



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

Notitie

Beantwoording ILT vervolgvragen PFAS - Indaver

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

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Auteur

[...]
*Wetenschappelijk
Onderzoeker*

Behandeld door

[...]
Opdracht coördinator

T 06-[...]
[...@rivm.nl

1) Criteria beoordelen kennisgevingen

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

a) Welke technische eisen of procescondities kunnen we - naast temperatuur en naverbrandingstijd – stellen ten behoeve van het beoordelen van een toestemming voor het overbrengen van >1% PFAS-houdend afval. Bieden BBT benoemd in de BREF sectie 4.3 daarvoor een opening?

De BREF (Neuwahl et al. 2019) bevat hiervoor aanknopingspunten. In de BREF staat dat het BAT is om een geschikte combinatie van technieken te gebruiken om het gehalte aan onverbrande stoffen in slakken en assen en de emissies naar lucht te reduceren (BAT 14). In hoofdstuk vier van de BREF zijn, zoals in de BREF verwoord, technieken beschreven die de potentie hebben om bij te dragen aan een hoog niveau van milieubescherming. Het gaat onder andere om maatregelen die genomen kunnen worden om het afval zo volledig mogelijk uit te laten branden zoals beschreven in sectie 4.3 van de BREF (zie antwoord vraag 2d). Daarnaast staan er in sectie 4.3 maatregelen beschreven om te zorgen voor een optimale verbranding in de naverbrandingskamer. Het gaat dan om procesmaatregelen zoals het voorverwarmen van de secundaire en primaire verbrandingslucht, extra toevoer van zuurstof en lagere gassnelheid in de oven zelf zodat de totale verblijftijd van het gas wordt verhoogd.

In bodemassen van verbrandingsinstallaties worden ook PFAS aangetroffen, zie ook het antwoord op vraag 2d. Om de concentratie PFAS in bodemassen te beperken, is het van belang dat het afval goed uitbrandt. Hoe minder goed het afval uitbrandt hoe lager de hoeveelheid volledig vernietigde PFAS en hoe meer PFAS er in de gevormde assen achterblijft. Een indicator voor de mate waarin het afval is uitgebrand, is het totale gehalte aan organisch koolstof (TOC) in de bodemassen. Volgens artikel 50(1) van de Europese Richtlijn Industriële Emissies (RIE) dient het gehalte TOC in de bodemas lager te zijn dan 3%. Volgens de BREF liggen de typische gehalten (voor draaitrommelovens, DTO's) tussen 1 en 2%. In de RIE staan geen eisen voor de benodigde temperatuur en de verblijftijd van het afval in de verbrandingsoven.

In de BREF (sectie 4.3.9) staan technieken om het uitbranden ofwel het opbranden van het afval te bevorderen. Voor een goede verbranding moet al het materiaal homogeen goed worden verhit. Daarom is een goede menging van belang. Een andere maatregel is het verkleinen en vooraf goed mengen van het te verbranden afval. Verder moet de temperatuur hoog genoeg zijn voor het vervluchtigen en pyrolyse van het materiaal. Dat kan door de toevoer van verbrandingslucht te optimaliseren om zo de verbranding in de gasfase te stimuleren en de temperatuur in de oven (eerste verbrandingskamer) te verhogen. Ook een hogere calorische waarde van het afval helpt om een hogere verbrandingstemperatuur te bereiken in zowel de oven als in het verbrandingsbed. Als deze technieken worden toegepast is volgens de BREF een TOC-gehalte van lager dan 1% is te behalen. In de notitie van Broekman (2022) is het belang van de verbrandingstemperatuur aangehaald. Uit onderzoek blijkt dat bij hogere verbrandingstemperaturen het gehalte PFAS in de assen lager is.

Bij de in de BREF genoemde maatregelen om het uitbranden van het vaste afval te bevorderen staat, zoals eerder gezegd, geen specifieke informatie over de te hanteren verblijftijd van het afval in de oven. In de BREF staan wel typische waarden vermeld. De BREF vermeldt dat Voor DTO's een verblijftijd van het afval in de oven van 30 tot 90 minuten normaalgesproken voldoende moet zijn om het materiaal op te branden. Dat is dus een behoorlijke bandbreedte wat weer samenhangt met onder andere het type materiaal en de grootte van de vaste bestanddelen die worden verbrand. Verder vermeldt de BREF, dat de temperaturen in de oven doorgaans tussen de 850 en 1300 °C liggen.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Het gehalte aan TOC in de assen is een indicator voor hoe goed de verbranding van het afval in de DTO's verloopt en geeft de potentie aan om de PFAS-gehalten in de assen te verlagen. Het TOC-gehalte van de assen zou gezien de wettelijke eis die gesteld is aan het TOC-gehalte bekend moeten zijn. In de BREF, sectie 5.1.2, staat verder dat monitoring van het TOC-gehalte wordt gezien als best beschikbare techniek (BAT nr. 7) waarbij het gehalte elke drie maanden wordt gemeten volgens aangegeven standaard. Het is verder aan te bevelen om de PFAS-gehalten in de verschillende assen te gaan meten mede gezien de grondwater problematiek, zie vraag 2d. In aansluiting hierop, in de BREF wordt gesteld dat het een best beschikbare techniek is (BAT 8) om bij de verbranding van gevaarlijk afval die persistente organische stoffen (POP's) bevatten, de gehalten te meten in de uitgaande stromen. PFOS, PFOA en PFHxS zijn volgens de Stockholm Conventie POP's. Verder wordt overwogen om langketenige perfluorcarboxylaten (C9-C12 PFCA's) op te nemen in de Stockholm Conventie. Gezien de persistente eigenschappen van vele PFAS en de afbraakproducten daarvan is het aan te bevelen een breed palet aan PFAS te meten.

b) Kunnen we deze eisen als voorzorg ook stellen voor <1% PFAS houdend afval?

De in 1a en sectie 4.3 beschreven technieken zijn van toepassing op de algehele installatie en niet voor een specifiek type afval en kunnen dus in zijn algemeenheid worden toegepast voor het behalen van emissieniveaus die eigen zijn aan de beste beschikbare technieken teneinde een hoog beschermingsniveau voor het milieu en de menselijke gezondheid te garanderen.

2) Verbrandingstemperatuur

Datum

1 maart 2023

2a) Is 1100°C beter dan 1040°C voor de verbranding van PFAS-houdend afval? Is het mogelijk hiervoor een (kwantitatieve) onderbouwing te geven?

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Voor thermische afbraak van chemische verbindingen geldt het basis principe, hoe hoger de temperatuur, hoe beter een stof wordt afgebroken. Dit geldt echter alleen boven een bepaalde drempelwaarde (activeringsenergie) vanaf waar de afbraakreactie begint. Dit betekent, dat bij een hogere temperatuur een stof sneller uiteenvalt en er dus meer stof uiteenvalt in een bepaalde tijdseenheid. Een hogere temperatuur zorgt er ook voor dat een chemische verbinding beter mineraliseert. Mineraliseren wil zeggen uiteenvallen in de chemische elementen waar het uit is opgebouwd. Bij verbranding worden van de elementen oxides gevormd. Elementen die tot de halogenen behoren gaan tijdens de verbranding een verbinding aan met waterstof in plaats van zuurstof en vormen daarmee zuren zoals HF en HCl. Bij complete mineralisatie worden PFAS moleculen volledig omgezet naar HF en CO/CO₂. Een hogere temperatuur betekent dus ook, dat er meer minerale stoffen en minder bijproducten worden gevormd als gevolg van niet volledige verbranding.

Hoe gemakkelijk een chemische verbinding uiteenvalt, als gevolg van blootstelling aan een bepaalde temperatuur, wordt bepaald door de sterkte van de binding tussen de elementen waaruit een stof is opgebouwd. Verder speelt nog mee hoe gemakkelijk een stof reageert met zuurstof en of bij deze reactie warmte vrijkomt of dat het juist energie kost om deze verbinding aan te gaan.

Zoals vermeld in de notitie van Broekman (2022) is het de verwachting, dat 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 in de naverbrandingskamer, alle aanwezige PFAS stoffen in principe afbreken. Doch een totale (100%) vernietiging van PFAS is in de praktijk niet waarschijnlijk omdat het thermische afbraakproces nog niet geheel is voltooid, er fluorhoudende organische bijproducten worden gevormd en niet al het materiaal in de naverbrandingskamer aan de betreffende omstandigheden worden blootgesteld.

Bij onderzoek naar de thermische degradatie van PFAS is aangetoond, dat er andere fluorhoudende bijproducten worden gevormd die ook als PFAS dienen te worden beschouwd (Bakker et al., 2021). Het betreft een scala aan fluorhoudende bijproducten. Bij hogere temperaturen (> 600 °C) gaat het voornamelijk om korte volledig gefluoreerde koolstofverbindingen de zogenaamde perfluoralkanen ook wel perfluorcarbon verbindingen (PFC's) genoemd (Bakker et al., 2021). Van alle PFAS zijn dit thermisch gezien de meest stabiele verbindingen. De PFC's die voornamelijk worden gevormd zijn de twee kleinste moleculen binnen deze groep perfluormethaan CF₄, perfluorethaan C₂F₆. Daarnaast worden onverzadigde perfluorverbindingen gevormd, vooral perfluoralkenen. De gevormde perfluoralkenen zijn instabiel en reageren naar verwachting snel verder tijdens de verbranding (Bakker et al. 2021).

De relatie tussen de mate van afbraak en de temperatuur en de verbrandingstijd kan proefondervindelijk worden vastgesteld. Voor enkele van de meest stabiele PFAS verbindingen zijn deze relaties onderzocht in verschillende studies. In het rapport van Bakker et al. (2021) worden een aantal van deze studies aangehaald. Met deze gegevens kan de mate van thermische afbraak worden berekend afhankelijk van de temperatuur en de tijd dat een stof is blootgesteld aan die temperatuur, of wel de verblijftijd. De mate van afbraak wordt uitgedrukt in de destructie-efficiëntie (DE) die berekend wordt uit de hoeveelheid startmateriaal (Qstart) en de hoeveelheid materiaal dat aan het eind nog resteert (Qeind):

$$DE = (Q_{\text{start}} - Q_{\text{eind}}) / Q_{\text{start}} \times 100 \%$$

Voor CF₄ is bij een verblijftijd van 2 seconden de afbraakefficiëntie bij verschillende temperaturen berekend en in bijlage A weergegeven.

Uit twee studies voor CF₄ blijkt dat om een afbraak van 99,99% te realiseren (een DE van 99,99% is een in de USA gehanteerd uitgangspunt bij de verbranding van gevaarlijk afval, CFR (2023)) gedurende 2 seconden een temperatuur moet worden bereikt van 1350 tot 1410 °C (Fielder, 1962 en Tsang et al. 1998). De verschillen tussen de experimentele gegevens kunnen worden verklaard door een andere opzet van het onderzoek zoals de atmosfeer waarin de experimenten zijn uitgevoerd. De experimenten kunnen bijvoorbeeld zijn uitgevoerd in een volledig inerte atmosfeer of in aanwezigheid van bijvoorbeeld waterstof. De chemische reacties, die optreden, zijn dan ook verschillend.

Afhankelijk van de experimentele gegevens moet voor C₂F₆ de temperatuur 945 of 1120 °C zijn om in 2 seconden een DE van 99,99% te bereiken (Fielder, 1962 en Benson & O'Neil, 1970). Bij de thermolyse van C₂F₆ kan weer CF₄ ontstaan en het instabiele perfluoretheen (C₂F₄). In welke verhoudingen deze stoffen in de praktijk worden gevormd is onbekend.

Voor twee andere PFAS, perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) en perfluorethaansulfonzuur (PFES), behorende tot de groep perfluorsulfonzuren, is de temperatuursafhankelijkheid van afbraaksnelheidsconstante theoretisch berekend (Khan et al., 2019). Uit die gegevens kan worden afgeleid dat 99,99% van de stof PFOS wordt afgebroken bij een temperatuur van 733 °C en een verblijftijd van 2 seconden. Voor PFES is dat bij een temperatuur van 597 °C¹.

Voor CF₄ maakt een temperatuur van 1040 of 1100 °C niet uit. Deze temperaturen zijn te laag om een hoog verbrandingsrendement te bewerkstelligen. Voor C₂F₆ kan het temperatuurverschil mogelijk wel

¹ Bij het onderzochte reactiemechanisme worden pefluoraldehydes gevormd. Deze worden via hydrolyse snel omgezet in perfluorcarbonzuren (PFCA's). Laboratorium studies tonen aan dat PFCA's voor 99% uiteenvallen bij een temperatuur van 300 – 350 graden Celsius (Bakker et al. 2022 en Khan et al. 2019)

uitmaken. Op basis van de gegevens van Fielder (1962) is de DE bij 1040 °C 75,8% en bij 1100 °C 99,7%.

Datum

1 maart 2023

Samenvattend, een hogere verbrandingstemperatuur zorgt ervoor dat:

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

- 1) er sneller en dus meer van het uitgangsmateriaal binnen een bepaalde tijd wordt omgezet
- 2) er minder (ongewenste) bijproducten worden gevormd

2b) Levert een lagere verbrandingstemperatuur mogelijk voordelen of nadelen op m.b.t. de emissie van broeikasgassen en NO_x?

Bij verbranding ontstaan stikstofoxiden (NO_x) door de reactie van in de lucht aanwezige stikstofmoleculen met zuurstof. Voor deze reactie geldt dat er bij hogere temperatuur meer NO_x worden gevormd en bij een lagere temperatuur minder. Er mag verwacht worden, dat deze toename kan worden opgevangen door de nageschakelde techniek waarmee deze NO_x weer terug worden omgezet naar onschadelijk stikstof. In principe zijn de installaties ontwikkeld om ook bij een hogere temperatuur goed te functioneren. Verbrandingstemperaturen van 1100 °C of hoger zijn vrij normaal voor verbrandingsinstallaties. Typische temperaturen in de naverbrandingskamer van draaitrommelovens variëren van 900 tot 1200 °C (Bakker et al., 2021 en Neuwahl et al., 2019). Bij roosterovens, die veelal worden gebruikt voor de verbranding van huishoudelijk afval zijn de verbrandingstemperaturen vergelijkbaar. Dit geeft aan dat een hogere temperatuur en vorming van NO_x technisch geen probleem hoeft te zijn voor de installaties die dienen om de uitstoot van NO_x te beperken.

In de beantwoording van vraag 1a is al aangegeven dat verbranding beter verloopt bij hogere temperatuur en dat er dan tijdens de verbranding minder fluorhoudende bijproducten worden gevormd. Vanwege de volledige mineralisatie gaat dit echter wel gepaard met meer vorming van het broeikasgas koolstofdioxide (CO₂). Bij een lagere temperatuur wordt er door de minder volledige mineralisatie ook minder van CO₂ gevormd en vindt ook meer vorming plaats van andere bijproducten zoals koolstofmonoxide en vluchtige organische stoffen (VOS).

Voor verbrandingsinstallaties is het van belang om ervoor te zorgen dat de uitstoot van vervuulende en giftige stoffen zoals koolmonoxide, vluchtige organische stoffen (VOS) wordt beperkt. Een voldoende laag gehalte aan koolmonoxide en VOS zijn belangrijke indicatoren voor het prestatieniveau van een verbrandingsinstallatie (Neuwahl et al., 2019). In de BREF zijn in hoofdstuk vier BBT- technieken en maatregelen omschreven om dat te bewerkstelligen.

De vorming van minder CO₂ bij een lagere verbrandingstemperatuur heeft dus als nadeel dat er meer ongewenste verbrandingsproducten ontstaan. De verhoging van de CO₂-uitstoot als gevolg van hogere temperaturen en betere verbranding van de in de naverbrandingskamer aanwezige stoffen is verwaarloosbaar ten opzichte van de totale uitstoot van CO₂ van de verbrandingsinstallatie. De concentratie van in de rookgassen aanwezige

organische stoffen (TOC) en koolmonoxide (CO) liggen ruwweg een factor 1000 lager dan die voor CO₂ uitgaande van gegevens uit de BREF (Tabel 3.6). Daarbij wordt er wel vanuit gegaan dat om een hogere temperatuur te bereiken er niet hoeft te worden bijgestookt maar dat dit kan worden bewerkstelligd door een mengsel van te verbranden afval met voldoende hoge calorische waarde.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

In het antwoord van vraag 1a is verder aangegeven, dat bij een lagere temperatuur en dus minder volledige verbranding perfluoralkanen worden gevormd. Dit zijn sterke broeikas gassen. Vergeleken met CO₂ is de mate waarin deze stoffen bijdragen aan de opwarming van de aarde voor CF₄ 6630 maal zo sterk als CO₂, voor C₂F₆ zelfs 11100 maal zo sterk (Myhre et al., 2013). Van belang is uiteraard ook hoeveel er van deze sterke broeikasgassen worden gevormd. Daarover is ons nog geen informatie bekend. Metingen aan de rookgassen zouden hier meer duidelijkheid over moeten geven, zodat de relevantie van deze emissies kan worden geduid². Verder zou de temperatuursverhoging die nodig is om deze stoffen afdoende te vernietigen niet bewerkstelligd moeten worden door een verhoogde inzet van fossiele brandstoffen bijvoorbeeld door de inzet van hulpbranders. Het netto effect daarvan op de CO₂ uitstoot zou nadelig kunnen zijn.

Samenvattend, de winst van een hogere verbrandingstemperatuur bij de verbranding van PFAS is minder uitstoot van ongewenste en vervuilende verbrandingsproducten zoals perfluoralkanen, koolmonoxide en vluchtige organische verbindingen die tijdens het verbrandingsproces kunnen worden gevormd. Bij de verbranding van PFAS worden daarnaast ook sterke broeikasgassen gevormd. Een hogere temperatuur zorgt ervoor dat er minder van deze broeikasgassen wordt gevormd. Daar tegenover kan worden gezet een mogelijk hogere CO₂ uitstoot en meer vorming van NO_x. Meer vorming van NO_x kan worden opgevangen door de installaties die NO_x weer omzetten in onschadelijk stikstof. Technisch gezien is dat haalbaar. Hiervoor zouden mogelijk wel meer grondstoffen benodigd zijn.

2c) Indaver gaf aan dat een verbranding op hogere temperatuur tot gevolg heeft dat de CO₂ en NO_x emissies van de inrichting omhoog gaan. Zijn de milieugevolgen vergelijkbaar of is de PFOS/PFAS emissie schadelijker?

Deze vraag is deels onder vraag 1b beantwoord. CO₂, NO_x en PFAS zijn stoffen met andersoortige effecten die niet eenvoudig met elkaar zijn te vergelijken. CO₂ is een broeikasgas dat bijdraagt aan opwarming van de aarde, wat op wereldwijd niveau allerlei gevolgen kan hebben zoals overstromingen, meer schade door heviger stormen en verminderde opbrengst van voedselgewassen vanwege droogte. NO_x hebben invloed op de gezondheid van de mens vanwege schadelijke effecten op de

² Stel de concentratie CO₂ in de rookgassen is 135 gram per m³. Het verhogen van de CO₂ uitstoot met 1% komt overeen met 1,35 gram CO₂ per m³. Door deze hoeveelheid te delen door de GWP kan worden berekend met welke hoeveelheid CF₄ of C₂F₆ dat overeenkomt. Dat is respectievelijk $1,35 / 6630 = 200 \mu\text{g per m}^3$ en $1,35 / 11100 = 122 \mu\text{g per m}^3$.

ademhalingswegen. Daarnaast dragen ze bij aan vermisting en verzuring van het milieu. PFAS zijn van zichzelf persistent of leiden eenmaal in het milieu uiteindelijk tot de vorming van zeer persistente perfluorverbindingen die vrijwel niet meer uit het milieu verdwijnen en daarin ophopen. Van PFAS waaronder de perfluorcarbonylen en perfluorsulfonaten zijn ondertussen schadelijke effecten op de mens bekend, zie ook het antwoord op vraag 4a.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

De effecten van CO₂, NO_x en PFAS zijn niet zomaar te vergelijken. Daarnaast rekening moeten worden gehouden met interacties zoals de vorming van sterke broeikasgassen bij de verbranding van PFAS. Om verschillende impacts te vergelijken kan het behulpzaam zijn om te normaliseren. In de het onderzoek naar de milieu- en gezondheidsimpact van verschillende producten middels een levenscyclus analyse, zijn verschillende mogelijkheden tot normalisatie ontwikkeld. Een optie is het omrekenen naar schaduwrijzen voor milieu- of gezondheidsimpacts. De schaduwrijzen bestaan uit een combinatie van preventiekosten en/of schadekosten die geassocieerd worden met een milieueffect en worden voor elk type effect berekend om de totale impact te berekenen en de verschillende impacts met elkaar te vergelijken. Dit is slechts een methode, er zijn andere normalisatiemethodes beschikbaar. Welke methode wordt gehanteerd hangt sterk af van het doel van de impactstudie. Het gaat om zeer uitgebreide studies die binnen de aangegeven tijd niet kunnen worden uitgevoerd.

2d) De 1.100°C zijn een vereiste op grond van artikel 50 van de RIE voor afvalstoffen die meer dan 1% chloorhoudende stoffen bevatten. Indaver gaf aan dat zij een hiervan afwijkende temperatuur heeft vergund gekregen namelijk 950°C. Het terrein en ook het grondwater is vervuild met PFAS/PFOS. Kan de oorzaak hiervoor zijn dat er op te lage temperatuur wordt verbrand danwel een te korte verblijftijd van de assen wordt gehanteerd?

Wij kunnen geen antwoord geven op de vraag of een lage verbrandingstemperatuur of korte verblijftijd van de assen de oorzaak is van de vervuiling van het terrein en het grondwater.

In het volgende gaan wij in op mogelijke relatie tussen verbrandingstemperatuur en verblijftijd van de assen met vervuiling van bodem en grondwater.

Om de vraag te beantwoorden moet het kwantitatieve effect van de temperatuur op de uitstoot en de gehalten in de bodemassen bekend zijn en moeten er depositieberekeningen worden uitgevoerd op basis van bekende uitstootwaarden. Het effect van de temperatuur op de uitstoot kan slechts kwalitatief worden gedomd. Daarom kan er slechts op basis van expert judgement een beperkte kwalitatieve inschatting worden gemaakt. Er kunnen daarnaast nog andere PFAS-bronnen zijn die bijdragen aan de belasting van het grondwater. Hier hebben we geen zicht op. Zoals aangegeven door Broekman (2022) zal e.e.a. nauwkeurig moeten worden onderzocht om de juiste conclusies te kunnen trekken.

De in de vraag vermelde temperaturen hebben betrekking op de temperatuur in de naverbrandingskamer. Het effect van een hogere of lagere temperatuur is bij de beantwoording van vraag 2a aan bod gekomen. De temperatuur in de naverbrandingskamer heeft invloed op de concentratie van stoffen in de rookgassen en in de gevormde vliegassen. Na zuivering worden de rookgassen via een schoorsteen in de atmosfeer uitgestoten. Deze uitstoot zal in de directe nabijheid van de schoorstenen van de verbrandingsinstallaties niet of nauwelijks leiden tot depositie (afhankelijk van de schoorsteenhoogte, weerskarakteristieken zoals windsterkte en -richting en de omvang van het terrein). Hogere concentraties en depositie zullen vooral buiten het terrein met de ovens en op de verder weg gelegen deponie kunnen plaats vinden. Gemodelleerde luchtconcentraties die het gevolg zijn van de uitstoot van PFAS door Indaver laten zien dat de hoogste jaargemiddelde concentraties optreden ten noordoosten van het terrein (VITO, 2022)

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Het vlieggas wordt afgevangen in stoffilters, opgeslagen in silo's en wordt na fysische en chemische behandeling (solidificatie) in de deponie op het terrein van Indaver opgeslagen. Vliegassen van verbrandingsinstallaties kunnen PFAS bevatten zo is uit verschillende onderzoeken gebleken (Bakker et al., 2021 en Broekman, 2022).

Naast de vliegassen worden bij het verbranden van afval, in de oven ook slakken en bodemassen gevormd. Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat, bodemassen van verbrandingsinstallaties PFAS bevatten (Bakker et al., 2021). Dit is eveneens vermeld in de notitie van Broekman (2022). Kortere verblijftijden in de oven en lager verbrandingstemperaturen kunnen leiden tot hogere concentraties in de bodemassen. In welke mate, dat kan op basis van de ons beschikbare informatie en inzichten niet worden ingeschat.

Afhankelijk van de wijze van behandeling, opslag en toepassing op het terrein kunnen de assen leiden tot emissie in de directe omgeving bijvoorbeeld via verwaaiing en uitloging van PFAS uit de opgeslagen assen naar de bodem. Het is bekend dat de bodemassen van Indaver ook als vervanger van grondstoffen zijn gebruikt om randdijken te bouwen rondom de deponies van het Indaver terrein. Er is op dit moment onvoldoende zicht op in welke mate dit zich kan voordoen op het terrein zelf en de stortplaatsen van Indaver. Mogelijk zijn er nog andere bronnen in de omgeving die tot belasting van het grondwater kunnen bijdragen. Het lijkt aannemelijker dat de opslag en gebruik van bodemassen tot belasting van de bodem en het grondwater kan leiden dan de depositie vanuit de lucht.

Om emissies vanuit verwerking en opslag van assen te voorkomen worden hier slechts enkele algemene maatregelen aangedragen. Tegen verwaaiing kunnen de opgeslagen assen bijvoorbeeld worden bevochtigd. Verder kunnen de assen worden afgeschermd zodat ze niet verwaaien of in contact komen met hemelwater. Een andere maatregel tegen verstuiven is het bevochtigen van het materiaal. Om emissie naar de bodem en grondwater te voorkomen kan eventueel ook opslag op een vloeistofdichte laag met een drainage-systeem als maatregel worden

toegepast. Technieken om verspreiding van bodemassen en slakken als gevolg van de verwerking (inclusief opslag) te beperken staan o.a. in hoofdstuk 4, sectie 4.7.7. van de BREF. Op de website van Indaver staat wel informatie over de inrichting van de stortplaatsen waarbij maatregelen ter bescherming van de bodem en grondwater zijn beschreven. Zo lang de stortplaats in gebruik en open is bestaat nog wel kans op verwaaiing tijdens de overbrenging en van het gedeponeerde materiaal. Aangezien het aangevoerde materiaal steekvast moet zijn, zal de verstuiving (aanzienlijk) minder zijn vergeleken met normale droge assen. Volgens bijlage 3 van het activiteitenbesluit milieubeheer (IenM, 2022) valt bodemas met een vochtgehalte van 30% in stuifklasse S4, licht stuifgevoelig, wel bevochtigbaar. Vliegashoudende is veel stuifgevoeliger. Volgens het activiteitenbesluit valt vliegashoudende met een vochtgehalte van minder dan 1% in de klasse S2, sterk stuifgevoelig, wel bevochtigbaar.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

De concentratie van PFAS in de bodemassen kan verder van belang zijn als ze verder worden bewerkt waarbij afvalwater vrij kan komen (wassen en zeven). Daarnaast kunnen deze assen weer als bouwstoffen worden toegepast in grond- weg- en waterbouw werken en zo weer in het milieu terecht komen. Echter voor assen die ontstaan bij het verbranden van gevaarlijk afval is het minder (niet) gebruikelijk om ze her te gebruiken, ze worden volgens de BREF doorgaans (in een ingekapselde omgeving) gestort omdat ze hoge(re) concentraties vervuilende stoffen kunnen bevatten.

2e) Voor de afvalstoffen die onder de 1% grens van artikel 50 van de RIE zitten geldt de verplichting tot verbranden met minimaal 1.100°C niet. Hoe zit dit met de vrachten PFAS/PFOS van deze afvalstoffen. Kunnen deze tot een substantiële bijdrage van emissies voeren?

De achtergrond van de grens van 1% is niet zonder grote inspanning en misschien wel helemaal niet meer volledig te achterhalen. Deze hogere vereiste minimumtemperatuur is te wijten aan het feit dat gehalogeneerd afval moeilijker is te verbranden dan niet-gehalogeneerd afval. Uit geraadpleegde documentatie, uit vooral de Verenigde Staten, over het opstellen van eisen aan de procesvoering van afvalverbrandingsinstallaties kan worden opgemaakt, dat om de uitstoot van gevaarlijke stoffen en de belasting van de omgeving daarmee te beperken er is uitgegaan van een vernietigingsrendement van gevaarlijk afval van 99,99%. Voor afval die bepaalde chloorbenzenen en chloorfenolen bevatten is er uitgegaan van 99.9999% (CFR, 2023). Uiteindelijk heeft dat geleid tot de eis, dat afvalstoffen met minder dan 1% gehalogeneerde organische stoffen (uitgedrukt in chloor) verbrand kunnen worden bij een temperatuur van 850 °C en dat afvalstoffen met meer dan 1% gehalogeneerde organische stoffen verbrand moeten worden bij een temperatuur van minimaal 1100 °C. Afwijking hiervan zou een hogere belasting van de omgeving kunnen betekenen dan oorspronkelijk volgens de Wet bedoeld. Er zijn tal van scenario's denkbaar van combinaties van hoeveelheden te verbranden afvalstromen met meer of minder dan 1% gehalogeneerde organische stoffen. Hoe de totale emissie daardoor wordt beïnvloed en of dat tot onwenselijke situaties leidt

is lastig in te schatten. Dat hangt af van de samenstelling van het afval (het daadwerkelijke gehalte van gehalogeneerde stoffen), welke stoffen het te verwerken afval bevat, welke marges men in ogenschouw heeft genomen bij de totstandkoming van de 1% grenswaarde en wat het uitgangspunt voor toelaatbare emissies is geweest.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

PFAS behoren tot de gehalogeneerde organische stoffen. Als men zich strikt houdt aan de wettelijke eis dan is het mogelijk dat ook bij minder dan 1% PFAS in het afval een overschrijding van de 1% gehalogeneerde organische stoffen aan de orde is als er ook andere gehalogeneerde verbindingen aanwezig zijn. Immers men zou alle gebromeerde, gechloreerde en gefluoreerde (ook verbindingen die geen PFAS zijn) moeten betrekken in de toetsing aan de grenswaarde van 1%.

Naast de eisen voor de temperatuur stelt de RIE ook aanvullende emissie-eisen om de belasting van de omgeving met vervuilende stoffen te beperken. In artikel 51 van de RIE staat dat van de eisen voor de temperatuur kan worden afgeweken indien er aan de in de RIE gestelde emissie-eisen waaronder die voor waterstof fluoride (HF) wordt voldaan. De RIE bevat echter geen emissie-eisen voor PFAS. De emissie-eisen voor de in de RIE vermelde stoffen bieden geen garantie voor het beperken van de emissie van PFAS. Het tegendeel zou zelfs het geval kunnen zijn. Bij de verbranding van PFAS wordt bijvoorbeeld HF gevormd. Hoe beter PFAS worden verbrand hoe meer HF er wordt gevormd en mogelijk uitgestoten.

Op een aantal PFAS is de POP-verordening van toepassing. De conventie van Bazel inzake de beheersing van de grensoverschrijdende overbrenging van gevaarlijke afvalstoffen en de verwijdering ervan, stelt eveneens eisen de verbrandingstemperatuur voor POP-houdend afval. In de algemene technische richtlijnen van de Bazel-conventie (UNEP, 2019) wordt in subsectie IV.G.2 onder paragraaf g een verbrandingstemperatuur van 1100 °C vermeld voor afval met meer dan 1% gehalogeneerde organische verbindingen. Het betreft geen wettelijke vereisten maar algemene technische richtlijnen.

3) Second opinion berekening DRE PFAS Indaver

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

3a) Klopt de door Indaver aangeleverde berekening van de Destructie- en verwijderingsefficiëntie (DRE) draaitrommelovens (zie hieronder)? Of moet hiervoor een volledige massabalans worden opgesteld?

Allereerst zal worden aangegeven wat er nodig is om een goed beeld te krijgen van de verwijderings- en destructie-efficiëntie van een afvalverbrandingsinstallatie.

Er kunnen twee maten worden onderscheiden. De destructie-efficiëntie (DE) wordt gebruikt als maat voor de thermische stabiliteit van een chemische verbinding. De DE geeft voor een vooraf vastgestelde tijd en temperatuur aan hoeveel van het uitgangsmateriaal is vernietigd. Daarbij wordt niet meegenomen in welke mate de verbinding wordt gemineraliseerd of in bijproducten wordt omgezet. De destructie- en verwijderingsefficiëntie (destruction and removal efficiency, DRE) geeft aan in welke mate een chemische verbinding door een bepaald proces wordt verwijderd. In het geval van een verbrandingsinstallatie kan dan naast de thermische destructie ook de verwijdering via bijvoorbeeld de rookgasreiniging worden meegenomen. In de rookgasreiniging worden stoffen gebonden aan actiefkool, opgelost in waswater en wordt PFAS-bevattend vlieggas verwijderd. Voor een goed beeld van de DRE moeten de hoeveelheden PFAS die in de residuen van het rookgasreinigingssysteem zitten, zoals het waswater, de assen en andere door de rookgasreiniging geproduceerde stromen (actiefkool en ontzwavelingskalk), eveneens worden meegenomen.

Een zo'n volledig mogelijke beeld van de DRE van een installatie wordt verkregen door concentratie metingen te verrichten aan de toevoer en afvoerzijde van elk onderdeel van de installatie inclusief de rookgasreiniging. Door dit te doen kan zicht worden verkregen op eventuele fluctuaties en verstoringen in het systeem en effecten worden gedetecteerd van verhoogde PFAS-emissie. Een voorbeeld van de laatste is bijvoorbeeld het (her)gebruik van met PFAS verontreinigd waswater. Dit is echter niet strikt noodzakelijk, een goed beeld kan in principe worden verkregen door de hoeveelheden in alle ingaande en uitgaande stromen van de installatie te bepalen. Het is aan te bevelen om zoveel mogelijk individuele PFAS te gaan meten en uiteraard ook die PFAS mee te nemen die in het te verbranden afval aanwezig zijn. Daarnaast moeten, om een volledig beeld te krijgen, de bij verbranding gevormde fluorhoudende organische bijproducten zoals CF_4 en C_2F_6 meegenomen worden als het gaat om de rookgassen.

Benodigde gegevens voor bepaling van de DRE:

- Ingaand:
 - Totale hoeveelheid in de afvalstoffen die worden verbrand, per PFAS
 - PFAS-gehalten in het (hergebruikte) waswater
- Uitgaand, de hoeveelheid PFAS in
 - Vliegassen
 - Boilerassen

- Bodemassen
- Ovenslakken
- rookgasreinigingsresiduen
 - Waswater uit de wasinstallatie (voor behandeling in de waterzuivering)
 - Gips
 - Actiefkool
- Geëmitteerd Rookgas
- Condensatiewater uit de rookgassen

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Verder is het van essentieel belang, dat er over een langere periode wordt gemeten terwijl er PFAS-houdend afval wordt verbrand en dat het verbrande afval representatief is voor wat er aan PFAS-houdend afval bij Indaver wordt verwerkt. De DRE kan het best worden bepaald middels een proefonderzoek waarin idealiter precies bekend is hoeveel PFAS en andere organische fluorverbindingen worden verbrand en er tegelijkertijd wordt gemeten hoeveel PFAS en ander organische fluorverbindingen er in de uitgaande stromen aanwezig zijn. In de dagelijkse praktijk, bij een normale bedrijfsvoering, zal een dergelijk onderzoek de nodige uitdagingen met zich meebrengen. Het best kan de DRE worden bepaald door een proefverbranding. Registratie en rapportage van de procesparameters tijdens het verbranden van het afval is eveneens aan te bevelen.

Als tweede volgt nu de beoordeling van de door Indaver aangeleverde berekening van de Destructie- en verwijderingsefficiëntie.

De gehanteerde vergelijking is juist, en komt overeen met de formule in het antwoord op vraag 2a.

Door uit te gaan van de jaarlijkse hoeveelheid organofluorverbindingen in het verbrande afval is er geen direct verband te leggen met de waarden van de testmetingen aan de rookgassen tenzij kan worden gegarandeerd, dat er door het jaar heen weinig tot geen fluctuaties zijn in het soort afval en de hoeveelheid afval dat wordt verbrand. Vooralsnog lijkt dat onwaarschijnlijk. Zoals hierboven aangegeven zou idealiter bekend moeten zijn, welke afvalstoffen met welke concrete concentraties aan verschillende PFAS worden of werden verwerkt in de DTO's op het moment van de metingen.

In de berekening van de DRE moet de hoeveelheid PFAS in alle uitgaande stromen, zoals hierboven aangegeven, worden bepaald en niet alleen de hoeveelheid die via de rookgassen wordt uitgestoten. De voornaamste reden hiervoor is, dat er naast de rookgassen ook PFAS aanwezig zijn in de andere uitgaande stromen.

De door Indaver berekende DRE is alleen gebaseerd op gemeten gehalten in de rookgassen en daarom niet volledig. Bovendien zijn de emissiemetingen van PFAS in de rookgassen van de schoorsteen de eerste verkennende metingen geweest. VITO heeft de metingen vorig jaar uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid met instemming van Indaver. De door VITO uitgevoerde metingen (VITO, 2022) hadden tot

doel de validiteit van de meetmethode te kunnen bepalen. De in de rookgassen geïdentificeerde PFAS-stoffen werden o.b.v. de RIVM literatuurstudie niet (direct) verwacht, zoals aangegeven in de notitie van Broekman (2022). Een mogelijke verklaring is dat het water (grondwater) waarmee de natte wassing in de rookgasreinigingsstap is uitgevoerd met PFAS was verontreinigd. Verder zijn de PFAS-stoffen die het RIVM verwacht zoals PFC's niet meegenomen in de metingen.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

De berekende DRE kan om deze redenen niet worden beschouwd als een betrouwbaar en representatief getal voor de totale verwijdering.

3b) Zijn de door Indaver toegepaste lagere verbrandingstemperatuur, de toegepaste filters (luchtwasser, waterfilter) een gelijkwaardige zo niet betere methode om PFOS/PFAS te verwijderen ten opzichte van de op grond van het Unierecht vereiste verbranding op minimaal 1.100°C? Welke informatie is nodig om dit aan te tonen?

Wij kunnen geen eenduidig antwoord geven op deze vraag. In het volgende geven we meer algemene informatie om meer inzicht te geven.

Aangaande de verbrandingstemperatuur zie het antwoord bij de vragen onder 2.

Alle in de Europese Unie werkende verbrandingsinstallaties zijn uitgerust met een rookgasreinigingssysteem om aan de in de RIE gestelde emissie-eisen te voldoen. Een rookgasreinigingssysteem kan op verschillende manieren zijn samengesteld. De meest gebruikelijke onderdelen van een rookgasreinigingssysteem zijn:

1. een installatie om NO_x te verwijderen
2. filters om assen uit het rookgas af te vangen
3. een wasinstallatie om verzurende stoffen zoals HCl en HF af te vangen
4. een actiefkoolfilter om organische verontreinigen zoals dioxinen en kwik af te vangen
5. een reinigingsstap om zwavel uit de rookgassen te verwijderen meestal met behulp van kalk

Deze stappen worden standaard in verschillende uitvoeringen toegepast, zo ook bij Indaver. Deze reinigingsstappen zijn specifiek gericht op bepaalde componenten in de rookgassen af te vangen en zijn er niet specifiek op gericht om PFAS af te vangen. Hoe goed PFAS worden afgevangen hangt af van de fysische en chemische eigenschappen van een PFAS. Door Bakker et al. (2021) is hiervan een kwalitatieve inschatting gemaakt. Sommige typen PFAS worden minder goed afgevangen in de rookgasreinigingsinstallatie. PFAS die minder goed worden afgevangen zijn bijvoorbeeld FTOHs (fluortelomeeralcoholen), FTOs (fluortelomeerolefinen) en de perfluoralkanen (o.a. CF₄ en C₂F₆).

Wat betreft PFAS gaat het om de combinatie van temperatuur en rookgasreinigingsstappen die invloed hebben op de uitstoot. Zoals gezegd is de rookgasreiniging ingericht om bepaalde componenten die met name ontstaan tijdens het verbrandingsproces, af te vangen en niet bedoeld om bepaalde gevaarlijke componenten uit het afval te verwijderen. Daarvoor is de temperatuur in de naverbrandingskamer leidend.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

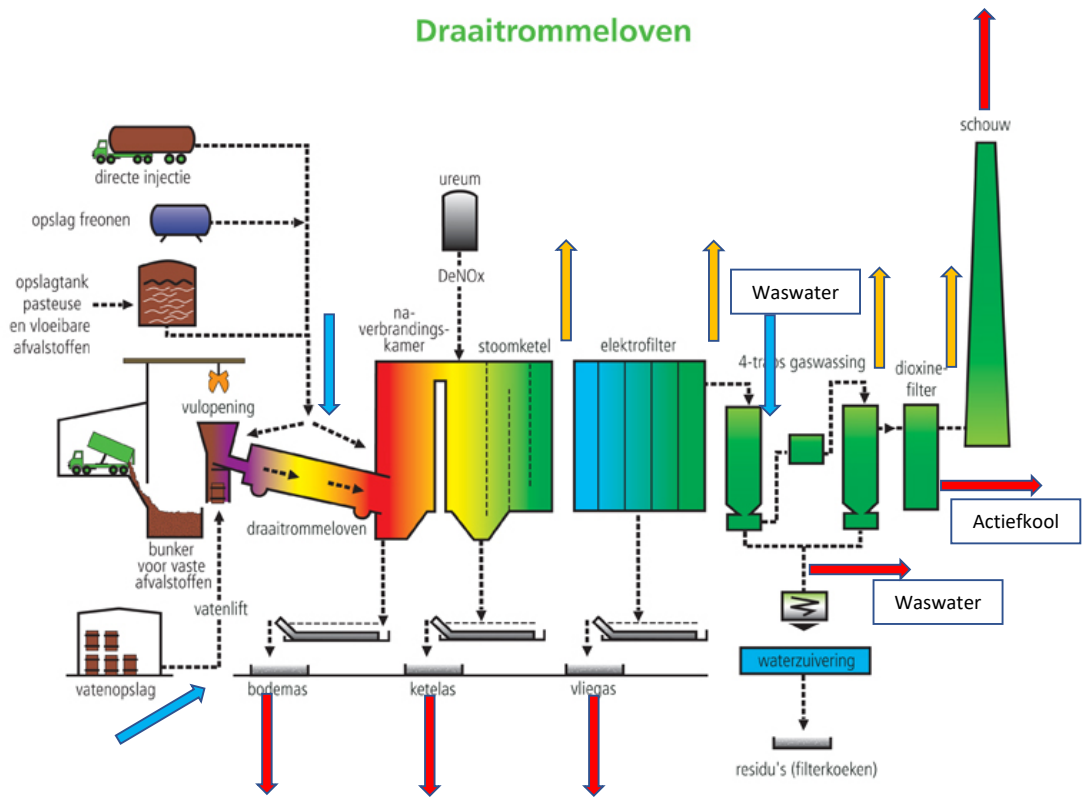
3c) Hoeveel PFAS blijft daadwerkelijk over in de 3 uitgaande stromen (lucht, water, bodemas) van Indaver? Welke data van Indaver is nodig om dit aan te tonen?

Het is zeer lastig om theoretisch te berekenen hoeveel PFAS er daadwerkelijk overblijft in de verschillende uitgaande stromen en welke organische fluorverbindingen er worden gevormd onder typische verbrandingscondities in DTO's. Op basis van in de literatuur gevonden informatie over laboratoriumonderzoek en theoretische berekeningen kan slechts een globaal beeld worden verkregen. Uitsluitend met een goed opgezet proefonderzoek in een praktijk situatie kan een beter beeld worden verkregen. Wat daarvoor nodig is, is grotendeels bij de beantwoording van vraag 3a aan bod gekomen.

In onderstaande schema van de draaitrommeloven van Indaver zijn in aanvulling op het antwoord onder 3a, de geadviseerde meetlocaties aangegeven.

- Blauwe pijlen: toevoerstromen
- Rode pijlen: uitgaande stromen
- Oranje pijlen: optioneel, dit zijn de uitgaande stromen van alle rookgasreinigingsstappen inclusief het rookgas dat uit de stoomketel komt en naar het elektrofilter wordt geleid

Draaitrommeloven



4) Milieuschadelijkheid

Datum

1 maart 2023

4a) *Indaver gaf aan dat PFOS niet met andere PFAS verbindingen te vergelijken is qua milieuschadelijkheid. Klopt dit?*

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

PFAS hebben ongewenste eigenschappen die risico's met zich meebrengen voor mens en milieu.

Van een aantal PFAS (o.a PFNA, PFOA, PFOS, PFHxS en GenX) is aangetoond dat ze:

- Niet of nauwelijks afbreken in het milieu (ze zijn persistent)
- Schadelijke effecten kunnen geven in mensen en het milieu (ze zijn toxisch)
- Zich gemakkelijk en snel verspreiden in het milieu (ze zijn mobiel) en/of ophopen in het menselijk lichaam, in dieren en planten (ze zijn bioaccumulerend)

De precieze eigenschappen verschillen per specifieke PFAS. De ene PFAS verspreidt zich bijvoorbeeld sneller of is schadelijker dan de andere PFAS. Ook zijn er heel veel PFAS waar nog weinig over bekend is. Van deze PFAS is dus niet duidelijk of ze ongewenste eigenschappen hebben. Wel is bekend dat veel PFAS niet of nauwelijks afbreken in het milieu (RIVM, 2023).

Zoals eerder aangegeven in het antwoord op vraag 1a zijn zowel PFOS als PFOA en PFHxS, volgens de Stockholm Conventie, persistente organische verontreinigende stoffen (POP's). Verder wordt overwogen om langketenige perfluorcarboxylaten (C9-C12 PFCA's) op te nemen in de Stockholm Conventie.

Van PFOA is bekend dat het schadelijke effecten kan hebben op het immuunsysteem en op de voortplanting en ontwikkeling van het ongeboren kind. Het is mogelijk kankerverwekkend en schadelijk voor de natuur. De stof kan vooral problemen opleveren voor dieren in de top van de voedselketen, zoals vogels en zoogdieren (RIVM, 2023).

PFOS is volgens de geharmoniseerde Europese gevarenaanduiding schadelijk voor het ongeboren kind, mogelijk kankerverwekkend en toxisch voor in het water levende organismen (CLP inventarisatie, 2023).

Via het milieu kan de mens worden blootgesteld aan PFAS. PFAS verschillen in sterke mate in toxiciteit voor de mens. Ze kunnen wat betreft de toxiciteit voor de mens met elkaar worden vergeleken volgens een door het RIVM ontwikkelde methode onder ander beschreven in RIVM (2021) en Smit en Verbruggen (2022). Een nadere toelichting op deze methode staat in bijlage B. De relatieve toxiciteit³ van PFOS ten opzichte

³ De methode is gebaseerd op de levertoxiciteit voor de mens. Recent is de relatieve toxiciteit van een aantal PFAS afgeleid voor effecten op het immuun systeem (immuun onderdrukkende effecten). De interne RPF's op basis van het gewicht van de lymfoïde organen zijn vergelijkbaar met de RPF's die zijn vastgesteld voor levergewicht (Bil et al., 2023).

van PFOA kan volgens deze methode worden bepaald. PFOS heeft een tweemaal zo hoge toxiciteit als referentiestof PFOA. De toxiciteit is relatief hoog, en er zijn PFAS die veel minder schadelijk zijn, zie hiervoor de tabel met Relatieve Potentie Factoren (RPF's) in bijlage B. Verder blijkt uit Smit en Verbruggen (2022) dat PFOS sterker bioaccumuleert dan PFOA. Opgemerkt wordt dat er naast PFOS nog andere PFAS zijn die toxischer zijn dan PFOA en sterker bioaccumuleren. Voorbeelden zijn PFNA, PFUnDA en PFDoDA.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Samenvattend kan worden gesteld dat PFAS wat betreft fysische en chemische eigenschappen sterk van elkaar kunnen verschillen maar dat ze een aantal gezamenlijke ongewenste eigenschappen hebben die risico's met zich meebrengen voor het milieu. Verder kunnen PFAS met elkaar worden vergeleken wat betreft schadelijkheid voor de mens door te kijken naar de relatieve toxiciteit en bioaccumulatie ten opzichte van PFOA. Uit deze vergelijking blijkt dat PFOS schadelijker is voor de mens dan sommige andere PFAS (zoals PFOA en GenX).

Bijlage A:**Datum**

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Tabel 1: Temperatuursafhankelijkheid van de destructie-efficiëntie (DE) van CF₄ bij een verblijftijd van 2 seconden

T (°C)	DE bij 2 seconden verblijftijd	
	Fielder (1962)	Tsang et al (1998)
650	0,00%	0,00%
700	0,00%	0,00%
750	0,00%	0,00%
800	0,00%	0,00%
850	0,00%	0,00%
900	0,01%	0,00%
950	0,06%	0,00%
1000	0,26%	0,00%
1050	1,10%	0,03%
1100	4,10%	0,17%
1150	13,41%	0,88%
1200	36,60%	3,99%
1250	73,75%	15,58%
1300	97,44%	47,48%
1312	99,02%	58,36%
1350	99,99%	89,51%
1380	100,00%	99,01%
1400	100,00%	99,93%
1410	100,00%	99,99%
1440	100,00%	100,00%

Bijlage B

Voor PFAS is de blootstelling van de mens via het milieu een kritische route. De mens kan worden blootgesteld via de lucht maar ook via drinkwater en voedsel zoals gewassen en vis. In bepaalde situaties zijn de risico's voor de mens niet uit te sluiten. Dit is bijvoorbeeld het geval geweest bij omwonenden die dichtbij de DuPont/Chemours fabriek in Dordrecht wonen. Daarnaast zijn in de Westerschelde de PFAS-concentraties dusdanig hoog dat het RIVM heeft aangegeven dat het belangrijk is om niet te veel producten te eten met hoge PFAS-concentraties, zoals vis en schaal- en schelpdieren uit de Westerschelde (Zwartsen en Boon, 2022).

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Het RIVM heeft nieuwe risicogrenzen bepaald voor perfluoralkyl-stoffen (PFAS) in oppervlaktewater. De RIVM-aanpak voor bepaling van de risicogrenzen is beschreven in RIVM (2021) en Smit en Verbruggen (2022) en is vergelijkbaar met de werkwijze voor dioxines. Hierbij wordt gebruik gemaakt van kennis over de relatieve toxiciteit van verschillende PFAS ten opzichte van PFOA. Deze zogenoemde 'Relative Potency Factors' (Relatieve Potentie Factoren, RPF's) zijn beschikbaar voor 23 PFAS en liggen tussen 0,001 en 10 (Bil et al., 2021; Bil et al., 2022; Zeilmaker et al., 2018). Dit betekent, dat de individuele PFAS 1000 keer minder tot 10 keer meer potent zijn dan PFOA. Door de concentraties van de afzonderlijke PFAS te vermenigvuldigen met hun RPF, kunnen we de concentraties van die PFAS omrekenen in equivalente concentraties PFOA (PFOA-equivalenten, PEQ). Daarnaast moet nog rekening worden gehouden met de mate waarin verschillende PFAS zich ophopen in waterorganismen. Dat wordt uitgedrukt in de bioaccumulatie factor. In onderstaande tabel staat het overzicht met Relatieve Potentie Factoren (RPF) en de Relatieve Bioaccumulatie Factoren (RBF).

De combinatie van deze twee factoren geeft aan, hoe de verschillende PFAS zich qua (milieu)schadelijkheid ten opzichte van elkaar verhouden. Volgens de gehanteerde methodiek moeten beide factoren met elkaar worden vermenigvuldigd.

Uit de gepresenteerde tabel blijkt, dat de inherente schadelijkheid van de verschillende PFAS sterk van elkaar verschilt. PFOS is 40 keer schadelijker dan de referentiestof PFOA als er naar de blootstelling via de consumptie van vis en schaaldieren wordt gekeken. PFOS valt hiermee in de midden categorie. Er zijn echter PFAS die tot meer dan een factor 10 schadelijker zijn maar ook PFAS die meer dan een factor 100 000 minder schadelijk.

Tabel 2: Overzicht van PFAS met Relatieve Potentie Factoren (RPF) en Relatieve Bioaccumulatie Factoren (RBF) voor PFAS in vis uit Smit en Verbruggen (2022).

Datum
1 maart 2023

Ons kenmerk
VLH/2023-0013

Groep	PFAS	RPF	RBF	RPF x RBF
Carboxyl zuren	PFBA	0,05	0,005	0,00025
	PFPeA	0,05	0,02	0,001
	PFHxA	0,01	0,07	0,0007
	PFHpA	1	0,3	0,3
	PFOA	1	1	1
	PFNA	10	4	40
	PFDA	10	10	100
	PFUnDA	4	60	240
	PFDoDA	3	200	600
	PFTTrDA	3	100	300
	PFTeDA	0,3	40	12
	PFHxDA	0,02		
	PFODA	0,02		
Sulfonzuren	PFBS	0,001	0,1	0,0001
	PFPeS	0,6	0,4	0,24
	PFHxS	0,6	2	1,2
	PFHpS	2	6	12
	PFOS	2	20	40
	PFDS	2	300	600
Overige	HFPO-DA (GenX)	0,06	0,3	0,018
	ADONA	0,03		
	8:2 FTOH	0,02	0,3	0,006
	6:2 FTOH	0,04	4	0,16
	4:2 FTS	0,05	0,02	0,001
	6:2 FTS	1	0,3	0,3
	8:2 FTS	10	4	40
	PFOSA=FOSA	2	20	40
	EtFOSAA	2	20	40
	MeFOSAA	2	20	40

Referenties

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

Broekman (2022). Notitie, Emissie en verspreiding van PFAS van afvalverbrandingsinstallatie Indaver. Advies over PFAS afvalverwerking en PFAS emissies. Versie: 0.1 Status: definitief. 2022-0073/VLH/HdW/MVS/MB. Datum: 30 november 2022.

Benson S.W. and H.E. O'Neil (1970). Kinetic Data on Gas Phase Unimolecular Reactions. National Standard Reference Data System (NSRDS, United States National Bureau of Standards (NBS), NSRDS-NBS 21, February 1970.

Bil W. Zeilmaker M. Fragki S. Lijzen J. Verbruggen E. en Bokkers B. (2021). Risk assessment of per- and polyfluoroalkyl substance mixtures: a relative potency factor approach. *Environ Toxicol Chem* 40 (3): 859–870.

Bil W. Zeilmaker M. Fragki S. Lijzen J. Verbruggen E. en Bokkers B. (2022). Response to Letter to the Editor on Bil et al. 2021 "Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach". *Environmental Toxicology and Chemistry* 41 (1): 13-18.

Bil W. Ehrlich V. Chen G. Vandebriel R. Zeilmaker M. Luijten M. Uhl M. Marx-Stoelting P. Haldorsson T.I. and Bokkers B. (2023). Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. *Environment International*. Volume 171, January 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107727>

CFR (2023) Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), title 40 of the Code of Federal Regulations (CFR), Part 264, subpart O paragraph 264.343. Up to date as of 2/24/2023.

CLP inventarisatie (2023) Samenvatting van de indeling en etikettering van PFOS. Beschikbaar via URL: <https://echa.europa.eu/nl/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/82756>. Geraadpleegd op 02-02-2023

Fielder (1962). Thermal Decomposition of some Linear Perfluorocarbons in an Inconel Tube. Prepared for J. Phys./ Chem., January, 1962.

IenM (2022). Activiteitenbesluit milieubeheer, Bijlage 3. Stuifklassen behorend bij de artikelen 3.37 en 3.38. Geldend van 21-09-2022. Geraadpleegd op 20-02-2023. URL: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/2022-09-21/#Bijlage3>

Kahn M.Y. So S. en da Silva G. (2019) Decomposition Kinetics of Perfluorinated Sulfonic Acids. *Chemosphere*, Volume 238, January 2020, 124615. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124615>

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Myhre, G.D. Shindell F.-M. Bréon W. Collins J. Fuglestvedt J. Huang D. Koch J.-F. Lamarque D. Lee B. Mendoza T. Nakajima A. Robock G. Stephens T. Takemura and H. Zhang (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F. Qin D. Plattner G.-K. Tignor M. Allen S.K. Boschung J. Nauels A. Xia Y. Bex V. and Midgley P.M. (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Datum

1 maart 2023

Ons kenmerk

VLH/2023-0013

Neuwahl F. Cusano G. Benavides J.G. Holbrook S. en Roudier S. (2019). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). JRC Science for Policy Report. ISSN 1831-9424 doi: 10.2760/761437.

RIVM (2023). Risico's PFAS voor gezondheid en milieu. Website RIVM URL: <https://www.rivm.nl/pfas/risicos-pfas-voor-gezondheid-en-milieu>. Geraadpleegd op 06-02-2023.

RIVM (2021). Notitie implementatie van de EFSA som-TWI PFAS. RIVM-notitie, 7 april 2021. Website RIVM URL: <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-implementatie-van-efsa-som-twi-pfas> . Geraadpleegd op 09-02-2023.

Smit C.E. en Verbruggen E.M.J. (2022). Risicogrenzen voor PFAS in oppervlaktewater. Doorvertaling van de gezondheidskundige grenswaarde van EFSA naar concentraties in water. RIVM-briefrapport 2022-0074.

Tsang W. Burgess D.R. and Babushok V. (1998). On the Incinerability of Highly Fluorinated Organic Compounds. Combustion Science and Technology, 139:1, 385-402. Doi: doi.org/10.1080/00102209808952095

UNEP (2019). General technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants. URL: <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW.14-7-Add.1-Rev.1.English.pdf>

VITO (2022). Case: Monitoring PFAS schouwemissies uit draaitrommel (DTO 2) van Indaver NV: i.k.v de ontwikkeling van een gevalideerde bemonsterings- en analysemethode. VITO rapport, juli 2022. URL: https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1670415307/PFAS_-_Monitoring_schouwemissies_PFAS_Indaver_atgvx7.pdf

Zwartsen A. en Boon P.E. (2022). Consumptie van producten verontreinigd met PFAS uit de Westerschelde RIVM-briefrapport 2022-0020

Zeilmaker M.J. Fragki S. Verbruggen E.M.J. Bokkers B.G.H. en Lijzen J.P.A. (2018). Mixture exposure to PFAS: A Relative Potency Factor approach. Bilthoven, Nederland: RIVM. Rapport nr. RIVM 2018-0070.