Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11
info@rivm.nl

Notitie

Emissie en verspreiding van PFAS van afvalverbrandingsinstallatie Indaver

Advies over PFAS afvalverwerking en PFAS emissies

Datum
30 november 2022

Ons kenmerk
2022-0073/VLH/HdW/MVS/MB

Behandeld door
[...]
Wetenschappelijk Onderzoeker

T [...]
[...]@rivm.nl

samenvatting

Het RIVM heeft in opdracht van de Inspectie Leefomgeving en Transport een zestal adviesvragen beantwoord over de verbranding van PFAS houdende afvalstoffen in afvalverbrandingsinstallaties en over de emissies van PFAS stoffen via de rookgassen en de lozing van het afvalwater van de rookgasreiniging.
De aanleiding is de stilzetting door de ILT van de overbrenging van PFAS houdende afvalstoffen van Chemours en andere bedrijven gevestigd in Nederland met de bestemming Indaver gevestigd in het havengebied van Antwerpen (België). Indaver is een afvalverbrandingsinstallatie en wordt verdacht, dat het teveel PFAS via hun afvalwater loost in de Schelde en de stroomafwaarts gelegen Westerschelde.

PFAS houdende afvalstoffen zullen tijdens de verbranding in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) onder condities van de minimale wettelijke eisen van 850°C gedurende tenminste 2 seconden in aanwezigheid van tenminste 6% zuurstof resulteren in afbraak van alle aanwezige PFAS stoffen. Ze breken af tot kleinere verbrandingsproducten die opnieuw PFAS stoffen kunnen zijn of overige organische fluorverbindingen.
De gasvormige perfluorkoolstoffen (PFC) worden niet in de te verbranden afvalstoffen verwacht, maar worden wel als verbrandingsproducten gevormd. Bij een verbrandingstemperatuur van tenminste 1100°C zullen de PFC, en de PFAS als geheel, grotendeels zijn vernietigd. Perfluormethaan, de meest thermostabiele PFAS stof, zal bij een temperatuur van tenminste 1440°C zijn vernietigd. Dit betekent dat bij 850°C, maar ook bij 950°C voor de AVI van Indaver (Antwerpen), het niet uitgesloten is, dat er PFAS stoffen vrijkomen via de rookgassen.

Er zijn indicaties, dat aantoonbare gehalten van PFAS stoffen tot een factor 250 hoger dan de aantoonbaarheidsgrens in het bodemas en het vliegas aanwezig kunnen zijn. Ook zijn er indicaties, dat het afvalwater van de rookgasreiniging PFAS stoffen bevat. Deze afvalstromen van een AVI zijn een gevaar voor de verspreiding van PFAS in bodem, water en lucht. De uitloging van PFAS naar de bodem in opslag- of stortplaatsen van bodem- en vliegassen of bij de toepassing van de assen als bouwstoffen in GWW-werken en lozing van het afvalwater met PFAS in het oppervlaktewater zijn relevante verspreidingsroutes.

Het ontbreekt in de toepasselijke wet- en regelgeving aan normstelling van de relevante schadelijke PFAS stoffen. AVI's zijn vergunningsplichtige inrichtingen, zodat in het traject van de vergunningaanvraag of wijzigingen van verleende vergunningen in voldoende mate moet zijn aangetoond, dat er geen onacceptabele risico's bestaan door de PFAS emissies naar de lucht, de bodem en het oppervlaktewater. In Nederland zijn er beoordelingssystematieken ontwikkeld om de PFAS emissies van een AVI te kunnen beoordelen.

AVI's gebruiken gangbare technieken voor de rookgasreiniging en de afvalwaterzuivering. Deze technieken zijn echter niet specifiek ontwikkeld voor het afvangen van PFAS. Door het ontbreken van voldoende

meetgegevens, kan de effectiviteit en de efficiëntie van de technieken niet beoordeeld worden op dit moment. De verwachting is dat er meer onderzoek verricht zal worden om de doeltreffendheid en doelmatigheid van de technieken voor de afscheiding van de PFAS via de rookgasemissie en de afvalwaterlozing nauwkeuriger te kunnen bepalen.

De beschikbare analysemethoden voor de gehaltebepaling van circa 30 tot 50 relevante PFAS in afval-, grond-, oppervlakte- en drinkwater hebben aantoonbaarheidsgrenzen van stoffen in een concentratiegebied van 0,1 ng/l tot 25 ng/l. In schoon water is de aantoonbaarheidsgrens, *limit of detection (LOD)*, in de regel het laagst tot een grenswaarde van 0,1 ng/l.

De EU Drinkwaterrichtlijn (DWR) schrijft voor dat uiterlijk op 12 januari 2026 concentraties van PFAS in drinkwater moeten voldoen aan tenminste één van de volgende parameterwaarden: 100 ng/L (ofwel 0,1 µg/L) voor de “som van PFAS”, een selectie van 20 PFAS (PFAS-20) die volgens de DWR risicovol zijn in verband met de consumptie van drinkwater of 500 ng/L (ofwel 0,5 µg/L) voor “PFAS totaal”, het totaal van alle PFAS. Nederland heeft (voorlopig) voor de 100 ng/L gekozen. De drinkwater-norm voor PFAS is van belang, omdat deze ook wordt toegepast bij de toetsing van de kwaliteit van het grondwater voor menselijke consumptie.

Op basis van de beantwoording van de adviesvragen kan het RIVM uit de ontvangen informatie van de ILT over de AVI van Indaver (Antwerpen) het volgende meegeven;

- Indaver is vergund voor de verbranding van (gevaarlijke) afvalstoffen bij tenminste 950°C. Bij deze verbrandingstemperatuur kan niet worden uitgesloten, dat er nog meetbare concentraties PFAS stoffen, te weten PFC via de rookgassen naar de lucht emitteren. Bij een temperatuur van tenminste 1100°C is het vrijwel uitgesloten om nog (meetbare) PFAS stoffen aan te treffen.
- Op de website van Indaver is enkele dagen geleden het VITO rapport gepubliceerd over de ontwikkeling, validatie en de interpretatie van de rookgasemissiemetingen van relevante geselecteerde PFAS stoffen bij de schoorsteen van Indaver. Vrijwel alle PFAS stoffen blijken boven de bepaalbaarheidsgrens aangetoond. Vooral de PFCAs zoals PFBA, L-PFOA en T-PFOA zijn grofweg tussen 100 en 600 ng/Nm^3 gemeten. In kwalitatief opzicht mag het als informatief en opmerkelijk worden gekenmerkt, dat er PFAS stoffen vrijkomen naar de lucht waaronder minder thermostabiele PFAS stoffen dan de PFC. De PFC zijn helaas niet gemeten. Het lijkt hiermee duidelijk, dat de PFAS stoffen niet worden vernietigd onder de procescondities van Indaver van de draaitrommeloven DTO2.
- Het onderzoek naar de grondwaterkwaliteit van het bedrijfsterrein van Indaver toont hoge waterconcentraties van PFAS stoffen van vooral PFBA aan. Het lijkt aannemelijk, dat hier uitloging van met PFAS verontreinigde bodem- en vliegassen en andere afvalstromen de bron is. Dit onverminderde het feit dat er meerdere PFAS bronnen zijn in het havengebied van Antwerpen. Dit zal nauwkeurig moeten worden onderzocht om de juiste conclusies te kunnen trekken.

Datum
30 november 2022

Ons kenmerk
2022-0073/VLH/HdW/MVS/MB

SAMENVATTING 2

1 ACHTERGROND 5

1.1 Doel **5**

2 OPZET EN UITVOERING 5

3 BEANTWOORDING 6

3.1 Adviesvraag 1: Verbranding **6**

3.2 Adviesvraag 2: Best Beschikbare Technieken AVI's **12**

3.3 Adviesvraag 3: relatie verbrandingstemperatuur en emissies **13**

3.4 Adviesvraag 4: PFAS normstelling **14**

3.5 Adviesvraag 5: Overbrenging van PFAS houdende afvalstoffen **19**

3.6 Adviesvraag 6: Drinkwaternormen voor PFAS **19**

4 CONCLUSIE 21

Bijlagen A t/m D: pagina 29 t/m 30

1 Achtergrond

De Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) heeft de overbrenging van PFAS houdende afvalstoffen van Chemours (Nederland) en andere bedrijven in Nederland naar Indaver (België) stilgezet. Aanleiding is de zorg over de te hoge lozing van PFAS in het afvalwater van Indaver. Door de lozing raakt de Schelde en de stroomafwaarts gelegen Westerschelde binnen Nederlandse grenzen verontreinigd met PFAS. Ook zijn er zorgen over de doelmatigheid van de vernietiging van de PFAS bij het afvalwerkingsbedrijf. Enkele van de individuele verbindingen zijn zeer zorgwekkende stoffen (ZZS), waarvoor een minimalisatieverplichting geldt ter voorkoming van de verspreiding van deze stoffen in de oppervlaktewateren. Er zal extra inspanning nodig zijn om een verslechtering van de kwaliteit van het oppervlaktewater te voorkomen. Dit is onder meer bepaald in de Europese kaderrichtlijn water.
De ILT heeft het RIVM gevraagd om kennisondersteuning te leveren op basis van een zestal adviesvragen. De adviesvragen gaan vooral over het gedrag van PFAS tijdens de verbranding in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) en over de PFAS emissies via de rookgassen, de afvalwaterlozing en andere verspreidingsroutes. In bijlage A zijn de adviesvragen van de ILT opgesomd.

1.1 Doel

De ILT heeft kennisondersteuning van het RIVM gevraagd over het lot van PFAS stoffen tijdens de verbranding van PFAS houdende afvalstoffen in afvalverbrandingsinstallaties. De kennis gebruikt de ILT voor hun toezichthoudende taak bij het transport van PFAS houdende afvalstoffen vanuit Nederland met bestemming Indaver (België). Het wettelijk kader betreft de Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen (EVOA).

2 Opzet en uitvoering

Het RIVM heeft op 15 november digitaal een voorbereidend overleg gevoerd met de ILT over de casus Indaver. Daarbij had de ILT adviesvragen geformuleerd, die tijdens het overleg zijn besproken. De ILT heeft voor de beantwoording in totaal zes adviesvragen naar het RIVM toegestuurd per email. Tussentijds is aanvullende informatie via de ILT beschikbaar gekomen die de beantwoording nauwkeuriger kunnen maken. In bijlage A van deze notitie staan de adviesvragen opgesomd. Ze zijn waar nodig opgesplitst in deelvragen (a, b, ..), waarbij per (deel)vraag een kort antwoord is geformuleerd met waar nodig een langere toelichting. Het RIVM heeft vanwege de spoedeisendheid geen extra onderzoek gedaan, maar alle beschikbare en relevante informatiebronnen geraadpleegd. In de referentielijst van dit advies zijn de belangrijkste bronnen genoemd.

3 Beantwoording

Per adviesvraag van in totaal 6 adviesvragen van de ILT volgt het antwoord van het RIVM.

3.1 Adviesvraag 1: Verbranding

a) Wat is, gezien de laatste inzichten, de minimale verbrandingstemperatuur en verblijftijd van PFAS-houdend afval om te zorgen dat PFAS bij de verbranding volledig wordt vernietigd, inclusief de bij verbranding vrijkomende F-houdende restproducten zoals CF4?

Antwoord 1a:
Tijdens de verbranding van PFAS houdende afvalstoffen bij een temperatuur van ten minste 850°C, een verblijftijd van tenminste 2 seconden in aanwezigheid van tenminste 6% zuurstof breken alle aanwezige PFAS stoffen in de afvalstoffen af. Een totale vernietiging van PFAS is niet waarschijnlijk. De gasvormige thermostabiele perfluorkoolstoffen (perfluorcarbon afgekort PFC) zoals perfluormethaan, perfluorethaan, perfluorpropaan en perfluorbutaan kunnen onder de genoemde verbrandingscondities als verbrandingsproducten worden gevormd en de rookgasreiniging ongehinderd passeren. Ze breken echter bij een temperatuur vanaf 1100°C en hoger grotendeels af. Veruit de meest thermostabiele PFC, en van de PFAS als geheel, is perfluormethaan (CH4). In de wetenschappelijke literatuur is bekend dat 99,99% van de stof in 1 seconde afbreekt bij een temperatuur van 1440°C. Voor C2F6 is dat bij een temperatuur van 961°C. Vanaf 1440°C zullen alle PFAS inclusief CH4 vernietigd kunnen zijn.

Toelichting
Het RIVM verwacht op basis van een recente RIVM literatuurstudie (RIVM rapport, 2021) over het voorkomen van PFAS in de rookgassen van afvalverbrandingsinstallaties, dat vrijwel alle PFAS stoffen aanwezig in de afvalstoffen worden afgebroken. De voorwaarde is dat een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) voldoet aan de wettelijke minimale eisen van de verbranding door oxidatie. De rookgassen in de verbrandingsoven van een AVI dienen, na de laatste toevoer van verbrandingslucht, op beheerste en homogene wijze te worden verhit tot een temperatuur van ten minste 850°C gedurende ten minste twee seconden bij de aanwezigheid van ten minste 6% zuurstof. Deze eisen zijn bepaald in artikel 50 lid2 van de Europese Richtlijn 2010/75/EU over *industriële emissies* en is voor vergunningsplichtige (type C) inrichtingen in Nederland geïmplementeerd in artikel 5.1 van het Activiteitenbesluit. Onder thermisch afbreken verstaan we de degradatie van de uitgangstoffen tot stoffen met kortere koolstofketens. PFAS stoffen met lange koolstofketens zoals fluorpolymeren verbreken in fragmenten met kortere koolstofketens onder zuurstofarme omstandigheden. In meer zuurstofrijke omstandigheden kunnen de fragmenten door oxidatie met zuurstof en reactie met zuurstof bevattende radicalen tot nieuwe

verbrandingsproducten worden omgezet. Dit kunnen nieuwe verzadigde en onverzadigde PFAS stoffen zijn die kleiner zijn dan de uitgangsstoffen of andere organische fluorverbindingen.

Tijdens het verbrandingsproces zullen onder de wettelijk voorgeschreven minimale eisen van temperatuur en verblijftijd andere PFAS ontstaan die thermostabiel zijn. Dit zijn onder andere: perfluormethaan (CF4), perfluorethaan (C2F6), perfluorpropaan (C3F8) en perfluorbutaan (C4F10) behorend tot de groep van verzadigde PFC. De verzadigde PFC zijn de meest stabiele PFAS stoffen en vereisen een hoge temperatuur voor een hoge mate van thermische vernietiging. CF4 is de meest thermostabiele verbinding bestaande uit één koolstof en vier fluor atomen. De stof bevat uitsluitend zeer sterke C-F chemische bindingen, terwijl PFC met 2 of meer koolstofatomen ook relatief zwakkere C-C bindingen bevatten. De temperatuur waarbij 99,99% van de stof in 1 seconde afbreekt is 1440°C voor CF4 en 961°C voor C2F6. De afbraak begint echter bij een lagere temperatuur van ongeveer 1100°C voor CF4 en 750°C voor C2F6. CF4 en C2F6 staan bekend als sterke broeikasgassen met een hoog aard-opwarmingsvermogen (*Global Warming Potential* - GWP). PFC kunnen nauwelijks door de beschikbare rookgasreinigingstechnieken worden afgescheiden, zodat er grote kans is dat ze via de rookgassen naar de lucht emitteren.

Naast verzadigde PFC kunnen er kleine hoeveelheden van onverzadigde PFC worden gevormd zoals 1,1-difluoroetheen en 1,2-difluoroetheen (beiden isomeren van C2F2H2). Mogelijk worden ook tetrafluoretheen (C2F4), hexafluorpropeen (C3F6), perfluorisobuteen (C4F8) als verbrandingsproducten gevormd onder minder gunstige zuurstofarme verbrandingscondities. Echter, deze verbindingen reageren bij lage verbrandingstemperaturen snel met zuurstof (tetrafluoretheen) of met aanwezige radicalen (hexafluorpropeen). De onverzadigde PFC zijn dan ook minder stabiel dan de eerde genoemde verzadigde PFC.

In de voornoemde EU richtlijn is in artikel 50 lid 2 in de derde alinea ook bepaald, dat voor de verbranding van gevaarlijke afvalstoffen met een gehalte aan gehalogeneerde organische stoffen van meer dan 1 massaprocent (uitgedrukt in chloor) een verbrandingstemperatuur van ten minste 1100 °C is vereist. Onder deze verbrandingscondities verwacht het RIVM nauwelijks nog emissies van PFAS in de rookgassen naar de lucht. Daarmee zullen de rookgassen naar verwachting geen meetbare emissieconcentraties PFAS stoffen bevatten. Onzeker blijft of de meest thermostabiele CF4 onder deze verbrandingscondities in de praktijk in voldoende mate zal zijn vernietigd.
De onzekerheid over de PFAS emissies via de rookgassen komt voort uit het feit dat de kennisbasis nadrukkelijk gebaseerd is op theoretische natuurwetenschappelijke inzichten en enkele gepubliceerde op laboratoriumschaal uitgevoerde experimentele testen. Er zijn gevalideerde luchtemissiemetingen van relevante PFAS stoffen nodig om de verwachting over de PFAS emissies voldoende zeker te kunnen stellen. Zowel de RIVM literatuurstudie (2021) als de literatuurstudie van VITO (2021) komen tot vergelijkbare inzichten over het gedrag van PFAS

tijdens de verbranding door oxidatie. De EPA interne richtsnoer (2020) over de vernietiging en verwijdering van PFAS sluit daar ook bij aan.

b) Hierbij ook aandacht voor eventuele F-houdende restproducten in bodemassen die gestort worden op stortplaatsen.

Antwoord 1b)
Bodemassen, vliegassen en afvalwater van de rookgaswassing van een AVI bevatten meetbare gehalten aan PFAS stoffen. Het hoogst gemeten gehalte is 36 µg/kg van de stof 6:2 FTS. Er zijn aanwijzingen dat hogere verbrandingstemperaturen leiden tot lagere concentraties PFAS in het eluaat van bodem- en vliegassen. Dit is interessant, omdat de belangrijkste verspreidingsroute uit de assen de uitloging van PFAS naar de onderliggende bodem is. Deze inzichten komen uit dezelfde RIVM literatuurstudie (Bakker et al, 2021) en zijn slechts gebaseerd op PFAS metingen in een klein aantal gepubliceerde wetenschappelijke studies. De gehalten zijn daarmee als indicatief te kwalificeren en geven geen representatief beeld.

Toelichting
Als PFAS niet volledig verbrand zijn, kunnen deze zich tevens in vlieg- en bodemassen bevinden. Het RIVM heeft hier aandacht aan besteed in de literatuurreview (Bakker et al, 2021)]. De meest relevante inzichten uit deze studie zijn:

- PFAS komen voor in bodem- en vliegas. In bijlage C is een tabel uit het RIVM rapport (2021) gegeven met de gemeten PFAS gehalten van zeven perfluorcabonzuren en twee perfluorsulfonzuren in bodemas, vliegas, condensatiewater (rookgasreiniging) en afvalwater. De tabel is overgenomen van een Zweedse studie naar de PFAS emissies van vier AVI's in Zweden. Vrijwel alle geselecteerde perfluoralkylzuren zijn, uitgezonderd de PFAS stoffen in het afvalwater, gemeten tot maximaal een factor 250 hoger dan de aantoonbaarheidsgrens (*Limit of Detection* – LOD). De LOD varieert per PFAAs in de assen tussen 0,1 µg/kg en 1,5 µg/kg. Voor het condensatie – en afvalwater ligt de LOD tussen 0,1 ng/l en 1,0 ng/l en voor PFBA op 3,7 ng/l.
- De PFAS gehalten in bodemas en vliegas, gemeten op twee locaties van de AVR in Nederland, zijn beschikbaar in een rapport van Houben en Boerleider (2020), waar de RIVM studie (Bakker et al, 2021) ook naar verwijst. Gehalten in de vliegas van de locatie Rotterdam-Botlek zijn slechts één keer bemonsterd en lagen allemaal onder de aantoonbaarheidsgrens van 0,1 µg/kg. Voor bodemas zijn de hoogste gehalten gemeten op de locatie in Duiven. Op de locatie Rotterdam-Botlek bleken 4 van de 34 stoffen boven de aantoonbaarheidsgrens te liggen, namelijk 6:2 FTS, PFBS, PFOS en 8:2 FTS. Bij Duiven bleken 19 van de geanalyseerde PFAS stoffen boven de aantoonbaarheidsgrens te liggen, waarvan 6:2 FTS met het hoogste gehalte van 36 µg/kg. Naast de vier al genoemde PFAS stoffen zijn; PFPeA, PHFxA, PFOA, PFNA, PFBA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFOSA, 10:2 FTS, NpMeFOSAA, en 8:2 diPAP aangetoond. De gehalten in het bodemas liepen sterk uiteen. Van de drie metingen op de locatie in

Duiven was er voor alle 19 PFAS verbindingen minimaal één onder de aantoonbaarheidsgrens van 0,1 µg/kg.
- Solo-Gabriele et al. (2020) constateren op basis van sommetingen van 11 PFAS [1], dat er een consistent verband lijkt te bestaan tussen de concentratie van PFAS stoffen in het eluaat van bodem- en vliegassen en de verbrandingstemperatuur waarbij de assen ontstaan zijn. De assen op stortplaatsen afkomstig van de AVI's met de hoogste verbrandingstemperaturen, namelijk 930–980 ºC, bevatten somniveaus van 11 geselecteerde PFAS verbindingen in het percolaat tot maximaal 3,4 µg/l. De somwaarde loopt op tot 8,4-8,7 µg/l voor as afkomstig van AVI's met verbrandingstemperaturen van 815–870 °C. De hoogste concentraties aan PFAS van 12,3 tot 13,5 µg/l werden gevonden in as van AVI's met lagere verbrandingstemperaturen van 760-870 °C.

De gemeten gehalten van PFAS in bodemas van de Nederlandse en Zweedse studies komen redelijk met elkaar overeen. Er zijn hiermee indicaties, dat de bodemassen als bron voor emissie en verspreiding van PFAS hogere bijdragen kunnen leveren, dan de PFAS die via de rookgassen vrij kunnen komen. Dit gaat gepaard met onzekerheden door de beperkte meetdata, de niet geverifieerde validiteit van de metingen en het ontbreken van standaardisatie van de toegepaste meetmethoden. Het EPA richtsnoer (2020) geeft dezelfde boodschap.
De belangrijkste verspreidingsroute uit de assen is de uitloging van PFAS naar de onderliggende bodem. Dit is mogelijk bij contact van met PFAS verontreinigde bodem- en vliegassen met het hemel- en of grondwater in opslagplaatsen of stortplaatsen of bij de toepassing van de assen als secundaire bouwstoffen in GWW-werken. Daarnaast bestaan er ook andere emissieroutes, zoals:
- Emissie van stofgebonden en gasvormige PFAS naar de lucht tijdens de verbranding van PFAS-houdende afvalstoffen in een AVI via de rookgassen,
- Emissie van stofgebonden en wateroplosbare PFAS via de uitloging van de verzamelde bodem- en vliegassen en via lozing van het afvalwater afkomstig van de rookgasreiniging,
- Emissie via met PFAS verontreinigde slibfracties die bij de afvalwaterzuivering ontstaan voorafgaand aan de lozing in het oppervlaktewater,
- Emissies via PFAS verontreinigde materialen zoals filters, adsorptiematerialen (bv kool) en kalkzouten afkomstig van de rookgasreiniging resulterende afvalstromen,
- Emissies door uitdamping en uitloging (na contact met het hemel- en of grondwater) uit PFAS-houdende afvalstoffen voordat deze de verbrandingsoven ingaan.

De bijdrage van precursors loopt op tot circa 50% van de totale PFAS uitloging en is daarmee zeer substantieel. N-ethyl perfluoralkaan sulfonamide ethanolen (EtFASE), fluortelomeer alkaancarbonzuren

[1] Stoffenpakket 11 PFAS: 7 perfluorcarbonzuren, 3 perfluorsulfonzuren en een precursor, te weten 5:3 fluortelomeercarbonzuur.

(FTCA's) en hiermee verwante precursors, kunnen na verloop van tijd door oxidatie en degradatie in het milieu worden omgezet in de persistente PFAS zoals PFOS en PFOA.

c) Bij lagere temperaturen vindt mogelijk onvolledige vernietiging plaats, waarbij kortere ketens gevormd worden. Zijn er bepaalde PFAS-componenten waarvan bekend is dat deze dan ontstaan, en welke zijn dit? Kan op basis van de huidige analyses aannemelijk gemaakt worden dan wel uitgesloten worden dat deze kortere ketens gevormd worden? Welke restproducten zijn te verwachten bij welke temperatuur? Wat zijn dan de risico's? (zie ook analyserapporten)

Antwoord 1c)
Er is niet precies bekend welke PFAS componenten ontstaan. Er zijn te weinig samenstellingsonderzoeken gepubliceerd om een representatief beeld te vormen van de typische degradatieproducten van PFAS die men in bodem- en vliegassen kan verwachten. Bij het antwoord van vraag 1b is een indicatie gegeven op basis van een gepubliceerde Nederlandse en Zweedse studie.
Er kan aannemelijk worden gemaakt, dat kortere ketens worden gevormd. Huidige analyses van de geselecteerde PFAS tonen aan dat zowel PFCA's als PFSAs met koolstofketens van C4 tot C10 voorkomen. Ook zijn enkele precursor PFAS stoffen zoals 6:2 FTS, 8:2 FTS; 10:2 FTS in het analysepakket meegenomen en aangetoond.

Toelichting
Volgens de RIVM literatuurstudie (Bakker et al, 2021) blijkt, dat de volgende stofgroepen van perfluoralkylstoffen op basis van hun binding dissociatie-energieën in volgorde van een afnemende thermostabiliteit bij verbrandingsprocesen zijn te noemen.

PFCs > PFCAs > N-alkyl FASAs > PFSAs> PFASAs > PFIs

Voor de fluorpolymeren is de volgende reeks in afnemende thermostabiliteit te noemen:

PTFE > PFA> MFA> FEP> ETFE > PVDF ≈ PE > ECTFE > PCTFE

In theorie treedt mineralisatie op bij een volledige verbranding van PFAS tot verbrandingsproducten zoals water, kooldioxide, waterstoffluoride en afhankelijk van de functionele groep extra stoffen zoals zwavel – en fosforverbindingen. In de praktijk vindt altijd onvolledige verbranding van de afvalstoffen plaats. De mate waarin is afhankelijk van veel actoren, maar hebben vooral te maken met de verblijftijd, de verbrandings-temperatuur en de menging of homogenisatie van de afvalstoffen in de oven.
De degradatie van PFAS begint al bij relatief lage temperatuur vanaf 150°C voor bijvoorbeeld PFIs en PFASAs. Bij een temperatuur vanaf 600°C is een hoge graad van omzetting van alle aanwezige PFAS stoffen

al gerealiseerd. Bij de wettelijke eis van tenminste 850°C en een verblijftijd van tenminste 2 seconden kunnen alle PFAS zijn afgebroken.

Perfluorkoolstoffen (PFCs) met één tot vier koolstofatomen zijn het meest thermostabiel. Ze worden echter niet in de afvalstoffen verwacht vanwege hun vluchtigheid, maar kunnen tijdens de verbrandingsprocessen wel uit andere PFAS stoffen in de afvalstoffen worden gevormd. De meeste PFC's zullen vanaf 850°C zijn afgebroken, waarbij de meest thermostabiele perfluormethaan (CF4) en perfluorethaan (C2F6) kans maken te overleven (zie antwoord 1a). Deze twee PFCs zullen bij een verbrandingstemperatuur van tenminste 1100°C en bij voorkeur vanaf 1440°C grotendeels vernietigd zijn.

Op grond van de stofeigenschappen en enkele experimentele studies in wetenschappelijke publicaties stelt het RIVM in de literatuurstudie (Bakker et al, 2021) vast, dat er typische degradatieproducten van PFAS kunnen ontstaan. Deze kunnen vervolgens in de bodem - en vliegassen aanwezig zijn. Dit kunnen PFCs, PFCA's, PFSA's zijn met koolstofketens variërend van C4 tot C10. Onverzadigde en cyclische PFCs zoals perfluorisobuteen (C4F8) en perfluorcyclobutaan (C4F8) kunnen als minder thermostabiele PFCs ontstaan.

De literatuurstudie (Bakker et al,2021) toont verder aan, dat gefluoreerde polycyclische aromatische koolwaterstoffen, polyfluor dioxinen en – furanen en trifluorazijnzuur zeer waarschijnlijk niet worden gevormd tijdens de verbrandingsprocessen. Deze worden daarom ook niet in de bodem – en vliegassen verwacht.
VITO heeft op basis van een literatuurstudie (Hofman en Berghmans, 2021) eveneens inzichten geleverd in het gedrag van PFAS stoffen tijdens de verbranding, die overeenkomen met die van de RIVM studie.

3.2 Adviesvraag 2: Best Beschikbare Technieken AVI's

Wat zijn de best beschikbare emissiebeperkende technieken om bij verbranding van PFAS-houdend afval de emissie van PFAS naar lucht en water tot een minimum te beperken (inclusief fluorhoudende bijproducten die bij de verbranding vrijkomen)? (Nieuwe techniek: Applications and Markets | 374Water)
Gelden de emissiebeperkende maatregelen bij Chemours als maatstaf hiervoor, ook bij verwerkers van PFAS-houdend afval?

Antwoord 2:
De BBT's voor de rookgasreiniging van AVI's zijn al geruime tijd zeer gangbare technieken. Deze technieken worden in onderstaande toelichting benoemd. Ze zijn echter niet specifiek ontwikkeld voor de verwijdering van PFAS in de rookgassen en om die reden een onderwerp van nader onderzoek. In de literatuurstudie van het RIVM (Bakker et al, 2021) is geconstateerd, dat door het ontbreken van gevalideerde meetdata van PFAS emissies geen representatieve beoordeling van de effectiviteit en de efficiëntie van de reiniging van de stofgebonden en gasvormige PFAS in de rookgassen kan worden gegeven. Het EPA richtsnoer (2020) trekt dezelfde conclusies, waarbij dit instituut in een periode van maximaal drie jaren streeft naar een upgrade van het richtsnoer. Het EPA verwacht in deze periode op basis van nieuwe onderzoeken meer informatie beschikbaar te hebben voor duiding van het rendement van de rookgas reinigingstechnieken.

In analogie met de rookgasreiniging geldt voor de afwaterzuivering dezelfde vaststelling, dat er onvoldoende gevalideerde meetgegevens beschikbaar zijn om de effectiviteit en de efficiëntie van de scheiding van PFAS in afvalwater van bestaande waterzuiveringstechnieken te beoordelen. In het EPA richtsnoer (2020) zijn er een aantal benoemd in tabel 1-1 in paragraaf 1.c, te weten, i) adsorptiematerialen zoals biologische vaste stoffen, actief kool en resins van ionwisselaars, ii) filters en III) hogedruk membranen. Het EPA richtsnoer (2020) licht in paragraaf 2.a.ii toe, dat deze conventionele technieken niet doeltreffend en doelmatig zijn in het afscheiden van de PFAS. Het EPA streeft daarom ook voor de afvalwaterzuivering naar onderzoek in nieuwe technieken.

Toelichting
De meest gangbare en best beschikbare technieken (BBT) voor de reiniging van de AVI-rookgassen zijn in het *Best Available Techniques* (BAT) referentiedocument (2016) toegelicht. Ze betreffen onder meer:

- elektrostatische stoffiltratie om aerosolen en stofdeeltjes, waaraan zware metalen en toxische organische stoffen geadsorbeerd kunnen zijn, in de rookgassen af te scheiden,
- doekenfiltratie om een grote bandbreedte in diameter van de stofdeeltjes in de rookgassen af te scheiden,
- cyclonen, waarin door een centrifugale kracht de stofdeeltjes van de rookgassen worden afgescheiden, zijn een alternatief of een aanvulling op de doekenfilters en de elektrostatische filters,
- kalkinjectie om verzurende gasvormige stoffen zoals HF, HCL en SO2 af te vangen, waarbij vaste stoffen zoals zouten ontstaan die

vervolgens met bovengenoemde filters kunnen worden afgescheiden,
- semi natte injectie van water en gehydrateerde kalk of een wateroplossing van kalk door besproeiing in de hete rookgassen om de verzurende gasvormige stoffen zoals HF, HCL en SO2 af te vangen, waarbij na chemische reactie zouten ontstaan die vervolgens met de bovengenoemde filters kunnen worden afgescheiden,
- rookgaswassing waarbij de rookgassen door één of meerdere waterkolommen worden geleid bij verschillende pH waarden voor de afvang van verzurende gasvormige stoffen,
- actiefkool poederinjectie of een actiefkool adsorptie-kolombed om organische verbindingen (bv VOC en dioxinen) en kwikdampen uit de rookgassen af te vangen,
- selectieve niet-katalytische reductie (SNCR) door injectie van ammoniak of urea in de nog zeer hete rookgassen nabij de verbrandingsoven om de stikstofoxiden (NOx) om te zetten in onschadelijk water en stikstof. Bij selectieve katalytische reductie (SCR) wordt een mengsel van ammoniak en lucht geïnjecteerd in minder hete rookgassen en vervolgens over een katalysator geleid om de NOx om te zetten naar water en stikstof.

De volgende best beschikbare technieken (BAT referentiedocument, 2016) om afvalwater te kunnen zuiveren van organische stoffen zijn:
- biologische zuiveringstechnieken met hulp van micro-organismen,
- adsorptietechnieken met materialen zoals actief kool, ionwisselaars (bv zeoliet) of polymeren,
- oxidatietechnieken zoals reactie met zuurstof (in de lucht), ozon of waterstofperoxide, elektrochemische oxidatie, fotokatalytische oxidatie met titaanoxide, superkritische water oxidatie/extractie
- anaerobe behandeling (zonder zuurstof),
- sedimentatietechnieken door chemische reactie, coagulatie en flocculatie
- filtratietechnieken zoals micro-, ultra- en nanofiltratie en reversed osmose,
- pH sturing,
- extractietechnieken,
- destillatie en verdampingstechnieken,
- afvalwaterverbrandingstechnieken

3.3 Adviesvraag 3: relatie verbrandingstemperatuur en emissies

Hoe verhouden deze zich tot elkaar? M.a.w., kan een lagere verbrandingstemperatuur veilig worden gecompenseerd met nageschakelde emissiebeperkende maatregelen.

Antwoord 3:

Daarop kan bij gebrek aan informatie onvoldoende nauwkeurig een antwoord worden gegeven. Wel is in antwoord op 1b een relatie te leggen tussen de verbrandingstemperatuur en de te verwachten PFAS

concentraties in het eluaat van bodemas en vliegas. Hoe hoger de verbrandingstemperatuur hoe lager de PFAS gehalten in de assen. Of deze relatie ook bestaat voor het condensatiewater of het afvalwater is (nog) niet aangetoond.

3.4 Adviesvraag 4: PFAS normstelling

a. Wat zijn de normen die worden gehanteerd voor PFAS in het grondwater en normen voor PFAS die installaties mogen uitstoten via de lucht of lozen via het afvalwater? De OVAM gebruikt bijvoorbeeld de EFSA (European Food & Safety Agency) normen, waarbij Indaver aangeeft dat de gemeten concentraties PFAS in lucht 40x onder deze normen liggen. Op dit moment missen we de handvatten om de analyses te kunnen interpreteren.

Antwoord 4a:

De PFAS norm voor grondwaterkwaliteit voor de menselijke consumptie is 100 ng/l voor de som van 20 toxisch-relevante PFAS stoffen of 500 ng/l voor de som van alle PFAS stoffen.

Er bestaan momenteel geen normen van individuele PFAS stoffen voor de industriële emissies van AVI's naar de lucht. Bepalend is bijlage VI deel 3 van de Europese Richtlijn 2010/75/EU en de implementatie van de emissiegrenswaarden in tabel 5.19 van artikel 5.15 van het activiteitenbesluit.
In het traject van de vergunningaanvraag moet een inrichting volgens het activiteitenbesluit aantonen, dat de luchtemissie per puntbron van de stofcategorie ZZS en gedifferentieerd naar de stofklasse MVP2, MVP1 en ERS de corresponderende grensmassastromen niet overschrijden. Voor PFOA en PFOS, ingedeeld in respectievelijk MVP2 en MVP1, geldt een vrijstelling van de meetverplichting, indien de luchtemissie van ZZS via de rookgassen van alle stoffen in MVP2 de grensmassastroom van 2,5 g/uur en alle stoffen in MVP1 de grensmassastroom van 0,15 g/uur niet overschrijden. Bij overschrijding geldt een emissiegrenswaarde voor PFOA en overige stoffen in MVP2 van

Er zijn in analogie met de luchtemissienormen momenteel ook geen PFAS normen voor het lozen van (ongefiltreerde) afvalwater van de rookgaswassing in het oppervlaktewater. Hierbij geldt de voorwaarde, dat voor de toetsing dit afvalwater niet mag zijn verdund met andere bronnen van afvalwater. Een en ander is te lezen in de Europese richtlijn 20210/75/EU deel 5 van bijlage VI dat is geïmplementeerd in tabel 5.27 van artikel 5.27 van het activiteitenbesluit. Enkele PFAS stoffen zoals PFOA en PFOS zijn ZZS. Hiervoor geldt een minimalisatieverplichting.
In het kader van de Waterwet, de Wabo, de Bor en de regeling omgevingsrecht is in Nederland de Algemene beoordelingsmethodiek (ABM) en de immissietoets ontwikkeld om de waterbezwaarlijkheid van schadelijke stoffen (zoals PFAS) vast te stellen, die via het afvalwater in het oppervlaktewater mogen worden geloosd. Daarbij wordt ook bepaald welke saneringsinspanningen nodig zijn bij de bron, over de

minimalisatieverplichting en over de toepassing van de best beschikbare waterzuiveringstechnieken.

Toelichting grondwater
De chemische toestand van de grondwaterkwaliteit moet voldoen aan de kaderrichtlijn water (KRW, 2000/60/EG) en de grondwaterrichtlijn (GWR,2006/118/EG). Hierin zijn onder meer algemene eisen van stoffen in grondwater vastgesteld zoals nitraten en werkzame stoffen in bestrijdingsmiddelen, met inbegrip van de relevante omzettings-, afbraak- en reactieproducten.
In het protocol toestand en monitoring grondwaterlichamen (2019) is in Nederland afgesproken om de chemische kwaliteit van het grondwater voor de drinkwaterwinning op basis van een uitgebreide drinkwatertest te toetsen aan dezelfde normen als de Europese drinkwaterrichtlijn (2020/2184/EU). Deze is in Nederland geïmplementeerd in het recent gewijzigd ontwerpbesluit drinkwater. In tabel 2 van dit besluit is de norm voor de som van 20 PFAS stoffen 100 ng/l. In bijlage 3 deel B bij punt 3 van de Europese drinkwaterrichtlijn is de lijst opgenomen met de 20 afzonderlijke PFAS verbindingen: 10 PFCA en 10 PFSA.
In een RIVM memo (Wintersen en Otte, 2021) zijn nieuwe risicogrenzen afgeleid voor de vaststelling van interventiewaarden van PFOS, PFOA en GenX in grondwater geschikt voor menselijke consumptie van respectievelijk 9,9, 20 en 330 ng/l. De risicogrenzen in grondwater exclusief consumptie bedragen 2.700, 8.600 en 60.000 ng/l.

Toelichting industriële luchtemissies
Volgens de wettelijke emissiegrenswaarden in bijlage VI deel 3 van de Europese Richtlijn 2010/75/EU over de industriële emissies van AVI's naar de lucht en de implementatie hiervan in tabel 5.19 van artikel 5.15 van het activiteitenbesluit zijn er geen normen voor individuele PFAS stoffen vastgesteld. Er gelden wel halfuur – en daggemiddelde emissiegrenswaarden van totaal stof (5 mg/Nm^3) en gasvormige en vluchtige organische stoffen uitgedrukt als totaal organische koolstof (10 mg/Nm^3). Gasvormige PFAS kunnen bijdragen aan totaal organische koolstof en het geëmitteerde stof kan stofgebonden PFAS bevatten. De verplichting tot het meten van totaal organisch koolstof en totaal stof voor de toetsing aan de corresponderende emissiegrenswaarden levert hiermee geen specifieke informatie over de relevante individuele PFAS stoffen.

In het activiteitenbesluit zijn in tabel 2.5 per stofcategorie en stofklasse emissiegrenswaarden vastgesteld, die getoetst moeten worden als één of meerdere van de corresponderende grensmassastromen bij normale procesomstandigheden worden overgeschreden. Dit geldt voor elke puntbron van de inrichting. In het traject voor de aanvraag van een vergunning moet de inrichting eenmalig bewijs leveren, dat het voldoet aan de toegelichte emissie-eisen. Als een inrichting niet voldoet is het verplicht om de emissies te monitoren op basis van emissiemetingen.

Enkele PFAS stoffen zijn ZZS. Dit is een stofcategorie met een onderverdeling in 3 stofklassen, te weten MVP2, MVP1 en ERS. MVP is de

afkorting van minimalisatieverplichting en ERS van extreem risicovolle stof. Zo is PFOA ingedeeld in stofklasse MVP2 en PFOS in MVP1. Dioxinen zijn ingedeeld in stofklasse ERS.
De grensmassastromen zijn per stofklasse volgens tabel 2.5 van het activiteitenbesluit vastgesteld op 2,5 g/uur (MVP2), 0,15 g/uur (MVP1) en 20 mg TEQ/jaar (ERS). Indien de één of meerdere voornoemde grensmassastromen worden overschreden geldt de verplichting tot monitoren en toetsen aan de volgende emissiegrenswaarden; 1 mg/Nm^3 (MVP2), 0,05 mg/Nm^3 (MVP1) en 0,1 ng TEQ/Nm^3 (ERS).

De tabel bevat de emissie-eisen van de stofcategorieën ZZS, stofgebonden anorganische stoffen (sA), gasvormige anorganische stoffen (gA) en gasvormige organische stoffen (gO) en hun stofklassen. Op basis van de sommatiebepaling moet de totale luchtemissie van de inrichting van stoffen behorend tot de specifieke stofklasse worden berekend en vervolgens worden getoetst. Een meer uitgebreide toelichting van de verschillende emissie-eisen, bijzonderheden en afwijkingsmogelijkheden voor alle type vergunningsplichtige inrichtingen staat in de activiteitenregeling (VROM, 2007) en op de website van Infomil.

Toelichting afvalwater lozing
Volgens de Europese richtlijn prioritaire stoffen voor het bepalen van de toestand en de trend van de chemische kwaliteit van het oppervlaktewater geldt een jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm van 0,65 ng/l voor PFOS en zijn derivaten in land oppervlaktewateren 0,13 ng/l in andere oppervlaktewateren zoals zoutwater. Deze kwaliteitsnormen zijn in Nederland geïmplementeerd in bijlage I van het besluit kwaliteitseisen monitoring water 2009. Het RIVM (Smit en Verbruggen, 2022) heeft op basis van de aangescherpte gezondheidskundige grenswaarde van de EFSA nieuwe risicogrenzen voor een groep PFAS stoffen afgeleid. Deze risicogrenzen zijn geen wettelijke grenswaarden, maar vormen wel de basis voor nieuwe wettelijke normen. De nieuwe risicogrens van PFOS bedraag 0,007 ng/l (ofwel 7 pg/l). Dit is een flinke aanscherping van de nu geldende milieukwaliteitsnorm van 0,65 ng/l (ofwel 650 pg/l). Voor PFOA is de risicogrens berekent op 0,3 ng/l.
Bij de toetsing van afvalwaterlozingen of oppervlaktewater moet rekening worden gehouden met alle PFAS in het mengsel. Dit kan door de meetwaarden van de individuele PFAS stoffen eerst om te rekenen in PFOA-equivalenten (PEQ). Dit is mogelijk na vermenigvuldiging van de afzonderlijke concentraties van de PFAS stoffen met hun relatieve potentie factor (RPF) en relatieve bioaccumulatieve factor (RBF). Vervolgens worden de PEQ's opgeteld en vergeleken met de risicogrens van PFOA. Omdat de gezondheidskundige grenswaarde van de EFSA-TWI van enkele PFAS stoffen sterk naar beneden is bijgesteld en rekening wordt gehouden met alle PFAS in een monster, is het verschil met de huidige normen nog groter dan wanneer alleen naar de afzonderlijke stoffen wordt gekeken. Net als voor de luchtemissies van PFOA en PFAS geldt er ook voor de afvalwaterlozing van ZZS een minimalisatieverplichting. Daarvoor zijn momenteel geen grenswaarden bepaald die op basis van metingen kunnen worden getoetst.

In het kader van de Waterwet, de Wabo en de regeling Omgevingsrecht geeft Nederland invulling aan de Europese richtlijn (2010/75/EU) over *Industriële emissies.* Hiervoor is bij de vergunningverlening van lozingen van afvalwater een beoordelingssystematiek ontwikkeld en beschikbaar voor het bepalen van de waterbezwaarlijkheid van schadelijke stoffen die via de afvalwaterlozing in het oppervlaktewater mogen worden geloosd. Dit is de Algemene beoordelingsmethodiek (ABM) en de immissietoets. Op basis van de ABM en de immissietoets uitgevoerd door de aanvrager of houder van de vergunning beoordeelt het bevoegd gezag in welke waterbezwaarlijkheidsklasse schadelijke stoffen (bv individuele PFAS stoffen) kunnen worden ingedeeld. De klasseindeling bepaalt vervolgens welke saneringsinspanningen een inrichting moet leveren. Men kan hierbij denken aan maatregelen bij de bron, de minimalisatieverplichting en de best beschikbare zuiveringstechnieken. Uitgebreide informatie hierover is te vinden op de website van Helpdesk Water[2].

b. Welke rapportagegrenzen zijn gebruikelijk voor PFAS-analyses in afvalwater dan wel in grondwater? De OVAM hanteerde tot voor kort 100 ng/l, en dit is nu aangepast naar 50 ng/l dan wel 20 ng/l. Meer informatie valt te vinden via de volgende link: PFAS-lozingsnormen voor bedrijven | Vlaanderen.be

Antwoord 4b:
Met de huidige stand van beschikbare analysemethoden is een aantoonbaarheidsgrens (limit of detection - LOD) van circa 30 tot 50 toxisch relevante PFAS stoffen in watermatrices haalbaar in een concentratiebereik van 0,1 ng/l tot 25 ng/l. De LOD kan per individuele PFAS stof en per watermatrix verschillen. In de regel zijn de LOD's van afvalwatermonsters hoger dan de meer schone watermonsters van drink-, grond- en oppervlaktewater.

Toelichting
Op hoofdlijnen zijn de monstervoorbereiding en de analysetechnieken van verschillende analysemethoden voor de bepaling van PFAS in oppervlaktewater, drinkwater, afvalwater en grondwater vrij standaard en overeenkomstig. De methoden zijn beschikbaar bij een aantal in Nederland gevestigde commerciële - en instituutslaboratoria als ook internationaal. Hoofdstuk 7.2.2 van het Kennisdocument van het Expertisecentrum PFAS bevat een beschrijving van de standaard toegepaste analysetechniek van de HPLC-MS-MS voor de bepaling van het PFAS-gehalte van water. Voor deze meetmethoden zijn detectiegrenzen van 0,65 tot 1,0 ng/l haalbaar. In afvalwater zijn de detectiegrenzen volgens het Kennisdocument in de regel hoger, maar dit is wel afhankelijk van de matrixeffecten. De LOD van PFAS in grondwater ligt rond 5 ng/l, terwijl die volgens het Kennisdocument voor oppervlaktewater tot 0,5 ng/l haalbaar is. Wereldwijd ontwikkelde standaarden voor de bepaling van PFAS in watermatrices volgen hier in het kort. De ISO 25101:2009 is geschikt voor de analyse van PFOS en PFOA in ongefilterd drinkwater, grondwater en oppervlaktewater (zoet en zout water) en kan worden

[2] Van ABM en Immissietoets naar vergunningvoorschrift - Helpdesk water

toegepast in een concentratiebereik van 2,0 tot 10.000 ng/l voor PFOS en 10 tot 10.000 ng/l voor PFOA (Technische Commissie, 2009). De US EPA-methode 537.1: analysemethode bevat een doellijst van 18 PFAS-verbindingen bestaande uit 11 carbonzuren, 4 sulfonzuren, 2 voorlopers van sulfonamide-azijnzuren en FRD-903 (HFPO-DA of een PFAS in het GenX-proces). Afhankelijk van de PFAS-verbinding ligt de LOD in een concentratiebereik van 0,53 tot 6,3 ng/l (EPA, 2020). De DIN 38407-42, een Duitse analysemethode, is geschikt voor de bepaling van de concentratie van PFAS in drink-, grond-, oppervlakte- en afvalwater. De LOD ligt afhankelijk van de matrix tussen 10 en 25 ng/l.

De Vlaamse analysemethode WAC/IV/A/025 voor de gehaltebepaling van PFAS in drink-, grond-, oppervlakte- en afvalwater, die voor de laatste ontwerpversie na goedkeuring van het Vlaamse ministerie per 1 maart 2023 in werking treedt, bevat bepalingsgrenzen van 10 ng/l voor drink-, grond- en oppervlaktewater en 20 ng/l voor afvalwater. Van negen PFAS stoffen is de nauwkeurigheid kleiner, zodat hiervoor een bepalingsgrens van 50 ng/l is vastgesteld. In dit voorschrift zijn de bepalingsgrenzen vergelijkbaar met de *limit of quantification* (LOQ) ofwel 3 maal de LOD. De LOD komt dan uit op afgerond 3 ng/l voor drink-, grond- en oppervlaktewater en 7 ng/l voor afvalwater.
De WAC/IV/A/025 verwijst in de referentielijst naar de internationaal gestandaardiseerde analysemethode ISO 21675:2019. Deze ISO normvoorschrift bevat een meer uitgebreide beschrijving van de analysemethode voor de gehaltebepaling van ongefiltreerd drink-, grond-, oppervlakte-, zee- en afvalwater. De LOQ ofwel de bepalingsgrens van de meeste van in totaal 29 PFAS stoffen is haalbaar tot 0,2 ng/l. De LOD is afgerond 0,1 ng/l. De indruk ontstaat dat de LOD van de ISO analysemethode tenminste een factor 10 tot maximaal een factor 70 lager is dan die van de Vlaamse analysemethode.

c. In het emissierapport zijn de emissies gerapporteerd in ng/Nm^{3}dr. In veel informatie wordt gesproken over uitstoot in kg per jaar. Het zou voor ons wenselijk zijn als dit omgerekend wordt of als jullie een template aan kunnen leveren waarbij wij dit zelf aan kunnen leveren.

Antwoord 4c:
De informatie over emissieconcentraties en debieten is op 29 november 2022 per email van de ILT ontvangen. De bestudering, de berekening van emissieconcentraties naar massastromen en de interpretatie is in het zeer korte tijdsbestek voor het RIVM niet haalbaar. Over de werkwijze en de berekeningsmethoden is de informatie van de website van infomil, het activiteitenbesluit en de activiteitenregeling (VROM, 2007) zeer behulpzaam.

d. Ontbreekt er nog informatie om bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden? Indien dit zo is horen we dit graag, dan kunnen we deze informatie alsnog opvragen bij de Vlaamse autoriteiten.

Antwoord 4d:
Het RIVM heeft op woensdag 16 november per email 11 additionele vragen gesteld voor extra informatie om een zo nauwkeurig mogelijke beantwoording van de adviesvragen van de ILT te kunnen geven. De ILT heeft dag later per email een deel van de additionele vragen en de dagen daaropvolgend grotendeels kunnen beantwoorden.

e. Kunnen we op een later moment de vragen aanvullen, als we extra informatie krijgen waarvoor we het RIVM nodig hebben? Dit zal spelen tussen 14 en 28 november.

Antwoord 4e:
Er is in de periode 14 november tot 28 november tussentijds extra informatie van de ILT ontvangen. Deze informatie is gebruikt bij de beantwoording. Op 28 november en 29 november is informatie van de ILT ontvangen van het VITO rapport (via de website van Indaver) over de emissiemetingen van PFAS in de rookgassen en via de email van de ILT over de debieten van de drie draaitrommelovens van Indaver, te weten DTO1, DTO2 en DTO3. De informatie is gelezen en kwalitatief in deze notitie gebruikt.

3.5 Adviesvraag 5: Overbrenging van PFAS houdende afvalstoffen

Hoe kunnen we tot een overzicht komen van im- en export stromen van afval PFAS die verdacht zijn? Bv textielindustrie? Papierindustrie? (*Deze vraag is minder dringend, kan na 28 nov beantwoord worden.)*

Antwoord 5:
Volgt later.

3.6 Adviesvraag 6: Drinkwaternormen voor PFAS

Kan het RIVM aangeven welke concentratiegrens wordt gehanteerd voor PFAS voor de drinkwaternorm?
De Richtlijn (EU) nr. 2020/2184 van december 2020 betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water is niet van toepassing op het lozingswater van de Site Antwerpen en bovendien zijn technische richtsnoeren voor de monitoring en aftoetsing van PFAS nog in ontwikkeling. Een gemiddelde totale PFAS belasting volgens WAC/IV/A/025 werd voor september, oktober en begin november 2022 gemeten op 0,04 µg/l op basis van 9 metingen. Rekening houdende met de meetonzekerheid op de PFAS-bepaling en rekening houdend met het feit dat een meetwaarde onder detectielimiet als ‘0’ wordt berekend voor de sommatie, voldoet het lozingswater dan ook aan de drinkwaternorm voor PFAS met een totaal van 0,5 µg/l?

Antwoord 6:
Nederland hanteert op grond van de Drink Water Richtlijn (DWR (EU) nr. 2020/2184 (voorlopig) de drinkwaternorm van 100 ng/L voor de som van 20 toxisch-relevante PFAS stoffen. In het antwoord op vraag 4a is deze norm ook genoemd over de kwaliteit van het grondwater voor menselijke consumptie.

Toelichting
De EU Drinkwaterrichtlijn (DWR) schrijft voor dat uiterlijk op 12 januari 2026 concentraties van PFAS in drinkwater moeten voldoen aan tenminste één van de volgende parameterwaarden: 100 ng/L (ofwel 0,1 µg/L) voor de “som van PFAS”, een selectie van 20 PFAS (PFAS-20) die volgens de DWR risicovol zijn in verband met de consumptie van drinkwater of 500 ng/L (ofwel 0,5 µg/L) voor “PFAS totaal”, het totaal van alle PFAS. Uiterlijk op 12 januari 2024 stelt de Europese Commissie technische richtsnoeren op met betrekking tot analysemethoden voor de monitoring van “PFAS totaal” of “som van PFAS” in drinkwater, met inbegrip van de detectielimieten en bemonsteringsfrequentie.
Nederland heeft (voorlopig) voor de 100 ng/L gekozen zoals in het antwoord op vraag 4b ook is aangegeven over de kwaliteit van het grondwater voor menselijke consumptie.

Hoewel het Nederlandse drinkwater voldoet aan beide PFAS parameterwaarden in de nieuwe DWR, is het op basis van de meest recente gezondheidskundige inzichten wenselijk om de hoeveelheid PFAS die mensen binnenkrijgen via drinkwater (en andere blootstellingsroutes) de komende jaren te verlagen. Het RIVM heeft op basis van de meest recente gezondheidskundige grenswaarde (*total weekly intake*) van de EFSA de indicatieve drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng PEQ/L (RIVM, 2021b)) afgeleid. PEQ staat voor PFOA-equivalenten en kan voor inmiddels 23 relevante PFAS stoffen, waarvoor een PFOA equivalentie factor is afgeleid, worden berekend uit de gemeten concentraties van de corresponderende PFAS stoffen. Er is recentelijk een RIVM rapport uitgebracht over PFAS in drinkwater (2022), waarin de nieuwe indicatieve drinkwaterrichtwaarde is toegelicht.

4 Conclusie

Het RIVM heeft in opdracht van de Inspectie Leefomgeving en Transport een zestal adviesvragen beantwoord over de verbranding van PFAS houdende afvalstoffen in afvalverbrandingsinstallaties en over de emissies van PFAS stoffen via de rookgassen en het afvalwater van de rookgasreiniging.
De aanleiding is de stilzetting door de ILT van de overbrenging van PFAS houdende afvalstoffen van Chemours en andere bedrijven gevestigd in Nederland met de bestemming Indaver gevestigd in het havengebied van Antwerpen (België). Indaver is een afvalverbrandingsinstallatie en wordt verdacht dat het teveel PFAS via hun afvalwater loost in de Schelde en de stroomafwaarts gelegen Westerschelde.

PFAS houdende afvalstoffen zullen tijdens de verbranding in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) onder condities van de minimale wettelijke eisen van 850°C gedurende tenminste 2 seconden in aanwezigheid van tenminste 6% zuurstof resulteren in afbraak van alle aanwezige PFAS stoffen. Ze breken af tot kleinere verbrandingsproducten die opnieuw PFAS stoffen kunnen zijn en overige organische fluorverbindingen.
De gasvormige perfluorkoolstoffen (PFC) zoals perfluormethaan, perfluorethaan, perfluorpropaan en perfluorbutaan worden niet in de te verbranden afvalstoffen verwacht, maar worden wel als verbrandingsproducten gevormd. Bij een verbrandingstemperatuur van tenminste 1100°C zullen de PFC, en de PFAS als geheel, grotendeels zijn vernietigd. Perfluormethaan, de meest thermostabiele PFAS stof, zal bij een temperatuur van tenminste 1440°C zijn vernietigd. Dit betekent dat bij 850°C, maar ook bij 950°C voor de AVI van Indaver (Antwerpen), het niet uitgesloten is, dat er PFAS stoffen vrijkomen via de rookgassen. De PFC kunnen daarbij de rookgasreinigingstappen ongehinderd passeren.

Er zijn indicaties, dat aantoonbare gehalten van PFAS stoffen tot een factor 250 hoger dan de aantoonbaarheidsgrens in het bodemas en het vliegas aanwezig kunnen zijn. Ook zijn er indicaties, dat het afvalwater van de rookgasreiniging PFAS stoffen bevat. Deze afvalstromen van een AVI zijn een gevaar voor de verspreiding van PFAS in bodem, water en lucht. De uitloging van PFAS naar de bodem in opslag- of stortplaatsen van bodem- en vliegassen of bij de toepassing van de assen als bouwstoffen in GWW-werken en lozing van het afvalwater met PFAS in het oppervlaktewater zijn relevante verspreidingsroutes.

Het ontbreekt in de toepasselijke wet en regelgeving aan normstelling van de relevante schadelijke PFAS stoffen. AVI's zijn vergunningsplichtige inrichtingen, zodat in het traject van de vergunningaanvraag of wijzigingen van verleende vergunningen in voldoende mate moet zijn aangetoond, dat er geen onacceptabele risico's bestaan door de PFAS emissies naar de lucht, de bodem en het oppervlaktewater. In Nederland zijn er beoordelingssystematieken ontwikkeld om de PFAS emissies van een AVI te kunnen beoordelen. Voor enkele PFAS stoffen, die ZZS zijn,

gelden extra inspanningsverplichtingen op de onderdelen bronaanpak, minimalisatieverplichting en het gebruik van de best beschikbare technieken.
AVI's gebruiken gangbare technieken voor de rookgasreiniging en de afvalwaterzuivering. Deze technieken zijn echter niet specifiek ontwikkeld voor het afvangen van PFAS. Door het ontbreken van voldoende meetgegevens, kan de effectiviteit en de efficiëntie van de technieken niet beoordeeld worden op dit moment. Op basis van enkele publicaties van uitgevoerde metingen is er een indicatie, dat de huidige toegepaste technieken in AVI's niet voldoende goed zijn. De verwachting is, dat er meer onderzoek verricht zal worden om de doeltreffendheid en doelmatigheid van technieken voor de afscheiding van de PFAS via de rookgasemissie en de afvalwaterlozing nauwkeuriger te kunnen bepalen.

De beschikbare analysemethoden voor de gehaltebepaling van PFAS in afval-, grond-, oppervlakte- en drinkwater hebben aantoonbaarheidsgrenzen voor circa 30 tot 50 relevante PFAS stoffen in een concentratiegebied van 0,1 ng/l tot 25 ng/l. Het niveau hangt af van de verontreinigingsgraad van een watermonster en van de individuele PFAS stof. In schoon water is de aantoonbaarheidsgrens, *limit of detection (LOD)*, in de regel het laagst tot een grenswaarde van 0,1 ng/l.

De EU Drinkwaterrichtlijn (DWR) schrijft voor dat uiterlijk op 12 januari 2026 concentraties van PFAS in drinkwater moeten voldoen aan tenminste één van de volgende parameterwaarden: 100 ng/L (ofwel 0,1 µg/L) voor de "som van PFAS", een selectie van 20 PFAS (PFAS-20) die volgens de DWR risicovol zijn in verband met de consumptie van drinkwater of 500 ng/L (ofwel 0,5 µg/L) voor "PFAS totaal", het totaal van alle PFAS. Uiterlijk op 12 januari 2024 stelt de Europese Commissie technische richtsnoeren op met betrekking tot analysemethoden voor de monitoring van "PFAS totaal" of "som van PFAS" in drinkwater, met inbegrip van de detectielimieten en bemonsteringsfrequentie. Nederland heeft (voorlopig) voor de 100 ng/L gekozen.
De drinkwaternorm voor PFAS is van belang, omdat deze ook wordt toegepast bij de toetsing van de kwaliteit van het grondwater voor menselijke consumptie.

Op basis van de beantwoording van de adviesvragen kan het RIVM uit de ontvangen informatie over van de ILT over de AVI van Indaver (Antwerpen) het volgende meegeven;

- Indaver is vergund voor de verbranding van (gevaarlijke) afvalstoffen bij tenminste 950°C. Bij deze verbrandingstemperatuur kan niet worden uitgesloten, dat er nog meetbare concentraties PFAS stoffen, te weten PFC via de rookgassen naar de lucht emitteren. Bij een temperatuur van tenminste 1100°C is het vrijwel uitgesloten om nog (meetbare) PFAS stoffen aan te treffen.
- Op de website van Indaver is enkele dagen geleden het VITO rapport gepubliceerd over de ontwikkeling, validatie en de interpretatie van de rookgasemissiemetingen van relevante geselecteerde PFAS stoffen uit de schoorsteen van Indaver (VITO, juli 2022). Vrijwel alle PFAS stoffen blijken boven de

bepaalbaarheidsgrens aangetoond. Vooral de PFCAs zoals PFBA, L-PFOA en T-PFOA zijn grofweg tussen 100 en 600 ng/Nm^3 gemeten. De VITO metingen hebben tot doel hun meetmethode te valideren, zodat voorzichtigheid nodig is bij het gebruik van de meetresultaten. In kwalitatief opzicht mag het als informatief en opmerkelijk worden gekenmerkt, dat er PFAS stoffen vrijkomen naar de lucht. Daaronder vallen minder thermostabiele PFAS stoffen dan de PFC. De PFC zijn helaas niet gemeten. Het lijkt hiermee duidelijk, dat de PFAS stoffen niet worden vernietigd onder de procescondities van Indaver van de draaitrommeloven DTO2.

- Het onderzoek naar de grondwaterkwaliteit van het bedrijfsterrein van Indaver toont hoge waterconcentraties van PFAS stoffen van vooral PFBA aan. Het lijkt aannemelijk, dat hier uitloging van met PFAS verontreinigde bodem- en vliegassen en andere afvalstromen de oorzaak is. Dit is onverminderd het feit, dat er meerdere PFAS bronnen zijn in het havengebied van Antwerpen. De metingen van de grondwaterkwaliteit moeten nauwkeurig worden bestudeerd om de juiste conclusies te kunnen trekken.

REFERENTIELIJST

Houben T. and Boerleider R. (2020). ZZS-inventarisatie AVR Duiven. Royal HaskoningDHV reference number BH2652I&BRP001F01, 2 June . In Dutch.

Indaver (2020b) Rotary Kiln: Safe and sustainable processing of hazardous waste. In Dutch. Draaitrommeloven: Veilige en duurzame verwerking van gevaarlijk afval: Available at
Draaitrommeloven (indaver.com)
Geraadpleegd 25 november 2022

Infomil (2020). Emission limit values for waste incineration plants. Article 5.19 Activities Decree. Available at: Emissie eisen - Kenniscentrum InfoMil
Geraadpleegd 25 november 2022.

National Committee (2011). NA 110-01-03 AA Water examination. DIN 38407-42 German standard methods for the examination of water, waste water and sludge - Jointly determinable substances (group F) - Part 42: Determination of selected polyfluorinated compounds (PFC) in water - Method using high performance liquid chromatography and mass spectrometric detection (HPLC/MS-MS) after solid-liquid extraction. [EPA]. Available at: Publications (din.de)
Geraadpleegd 25 november 2022.

Sandblom, O. (2014). Waste incineration as a possible source of perfluoroalkyl acids to the environment – method development and screening. Department of Applied Environmental Science, Stockholm University, Stockholm.

Kennisdocument Expertisecentrum PFAS Available at:
Poly- en PerFluor Alkyl Stoffen (PFAS) (expertisecentrumpfas.nl)
Geraadpleegd 25 november 2022

Best Available Techniques (BAT) Reference document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/management systems in the chemical sector
JRC Science for policy report, 2016

EPA (2020). Method 537.1 Determination of selected per- and polyflourinated alkyl substances in drinking water by solid phase extraction and liquid chromatography / tandem mass spectrometry (LC/MS/MS). [EPA]. Environmental Protection Agency. Available at:
Method 537.1 Determination of Selected Per- and Polyflourinated Alkyl Substances in Drinking Water by Solid Phase Extraction and Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (LC/MS/MS) | Science Inventory | US EPA
Geraadpleegd 25 november 2022.

EPA (2020) Interim guidance on the destruction and disposal of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and materials containing perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances

Interim Guidance for Public comment, 18 december 2020

Technical Committee (2009). ISO/TC 147/SC 2 Physical, chemical and biochemical methods. ISO 25101:2009 Water quality – Determination of perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) – Method for unfiltered samples using solid phase extraction and liquid chromatography/mass spectrometry. [ISO]. Available at: ISO - ISO 25101:2009 - Water quality — Determination of perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) — Method for unfiltered samples using solid phase extraction and liquid chromatography/mass spectrometry
Geraadpleegd 25 november 2022.

Bepaling van per- en polyfluoralkylverbindingen (PFAS) in water met LC-MS/MS
WAC/IV/A/025, juli 2022

N.G.F.M. van der Aa; J. Hartmann en C.E. Smit
PFAS in Nederlands drinkwater vergeleken met de nieuwe Europese Drinkwaterrichtlijn en relatie met gezondheidskundige grenswaarde van EFSA
RIVM briefrapport 2022-0149

A. Wintersen et al
Lands dekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater
RIVM briefrapport 2021-0205, 2021

J. Bakker; B. Bokkers en M. Broekman
Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gases
RIVM rapport 2021-0143

A. Wintersen en P. Otte
Risicogrenzen ten behoeve van de vaststelling van Interventiewaarden voor PFOS, PFOA en GenX.
RIVM memo, 20 juli 2021

M. v.d. Aa; J. Hartmann, J.D. te Biesebeek
Analyse bijdrage drinkwater en voedsel aan blootstelling EFSA-4 PFAS in Nederland en advies drinkwaterrichtwaarde
RIVM advies, 3 mei 2021

C.E. Smit, E.M.J. Verbruggen
Risicogrenzen voor PFAS in oppervlaktewater
RIVM briefrapport 2022-0074, 2022

Staatsblad 2022, 450:Besluit van 8 november 2022 tot wijziging van het Drinkwaterbesluit, het Besluit kwaliteit leefomgeving en enkele andere algemene maatregelen van bestuur in verband met de omzetting van EU-Drinkwaterrichtlijn 2020/2184 (herschikking)

J. Hofman en P. Berghmans
Literatuurstudie verbranding PFAS
VITO rapport, sept 2021

Oriënterend onderzoek naar diffuse verspreiding van PFAS in het freatisch grondwater in Vlaanderen
VVM rapport, depotnummer D/2022/6871/014, 2022

Protocol voor toestand- en trendbeoordeling van grondwaterlichamen KRW – herzien 2019
Landelijke werkgroep grondwater (RIVM en Provincie Zeeland)

Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer
VROM, nr DJZ2007104180, Staatscourant nr. 223, 2007

Case: Monitoring PfAS schouwemissies uit draaitrommel (DTO 2) van In daver NV: i.k.v de ontwikkeling van een gevalideerde bemonsterings- en analysemethode
VITO rapport, juli 2022

BIJLAGE A: ILT-ADVIESVRAGEN AAN HET RIVM

1. Verbranding

a) Wat is, gezien de laatste inzichten, de minimale verbrandingstemperatuur en verblijftijd van PFAS-houdend afval om te zorgen dat PFAS bij de verbranding volledig wordt vernietigd, inclusief de bij verbranding vrijkomende F-houdende restproducten zoals CF4?
b) Hierbij ook aandacht voor eventuele F-houdende restproducten in bodemassen die gestort worden op stortplaatsen.
c) Bij lagere temperaturen vindt mogelijk onvolledige vernietiging plaats, waarbij kortere ketens gevormd worden. Zijn er bepaalde PFAS-componenten waarvan bekend is dat deze dan ontstaan, en welke zijn dit? Kan op basis van de huidige analyses aannemelijk gemaakt worden dan wel uitgesloten worden dat deze kortere ketens gevormd worden Welke restproducten zijn te verwachten bij welke temperatuur? Wat zijn dan de risico's? (zie ook analyserapporten)
Betrek hierbij ten minste beschikbare rapporten dat adviesbureau VITO voor de OVAM heeft opgesteld en de guideline van het Amerikaanse EPA.

2. Wat zijn de best beschikbare emissiebeperkende technieken om bij verbranding van PFAS-houdend afval de emissie van PFAS naar lucht en water tot een minimum te beperken (inclusief fluorhoudende bijproducten die bij de verbranding vrijkomen)? (Nieuwe techniek: Applications and Markets | 374Water)
Gelden de emissiebeperkende maatregelen bij Chemours als maatstaf hiervoor, ook bij verwerkers van PFAS-houdend afval?

3. Hoe verhouden deze zich tot elkaar? M.a.w., kan een lagere verbrandingstemperatuur veilig worden gecompenseerd met nageschakelde emissiebeperkende maatregelen.

4. Vergunningverlening EVOA heeft van de Vlaamse autoriteiten diverse analyses ontvangen (onder andere van grondwater en luchtemissies). 2 bestanden ('G.IW.I.d' en 'Meetresultaten Emissie PFAS middels de geëmitteerde rookgassen') zijn bijgevoegd. Daarnaast ontvangen we de komende weken mogelijk nog meer informatie. Aangezien wij niet de kennis hebben zouden we graag een toelichting krijgen op deze analyses. Concreet hebben we de volgende vragen:
a. Wat zijn de normen die worden gehanteerd voor PFAS in het grondwater en normen voor PFAS die installaties mogen uitstoten via de lucht of lozen via het afvalwater? De OVAM gebruikt bijvoorbeeld de EFSA (European Food & Safety Agency) normen, waarbij Indaver aangeeft dat de gemeten concentraties PFAS in lucht 40x onder deze normen liggen. Op dit moment missen we de handvatten om de analyses te kunnen interpreteren.
b. Welke rapportagegrenzen zijn gebruikelijk voor PFAS-analyses in afvalwater dan wel in grondwater? De OVAM hanteerde tot voor kort 100 ng/l, en dit is nu aangepast naar 50 ng/l dan wel 20 ng/l. Meer informatie valt te vinden via de volgende link: PFAS-lozingsnormen voor bedrijven | Vlaanderen.be
c. In het emissierapport zijn de emissies gerapporteerd in ng/Nm^{3}dr. In veel informatie wordt gesproken over uitstoot in kg per jaar. Het zou voor

ons wenselijk zijn als dit omgerekend wordt of als jullie een template aan kunnen leveren waarbij wij dit zelf aan kunnen leveren.

d. Ontbreekt er nog informatie om bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden? Indien dit zo is horen we dit graag, dan kunnen we deze informatie alsnog opvragen bij de Vlaamse autoriteiten.
e. Kunnen we op een later moment de vragen aanvullen, als we extra informatie krijgen waarvoor we het RIVM nodig hebben? Dit zal spelen tussen 14 en 28 november.

5. Hoe kunnen we tot een overzicht komen van im- en export stromen van afval PFAS die verdacht zijn? Bv textielindustrie? Papierindustrie? (*Deze vraag is minder dringend, kan na 28 nov beantwoord worden.)*

BIJLAGE A: PFAS DOELSTOFFEN EN RAPPORTAGE GRENZEN

Substance	Method	Reporting limit
perfluoro-n-butanoic acid (PFBA)	DIN 38407-42 mod.	0,6 ng/l
perfluoro-n-pentanoic acid (PFPeA)	DIN 38407-42 mod.	0,6 ng/l
perfluoro-n-hexanoic acid (PFHxA)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-n-heptanoic acid (PFHpA)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-n-octanoic acid (lineair) (PFOA)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-n-octanoic acid (branched) (PFOA branched)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-n-octanoic acid (total) (PFOA total)	Calculated	0,3 ng/l
perfluoro-n-nonanoic acid (PFNA)	DIN 38407-42 mod.	0,6 ng/l
perfluoro-n-decanoic acid (PFDA)	DIN 38407-42 mod.	0,6 ng/l
perfluoro-n-undecanoic acid (PFUnDA)	DIN 38407-42 mod.	2 ng/l
perfluoro-n-dodecanoic acid (PFDoA)	DIN 38407-42 mod.	2 ng/l
perfluoro-n-tridecanoic acid (PFTrDA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-n-tetradecanoic acid (PFTeDA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-n-hexadecanoic acid (PFHxDA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-n-octadecanoic acid (PFODA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-1-butane sulfonic acid (PFBS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-1-pentane sulfonic acid (PFPeS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-1-hexane sulfonic acid (PFHxS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-1-heptane sulfonic acid (PFHpS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
perfluoro-1-octane sulfonic acid (lineair) (PFOS)	DIN 38407-42 mod.	0,2 ng/l
perfluoro-1-octane sulfonic acid (branched) (PFOS branched)	DIN 38407-42 mod.	0,2 ng/l
perfluoro-1-octane sulfonic acid (total) (PFOS total)	Calculated	0,2 ng/l
perfluoro-1-decane sulfonic acid (PFDS)	DIN 38407-42 mod.	2 ng/l
4:2 fluorotelomer sulfonic acid (4:2 FTS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
6:2 fluorotelomer sulfonc acid (6:2 FTS)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
8:2 fluorotelomer sulfonic acid (8:2 FTS)	DIN 38407-42 mod.	2 ng/l
10:2 fluorotelomer sulfonic acid (10:2 FTS)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
N-methylperfluorooctane sulfonamidoacetic acid (N-MeFOSAA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
N-ethylperfluorooctane sulfonamidoacetic acid (N-EtFOSAA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
perfluoro-1-octanesulfonamide (PFOSA)	DIN 38407-42 mod.	0,3 ng/l
N-methylperfluorooctanesulfonamide (N-MeFOSA)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l
8:2 polyfluoroalkyl phosphate diester (8:2 diPAP)	LC-MS-MS, in-house meth.	2 ng/l

BIJLAGE C: ZWEEDSE STUDIE VAN PFAS GEHALTEN IN BODEMAS, VLIEGAS, CONDENSATIEWATER EN AFVALWATER VAN VIER AVI'S (BRON: RIVM,2021)

Table 11 Average values of the PFAS acids in bottom and fly ash in µg.kg^{-1} (ng.g^{-1}) and PFAS concentrations in condensation and waste water in ng.L^{-1} in four incineration plants in Sweden

PFAS	Bottom ash[a]	Fly ash[a]	Condensate water	Waste water[b]	LOD Solid samples	LOD[c] Water samples
PFBA	1.148	0.384	*3.74*–6.68	*3.74*	0.170	3.74
PFHxA	0.832	1.772	*0.312*–5.91	0.614	0.024	0.312
PFOA	0.196	0.395	*0.874*–1.88	*0.874*	0.013	0.874
PFNA	1.877	5.909	*0.932*–8.69	*0.932*	0.022	0.932
PFDA	0.141	0.318	*0.165*–9.71	*0.165*	0.114	0.165
PFUnDA	0.088	*0.085*	*0.244*–1.82	*0.244*	0.085	0.244
PFDoDA	*0.118*	*0.118*	*0.285*–2.90	*0.285*	0.118	0.285
PFHxS	0.014	0.027	*0.122*–0.298	0.158	0.003	0.122
PFOS	0.380	1.778	*1.52*–2.04	*1.52*	0.128	1.52

Note: The values in italic are concentrations at the LOD.

a) Refers to average values of chemical analyses of samples gathered from four waste incineration plants.

b) Relates to one sample from one of the four waste incineration plants.

c) LOD is 3 times the standard deviation of measurements at blank level and corrected for blank matrix effects.

Source: Sandblom (2014).

BIJLAGE D: AFKORTINGEN VAN PFAS STOFFEN

ADONA	3H-perfluoro-3-[(3-methoxy-propoxy)propanoic acid], ammonium salt
DONA	3H-perfluoro-3-[(3-methoxy-propoxy)propanoic acid]
diPAP	disubstituted polyfluoroalkyl phosphate (see also PAP)
ECTFE	ethylene/chlorotrifluoroethylene copolymer
EtFASA	N-Ethyl perfluoroalkane sulphonamide
EtFASE	N-Ethyl perfluoroalkane sulphonamido ethanol
ETFE	ethylene/tetrafluoroethylene copolymer
FASA	perfluoroalkane sulphonamide
FASAA	perfluoroalkane sulphonamido acetic acid
FEP	fluorinated ethylene propylene polymer, tetrafluoroethylene/hexafluoropropene copolymer
FRD-903	2,3,3,3-tetrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)-propanoic acid
FT	fluorotelomer (substance)
FTI	fluorotelomer iodide
FTOH	fluorotelomer alcohol
FTAC	fluorotelomer acrylate
FTMAC	fluorotelomer methacrylate
FTS	fluorotelomer sulphonate
FTUCA	fluorotelomer unsaturated carboxylic acid
GenX	technology used in the production of fluoropolymers
HFE	hexafluoroethane
HFP	hexafluoropropylene
HFPO-DA	hexafluoropropylene oxide dimer acid
MeFASA	N-Methyl perfluoroalkane sulphonamide
MeFASE	N-Methyl perfluoroalkane sulphonamido ethanol
MFA	tetrafluoroethylene/perfluoro(methylvinyl ether) copolymer
PAF	perfluoroalkanoyl fluoride
PAP	per/polyfluoroalkyl phosphoric acid ester, per/polyfluoroalkyl phosphate, fluorotelomer phosphate
PASF	perfluoroalkane sulphonylfluoride
PCTFE	poly(chlorotrifluoroethylene)
PE	polyethylene
PFA	perfluoroalkoxy alkanes or tetrafluoroethylene/perfluoro(propylvinyl ether) copolymer
PFAA	perfluoroalkyl acid
PFAE	per/polyfluoroalkyl ether
PFAI	perfluoroalkyl iodides
PFAL	perfluoroalkyl aldehyde
PFASA	perfluoroalkyl sulphonamide
PFASE	perfluoroalkyl sulphonamido ethanol
PFBA	perfluorobutanoic acid
PFBS	perfluorobutane sulphonic acid
PFC	perfluorocarbon
PFCA	perfluorocarboxylic acid
PFDA	perfluorodecanoic acid
PFDoDA	perfluorododecanoic acid
PFDS	perfluorodecane sulphonic acid
PFECA	per/polyfluoroether carboxylic acid

PFESA	per/polyfluoroether sulphonic acid
PFHpA	perfluoroheptanoic acid
PFHpS	perfluoroheptane sulphonic acid
PFHxA	perfluorohexanoic acid
PFHxDA	perfluorohexadecanoic acid
PFHxS	perfluorohexane sulphonic acid
PFIB	perfluoroisobutylene
PFNA	perfluorononanoic acid
PFOA	perfluorooctanoic acid
PFODA	perfluorooctadecanoic acid
PFOS	perfluorooctane sulphonic acid
PFOSA	perfluorooctane sulphonamide
PFPA	perfluorophosphonic acid
PFPE	perfluoropolyether
PFPeA	perfluoropentanoic acid
PFPeS	perfluoropentane sulphonic acid
PFPIA	perfluorophosphinate / perfluoroalkyl phosphinic acid
PFSA	perfluoroalkyl sulphonic acid
PFSiA	perfluoroalkyl sulphinic acid
PFSIA	perfluoroalkyl sulphinic acid
PFTeDA	perfluorotetradecanoic acid
PFUnDA	perfluoroundecanoic acid
PTFE	polytetrafluoroethylene
PVDF	polyvinylidene fluoride