt om de verdeling van een stof tussen de vaste fase en water te beschrijven. Het sorptiegedrag van PFAS verschilt echter van 'traditionele' verontreinigingen, omdat PFAS de neiging hebben om aan celmembranen en eiwitten te binden in plaats van vet (Baresel et al., 2015).

In z'n algemeenheid kan gesteld worden dat PFAS met korte ketens vooral in de waterfase worden gevonden en PFAS met lange ketens meer aan het slib binden. PFSA's (zoals PFOS) binden sterker aan slib dan PFCA's (zoals PFOA). Ook veel precursors binden aan slib (Xiao, 2017).

Vervluchtiging

De meeste PFAS hebben een verwaarloosbare vluchtigheid. Echter, een groot aantal precursors, zoals fluortelomeeralcoholen en perfluoralkaansulfonamide ethanolen zijn wel vluchtig (Baresel et al., 2015). In hoeverre vervluchtiging van deze stofgroepen in rwzi's een rol speelt is niet duidelijk.

3

OPZET ONDERZOEK

3.1 SELECTIE RWZI'S

Er zijn voor dit onderzoek acht rwzi's geselecteerd. Er is gezocht naar een mix van rwzi's, bestaande uit (voormalige) hotspotlocaties, rwzi's met een relatief groot aandeel industrieel afvalwater, gemengde rwzi's (tussen uitsluitend huishoudelijk en groot aandeel industrie in), en rwzi's met vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater.

De verwachting was dat op basis van de rwzi's met vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater de achtergrondemissie vanuit huishoudens zou kunnen worden bepaald, terwijl de overige rwzi's meer inzicht geven in de bijdrage vanuit specifieke, al dan niet industriële, bronnen.

Op basis van de resultaten bleek echter dat de mate van belasting op basis van de concentraties en vrachten² PFAS niet altijd overeenkwam met wat op voorhand werd verwacht (zie hoofdstuk 5). Voor de presentatie en interpretatie van de resultaten is daarom op basis van de emissiefactoren in het effluent (i.e. de hoeveelheid PFAS die per inwonerequivalent per dag wordt geloosd met het effluent) gekozen voor een indeling in hoog met PFAS belaste rwzi's, matig met PFAS belaste rwzi's en laag met PFAS belaste rwzi's. In tabel 1 worden de redenen voor selectie en de indeling naar mate van belasting met PFAS samengevat. Voor nadere details over de geselecteerde rwzi's wordt verwezen naar bijlage 1.

TABEL 1 GESELECTEERDE RWZI'S, REDEN VOOR SELECTIE, EN MATE VAN BELASTING MET PFAS. DE MATE VAN BELASTING IS GEBASEERD OP BASIS VAN DE GEMETEN EMISSIEFACTOREN IN HET EFFLUENT.

Rwzi	Omschrijving / reden voor selectie	Hoog met PFAS belast	Matig met PFAS belast	Laag met PFAS belast
Dordrecht	Hotspot	x		
Aarle-Rixtel	Voormalige hotspot		x	
Bath	Groot aandeel industrie	x		
Lelystad	Gemengde rwzi		x	
Hatterij	Gemengde rwzi			x
Asten	Vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater			x
Hapert	Vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater			x
Piershil	Vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater		x	

- 2 Hier wordt bedoeld: de vracht per inwonerequivalent (IE). Inwonerequivalenten worden gebruikt om de capaciteit en de belasting van een rwzi uit te drukken. Er zijn verschillende soorten IE. In dit rapport is de IE150 gebruikt. Het betreft een IE die uitgedrukt wordt in een zuurstofbindend vermogen van 150 gram zuurstof per inwoner per dag. De belasting (of vuillast) kan afkomstig zijn uit huishoudelijk afvalwater, industrieel afvalwater, afstromend hemelwater en/of rioolvreemd water. Door de vrachten in inwonerequivalenten uit te drukken kan de belasting van de rwzi's onderling een op een vergeleken worden.

3.2 BEMONSTERING

De uitvoering van de bemonstering wordt in bijlage 2 in detail toegelicht. De belangrijkste keuzes en overige punten worden in dit hoofdstuk toegelicht.

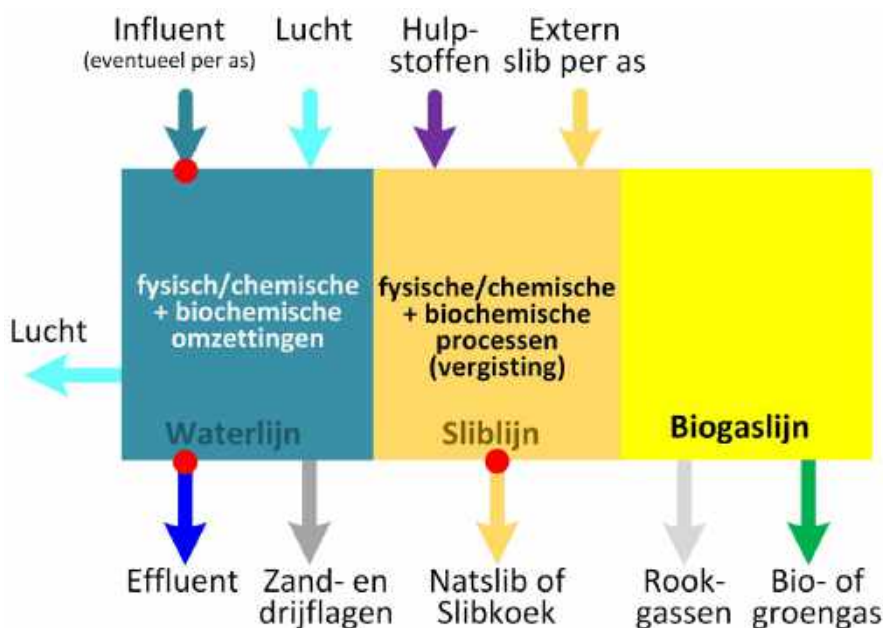
3.2.1 ALGEMEEN

Rwzi's kennen soms complexe interne water- en slibstromen (zie processchema's in bijlage 1). In figuur 6 is een vereenvoudigde schematische voorstelling gegeven van de in- en uitgaande stromen op de rwzi. De monsternamen hebben zich beperkt tot de volgende in- en uitgaande stromen op de rwzi:

- Influent
- Effluent
- Slib afgevoerd

Er is voor gekozen alleen de uitgaande slibstroom te bemonsteren. De ingaande slibstromen (uit eigen rwzi en aangevoerd per as) en de wijze waarop deze worden behandeld bij de verschillende zuiveringen is zodanig verschillend en complex dat een representatieve en eenduidige bemonstering lastig is. Bovendien is de vraag vooral of het zuiveringsslib dat naar elders wordt vervoerd een zodanige hoeveelheid PFAS bevat dat dit problemen voor de afzetmogelijkheden zou kunnen opleveren.

FIGUUR 6 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE BELANGRIJKSTE WATER- EN SLIBSTROMEN BINNEN EEN RWZI. DE RODE STIPPEN GEVEN DE MONSTERPUNTEN AAN. PER AS = PER VRACHTWAGEN AANGEVOERD



3.2.2 INFLUENT EN EFFLUENT

Per rwzi zijn op 9 achtereenvolgende dagen debietsproportionele 24-uurs monsters genomen van influent en effluent. De gekozen wijze van bemonsteren geeft inzicht in de variabiliteit van de concentraties en het zuiveringsrendement. De bemonstering is gecontinueerd bij regenperiodes. Dit geeft inzicht in de influentconcentraties en het zuiveringsrendement onder zowel droogweeraanvoer (dwa) als regenwateraanvoer (rwa) omstandigheden³.

3 Bij gemengde rioolssystemen wordt bij regenwateraanvoer (rwa) het influent van de zuivering verdund met afstromend hemelwater. Bij gescheiden rioolstelsel (in dit onderzoek alleen bij rwzi Lelystad) wordt het afstromend hemelwater apart afgevoerd via een hemelwaterriool naar het oppervlaktewater, en komt niet op de rwzi terecht.

3.2.3 ZUIVERINGSSLIB

Gedurende de monsterperiode van 9 dagen is van de uitgaande sliblijn bemonsterd door middel van steekmonsters. In de meeste gevallen zijn 3 steekmonsters per zuivering geanalyseerd. Op deze wijze kan iets gezegd worden over de spreiding van de concentraties in het slib. Deze spreiding is naar verwachting lager dan bij influent en effluent.

3.2.4 OVERIGE MONSTERS

In deze meetcampagne zijn tevens een aantal bijzondere monsters geanalyseerd. Het gaat om de volgende monsters:

1. Zeefgoed (Aarle-Rixtel)

Bij rwzi Aarle-Rixtel wordt een aanzienlijke hoeveelheid vezelachtig materiaal dat grotendeels bestaat uit resten WC-papier, zeefgoed genaamd, verwijderd uit het influent. Er zijn drie steekmonsters geanalyseerd.

2. Industriële afvalwaterstromen, geloosd op de rwzi Dordrecht, waarvan bekend is of vermoed wordt dat deze PFAS kunnen bevatten. Het betreffen de volgende afvalwaterstromen:

a. Drie separate afvalwaterstromen van Energie- en Afvalbedrijf HVC, bestaande uit:

- Afvalwater van de slibverbranding (HVCsvi);
- Afvalwater van de verbranding van huishoudelijk en ziekenhuisafval (HVCara)
- Drainagewater van de vuilstort gemengd met hemelwater van het fabrieksterrein van HVC (HVCdov) (hierna: afvalwater vuilstort).

Alle drie de afvalwaterstromen ondergaan een separate afvalwaterbehandeling. Het betreft een fysische of fysisch/chemische afvalwaterbehandeling. De aard van de afvalwaterbehandelingen zijn weergegeven in het blokschema (bijlage 1). Van het effluent van deze afvalwaterbehandelingen zijn 24-uurs proportionele monsters genomen door HVC en ter analyse ter beschikking gesteld.

b. Afvalwater afkomstig van Chemours.

Het betreft productie afvalwater van Chemours, waar onder andere PFAS-verbindingen worden gebruikt in het productieproces. Dit afvalwater wordt behandeld met verschillende fysisch/chemische technieken, zoals vaste stof filtratie, reversed osmosis en absorptie met actiefkoolfilters, voordat het wordt geloosd naar de rwzi. Het gezuiverde afvalwater is door Chemours bemonsterd door middel van 24 uren debietsproportionele monsternamen.

3. Slib van HVC

Dit is het zuiveringsslib dat bij HVC binnenkomt. HVC heeft vier mengmonsters van dit slib laten analyseren bij Eurofins en heeft de resultaten ter beschikking gesteld.

In bijlage 2 zijn de blokschema's opgenomen waar de industriële afvalwaterstromen ook in zijn opgenomen. Tevens is met rode punten aangegeven op welke plaats de bemonsteringen hebben plaatsgevonden.

Het aantal monsters inclusief de monsterdata zijn in bijlage 3 samengevat. Aanvullend heeft HVC vier mengmonsters van het door hen ingenomen slib genomen en laten analyseren bij Eurofins. Het analysepakket verschilt enigszins.

3.3 KWALITEITSBORGING BEMONSTERING

Alle rwzi's zijn voorafgaand aan de bemonstering bezocht voor een schouw, waarbij onder andere is gelet op de mogelijke bronnen voor PFAS-contaminatie die beschreven zijn in het 'Kennisdocument voor bemonstering en analyse van PFAS-verbindingen in grond- en grondwater'⁴. Per rwzi is een gedetailleerd schouwrapport opgemaakt. Om te waarborgen dat de

4 <https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/wet-regelgeving/bbk/publicaties/bemonstering-pfas/>

bemonstering overal op dezelfde wijze is uitgevoerd en de kans op besmetting met PFAS te reduceren, is de bemonstering van de influent- en effluentmonsters uitgevoerd door daarvoor opgeleide medewerkers van de waterschapslaboratoria Aquon en Aqualysis.

De slibmonsters zijn genomen door mensen van de zuivering zelf. De afvalwaterstromen bij HVC en Chemours, en de slibmonsters bij HVC, zijn door de medewerkers van die bedrijven bemonsterd.

De bemonstering is uitgevoerd volgens voorschrift⁵ NEN 6600-1. Dit houdt onder andere in dat er specifieke eisen worden gesteld aan de monsterapparatuur en dat de bemonstering moet voldoen aan de daarvoor, in NEN6600, gestelde criteria. Deze bevindingen zijn separaat vastgelegd. Wanneer tijdens een bemonstering bleek dat niet voldaan werd aan enkele of meerdere criteria is overlegd met het projectteam om het monster al dan niet te accepteren. In enkele gevallen is de bemonsteringscyclus verlengd om over een acceptabele monsterreeks te beschikken.

3.4 ANALYSE

PFAS-analyses

De PFAS-analyses zijn uitgevoerd door de Vrije Universiteit Amsterdam (VU). Bij de selectie van het laboratorium is onder andere gelet op een gevalideerde analysemethode, de te halen rapportagegrenzen, het analysepakket (zo breed mogelijk, inclusief HFPO-DA ('GenX') en precursors van PFAS) en ervaring met PFAS-analyses in de betreffende matrix. Het analysepakket staat in bijlage 4, en omvat in totaal 35 stoffen uit verschillende groepen van PFAS. De analysemethode wordt beschreven in bijlage 5.

Normaliter wordt een rapportagegrens gegeven (dat wil zeggen laagste betrouwbaar te kwantificeren concentratie). De VU heeft in dit geval ook de detectiegrens (dat wil zeggen laagst aantoonbare, maar minder betrouwbaar te kwantificeren concentratie) gerapporteerd.

Algemene parameters

Voor het verkrijgen van representatieve monsters is het belangrijk dat in de bemonsteringsperiode de rwzi's normaal functioneerden. Om dit te kunnen beoordelen zijn de effluentmonsters geanalyseerd op onopgeloste bestanddelen, ammonium en Kjeldahl stikstofgehalte. Deze analyses zijn uitgevoerd door Aquon of Aqualysis, afhankelijk van de rwzi. Alle rwzi's hebben gedurende de bemonsteringsperiode normaal gefunctioneerd.

3.5 DATAVERWERKING

De wijze van dataverwerking wordt in bijlage 6 in detail toegelicht.

In de uitwerking van de resultaten zijn de gehalten tussen de detectiegrens (DG) en de rapportagegrens (RG) als waarde meegenomen in berekeningen. In de berekeningen van het totaalgehalte, het gemiddelde en de vrachten zijn gehalten onder detectiegrens vervangen volgens de Volkert-Bakker methode (d.w.z. er wordt gerekend met een substitutiewaarde die afhangt van het percentage waarnemingen boven detectiegrens). Er is voor gekozen om met de detectiegrens te rekenen in plaats van de rapportagegrens, om in meer gevallen met een getalswaarde te kunnen rekenen, in plaats van een substitutiewaarde. Deze getalswaarde is weliswaar minder betrouwbaar, maar wordt nog altijd betrouwbaarder geacht dan een substitutiewaarde.

⁵ NEN (2019). NEN 6600-1. Water - Monsterneming - Deel 1: Afvalwater.

4

CONCENTRATIES

4.1 INFLUENT EN EFFLUENT

Van de 35 onderzochte PFAS zijn er 28 tenminste eenmaal in influent en/of effluent aangetroffen. In alle onderzochte monsters zijn PFAS aangetroffen, het aantal individuele stoffen verschilt van 4 tot 21 per monster (gemiddeld 14). In tabel 2 staat een samenvatting van de concentraties in influent en effluent, gebaseerd op de *maximum* concentraties. In figuur 7a, 7c en 7d zijn de *gemiddelde* concentraties⁶ grafisch weergegeven, voor respectievelijk de hoog, matig en laag met PFAS belaste rwzi's. De afvalwaterstromen van HVC en Chemours worden behandeld op rwzi Dordrecht, en worden daarom in figuur 7b (direct onder de hoog belaste rwzi's) gepresenteerd. Let op: de as verschilt per figuur.

De concentraties PFAS totaal in influent en effluent verschillen sterk per rwzi, en lopen uiteen van 9,6 tot 1.360 ng/l in influent en 13,6 tot 809 ng/l in effluent. Er worden vooral PFCA's en PFSA's met kortere koolstofketens (tot en met C10 respectievelijk C9) aangetroffen. Daarnaast zijn HFPO-DA ('GenX'), fluortelomeren (vooral 6:2 FTS) en sporadisch FOSA's aangetroffen. PFCA's en PFSA's met langere koolstofketens (C10 en hoger) worden niet of nauwelijks aangetroffen.

De hoogste concentraties zijn conform verwachting aangetroffen bij rwzi's Dordrecht en Bath, de laagste bij rwzi's die voornamelijk huishoudelijk afvalwater ontvangen. Er zijn echter uitzonderingen. Zo zijn de concentraties bij rwzi Piershil hoger dan verwacht op basis van het type afvalwater dat wordt aangevoerd (d.w.z. vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater). En bij rwzi Hattem zijn de concentraties lager dan verwacht op basis van het type afvalwater dat wordt aangevoerd (d.w.z. een rwzi met gemengd huishoudelijk afvalwater en industrieel afvalwater). Daarom is, zoals in paragraaf 3.1 is toegelicht, een indeling in hoog, matig en laag met PFAS belaste rwzi's gemaakt.

Uit de resultaten wordt duidelijk dat PFAS niet of nauwelijks worden verwijderd in rwzi's, in veel gevallen is er zelfs sprake van een toename van concentraties van precursors en/of stabiele PFAS (zie hoofdstuk 5 en 7 voor details).

Naast de concentraties verschilt ook het verontreinigingspatroon⁷ per rwzi, zoals is af te leiden uit tabel 2 en figuur 7a, c en d. Bij de meeste rwzi's is het patroon tussen influent en effluent redelijk gelijk, maar met name bij de rwzi's Lelystad en Hattem is er een verschuiving te zien naar andere PFAS in het effluent. In hoofdstuk 7 wordt per zuivering verder ingezoomd op mogelijke verklaringen hiervoor.

Er is geen duidelijk weekpatroon waar te nemen. De spreiding tussen de verschillende meetdagen is in de meeste gevallen beperkt, maar er zijn een aantal uitzonderingen. Zo is er veel spreiding in de concentraties 6:2 FTS (77 – 410 ng/l) en PFBA (13 – 930 ng/l) in het influent van rwzi Bath, en zijn er pieken in 6:2 FTS (tot 45 ng/l) gevonden bij rwzi Hapert. Of er een relatie is met regenweer is niet in detail bekeken.

6 Wanneer gesproken wordt over gemiddelde concentraties worden gewogen gemiddelde concentraties bedoeld. Zie bijlage 6 voor een toelichting.

7 Dat wil zeggen: de verdeling over de verschillende individuele PFAS en de onderlinge verhouding daarin.

TABEL 2 SAMENVATTING VAN AANGETROFFEN MAXIMALE CONCENTRATIES IN INFLUENT EN EFFLUENT VOOR ACHT RWZ'S EN ENKELE BIJZONDERE AFVALWATERSTROMEN. HVCARA = AFVALWATER VAN DE VERBRANDING VAN HUISHOUDELIJK AFVAL EN ZIEKENHUISAFVAL, HVCDOV = DRAINAGEWATER VAN DE VOORMALIGE VUILSTORT, HVCsvT = AFVALWATER VAN DE SLIBVERBRANDING EN CHE = AFVALWATER VAN CHEMOURS

Heatmap PFAS in influent en effluent

Naam stofgroep overgenomen uit het kennisdocument PFAS van het PFAS Expertisecentrum (Pancras et al., 2018)

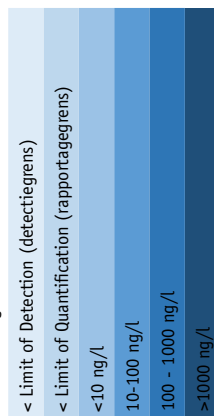
Cn = aantal koolstofatomen in de gefluoreerde koolstofketen

NB = niet te bepalen, alle gehalten waren boven de rapportagegrens

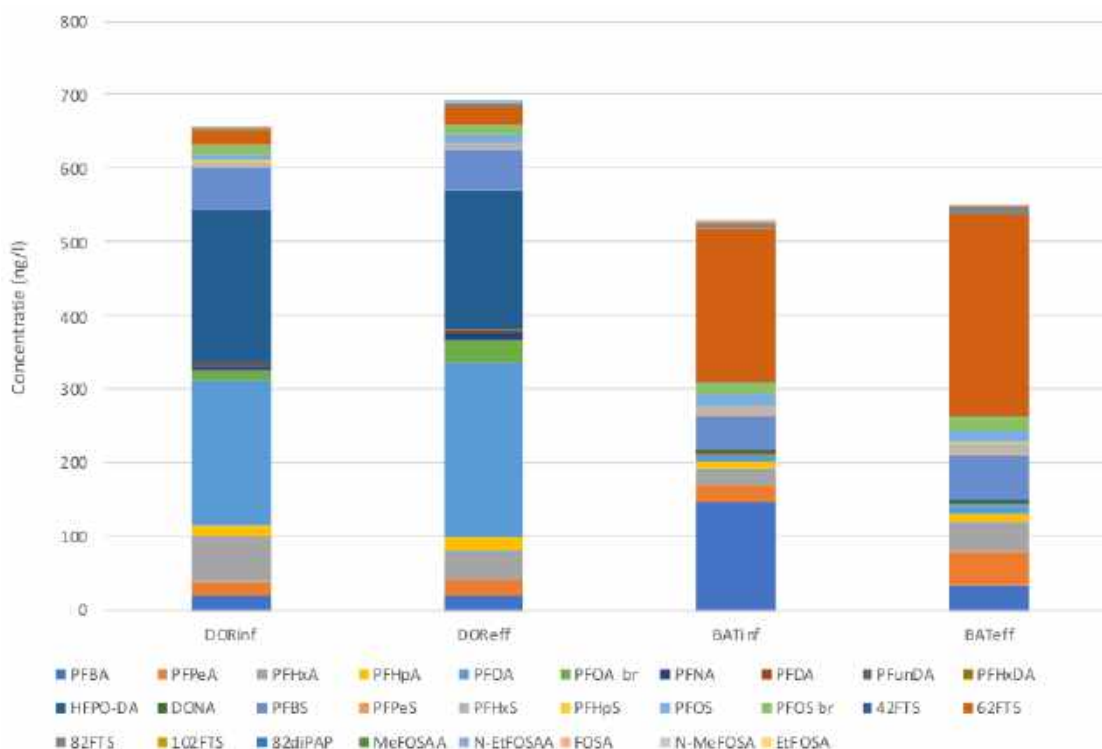
Stofnaam	Cn	Afkorting	VU	Detectiegrens	DOR	DOR	BAT	BAT	AAR	AAR	LEL	LEL	PIE	PIE	AST	AST	HAP	HAP	HAT	HAT	HVCara	HVCDOV	HVCsvT	CHE	
				ng/l	infl	effl	infl	effl	infl	effl	infl	effl	infl	effl	infl	effl	infl	effl	infl	effl	infl	effl	infl	effl	
Perfluoroalkyl carboxylzuren (PFCA's)																									
Perfluorobutaanzuur	C4	PFBA		1	hoog	hoog	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	effl	effl	effl	infl	
Perfluoropentaanzuur	C5	PFPeA		1																					
Perfluorhexaanzuur	C6	PFHxA		0,5																					
Perfluorheptaanzuur	C7	PFHpA		0,5																					
Perfluoroctaanzuur, lineair	C8	L-PFOA		0,5																					
Perfluoroctaanzuur, vertakt	C8	br-PFOA		0,5																					
Perfluorononaanzuur	C9	PFNA		0,5																					
Perfluordecaanzuur	C10	PFDA		0,5																					
Perfluorundecaanzuur	C11	PFUnDA		0,5																					
Perfluordodecaanzuur	C12	PFDoA		0,5																					
Perfluortridecaanzuur	C13	PFTrDA		0,5																					
Perfluortetradecaanzuur	C14	PFTeDA		0,5																					
Perfluorhexadecaanzuur	C16	PFHxDA		0,5 - 1																					
Perfluoroctadecaanzuur	C18	PFODA		1																					
Perfluoroether carboxylzuren (PFECAs)																									
Tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propaanzuur		HFPO-DA		0,1																					
Dodecafluor-3H-4,8-dioxanonanoaat		DONA		0,1																					
Perfluoroalkyl sulfonzuren (PFSA's)																									
Perfluorobutaansulfonaat	C4	PFBS		0,5																					
Perfluoropentaansulfonaat	C5	PFPeS		0,25																					
Perfluorhexaansulfonaat	C6	PFHxS		0,25																					
Perfluorheptaansulfonaat	C7	PFHpS		0,25																					

Stofnaam	Cn	Afkorting VU	Detectiegrens ng/l	DOR infl hoog	BAT infl hoog	AAR infl matig	AAR effl matig	LEL infl matig	LEL effl matig	PIE infl matig	PIE effl matig	AST infl laag	AST effl laag	HAP infl laag	HAP effl laag	HAT infl laag	HAT effl laag	HVCara effl bijz	HVCdov effl bijz	HVCsvi effl bijz	CHE infl bijz
Perfluorctaansulfonaat, lineair	C8	L-PFOS	0,5	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Perfluorctaansulfonaat, vertakt	C8	br-PFOS	0,5	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Perfluordecaansulfonaat	C10	PFDS	0,5 - 1	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Fuortelomeer sulfonuren (precursors)																					
4:2 Fluortelomeer sulfonzuur		4:2 FTS	0,5	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
6:2 Fluortelomeer sulfonzuur		6:2 FTS	1	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
8:2 Fluortelomeer sulfonzuur		8:2 FTS	0,5	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
10:2 Fluortelomeer sulfonzuur		10:2 FTS	1	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Polyfluoralkyl fosforzuur diesters (precursors)																					
8:2 Fluortelomeer fosfaatdiester		8:2diPAP	1	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Perfluoralkaansulfonamides (precursors)																					
Perfluorctaansulfonylamide-(N-Methyl)acetaat		N-MeFOSAA	0,5	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Perfluorctaansulfonylamide-(N-Ethyl)acetaat		N-EtFOSAA	0,5	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Perfluorctaansulfonamide		FOSA	0,5	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Methylperfluorctaansulfonamide		MeFOSA	1	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Ethylperfluorctaansulfonamide		EtFOSA	1	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
Overige PFAS																					
9-chloorhexadecafluor-3-oxanonaan-1-sulfonaat		9Cl-PF30NS	1	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag
11-chlooricosaanfluor-3-oxaundecaan-1-sulfonaat		11Cl-PF30Uds	1	hoog	hoog	matig	matig	matig	matig	matig	matig	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag	laag

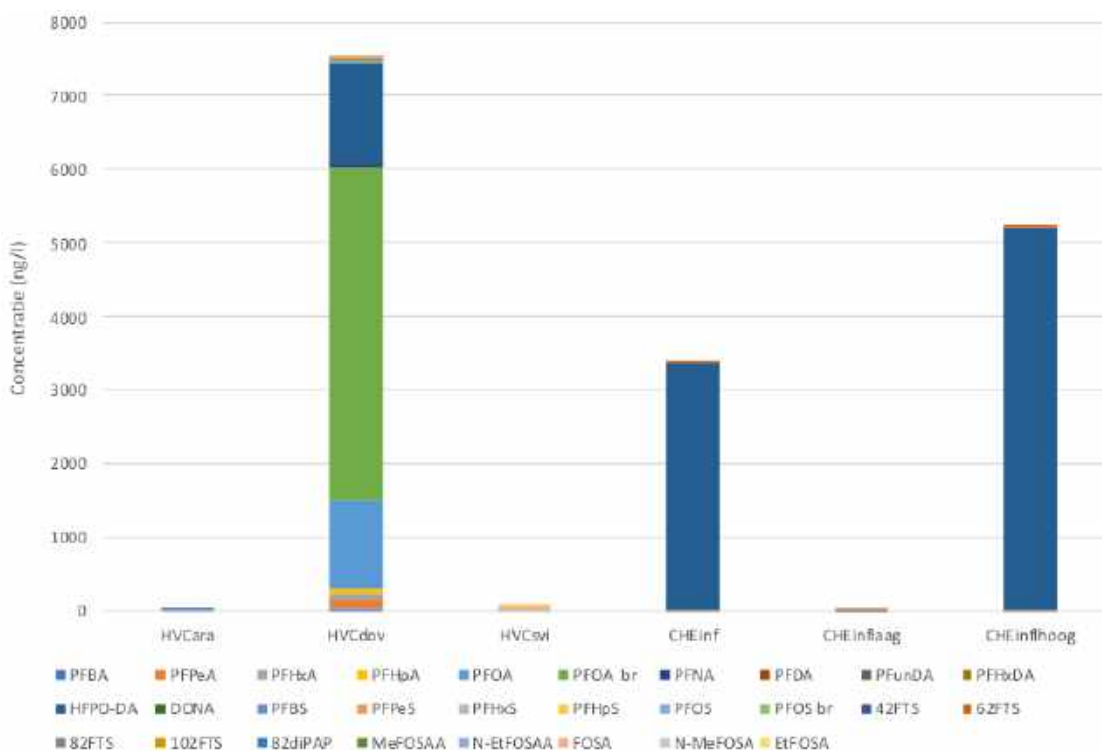
Kleurcodering influent en effluent o.b.v. maximum:



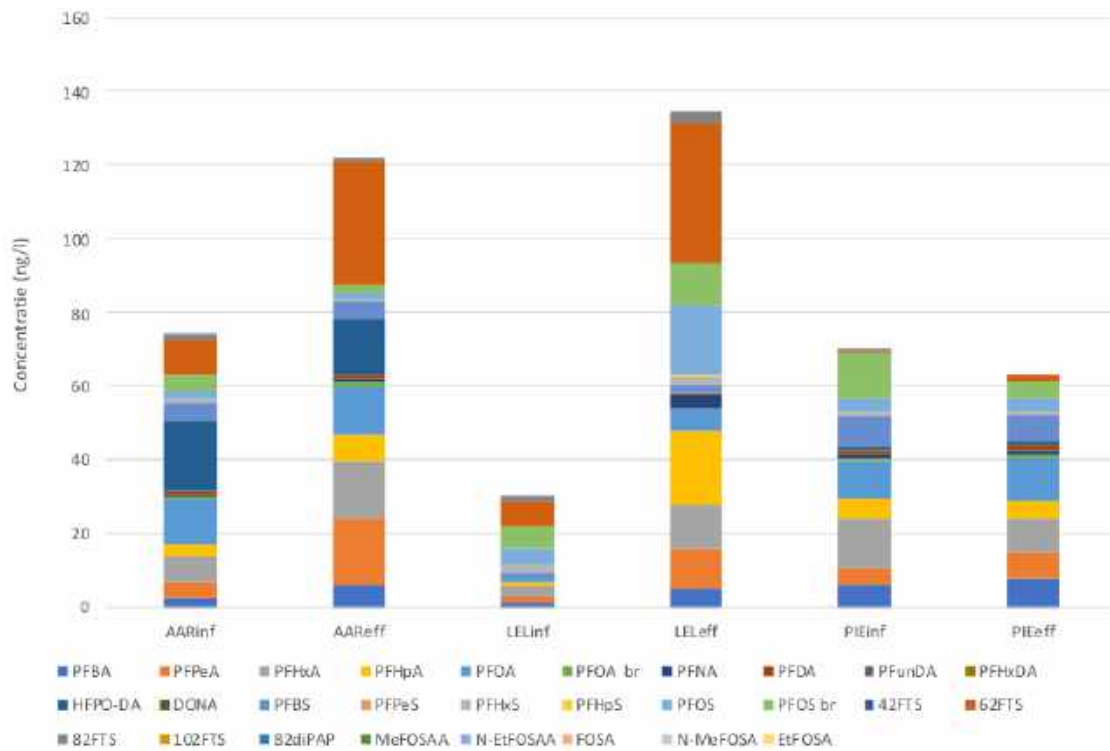
FIGUUR 7A GEMIDDELDE CONCENTRATIES PFAS (IN NG/L) IN INFLUENT EN EFFLUENT VOOR HOOG MET PFAS BELASTE RWZI'S: RWZI DORDRECHT (DOR) EN RWZI BATH (BAT)



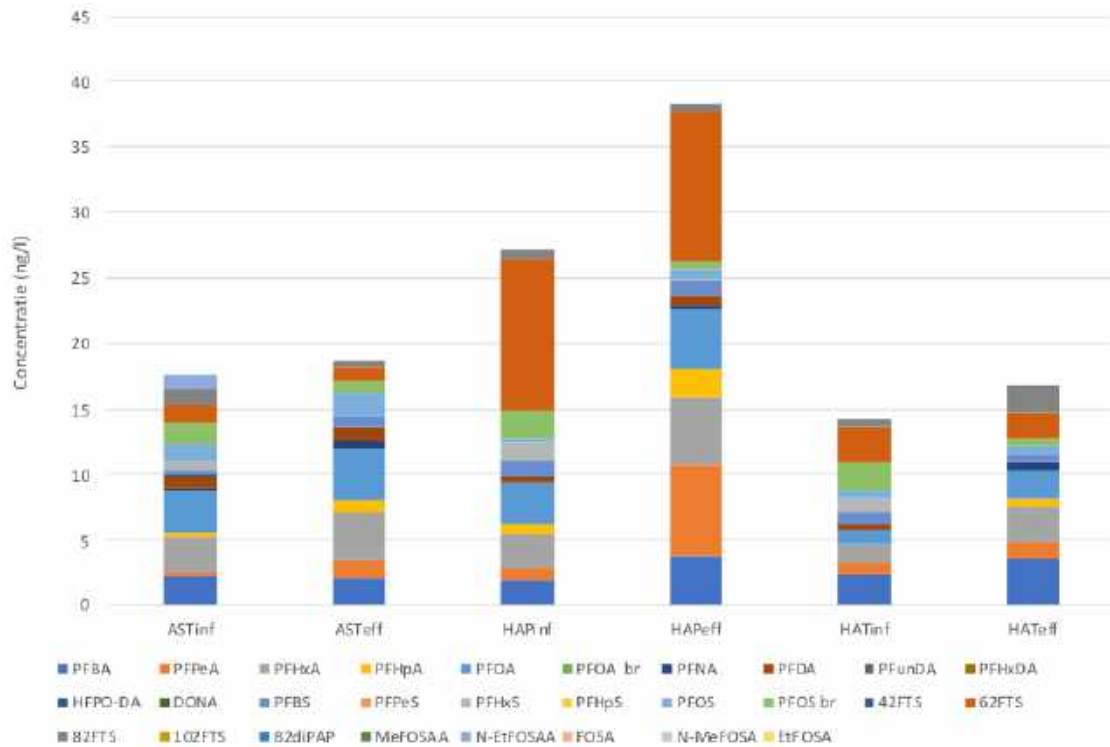
FIGUUR 7B GEMIDDELDE CONCENTRATIES PFAS IN AFVALWATERSTROMEN AFKOMSTIG VAN ENERGIE- EN AFVALBEDRIJF HVC EN CHEMOURS (CHE). HVCARA = AFVALWATER VAN DE VERBRANDING VAN HUISHOUDELIJK EN ZIEKENHUISAFVAL, HVCDOV = DRAINAGEWATER VAN DE VOORMALIGE VUILSTORT GEMENGD MET AFSTROMEND HEMELWATER VAN HET FABRIEKSTERREIN VAN HVC EN HVCSVI = AFVALWATER VAN DE SLIBVERBRANDING. BIJ CHEMOURS IS ONDERSCHIED GEMAAKT IN EEN PERIODE MET LAGE EN HOGE CONCENTRATIES (ZIE TEKST)



FIGUUR 7C GEMIDDELDE CONCENTRATIES PFAS (IN NG/L) IN INFLUENT EN EFFLUENT VOOR MATIG MET PFAS BELASTE RWZI'S: RWZI AARLE RIXTEL (AAR), RWZI LELYSTAD (LEL) EN RWZI PIERSHIL (PIE)



FIGUUR 7D GEMIDDELDE CONCENTRATIES PFAS (IN NG/L) IN INFLUENT EN EFFLUENT VOOR LAAG MET PFAS BELASTE RWZI'S: RWZI ASTEN (AST), RWZI HAPERT (HAP) EN RWZI HATTEM (HAT)



4.2 BIJZONDERE AFVALWATERSTROMEN

De gemiddelde concentraties in bijzondere afvalwaterstromen zijn weergegeven in figuur 7b. Deze afvalwaterstromen worden allen – na behandeling bij HVC en Chemours – afgevoerd naar rwzi Dordrecht, waar zij samen met het huishoudelijk afvalwater het influent vormen.

De afvalwaterstromen van HVC laten grote verschillen zien. In het afvalwater van de slibverbranding (HVCsvi) en het afvalwater van de verbranding van huishoudelijk en ziekenhuisafval (HVCara) zijn nauwelijks PFAS aangetroffen (maximaal 99 ng/l en 28 ng/l PFAS totaal). Opvallend is wel dat in het afvalwater van de slibverbranding vooral precursors uit de groep van perfluoralkaansulfonamides zijn aangetroffen, vooral FOSA en MeFOSAA. Deze stofgroep is op andere locaties niet of nauwelijks in het afvalwater aangetroffen, maar wordt wel op alle locaties in het zuiveringsslib gevonden.

In het drainagewater van de stortplaats (HVCdov) zijn zeer hoge concentraties PFAS aangetroffen, dat wil zeggen 6225 tot 9171 ng/l PFAS in totaal. De hoge concentraties betreffen met name PFOA, vertakt PFOA en HFPO-DA ('GenX'), maar ook een groot aantal andere PFAS worden aangetroffen. Het gaat om dezelfde stoffen die ook in influenten en effluenten worden aangetroffen. Uit eerder onderzoek (Jans et al., 2020) was reeds duidelijk dat het afvalwater van stortplaatsen hoge concentraties PFAS kan bevatten. De resultaten van HVCdov zijn dus conform verwachting.

In het afvalwater van Chemours wordt vooral HFPO-DA aangetroffen, en relatief lage concentraties van enkele andere PFAS. Het meest opvallende is dat de concentratie HFPO-DA in het afvalwater van Chemours vanaf dag 4 fors toeneemt (van circa 10 ng/l naar 5.000 – 6.000 ng/l). Chemours heeft in een reactie laten weten dat het beeld past binnen de normale variaties van de effluentkwaliteit van hun awzi. De awzi van Chemours heeft niet afwijkend gefunctioneerd tijdens de bemonsteringsronde eind november - begin december 2020. De plotselinge verhoging van de HFPO-DA-concentratie (in het effluent van de awzi) kan samenhangen met de variaties die optreden in de batchgewijze productie van PTFE en FEP en daarmee de variatie in de concentratie van de PFAS in het procesafvalwater. Op basis van eigen metingen van Chemours (totaal 317 monsters over een periode van 2,5 jaar) ligt de HFPO-DA concentratie gemiddeld op 754 ng/l, en neemt af in de tijd (zie bijlage 7). Dit is aanzienlijk lager dan de in het huidige onderzoek gevonden gemiddelde concentratie van circa 3.500 ng/l. Na de monsterperiode is het actief kool filter vervangen. Dit betrof een reguliere vervanging.

4.3 ZUIVERINGSSLIB

Van de 35 onderzochte PFAS zijn er 32 tenminste eenmaal in zuiveringsslib aangetroffen. In alle onderzochte monsters zijn PFAS aangetroffen. Het aantal individuele stoffen verschilt van 24 tot 31 per monster (gemiddeld 28). In tabel 3 staat een samenvatting van de concentraties in zuiveringsslib, gebaseerd op de *maximum* concentraties. In figuur 8a en 8b zijn de *gemiddelde* concentraties grafisch weergegeven, voor respectievelijk de hoog en matig met PFAS belaste rwzi's en laag met PFAS belaste rwzi's. Let op: de as verschilt per figuur.

Uit figuur 8b blijkt dat het verontreinigingspatroon bij de laag belaste rwzi's redelijk vergelijkbaar is, terwijl er voor de hoog en matig belaste rwzi's veel verschillen zijn (figuur 8a). Opvallend zijn vooral de hoge concentraties PFOS en 10:2FTS bij rwzi Lelystad en PFPeA bij Aarle Rixtel.

De spreiding tussen de verschillende meetdagen is in de meeste zeer gevallen beperkt. Alleen bij rwzi Aarle Rixtel is de spreiding wat groter, vooral door verschillen in gehalten PFOS en C5-C8 PFCA's.

In het zeefgoed van Aarle-Rixtel werd 3,1 tot 11 µg PFAS(35)/kgds aangetroffen. Het verontreinigingspatroon vertoont gelijkenis met dat van het zuiveringsslib van Aarle-Rixtel.

TABEL 3 SAMENVATTING VAN DE AANGETROFFEN MAXIMALE CONCENTRATIES (IN µG/KGDS) IN ZUIVERINGSSLIB VOOR ACHT RWZI'S

Heatmap PFAS in influent en effluent

Naam stofgroep overgenomen uit het kennisdocument PFAS van het PFAS Expertisecentrum (Pancras et al., 2018)

Cn = aantal koolstofatomen in de gefluoreerde koolstofketen

NB = niet te bepalen, alle gehalten waren boven de rapportagegrens

Stofnaam	Cn	Afkorting VU	Detectiegrens µg/kgds	DOR slib	BAT slib	AAR slib	LEL slib	PIE slib	AST slib	HAP slib	HAT slib
Mate van PFAS belasting >				hoog	hoog	matig	matig	matig	laag	laag	laag
Perfluoroalkyl carboxylzuren (PFCAs)											
Perfluorbutaanzuur	C4	PFBA	0,5*								
Perfluorpentaanzuur	C5	PFPeA	0,02 - 0,04								
Perfluorhexaanzuur	C6	PFHxA	NB								
Perfluorheptaanzuur	C7	PFHpA	NB								
Perfluoroctaanzuur, lineair	C8	L-PFOA	NB								
Perfluoroctaanzuur, vertakt	C8	br-PFOA	0,02								
Perfluormonaanzuur	C9	PFNA	NB								
Perfluordecaanzuur	C10	PFDA	NB								
Perfluorundecaanzuur	C11	PFUnDA	NB								
Perfluordodecaanzuur	C12	PFDoA	NB								
Perfluortridecaanzuur	C13	PFTTrDA	NB								
Perfluortetradecaanzuur	C14	PFTeDA	NB								
Perfluorhexadecaanzuur	C16	PFHxDA	0,05								
Perfluoroctadecaanzuur	C18	PFODA	0,05 - 0,1								
Perfluoroether carboxylzuren (PFECAs)											
TetraFluoro-2-(heptafluoropropoxy) propaanzuur		HFPO-DA	0,01 - 0,03								
Dodecafluor-3H-4,8-dioxanonanoaat		DONA	0,01 - 0,03								
Perfluoroalkyl sulfonzuren (PFSAs)											
Perfluorbutaansulfonaat	C4	PFBS	0,03								
Perfluorpentaansulfonaat	C5	PFPeS	0,01 - 0,03								
Perfluorhexaansulfonaat	C6	PFHxS	0,01								
Perfluorheptaansulfonaat	C7	PFHpS	0,01 - 0,02								
Perfluoroctaansulfonaat, lineair	C8	L-PFOS	NB								
Perfluoroctaansulfonaat, vertakt	C8	br-PFOS	NB								
Perfluordecaansulfonaat	C10	PFDS	0,01 - 0,02								
Fluortelomeer sulfonzuren (precursors)											
4:2 Fluortelomeer sulfonzuur		4:2 FTS	0,01 - 0,03								
6:2 Fluortelomeer sulfonzuur		6:2 FTS	NB								
8:2 Fluortelomeer sulfonzuur		8:2 FTS	NB								
10:2 Fluortelomeer sulfonzuur		10:2 FTS	NB								
Polyfluoroalkyl fosforzuur diesters (precursors)											
8:2 Fluortelomeer fosfaatdiester		8:2diPAP	0,05								
Perfluoralkaansulfonamides (precursors)											
Perfluoroctaansulfonamide-(N-Methyl)acetaat		N-MeFOSAA	NB								
Perfluoroctaansulfonamide-(N-Ethyl)acetaat		N-EtFOSAA	NB								

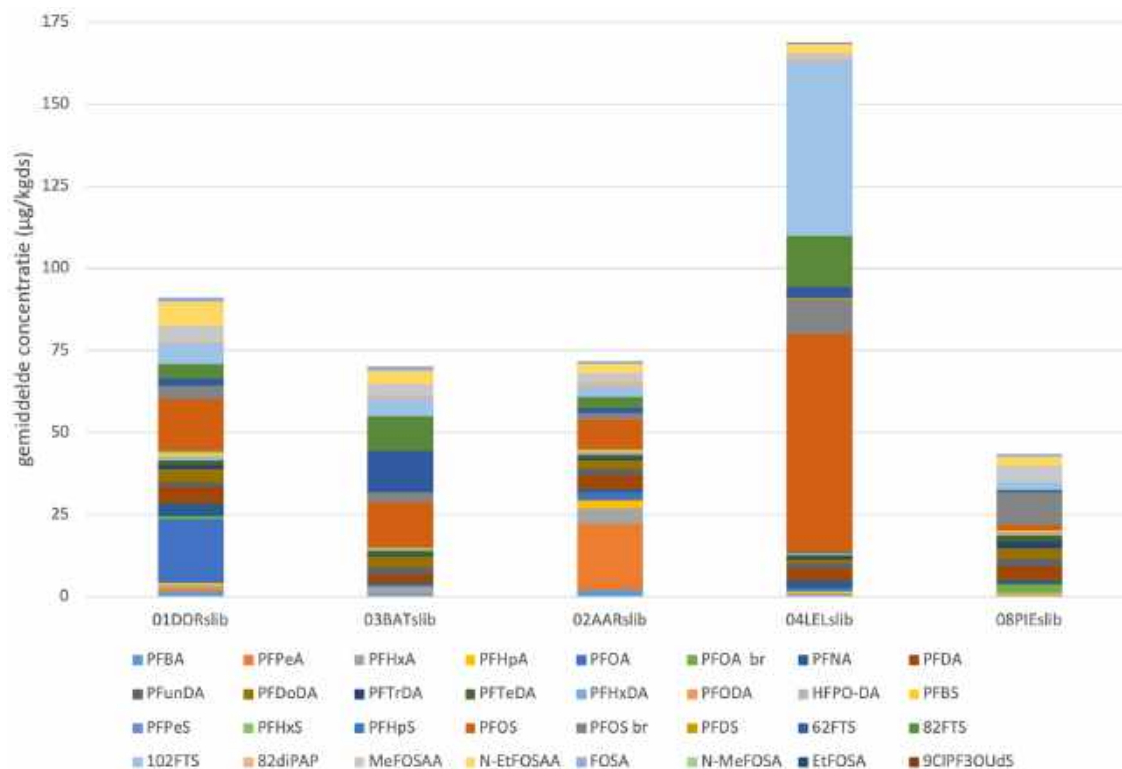
Stofnaam	Cn	Afkorting VU	Detectiegrens µg/kgds	DOR	BAT	AAR	LEL	PIE	AST	HAP	HAT
				slib	slib	slib	slib	slib	slib	slib	
				hoog	hoog	matig	matig	matig	laag	laag	laag
Perfluorooctaansulfonamide		FOSA	NB								
Methylperfluorooctaansulfonamide		MeFOSA	0,02 - 0,05								
Ethylperfluorooctaansulfonamide		EtFOSA	0,02 - 0,05								
Overige PFAS											
9-chloorhexadecafluor-3-oxanonaan-1-sulfonaat		9Cl-PF30NS	0,01 - 0,03								
11-chloorheicosaanfluor-3-oxaundecaan-1-sulfonaat		11Cl-PF30UdS	0,01 - 0,03								

Kleurcodering slib o.b.v. maximum:

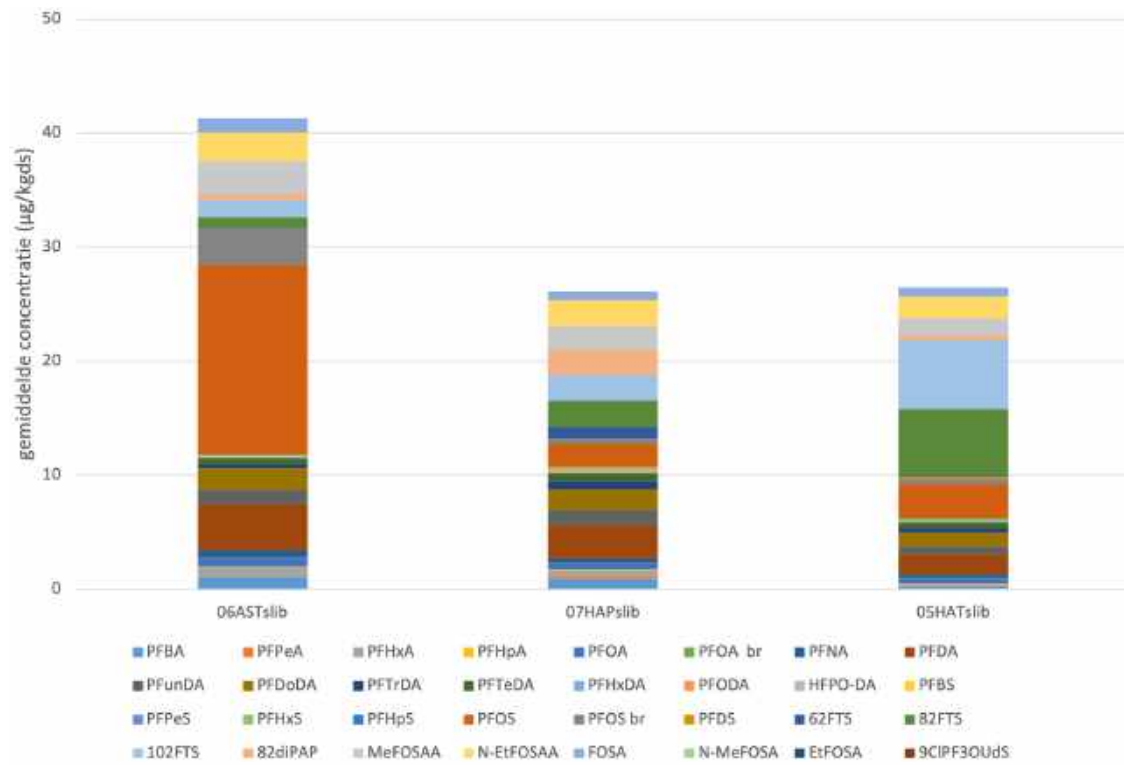
< Limit of Detection (detectiegrens)
< Limit of Quantification (rapportagegrens)
<1 µg/kgds
1-10 µg/kgds
10-100 µg/kgds
>100 µg/kgds

* Uitzondering, laagst gemeten gehalte 0,17 µg/kgds

FIGUUR 8A GEMIDDELTE CONCENTRATIES PFAS (IN µG/KGDS) IN ZUIVERINGSSLIB VOOR HOOG EN MATIG MET PFAS BELASTE RWZI'S: RWZI DORDRECHT (DOR), RWZI BATH (BAT), RWZI AARLE RIXTEL (AAR), RWZI LELYSTAD (LEL) EN RWZI PIERSHIL (PIE)



FIGUUR 8B GEMIDDELDE CONCENTRATIES PFAS (IN µG/KGDS) IN ZUIVERINGSSLIB VOOR LAAG MET PFAS BELASTE RWZI'S: RWZI ASTEN (AST), RWZI HAPERT (HAP) EN RWZI HATTEM (HAT)



5

VRACHTEN

De vrachten PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib worden in tabel 4 samengevat (voor de vrachten in de bijzondere afvalwaterstromen wordt verwezen naar paragraaf 7.1). De vrachten zijn niet alleen uitgedrukt in gram per jaar per rwzi, maar ook per inwonerequivalent (IE150). Inwonerequivalenten worden gebruikt om de belasting van een rwzi uit te drukken. Een grote rwzi behandelt een groot aantal IE, een kleine rwzi een klein aantal IE. De belasting (of vuillast) kan afkomstig zijn uit huishoudelijk afvalwater, industrieel afvalwater, afstromend hemelwater en/of rioolvreemd water. De vracht per inwonerequivalent, wordt ook wel immissiefactor (influent) of emissiefactor (effluent of zuiveringsslib) genoemd. Door de vrachten in inwonerequivalenten uit te drukken kunnen de locaties onderling in omvang vergeleken worden. De berekende emissiefactor in effluent heeft de basis gevormd voor de indeling van de rwzi's in hoog, matig en laag met PFAS belast⁸.

TABEL 4 SAMENVATTING VAN BEREKENDE VRACHTEN PFAS TOTAAL PER RWZI, EN DE IMMISSIE- EN EMISSIEFACTOREN (VRACHT PER INWONEREQUIVALENT PER JAAR). DE KLEUREN ZIJN BEDOELD OM VERSCHILLEN TUSSEN LOCATIES AAN TE GEVEN EN HEBBEN GEEN BIJZONDERE BETEKENIS.

		Dordrecht	Bath	Aarle Rixtel	Lelystad	Piershil	Asten	Hapert	Hattem
mate van belasting met PFAS(35)		hoog	hoog	matig	matig	matig	laag	laag	laag
belasting peiljaar 2020	IE150	230.750	509.246	317.886	116.193	7.003	73.553	56.179	60.334
<i>jaarvrachten PFAS(35)</i>									
influent	g/j	11.945	20.035	1.452	148	44	40	68	47
effluent	g/j	12.542	20.840	2.379	647	38	65	95	56
slib	g/j	463	585	474	312	3,3	46	30	20
zeefgoed	g/j			3,5					
<i>emissiefactoren PFAS(35)</i>									
influent	mg/IE150 per jaar	51,8	39,3	4,6	1,3	6,3	0,54	1,2	0,78
effluent	mg/IE150 per jaar	54,4	40,9	7,5	5,6	5,4	0,88	1,7	0,92
slib	mg/IE150 per jaar	2,0	1,1	1,5	2,7	0,47	0,62	0,54	0,33
<i>aandeel via slib</i>		3,5%	2,6%	17%	33%	8,0%	41%	24%	26%

De vrachten PFAS totaal per rwzi vertonen grote variatie: (40 – 20.035 g/jaar via influent, 38 – 20.840 g/jaar via effluent en 3,3 – 585 g/jaar via zuiveringsslib. Deze variatie hangt voor een belangrijk deel samen met verschillen in grootte van de rwzi's.

Echter, de mate van belasting met PFAS verschilt ook per rwzi, hetgeen blijkt uit de vrachten per IE in influent (immissiefactor) en effluent (emissiefactor). Uit tabel 4 blijkt dat de vrachten op basis van de emissiefactor in het effluent bij rwzi Dordrecht en rwzi Bath conform verwachting veruit het hoogst zijn (40,9 – 54,4 mg/IE150/jaar). Rwzi Aarle Rixtel, rwzi Lelystad en rwzi Piershil zijn matig belast (5,4 – 7,5 mg/IE150/jaar), terwijl rwzi Hattem, rwzi Asten en rwzi Hapert laag belast zijn (0,88 – 1,7 mg/IE150/jaar).

8 De indeling is gebaseerd op de emissiefactor in het effluent en niet op de immissiefactor in het influent. Het effluent bepaald immers wat er uiteindelijk in het milieu terecht komt. Daarnaast blijken in veel gevallen de concentraties van de gemeten PFAS in het effluent hoger dan in het influent.

Bij slib is het beeld minder consistent, met name voor de rwzi's die matig met PFAS zijn belast: daar zijn grote verschillen in de emissie in mg/IE150/jaar, waarbij bij Lelystad de emissie via slib opvallend hoog is. In paragraaf 7.2 en/of 8.4 wordt ingegaan op een mogelijke verklaring. Het aandeel van de vracht dat via het slib de rwzi verlaat is 2,6 tot 41% (van de totale vracht die de rwzi verlaat). Een verklaring waarom dit aandeel per rwzi zo verschilt is niet gevonden.

De vrachten per inwonerequivalent zijn ook berekend voor alleen PFOA, PFOS en PFCA's met een ketenlengte van 4 tot 7 koolstofatomen (C4-C7). De resultaten staan in bijlage 8. Uit bijlage 8 blijkt dat in alle gevallen de emissie van PFOA (C8) toeneemt in de zuivering. Dat geldt voor de meeste zuiveringen ook voor andere PFCA's met een ketenlengte van 4 tot 7 gefluoreerde koolstofatomen (C4 - C7), alleen bij rwzi Dordrecht en rwzi Bath neemt de emissie van deze groep af. De emissie van PFOS blijft bij de meeste rwzi's min of meer gelijk of neemt af, behalve bij rwzi Lelystad, waar sprake is van een factor 3 toename. In paragraaf 8.4 wordt ingegaan op de mogelijke verklaring voor deze toename.

6

ZUIVERINGSRENDEMENTEN

Er zijn géén zuiveringsrendementen voor individuele monsterdagen uitgerekend (zie bijlage 9 voor motivatie). De zuiveringsrendementen zijn berekend op basis van het gemiddelde van de gewogen concentraties voor alle meetdagen (d.w.z. 7 tot 9 dagen, zie bijlage 6 voor details over de berekeningswijze).

De berekende zuiveringsrendementen zijn weergegeven in bijlage 9. Wat direct opvalt is dat voor veel stoffen sprake is van negatieve zuiveringsrendementen. Negatieve rendementen duiden op een toename van PFAS in de rwzi. Vooral bij rwzi Lelystad worden veel, soms zeer hoge, negatieve rendementen berekend. De hoge rendementen hangen voor een deel samen met de lage concentraties, waarbij kleine verschillen in concentraties tot hoge percentages leiden. Uit paragraaf 4.1 is echter gebleken dat er ook daadwerkelijk sprake is van een duidelijke toename van een aantal stoffen. In hoofdstuk 7 en paragraaf 8.4.2 wordt hier dieper op ingegaan. Op basis van PFAS(35) is alleen bij rwzi Piershil sprake van verwijdering van PFAS van 15%. Bij alle andere rwzi's is het zuiveringsrendement negatief (d.w.z. in effluent worden meer PFAS aangetroffen dan in influent).

7

NADERE BESCHOUWING PER RWZI

In dit hoofdstuk worden de vrachten in ingaande en uitgaande stromen nader beschouwd aan de hand van Sankey diagrammen. In een Sankey diagram wordt de herkomst en bestemming van vrachten PFAS in ingaande (links) en uitgaande (rechts) stromen weergegeven. Een verschil tussen de totale ingaande en uitgaande stroom wordt als restpost weergegeven.

In dit hoofdstuk worden de volgende rwzi's als voorbeeld in detail beschouwd:

1. Rwzi Dordrecht, om de bijdrage van de onderzochte industriële afvalwaterstromen van HVC en Chemours aan de totale vracht te illustreren.
2. Rwzi Lelystad, als extreem voorbeeld van een restpost aan de influent kant, die duidt op de aanwezigheid van onbekende PFAS in het influent.
3. Rwzi Piershil, omdat dit de enige rwzi is waar PFAS (op basis van PFAS totaal) verwijderd wordt.

De overige vijf rwzi's zijn variaties op het Sankey diagram van rwzi Lelystad, maar met een andere omvang van de restpost. De Sankey diagrammen voor deze zuiveringen zijn in bijlage 10 opgenomen.

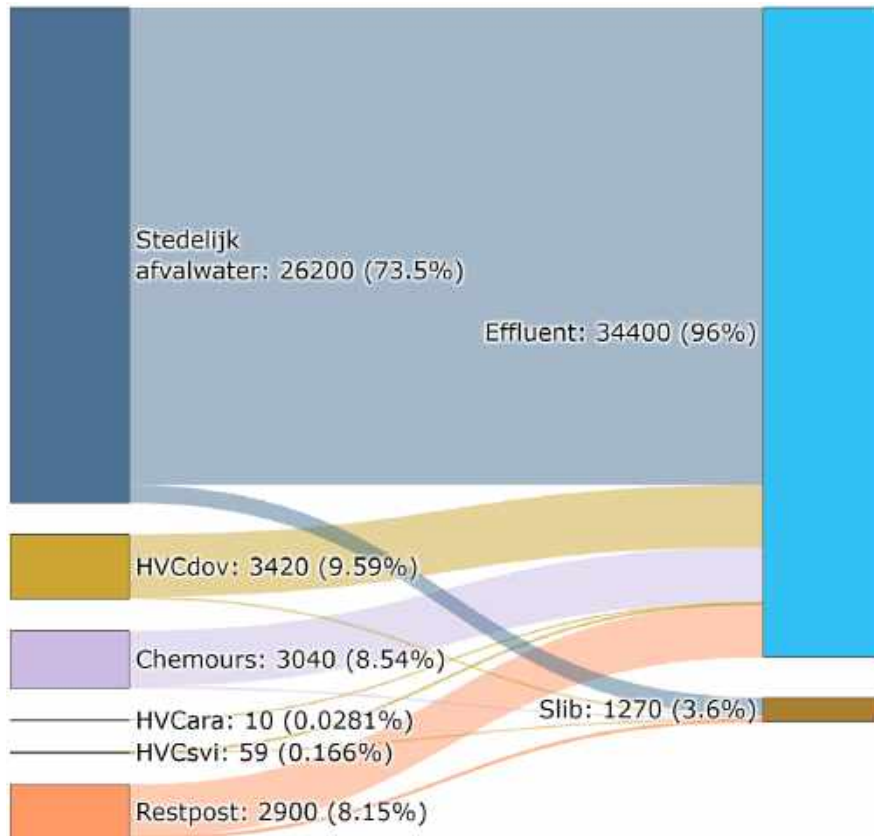
7.1 RWZI DORDRECHT

Het Sankey diagram voor rwzi Dordrecht wordt in figuur 9 weergegeven. Rwzi Dordrecht betreft een bijzondere situatie omdat hier vier separate afvalwaterstromen worden behandeld waarvan bekend is, of vermoed werd, dat deze PFAS bevatten. Uit figuur 9 blijkt dat de vrachten van twee van deze stromen, te weten het afvalwater van de slibverbrandingsinstallatie (HVCsvi) en het afvalwater van de verbrandingsinstallatie van huisvuil en ziekenhuisafval (HVCara) zeer beperkt zijn (<1%). De vrachten van de andere twee stromen, te weten het afvalwater van de vuilstort (HVCdov) en het afvalwater van Chemours vormen een groter aandeel, maar nog steeds minder dan 10%. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de vracht bij Chemours gebaseerd is op de gemiddelde concentratie die in dit onderzoek is gemeten. In de monsterperiode kon echter een onderscheid gemaakt worden in een periode met lage concentraties PFAS (rond de 10 ng/l) en hoge concentraties PFAS (meer dan 5.000 ng/l). In de periode met lage concentraties is de bijdrage van Chemours zeer beperkt (<1%), in de periode met hoge concentraties is deze hoger (circa 13%).

Het overgrote deel van de vracht PFAS komt met het stedelijk afvalwater op de rwzi. Daarbij speelt mee dat het gebied rondom Dordrecht door historische belasting verhoogde concentraties PFAS bevat. Stedelijk afvalwater bestaat deels uit afstromend hemelwater en (bij lekke riolen) instromend grondwater. Ook via deze routes kunnen PFAS uit de omgeving in het stedelijk afvalwater terecht komen. De historische belasting van de omgeving leidt tot verhoogde concentraties PFAS in het stedelijk afvalwater van rwzi Dordrecht vergeleken met andere rwzi's.

Verder blijkt uit figuur 9 dat de restpost links in het diagram staat, wat betekent dat er meer PFAS de rwzi uit gaat dan er binnenkomt. Waarschijnlijk spelen bekende en onbekend precursors in het influent hier een rol (zie paragraaf 8.4).

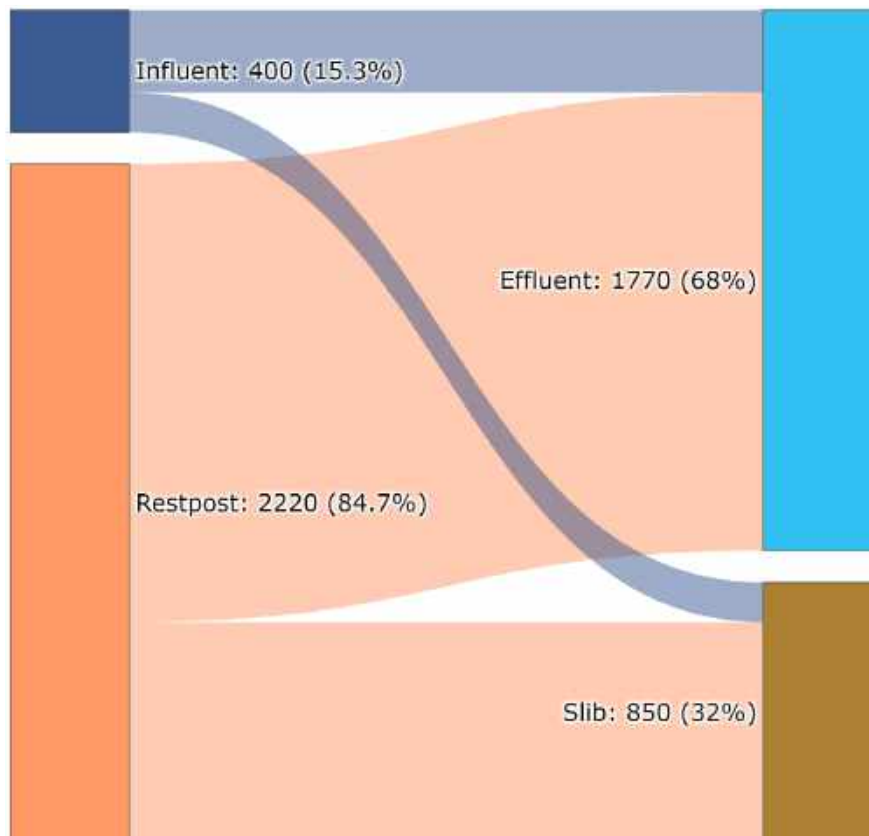
FIGUUR 9 SANKEY DIAGRAM VOOR RWZI DORDRECHT, GEBASEERD OP HET TOTAALGEHALTE VAN DE 35 GEANALYSEERDE PFAS, I.E. PFAS(35). DE GETALLEN GEVEN DE GEMIDDELTE VRACHT IN MG/DAG WEER. DE BIJDRAGE VAN CHEMOURS IS GEBASEERD OP DE GEMIDDELTE CONCENTRATIE (DAT WIL ZEGGEN: ER IS HIER GEEN ONDERSCHIED GEMAAKT TUSSEN DE PERIODE MET LAGE CONCENTRATIES EN MET HOGE CONCENTRATIES)



7.2 RWZI LELYSTAD

Het Sankey diagram voor rwzi Lelystad wordt in figuur 10 weergegeven. Lelystad is van de onderzochte rwzi's bijzonder omdat er een forse toename van PFOS en 6:2 FTS in het effluent is. Daarnaast werden in het slib hoge concentraties PFOS en 10:2 FTS aangetroffen. Dit resulteert in een zeer grote restpost aan de linkerkant van het Sankey diagram. Dat wil zeggen dat er veel meer PFAS de zuivering verlaat dan dat er binnenkomt. Dit doet sterk vermoeden dat er in het influent onbekende precursors zitten die afbreken tot andere bekende (zoals 10:2 FTS) en onbekende precursors en tot PFOS. Wat de bron voor deze precursors kan zijn, is binnen het waterschap onderwerp van onderzoek.

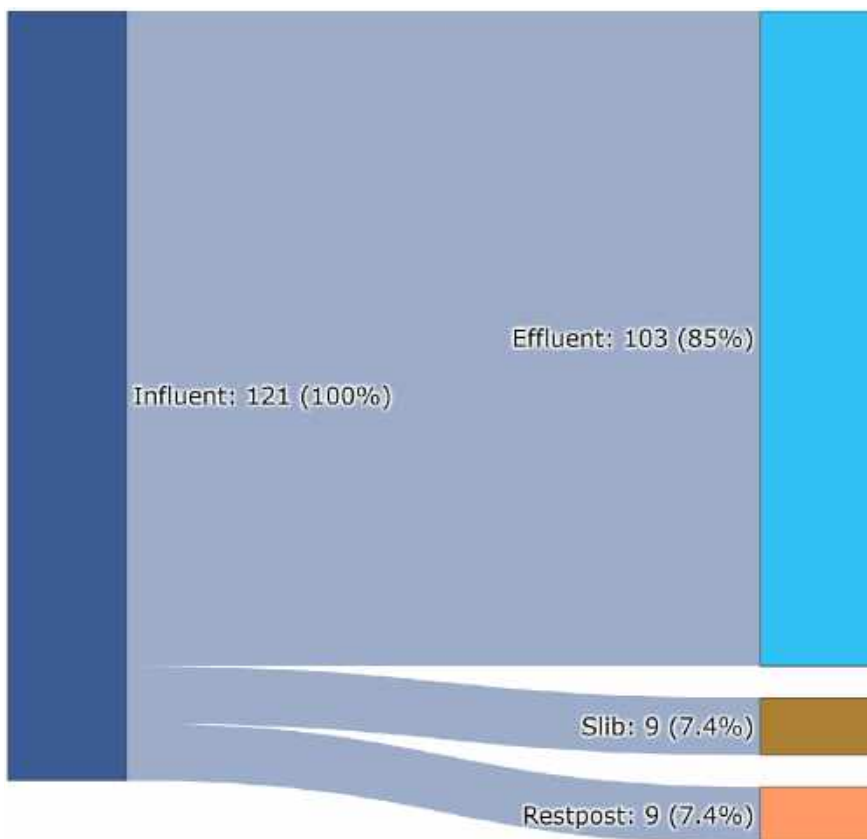
FIGUUR 10 SANKEY DIAGRAM VOOR RWZI LELYSTAD, GEBASEERD OP HET TOTAALGEHALTE VAN DE 35 GEANALYSEERDE PFAS, I.E. PFAS(35). DE GETALLEN GEVEN DE GEMIDDELTE VRACHT IN MG/D WEER



7.3 RWZI PIERSHIL

Het Sankey diagram voor rwzi Piershil wordt in figuur 11 weergegeven. Piershil is van de onderzochte rwzi's bijzonder omdat dit de enige rwzi is waarbij PFAS is verwijderd. Dit uit zich in een restpost aan de rechterzijde van het Sankey diagram.

FIGUUR 11 SANKEY DIAGRAM VOOR RWZI PIERSHIL, GEBASEERD OP HET TOTAALGEHALTE VAN DE 35 GEANALYSEERDE PFAS, I.E. PFAS(35). DE GETALLEN GEVEN DE GEMIDDELTE VRACHT IN MG/D WEER



7.4 OVERIGE RWZI'S

De Sankey diagrammen voor de overige rwzi's zijn in bijlage 10 weergegeven. Het zijn variaties op het Sankey diagram van Lelystad. Dat wil zeggen dat er een restpost aan de linkerzijde van het diagram is, die duidt op de aanwezigheid van onbekende PFAS in het influent. Dit doet vermoeden dat ook bij deze rwzi's bekende en onbekende precursors in het influent een rol spelen. De omvang van de restpost (6,5 – 63%), en daarmee de mogelijke bijdrage, verschilt per rwzi. Ook het verontreinigingspatroon verschilt per rwzi (figuur 7 en 8), dus welke precursors het betreft verschilt ook per rwzi.

8

DUIDING

8.1 REPRESENTATIVITEIT RESULTATEN

Deze meetcampagne in influent, effluent en zuiveringsslib van rwzi's geeft antwoord op de vraag welke PFAS worden aangetroffen en in welke concentraties. Gestreefd is om een representatief landelijk beeld te verkrijgen. Bij de selectie van rwzi's zijn zowel (voormalige) hotspots (Dordrecht en Aarle-Rixtel), een rwzi met een groot aandeel industrieel afvalwater (Bath), gemengde rwzi's (Lelystad en Hattem) en rwzi's met voornamelijk huishoudelijk afvalwater (Asten, Hapert en Piershil) onderzocht. Rwzi Dordrecht en rwzi Bath worden als uniek beschouwd. Rwzi Dordrecht door de hoge belasting met PFOA en HFPO-DA en bijzondere afvalwaterstromen, en rwzi Bath door het grote aandeel industrieel afvalwater dat afkomstig is van het industrieterrein Moerdijk. Uit de resultaten van de andere rwzi's is gebleken dat het aandeel industrieel afvalwater op zich niet leidend is voor de mate van belasting met PFAS. Van groter belang is welke voorliggende bronnen (bedrijven of activiteiten) hun afvalwater lozen op de betreffende rwzi. Deze voorliggende bronnen zijn niet altijd goed in beeld. Gezien het grote aantal potentiële bronnen (zie paragraaf 8.3.2) is dit ook niet eenvoudig in beeld te brengen.

Het wordt ingeschat dat de onderzochte rwzi's een redelijke afspiegeling zijn van veelvoorkomende situaties. Er blijft wel onzekerheid in hoeverre alle belangrijke bronnen van PFAS (onder andere brandblusschuim, papierrecycling en stortplaatsen; zie ook paragraaf 8.3.2) zijn afgedekt binnen dit onderzoek. Ook is niet goed in te schatten welk aandeel van de rwzi's in Nederland laag met PFAS belast is, en welk deel matig met PFAS belast. In het huidige onderzoek zijn echter wel aanzienlijk meer metingen gedaan dan bij eerdere onderzoeken. Met de gemaakte aannames en bandbreedtes kan dan ook een veel beter onderbouwde inschatting worden gemaakt van de vrachten die met effluent en zuiveringsslib de rwzi verlaten dan bij de eerdere indicatieve vrachtberekeningen (Jans & Berbee, 2020; Pancras et al., 2021) het geval is.

Duidelijk is dat maar een heel klein deel van alle PFAS wordt gemeten en gemeten kán worden (<1%). In dit onderzoek zijn 35 PFAS gemeten. Sommige andere laboratoria hebben een iets uitgebreider analysepakket (tot 45 PFAS), maar vaak ook een hogere rapportagegrens. Verschillen in analysepakketten zitten vooral in precursors en vervangers van PFOA en PFOS die wel of niet worden gemeten. Alle laboratoria meten PFCA's en PFSA's. Deze subgroepen omvatten de bekende PFAS zoals PFOS en PFOA. PFOS en PFOA zijn de PFAS die het meest frequent in het milieu worden aangetroffen (maar ook het meest worden onderzocht). Het zijn volledig gefluoreerde verbindingen, die zeer stabiel zijn. Bij afbraak van precursors van PFAS worden met name de PFCA's met korte ketens (C4-C8) gevormd als stabiele eindproducten. Vanwege hun hoge stabiliteit zijn PFCA's en PFSA's zeer relevante subgroepen om te onderzoeken. Onderzoek naar bekende én onbekende precursors verdient meer aandacht. Meetmethoden die screenen op adsorbeerbaar organisch fluor (AOF), extraheerbaar organisch fluor (EOF), totaal oxideerbare precursors (TOP) en/of een brede screening op individuele PFAS⁹ kunnen daarbij nuttig zijn (zie ook paragraaf 8.4).

⁹ Een analysemethode is in ontwikkeling.

8.2 DUIDING CONCENTRATIES

8.2.1 VERGELIJKING MET NORMEN

Ontbreken van Nederlandse normen voor afvalwater of zuiveringsslib

Vergelijking van concentraties met normen is een manier om de hoogte van de aangetroffen concentraties te duiden. Echter, er zijn in Nederland geen normen voor PFAS in afvalwater of zuiveringsslib. Er zijn wel normen voor PFAS in oppervlaktewater en (bronnen voor) drinkwater¹⁰. Deze normen zijn niet bedoeld voor afvalwater. Bij gebrek aan beter worden ze hier toch gebruikt om de gevonden concentraties te duiden en in perspectief te plaatsen.

Ook zijn er vanuit het Tijdelijk Handelingskader¹¹ normen voor PFAS in bagger en bodem. Vergelijking van concentraties in zuiveringsslib met normen voor bagger en bodem wordt echter niet zinvol geacht omdat de matrices te veel verschillen. Er wordt wel een vergelijking gemaakt met (voorgestelde) buitenlandse normen voor toepassing van zuiveringsslib op het land. Daarbij moet de kanttekening worden geplaatst dat toepassing van zuiveringsslib op het land in Nederland in de praktijk niet plaatsvindt. In Nederland wordt nagenoeg al het zuiveringsslib, al dan niet na (biologische) voordroging, verbrand.

Vergelijking van concentraties in afvalwater met normen voor oppervlaktewater en (bronnen voor) drinkwater

De normen voor PFOS, PFOA en HFPO-DA voor oppervlaktewater zijn in tabel 5 samengevat. Daarnaast is in de begin 2020 vastgestelde EU Drinkwaterrichtlijn een norm opgenomen voor de som van 20 verschillende PFAS en voor PFAS totaal (dat wil zeggen het totaal van alle per- en polyfluoralkylstoffen). Het betreft een minimumvereiste om de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water te beoordelen. Deze richtlijn dient uiterlijk op 12 januari 2023 in het nationale recht zijn omgezet. Als de technische richtsnoeren voor de monitoring van deze parameter zijn ontwikkeld kunnen de lidstaten zelf besluiten om één of beide van de parameters te gebruiken. De norm voor Totaal PFAS betreft de som van alle per- en polyfluoralkylstoffen, en is 500 ng/l. De norm voor Som van PFAS is 100 ng/l, en is de som van 20 stoffen, namelijk C4 - C13 PFCA's (waaronder PFOA) en C4 - C13 PFSA's (waaronder PFOS).

TABEL 5

NEDERLANDSE NORMEN VOOR PFOS, PFOA EN HFPO-DA IN ZOETE LANDOPPERVLAKTEWATEREN. JG-MKN = JAARGEMIDDELDE MILIEUKWALITEITSNORM, MAC-MKN = MAXIMAAL AANVAARDBARE CONCENTRATIE MILIEUKWALITEITSNORM. BRON: RVS.RIVM.NL

Norm	Toevoeging	Status	PFOS	PFOA	HFPO-DA
JG-MKN zoet	Totaal	Wettelijk	0,65 ng/l		
	Totaal	Niet wettelijk		48 ng/l	
	Opgelost	Niet wettelijk		48 ng/l	
	Opgelost	Indicatief			118 ng/l
MAC-MKN zoet	Totaal	Wettelijk	36 µg/l		
	Totaal	Niet wettelijk		2800 µg/l	
	Opgelost	Niet wettelijk		2800 µg/l	

10 Op 17 september 2020 heeft de Europese Voedselveiligheidsautoriteit (EFSA) een nieuwe wetenschappelijke opinie uitgebracht over de gezondheidsrisico's door de aanwezigheid van PFAS in voedsel. Hierin heeft EFSA een gezondheidskundige grenswaarde afgeleid voor de som van vier PFAS-stoffen (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS) door blootstelling via voedsel. Deze gezondheidskundige grenswaarde voor PFAS is lager dan de eerder afgeleide grenswaarden voor PFOS en PFOA. Het RIVM onderzoekt of de EFSA-opinie aanleiding geeft voor aanpassing van de bestaande wettelijke milieunormen. Eind van dit jaar adviseert het RIVM de ministeries hierover.

11 Tijdelijk handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie (Geactualiseerde versie 2 juli 2020). <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/07/03/bijlage-geactualiseerd-tijdelijk-handelingskader>

In bijlage 11 is een vergelijking van de aangetroffen concentraties in afvalwater met de Nederlandse normen en de Europese somnormen in oppervlaktewater en (bronnen voor) drinkwater gemaakt. Uit deze vergelijking blijkt dat bij rwzi Dordrecht, het drainagewater van de voormalige vuilstort (HVCdov) en het afvalwater van Chemours¹² de concentraties hoger zijn dan diverse normen. Dit zijn de locaties met de hoogste PFAS-concentraties, en met name de hoogste PFOA-concentraties. Bij rwzi Bath zijn de concentraties hoger dan de somnormen. De norm voor PFOS is zeer laag. De concentratie PFOS is in alle influent, effluents en bij HVCdov hoger dan deze norm voor oppervlaktewater.

Bij lozing van rwzi-effluent op oppervlaktewater vindt verdunning plaats. De mate van verdunning verschilt per rwzi, van nagenoeg geen verdunning tot sterke verdunning (aandeel effluent minder dan 1%). Het hangt dus van de lokale situatie af of een effluentlozing tot overschrijding van de PFOS-norm in oppervlaktewater zal leiden.

Vergelijking slibgehalten met buitenlandse normen voor zuiveringsslib

Door Blyt et al. (2018) is in Noorwegen een norm voorgesteld voor PFAS totaal voor toepassing van zuiveringsslib op land van 100 µg/kgds. Deze waarde wordt alleen overschreden bij rwzi Lelystad waar concentraties van 154 tot 173 µg PFAS/kgds zijn gevonden. Dit wordt vooral veroorzaakt door hoge concentraties PFOS, 10:2FTS en 8:2FTS in het zuiveringsslib.

In de Duitse mestwetgeving (Düngemittelverordnung 2012)¹³ is ook een grenswaarde opgenomen voor toepassing van zuiveringsslib op land: 100 µg/kgds voor de som van PFOA en PFOS. Deze grenswaarde wordt op géén van de rwzi's overschreden.

8.2.2 CONCENTRATIES IN PFOA-EQUIVALENTEN

Door Zeilmakers et al. (2018) en Bil et al. (2021) zijn voor verschillende PFAS Relatieve Potentie Factoren (RPF) afgeleid op basis van semi-chronische levertoxiciteit in mannelijke ratten. Met behulp van deze Relatieve Potentie Factoren kan de toxiciteit van een mengsel van PFAS worden uitgedrukt in equivalenten van de toxiciteit van PFOA. Dit is vergelijkbaar met de Toxische Equivalent (TEQ) benadering die voor dioxines wordt gebruikt.

De RPF-waarden voor stoffen die in dit onderzoek zijn aangetroffen staan in tabel 6. De volledige lijst met beschikbare RPF-waarden staat in bijlage 12. Afhankelijk van de stof is deze 1000 keer minder toxisch tot 10 keer meer toxisch dan PFOA. Voor enkele stoffen was onvoldoende experimentele toxiciteitsdata beschikbaar. Voor deze stoffen zijn de RPF-waarden afgeleid door middel van read across, d.w.z. op basis van vergelijking met stoffen waarvoor de RPF wel bekend is. Deze stoffen kennen daarom een boven- en een ondergrens.

¹² Alleen in de periode met hoge concentraties.

¹³ https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/

TABEL 6 RELATIEVE POTENTIE FACTOREN (RPF) VOOR PFAS, D.W.Z. DE POTENTIE UITGEDRUKT TEN OPZICHTE VAN PFOA. ALLEEN DE RPF VOOR DE STOFFEN DIE IN DIT ONDERZOEK ZIJN AANGETROFFEN ZIJN VERMELD. CN = AANTAL KOOLSTOFATOMEN IN DE GEFLUOREERDE KOOLSTOFKETEN. VETGEDRUKTE WAARDEN ZIJN AFGELEID OP BASIS VAN SEMI-CHRONISCHE LEVERTOXICITEIT IN MANNELIJKE RATTEN. CURSIEF GEDRUKTE WAARDEN ZIJN AFGELEID DOOR MIDDEL VAN READ ACROSS (D.W.Z. AFGELEID OP BASIS VAN VERGELIJKING MET STOFFEN WAARVOOR DE RPF WEL BEKEND IS), EN KENNEN DAAROM EEN BOVEN- EN EEN ONDERGREN

Stofnaam	Cn	Afkorting VU	CAS-nr	Relatieve Potentie Factor
Perfluoroalkyl carboxylzuren (PFCAs)				
Perfluorbutaanzuur	C4	PFBA	375-22-4	0,05
Perfluorpentaanzuur	C5	PFPeA	2706-90-3	0,05
Perfluorhexaanzuur	C6	PFHxA	307-24-4	0,01
Perfluorheptaanzuur	C7	PFHpA	375-85-9	1
Perfluoroctaanzuur, lineair	C8	l-PFOA	335-67-1	1
Perfluoroctaanzuur, vertakt	C8	br-PFOA	NVT	1
Perfluornonaanzuur	C9	PFNA	375-95-1	10
Perfluordecaanzuur	C10	PFDA	335-76-2	10
Perfluorundecaanzuur	C11	PFUnDA	2058-94-8	4
Perfluorhexadecaanzuur	C16	PFHxDA	67905-19-5	0,02
Perfluoroalkyl sulfonzuren (PFSAs)				
Perfluorbutaansulfonaat	C4	PFBS	375-73-5	0,001
Perfluorpentaansulfonaat	C5	PFPeS	2706-91-4	0,6
Perfluorhexaansulfonaat	C6	PFHxS	355-46-4	0,6
Perfluorheptaansulfonaat	C7	PFHpS	375-92-8	2
Perfluoroctaansulfonaat, lineair	C8	l-PFOS	1763-23-1	2
Perfluoroctaansulfonaat, vertakt	C8	br-PFOS	NVT	2
Perfluoroether carboxylzuren (PFECAs)				
2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionzuur		HFPO-DA		0,06
Ammonium dodecafluor-3H-4,8-dioxanonanoaat		ADONA		0,03

Met behulp van de RPF-waarden zijn de concentraties in influent en effluent uitgedrukt in concentraties in PFOA equivalenten. Uit voorzorg is voor stoffen waarvoor de RPF-waarde is afgeleid door middel van read across¹⁴, gerekend met de bovengrens (dat wil zeggen worst case). De resultaten van deze berekeningen staan in bijlage 13.

Hoge concentraties PFOA zijn sterk bepalend voor de concentratie in PFOA-equivalenten. Conform verwachting is deze dan ook zeer hoog bij HVCdoc (het drainagewater van de voormalige vuilstort), gevolgd door rwzi Dordrecht. Dit geldt in mindere mate ook voor rwzi Bath en rwzi Piershil. Bij deze locaties is de concentratie PFOA immers (relatief) hoog.

In bijlage 13 is ook de relatieve bijdrage van de verschillende individuele PFAS weergegeven. In influent en effluent van rwzi's wordt meer dan 80% van de concentratie in PFOA-equivalenten bepaald door PFOA (C8), PFOS (C8), PFNA (C9) en PFDA (C10). Voor PFNA en PFDA moet daarbij wel de kanttekening worden gemaakt dat deze stoffen in de meeste gevallen slechts in concentraties om en nabij de rapportagegrens zijn aangetroffen (dat wil zeggen tot twee keer de rapportagegrens). Maar omdat deze stoffen tot 10 keer toxischer zijn dan PFOA is de bijdrage toch relatief hoog. In het influent en effluent van rwzi Dordrecht, het effluent van rwzi Lelystad en het drainagewater van de voormalige vuilstort (HVCdov) zijn wel hogere concentraties PFNA en PFDA aangetroffen.

14 Dat wil zeggen: de RPF-waarde is afgeleid op basis van vergelijking met stoffen waarvoor de RPF wel bekend is

Het is goed te realiseren dat de concentratie in PFOA-equivalenten geen volledig beeld geeft van de relatieve toxiciteit van de verschillende watermonsters, omdat er ook PFAS zijn aangetroffen die niet worden meegenomen in de berekening. Bijvoorbeeld de precursor 6:2FTS die is aangetroffen in influent en/of effluent van rwzi Dordrecht, Aarle Rixtel, Bath, Lelystad en Hattum en het drainagewater van de vuilstort (HVCdov).

8.3 DUIDING VRACHTEN

8.3.1 DOORVERTALING NAAR LANDELIJKE VRACHT

De berekende emissiefactoren kunnen gebruikt worden om de totale jaarlijkse emissie van PFAS via de Nederlandse rwzi's te schatten. Daarbij wordt aangenomen dat de onderzochte hoog met PFAS belaste rwzi's uniek zijn voor Nederland. De emissie van deze twee rwzi's samen is 33 kg PFAS(35)/jaar. Zij behandelen samen ruim 700.000 inwonerequivalenten. Alle rwzi's in Nederland behandelen tezamen 30 miljoen inwonerequivalenten per jaar (ontwerp-capaciteit). Als ondergrens is aangenomen dat de overige rwzi's een emissie hebben die gelijk is aan laag met PFAS belaste rwzi's. De emissie van deze groep rwzi's is ongeveer 30 kg/jaar (29,3 miljoen IE150 met een emissiefactor van 1 mg PFAS(35)/IE150 per jaar. Voor de bovengrens is de aanname gemaakt dat de groep met een capaciteit van 29,3 miljoen IE150's een emissie hebben die gelijk is aan de matig PFAS belaste rwzi's. De emissie van deze groep bedraagt 29,3 miljoen IE150 x 5 mg/IE150 is 147 kg PFAS(35) per jaar. Met deze aannames bedraagt de jaarlijkse emissie van PFAS(35) via het effluent van de Nederlandse rwzi's circa 65 – 180 kg/jaar.

Voor slib blijken de emissiefactoren van de hotspot rwzi's en de matig met PFAS belaste rwzi's van dezelfde orde grootte (tabel 4). Als ondergrens is aangenomen dat alle rwzi's een emissie hebben die gelijk is aan laag met PFAS belaste rwzi's, en als bovengrens is de aanname gemaakt dat alle rwzi's een emissie hebben die gelijk is aan de hoog en matig met PFAS belaste rwzi's. Met deze aannames bedraagt de jaarlijkse emissie van PFAS(35) via het zuiveringsslib van de Nederlandse rwzi's circa 15 - 45 kg/jaar.

De slibeindverwerkers GMB, SNB en HVC schatten de totale vracht aan PFAS die zij via slib binnenkrijgen op 2,4 tot 7,4 kg/jaar (berekening in bijlage 14). Doorvertaald naar een landelijke vracht is dit 17 tot 54 kg/jaar.

Bij al deze vrachtberekeningen moet de kanttekening geplaatst worden dat ze gebaseerd zijn op de slechts groep van geanalyseerde PFAS, terwijl er vele duizenden PFAS zijn. De werkelijke vrachten PFAS liggen dus hoger.

8.3.2 BIJDRAGE VANUIT VERSCHILLENDE BRONNEN

Specifieke bronnen

In deze meetcampagne zijn als onderdeel van het onderzoek op de rwzi Dordrecht vier industriële afvalwaterstromen specifiek onderzocht: afvalwater van Chemours (CHE), afvalwater van een verbrander van huishoudelijk afval en ziekenhuisafval (HVCara), drainagewater van een vuilstort waar in het verleden ook PFAS-houdend afval is gestort (HVCdov) en afvalwater van een verbrander van zuiveringsslib (HVCsvi). Overige specifieke bronnen zijn niet onderzocht of geïnventariseerd, dit valt buiten de reikwijdte van deze meetcampagne.

Bij alle matig belaste rwzi's moet er sprake zijn van specifieke bronnen. De mate van belasting komt immers boven het achtergrondniveau uit. PFAS kennen vele toepassingen. Glüge

et al. (2020) hebben meer dan 200 toepassingen in 64 categorieën geïdentificeerd voor meer dan 1.400 individuele PFAS. PFAS worden onder andere toegepast in elektronische producten (printplaten, LCD schermen, mobiele telefoons), verven en coatings, cosmetica, persoonlijke verzorgingsmiddelen, farmaceutische middelen, printerinkt, lijmen en kittens, airconditioningssystemen, munitie, medische apparatuur en medische middelen, pesticiden, windmolens, zonnecollectoren, batterijen, boorvloeistof voor de olie- en gasindustrie en in de auto-industrie. Hoewel het aantal op dit moment bekende toepassingen zeer uitgebreid is, is het werkelijke aantal hoogstwaarschijnlijk nog veel hoger. Er zijn dan ook vele potentiële bronnen voor PFAS in het milieu. Belangrijke bronnen van PFAS zijn verder geprioriteerd door Pancras et al. (2021), Jans & Berbee (2020) en Pancras et al. (2018).

In Nederland zijn diverse bronnenonderzoeken opgestart om de emissie van PFAS via diverse routes beter in beeld te krijgen (zie figuur in bijlage 15). Het onderzoek naar PFAS in rwzi's is een van die bronnenonderzoeken. De resultaten van onderzoek naar Bronnen van PFAS voor het Nederlandse oppervlaktewater zijn gepubliceerd in Jans & Berbee (2020), die van onderzoek naar PFAS in producten en afvalstromen in Pancras et al (2021). Onderzoek naar PFAS in voedselcontactmaterialen is deels afgerond (BuRO, 2020), maar wordt nog vervolgd. Een onderzoek naar PFAS in grond en grondwater, een Brede screening naar PFAS in drinkwater(bronnen) en onderzoek naar PFAS in bouwstoffen zijn nog niet afgerond.

In tabel 7 worden de indicatieve schattingen van de emissie van PFAS in Nederland via verschillende routes en producten samengevat. Deze schattingen zijn onder andere gemaakt op basis van bovengenoemde bronnenonderzoeken. Het is goed te realiseren dat deze schattingen in de meeste gevallen op slechts een zeer beperkt aantal monsters zijn gebaseerd, en daarom als eerste indicatie moeten worden beschouwd. Daarnaast verschilt het analysepakket waarop de vrachtberekeningen zijn gebaseerd per onderzoek, en daarmee ook welke stoffen worden meegenomen in de vrachtberekeningen. Ook worden zoals eerder opgemerkt slechts een beperkt aantal PFAS gemeten. De werkelijke vrachten zullen dus hoger liggen.

Uit tabel 7 komen enkele relevante routes van emissie van PFAS naar het milieu naar voren: rwzi's, awzi's, afvalwater van bepaalde bedrijven, afvalwater van stortplaatsen waar PFAS-houdend afval is gestort en papierindustrie (vermoedelijk vooral papierrecycling). Het betreft zowel directe lozers (naar het oppervlaktewater) als indirecte lozers (via een rwzi). Voor al deze routes kan de bijdrage per locatie oplopen tot enkele kg/jaar. De bijdrage van de onderzochte hotspot rwzi's is enkele tientallen kg/jaar. De totale hoeveelheid die via effluent van rwzi's wordt geloosd wordt geschat op 65 – 180 kg/jaar, terwijl de afvoer via zuiveringsslib wordt geschat op 15 – 45 kg/jaar. Via de grote rivieren, vooral via de Rijn, komen aanzienlijke hoeveelheden PFAS Nederland binnen.

Er zijn een aantal routes waarvoor de omvang niet goed in beeld is, te weten brandblusschuim (ook na toepassing bij vliegvelden), transport van PFAS via de lucht gevolgd door depositie via neerslag en toepassing in voedselcontactmaterialen. Bij al deze routes lijken bekende en onbekende precursors een belangrijke rol te spelen (Held & Reinhard, 2020; Pancras et al., 2021; Straková et al., 2021).

Een andere route waarvan de omvang niet goed in beeld is, is de invloed van historische belasting. Afhankelijk van de lokale situatie kan stedelijk afvalwater voor een deel bestaan uit afstromend hemelwater en (bij lekke riolen) instromend grondwater. Bij een historische belasting van de omgeving kunnen PFAS ook via deze routes in het stedelijk afvalwater terecht komen. Dit speelt in ieder geval een rol bij rwzi Dordecht en rwzi Aarle-Rixtel.

Op basis van onderzoek naar producten (Pancras et al., 2021) zijn er een aantal productgroepen en industrieën geïdentificeerd met een relevante emissie naar het milieu. Het gaat om water- en vuilafstotende producten, waaronder behandeld textiel, tapijt en leer, papierrecycling, schoonmaakmiddelen, fluorelastomeer producten (fluorrubbers), bestrijdingsmiddelen, fluorpolymeer producten en vuurwerk. Daarnaast worden door Pancras et al. (2021) diverse andere producten en industrieën genoemd waarvan de emissie naar het milieu als relevant wordt ingeschat, maar waarvan de omvang niet kon worden bepaald. Het gaat onder andere om de galvanische industrie, diverse producten voor auto's, halfgeleiders, en producten die in de gezondheidszorg worden gebruikt.

Achtergrondbelasting

In het onderzoek zijn drie rwzi's meegenomen waarvan op voorhand verwacht werd dat zij vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater ontvangen, namelijk de rwzi's Asten, Hapert en Piershil. Uit de gemeten influent- en effluentconcentraties (figuur 7) blijkt echter dat bij rwzi Piershil duidelijk hogere concentraties worden gemeten dan bij de andere twee rwzi's. Daarentegen zijn de concentraties bij rwzi Hattem, dat een gemiddeld aandeel industrieel afvalwater ontvangt, een van de laagste van allemaal. Het lijkt erop dat er weliswaar sprake is van een achtergrondbelasting vanuit huishoudelijk afvalwater, maar dat er daarnaast andere bronnen zijn, die niet goed in beeld zijn.

De achtergrondbelasting die in tabel 7 wordt vermeld is geschat op basis van de drie rwzi's met de laagste emissie (rwzi Hattem, Asten en Hapert). Voor deze rwzi's loopt de emissie uiteen van 0,88 tot 1,7 mg/IE150/jaar. Uitgaande van een gezamenlijke ontwerpcapaciteit van de Nederlandse rwzi's van 30 miljoen IE150 komt dit neer op circa 25 – 50 kg PFAS(35) per jaar.

TABEL 7 INDICATIEVE SCHATTINGEN VAN DE EMISSIE VAN PFAS IN NEDERLAND VIA VERSCHILLENDE ROUTES EN PRODUCTEN. NB HET ANALYSEPAKKET WAAROP DE VRACHTBEREKENINGEN ZIJN GEBASEERD VERSCHILT PER ONDERZOEK.

Route	Vracht	Toelichting	Referentie
Rwzi's			
Rwzi-effluent	65 – 180 kg/jaar voor heel NL, waarvan: Hotspots (Dordrecht en Bath): 33 kg/jaar Achtergrondbelasting: 25 – 50 kg/jaar	Op basis van meting bij acht wzí's	Deze studie
Rwzi-effluent	Hotspots: 13 – 21 kg/jaar per rwzi: Overige rwzi's: 0,04 – 2,4 kg/jaar per rwzi	Op basis van meting bij acht rwzi's	Deze studie
Rwzi's	0,11 – 7,0 kg/jaar per rwzi	Indicatieve berekening op basis van metingen bij vier rwzi's	Jans & Berbee (2020)
Rwzi-effluent	Niet goed te berekenen	Niet goed te berekenen omdat in de emissiefactoren alleen waarnemingen boven de rapportagegrens worden meegenomen. Dit geeft een zware overschatting.	Watsondatabase (2021)
Zuiveringsslib	15 - 45 kg/jaar voor heel NL	Op basis van meting bij acht rwzi's	Deze studie
Zuiveringsslib	17 - 54 kg/jaar voor heel NL	Schatting op basis van gegevens slibeindverwerkers	Berekening in bijlage 14
Zuiveringsslib	10 – 100 kg/jaar voor heel NL	Ruwe schatting op basis van analyses bij vier rwzi's	Arcadis (2021)
Industrieel afvalwater / niet huishoudelijk afvalwater			
Awzi's	0,14 kg/jaar (per awzi, o.b.v. 2 awzi's); 5,5 kg/jaar (per awzi, o.b.v. 1 awzi)	Indicatieve berekening op basis van metingen bij drie awzi's; Hoge vracht betreft een awzi waar afvalwater van verschillende bedrijven, waaronder chemicaliënproducenten en levensmiddelenbedrijven, centraal wordt gezuiverd	Jans & Berbee (2020)
Papierindustrie	0,03 – 3,5 kg/jaar per bedrijf	Indicatieve berekening op basis van metingen bij vier bedrijven; Hoge vracht lijkt met papierrecycling samen te hangen	Jans & Berbee (2020)
Stortplaatsen	1,6 – 1,8 kg/jaar per stortplaats	Indicatieve berekening op basis van metingen bij twee stortplaatsen	Jans & Berbee (2020)
Vuilstort (met PFAS houdend afval)	1,25 kg/jaar	Op basis van metingen: Betreft het gezuiverde drainagewater van de voormalige stort Crayenstein Dordrecht.	Deze studie
Afvalwater Chemours	0,005 kg/jaar (laag); 1,7 kg/jaar (hoog) (o.b.v. gemiddelde 1,1 kg/jaar)	Op basis van metingen; Voor PFAS(35); Er is onderscheid gemaakt in de periode met lage concentraties en de periode met hoge concentraties (zie paragraaf 4.2)	Deze studie
Afvalwater Chemours	0,33 kg HPFO-DA/jaar (2019) 0,12 kg HPFO-DA/jaar (2020)	Eigen schatting Chemours	Berekening in bijlage 7
Afvalwater Chemours	Max 2 kg/jaar (indirect via afvalwater op riool)	Op basis van vergunning. Heeft betrekking op HFPO-DA.	DCMR (2021)
Kunstvezelproductie, productie wasmiddelen en oppervlakte-actieve stoffen, productie waterafstotend textiel, tankcleaning en concentraat van omgekeerde osmose	Concentraat omgekeerde osmose 1,0 kg/jaar, rest onbekend wegens ontbreken debieten	Mogelijk relevant, meer onderzoek noodzakelijk; Concentraat omgekeerde osmose: indicatieve berekening op basis van één meting	Jans & Berbee (2020)
Verwerkers van bouw-, sloop- en bedrijfsafval	Onbekend	Relevante route op basis van metingen bij twee bedrijven, berekening vracht niet mogelijk	Jans & Berbee (2020)
Slibverbrandingsinstallatie	0,02 kg/jaar	Op basis van metingen	Deze studie
Verbrandingsinstallatie huishoudelijk en ziekenhuisafval	0,004 kg/jaar	Op basis van metingen	Deze studie

Route	Vracht	Toelichting	Referentie
Afvalverbrandingsinstallatie, betonindustrie, metaalindustrie, een kabelproducent, een bandenproducent, een carwash, run-off van snelwegen, een stomerij, extractiewater van anti-aanbakpannen en regenwater	Metaal <0,001 – 0,013 kg/jaar per bedrijf; overige bedrijven <0,001 kg/jaar of niet te berekenen wegens ontbreken debieten	Lijken o.b.v. verkennend onderzoek minder relevant, andere sectoren verdienen meer prioriteit	Jans & Berbee (2020)
Overig routes			
PFAS-houdend brandblusschuim (AFFF's)	Onbekend	Bekende significante bron van PFAS in het milieu; Zeer hoge concentraties in puur product gemeten; Voor oefeningen wordt geen De brandweer gebruikt voor oefeningen geen PFAS houdend blusschuim meer en zoek naar vervanging van PFAS-houdend blusschuim bij branden; Restanten van blusschuim in het milieu zorgen ook na toepassing voor emissie van PFAS	Jans & Berbee (2020)
Vliegvelden	Onbekend	Relevante route van PFAS naar het milieu, door toepassing van PFAS-houdend brandblusschuim in het verleden	Pancras et al. (2018)
Lucht	Onbekend	Relevante route getuige wereldwijde verspreiding van PFAS, verhoogde achtergrondconcentraties en verhoogde concentraties rondom productielocaties; Veronderstelde route is via transport van vluchtige fluorotelomer alcoholen, die in de lucht worden omgezet naar stabiele PFCA's	Held & Reinhard (2020); Pancras et al. (2021)
Regenwater	Onbekend	Relevante route voor pluimen van puntbronnen, daarbuiten waarschijnlijk minder relevant; In Duitsland is de depositie via neerslag voor PFAS totaal (n=34) geschat op 2 - 91 ng per m2 per dag	De Kort et al. (2019); Wintersen et al. (2020); Jans & Berbee (2020); LUBW (2016)
Uit buitenland via grote rivieren	1591 kg/jaar (Rijn); 177 kg/jaar (Maas); 614 kg/jaar (Schelde)	Gebaseerd op metingen in 2019 bij Lobith (Rijn), Eijsden (Maas) en Schaar van Ouden Doel (Schelde)	Jonker (2021)
Producten			
Water en vuil afstotende producten, o.a. behandeld textiel, tapijt en leer	>100 kg/jaar	Zeer relevant voor emissie van PFAS naar het milieu	Pancras et al. (2021)
Papier recycling	>100 kg/jaar	Zeer relevant voor emissie van PFAS naar het milieu	Pancras et al. (2021)
Schoonmaakmiddelen	10- 100 kg/jaar	Gematigde relevantie voor emissie van PFAS naar het milieu	Pancras et al. (2021)
Fluorelastomeer producten (fluorrubbers)	10- 100 kg/jaar	Gematigde relevantie voor emissie van PFAS naar het milieu	Pancras et al. (2021)
Bestrijdingsmiddelen	10- 100 kg/jaar	Gematigde relevantie voor emissie van PFAS naar het milieu	Pancras et al. (2021)
Fluorpolymeer producten	<10 kg/jaar	Lage relevantie voor emissie van PFAS naar het milieu	Pancras et al. (2021)
Vuurwerk	<10 kg/jaar	Lage relevantie voor emissie van PFAS naar het milieu	Pancras et al. (2021)
Voedselcontactmateriaal	Onbekend	Screeningsonderzoek geeft aan dat slecht enkele PFAS in significante gehalten worden aangetroffen in papier en karton voor voedselcontact; Verder onderzoek loopt nog; In een Europese studie werden meerdere PFAS, voornamelijk precursors, aangetroffen in fastfoodverpakkingsmaterialen	BuRO (2020); Straková et al. (2021)

8.4 ROL PRECURSORS

8.4.1 GEBRUIK VAN PRECURSORS

Er is veel onduidelijkheid over welke precursors voor welke toepassing worden gebruikt. Ook de hoeveelheden die worden gebruikt zijn niet bekend. Er zijn echter aanwijzingen dat zowel het aantal stoffen als de omvang van het gebruik potentieel groot is. De OECD heeft 4730 PFAS gerelateerde CAS-nummers geïdentificeerd. Daarvan kunnen 4186 (88%) afbreken tot perfluoralkylzuren (PFAA's, zoals PFCA's en PFSA's), dus stabiele stoffen (OECD, 2018). Liu et al. (2013) constateren dat precursors significante bronnen zijn van PFAS naar het milieu: de wereldwijde productie van polyfluorchemicaliën (waarvan de meeste precursors zijn) is vele malen groter dan die van PFOS en PFOA gezamenlijk. Van Gijn et al. (2021) concluderen dat de literatuur en verschillende meetcampagnes duidelijk laten zien dat precursors zeer relevant zijn voor totale vrachten van PFAS in rwzi's. In extreme gevallen kunnen omzettingen van precursors tot stabiele eindproducten resulteren in concentratie toenames van tientallen malen (dergelijke extreme gevallen zijn in de huidige meetcampagne niet gevonden). De precursors die nu gemeten kunnen worden zijn vaak niet toereikend om totale geobserveerde toenames van PFAS te kunnen verklaren. Dit betekent dat er vermoedelijk nog onbekende PFAS-precursors in relevante concentraties aanwezig zijn in influent.

Uit onderzoek naar PFAS in producten en afvalstromen (Pancras et al., 2021) blijkt dat de omvang van precursors in producten en afvalstromen in een aantal gevallen aanzienlijk is. In het onderzoek is een drietrapsmeetstrategie toegepast: 1) screening van de monsters op Extraheerbaar Organisch Fluor (EOF-analyse), 2) doelstofanalyse voor individuele PFAS en 3) Total Oxidizable Precursors (TOP) analyse op een selectie van monsters om inzicht te krijgen in de aanwezigheid van precursors. Voor 90% van de producten kon minder dan 10% van de met EOF gemeten hoeveelheid PFAS verklaard worden door de PFAS-doelstoffenanalyse. Dit duidt op de aanwezigheid van andere, onbekende fluorhoudende organische stoffen, mogelijk PFAS-precursors. Voor enkele monsters is dit bevestigd door TOP-analyses. Producten voor het water- en vetafstotend maken van textiel, tapijt, leer, tegels, glas en bescherming van voegen bevatten vaak hoge hoeveelheden precursors. In papier van vuurwerk en in pulp van gerecycled papier werden hoge concentraties PFAS aangetroffen, vooral PFPrA (C3 PFCA). Dit kan een afbraakproduct zijn van PFAS-precursors met korte koolstofketens.

8.4.2 ROL PRECURSORS IN RWZI'S

Van Gijn et al (2021) hebben de rol van precursors in rwzi's bestudeerd. Omzettingen van PFAS-precursors blijken erg complex, er worden veelal andere precursors als tussenproducten gevormd. Uiteindelijk worden stabiele PFAS gevormd, meer specifiek PFOA, andere PFCA's met een ketenlengte van C4-C7 en PFOS. De condities die deze omzettingen beïnvloeden zijn vaak nog niet duidelijk. Er zijn indicaties uit de literatuur dat hogere temperaturen kunnen leiden tot hogere omzettingssnelheden.

Op basis van de literatuur is de verwachting dat bekende en onbekende precursors in het influent in de rwzi worden omgezet naar andere precursors en/of stabiele PFAS. Om deze verwachting te toetsen is in tabel de toe- of afname van precursors en stabiele PFAS uitgelicht.

TABEL 8 TOE- OF AFNAME VAN PRECURSORS EN STABIELE PFAS WAARBIJ DE GEMIDDELDE VRACHTEN IN HET INFLUENT (INGAAND) ZIJN VERGELEKEN MET DIE VAN EFFLUENT EN SLIB (UITGAAND). UITGEDRUKT IN MG/DAG.

Rwzi		Precursors (12)		Stabiele PFAS (PFCA's en PFSA's)	
		toename	afname	toename	afname
Dordrecht	mg/d	734	-	3.225	-
Bath	mg/d	8.011	-	-	4.267
Aarle Rixtel	mg/d	1.522	-	2.500	-
Lelystad	mg/d	819	-	1.405	-
Piershil	mg/d	3	-	-	11
Asten	mg/d	15	-	180	-
Hapert	mg/d	40	-	119	-
Hattem	mg/d	40	-	38	-

Uit tabel 8 blijkt dat bij alle rwzi's de precursors, en voor de meeste rwzi's ook de stabiele PFAS (PFCA's en PFSA's) toenemen. Bij rwzi Bath wordt wel een toename van de precursors gezien, maar nemen de stabiele PFAS af. Een goede verklaring hiervoor is niet gevonden. Bij Piershil blijven de concentraties precursors gelijk, en nemen de stabiele PFAS af. Uit deze tabel kan geconcludeerd worden dat precursors een rol lijken te spelen bij de toename van stabiele PFAS in effluent, maar dat dit verband niet bij alle rwzi's wordt gevonden. Verder onderzoek naar precursors is wenselijk.

Lang niet alle precursors (kunnen) worden gemeten. Er bestaat echter wel een analytische screeningsmethode voor de totale hoeveelheid aanwezige precursors, de TOP-methode (*Total Oxidizable Precursor assay*). De TOP-methode is een analyse waarbij eerst het standaardpakket PFAS wordt geanalyseerd. Vervolgens wordt het monster geoxideerd met hydroxylradicalen en opnieuw geanalyseerd op het standaardpakket PFAS. De oxidatiestap zet de precursors in het monster om in stabiele PFAS-verbindingen (voornamelijk perfluorcarboxylzuren). Met dit proces wordt een totale hoeveelheid PFAS bepaald, dus de perfluorverbindingen die er van oorsprong in zitten, én de precursors die o.a. door biologische afbraak omgezet kunnen worden in stabiele PFAS zoals PFOS en PFOA. Een dergelijke analysetechniek zou meer licht kunnen werpen in de aanwezigheid van tot op heden onbekende precursors.

8.5 VERGELIJKING MET ANDERE ONDERZOEKEN

Er is géén uitgebreide vergelijking met andere onderzoeken in binnen- en buitenland gemaakt. Vergelijking met andere onderzoeken is lastig omdat:

- Het analysepakket verschilt per onderzoek. Daarmee verschillen ook de totaalconcentraties en welke stoffen worden aangetroffen.
- De rapportagegrenzen verschillen per onderzoek. Daarmee verschillen ook de stoffen die worden aangetroffen.
- Hoge concentraties die in het verleden zijn gemeten, zijn door genomen maatregelen niet altijd meer realistisch. Dit geldt zeker voor puntbronnen.
- Stoffen die als vervangers van gereguleerde PFAS worden toegepast, worden vaak niet meegenomen in de analysepakketten.
- Er blijken veel meer bronnen en routes van PFAS dan aanvankelijk gedacht. Het is lang niet altijd duidelijk in hoeverre onderzoeklocaties zijn beïnvloed door specifieke puntbronnen.
- Diverse onderzoeken wijzen op een belangrijke rol van precursors (o.a. Van Gijn et al., 2021; Pancras et al., 2021). Precursors worden nog niet zo lang meegenomen in analysepakketten. Indien ze wel worden meegenomen wordt slechts een beperkt aantal precursors geanalyseerd.

Toch kan geconcludeerd worden dat de resultaten uit het huidige onderzoek de resultaten uit andere onderzoeken bevestigen. Uit een globale vergelijking blijkt dat:

- De gehalten in effluent liggen in dezelfde range als die gemeten door Jans & Berbee (2020) en metingen uit verschillende projecten samengebracht in de Watson-database¹⁵ (uitzonderlijke situaties uitgezonderd, zie laatste punt).
- De gehalten in zuiveringsslib zijn vergelijkbaar met gehalten die door HVC zijn gemeten (zie bijlage 16). Ze liggen ook in dezelfde range als gehalten die door andere slibeindverwerkers zijn gemeten en door Pancras et al. (2021).
- De berekende vrachten in effluent, zuiveringsslib en bijzondere afvalwaterstromen liggen in dezelfde range als bij andere onderzoeken (tabel 7).
- Gerapporteerde zuiveringsrendementen uit de Watson-database¹⁵ variëren voor verschillende PFAS van 100% verwijdering tot zeer hoge (meer dan 1000%) negatieve zuiveringsrendementen. Het betreft rendementen berekend op basis van simultaan genomen 24-uurs monsters. De gegevens uit de Watson-database bevestigen daarmee de bevindingen uit de meetcampagne dat de zuiveringsrendementen zeer variabel zijn en vaak negatief.
- De gehalten GenX lager liggen dan bij eerdere metingen bij rwzi Dordrecht en Chemours (De Kort et al., 2019). Dit duidt erop dat de emissies zijn afgenomen.

15 De Watson-database is een database met meetgegevens van microverontreinigingen in influent en effluent van rwzi's. De database wordt onder andere gebruikt voor de Emissieregistratie. <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/default.nl.aspx?submodule=watson>

9

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

9.1 CONCLUSIES

Hoog, matig en laag met PFAS belaste rwzi's onderzocht

In een breed opgezette meetcampagne zijn PFAS gemeten in influent, effluent en zuiveringsslib. In totaal zijn acht rwzi's onderzocht, bestaande uit een mix van rwzi's met een bekende grote emissie van PFAS (hotspots), een voormalige hotspot (waar de PFAS-emissie aan de bron reeds terug is gebracht) en rwzi's met een verschillend aandeel industrieel afvalwater. Daarnaast zijn een aantal bijzondere afvalwaterstromen onderzocht, die allen worden geloosd op rwzi Dordrecht.

Bij de verwerking van de resultaten is gebleken dat de mate van belasting met PFAS niet altijd was zoals op voorhand verwacht en dat het aandeel industrieel afvalwater geen goede voorspeller is voor de gevonden concentraties. De rwzi's zijn daarom op basis van de PFAS-concentraties in het effluent ingedeeld in hoog, matig en laag met PFAS belaste rwzi's.

Door simultaan te bemonsteren in influent-, effluent- en slibstromen over een aaneengesloten periode van negen dagen is een beeld verkregen van de binnenkomende vrachten met het influent en de geloosde vrachten met het effluent alsmede het aandeel PFAS dat in slib wordt vastgelegd.

De inschatting is dat de resultaten een redelijke afspiegeling zijn van veelvoorkomende situaties op andere rwzi's in Nederland. Het aantal metingen in dit onderzoek is aanzienlijk groter dan bij eerdere onderzoeken, waardoor een veel beter onderbouwd beeld is gevormd van de concentraties en hoeveelheden die met effluent en zuiveringsslib de rwzi verlaten. Er blijft wel onzekerheid in hoeverre alle belangrijke bronnen van PFAS zijn afgedekt binnen dit onderzoek. Ook is niet goed in te schatten welk aandeel van de Nederlandse rwzi's laag met PFAS belast is, en wel deel matig met PFAS belast. De hotspotlocaties worden als uniek beschouwd.

Concentraties

PFAS zijn in alle onderzochte monsters aangetroffen, in concentraties van 8,6 tot 1.360 ng PFAS(35)/l in influent, 13,6 – 809 ng PFAS(35)/l in effluent en 20 – 179 µg PFAS(35)/kgds in zuiveringsslib (vergist en onvergist). In het zuiveringsslib van rwzi Lelystad zijn opvallend hoge concentraties van met name PFOS en fluortelomeersulfonzuren aangetroffen (totaal PFAS 154 – 179 µg PFAS(35)/kgds), bij de overige rwzi's 26 – 91 µg PFAS(35)/kgds. Bij rwzi Aarle Rixtel wordt zeefgoed afgevangen uit het influent. Dit zeefgoed, dat voornamelijk uit cellulose bestaat, bevatte 3,1 – 11 µg PFAS(35)/kgds totaal PFAS. Dit zijn lage waarden vergeleken met zuiveringsslib.

In het water zijn vooral PFAS met korte gefluoreerde ketens (C4 tot C8) aangetroffen, in slib vooral PFAS met langere gefluoreerde ketens en precursors¹⁶. Het verontreinigingspatroon (dat wil zeggen de verdeling over de verschillende PFAS) verschilt per rwzi. Er is géén sprake van een duidelijk weekpatroon in de aanvoer. De spreiding tussen de verschillende meetdagen is in de meeste gevallen beperkt, maar wel zijn er soms pieken van bepaalde PFAS aangetroffen. Of er een relatie is met regenweer is niet in detail bekeken.

In de bijzondere afvalwaterstromen werden hoge concentraties gemeten in het afvalwater van een vuilstort waar PFAS-houdend afval is gestort (6.000 tot 9.000 ng PFAS(35)/l; voornamelijk PFOA en HFPO-DA). Dit afvalwater bestaat uit drainagewater van de vuilstort en afstromend hemelwater van het terrein van HVC. Ook in het afvalwater van Chemours werden hoge concentraties gemeten (voornamelijk HFPO-DA). Bij Chemours kon onderscheid gemaakt worden in een periode met lage gehalten (rond de 10 ng/l) en hoge gehalten (rond de 5000 ng/l). Deze verschillen kunnen samenhangen met de batchgewijze productie, waardoor de kwaliteit van het afvalwater sterk kan fluctueren. Volgens eigen metingen van Chemours bedroeg de concentratie HFPO-DA in het effluent van de awzi in 2020 gemiddeld 378 ng/l (zie bijlage 7). De concentratie PFAS(35) in het afvalwater van de verbranding van huisvuil lag in dezelfde orde grootte als die van laag belaste rwzi's, die van het afvalwater van de verbranding van zuiveringsslib in dezelfde orde grootte als van matig belaste rwzi's. In het afvalwater van de slibverbranding zijn voornamelijk PFAS uit de groep van perfluoralkaansulfonamides (een groep van precursors) aangetroffen. De concentraties in het slib dat bij HVC wordt verwerkt lagen in dezelfde orde grootte als voor laag belaste rwzi's.

Zuiveringsrendement

PFAS worden niet of nauwelijks verwijderd met een regulier zuivering op de rwzi. In de meeste gevallen is er sprake van een toename precursors en/of stabiele PFAS, met name PFOS (C8), PFOA (C8) en perfluoralkylcarbonzuren¹⁷ met kortere ketenlengtes (C4-C7).

De rol van PFAS-precursors

De gevonden toename van precursors en/of stabiele PFAS in het effluent kan waarschijnlijk verklaard worden door afbraak van precursors. Slechts een beperkt deel van de precursors is (en kan) worden gemeten. Uit vergelijking van de ingaande en uitgaande vrachten PFAS blijkt dat er bij de meeste rwzi's hogere concentraties PFAS de rwzi verlaten dan dat er binnenkomen. Dit geldt zowel voor de hoog, matig als laag met PFAS belaste rwzi's.

Maar enkele toepassingen van precursoren zijn bekend, andere potentiële bronnen zijn op dit moment nog niet goed in beeld. Dit onderzoek laat zien dat er waarschijnlijk meer mogelijke bronnen aanwezig zijn.

Vrachten en emissiefactoren

De vrachten van de onderzochte rwzi's vertonen grote variatie (40 – 20.035 g/jaar via influent, 38 – 20.840 g/jaar via effluent en 3,3 – 585 g/jaar via zuiveringsslib. Deze variatie hangt voor een belangrijk deel samen met verschillen in grootte van de rwzi's. Echter, de mate van belasting met PFAS verschilt ook per rwzi, hetgeen blijkt uit de emissiefactoren (dat wil zeggen vrachten in het effluent per inwonerequivalent (IE150) per tijdseenheid). De emissie van PFAS via het effluent naar het oppervlaktewater bedraagt ongeveer 50 mg/IE150/jaar voor de hoog belaste rwzi's, 5 mg/IE150/jaar voor de matig belaste rwzi's en 1 mg/IE150/jaar voor de laag belaste rwzi's. Met het slib wordt ongeveer 1,2 mg/IE150/jaar afgevoerd. De emissie via

¹⁶ Precursors zijn PFAS-verbindingen, vaak met een niet volledig gefluoreerde koolstofketen, die kunnen afbreken tot stabiele PFAS (met een volledig gefluoreerde koolstofketen).

¹⁷ Deze behoren tot dezelfde groep als PFOA.

effluent wordt voor alle Nederlandse rwzi's tezamen globaal geschat op 65 – 180 kg/jaar, de emissie via zuiveringsslib op 15 – 45 kg/jaar.

Bijdrage uit verschillende bronnen

De meetcampagne laat zien dat er sprake is van een achtergrondbelasting met PFAS op alle rwzi's, met daarbovenop een belasting vanuit verschillende bronnen. Het verontreinigingspatroon (dat wil zeggen de verdeling over de verschillende PFAS) verschilt per rwzi, wat verschillende voorliggende bronnen doet vermoeden, die lang niet allemaal goed in beeld zijn. Er lijken meer bronnen dan op voorhand in beeld waren. Ook de mate van belasting kon op voorhand niet altijd goed ingeschat worden: waar op basis van op de in het inzamelgebied aangesloten bedrijven een industriële belasting werd vermoed bleek die minimaal, en waar alleen aanvoer vanuit huishoudens werd verwacht bleek er toch meer PFAS-belasting dan verwacht.

Hoewel in de bijzondere afvalwaterstromen die op rwzi Dordrecht worden verwerkt, hoge concentraties PFAS zijn gemeten, levert het stedelijk afvalwater vanuit Dordrecht en omgeving veruit de grootste bijdrage aan de totale vracht PFAS die op de rwzi binnenkomt.

Vergelijking met normen

Vanuit de wens om de hoogte van de concentraties te duiden zijn deze vergeleken met Nederlandse normen die gelden voor oppervlaktewater en Europese normen die gelden voor (bronnen van) drinkwater. Uit deze vergelijking blijkt dat bij rwzi Dordrecht, het drainage-water van de vuilstort en het afvalwater van Chemours de concentraties hoger zijn dan de genoemde normen. Dit zijn de locaties met de hoogste PFAS-concentraties, en met name de hoogste PFOA-concentraties. Bij rwzi Bath zijn de concentraties hoger dan somnormen voor PFAS (dat wil zeggen PFAS(20) of PFAS totaal). De norm voor PFOS is zeer laag. De concentratie PFOS is in alle influenten, effluenten en bij HVCdov hoger dan de norm voor oppervlaktewater. Het hangt van de lokale situatie af of een effluentlozing tot overschrijding van de PFAS-normen in het ontvangende oppervlaktewater zal leiden.

De concentraties in zuiveringsslib blijven, met uitzondering van het slib van rwzi Lelystad) onder normen die in het buitenland worden gebruikt voor toepassing van zuiveringsslib op het land. Dergelijke toepassing vindt in Nederland in de praktijk niet plaats.

Vergelijking met andere onderzoeken

Er is geen uitgebreide vergelijking met andere onderzoeken in binnen- of buitenland gemaakt. De huidige meetcampagne bevestigt echter de bevindingen van andere onderzoeken.

9.2 AANBEVELINGEN

Aansluiten bij Europese en landelijke initiatieven

Een aantal stabiele PFAS, waaronder PFOS en PFOA, zijn aangemerkt als prioritair gevaarlijke stoffen en/of Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS). Dit betekent dat de emissie naar nul moet worden gereduceerd. Aanpak aan de bron heeft de voorkeur, want eenmaal in het milieu zijn PFAS niet of nauwelijks te verwijderen. Nederland werkt samen met een aantal andere landen aan een Europese restrictie voor alle PFAS. Daarnaast maakt Nederland afspraken met de buurlanden over de aanpak van PFAS binnen de Internationale Riviercommissies.

Op nationaal niveau werken in het PFAS-actieprogramma de waterschappen, andere overheden en bedrijfsleven samen aan handelingsperspectieven ter vermindering van de overdracht van PFAS naar het milieu en blootstelling voor mensen. Daarbij is er aandacht voor verschillende schakels in de keten, van de productie van PFAS, het gebruik in bedrijfspro-

cessen, en de verschillende emissieroutes. Ook de lopende landelijke actie om vergunningen van bedrijven met ZZS te updaten biedt mogelijkheden om eventuele PFAS-emissie in kaart te brengen en te reguleren. Dit onderzoek levert hiervoor waardevolle informatie.

Bronnen in beeld brengen

Dit onderzoek geeft aanknopingspunten voor een regionale zoektocht naar de bronnen van PFAS in afvalwater. Waterschappen kunnen samen met provincie, gemeenten en omgevingsdiensten de potentiële bronnen van PFAS in beeld brengen. De in dit rapport samengebrachte indicatieve schattingen van de emissie van PFAS in Nederland via verschillende routes en producten bieden aanknopingspunten voor deze zoektocht. Daarnaast kan door middel van metingen bij rwzi's en eventueel hogerop in de waterketen worden vastgesteld waar er sprake is van een verhoogde belasting met PFAS en mogelijke nog onbekende bronnen. Als de bron geïdentificeerd kan worden, vormt dit een startpunt voor een gesprek over aanpak aan de bron.

Onderzoek naar de aard, omvang en bronnen van precursors

Er zijn maatregelen genomen om de emissie van enkele stabiele PFAS (zoals PFOS en PFOA) te verminderen. Na een aanvankelijke daling lijken de concentraties in het milieu te stabiliseren (Jonker, 2021). Uit diverse onderzoeken komt naar voren dat PFAS-precursors kunnen worden omgezet tot stabiele PFAS. Zonder emissiereductie van PFAS-precursors is verdere emissiereductie van stabiele PFAS in het milieu lastig. Nader onderzoek om meer inzicht te krijgen in de aard, omvang en bronnen van PFAS-precursors is dan ook wenselijk. Verder onderzoek naar precursors zal worden voorgelegd aan de landelijke Werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen (WGAOS).

In toekomstige meetcampagnes wordt daarnaast aanbevolen de TOP-analyse in te zetten om meer zicht te krijgen op de precursors. Deze analyse geeft een maat voor de totale hoeveelheid precursors, zonder dat precies bekend is welke dit zijn.

Aandacht voor PFAS met kortere ketens wenselijk

PFAS met kortere ketens (C2-C7) worden in toenemende mate gebruikt als alternatieven voor PFAS met langere ketens (zoals PFOS en PFOA). In de meeste onderzoeken worden PFAS met C2 en C3 ketens niet gemeten. Deze PFAS met korte ketens zijn goed wateroplosbaar en worden naar verwachting niet verwijderd in rwzi's. Uit Pancras et al. (2021) is gebleken dat bij papierrecycling hoge concentraties PFPrA (C3 PFCA) worden aangetroffen. Aanbevolen wordt om in toekomstige onderzoeken deze korte ketens ook mee te nemen. Mogelijk moeten hier nieuwe analysemogelijkheden voor worden ontwikkeld.

Verwijderingsrendement bij vergaande zuiveringstechnieken

Met de huidige stand van kennis is niet duidelijk of verwijdering van PFAS op rwzi's met vergaande zuiveringstechnieken (zoals binding aan actief kool) technisch mogelijk en kosten-effectief is. Verder onderzoek hiernaar is wenselijk.

10

LITERATUUR

Baresel, C., A. Palm Cousins, M. Hörsing, M. Ek, H. Ejhed, A.-S. Allard, J. Magnér, K. Westling, C. Wahlberg, U. Fortkamp & S. Söhr (2015). Pharmaceutical residues and other emerging substances in the effluent of sewage treatment plants. Review on concentrations, quantification, behaviour, and removal options. Swedisch Environmental Research Institute (IVL). IVL-rapport B 2226.

BuRO (2020). Screening PFAS in voedselcontactmaterialen van papier en karton. SIGNAAL Handhaven NVWA 20-10. Bureau Risicobeoordeling & onderzoek (BuRO).

De Kort, M.J., C. J. de Jong, J. E. E. Ng-A-Tham, J. K. Verhoeven, P. E. Boon en A. J. Verschoor (2019). Verspreiding van GenX-stoffen in het milieu. Metingen in Nederland - 2013 – 2018. RIVM Rapport 2019-0083. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven.

DCMR (2021). Beschikking project Aquarius. BESLUIT van Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland. D.d. 2 juni 2021.

Eggen, T., E.S. Heimstad, V. Nikiforov & C. Vogelsang (2019). Maximum limit values for selected hazardous organic contaminants (HOCs) in secondary raw materials used in fertilisers and soil products. Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO). NIBIO report number 5/110/2019. Commissioned by the Norwegian Environmental Agency.

Glüge, J., M. Scheringer, I.T. Cousins, J.C. DeWitt, G. Goldenman & D. Herzke (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science: Processes & Impacts* 12: 2345-2373.

Held, T. & M. Reinhard (2020). Remediation management for local and wide-spread PFAS contaminations. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau. UBA-Texte 205/2020.

ITRC (2020). History and use of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). https://pfas-1.itrcweb.org/fact_sheets_page/PFAS_Fact_Sheet_History_and_Use_April2020.pdf.

Jans, A. & R. Berbee, R. (2020). Bronnen van PFAS voor het Nederlandse oppervlaktewater. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van IenW DGWB voor de Werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen. Rijkswaterstaat-WVL.

Jonker, M.T.O. (2021). Poly- en perfluoroalkylstoffen (PFAS) in de Rijkswateren. Concentraties in water en biota tussen 2008 en 2020. Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht (IRAS-UU). In opdracht van RWS-WVL.

LANUV (2011). Verbreitung von PFT in der Umwelt. Ursachen – Untersuchungsstrategie – Ergebnisse – Maßnahmen. LANUV-Fachbericht 34 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV), Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen.

LUBW (2016). PFC – Hintergrundgehalte in Böden. Untersuchungen an Standorten des Bodendauerbeobachtungs-Programms Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe. <https://pudi.lubw.de/>.

Nieuwenhuis, E. & W. van den Berg (2021). Bepaling verwijderingsrendement medicijnresten rwzi-afvalwater, koepelvoorschrift en onderbouwende eindrapportage. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), Amersfoort. STOWA rapportnummer 2021-15.

Pancras, T., E. van Bentum & H. Slenders (2018). Poly- en PerFluor Alkyl Stoffen (PFAS). Kennisdocument over stoffeigenschappen, gebruik, toxicologie, onderzoek en sanering van PFAS in grond en grondwater. Expertisecentrum PFAS. https://www.expertisecentrumpfas.nl/images/Handelingskader/DDT219-1-18-009.764-rapd-Kennisdocument_PFAS_-_definitief_02.pdf.

Pancras, T, H. Slenders & L. Vredenburg (2021). PFAS in products and waste streams in The Netherlands. Arcadis, 's-Hertogenbosch.

Schuman, E. M. Mulder & J. Koop (2021). Grip op verwijdering van microverontreinigingen door rwzi's: Verwerking en interpretatie meetgegevens fase 1. Conceptrapport dd 19-05-2021. In opdracht van Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).

STOWA (2020). GRIP op verwijdering van microverontreinigingen door rwzi's. Onderzoek naar bruikbare gegevens voor verwijderingsrendement medicijnresten op RWZI. Notitie.

Straková, J., Schneider, J., Cingotti, N. et al. (2021). Throwaway Packaging, Forever Chemicals: European wide survey of PFAS in disposable food packaging and tableware. https://www.tegengif.nl/wp-content/uploads/2021/05/pfas_fcm_study_web.pdf.

Van Gijn, K., B. Ooms, A. van der Enden, R. de Boer, L. Alberts, M. van Eeuwijk (2021). Literatuuronderzoek naar bronnen en gedrag van PFAS in afvalwater. In opdracht van Stichting Toegepast Onderzoek Watersbeheer (STOWA). STOWA-rapportnummer 2021-47.

Wintersen A., J. Spijker, P. van Breemen & H. van Wijnen (2020). Achtergrondwaarden perfluoroalkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem. RIVM-briefrapport 2020-0100. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven.

Xiao, F. (2017). Emerging poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: A review of current literature. *Water Research*, 124, 482–495.

Zeilmaker, M.J., P. Janssen, A. Versteegh, A. Van Pul, W. De Vries, B. Bokkers, S. Wuijts, A. Oomen & J. Herremans (2016). Risicoschatting emissie PFOA voor omwonenden. Locatie: DuPont/Chemours, Dordrecht, Nederland. RIVM Briefrapport 2016-0049. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven.

11

GEBRUIKTE AFKORTINGEN EN TERMEN

4:2 FTS	2-(perfluorbutyl)ethaan-1-sulfonzuur (4:2 fluortelomeersulfonzuur)
6:2 FTS	2-(perfluorhexyl)ethaan-1-sulfonzuur (6:2 fluortelomeersulfonzuur)
8:2 diPAP	8:2 polyfluoroalkyl phosphate diester
8:2 FTS	2-(perfluorooctyl)ethaan-1-sulfonzuur (8:2 fluortelomeersulfonzuur)
9Cl-PF3ONS	2-[(6-chloor-1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6-dodecafluorhexyl)oxyl]-1,1,2,2-tetrafluorethaansulfonzuur (hoofdcomponent in F53B)
10:2 FTS	2-(perfluordecyl)ethaan-1-sulfonzuur (10:2 fluortelomeersulfonzuur)
11Cl_PF3OUdS	11-chlooreicosafloor-3-oxa-undecaan-1-sulfonzuur (nevencomponent in F35B)
ADONA	Ammonium 4,8-dioxa-3H-perfluornonaanzuur
AFFF	Aqueous Film Forming Foam; een type brandblusschuim dat gebruikt wordt voor
	vloeistofbranden
awzi	afvalwaterzuiveringsinstallatie
Br_PFHxS	Perfluorhexaansulfonzuur (vertakt)
Br_PFOS	Perfluoroctaansulfonzuur (vertakt)
Cx	Aanduiding voor het aantal koolstofatomen in de gefluoreerde keten
DONA	4,8-dioxa-3H-perfluornonaanzuur
EOF	Analyse op Extraheerbaar Organisch Fluor
EtFOSA	N-ethyl perfluoroctaansulfonamide
EtFOSAA	N-ethyl-perfluoroctaan sulfonamidoazijnzuur
FEP	Fluorinated ethylene propylene; gefluoreerd ethyleen propyleen
Fingerprint	De verdeling over de verschillende individuele PFAS en de onderlinge verhouding daarin
FRD-902	Ammonium 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluoropropoxy)propanoaat
FRD-903	2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluoropropoxy)propaanzuur
GenX	Technologie die wordt gebruikt om coatings (bijvoorbeeld teflon) te maken; daarbij worden twee fluorhoudende stoffen gebruikt die erg op elkaar lijken: FRD-902 ammonium 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluoropropoxy)propanoaat (een ammonium zout) en FRD-903 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluoropropoxy)propaanzuur (een zuur)
HFPO-DA	2,3,3,3-tetra-fluor-2-(heptafluoropropoxy)propaanzuur (FRD-903)
IE	Inwonerequivalent (IE). Inwonerequivalenten worden gebruikt om de capaciteit en de belasting van een rwzi uit te drukken. Er zijn verschillende soorten IE. De belasting (of vuillast) kan afkomstig zijn uit huishoudelijk afvalwater, industrieel afvalwater, afstromend hemelwater en/of rioolvreemd water.
IE150	Inwonerequivalent gebaseerd op een zuurstofbindend vermogen van 150 gram zuurstof per dag.
L_PFBs	perfluorbutaansulfonzuur (lineair)
L_PFDS	perfluordecaansulfonzuur (lineair)
L_PFHps	perfluorheptaansulfonzuur (lineair)

L_PFHxS	perfluorhexaansulfonzuur (lineair)
L_PFOS	perfluoroctaansulfonzuur (lineair)
L_PFPeS	perfluorpentaansulfonzuur (lineair)
MinIenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
ng/L	Nanogram per liter
N-MeFOSAA	N-methylperfluoroctaansulfonamidoazijnzuur
NVWA	Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit
PFAS	Per- en polyfluoralkylstoffen
PFAS(x)	Gebruikt wanneer PFAS-concentraties zijn gesommeerd; x geeft het aantal PFAS-verbindingen aan dat is meegenomen in de sommatie
PFBA	Perfluorbutaanzuur
PFBS	Perfluorbutaansulfonzuur
PFCA	Perfluoroalkyl carboxylic acid; perfluoralkylcarbonzuur
PFDA	Perfluordecaanzuur
PFDoA	Perfluordodecaanzuur
PFHxA	Perfluorhexaanzuur
PFHxS	Perfluorhexaansulfonzuur
PFHpA	Perfluorheptaanzuur
PFNA	Perfluornonaanzuur
PFOA	Perfluoroctaanzuur
PFOS	Perfluoroctaansulfonzuur
PFPeA	Perfluorpentaanzuur
PFPeS	Perfluorpentaansulfonzuur
PFSA	Perfluoralkyl sulfonic acid; perfluoralkylsulfonzuur
PFTDA	Perfluortridecaanzuur
PFUdA	Perfluorundecaanzuur
PTFE	Polytetrafluoretheen; ook bekend onder de merknaam Teflon
Read across	Methode waarbij een ontbrekende waarde voor een stofeigenschap (bijvoorbeeld toxiciteit) wordt afgeleid op basis van vergelijking met stoffen waarvoor deze stofeigenschappen wel bekend is
rwzi	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
STOWA	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
TOP	Analyse op Total Oxidizable Precursors (Totaal Oxideerbare Precursors)
Verontreinigingspatroon	De verdeling over de verschillende individuele PFAS en de onderlinge verhouding daarin

BIJLAGEN

BIJLAGE 1

GESELECTEERDE RWZI'S EN OVERIGE ONDERZOEKSLOCATIES

OVERZICHT ONDERZOCHE RWZI'S EN BEDRIJVEN

Er is gezocht naar een mix van rwzi's, bestaande uit (voormalige) hotspotlocaties, rwzi's met een relatief groot aandeel industrieel afvalwater, gemengde rwzi's (tussen uitsluitend huishoudelijk en groot aandeel industrie in), en rwzi's met vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater. De geselecteerde rwzi' en de reden voor selectie zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Rwzi	Omschrijving / reden voor selectie
Dordrecht	Hotspot
Aarle-Rixtel	Voormalige hotspot (lozing gestopt, nalevering vindt nog plaats)
Bath	Groot aandeel industrie
Lelystad	Gemengde rwzi
Hattem	Gemengde rwzi
Asten	Vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater
Hapert	Vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater
Piershil	Vrijwel uitsluitend huishoudelijk afvalwater

Naast de acht rwzi's zijn een tweetal bedrijven meegenomen in het onderzoek, die hun afvalwater na zuivering lozen op het riool. Dit afvalwater wordt nabehandeld, samen met huishoudelijk afvalwater, op rwzi Dordrecht. Het gaat om de bedrijven Chemours en HVC. Chemours is een chemisch bedrijf dat onder andere PFAS-verbindingen toepast in bedrijfsprocessen. HVC is een eindverwerker van afvalstoffen. HVC verwerkt huishoudelijk afval, ziekenhuisafval en zuiveringsslib in verbrandingsovens. Tevens beheert HVC de voormalige stort Crayenstein waar voorheen industrieel afval is gestort, waaronder PFAS-houdend afval. De stort is geamoveerd en afgedekt. Het percolaatwater van de stort wordt via een beheerssysteem onttrokken en daarna behandeld in een actiefkool filter.

De belangrijkste kenmerken van de rwzi's zijn in de volgende tabel weergegeven.

Peiljaar 2019	Rwzi	Dordrecht	Bath	Aarle-Rixtel	Lelystad	Piershil	Asten	Hapert	Hattem
Ontwerpcapaciteit	IE150	281.100	472.000	272.000	160.500	6.600	72.500	64.400	64.000
Aangesloten inwoners		115.000	285.000	188.000	76.300	5.450	43.500	37.100	37.400
Vuilvracht aangesloten bedrijven	IE150	78.000	188.000	87.000	40.000	530	7.300	14.200	13.000
Jaardebiet	Miljoen m ³ /j	18,2	36,4	24,6	4,7	0,7	5,0	4,5	3,7
Aandeel extern slib dat mee wordt verwerkt	% van de slibproductie	20	10	7	0	0	0	0	0
Slibgisting onderdeel van de slibverwerking		nee	ja	nee	nee	nee	ja	nee	nee
Vloeibaar afval per as aangevoerd	Ton/j	0	0	0	4.000	0	0	0	0

PROCESSCHEMA'S RWZI'S

Op de volgende bladzijden zijn de processchema's weergegeven van de betrokken rwzi's.

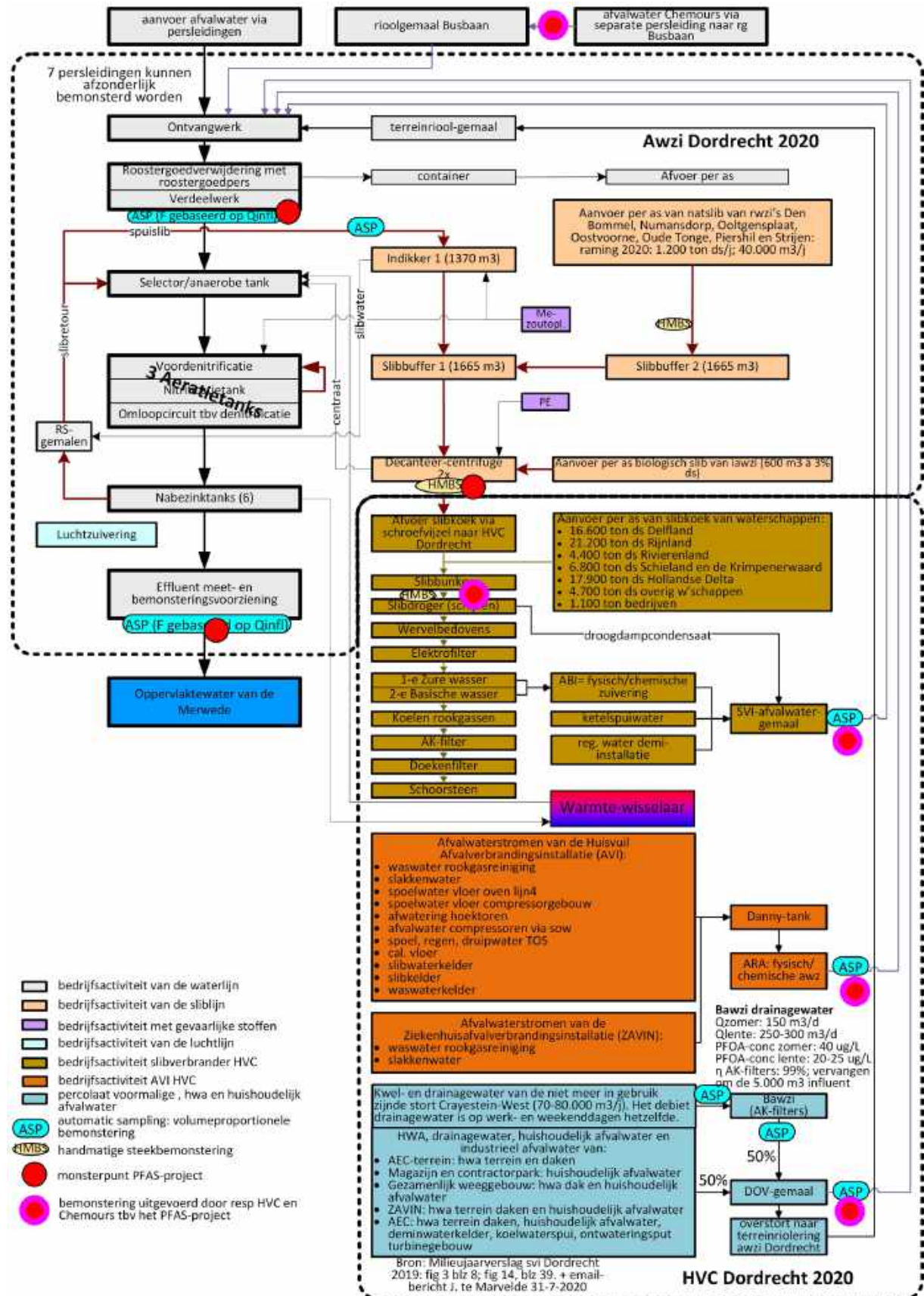
Vanwege de verwevenheid van het HVC-proces met dat van de rwzi Dordrecht zijn de afvalwaterstromen van deze twee inrichtingen in het schema van de rwzi Dordrecht meegenomen. Het afvalwater van HVC kan onderverdeeld worden in drie soorten. Deze worden op fysisch/chemische wijze separaat behandeld. Het gezuiverd afvalwater wordt via aparte persleidingen afgevoerd naar het ontvangwerk van de rwzi Dordrecht. Aan de influentzijde van de rwzi Dordrecht is in het processchema het bedrijf Chemours vermeld. Het afvalwater van Chemours wordt on-site behandeld in een fysisch/chemische zuivering, bestaande uit een actiefkool filter. Het behandelde afvalwater wordt vervolgens via het aanvoerstelsel van de gemeente Dordrecht aangevoerd op de rwzi.

Elk processchema bevat de belangrijkste gegevens van de betreffende inrichting waarbij 2019 als peildatum is gebruikt. Deze kenmerken zijn:

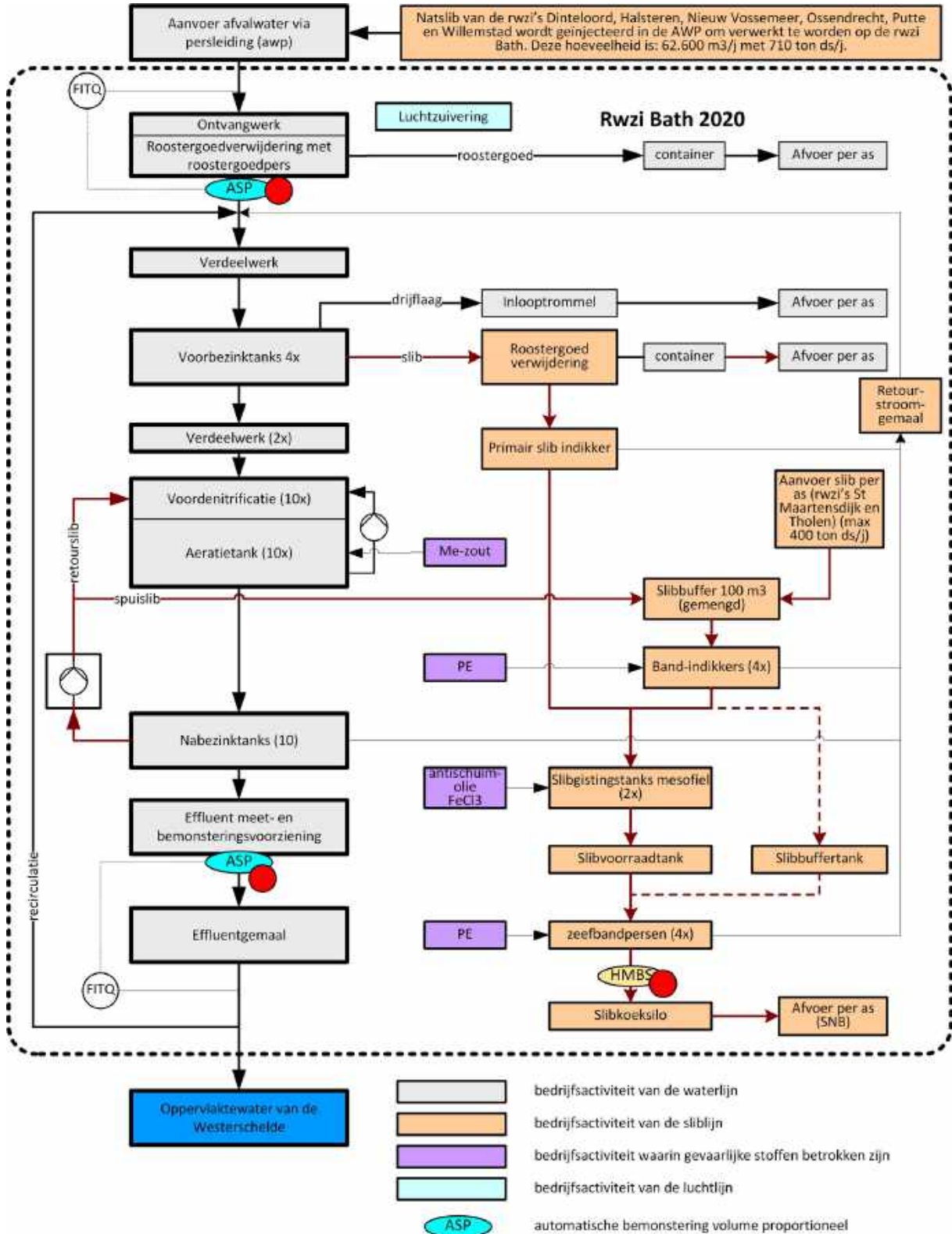
- Belasting van de rwzi in IE150;
- Hoeveelheid stedelijk afvalwater dat jaarlijks wordt gezuiverd en als effluent wordt geloosd;
- De hoeveelheid intern slib die wordt geproduceerd;
- De hoeveelheid extern slib die mee wordt verwerkt.

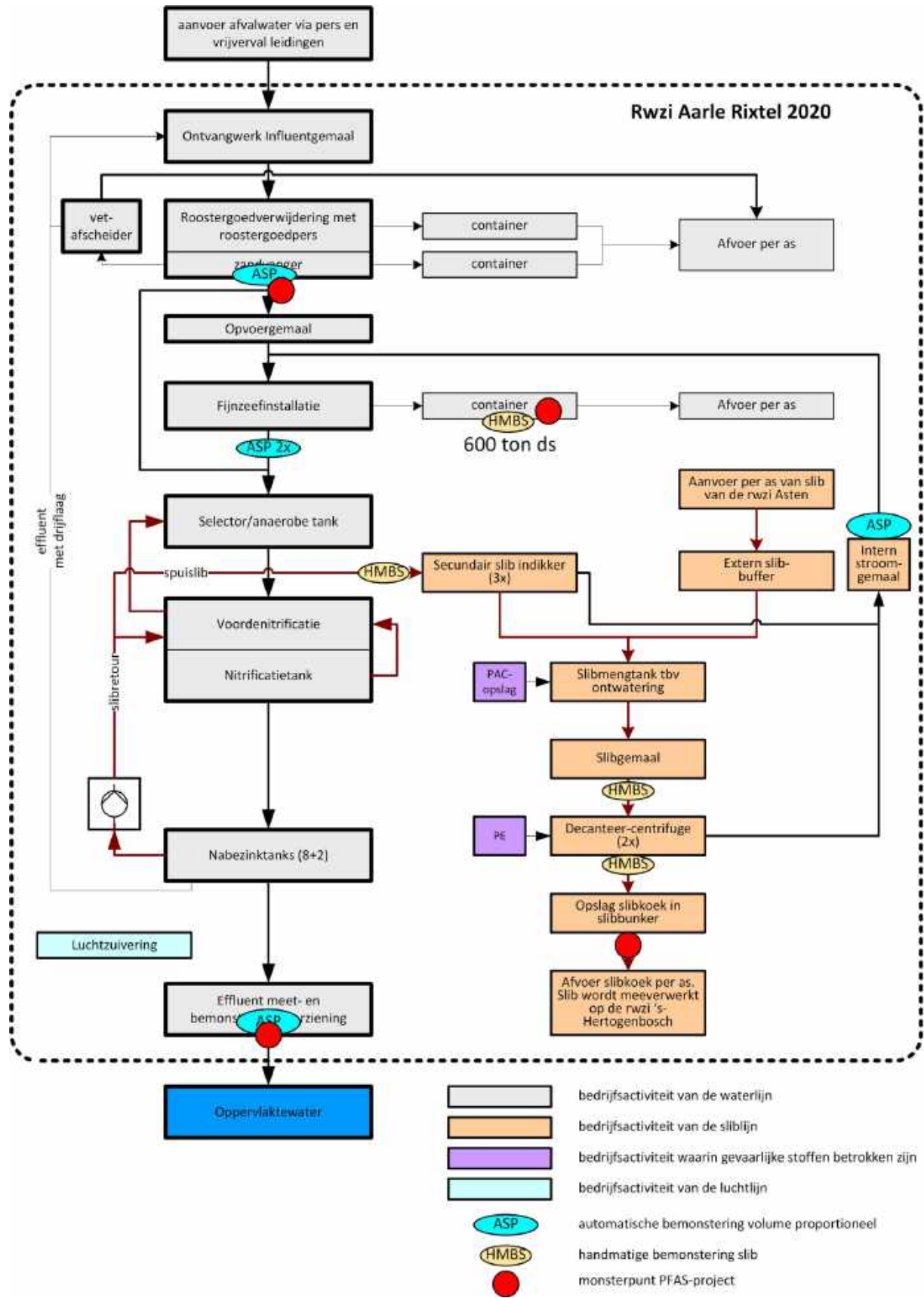
In elk processchema is met rode punten (influent, effluent en slib) weergegeven waar de bemonstering heeft plaatsgevonden ten behoeve van het PFAS-onderzoek.

PROCESSHEMA RWZI DORDRECHT

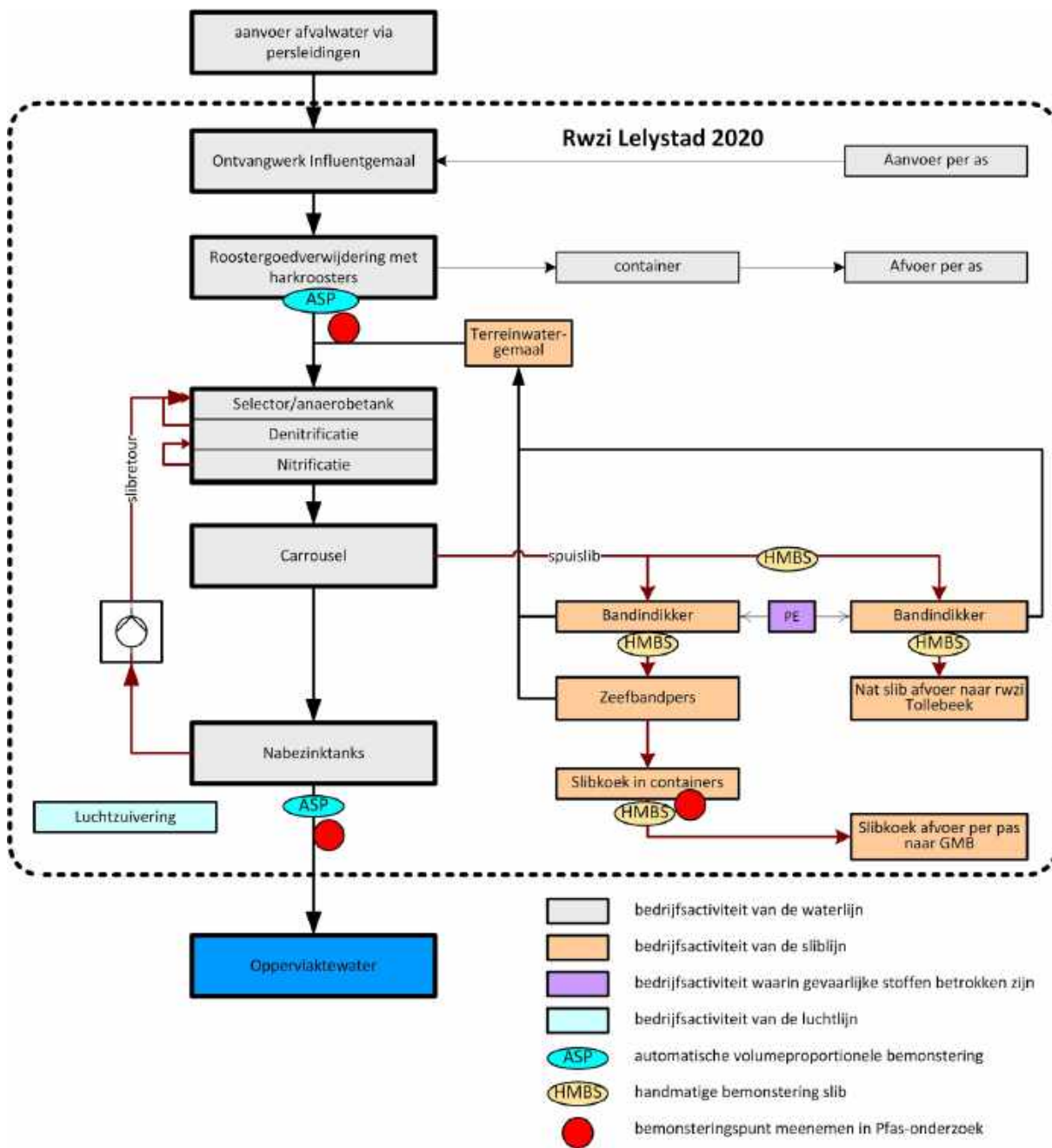


PROCESSCHEMA RWZI BATH

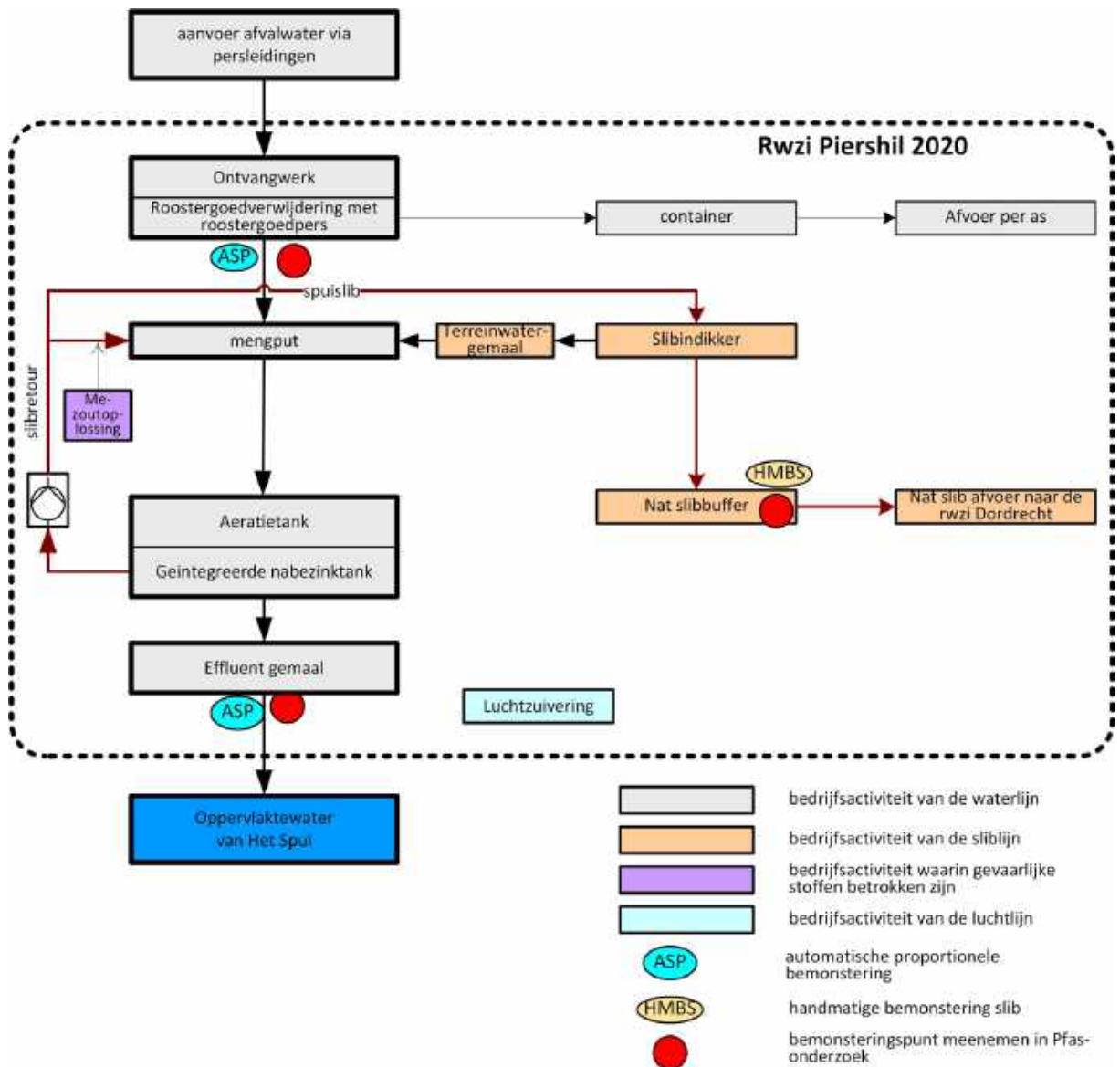




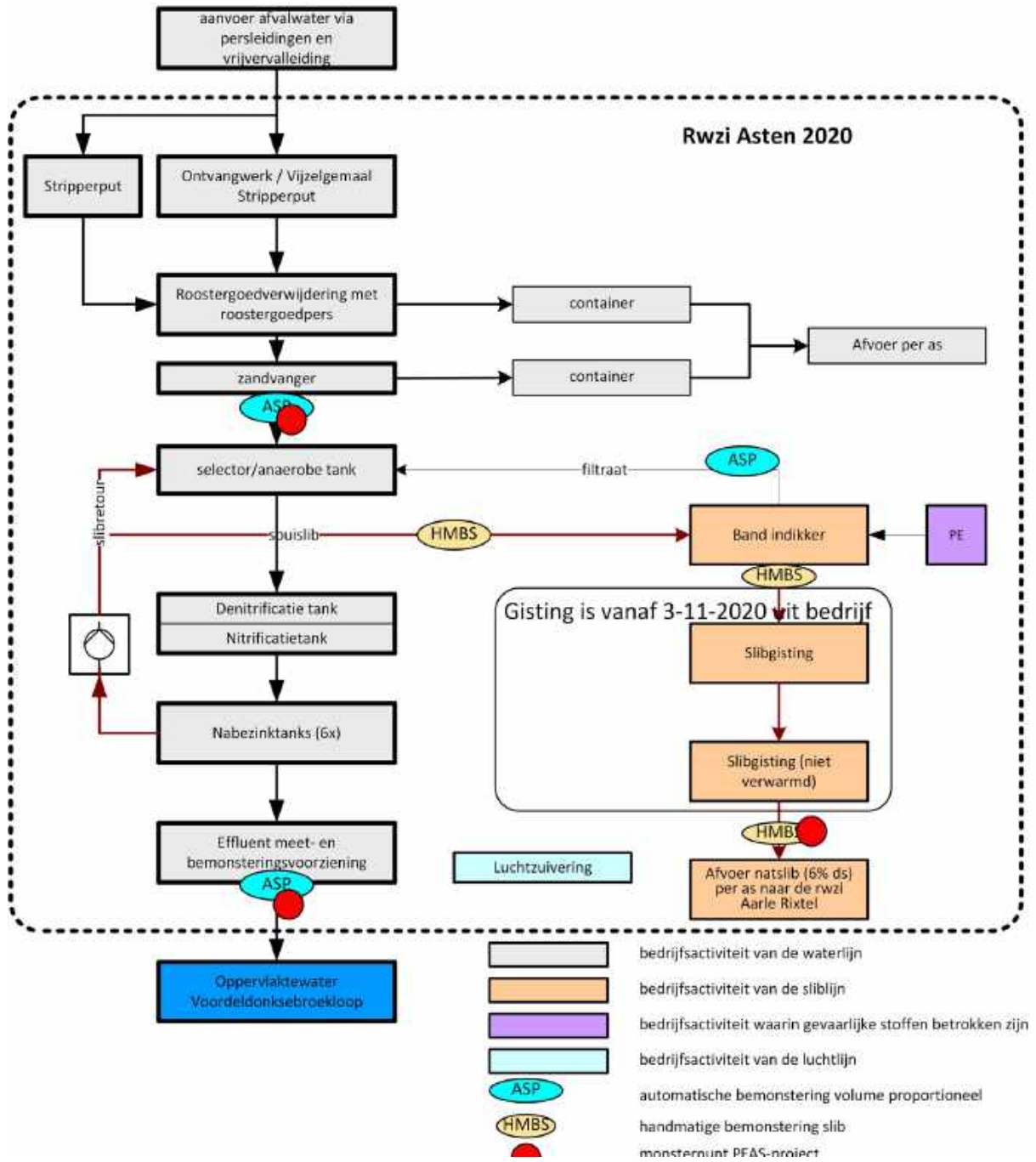
PROCESSHEMA RWZI LELYSTAD



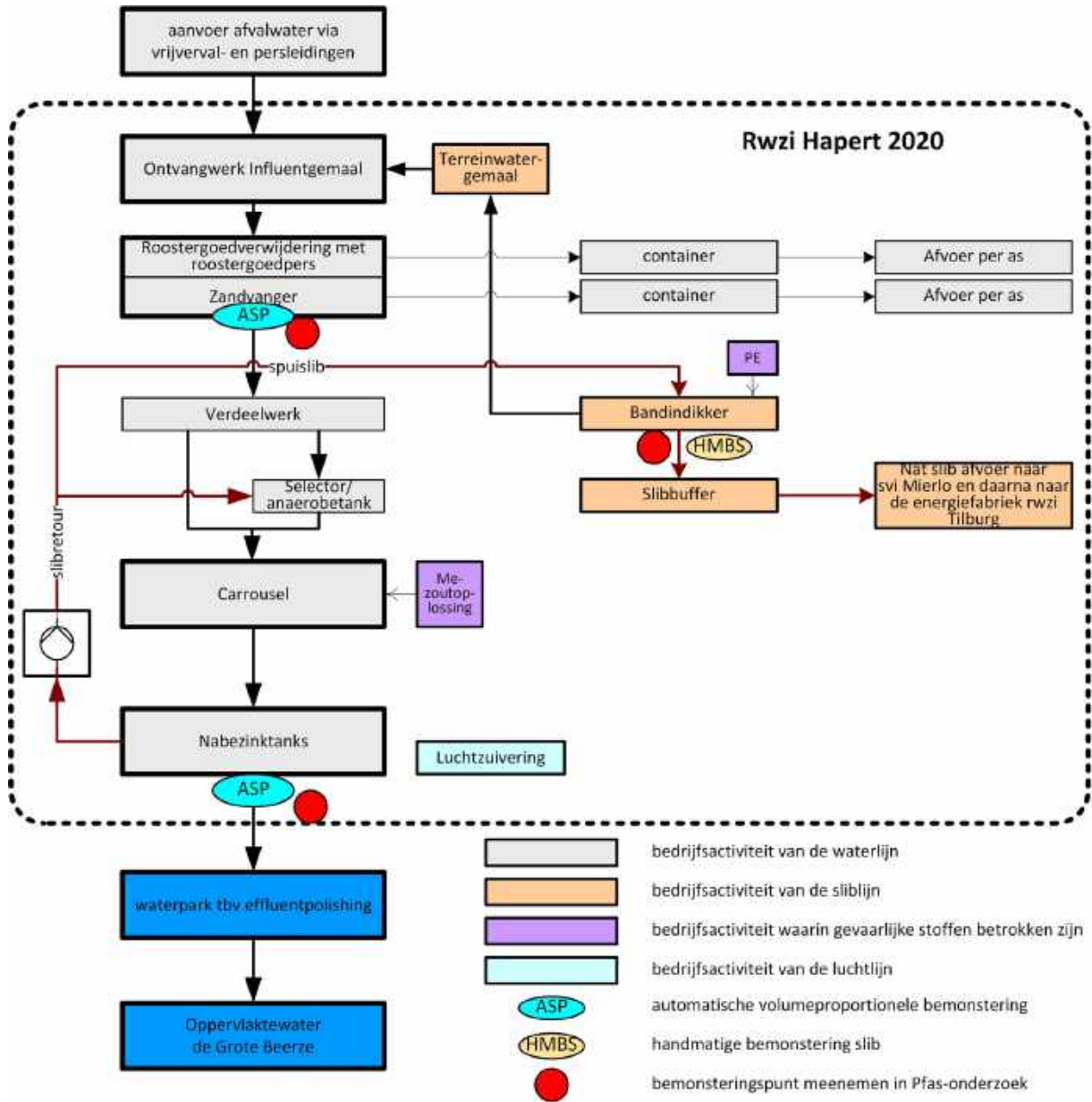
PROCESSHEMA RWZI PIERSHIL



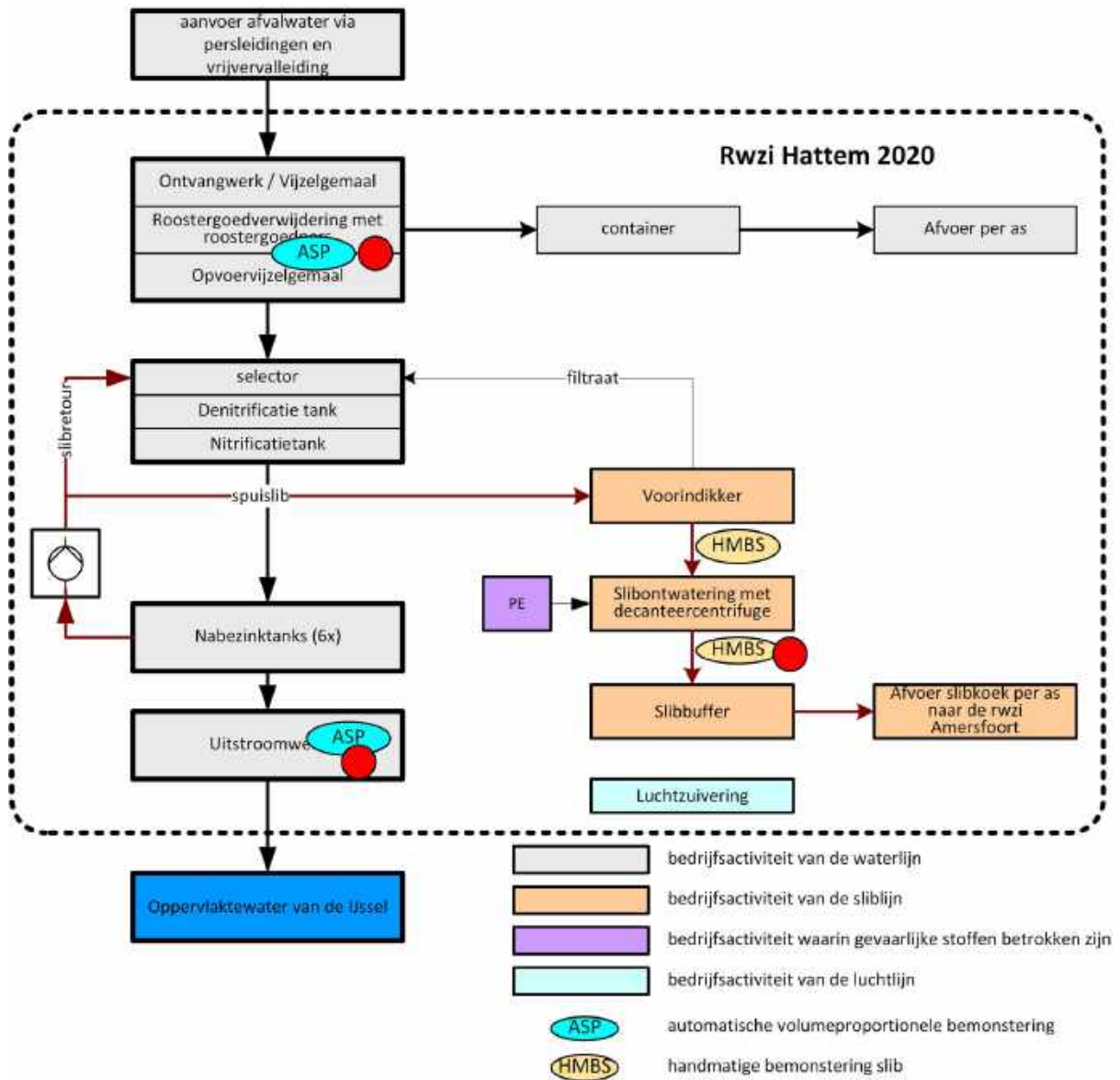
PROCESSHEMA RWZI ASTEN



PROCESSHEMA RWZI HAPERT



PROCESSHEMA RWZI HATTEM



BIJLAGE 2

UITVOERING BEMONSTERING

WATERLIJN RWZI'S

De bemonsteringen hebben plaatsgevonden in november 2019. De influenten en effluënten zijn simultaan bemonsterd op negen opeenvolgende dagen. Daarbij is geen rekening gehouden met eventuele regen. Er is bemonsterd onder zowel droogweeraanvoer (dwa) als regenweeraanvoer (rwa) condities.

SLIBLIJN RWZI'S

Voor slib is het aantal monsters voor de meeste rwzi's beperkt tot drie stuks. Een hogere bemonsteringsfrequentie is weinig zinvol vanwege de slibleeftijd van circa 15 dagen. De verblijftijd van slib op een rwzi met een slibgisting (op rwzi's Asten en Bath) is nog langer, tot 40 dagen. Lange slibleeftijden en verblijftijden hebben een egaliserend effect op stofconcentraties in het slib. Daarnaast kan niet op alle dagen het slib worden bemonsterd omdat de slibverwerkingen niet continue in bedrijf zijn.

Op de rwzi Dordrecht is het slib, dat wil zeggen de slibkoek van de centrifuges, zeven keer bemonsterd. De reden om deze rwzi vaker te monstern is dat veel slib van andere rwzi's mee wordt verwerkt.

Op de rwzi Piershil is slechts één slibmonster genomen. Op de rwzi is van tevoren de slibbuffer geleegd. Vrijwel al het geproduceerde slib is tijdens de bemonsteringsperiode verzameld in de slibbuffer en vervolgens is van de inhoud op het eind van de 9-daagse periode een goed gemengd steekmonster genomen.

Op de rwzi Asten is de slibgisting bij aanvang van de bemonsteringsperiode uit bedrijf genomen. Om die reden is de slibgisting voorafgaand van de bemonsteringsperiode drie opeenvolgende dagen bemonsterd.

Op de rwzi Aarle Rixtel is naast influent, effluent en slib ook zeefgoed bemonsterd. Dit is celluloseachtig materiaal wat met fijnzeven uit het influent wordt gefilterd en apart wordt afgezet. Dit materiaal is onder andere afkomstig van toiletpapier.

Aanvullend heeft Energie- en Afvalbedrijf HVC vier mengmonsters van het door hen ingenomen slib genomen en laten analyseren bij Eurofins. Het analysepakket verschilt enigszins.

BIJZONDERE AFVALWATERSTROMEN

Naast bovengenoemde monsters zijn ook enkele bijzondere afvalwaterstromen bemonsterd. Dit zijn afvalwaterstromen van bedrijven waarvan bekend is of vermoed wordt dat zij PFAS bevatten en die samen met het influent van de rwzi Dordrecht behandeld worden. Het betreft drie afvalwaterstromen van Energie- en Afvalbedrijf HVC en het afvalwater van Chemours:

- Afvalwater van de slibverbranding (HVCsvi),
- Afvalwater van de verbranding van huishoudelijk en ziekenhuisafval (HVCara),
- Drainagewater van de vuilstort gemengd met hemelwater van het terrein (HVCdov). Hierna afvalwater vuilstort genoemd,
- Afvalwater van Chemours (CHE).

Alle vier de afvalwaterstromen ondergaan op het bedrijf een separate afvalwaterbehandeling (zie paragraaf 3.2.4 en het blokschema van rwzi Dordrecht in bijlage 1 voor details). Deze afvalwaterstromen zijn door medewerkers van HVC en Chemours bemonsterd.

SAMENVATTING AANTALLEN MONSTERS

De aantallen geanalyseerde monsters zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Voor details (monstercodes, monsterdata en verklaring voor afwijkende aantallen) wordt verwezen naar bijlage 3.

Rwzi / afvalwaterstroom	Aantal influentmonsters	Aantal effluentmonsters	Aantal slibmonsters
Dordrecht (DOR)	9	9	7
Bath (BAT)	7	9	3
Aarle Rixtel (AAR)	9	9	3 (+3 zeefgoed)
Lelystad (LEL)	9	9	3
Piershil (PIE)	9	8	1
Asten (AST)	9	9	3
Hapert (HAP)	9	9	3
Hattem (HAT)	8	8	3
HVC – afvalwater slibverbrandingsinstallatie (HVCsvi)		3	
HVC – afvalwater huisvuil en ziekenhuisafvalverbrandingsinstallatie (HVCara)		3	
HVC – afvalwater vuilstort (HVCdov)		9	
Chemours – afvalwater (CHE)		9	

BEMONSTERINGSWIJZE

De monsternamen van het influent, effluent en bijzondere afvalwaterstromen zijn allen debietproportionele 24-uurs monsters. De slib/zeefgoed monsters zijn verzamelsteekmonsters. Dat wil zeggen dat medewerkers regelmatig steekmonsters hebben genomen van het slib gedurende de dag. Deze steekmonsters zijn verzameld waarna door handmatige menging een representatief monster is genomen. Deze werkwijze is toegepast op de slibmonsters van Dordrecht, Bath, Aarle Rixtel (inclusief zeefgoed), Lelystad, Hapert en Hattem. Het slibmonster van Piershil betreft één steekmonster van de slibbuffer en de op de rwzi Asten genomen steekmonsters zijn uit de circulatiestroom van de slibgisting genomen. Dit is per definitie een goed gemengd slibstroom.

SCHOUW VOORAFGAAND AAN DE UITVOERING VAN DE BEMONSTERING

Op alle rwzi's is samen met de waterschapslaboratoria voorafgaand aan het bemonsteringsprogramma een schouw uitgevoerd. Deze schouw had als doel:

- Vastleggen actuele bedrijfsvoering rwzi alsmede bijzonderheden proces;
- Beoordelen bemonsteringsinfrastructuur en bespreken eventuele aanpassingen (extra koelkasten, bemonsteringsapparatuur, meervats-systemen, kunststof dan wel glazen bemonsteringskolf);
- Logistiek: wie voert welke werkzaamheden uit, tijdsintervallen monsternames, toegankelijkheid rwzi, enzovoort;
- Het op detail nalopen van de bemonsteringsapparatuur voor de eventuele aanwezigheid van PFAS-houdende onderdelen en onderdelen die PFAS kunnen adsorberen te vervangen;
- Het uitsluiten van PFAS-houdend materiaal in werkprocessen en het uitsluiten daarvan om contaminatie door PFAS-bevattend materiaal zoveel mogelijk te voorkomen;
- Het vaststellen van de exacte plaats voor het nemen van monsters van het slib en zeefgoed en het in overleg met de zuiveringsbeheerder bepalen van de bemonsteringswijze;
- Benodigde gegevens voor de dataverwerking (vaststellen slibproductie), etc.

Van elke schouw is een gedetailleerd rapport opgesteld. Per bemonsteringspunt is zowel de bemonsteringswijze en bemonsteringssituatie on-site besproken met de monsternemer, de zuiveringsbeheerder en de projectleiding. Daarnaast zijn van elke situatie foto's gemaakt.

De volgende protocollen en documenten zijn tijdens de schouw gehanteerd en toegepast:

- NEN6600;
- Kennisdocument voor bemonstering en analyse van PFAS-verbindingen in grond- en grondwater¹⁸.

Op basis van de schouwrapporten is voor elke rwzi een op maat gesneden werkvoorschrift opgesteld. De schouwrapporten c.q. werkvoorschriften worden op aanvraag ter beschikking gesteld.

VALIDATIE BEMONSTERINGSPROCES

De bemonsteringen van de influent en de effluentstromen zijn uitgevoerd conform NEN6600 door medewerkers van de waterschapslaboratoria Aquon en Aqualysis.

Door de medewerkers zijn tijdens de bemonstering voortdurend controles uitgevoerd. Daarbij zijn de volgende NEN6600- criteria gehanteerd:

- Aantal monsternamepulsen tijdens een dag cyclus;
- Het volume per monsternamepuls;
- Het op dagelijkse basis vergelijken van het werkelijk gerealiseerde aantal pulsen en puls-volume met de ingestelde waarden;
- De totale hoeveelheid monstervolume ten opzichte van de verwachte hoeveelheid monstervolume;
- De temperatuur van de bemonsteringsapparatuur;
- Juiste instellingen van de bemonsteringsapparatuur.

Deze controles hebben ertoe geleid dat bij een aantal rwzi's de bemonstering langer heeft doorgelopen of opnieuw is uitgevoerd om tot een monsterperiode van negen aaneengesloten dagen te komen (zie bijlage 3 voor details).

De slibbemonsteringen zijn niet gevalideerd. Dit is vanwege het karakter van de processen en de bemonsteringen vrijwel niet mogelijk.

¹⁸ <https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/wet-regelgeving/bbk/publicaties/bemonstering-pfas/>

BIJLAGE 3

AANTAL GEANALYSEERDE MONSTERS EN MONSTERDATA

TABEL AANTAL GEANALYSEERDE MONSTERS EN MONSTERDATA (IN 2020). 09HVCSVI = AFVALWATER SLIBVERBRANDINGSINSTALLATIE, 09HVCARA = AFVALWATER HUISVUIL- EN ZIEKENHUISAFVALVERBRANDINGSINSTALLATIE, 09HVCDOV = DRAINAGEWATER VAN EEN VUILSTORT, 10CHEINFL = AFVALWATER VAN CHEMOURS

Locatie	Matrix	Code	dag 1	dag 2	dag 3	dag 4	dag 5	dag 6	dag 7	dag 8	dag 9	Aantal
Dordrecht	influent	01DORinfl	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11	1/12	2/12	9
Dordrecht	effluent	01DOReffl	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11	1/12	2/12	9
Dordrecht	slib	01DORslib	24/11	25/11	26/11	27/11			30/11	1/12	2/12	7
Aarle Rixtel	influent	02AARinfl	3/11	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	9
Aarle Rixtel	effluent	02AAREffl	3/11	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	9
Aarle Rixtel	slib	02AARslib	3/11			6/11			9/11			3
Aarle Rixtel	zeefgoed	02AARzeef	3/11			6/11			9/11			3
Bath	influent	03BATinfl	10/11	11/11	12/11	13/11	gevallen	15/11	gevallen	17/11	18/11	7
Bath	effluent	03BATEffl	10/11	11/11	12/11	13/11	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	9
Bath	slib	03BATslib		11/11			14/11		16/11			3
Lelystad	influent	04LELinfl	3/11	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	9
Lelystad	effluent	04LELeffl	3/11	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	9
Lelystad	slib	04LELslib	3/11			6/11					11/11	3
Hatterem	influent	05HATinfl	7/11	8/11	9/11	10/11	niet genomen	12/11	13/11	14/11	15/11	8
Hatterem	effluent	05HATEffl	7/11	8/11	9/11	10/11	niet genomen	12/11	13/11	14/11	15/11	8
Hatterem	slib	05HATslib				9/11	11/11		13/11			3
Asten	influent	06ASTinfl	3/11	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	9
Asten	effluent	06ASTEffl	3/11	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	9
Asten	slib	06ASTslib	28/10	30/10	3/11							3
Hapert	influent	07HAPinfl	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	12/11	13/11	9
Hapert	effluent	07HAPeffl	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11	10/11	11/11	12/11	13/11	9
Hapert	slib	07HAPslib	5/11				9/11		11/11			3
Piershil	influent	08PIEinfl	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11	1/12	2/12	9
Piershil	effluent	08PIEeffl	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11	1/12	gevallen	8
Piershil	slib	08PIEslib									2/12	1
HVC	bijzonder afvalwater	09HVCSvi	24/11		26/11						2/12	3
HVC	bijzonder afvalwater	09HVCara	24/11		26/11						2/12	3
HVC	bijzonder afvalwater	09HVCdov	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11	1/12	2/12	9
Chemours	bijzonder afvalwater	10CHEinfl	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11	1/12	2/12	9

BIJLAGE 4

ANALYSEPAKKET EN RAPPORTAGEGRENZEN

GEMETEN PFAS EN BEHAALDE RAPPORTAGEGRENZEN

Naam stofgroep overgenomen uit het kennisdocument PFAS van het PFAS Expertisecentrum (Pancras et al., 2018)

Cn = aantal koolstofatomen in de gefluoreerde koolstofketen

NB = niet te bepalen, alle gehalten waren boven de detectiegrens

Stofnaam	Cn	Afkorting VU	Aquo code	Stofnaam in Aquo	CAS-nr	Detectiegrens water		Detectiegrens slib	
						Opgegeven ng/l	Behaald ng/l	Opgegeven µg/kgds	Behaald µg/kgds
Perfluoroalkyl carboxylzuren (PFcAs)									
Perfluorobutanozuur	C4	PFBA	PFBA	perfluorbutanozuur	375-22-4	1 - 5	1	0,05	0,5*
Perfluoropentanozuur	C5	PFPeA	PFPA	perfluoropentanozuur	2706-90-3	0,5 - 2,5	1	0,02	0,02 - 0,04
Perfluorhexaanozuur	C6	PFHxA	PFHxA	perfluorhexaanozuur	307-24-4	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluorheptaanozuur	C7	PFHpA	PFHpA	perfluorheptaanozuur	375-85-9	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluoroctanozuur, lineair	C8	l-PFOA	PFOA	perfluoroctanozuur	335-67-1	0,5 - 2,5	0,5	0,02	NB
Perfluoroctanozuur, vertakt	C8	br-PFOA	sverttPFOA	som vertakte PFOA-isomeren	NVT	0,5 - 2,5	0,5	0,02	0,02
Perfluorononaanozuur	C9	PFNA	PFNA	perfluorononaanozuur	375-95-1	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluorodecaanozuur	C10	PFDA	PFDA	perfluorodecaanozuur	335-76-2	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluorundecaanozuur	C11	PFUnDA	PFUnDA	perfluorundecaanozuur	2058-94-8	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluordodecaanozuur	C12	PFDoA	PFDoA	perfluordodecaanozuur	307-55-1	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluortridecaanozuur	C13	PFTriDA	PFTDA	perfluortridecaanozuur	72629-94-8	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluortetradecaanozuur	C14	PFTeDA	PFTeDA	perfluortetradecaanozuur	376-06-7	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluorhexadecaanozuur	C16	PFHxDA	PFHxDA	perfluorhexadecaanozuur	67905-19-5	0,25 - 1	0,5 - 1	0,01	0,05
Perfluoroctaecaanozuur	C18	PFODA	PFODA	perfluoroctaecaanozuur	16517-11-6	0,5 - 2,5	1	0,05	0,05 - 0,1
Perfluoroether carboxylzuren (PFECAs)									
Tetra Fluoro-2-(heptafluorpropoxy) propaanozuur		HFPO-DA	FRD-903	2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propaanozuur	13252-13-6	0,1 - 0,5	0,1	0,01	0,01 - 0,03

Stofnaam	Cn	Afkorting VU	Aquo code	Stofnaam in Aquo	CAS-nr	Detectiegrens water		Detectiegrens slib	
						Opgegeven	Behaald	Opgegeven	Behaald
						ng/l	ng/l	µg/kgds	µg/kgds
Dodecafluor-3H-4,8-dioxanonaat		DONA	DONA	trifluor-3-(hexafluor-3-(trifluormethoxy)propoxy)propaanzuur	919005-14-4	0,1 - 0,5	0,1	0,01	0,01 - 0,03
Perfluoroalkyl sulfonzuren (PFSA's)									
Perfluorbutaansulfonaat	C4	PFBS	L_PFBs	perfluorbutaansulfonzuur	375-73-5	0,1 - 0,5	0,5	0,01	0,03
Perfluorpentaansulfonaat	C5	PFPeS	PFCSasfzr	perfluor-1-pentaansulfonzuur	2706-91-4	0,1 - 0,5	0,25	0,01	0,01 - 0,03
Perfluorhexaansulfonaat	C6	PFHxS	L_PFHxS	perfluorhexaansulfonzuur	355-46-4	0,1 - 0,5	0,25	0,01	0,01
Perfluorheptaansulfonaat	C7	PFHpS	L_PFHpS	perfluor-1-heptaansulfonzuur	375-92-8	0,1 - 0,5	0,25	0,01	0,01 - 0,02
Perfluoroctaansulfonaat, lineair	C8	l-PFOS	PFOS	perfluoroctaansulfonzuur	1763-23-1	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluoroctaansulfonaat, vertakt	C8	br-PFOS	sverttPFOS	som vertakte PFOS-iso'meren	NVT	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluordecansulfonaat	C10	PFDS	L_PFDs	perfluor-1-decaansulfonzuur	335-77-3	0,1 - 0,5	0,5 - 1	0,01	0,01 - 0,02
Fuortelomeer sulfonzuren (precursors)									
4:2 Fluortelomeer sulfonzuur		4:2 FTS	H-PFC6asfzr	2-(perfluorbutyl)ethaan-1-sulfonzuur (4:2 FTS)	757124-72-4	0,25 - 1	0,5	0,01	0,01 - 0,03
6:2 Fluortelomeer sulfonzuur		6:2 FTS	2PFC6yC2a1sf	2-(perfluorhexyl)ethaan-1-sulfonzuur (6:2 FTS)	27619-97-2	0,25 - 1	1	0,01	NB
8:2 Fluortelomeer sulfonzuur		8:2 FTS	H-PFC10asfzr	2-(perfluorocetyl)ethaan-1-sulfonzuur (8:2 FTS)	39108-34-4	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
10:2 Fluortelomeer sulfonzuur		10:2 FTS	H-PFC12asfzr	1H,1H,2H,2H-perfluorodecaansulfonzuur (10:2 FTS)	120226-60-0	0,25 - 1	1	0,01	NB
Polyfluoroalkyl fosforzuur diesters (precursors)									
8:2 Fluortelomeer fosfaatdiester		8:2diPAP	bisPFC10yP04	bisperfluordecylwaterstofosfaat (8:2 diPAP)	678-41-1	0,5 - 2,5	1	0,05	0,05
Perfluoroalkaansulfonamides (precursors)									
Perfluoroctaansulfonamide-(N-Methyl)acetaat		N-MeFOSAA	N-MeFOSAA	N-methylperfluoroctaan sulfonamidoazijnzuur	2355-31-9	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluoroctaansulfonamide-(N-Ethyl)acetaat		N-EtFOSAA	EtFOSAA	perfluoroctaansulfonamide(N-ethyl)azijnzuur	2991-50-6	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Perfluoroctaansulfonamide		FOSA	PFOSA	perfluoroctaansulfonamide	754-91-6	0,25 - 1	0,5	0,01	NB
Methylperfluoroctaansulfonamide		MeFOSA	MeFOSA	N-methyl perfluoroctaansulfonamide	31506-32-8	0,25 - 1	1	0,01	0,02 - 0,05
Ethylperfluoroctaansulfonamide		EtFOSA	EtFOSA	N-ethyl perfluoroctaansulfonamide	4151-50-2	0,25 - 1	1	0,01	0,02 - 0,05
Overige PFAS									
9-chloorhexadecafluor-3-oxanonaan-1-sulfonaat		9Cl-PF30NS	9-Cl-PF30NS	9-chloorhexadecafluor-3-oxanon-1-sulfonzuur	756426-58-1	0,25 - 1	1	0,01	0,01 - 0,03
11-chlooricosaanfluor-3-oxaundecaan-1-sulfonaat		11Cl-PF30UDs	11Cl-PF30UDs	11-chlooricosaanfluor-3-oxaundecaan-1-sulfonzuur	763051-92-9	0,25 - 1	1	0,01	0,01 - 0,03

* Uitzondering, laagst gemeten gehalte 0,17 µg/kgds

BIJLAGE 5

ANALYSEMETHODE

De watermonsters zijn geanalyseerd met een methode die gelijkwaardig is aan ISO 21675 (2019), 'Water quality - Determination of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in water'.

Aan het monster is een oplossing van 25 gelabelde isotoop PFAS-verbindingen (interne standaard) toegevoegd waarna de pH op circa drie is gebracht met een 10% fosforzuur oplossing in water. De niet-opgeloste bestanddelen zijn uit het monstermateriaal verwijderd met centrifugatie.

De PFAS-verbindingen zijn met een vaste fase extractie (SPE, type Oasis Wax) uit het monstermateriaal geïsoleerd waarbij de anionen van de ionogene verbindingen interactie aangaan met de kationen in de vaste fase. Na het drogen van de cartridge door een onderdruk zijn de PFAS-verbindingen met een ammoniumhydroxide-oplossing in methanol van de SPE cartridges geëluëerd.

Het eluaat is hierna droog gedampt waarna het residu is opgelost in water en methanol.

De zuiveringsslibmonsters zijn geanalyseerd met een methode die gelijkwaardig is aan NTA 'PFAS in Bodem (390020030002N0015). Deze NTA (Nederlandse Technische Afspraak) is nog in conceptfase.

Na homogenisatie van het monstermateriaal is aan een deel van het monstermateriaal de interne standaard toegevoegd waarna het monster is gelyofiliseerd (gevriesdroogd). De PFAS-verbindingen zijn uit het monstermateriaal geïsoleerd in twee stappen met een mengsel van acetonitril, methanol en ammoniumhydroxide. Na een concentratiestap van het verkregen extract is een zuivering uitgevoerd met actief kool. Het eluaat is hierna droog gedampt en is het residu opgelost in water en methanol.

De extracten van zowel de watermonsters als de slibmonsters zijn gescheiden door middel van reversed-phase vloeistofchromatografie, waarna de doelstoffen zijn gedetecteerd en gekwantificeerd met een massa selectieve detector (MS/MS). In de detector zijn de verbindingen geïoniseerd met een electrospray interface opererend in een negatieve modus.

BIJLAGE 6

DATAVERWERKING

STATISTIEKEN DATASET

	Watermonsters	Slibmonsters
Aantal monsters aangeboden voor analyse	163	29
Aantal individuele PFAS-waarnemingen	5705 (100%)	1015 (100%)
Aantal waarnemingen lager dan of gelijk aan de detectiegrens (DG)	3554 (62%)	233 (23%)
Aantal waarnemingen hoger dan de detectiegrens (DG) en lager dan of gelijk aan de rapportagegrens (RG)	770 (13%)	64 (6%)
Aantal waarnemingen hoger dan de rapportagegrens (RG)	1381 (24%)	718 (71%)
Aantal waarnemingen onopgeloste bestanddelen	70	
Aantal waarnemingen N-org	70	
Aantal waarnemingen N-NH4	70	

In de watermonsters zijn de analyses die betrekking hebben op de industriële afvalwatermonsters van Chemours en HVC begrepen.

CONTROLE OP ONWAARSCHIJNLJKHEDEN

De waarnemingen zijn beoordeeld op onwaarschijnlijke resultaten. Dit was het geval voor de drogestofgehalten van het slib van de rwzi's Piershil, Hattem en Asten. Dit heeft ertoe geleid dat door het laboratorium alle slibmonsters opnieuw geanalyseerd zijn op het drogestofgehalte. De resultaten van rwzi Lelystad zijn steekproefsgewijs bevestigd door heranalyse.

OMGAAN MET WAARNEMINGEN LAGER DAN DE DETECTIEGRENS EN RAPPORTAGEGRENS

Normaliter wordt een rapportagegrens (RG) geven (dat wil zeggen laagste betrouwbaar te kwantificeren concentratie). In dit onderzoek is in plaats van de rapportagegrens de detectiegrens (DG) gegeven (dat wil zeggen laagst aantoonbare, maar minder betrouwbaar te kwantificeren concentratie). Gehalten tussen detectiegrens en de rapportagegrens zijn als gemarkeerde getalswaarden gerapporteerd. In de dataverwerking zijn deze omgezet naar getalswaarden.

Voor berekening van somparameters en vrachten zijn de waarnemingen kleiner dan de DL vervangen door een substitutiewaarde door toepassing van de Volkert-Bakker-formule. De substitutiewaarde wordt berekend door het percentage waarnemingen hoger dan de detectiegrens te vermenigvuldigen met de detectiegrens. Op deze wijze benadert de substitutiewaarde nul als bijna alle waarnemingen onder de detectiegrens, en benadert de substitutiewaarde de detectiegrens als bijna alle bijna alle waarnemingen boven de detectiegrens zijn. Uitleg over de VolkertBakker-methode wordt gegeven in STOWA-rapport 2015-38 en 2013-W01.

BEREKENING GEMIDDELDE GEWOGEN PFAS CONCENTRATIES

Van elke rwzi zijn de gemiddelde gewogen PFAS concentraties bepaald en niet de rekenkundig gemiddelde concentraties. Dit is als volgt gebeurd: per dag en per stof zijn de dagvrachten bepaald. Hiervan is het gemiddelde berekend over de negendaagse bemonsteringsperiode. De gemiddelde dagvracht is vervolgens gedeeld door het gemiddeld bemonsteringsdagdebiet.

Wanneer het rekenkundig in plaats van het gewogen gemiddelde wordt bepaald dan wordt een vertekend beeld verkregen. Immers op rwa-dagen worden, door verdunning met regenwater, vaak lagere gehalten gevonden.

OMGAAN MET NIET VOLLEDIGE MEETREEKSEN INFLUENT EN EFFLUENT

Niet voor alle locaties was er sprake van een aaneengesloten meetreeks van negen dagen. Voor ontbrekende monsters is in de meeste gevallen het rekenkundig gemiddelde gebruikt van de waarnemingen van de monsters van de overige dagen.

In de reeks van Bath-influent ontbreken twee monsters. Als substituuat voor het eerste monster is het rekenkundig gemiddelde gebruikt van de waarnemingen van de dagen daarvoor. De tweede waarneming heeft betrekking op een rwa-situatie. Op deze dag en de dagen erna was sprake van verdunde influent. Om deze reden zijn de rekenkundige gemiddelde concentraties van deze dagen als substituuat gebruikt voor de ontbrekende waarneming.

De gemiddelde concentraties zijn vervolgens vermenigvuldigd met de 24-uursdebieten om de stofvrachten te berekenen.

SLIBGEHALTEN

Het laboratorium heeft de resultaten van de slibmonsters gerapporteerd in zowel ug/kg az (als zodanig) en als ug/kg ds. In deze laatste is het drogestofgehalte (indamprest) betrokken en is dus feitelijk het rekenresultaat van twee analysesoorten. In de berekeningen is zo lang mogelijk met gehalten in ug/kg az gerekend, waarna de gehalten aan het eind zijn omgerekend naar ug/kg ds. In de berekeningen is uitgegaan van de werkelijk gemeten drogestofgehalten van de slibmonsters tijdens de monsterperiode.

SLIBPRODUCTIE

Voor de slibproductie van de rwzi's Dordrecht, Bath en Aarle Rixtel is uitgegaan van de werkelijk slibproductie. Voor de rwzi's Lelystad, Piershil, Asten, Hapert en Hattem is uitgegaan van de jaarproductie 2020, verkregen uit de Z-info database. De reden daarvoor is dat de slibproducties in de bemonsteringsperiode sterk schommelden en soms sterk afweken van de jaarproductie. Een sterk schommelende slibproductie komt op kleinere rwzi's regelmatig voor. Dat komt doordat de slibverwerking niet continu in bedrijf is. Bovendien wordt ook niet elke dag slib afgevoerd. Het zal duidelijk zijn dat de feitelijke slibaangroei in de waterlijn wel een continu proces is.

VRACHT BEREKENINGEN

Op basis van de gewogen gemiddelde concentraties en de gemiddelde bemonsteringsdagdebieten zijn de gemiddelde dagvrachten berekend van het influent en effluent.

De gemiddelde PFAS-vrachten van het slib (en zeefgoed) zijn als volgt berekend. Het beperkte aantal PFAS-waarnemingen, meestal drie en uitgedrukt in ug/kg az, zijn rekenkundig gemiddeld. Deze waarden zijn toegepast op alle dagen van de bemonsteringsperiode waarop geen monster is genomen. Voor de slibproductie is uitgegaan van de werkelijke dagproductie (Dordrecht, Bath en Aarle Rixtel) en van de Z-info dagproductie van de overige rwzi's. Vervolgens is per PFAS-verbinding de dagvracht berekend. De dagvracht is gemiddeld over de negendaagse periode.

SOMPARAMETERS

De water- en slibmonsters zijn geanalyseerd op 35 PFAS-verbindingen. Deze 35 individuele verbindingen zijn, ten behoeve van nadere analyse, verdeeld in vijf groepsparameters. Te weten:

1. PFAS35: de sommatie van alle 35 PFAS-verbindingen;
2. PFOA: PFOA en PFOA br;
3. PFOS: PFOS en PFOS br;
4. PFCA (C4-C7): de optelsom van PFBA, PFPeA, PFHxA en PFHpA, die allen behoren tot de stabiele PFCAs-verbindingen;
5. Stabiele PFAS: de optelsom van PFCA's en PFSA's
6. Precursors: de optelsom van 42FTS, 62FTS, 82FTS, 102FTS, 82diPAP, MeFOSAA, N-EtFOSAA, FOSA, N-MeFOSA, EtFOSA, 9ClPF3OUdS, 11ClPF30UdS.

OVERZICHTEN

Doordat met de voorgaande beschreven methode de dagvrachten (influent, effluent en slib) zijn bepaald kan per rwzi een overzicht worden opgesteld. Het betreft een overzicht waarin de ingaande hoeveelheden (influent) met de uitgaande hoeveelheden (effluent, slib en eventueel zeefgoed) worden vergeleken. De overzichten zijn met behulp van zogenaamde Sankeydiagrammen gevisualiseerd.

BIJLAGE 7

DOOR CHEMOURS AANGELEVERDE INFORMATIE

TABEL 1 GEMIDDELDE CONCENTRATIE HPFO-DA (IN NG/L) IN HET AFVALWATER VAN CHEMOURS

Periode	Aantal metingen	Gemiddelde concentratie HPFO-DA	Gemiddelde concentratie HPFO-DA, berekend volgens de Baltussen-methode
18-11-2018 t/m 05-07-2021	317	757	754
2018 - 2019	238	912	910
2020	51	395	378
2021 (t/m 5-7)	28	97	109

De jaardebiten bedroegen 366.957 m³ (2019) en 313.746 m³ (2020). Dit resulteert in een vracht van 334 en 119 gram HPFO-DA per jaar.

BIJLAGE 8

VRACHTEN PER INWONEREQUIVALENT VOOR VERSCHILLENDE STOF(GROEPEN)

Immissie- en emissiefactoren in influent, effluent en zuiveringsslib in µg per inwonerequivalent per dag.

De kleuren zijn bedoeld om de verschillen tussen de locaties zichtbaar te maken, en hebben verder geen bijzondere betekenis.

PFAS-EMISSIONFACTOREN IN MG/IE150 PER JAAR

mate van belasting met PFAS(35)		Dordrecht	Bath	Aarle Rixtel	Lelystad	Piershil	Asten	Hapert	Hattem
		hoog	hoog	matig	matig	matig	laag	laag	laag
PFAS(35)									
immissiefactor	mg/IE150/j	52	39	4,6	1,3	6,3	0,54	1,2	0,78
effluent emissiefactor	mg/IE150/j	54	41	7,5	5,6	5,4	0,88	1,7	0,92
slib emissiefactor	mg/IE150/j	2,0	1,1	1,5	2,7	0,47	0,62	0,54	0,33
zeefgoed emissiefactor	mg/IE150/j			0,01					
PFOA									
immissiefactor	mg/IE150/j	17	0,9	0,8	0,1	1,0	0,08	0,14	0,06
effluent emissiefactor	mg/IE150/j	21	1,1	0,9	0,2	1,1	0,16	0,20	0,12
slib emissiefactor	mg/IE150/j	0,5	0,01	0,1	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
zeefgoed emissiefactor	mg/IE150/j			0,0005					
PFOS									
immissiefactor	mg/IE150/j	1,8	2,4	0,4	0,4	1,4	0,13	0,11	0,14
effluent emissiefactor	mg/IE150/j	1,8	2,6	0,2	1,3	0,70	0,16	0,06	0,07
slib emissiefactor	mg/IE150/j	0,4	0,3	0,2	1,2	0,13	0,30	0,05	0,04
zeefgoed emissiefactor	mg/IE150/j			0,0010					
PFCA (C4-C7)									
immissiefactor	mg/IE150/j	9,0	15	1,0	0,3	2,6	0,12	0,27	0,26
effluent emissiefactor	mg/IE150/j	7,9	10	2,9	2,0	2,5	0,4	0,80	0,45
slib emissiefactor	mg/IE150/j	0,1	0,0	0,6	0,03	0,02	0,03	0,04	0,01
zeefgoed emissiefactor	mg/IE150/j			0,0029					
precursors (12)									
immissiefactor	mg/IE150/j	1,9	16	0,70	0,35	0,11	0,14	0,54	0,19
effluent emissiefactor	mg/IE150/j	2,4	21	2,1	1,7	0,11	0,06	0,54	0,22
slib emissiefactor	mg/IE150/j	0,6	0,63	0,32	1,2	0,13	0,15	0,27	0,21
zeefgoed emissiefactor	mg/IE150/j			0,0049					

BIJLAGE 9

ZUIVERINGSRENDEMENTEN

Berekende zuiveringsrendementen, op basis van gewogen gemiddelde concentraties over de gehele monsterperiode (zie kader voor motivatie). Alleen aangetroffen stoffen zijn opgenomen. Groene kleuren duiden op een verwijdering van de betreffende stof, rode kleuren op negatieve rendementen (dus een toename van de concentratie in het effluent). Hoe donkerder de kleuren, hoe hoger (groen) of lager (rood) het rendement.

			Dordrecht	Bath	Aarle Rixtel	Lelystad	Piershil	Asten	Hapert	Hattem
Mate van belasting met PFAS >			hoog	hoog	matig	matig	matig	laag	laag	laag
Perfluoroalkyl										
carboxylzuren (PFCAs)	C4	PFBA	-0,2%	78%	-151%	-215%	-20%	4%	-93%	-69%
	C5	PFPeA	-20%	-117%	-304%	-793%	-68%	-253%	-649%	-45%
	C6	PFHxA	38%	-70%	-121%	-319%	37%	-34%	-104%	-121%
	C7	PFHpA	-39%	-40%	-131%	-1696%	11%	-207%	-190%	
	C8	PFOA	-20%	-22%	-7%	-259%	-6%	-25%	-43%	-134%
	C8	PFOA br	-118%	-76%	-34%		-61%			
	C9	PFNA	-57%	-41%	-57%		-18%	-251%		
	C10	PFDA	-162%	-40%	8%	-602%	4%	-11%	-32%	100%
Perfluoroether										
carboxylzuren (PFECAs)		HFPO-DA	10%	-14%	18%		6%	100%		100%
Perfluoroalkyl										
sulfonzuren (PFSAs)	C4	PFBS	1%	-26%	4%	-114%	15%	-92%	12%	19%
	C5	PFPeS	-15%	-32%			-3%			
	C6	PFHxS	-5%	-32%	37%	11%	24%	100%	84%	100%
	C7	PFHpS	-60%	-35%						
	C8	PFOS	-24%	-21%	21%	-357%	8%	-46%	-138%	-47%
	C8	PFOS br	14%	5%	56%	-92%	62%	44%	70%	67%
Fluortelomeer sulfonzuren (FTS) (precursors)										
		62FTS	-42%	-37%	-233%	-451%	-64%	31%	2%	21%
		82FTS	-148%	-35%	-28%	-178%	100%	60%	-1%	-335%
Perfluoralkaansulfonamides (precursors)										
		MeFOSAA	31%							
		N-EtFOSAA	52%	33%	100%	100%		100%		
		FOSA	100%	-74%						
PFAS (n=35)			-5%	-4%	-64%	-342%	15%	-6%	-41%	-33%

Berekening van zuiveringsrendementen van gidsstoffen – en betekenis voor het onderzoek naar PFAS in rwzi's

Binnen de Ketenaanpak Medicijnresten uit Water worden diverse rwzi's uitgebreid met vergaande zuiveringstechnieken. Het Ministerie van IenW geeft via de Bijdrageregeling 'Zuivering medicijnresten' financiële ondersteuning voor het in bedrijf nemen van demo-installaties. Aan deze bijdrageregeling is een monitoringverplichting gekoppeld van gidsstoffen (voornamelijk medicijnen) en effecten. Er is discussie ontstaan over de meest geschikte methode om een betrouwbaar verwijderingsrendement te berekenen voor gidsstoffen in het bijzonder en microverontreinigingen in het algemeen (STOWA, 2020). Met de gebruikelijke methode van simultaan genomen 24 uurs monsters worden zeer variabele en vaak negatieve rendementen gevonden. Met de voor gidsstoffen voorgeschreven methode van 48 uurs monsters waarbij rekening wordt gehouden met de verblijftijd in de zuivering (Nieuwenhuis & van den Berg, 2021) wordt dit verschijnsel weliswaar minder, maar verdwijnt niet. Uitgebreid onderzoek (Schuman et al., 2021) heeft aangetoond dat variaties in het zuiveringsrendement in ieder geval deels verklaard kunnen worden door de goede menging in de actief slibtank, regenperiodes en fluctuaties in influentconcentraties. Het effect van fluctuaties in de influentconcentratie werkt nog enkele dagen door in het effluent, waarbij extremen worden afgevlakt. Dit effect wordt grotendeels ondervangen door de zuiveringsrendementen te berekenen op basis van het gemiddelde van de gewogen concentraties voor een langere meetperiode (bijvoorbeeld een week).

BIJLAGE 10

GRAFISCHE WEERGAVE VRACHTEN INFLUENT, EFFLUENT EN SLIB (SANKEY DIAGRAMMEN)

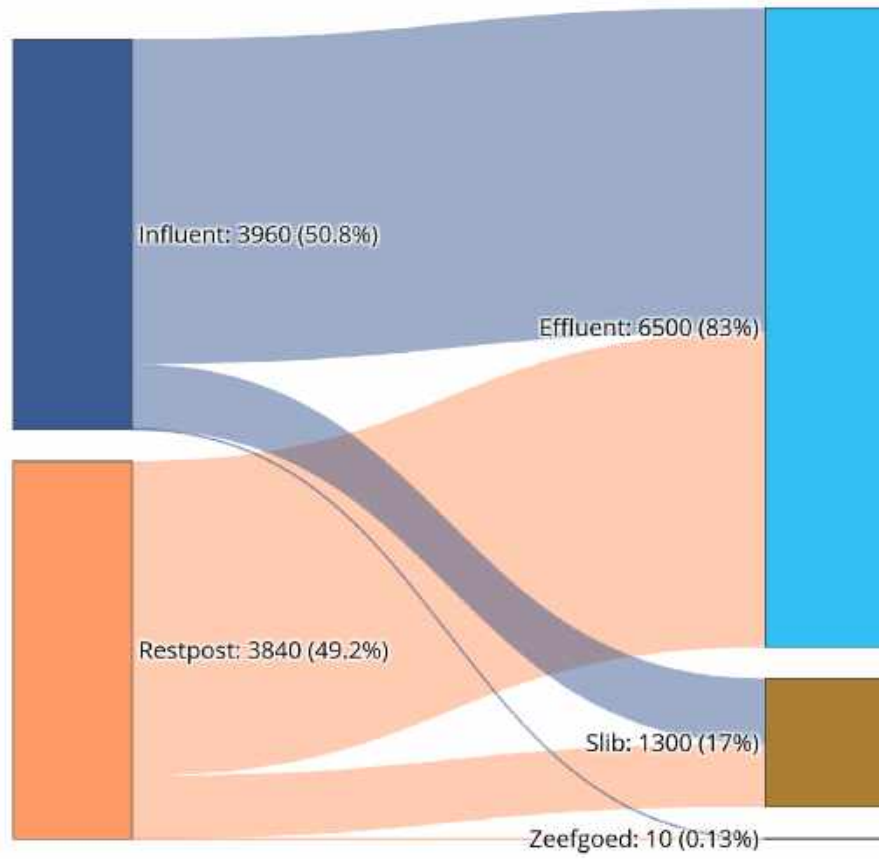
In deze bijlage worden de vrachten in ingaande en uitgaande stromen nader beschouwd aan de hand van Sankey diagrammen. In een Sankey diagram wordt de herkomst en bestemming van vrachten PFAS in ingaande (links) en uitgaande (rechts) stromen weergegeven. Een verschil tussen de totale ingaande en uitgaande stroom wordt als restpost weergegeven.

In deze bijlage staan de Sankey diagrammen van rwzi Bath, Aarle-Rixtel, Asten, Hapert en Hattem. De Sankey diagrammen van rwzi Dordrecht, Lelystad en Piershil staan in hoofdstuk 7.

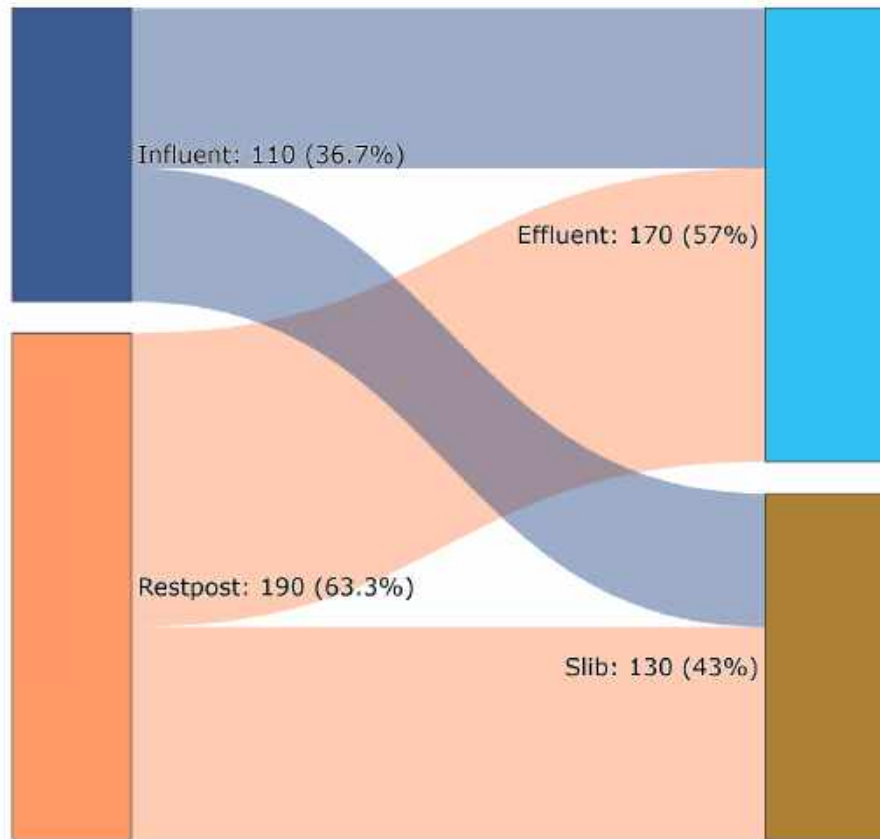
RWZI Bath PFAS(35) | Vracht (mg/d)



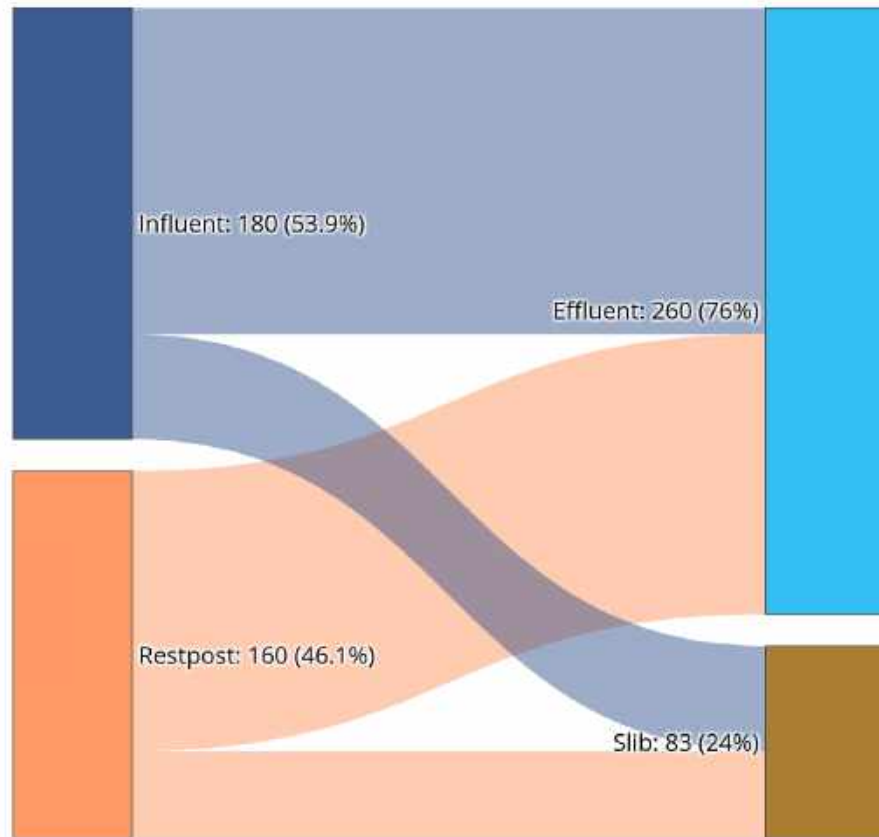
RWZI Aarle-Rixtel PFAS(35) | Vracht (mg/d)



RWZI Asten PFAS(35) | Vracht (mg/d)



RWZI Hapert PFAS(35) | Vracht (mg/d)



RWZI Hattem PFAS(35) | Vracht (mg/d)



BIJLAGE 11

VERGELIJKING CONCENTRATIES MET NORMEN

Vergelijking van concentraties met normen is een manier om de hoogte van de aangetroffen concentraties te duiden. Echter, er zijn in Nederland geen normen voor PFAS in afvalwater of zuiveringsslib. Er zijn wel normen voor PFAS in oppervlaktewater en (bronnen voor) drinkwater. Deze normen zijn niet bedoeld voor afvalwater. Bij gebrek aan beter worden ze hier toch gebruikt om de gevonden concentraties te duiden en in perspectief te plaatsen.

TABEL 1 VERGELIJKING CONCENTRATIES IN INFLUENT, EFFLUENT EN BIJZONDERE AFVALWATERSTROMEN (NG/L) MET NORMEN VOOR OPPERVLAKTEWATER (PFOA, HFPO-DA EN PFOS) OF WATER BEDOELD VOOR DE MENSELIJKE CONSUMPTIE (SOM PFAS EN PFAS TOTAAL). CONCENTRATIES DIE HOGER ZIJN DAN DE NORM ZIJN GEARCEERD. DE NORM VOOR SOM VAN PFAS BETREFT DE SOM VAN 20 STOFFEN, NAMELIJK C4 - C13 PFCA'S (WAARONDER PFOA) EN C4 - C13 PFSA'S (WAARONDER PFOS). DE NORM VOOR PFAS TOTAAL BETREFT DE SOM VAN ALLE PER- EN POLYFLUORALKYLSTOFFEN. OW = OPPERVLAKTEWATER, DW = DRINKWATER. PFOA EN PFOS HEBBEN BETREKKING OP DE SOM VAN DE LINEAIRE EN VERTAKTE FORM. BIJ CHENOJURS IS ONDERSCHIED GEMAAKT TUSSEN DE HELE PERIODE (CHEGEM), DE PERIODE MET LAGE CONCENTRATIES (CHELAAG) EN DE PERIODE MET HOGE CONCENTRATIES (CHEHOOG)

Stof(fen)	Norm (ng/l)	Matrix	DOR		BAT		AAR		LEL		PIE		AST		HAP		HAT		HVCara	HVCdov	HVCsvi	CHEgem	CHElaag	CHEhoog
			inf	hoog	inf	hoog	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff						
PFOA	48	OW	228	273	12	15	13	14	1,6	5,9	12,6	11,9	3,1	3,9	3,2	4,5	0,9	2,3	0,8	5761	1,4	0,8	0,7	0,9
HFPO-DA	118	OW	194	179	2,4	2,9	16	15	0,0	0,0	0,9	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,1	1400	0,2	3448	10	5167
PFOS	0,65	OW	24	23	33	34	6,0	3,2	10	30	7,9	16	3,0	2,7	2,6	1,3	2,6	1,3	0,0	21	0,0	0,0	0,0	0,0
som PFAS	100	OW/DW	457	477	368	263	43	73	22	94	61	72	13	17	15	26	10	13	25	6163	8,2	6,1	2,0	8,2
PFAS totaal	500	OW/DW	676	687	617	555	70	120	31	134	64	75	16	18	27	38	13	17	27	7599	80	3456	13	5177

mate van belasting
met PFAS>

BIJLAGE 12

RELATIEVE POTENTIEFACTOREN

RELATIEVE POTENTIE FACTOREN (RPF)

Relatieve potentie factoren (RPF) voor PFAS, d.w.z. de potentie uitgedrukt ten opzichte van PFOA.

C_n = aantal koolstofatomen in de gefluoreerde koolstofketen

Vetgedrukte waarden zijn afgeleid op basis van semi-chronische levertoxiciteit in mannelijke ratten.

Cursief gedrukte waarden zijn afgeleid door middel van read across (d.w.z. afgeleid op basis van vergelijking met stoffen waarvoor de RPF wel bekend is), en kennen daarom een boven- en een ondergrens. Uit voorzorg is voor deze stoffen de bovengrens meegenomen in de berekeningen.

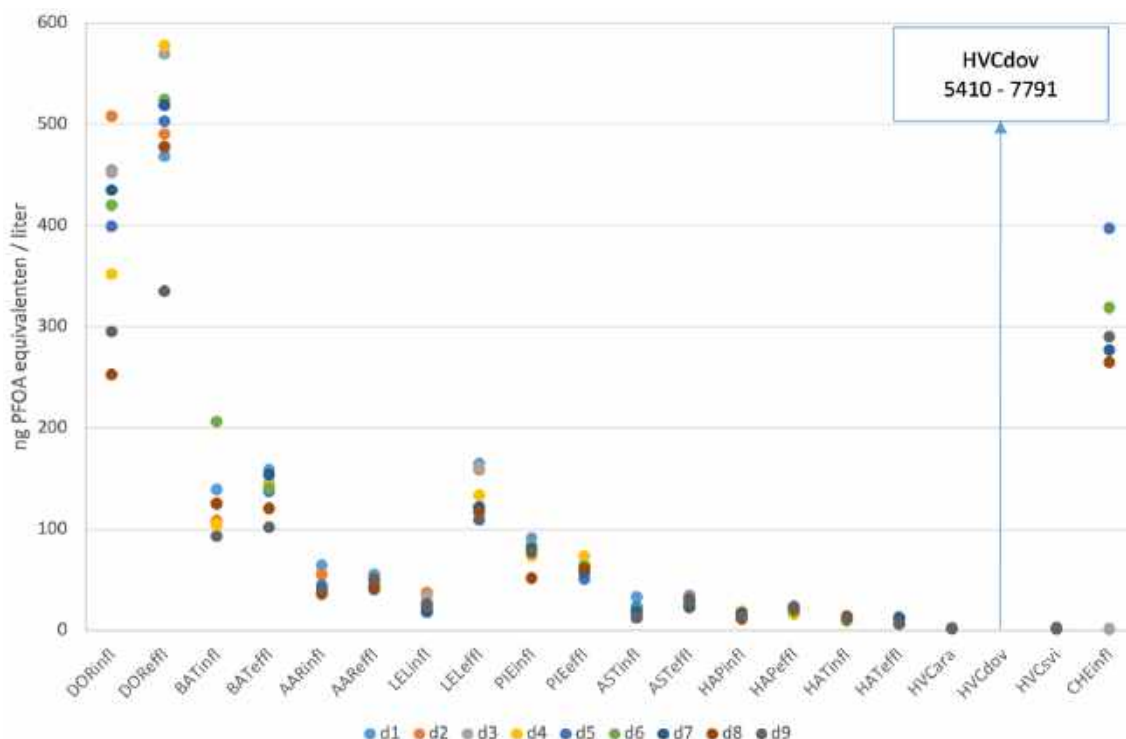
NB Telomeer alcoholen zijn in dit onderzoek niet geanalyseerd, maar worden voor de volledigheid wel vermeld. Uit: Bil et al. (2021).

Stofnaam	C _n	Afkorting VU	CAS-nr	Relatieve Potentie Factor	
				laag	hoog
Perfluoroalkyl carboxylzuren (PFCAs)					
Perfluorbutaanzuur	C4	PFBA	375-22-4	0,05	0,05
Perfluorpentaanzuur	C5	PFPeA	2706-90-3	0,01	0,05
Perfluorhexaanzuur	C6	PFHxA	307-24-4	0,01	0,01
Perfluorheptaanzuur	C7	PFHpA	375-85-9	0,01	1
Perfluoroctaanzuur, lineair	C8	l-PFOA	335-67-1	1	1
Perfluoroctaanzuur, vertakt	C8	br-PFOA	NVT	1	1
Perfluornonaanzuur	C9	PFNA	375-95-1	10	10
Perfluordecaanzuur	C10	PFDA	335-76-2	4	10
Perfluorundecaanzuur	C11	PFUnDA	2058-94-8	4	4
Perfluordodecaanzuur	C12	PFDoA	307-55-1	3	3
Perfluortridecaanzuur	C13	PFTrDA	72629-94-8	0,3	3
Perfluortetradecaanzuur	C14	PFTeDA	376-06-7	0,3	0,3
Perfluorhexadecaanzuur	C16	PFHxDA	67905-19-5	0,02	0,02
Perfluoroctadecaanzuur	C18	PFODA	16517-11-6	0,02	0,02
Perfluoroalkyl sulfonzuren (PFSAs)					
Perfluorbutaansulfonaat	C4	PFBS	375-73-5	0,001	0,001
Perfluorpentaansulfonaat	C5	PFPeS	2706-91-4	0,001	0,6
Perfluorhexaansulfonaat	C6	PFHxS	355-46-4	0,6	0,6
Perfluorheptaansulfonaat	C7	PFHpS	375-92-8	0,6	2
Perfluoroctaansulfonaat, lineair	C8	l-PFOS	1763-23-1	2	2
Perfluoroctaansulfonaat, vertakt	C8	br-PFOS	NVT	2	2
Perfluordecaansulfonaat	C10	PFDS	335-77-3	2	2
Perfluoroether carboxylzuren (PFECAs)					
2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionzuur		HFPO-DA	13252-13-6	0,06	0,06
Ammonium dodecafluor-3H-4,8-dioxanonanoaat		ADONA	958445-44-8	0,03	0,03
Telomeer alcoholen					
1H,1H,2H,2H-perfluorocanol		6:2FTOH	647-42-7	0,02	0,02
1H,1H,2H,2H-perfluordecanol		8:2FTOH	678-39-7	0,04	0,04

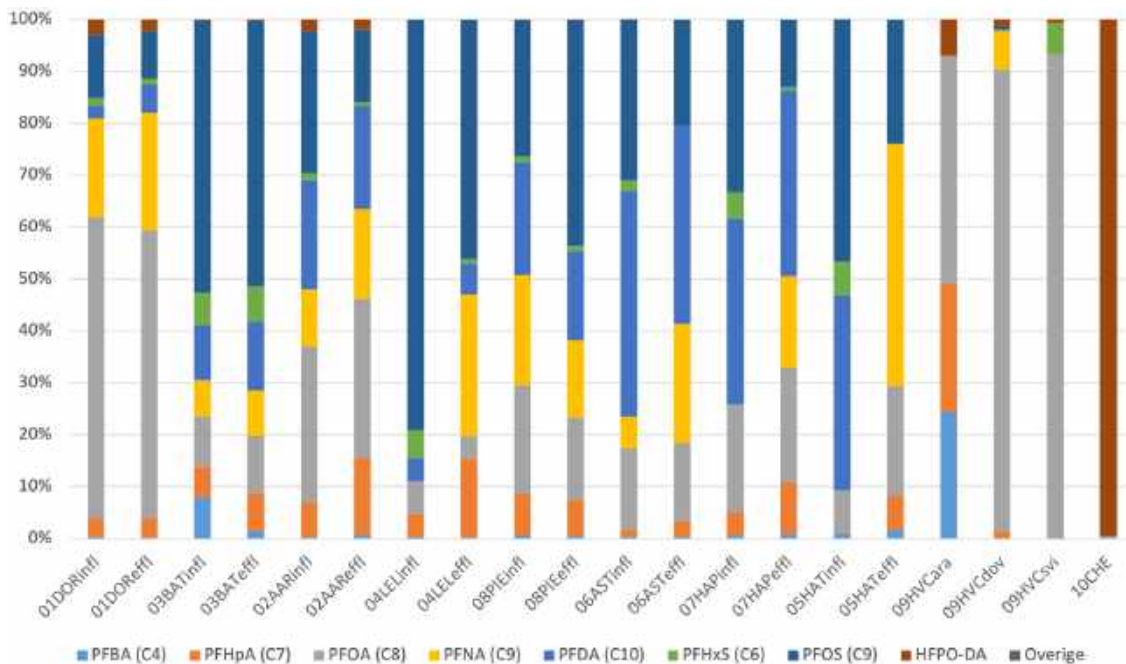
BIJLAGE 13

BEREKENDE CONCENTRATIE IN PFOA-EQUIVALENTEN

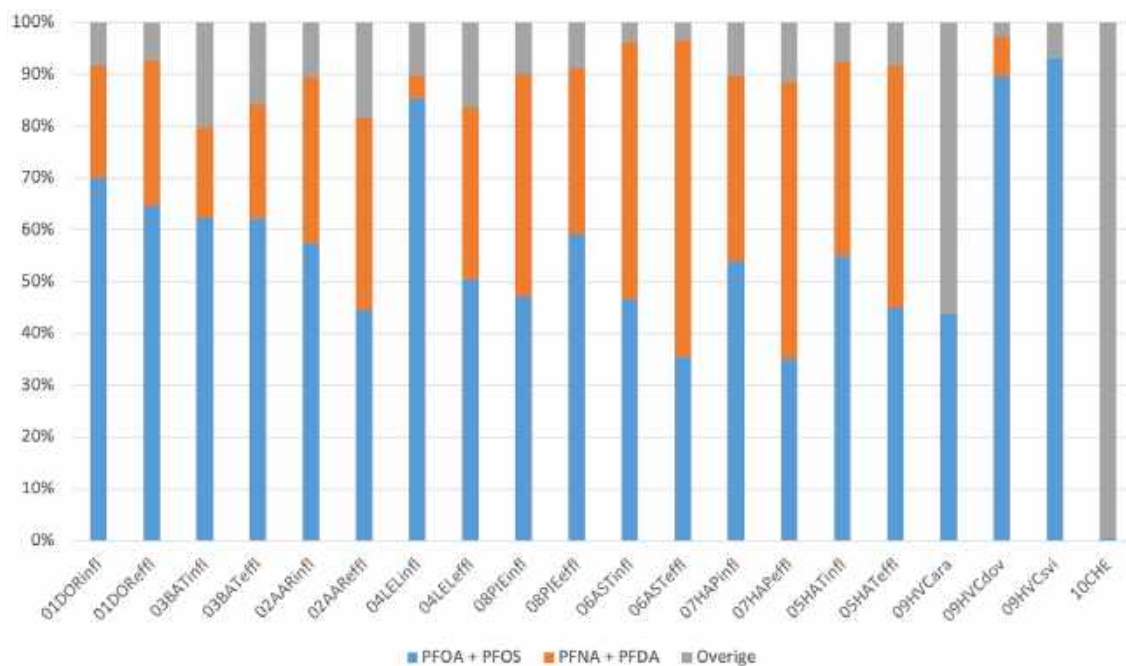
FIGUUR 1 CONCENTRATIES IN AFVALWATER, UITGEDRUKT IN NG PFOA-EQUIVALENTEN PER LITER VOOR DE VERSCHILLENDE MONSTERDAGEN (D1 T/M D9). VOOR STOFFEN WAARVOOR DE RPF IS AFGELEID OP BASIS VAN READ ACROSS IS MET DE BOVENRENS GEREKEND (D.W.Z. WORST CASE)



FIGUUR 2 RELATIEVE BIJDRAGE AAN DE CONCENTRATIE IN PFOA-EQUIVALENTEN IN INFLUENT EN EFFLUENT (ALLE STOFFEN)



FIGUUR 3 RELATIEVE BIJDRAGE AAN DE CONCENTRATIE IN PFOA-EQUIVALENTEN IN INFLUENT EN EFFLUENT (VIER STOFFEN MET DE GROOTSTE BIJDRAGE)



BIJLAGE 14

INDICATIEVE BEREKENING VRACHTEN PFAS IN SLIB DOOR SLIBEINDVERWERKERS

De slibeindverwerkers SNB, GMB en HVC hebben gegevens aangeleverd over concentraties en vrachten PFAS in het door hen verwerkte slib. In alle gevallen betreft het gemengd slib van meerdere rwzi's. De oorsprong van het slib varieert van meer landelijk gelegen rwzi's (GMB) tot de hoog met PFAS belaste rwzi Dordrecht (HVC). De vrachten zijn gebaseerd op verschillende analysepakketten en kunnen daarom niet een op een met elkaar vergeleken worden: ze moeten als indicatief worden beschouwd. Er is gerekend met een landelijke slibproductie van 1.418.000 ton ds/jaar (peiljaar 2017). Gehalten onder de rapportagegrens zijn op nul gesteld.

SNB

Het slib dat door SNB wordt verwerkt bevat gemiddeld 7,4 kg PFAS/jaar (bij de laagste waarde is de rapportagegrens op nul gesteld, bij de hoogste waarde is gerekend met de rapportagegrens). Jaarlijks wordt ongeveer 435.000 ton slibkoek verwerkt. Vertaald naar heel Nederland is de jaarlijkse vracht 24 kg PFAS/jaar.

GMB

GMB verwerkt zuiveringsslib tot biogranulaat. In 2020 werd 203.000 ton rwzi slib verwerkt. Daaruit werd circa 65.000 ton biogranulaat geproduceerd. In dit biogranulaat is een gemiddeld gehalte van 37 µg PFAS/kgds gemeten. Dit komt overeen met een vracht van 2,4 kg PFAS/jaar. Vertaald naar heel Nederland is de jaarlijkse vracht 17 kg PFAS/jaar.

HVC

Jaarlijks wordt door HVC ongeveer 80.000 ton slib verwerkt: 40.000 ton verwerkt in sliblijn 1 t/m 3 en ongeveer 40.000 ton in sliblijn 4. Meetgegevens van door HVC verwerkt zuiveringsslib zijn opgenomen in bijlage 15. Het pakket gemeten stoffen is breder dan in het huidige onderzoek. In de berekeningen zijn alleen de PFAS meegenomen die ook in het huidige onderzoek zijn gemeten. Sliblijn 3 en 4 zijn tweemaal bemonsterd, sliblijn 1 en 2 eenmaal. Voor lijn 4 bedraagt het gemiddelde gehalte (over twee metingen) 36 µg PFAS/kgds, wat overeenkomt met een vracht van 1,44 kg/jaar. Voor lijn 1 t/m 3 is eerst het gehalte voor sliblijn 3 gemiddeld en vervolgens is het gemiddelde voor sliblijn 1 t/m 3 berekend. Dit gemiddelde bedraagt 41 µg PFAS/kgds, wat overeenkomt met 1,64 kg/jaar. De totale vracht in het door HVC verwerkte slib bedraagt 3,08 kg PFAS/jaar. Vertaald naar heel Nederland is de jaarlijkse vracht 54 kg PFAS/jaar.

BIJLAGE 15

NEDERLANDSE ONDERZOEKEN NAAR BRONNEN VAN PFAS

In Nederland zijn en worden diverse onderzoeken uitgevoerd naar bronnen van PFAS. Het onderzoek naar PFAS in rwzi's is een van die onderzoeken. Onderstaand figuur geeft een overzicht van de studies.



De resultaten van het onderzoek naar Bronnen van PFAS voor het Nederlandse oppervlaktewater zijn gepubliceerd in Jans & Berbee (2020), die van PFAS in producten en afvalstromen in Pancras et al (2021). Het onderzoek naar PFAS in voedselcontactmaterialen is deels afgerond (BuRO, 2020), maar wordt nog vervolgd. Het onderzoek naar PFAS in grond en grondwater, de Brede screening naar PFAS in drinkwater(bronnen) en het onderzoek naar PFAS in bouwstoffen zijn nog niet afgerond.

BIJLAGE 16

ANALYSERESULTATEN ZUIVERINGSSLIB HVC

Resultaten van slibanalyses door HVC tijdens de meetcampagne “PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib van rwzi’s” (metingen 2020), en metingen uit 2019. Concentraties in $\mu\text{g}/\text{kgds}$.

De analyses hebben betrekking op een mix van slib van alle rwzi’s uit Zuid-Holland. In lijn 4 wordt vooral het slib verbrand van de hele grote rwzi’s met slibgisting, zoals Dokhaven, Harnaspolder en Houtrust. In de lijnen 1, 2 en 3, die vanuit één bunker worden gevoed, gaat het met name om slib uit oxidatiesloten (afkomstig van de kleinere rwzi’s) en van rwzi Dordrecht.

TABEL 3 SAMENVATTING VAN DE AANGETROFFEN CONCENTRATIES IN DE VERSCHILLENDE AANVOERLIJNEN VAN HET ZUIVERINGSSLIB BIJ HVC

Naam stofgroep overgenomen uit het kennisdocument PFAS van het PFAS Expertisecentrum (Pancras et al., 2018)

Cn = aantal koolstofatomen in de gefluoreerde koolstofketen

Het analysepakket is uitgebreider dan in de meetcampagne 'PFAS in rwzi's'. De extra gemeten stoffen zijn apart vermeld onder de tabel.

Kleurcodering slib

< Limit of Detection (detectiegrens)	
< Limit of Quantification (rapportagegrens)	
<1 µg/kgds	
1-10 µg/kgds	
10-100 µg/kgds	

Stofnaam	Cn	Afkorting	Bemonsterde lijn datum start datum eind	Lijn 4		Lijn 3		Lijn 2		Lijn 1		Lijn 4	
				23-9-19 10u	24-9-19 08u	23-9-19 10u	24-9-19 08u	3-11-20 10u	4-11-20 08u	4-11-20 10u	5-11-20 08u	5-11-20 10u	6-11-20 08u
Perfluoroalkyl carboxylzuren (PFCA's)													
Perfluorbutaanzuur	C4	PFBA	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluorpentaanzuur	C5	PFPeA	µg/kg DS	<0,1	<2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluorhexaanzuur	C6	PFHxA	µg/kg DS	0,2	0,6	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7	0,7
Perfluorheptaanzuur	C7	PFHpA	µg/kg DS	<0,1	<0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluoroctaanzuur, lineair	C8	PFOA	µg/kg DS	0,4	2,9	2,4	2,2	2,4	2,2	2,8	2,8	2,5	2,5
Perfluoroctaanzuur, vertakt	C8	PFOA br	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluornonaanzuur	C9	PFNA	µg/kg DS	0,1	1,0	0,7	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9
Perfluordecaanzuur	C10	PFDA	µg/kg DS	0,9	4,5	2,7	2,0	2,7	2,0	2,7	2,7	2,8	2,8
Perfluorundecaanzuur	C11	PFUnDA	µg/kg DS	0,3	1,8	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3	1,7	1,7
Perfluordodecaanzuur	C12	PFDoDA	µg/kg DS	0,6	2,9	2,4	2,1	2,4	2,1	3	3	3,7	3,7
Perfluortridecaanzuur	C13	PFTriDA	µg/kg DS	<0,1	<0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	0,4	<0,3	<0,3
Perfluortetradecaanzuur	C14	PFTeDA	µg/kg DS	0,2	<0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,9	0,9
Perfluorhexadecaanzuur	C16	PFHxDA	µg/kg DS	<0,1	<0,5	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluorotaidecaanzuur	C18	PFODA	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluoroether carboxylzuren (PFECAs)													
Tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy) propaanzuur	C4	HFPO-DA	µg/kg DS	<0,1	0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Dodecafluor-3H-4,8-dioxanonanoaat	C4	DONA	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluoroalkyl sulfonzuren (PFSAs)													
Perfluorbutaansulfonaat	C4	PFBS	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluorpentaansulfonaat	C5	PFPeS	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluorhexaansulfonaat	C6	PFHxS	µg/kg DS	<0,1	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluorheptaansulfonaat	C7	PFHpS	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Perfluoroctaansulfonaat, lineair	C8	PFOS	µg/kg DS	2,7	13	14	12	14	12	15	15	25	25
Perfluoroctaansulfonaat, vertakt	C8	PFOS br	µg/kg DS	0,3	1,5	1,7	1,2	1,7	1,2	2,2	2,2	3,6	3,6

Stofnaam	Cn	Afkorting	Bemonsterde lijn datum start datum eind	Lijn 3		Lijn 2		Lijn 1		Lijn 4	
				23-9-19 10u 24-9-19 08u	3-11-20 10u 4-11-20 08u	4-11-20 10u 5-11-20 08u	5-11-20 10u 6-11-20 08u	6-11-20 10u 9-11-20 10u	9-11-20 10u 10-11-20 08u		
Perfluordecansulfonaat	C10	PFDS	µg/kg DS	<0,1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Fluortelomeer sulfonzuren (precursors)											
4:2 Fluortelomeer sulfonzuur		42FTS	µg/kg DS	<0,1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
6:2 Fluortelomeer sulfonzuur		62FTS	µg/kg DS	1,2	4,3	0,7	0,4	0,7	2,0	2,0	2,0
8:2 Fluortelomeer sulfonzuur		82FTS	µg/kg DS	1,6	9,4	2,3	1,3	1,9	2,4	2,4	2,4
10:2 Fluortelomeer sulfonzuur		102FTS	µg/kg DS	1,6	3,1	3,5	2,4	3,7	3,8	3,8	3,8
Polyfluoralkyl fosforzuur diesters (precursors)											
8:2 Fluortelomeer fosfaatdiester		82diPAP	µg/kg DS	0,5	<2,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
Perfluoralkaansulfonamides (precursors)											
Perfluorctaansulfonamide-(N-Methyl)acetaat		MeFOSAA	µg/kg DS	<0,1	<0,2	2,5	2,1	2,7	2,6	2,6	2,6
Perfluorctaansulfonamide-(N-Ethyl)acetaat		N-EtFOSAA	µg/kg DS	2,0	5,5	3,8	2,8	3,9	3,8	3,8	3,8
Perfluorctaansulfonamide		FOSA	µg/kg DS	<0,1	<0,6	0,8	0,6	0,9	0,7	0,7	0,7
Methylperfluorctaansulfonamide		N-MeFOSA	µg/kg DS	1,8	5,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Ethylperfluorctaansulfonamide		EtFOSA	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Overige PFAS											
9-chloorhexadecafluor-3-oxanonaan-1-sulfonaat		9ClPF30UdS	µg/kg DS	<0,1	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
11-chlooricoosaanfluor-3-oxaundecaan-1-sulfonaat		11ClPF30UdS	µg/kg DS	-	-	-	-	-	-	-	-
Afkorting Analytico											
8:2 fluortelomeer onverzadigd carbonzuur		-	µg/kg DS	<0,4	<0,8	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
perfluorbutaansulfonamide		PFBSA	µg/kg DS	<0,1	1,0	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
N-methylperfluorbutaansulfonamide		MeFBSA	µg/kg DS	<0,4	<0,8	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
perfluorbutaansulfonamide(N-methyl)azijnzuur		MeFBSAA	µg/kg DS	0,7	0,8	2,3	1,3	1,6	2,3	2,3	2,3
7H-perfluorheptaanzuur		HPFHpA	µg/kg DS	<0,4	<0,8	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
2H,2H,3H,3H-perfluorundecaanzuur		H4PFUnA	µg/kg DS	0,4	1,3	<1,2	1,4	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
perfluor-3,7-dimethyloctaanzuur		PF-3,7-DMOA	µg/kg DS	<1,0	<2,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
som lineair en vertakte perfluorctaanzuur		-	µg/kg DS	0,5	<3,0	2,4	2,2	2,8	2,5	2,5	2,5
som lineair en vertakte perfluorctylsulfonaat		-	µg/kg DS	3,0	14	16	13	17	28	28	28
Organische stof			% (m/m)	66,6	68,3	70,3	niet gemeten	70,3	65,0	65,0	65,0
Droge stof			% (m/m)	28,9	19,5	18,7	18,9	18,9	20,8	20,8	20,8