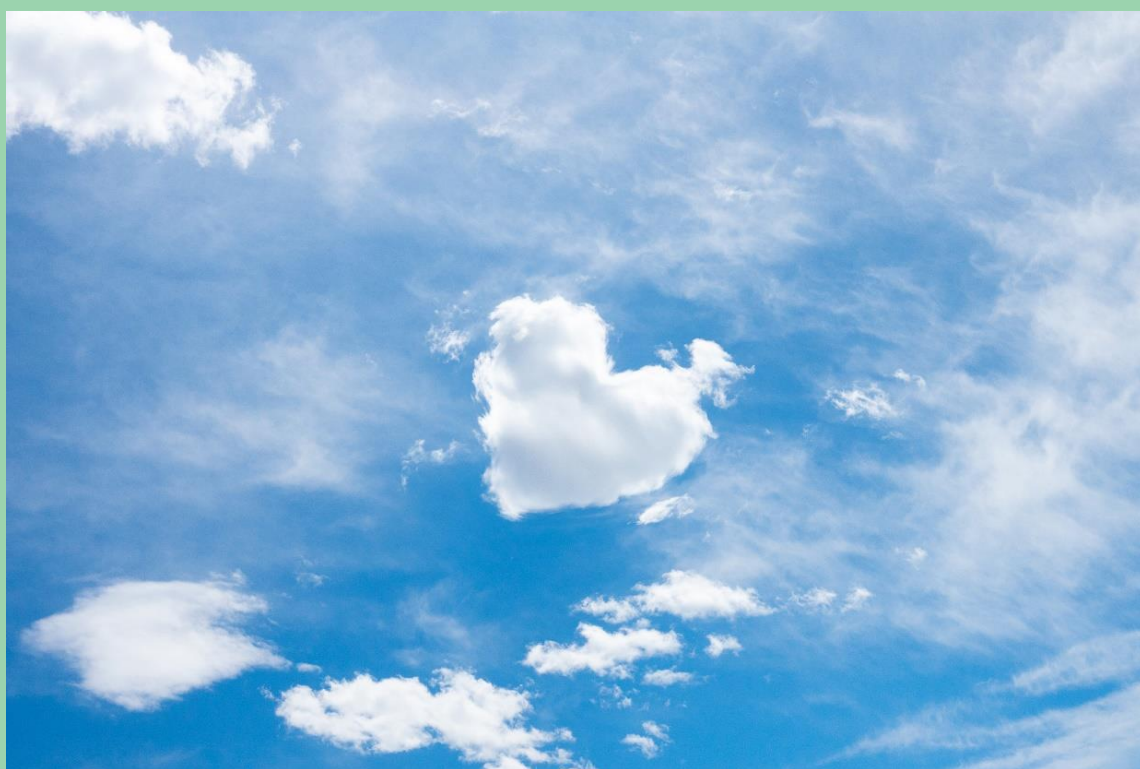


# BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN (BBT) TER BEPERKING VAN PFAS LUCHTEMISSIES



## **Auteurs**

Sander Vander Aa  
Annouck Lescauwaet  
Tim Goelen  
Greet Janssens

Studie uitgevoerd door  
het Vlaams Kenniscentrum  
voor Beste Beschikbare Technieken (VITO)  
in opdracht van het Vlaams Gewest

Finale draft – November 2023

Deze uitgave kwam tot stand in het kader van het project 'Vlaams kenniscentrum voor de Beste Beschikbare Technieken en bijhorend Energie en Milieu Informatie Systeem' (BBT/EMIS) van het Vlaams Gewest.

BBT/EMIS wordt begeleid door een stuurgroep met vertegenwoordigers van de Vlaamse ministers van het departement Omgeving, het departement Economie, Wetenschap en Innovatie (EWI), en de agentschappen VLAIO, OVAM, VEKA, VLM, VMM en Zorg en Gezondheid.

Hoewel al het mogelijke gedaan is om de accuraatheid van de studie te waarborgen, kunnen noch de auteurs, noch VITO, noch het Vlaams Gewest aansprakelijk gesteld worden voor eventuele nadelige gevolgen bij het gebruik van deze studie. Specifieke vermeldingen van procédés, merknamen, enz. moeten steeds beschouwd worden als voorbeelden en betekenen geen beoordeling of engagement.

#### VOOR VERDERE INFORMATIE, KAN U TERECHT BIJ:

**Vlaams BBT-kenniscentrum**  
VITO  
Boeretang 200  
B-2400 MOL  
e-mail: [bbt@vito.be](mailto:bbt@vito.be)  
[emis.vito.be/bbt](http://emis.vito.be/bbt)

Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden.

## INLEIDING

Voor u ligt één van de BBT-studies die worden gepubliceerd door het BBT-kenniscentrum. Dit rapport behandelt de Beste Beschikbare Technieken voor PFAS luchtmissies.

### WAT ZIJN BBT-STUDIES?

De BBT-studies zijn rapporten die per sector de BBT beschrijven. Deze sectorrapporten worden digitaal (<http://www.emis.vito.be>) verspreid, zowel naar de overheid als naar de bedrijven.

### WAT ZIJN BBT?

Milieuvriendelijke technieken hebben als doel de milieu-impact van bedrijven te beperken. Het kunnen technieken zijn om afval te hergebruiken of te recyclen, bodem en grondwater te saneren, of afgassen en afvalwater te zuiveren. Vaker nog zijn het preventieve maatregelen die de emissie van vervuilende stoffen voorkomen en het gebruik van energie, grondstoffen en hulpstoffen verminderen. Wanneer zulke technieken, in vergelijking met alle andere, gelijkaardige technieken, ecologisch gezien het best scoren én ze bovendien betaalbaar zijn, dan wordt gesproken over Beste Beschikbare Technieken (BBT).

### WAT IS HET BBT-KENNISCENTRUM?

In opdracht van de Vlaamse Regering heeft de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) in 1995 een kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (BBT) opgericht. Het BBT-kenniscentrum inventariseert informatie over milieuvriendelijke technieken, evalueert per bedrijfstak de Beste Beschikbare Technieken (BBT) en formuleert BBT-aanbevelingen naar de Vlaamse overheid en bedrijven.

Het BBT-kenniscentrum wordt, samen met het zusterproject EMIS (<http://www.emis.vito.be>) gefinancierd door het Vlaamse Gewest. Het kenniscentrum wordt begeleid door een stuurgroep die wordt voorgezeten door het Departement Omgeving, afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten (GOP). De andere betrokken entiteiten in het beleidsdomein (diverse afdelingen van het Departement Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij, OVAM, VEKA, VLM) zetelen eveneens in de stuurgroep.

### WAAROM ZIJN BBT-STUDIES NUTTIG?

De vergunningsvoorwaarden die aan de bedrijven worden opgelegd en de ecologiepremie die in Vlaanderen van kracht is, zijn in belangrijke mate gebaseerd op de BBT. Zo geven de sectorale voorwaarden uit VLAREM II vaak de mate van milieubescherming weer die met de BBT haalbaar is. Het bepalen van BBT is dus niet alleen nuttig voor de bedrijven, maar ook als referentie voor de overheid in het kader van het vergunningenbeleid. In bepaalde gevallen verleent de Vlaamse overheid ook subsidies aan de bedrijven als zij investeren in BBT.

Het BBT-kenniscentrum werkt BBT-studies uit voor een bedrijfstak of voor een groep van gelijkaardige activiteiten. Deze studies beschrijven de BBT en geven bovendien de nodige achtergrondinformatie. Die achtergrondinformatie helpt de vergunningverlenende overheid om de dagelijkse bedrijfspraktijk beter aan te voelen. Bovendien toont ze de bedrijven de wetenschappelijke basis voor de milieuvorwaarden in hun vergunning.

De BBT-studies formuleren ook aanbevelingen om de vergunningsvoorwaarden en de regels inzake ecologiepremie aan te passen. De ervaring leert dat de Vlaamse overheid de aanbevelingen vaak ook werkelijk gebruikt voor nieuwe milieuregelgeving. In afwachting hiervan worden de aanbevelingen echter als niet-bindend beschouwd.

## HOE KWAM DEZE STUDIE TOT STAND?

Elke BBT-studie is het resultaat van een intensieve zoektocht in de literatuur, bezoeken aan bedrijven, samenwerking met experts in de sector, bevestigingen van producenten en leveranciers, uitgebreide contacten met bedrijfs- en milieuverantwoordelijken en ambtenaren enzovoort. De beschreven BBT zijn een momentopname en bovendien niet noodzakelijk volledig: niet alle BBT die vandaag en in de toekomst mogelijk zijn, zijn in de studie opgenomen.

Voor de wetenschappelijke begeleiding van de studie werd een begeleidingscomité samengesteld met vertegenwoordigers van industrie en overheid. Dit comité kwam drie keer samen om de studie inhoudelijk te sturen (op 23/05/2022, 30/03/2023 en digitaal op 04/10/2023). De namen van de leden van dit comité en van de externe deskundigen die aan deze studie hebben meegewerkt, zijn opgenomen in bijlage 1. Het BBT-kenniscentrum heeft, voor zover mogelijk, rekening gehouden met de opmerkingen van de leden van het begeleidingscomité. Dit rapport is echter geen compromistekst. Het weerspiegelt de technieken die het BBT-kenniscentrum op dit moment als actueel beschouwt en de aanbevelingen die daaraan beantwoorden.

Final draft

## LEESWIJZER

In **Hoofdstuk 1** wordt het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT) en de invulling ervan in Vlaanderen toegelicht en vervolgens wordt het algemene kader van de voorliggende BBT-studie geschetst.

**Hoofdstuk 2** beschrijft het begrip PFAS, de algemene PFAS-problematiek, een aantal belangrijke eigenschappen van PFAS en hun verspreiding, toepassingen en mogelijke alternatieven. Daarnaast is er een milieujuridische situering omtrent PFAS emissies naar lucht.

**Hoofdstuk 3** beschrijft verschillende aspecten en effecten van PFAS-emissies naar lucht. Daarnaast komen de verschillende sectoren en processen die mogelijke emissies naar lucht veroorzaken in meer detail aan bod. Hierbij ligt een sterke focus op (ingedeelde) activiteiten/inrichtingen die plaatsvinden in, of relevant zijn voor, Vlaanderen. .

**Hoofdstuk 4** geeft een overzicht van de algemene technieken die men kan toepassen om PFAS luchtemissies te voorkomen of te beperken.

In **Hoofdstuk 5** worden deze milieuvriendelijke technieken geëvalueerd en worden de BBT geselecteerd. Niet alleen de technische haalbaarheid, maar ook de milieuvoordelen en de economische haalbaarheid (kostenhaalbaarheid en -effectiviteit) worden daarbij in rekening gebracht.

**Hoofdstuk 6** geeft aanbevelingen op basis van de BBT. Dit omvat aanbevelingen voor de milieuregelgeving en milieuvorwaarden in omgevingsvergunningen, en aanbevelingen voor verder onderzoek.

**Hoofdstuk 7** ten slotte beschrijft de technieken in opkomst voor beperking van PFAS luchtemissies. .

De informatie in dit rapport werd geactualiseerd tot oktober 2023.

## SAMENVATTING

Het BBT-kenniscentrum, opgericht in opdracht van de Vlaamse Regering bij VITO, heeft tot taak het inventariseren, verwerken en verspreiden van informatie rond milieuvriendelijke technieken. Tevens moet het kenniscentrum de Vlaamse overheid adviseren bij het concreet maken van het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT).

In dit rapport worden de sectoroverschrijdende BBT voor het voorkomen en beperken van PFAS-emissies naar de lucht in kaart gebracht, en worden aanbevelingen geformuleerd voor algemene milieuvoorwaarden in VLAREM II, voor aandachtspunten voor bijzondere milieuvoorwaarden in omgevingsvergunningen en voor verder onderzoek voor verbetering van kennis en ontwikkeling van technieken.

Sinds de Vlaamse 'PFAS-crisis', zijn emissies van en verontreinigingen door PFAS een actueel onderwerp in Vlaanderen. De voorbije jaren is er veel kennis vergaard over de milieu- en gezondheidseffecten van bepaalde PFAS, over hun aanwezigheid en verspreiding in bodem en water, en technieken om verontreinigingen in deze media te behandelen.

Over luchtemissies is de kennis momenteel beperkter, zowel op vlak van emissiebronnen als op vlak van geschikte technieken om de emissies te voorkomen of beperken, alsook de effecten van deze emissies op de omgeving.

Deze BBT-studie biedt daarom in eerste instantie een overzicht van bestaande Vlaamse, nationale en internationale milieuwetgeving en overige normering en beleid relevant voor PFAS luchtemissies.

Verder verzamelt het rapport informatie over voor luchtemissies relevante eigenschappen van PFAS, en over gekende en mogelijke relevante bronnen van PFAS-luchtemissies in Vlaanderen, met focus op ingedeelde inrichtingen/activiteiten. Slechts voor een zeer beperkt aantal activiteiten is er, veelal voorlopige/indicatieve, kwantitatieve informatie over de emissieniveaus. Het aantal activiteiten met mogelijk relevante luchtemissies is echter wel groot en zeer divers, en spreidt zich uit over hele waardeketens en levensfasen van producten, bijproducten en afvalstoffen.

Wegens het huidige gebrek aan gedetailleerde informatie, worden de technieken om PFAS-luchtemissies te voorkomen of te beperken op een algemeen niveau beschreven, gaande van inventarisatie van de PFAS-risico's, beperking van de aanwezigheid van PFAS, procesgeïntegreerde bronmaatregelen en monitoring van emissies tot afzuiging en zuivering van afgassen. Ze worden vervolgens geëvalueerd om te komen tot een selectie van BBT, met toelichting in welke omstandigheden ze BBT zijn en wanneer niet.

Hierop worden de aanbevelingen voor algemene milieuvoorwaarden in VLAREM II gebaseerd. Deze omvatten de opmaak van een inventaris van PFAS-risico's en het onderzoek naar beperking van de aanwezigheid van en de minimalisatie van emissies van zeer zorgwekkende PFAS. Daarnaast zijn er aanbevelingen voor periodieke meet- en monitoringsverplichtingen in functie van het omgevingsrisico.

Tot slot is er voor zeer zorgwekkende PFAS een voorstel voor algemene emissiegrenswaarden. Dit is te zien als een voorlopig, relatief ruim, 'vangnet', waarbij aanvullend een toetsing van de aanvaardbaarheid van de immissie- en depositiebijdrage van de emissie noodzakelijk is. Het vangnet is bovendien geen alternatief voor het onderzoek naar minimalisatie van zeer zorgwekkende PFAS-emissies; ze zijn complementair. Voor de toetsing van de immissiebijdrage in omgevingslucht stelt de BBT-studie een methodiek voor. Voor toetsing van de depositiebijdrage is momenteel nog onvoldoende kennis voorhanden.

In deze studie is getracht zo veel mogelijk relevante en actuele informatie te verzamelen (geactualiseerd tot oktober 2023). Het is echter duidelijk dat er nog een bijzonder grote kennisleemte is rond verschillende aspecten van PFAS-luchtemissies en behandelingstechnieken, en dus ook rond het emissiebeleid. Daarom is er een uitgebreide reeks aanbevelingen opgenomen voor de verbetering van de huidige kennis en voor de ontwikkeling van technieken.

Het is te benadrukken dat het voorgestelde normenkader slechts als een voorlopig én onvolledig kader gezien moet worden, waarbij onder andere nog een aanvullende aftoetsing nodig is van de (on)aanvaardbaarheid van de depositiebijdrage van een emissie. Een belangrijke aanbeveling voor verder onderzoek is dan ook het herzien en/of aanvullen van dit kader naarmate de kennis zich verder ontwikkelt.

De informatieverzameling, BBT-selectie en de adviesverlening is tot stand gekomen op basis van o.a. literatuurstudie, intensief overleg met vertegenwoordigers van individuele bedrijven en van federaties, technologieleveranciers, specialisten uit de overheidsadministraties en studiebureaus, screening van omgevingsvergunningen, vergelijking met buitenlands beleid en bedrijfsbezoeken. Het formeel overleg gebeurde in een begeleidingscomité.

Final draft

## ABSTRACT

The Centre for Best Available Techniques (BAT) is founded by the Flemish Government, and is hosted by VITO. The BAT centre collects, evaluates and distributes information on environmentally friendly techniques. Moreover, it advises the Flemish authorities on how to translate this information into its environmental policy. Central in this translation is the concept “BAT” (Best Available Techniques). BAT corresponds to the techniques with the best environmental performance that can be introduced at a reasonable cost.

This report gathers the cross-sector BAT to prevent and limit PFAS emissions to air and recommendations are formulated for general environmental conditions in VLAREM II, for specific environmental conditions in permits and for further research for knowledge building and development of techniques.

Since the Flemish PFAS crisis, emissions of and pollution with PFAS are a hot topic in Flanders. In recent years, much knowledge has been gathered about environmental and health effects of certain PFAS, about their presence and spread in soil and water, and techniques to treat these contaminations.

The knowledge on air emissions is currently more limited, both when it comes to appropriate techniques to prevent or limit emissions, and the effects of these emissions on the environment.

This BAT-study therefore starts with an overview of existing Flemish, national and international environmental legislation and policy relevant for PFAS air emissions.

Next to that, the report collects information on PFAS properties relevant for air emissions, and known and potentially relevant sources of PFAS air emissions in Flanders, with a focus on activities requiring an environmental permit. Only for very few activities there is, mostly preliminary, quantitative information on emission levels. However, the number of activities with potentially relevant air emissions is large and very diverse, and spreads across whole value chains and life stages of products, byproducts and wastes.

Because of the current lack of detailed information, techniques to prevent or limit PFAS air emissions are described at a general level, ranging from an inventory of PFAS risks, limiting the presence of PFAS, process-integrated measures at the source and monitoring of emissions, to extraction and treatment of waste gases. The techniques are consequently evaluated to reach a selection of BAT, with explanation of the circumstances in which they are BAT, and when they are not.

The recommendations for the general environmental conditions in VLAREM II are based on this. They include an inventory of PFAS risks and investigation into limiting the presence of and minimising emissions of PFAS of very high concern. Next to that, there are recommendations for the periodic measurement and monitoring requirements, depending of the environmental risk.

Finally, there is a proposal for general air emission limit values for PFAS of very high concern. This should be seen as a preliminary, relatively wide, ‘safety net’, which needs to be complemented by an assessment of the contribution to the immission and deposition in the surroundings. Furthermore, the safety net is not an alternative for the investigation into minimising emissions of PFAS of very high concern; they are complementary. The BAT-study proposes a methodology for the assessment of the immission. For the assessment of the deposition, the current knowledge is insufficient.

In this study (update until October 2023), as much as possible relevant and current information has been gathered. It is however clear that there is still a large knowledge gap concerning many aspects of PFAS air emissions and treatment techniques, and thus also the emissions policy. Therefore, an extensive list of recommendations for improving the knowledge basis and development of techniques has been included.



It should be emphasised that the proposed norms are preliminary and incomplete, and is to be complemented by an assessment of the deposition contribution. An important recommendation for further research is therefore to review and/or complement these norms as knowledge further develops.

The information collection, BAT selection and recommendations were established on the basis of, among other, a literature study, intensive consultation with representatives of individual companies and federations, technology suppliers, specialists from government administrations and engineering firms, screening of environmental permits, comparison with foreign policy and company visits. The formal consultation took place in a steering committee.

Final draft

## INHOUD

<b>HOOFDSTUK 1. OVER DEZE BBT-STUDIE .....</b>	<b>2</b>
1.1 Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen .....	2
1.1.1 Definitie .....	2
1.1.2 Beste Beschikbare Technieken als begrip in het Vlaamse milieubeleid.....	2
1.2 BBT-studie voor het opstellen van een normenkader en emissiegrenswaarden voor emissies van PFAS naar de lucht.....	3
1.2.1 Doelstellingen van studie .....	3
1.2.2 Inhoud van studie .....	4
<b>HOOFDSTUK 2. PFAS-PROBLEMATIEK &amp; MILIEUJURIDISCHE SITUERING .....</b>	<b>6</b>
2.1 Algemene informatie PFAS .....	6
2.1.1 Fysische en chemische eigenschappen van niet-polymeren PFAS.....	8
2.1.2 Fysische en chemische eigenschappen van polymeren PFAS .....	10
2.1.3 Verspreiding en toxiciteit van PFAS.....	10
2.2 Relevante toepassingen van PFAS .....	16
2.3 Alternatieven .....	18
2.4 Milieujuridische situering bij PFAS verwerkende sectoren .....	19
2.4.1 Milieuvoorwaarden .....	19
2.4.2 Overige Vlaamse regelgeving .....	22
2.4.3 Europese wetgeving .....	23
2.4.4 Buitenlandse wetgeving .....	30
<b>HOOFDSTUK 3. PFAS-LUCHTEMISSIES &amp; RELEVANTE SECTOREN EN PROCESSEN .....</b>	<b>40</b>
3.1 PFAS Emissies naar lucht.....	40
3.1.1 PFAS in omgevingslucht en depositie.....	42
3.1.2 Toetsingscriterium voor geleide emissies .....	43
3.1.3 Monitoring geleide luchtemissies .....	43
3.1.4 Diffuse en abnormale of accidentele luchtemissies.....	44
3.2 Beschrijving van PFAS-verwerkende sectoren en activiteiten.....	45
3.2.1 Chemische industrie (productie van PFAS) .....	45
3.2.2 Voornaamste PFAS gebruik in de productieprocessen van eindtoepassingen .....	47
3.2.3 Afvalverwerking en waterzuivering.....	53
3.2.4 Andere .....	63
<b>HOOFDSTUK 4. BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN .....</b>	<b>66</b>
4.1 Inventarisatie van PFAS-risico's .....	66
4.2 Beperking van aanwezigheid PFAS .....	68
4.3 Procesbeheersing ter beperking van emissies aan de bron .....	70
4.4 Monitoring van luchtemissies.....	72
4.5 Afzuiging of evacuatie van afgassen .....	74
4.6 Verwijdering van luchtemissies door zuivering van afgassen .....	75
<b>HOOFDSTUK 5. SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN .....</b>	<b>87</b>
5.1 Evaluatie van de beschikbare milieuvriendelijke technieken.....	87

5.2	BBT evaluatietabel .....	92
<b>HOOFDSTUK 6. AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN .....</b>		<b>97</b>
6.1	Aanbevelingen voor algemene milieuvoorwaarden.....	98
6.1.1	Inventariseren .....	98
6.1.2	Aanwezigheid minimaliseren .....	100
6.1.3	Emissies voorkomen en minimaliseren .....	100
6.1.4	Emissiegrenswaarden vangnet.....	102
6.1.5	Monitoring emissies .....	104
6.2	Aandachtspunten voor de bijzondere milieuvoorwaarden.....	107
6.2.1	Tijdelijk toetsingscriterium omgevingslucht.....	107
6.3	Aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling.....	112
6.3.1	Aanbevelingen voor verbetering van huidige kennis .....	113
6.3.2	Aanbevelingen voor ontwikkeling van milieuvriendelijke technieken.....	118
<b>HOOFDSTUK 7. TECHNIEKEN IN OPKOMST .....</b>		<b>121</b>
7.1	Regeneratieve thermische oxidatie .....	121
7.2	Hydrothermische liquefactie .....	121
7.3	Pyrolyse en gasificatie.....	121
7.4	Smoldering .....	122
7.5	Plasmabehandeling.....	123
<b>LITERATUURLIJST.....</b>		<b>125</b>
<b>BEGRIPPENLIJST .....</b>		<b>133</b>
<b>BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN DE BBT-STUDIE.....</b>		<b>135</b>
<b>BIJLAGE 2: FINALE OPMERKINGEN .....</b>		<b>139</b>

## LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: RPF en interne RPF wegingsfactoren gebaseerd op gewichtstoename lever (Bron: Zeilmaker et al., 2018; Bil et al., 2022) .....	13
Tabel 2: Interne RPF's voor absoluut en relatief gewicht van thymus, absoluut gewicht van milt, globuline concentratie en relatief gewicht van lever (Bron: Bil et al., 2023).....	14
Tabel 3: Overzicht van noodzakelijk verbrandingstemperaturen en condities voor de destructie van PFAS op basis van recente literatuur (Winchell et al., 2020). .....	56
Tabel 4: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT .....	92
Tabel 5: Toetsingscriterium per categorie emissiebron, bepaald op basis van de modellering in bijlage A, uitgaande van het tijdelijk toetsingskader voor omgevingslucht. ....	108
Tabel 6: Scores van emissies i.f.v. hun aandeel van het toetsingscriterium omgevingslucht .....	110
Tabel 7: Aanbevelingen voor ontwikkeling van milieuvriendelijke technieken.....	118

Final draft

## LIJST VAN FIGUREN

<b>Figuur 1: Overzicht van klassen van PFAS-verbindingen (Vrancken et al., 2021).</b> .....	7
<b>Figuur 2: Voorbeelden van stoffen die wel en stoffen die niet worden beschouwd als PFAS. (Wang et al., 2021)</b> .....	8
Figuur 3: Het onderscheid tussen korte en lange keten PFAS en hun precursoren voor PFCA's en PFSA's. ....	10
Figuur 4: Verspreiding PFAS emissies (Magazine of the German Environment Agency 1/2020). ....	11
<b>Figuur 5: Conceptuele visualisatie PFAS eigenschappen (Workshop PFAS, ISC Westerschelde - Universiteit Wageningen)</b> .....	13
Figuur 6: Industriële sectoren en andere gebruikscategorieën waar PFAS gebruikt worden of werden. Het cijfer staat voor het aantal subcategorieën (Glüge et al., 2020). ....	17
Figuur 7: Verhouding tussen gevaarlijke stoffen, ZS in het Nederlandse beleid, en SVHC volgens REACH (bron: RIVM) .....	31
Figuur 8: Illustratie van vorm PFAS micel, hemi-micel en dubbellaag. De figuur toont ook de elektrostatische interactie met een positief geladen oppervlak. Omgekeerd, bij een negatief oppervlak worden vele PFAS afgestoten. Bron: ITRC (2022) .....	41
Figuur 9: Afbeelding van doekenfilter (LUSS, 2022).....	77
Figuur 10: Afbeelding van een stofwasser (LUSS, 2022) .....	78
Figuur 11: Afbeelding van een gaswasser .....	80
Figuur 12: Afbeelding van een condensor.....	82
Figuur 13: Afbeelding van thermische oxidatie.....	83
Figuur 14: Selectie van BBT op basis van scores voor verschillende criteria .....	90

Final draft

## LIJST VAN AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

<b>6:2 FTS</b>	6:2 fluortelomeersulfonzuur
<b>8:2 FTOH</b>	8:2 fluortelomeeralcohol
<b>°C</b>	Graden Celsius
<b>µg</b>	Microgram
<b>AOP</b>	Geavanceerde oxidatieprocessen
<b>ARP</b>	Geavanceerde reductieprocessen
<b>BBT</b>	Beste Beschikbare Technieken
<b>BBT-GEN</b>	Met BBT geassocieerde emissieniveaus
<b>BC</b>	Begeleidingscomité
<b>BREF</b>	BAT reference document
<b>BZV</b>	Biologisch zuurstofverbruik
<b>C(X)</b>	PFAS component met X koolstofatomen
<b>C<sub>x</sub>F<sub>y</sub></b>	Fluorkoolwaterstof met X koolstofatomen en Y fluoratomen
<b>CIC</b>	Combustion ion chromatography
<b>CLP</b>	Classification, labelling and packaging – in de context van EU Verordening 1272/2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels
<b>cm</b>	Centimeter
<b>CMA</b>	Compendium voor monsterneming en analyses van afvalstoffen en bodem
<b>CMR</b>	Carcinogeen, Mutageen, Reprotoxisch
<b>CO<sub>2</sub></b>	Koolstofdioxide
<b>CZV</b>	Chemisch zuurstofverbruik
<b>diPAP</b>	Fosfaatdiesters
<b>ECF</b>	Elektrochemische fluorinatie
<b>ECHA</b>	Europees Agentschap voor chemische stoffen (Engels: European Chemicals Agency)
<b>ECTFE</b>	Ethyleen chlorotrifluorethyleen tetrafluorethyleen
<b>EFSA</b>	Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (Engels: European Food Safety Authority)
<b>EFSA-4</b>	PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA
<b>EMIS</b>	Energie en Milieu Informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest
<b>EOF</b>	Extraheerbaar organisch fluor
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>ETFE</b>	Ethyleen tetrafluorethyleen
<b>EU</b>	Europese Unie
<b>F-gas</b>	Gefluoreerd broeikasgas
<b>FASA</b>	Perfluorsulfonamides
<b>FEP</b>	Perfluorethyleen propylene
<b>g</b>	Gram
<b>GAC</b>	Granulair actief kool
<b>GAW</b>	Gezondheidskundige advieswaarde
<b>GWP</b>	Global Warming Potential
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Waterstofsulfide
<b>HFC-23</b>	fluoroform (CHF <sub>3</sub> )
<b>HFPO-DA</b>	Hexafluoropropylene oxide-dimer acid; alternatieve benaming voor GenX
<b>IPLO</b>	Informatiepunt Leefomgeving
<b>ITRC</b>	Interstate Technology and Regulatory Council
<b>kg</b>	Kilogram
<b>l</b>	Liter
<b>LUC</b>	Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van lucht
<b>m</b>	Meter

<b>m<sup>2</sup></b>	Vierkante meter
<b>m<sup>3</sup></b>	Kubieke meter
<b>ng</b>	Nanogram
<b>Nm<sup>3</sup></b>	Normaal kubieke meter (hoeveelheid gas, technisch vrij van waterdamp, die bij 0 °C (273,15 K) en 1,01325 bar een volume inneemt van 1 kubieke meter)
<b>NO<sub>x</sub>/NO/NO<sub>2</sub></b>	Stikstofoxiden/stikstofmonoxide/stikstofdioxide
<b>OSPAR</b>	Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan
<b>OVAM</b>	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
<b>PAC</b>	Powdered activated carbon
<b>PAG</b>	photoacid generators
<b>PBT</b>	Persistent, bioaccumulerend en toxisch
<b>PCB</b>	Polychloorbifenyyl
<b>PCDD/F</b>	Dioxinen en furanen
<b>PFAA</b>	Perfluoralkylzuren
<b>PFAS</b>	Per- en polyfluoralkylstoffen
<b>PFBA</b>	Perfluorbutaanzuur
<b>PFBS</b>	Perfluorbutaansulfonzuur
<b>PFCA</b>	Perfluorcarbonszuren
<b>PFDA</b>	Perfluordecaanzuur
<b>PFDS</b>	Perfluorodecane sulfonic acid
<b>PFD<sub>o</sub>DA</b>	Perfluorododecanoic acid
<b>PF<sub>E</sub>tS</b>	Perfluorethaansulfonzuur
<b>PFH<sub>p</sub>A</b>	Perfluoroheptanoic acid
<b>PFH<sub>p</sub>S</b>	Perfluoroheptane sulfonic acid
<b>PFH<sub>x</sub>A</b>	Perfluorhexaansulfonzuur
<b>PFH<sub>x</sub>S</b>	Perfluorhexaanzuur
<b>PFMVE</b>	Perfluoralkyl vinyl ethers
<b>PFNA</b>	Perfluornonaanzuur
<b>PFOA</b>	Perfluorooctaanzuur
<b>PFODA</b>	Perfluorooctadecaanzuur
<b>PFOS</b>	Perfluorooctaansulfonzuur
<b>PFPA</b>	Perfluorofosfonzuren
<b>PFPeA</b>	Perfluorpentaanzuur
<b>PFPeS</b>	Perfluorpentaansulfonzuur
<b>PFPrA</b>	Perfluorpropaanzuur
<b>PFPrS</b>	perfluorpropaansulfonzuur
<b>PFSA</b>	Perfluorsulfonzuren
<b>PFT<sub>e</sub>DA</b>	Perfluorotetradecanoic acid
<b>PFT<sub>r</sub>DA</b>	Perfluorotridecanoic acid
<b>PFUnDA</b>	Perfluorundecaanzuur
<b>pg</b>	picogram
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	Stofdeeltjes van 2,5 micrometer of kleiner
<b>PMT</b>	Persistent, mobiel en toxisch
<b>POP</b>	Persistente organische pollutanten
<b>ppb</b>	deeltjes per miljard (parts per billion)
<b>ppm</b>	deeltjes per miljoen (parts per million)
<b>PTFE</b>	Polytetrafluoretheen
<b>PVDF</b>	Polyvinylideen fluoride
<b>REACH</b>	Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals
<b>RIE</b>	Richtlijn Industriële Emissies (2010/75/EU)
<b>RIVM</b>	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu



<b>RPF</b>	Relative Potency Factor
<b>s</b>	Seconde
<b>SCIP</b>	SCIP databank voor informatie over zorgwekkende stoffen (Substances of Concern) In voorwerpen als zodanig of in complexe objecten (Producten)
<b>SVHC</b>	Substances of Very High Concern volgens REACH
<b>TEQ</b>	Toxiciteit Equivalenten (voor emissies PCDD/F en PCB's)
<b>TFA</b>	Trifluorazijnzuur
<b>TFMS</b>	Trifluormethaansulfonzuur
<b>TFE</b>	Tetrafluorethyleen
<b>TOF</b>	Totaal organisch fluor
<b>TOP</b>	Total Oxidizable Precursor
<b>TRL</b>	Technology readiness level
<b>u</b>	Uur
<b>v.g.t.g.</b>	in de vergunning toegelaten gehalte of van geval tot geval
<b>VITO</b>	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
<b>VLAREM II</b>	Besluit van de Vlaamse regering houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne
<b>VLAREM III</b>	Besluit van de Vlaamse regering houdende bijkomende algemene en sectorale voorwaarden voor GPBV-installaties
<b>VMM</b>	Vlaamse Milieumaatschappij
<b>VOS</b>	Vluchtige organische stoffen
<b>WAC</b>	Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water
<b>WGC</b>	Common Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector (BREF)
<b>WGO</b>	Wereldgezondheidsorganisatie
<b>ZS</b>	Zwevende stoffen
<b>ZVI</b>	Zero valent iron
<b>ZZS</b>	Zeer Zorgwekkende Stoffen

Final draft

# HOOFDSTUK 1. OVER DEZE BBT-STUDIE

# PFAS

Per- en  
Polyfluoralkyl  
Verbindingen

## HOOFDSTUK 1. OVER DEZE BBT-STUDIE

In dit hoofdstuk wordt eerst het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT) toegelicht. Vervolgens wordt het algemene kader van deze Vlaamse BBT-studie geschetst. Onder meer de doelstellingen, de inhoud, de begeleiding en de werkwijze van de BBT-studie worden verduidelijkt.

### 1.1 BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN IN VLAANDEREN

#### 1.1.1 DEFINITIE

Het begrip “Beste Beschikbare Technieken”, afgekort BBT, wordt in VLAREM II, artikel 1.1.2, gedefinieerd als:

“Het meest doeltreffende en geavanceerde ontwikkelingsstadium van de activiteiten en exploitatiemethoden, waarbij de praktische bruikbaarheid van speciale technieken om in beginsel het uitgangspunt voor de emissiegrenswaarden en andere vergunningsvoorwaarden te vormen is aangetoond, met het doel emissies en effecten op het milieu in zijn geheel te voorkomen of, wanneer dat niet mogelijk blijkt algemeen te beperken;

- a) “technieken”: zowel de toegepaste technieken als de wijze waarop de installatie wordt ontworpen, gebouwd, onderhouden, geëxploiteerd en ontmanteld;
- b) “beschikbare”: op zodanige schaal ontwikkeld dat de betrokken technieken, kosten en baten in aanmerking genomen, economisch en technisch haalbaar in de industriële context kunnen worden toegepast, onafhankelijk van de vraag of die technieken al dan niet op het grondgebied van het Vlaamse Gewest worden toegepast of geproduceerd, mits ze voor de exploitant op redelijke voorwaarden toegankelijk zijn;
- c) “beste: het meest doeltreffend voor het bereiken van een hoog algemeen niveau van bescherming van het milieu in zijn geheel.”

Deze definitie vormt het vertrekpunt om het begrip BBT concreet in te vullen voor de beperking van PFAS luchtmissies in Vlaanderen.

#### 1.1.2 BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN ALS BEGRIP IN HET VLAAMSE MILIEUBELEID

##### ACHTERGROND BIJ BEGRIP

Bijna elke menselijke activiteit (b.v. woningbouw, industriële activiteit, recreatie, landbouw) beïnvloedt op de één of andere manier het leefmilieu. Vaak is het niet mogelijk in te schatten hoe schadelijk die beïnvloeding is. Vanuit deze onzekerheid wordt geoordeeld dat iedere activiteit met maximale zorg moet uitgevoerd worden om het leefmilieu zo weinig mogelijk te belasten. Dit stemt overeen met het zogenaamde voorzorgsbeginsel.

In haar milieubeleid gericht op het bedrijfsleven heeft de Vlaamse overheid dit voorzorgsbeginsel vertaald naar de vraag om de “Beste Beschikbare Technieken” toe te passen. Deze vraag wordt als zodanig opgenomen in de algemene voorschriften van VLAREM II (art. 4.1.2.1). Het toepassen van de BBT betekent in de eerste plaats dat iedere exploitant al wat technisch en economisch mogelijk is, moet doen om milieuschade te vermijden. Daarnaast wordt ook de naleving van de vergunningsvoorwaarden geacht overeen te stemmen met de verplichting om de BBT toe te passen.

Binnen het Vlaamse milieubeleid wordt het begrip BBT in hoofdzaak gehanteerd als basis voor het vastleggen van vergunningsvoorwaarden. Dergelijke voorwaarden die aan inrichtingen in Vlaanderen worden opgelegd steunen op twee pijlers:

- d) de toepassing van de BBT;
- e) de resterende milieu-effecten mogen geen afbreuk doen aan de vooropgestelde milieukwaliteitsdoelstellingen.

Ook de Europese Richtlijn Industriële Emissies (2010/75/EU) en haar voorganger, de "IPPC" Richtlijn (2008/1/EC), schrijven de lidstaten voor op deze twee pijlers te steunen bij het vastleggen van vergunningsvoorwaarden.

### CONCRETISERING VAN BEGRIP

Om concreet inhoud te kunnen geven aan het begrip BBT, dient de algemene definitie van VLAREM II nader verduidelijkt te worden. Het BBT-kenniscentrum hanteert onderstaande invulling van de drie elementen.

- f) "Beste" betekent "beste voor het milieu als geheel", waarbij het effect van de beschouwde techniek op de verschillende milieucompartimenten (lucht, water, bodem, afval, ...) wordt afgewogen;
- g) "Beschikbare" duidt op het feit dat het hier gaat over iets dat op de markt verkrijgbaar en redelijk in kostprijs is. Het zijn dus technieken die niet meer in een experimenteel stadium zijn, maar effectief hun waarde in de bedrijfspraktijk bewezen hebben. De kostprijs wordt redelijk geacht indien deze haalbaar is voor een 'gemiddeld' bedrijf uit de beschouwde sector én niet buiten verhouding is tegenover het behaalde milieuresultaat;
- h) "Technieken" zijn technologieën én organisatorische maatregelen. Ze hebben zowel te maken met procesaanpassingen, het gebruik van minder vervuilende grondstoffen, end-of-pipe maatregelen, als met goede bedrijfspraktijken.

Het is hierbij duidelijk dat wat voor het ene bedrijf een BBT is dat niet voor een ander hoeft te zijn. Toch heeft de ervaring in Vlaanderen en in andere regio's/landen aangetoond dat het mogelijk is algemene BBT-lijnen te trekken voor groepen van bedrijven die dezelfde processen gebruiken en/of gelijkaardige producten maken. Dergelijke sectorale of bedrijfstak-BBT maken het voor de overheid mogelijk sectorale milieuvorwaarden vast te leggen. Hierbij zal de overheid doorgaans niet de BBT zelf opleggen, maar wel de milieuprestaties die met BBT haalbaar zijn als norm beschouwen.

Het concretiseren van BBT voor sectoren vormt tevens een nuttig referentiepunt bij het toekennen van steun bij milieuvriendelijke investeringen door de Vlaamse overheid. De regeling ecologiepremie bepaalt dat bedrijven die milieu-inspanningen leveren die verdergaan dan de wettelijke vereisten, kunnen genieten van een investeringssubsidie.

## 1.2 BBT-STUDIE VOOR HET OPSTELLEN VAN EEN NORMENKADER EN EMISSIEGRENSWAARDEN VOOR EMISSIES VAN PFAS NAAR DE LUCHT

### 1.2.1 DOELSTELLINGEN VAN STUDIE

Deze BBT-studie bevat een sectoroverschrijdende BBT-analyse voor de Vlaamse activiteiten die PFAS emissies veroorzaken. Het doel van de studie bestaat erin om:

- a) een inventarisatie maken van de voornaamste sectoren en activiteiten waarbij PFAS-emissies naar de lucht kunnen plaatsvinden;

- b) informatie te verzamelen over beschikbare technieken om PFAS-emissies naar lucht te vermijden of te beperken.
- c) opstellen van een normenkader en emissiegrenswaarden voor emissies van PFAS naar de lucht

### 1.2.2 INHOUD VAN STUDIE

Vertrekpunt van het onderzoek naar de Beste Beschikbare Technieken voor het opstellen van een normenkader en emissiegrenswaarden voor emissies van PFAS naar de lucht is vooral een milieujuridische (met waar mogelijk een socio-economische) doorlichting (hoofdstuk 2).

In hoofdstuk 3 worden de verschillende sectoren en processen meer in detail toegelicht die mogelijke emissies naar lucht veroorzaken.

Op basis van een uitgebreide literatuurstudie, aangevuld met gegevens van leveranciers en bedrijfsbezoeken, wordt in hoofdstuk 4 een inventaris opgesteld van milieuvriendelijke technieken voor de sector. Vervolgens, in hoofdstuk 5, vindt voor elk van deze technieken een evaluatie plaats, niet alleen van het globaal milieurendement, maar ook van de technische en economische haalbaarheid. Deze grondige afweging laat ons toe de Beste Beschikbare Technieken te selecteren.

De BBT zijn op hun beurt de basis voor een aantal suggesties om de bestaande milieuregelgeving te evalueren, te concretiseren en aan te vullen (hoofdstuk 6). Tevens worden in hoofdstuk 6 aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling geformuleerd. In hoofdstuk 7 wordt er verder ingegaan op de technieken in opkomst.

---

## HOOFDSTUK 2. PFAS-PROBLEMATIEK, RELEVANTE SECTOREN & MILIEUJURIDISCHE SITUERING



## HOOFDSTUK 2. PFAS-PROBLEMATIEK & MILIEUJURIDISCHE SITUERING

In dit hoofdstuk wordt een milieujuridische situering en doorlichting gegeven van de sectoren waar mogelijk PFAS emissies naar de lucht vrijkomen.

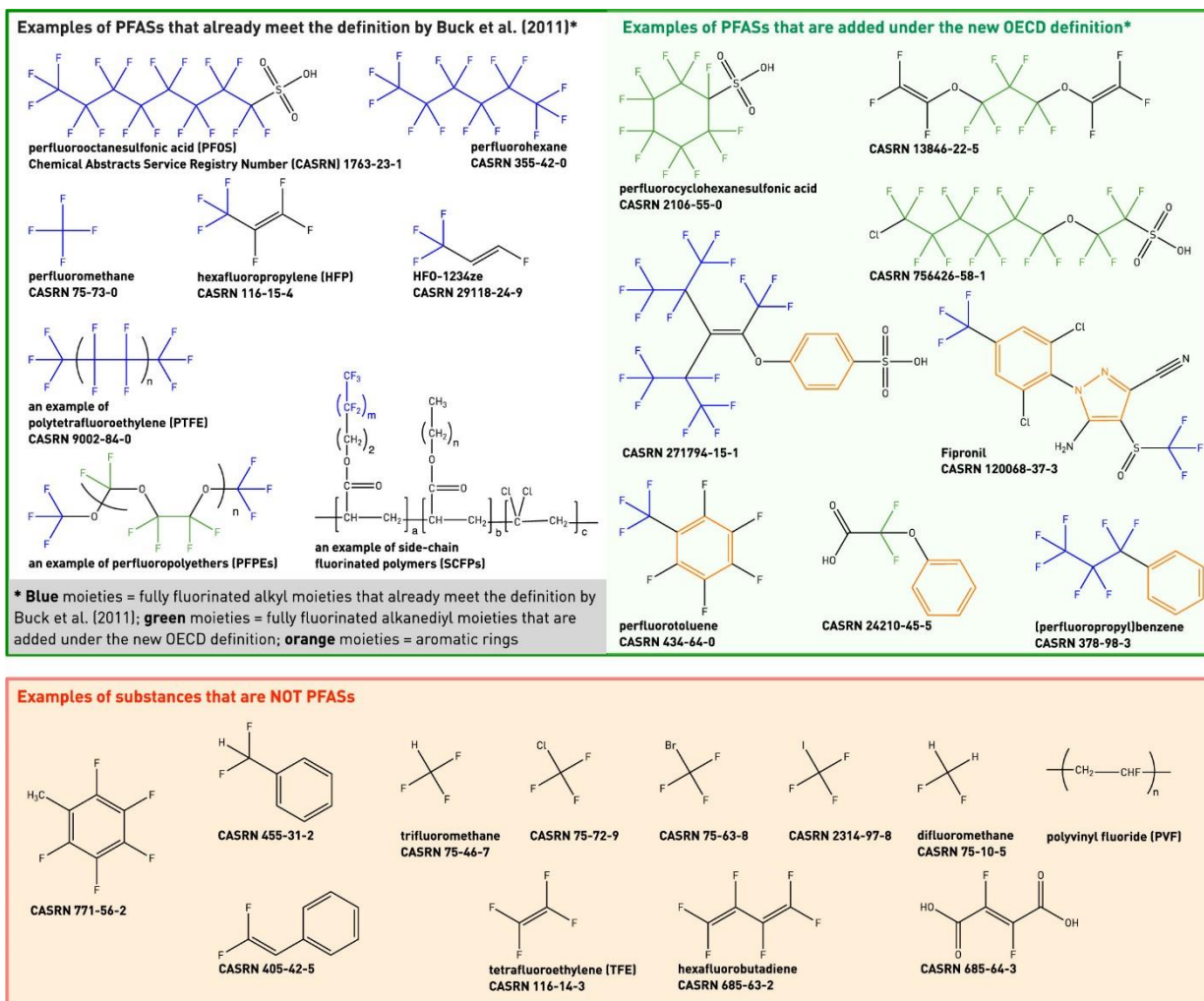
Eerst wordt algemene informatie over PFAS gegeven. Verder wordt getracht de meest relevante sectoren en processen te inventariseren. In een derde deel gaan we dieper in op de belangrijkste milieujuridische aspecten.

### 2.1 ALGEMENE INFORMATIE PFAS

Poly - en perfluoralkylverbindingen of PFAS zijn een grote familie van meer dan 6.000 antropogene (door de mens gemaakte) stoffen die poly (gedeeltelijk)- of per (volledig)- gefluoreerde alkylgroepen bevatten. PFAS worden sinds 1940 geproduceerd door de mens. Deze synthetische chemische stoffen komen niet van nature voor in het milieu en zijn niet of nauwelijks natuurlijk afbreekbaar. Er zijn verschillende definities voor PFAS (Hammel et al., 2022). Afhankelijk van de gehanteerde definitie kunnen sommige verbindingen al dan niet onder de noemer van PFAS vallen. OESO definieert PFAS als gefluoreerde stoffen die ten minste één volledig gefluoreerd methyl (-CF<sub>3</sub>) of methyleen (-CF<sub>2</sub>-) koolstofatoom bevatten (zonder H/Cl/Br/I eraan verbonden) (OECD, 2021). De bekendste hiervan zijn PFOA (perfluorooctaanzuur), PFOS (perfluorooctaansulfonzuur) en HFPO-DA (Perfluor-2-propoxypropaanzuur; gebruikte stof in GenX technologie). PFAS worden ingedeeld in twee grote groepen, namelijk polymeren en niet-polymeren. Figuur 1 toont een algemene onderverdeling van de PFAS parameters. Figuur 2 geeft een aantal voorbeelden van stoffen die volgens de OESO definitie wel beschouwd worden als PFAS, en stoffen die niet beschouwd worden als PFAS.







Figuur 2: Voorbeelden van stoffen die wel en stoffen die niet worden beschouwd als PFAS. (Wang et al., 2021)

### 2.1.1 FYSISCHE EN CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN NIET-POLYMEREN PFAS

Niet-polymeren PFAS bestaan typisch uit een hydrofobe per- of polyfluoralkylketen en vaak hydrofiële functionele groep (carboxylaat, sulfonaat, sulfaat, fosfaat, amine...) en zijn terug te vinden in vele toepassingen omdat ze zowel water-, vet- als vuilafstotende eigenschappen hebben, en omdat ze bestand zijn tegen hoge temperatuur. Het commerciële succes en het wijdverspreide gebruik van (niet-polymeren) PFAS zijn toe te wijzen aan de corresponderende fysische en chemische eigenschappen, zoals een hoge graad aan thermische en chemische stabiliteit, en het vermogen om de oppervlaktespanning te verminderen. Dit is ook tegelijk een nadeel; dezelfde eigenschappen maken dat vele PFAS persistente en soms bioaccumulatieve stoffen zijn en moeilijk te behandelen zijn met klassieke zuiverings- en afbraaktechnieken. Vandaar dat PFAS bekend zijn onder de naam “forever chemicals”.

De hoge elektronegativiteit en de kleine grootte van het fluor atoom maakt dat de C-F binding één van de sterkste covalente bindingen is in de organische chemie. De grote hoeveelheid benodigde energie om deze binding te breken is verantwoordelijk voor de stabiliteit van PFAS in aanwezigheid

van oxidanten en hoge temperaturen alsook hun weerstand voor chemische en biologische degradatie. Afname van de ketenlengte zal enkel de sterkte van de binding doen toenemen, waardoor het koolstof centrum meer positief wordt. Bijkomend, de lage polariseerbaarheid van fluor geeft PFAS coatings de unieke eigenschap van zowel hydrofoob als lipofob.

Hoewel de C-F binding algemeen is voor alle PFAS (polymeren en niet-polymeren), is er een significante structurele variatie tussen deze componenten. Koolstofketenlengte wordt vaak gebruikt voor de classificatie van PFAS, aangezien het een belangrijke impact heeft op de eigenschappen van een component. Een toenemende koolstofketenlengte wordt geassocieerd met een afnemende lipofobiciteit en hydrofobiciteit (Gagliano et al., 2021). PFAS kan zowel in waterige als in vaste matrices gevonden worden, alhoewel de lange keten PFAS een grotere waarschijnlijkheid hebben om zich vast te hechten aan bodempartikels door het verschil in adsorptiepotentiaal. Deze verschillen in wateroplosbaarheid en adsorptiepotentialen veroorzaken ongelijkheden in mobiliteit en milieutransport. Bijgevolg is de verspreiding van PFAS in het milieu sterk afhankelijk van ketenlengte (Liu et al., 2022).

Lange keten PFAS adsorberen beter aan vaste (organische) materie, wat hen minder mobiel maakt, terwijl korte keten PFAS een hoge polariteit en oplosbaarheid vertonen, waardoor deze bijgevolg een hogere mobiliteit in waterige omgeving vertonen (Liu et al., 2022).

Hoewel de ketenlengte belangrijk is, is het zeker niet de enige factor die de eigenschappen van PFAS bepaalt. De functionele groep, zoals bijvoorbeeld carboxylaat, sulfonaat en hydroxyl, hebben ook invloed op de chemische eigenschappen van PFAS. Bijvoorbeeld, meer elektrofiële PFCA's, die een carboxyl groep bevatten, degraderen gemakkelijker dan PFSA's, die een sulfonzuur groep bevatten, bij een zelfde aantal koolstofatomen in hun keten. Deze functionele groepen zorgen ervoor dat PFAS oplossen in hun ionische vorm in waterige oplossingen onder geschikte omstandigheden. Afhankelijk van de functionele groep, kan het gevormde ion anionisch, kationisch of zwitterionisch zijn. Echter komen de meeste PFAS in de omgeving voor als anionen (Meegoda et al., 2020).

Wat betreft definities voor de onderverdeling van korte en lange keten PFAS, wordt er verwezen naar de BBT-studie voor de zuivering van met PFAS belast bedrijfsafvalwater en bemalingswater.

De definitie voor korte en lange keten PFAS die doorheen deze BBT-studie gehanteerd zal worden, vertrekt van de uitgebreide definitie voor lange en korte keten PFAS zoals voorgesteld door OESO (OECD, 2015 & 2018).

Het onderscheid tussen lange en korte keten PFAS wordt enkel gemaakt voor PFCA's en PFSA's en hun precursoren. Precursoren zijn chemische verbindingen die kunnen afbreken of transformeren ter vorming van stabiele moleculen, doorgaans PFAA's, in de omgeving en levende organismen. Dit zijn bijvoorbeeld fluortelomeren, polyfluoralkylfosforzuurdiesters en perfluoralkaansulfonamides, maar er zijn veel mogelijke andere precursoren. Door het OESO werden reeds meer dan 1000 verschillende precursoren geïdentificeerd waarvan op het moment van schrijven slechts een beperkt aantal gemeten kunnen worden (OECD, 2018). In deze BBT-studie wordt het onderscheid tussen korte en lange keten PFAS en hun precursoren gemaakt op basis van het aantal koolstofatomen zoals geïllustreerd in Figuur 3 (OECD, 2015, 2018):

	Ultra korte keten PFAS		Korte keten PFAS				Lange keten PFAS			
PFCA	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	>C10
PFSA	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	>C10

**Figuur 3: Het onderscheid tussen korte en lange keten PFAS en hun precursoren voor PFCA's en PFSA's.**

Het verschil tussen PFCA en PFSA wordt gemaakt omdat de lengte van de gefluoreerde koolstofketen en de aard van de functionele groep een effect hebben op de fysicochemische eigenschappen dat het gedrag van deze PFAS in de omgeving en organismen, en hun mate van bioaccumulatie en (eco)toxiciteit beïnvloeden (Meegoda et al., 2020; OECD, 2018). PFCA's bevatten namelijk één extra niet-gefluoreerde koolstof afkomstig van de carboxylgroep.

### 2.1.2 FYSISCHE EN CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN POLYMEREN PFAS

Naast deze niet-polymeren en hun indeling, maken ook polymeren deel uit van de PFAS. Binnen de polymeren zijn er opnieuw belangrijke onderverdelingen te maken (ITRC, 2022; Vrancken et al., 2021):

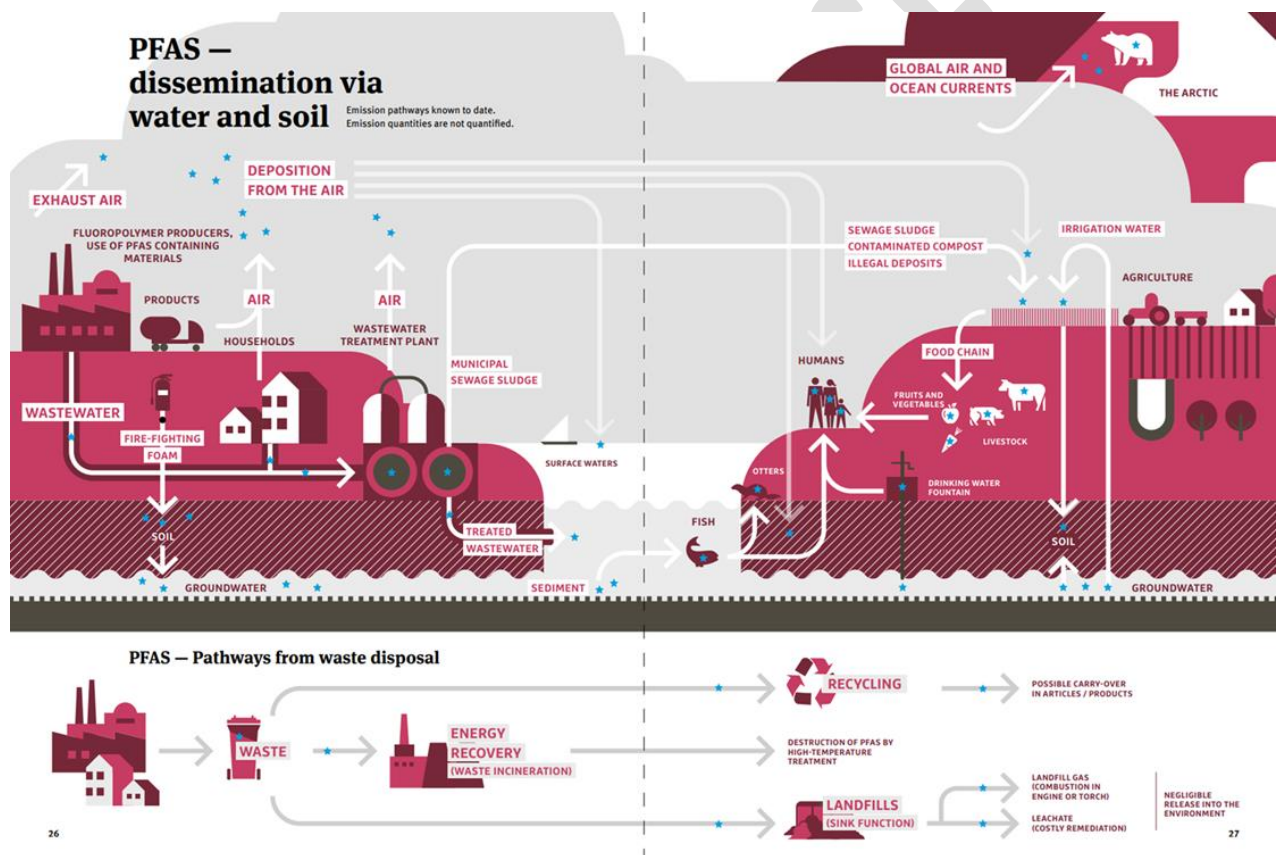
- fluoropolymeren: deze bestaan uit een koolstofketen uit zich herhalende monomeren, waarbij de koolstofatomen gepoly- of geperfluoreerd zijn.
- perfluoropolyethers: deze bestaan uit een koolstofketen uit zich herhalende monomeren afgewisseld met etherverbindingen, waarbij de koolstofatomen geperfluoreerd zijn.
- polymeren met gefluoreerde zijketen: een niet gefluoreerde koolstofketen uit zich herhalende monomeren, met zijketens van gepoly- of geperfluoreerde verbindingen.

Deze verschillende types polymeren hebben verschillende eigenschappen. Er werd gesteld dat fluoropolymeren zeer bestendig zijn tegen fysische, chemische en biologische degradatie, en dus geven deze stoffen typisch weinig redenen tot bezorgdheid bij normaal gebruik en bij vrijkomen in het milieu (werden beschouwd als 'polymers of low concern'). Echter, bij productie en eindelevensbehandeling is nog meer onderzoek nodig, maar het wordt aangenomen dat PFAS hierbij vrijkomen. Het bekendste en meest gebruikte PTFE (polytetrafluoreethyleen) blijft stabiel bij langdurige blootstelling aan temperaturen tot 260°C. Pas bij temperaturen aanzienlijk boven 330°C wordt substantiële decompositie waargenomen, bij 450°C is dit in de grootteorde van 1% per uur. Voor andere (fluor)polymeren liggen deze temperaturen iets lager, maar ook zij worden beschouwd als stabiel (Henry et al., 2018). Andere PFAS polymeren, in het bijzonder deze met gefluoreerde zijketen, zijn relatief minder stabiel en geven sneller aanleiding tot vorming van degradatieproducten zoals perfluoralkylzuren (PFAA's), hun precursoren of andere toxicologisch relevante PFAS (Lohmann et al., 2020; REACH, 2021). Meer onderzoek naar dergelijke omzetting is nodig, en andere condities in het milieu (redox, zuurtegraad, temperatuur, vochtigheid en microbiële activiteit) kunnen invloed hebben. (ITRC, 2022)

### 2.1.3 VERSPREIDING EN TOXICITEIT VAN PFAS

Door gebruik in verschillende toepassingen, maar ook door emissies tijdens productieprocessen en calamiteiten, en tijdens verwerking van afvalstromen, kunnen PFAS uitgestoten worden naar de verschillende milieucompartimenten (bodem, lucht, sediment, grond- en oppervlaktewater) en

kunnen mens en natuur blootgesteld worden aan PFAS. Door hun oplosbaarheid, sorptie en resistentie tegen biologische en chemische afbraak, zijn PFAS wijdverspreid aanwezig in het milieu door de verspreiding via de lucht, en het oppervlakte- en grondwater. Globale studies hebben aanwezigheid van PFAS aangetoond in lucht, water, bodem, planten en dierlijk weefsel op zowel stedelijke als landelijke sites verspreid over alle zes de continenten. Veel van de sites, bijvoorbeeld deze op Antarctica, bevinden zich op grote afstand van potentiële PFAS bronnen (Giesy et al., 2001; Meegoda et al., 2020). In deze afgelegen gebieden werd PFAS aangetroffen in regenwater (Cousins et al., 2020) Over het algemeen blijven PFAS lange tijd aanwezig in het milieu. Bepaalde PFAS, in het bijzonder langere keten als PFOS en PFOA, kunnen lange tijd aanwezig blijven in het menselijk lichaam. De accumulatie in het menselijk lichaam, en dus de halfwaardetijd, zijn sterk afhankelijk van de verbinding en koolstofketen lengte van de PFAS in kwestie. De blootstelling van mensen aan PFAS gebeurt o.a. via drinkwater, voedsel, consumentenproducten, bodem en lucht (EEA, 2019).



Figuur 4: Verspreiding PFAS emissies (Magazine of the German Environment Agency 1/2020).

Enkele PFAS zijn onder de REACH wetgeving gekwalificeerd als PBT-verbindingen, namelijk Persistente, Bioaccumulatieve en Toxische verbindingen (Riegel et al., 2020). Verschillende studies hebben aangetoond dat sommige van deze stoffen de werking van verschillende weefsels en organen beïnvloeden (M&G, 2021) in studies bij knaagdieren en enkele humane epidemiologische studies. PFAS werden reeds gelinkt met:

- Verstoring van de hormoonbalans;
- Verstoring van de leverwerking;
- Vermindering van de kans om zwanger te worden;
- Vermindering van het geboortegewicht;
- Verhoogd risico op een hoge bloeddruk tijdens de zwangerschap en pre-eclampsie ('zwangerschapsvergiftiging');

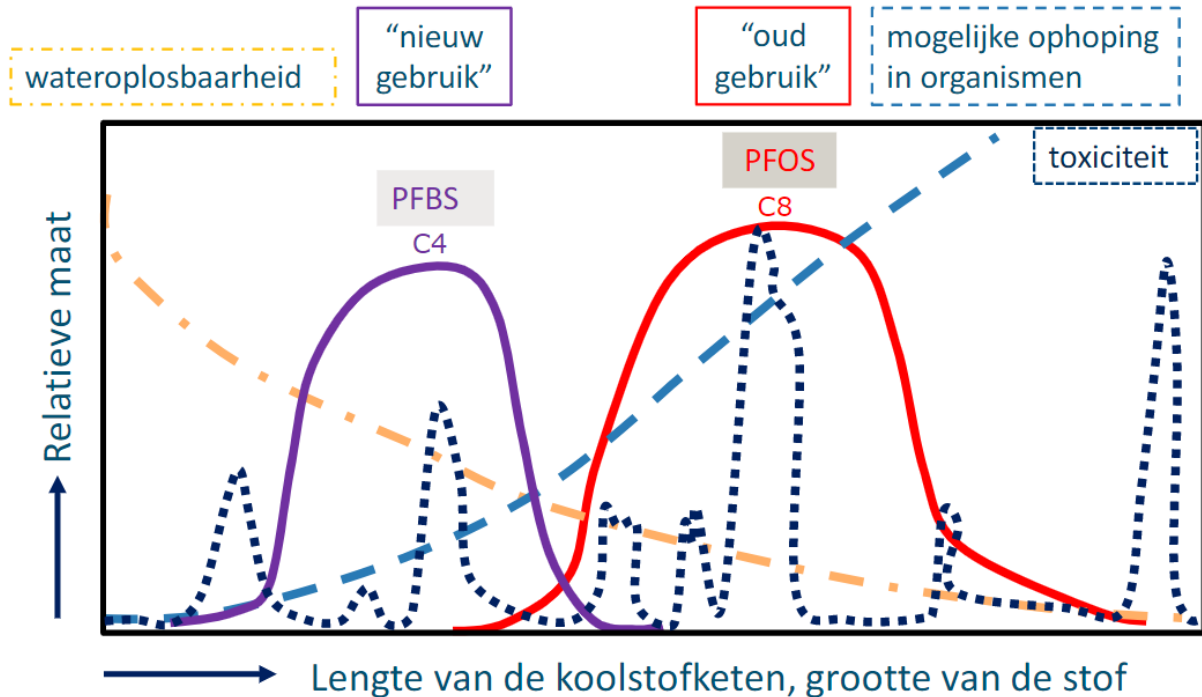


- Invloed op de groei, leercapaciteit en gedrag van kinderen;
- Invloed op het afweersysteem van het lichaam;
- Verhogen van het kankerrisico;
- Verhoogd cholesterolgehalte.

De negatieve effecten van lange keten PFAS (PFCA's en PFSA's) zijn welgekend en onderzocht in verschillende studies. Dit resulteert in een algemene aanname dat hoe langer de koolstofketen is, hoe meer eigenschappen het vertoont van persistentie, bioaccumulativiteit en toxiciteit. Hoe langer de koolstofketen, hoe minder wateroplosbaar (ITRC, 2022). PFCA's en PFSA's zijn amfifiel, wat betekent dat ze interageren met zowel polaire als apolaire omgevingen. Ze interageren met proteïnen. Door de grote verschillen tussen proteïnen, zijn er verschillen in affiniteit met PFCA's en PFSA's. Studies hebben significant verschillende PFCA- en PFSA-concentraties gevonden in verschillende organen, met de meeste accumulatie in bloedplasma, lever en nieren. Sommige studies spreken over 'proteïnofiel' om het onderscheid met lipofiele moleculen te maken (Kelly et al., 2009; Labadie en Chevreuil, 2011). Samen met transportfactoren zoals de mogelijkheid om de barrière tussen bloed en hersenen over te steken en actief cellulair transport, ligt dit aan de basis voor de hoge bioaccumuleerbaarheid. Bij korte ketens geldt het tegenovergestelde; hoe korter de koolstofketen, hoe hoger de polariteit, meer wateroplosbaar en bijgevolg een hogere mobiliteit in water en in het menselijk lichaam. Ook hier spelen interacties met proteïnen in het lichaam een bepalende rol op vlak van mobiliteit en halfwaardetijd in het menselijk lichaam (ITRC, 2022; Ateia et al., 2019; Liu et al., 2022a).

Veel onderzoek en data dat in het verleden is uitgevoerd en verzameld, is gericht op de lange PFAS ketens. Onderstaande Figuur 5 (Universiteit Wageningen) is een conceptuele figuur die de wateroplosbaarheid enerzijds schetst, en de mogelijke ophoping in organismen anderzijds. Volgens de universiteit Wageningen is de verhouding tussen toxiciteit en de lengte van de koolstofketen niet lineair. De figuur is niet gebaseerd op data van achterliggend onderzoek, maar illustreert conceptueel hoe PFAS zich gedragen. Waar oplosbaarheid en accumulatie grofweg wel evenredig zijn met de koolstofketenlengte, is toxiciteit dat niet. Concreet onderzoek zal door de Universiteit Wageningen, in opdracht van de RWS, in 2023 uitgevoerd worden. Een recente studie van Palazzolo et al., 2022 heeft getracht de toxiciteit van twee lange keten (PFOS en PFOA) en twee korte keten PFAS (PFBA en pentafluoropropionische anhydride) te evalueren en te vergelijken. Over het algemeen werd vastgesteld dat PFOS en PFOA meer toxisch zijn dan korte keten PFAS. Echter werden er ook nadelige effecten waargenomen bij blootstelling aan korte keten PFAS (Palazzolo et al., 2022).

Kennis over de toxische eigenschappen van de individuele PFAS verschillend van PFOA en PFOS is duidelijk minder beschikbaar. De korte keten en ultrakorte keten PFAS die in een recent verleden en ook nu nog worden ingezet als alternatief voor lange keten PFAS zijn op dit vlak nog te weinig onderzocht. Onder REACH wordt informatie verzameld (zie 2.4.3.3), maar deze is voor sommige stoffen beperkt, bv. [PFPrA](#). Verdere uitbreiding van de kennis van de toxiciteit en effecten van korte keten PFAS is zeer relevant in het kader van de verschuiving van de productie van de lange koolstofketen PFAS (hoofdzakelijk 8 koolstofatomen, C8, octyl) naar productie van C6 en vervolgens naar korte keten PFAS (4 koolstofatomen, C4, butyl). De verschuiving kwam als reactie op de restricties (zie paragraaf 2.4.3.3) op productie/gebruik van de lange keten PFAS. Recent zijn de toxicologische waarden internationaal sterk aangescherpt, zie paragraaf 2.4.3.5.



**Figuur 5: Conceptuele visualisatie PFAS eigenschappen (Workshop PFAS, ISC Westerschelde - Universiteit Wageningen).**

In Nederland heeft het RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) de [RPF-methode](#) (Relative Potency Factor) ontwikkeld, in verband met toxiciteit van PFAS (Zeilmaker et al., 2018). De wegingsfactoren van deze methode zijn gebaseerd op levertoxiciteit ("semi-chronic") in mannelijke ratten. In meer recent onderzoek door hetzelfde RIVM werden interne RPF's afgeleid gebaseerd op basis van toename in gewicht van de lever bij mannelijke ratten in vergelijking met toegenomen serumconcentraties (Bil et al., 2022). Beide zijn hieronder gegeven in Tabel 1.

Er is echter nog geen wetenschappelijke consensus over de toepasbaarheid van de RPF-methode, bijvoorbeeld met betrekking tot het gedrag van PFAS componenten in het milieu en het menselijk lichaam, en de toxiciteit van een cocktail van verschillende stoffen (Bil et al., 2022; Schmidt, 2022).<sup>1</sup>

Bovendien is de meest kritische gezondheidskundige waarde deze van EFSA, die niet gebaseerd is op levertoxiciteit, maar op immunotoxiciteit. Recenter (Bil et al., 2023) werden interne RPF's afgeleid voor risicobeoordeling gebaseerd op immunotoxiciteit, zie tabel 2. Op het moment van schrijven is verder onderzoek naar voor luchtemissies bruikbare equivalentiefactoren aangewezen, zie 6.3.1.

Tabel 1: RPF en interne RPF wegingsfactoren gebaseerd op gewichtstoename lever (Bron: Zeilmaker et al., 2018; Bil et al., 2022)

Congener	RPF inclusief interpolatie (vetgedrukt) (2018)	Interne RPF (2022)
Perfluorobutanesulfonate (PFBS, C4)	0.001	0.2

<sup>1</sup> zie bijvoorbeeld [Letter to the Editor on Bil et al. 2021 "Risk Assessment of Per - and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach" \(wiley.com\)](#)

Congener	RPF inclusief interpolatie (vetgedrukt) (2018)	Interne RPF (2022)
Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS, C5)	<b>0.001 ≤ RPF ≤ 0.6</b>	
Perfluorohexanesulfonate (PFHxS, C6)	0.6	0.6
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS, C7)	<b>0.6 ≤ RPF ≤ 2</b>	
Perfluorooctanesulfonate (PFOS, C8)	2	3
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS, C10)	<b>2</b>	
Perfluorobutyrate (PFBA, C4)	0.05	2
Perfluoropentanoic acid (PFPeA, C5)	<b>0.01 ≤ RPF ≤ 0.05</b>	
Perfluorohexanoate (PFHxA, C6)	0.01	10
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA, C7)	<b>0.01 ≤ RPF ≤ 1</b>	
Perfluorooctanoic acid (PFOA, C8)	1	1
Perfluorononaic acid (PFNA, C9)	10	5
Perfluorodecanoic acid (PFDA, C10)	<b>4 ≤ RPF ≤ 10</b>	
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA, C11)	4	
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA, C12)	3	10
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA, C13)	<b>0.3 ≤ RPF ≤ 3</b>	
Perfluorotetradecanoic acid (PFTeDA, C14)	0.3	
Perfluorohexadecanoic acid (PFHxDA, C16)	0.02	
Perfluorooctadecanoic acid (PFODA, C18)	0.02	
HFPO-DA		9

Tabel 2: Interne RPF's voor absoluut en relatief gewicht van thymus, absoluut gewicht van milt, globuline concentratie en relatief gewicht van lever (Bron: Bil et al., 2023)

Stof	Abs. thymus	Rel. thymus	Abs. milt	Globuline	Rel. lever
PFBA	–	–	–	–	1
PFHxA	6	7	NR	0.9	6
PFOA	1	1	1	1	1
PFNA	6	7	6	1	4
PFDA	6	NR	12	2	7
PFBS	2	2	0.7	0.1	2
PFHxS	0.5	0.7	0.3	0.03	0.6
PFOS	4	4	2	0.2	5
HFPO-DA	NR	NR	NR	1	25

NR: Geen significante trend in dosis-respons analyse.

De halfwaardetijd in mensen kan sterk verschillen van deze in proefdieren. Zo werd bijvoorbeeld vastgesteld dat PFBA bij mensen, in tegenstelling tot bij ratten, PFBA langzamer via de nieren verwijderd wordt dan het langere PFHxA. Relatief hoge concentraties van korte keten PFAS, in het bijzonder PFBA, in menselijk weefsel zou erop wijzen dat deze stoffen zich verschillend gedragen in mensen dan in proefdieren. (Kjølholt et al., 2015)

Over ultrakorte keten PFAS met minder dan 4 koolstofatomen is de toxicologie minder beschreven, hoewel er wel enige informatie beschikbaar is over de gevareneigenschappen van bepaalde korte



keten PFAA's, bijvoorbeeld trifluorazijnzuur (TFA(A)<sup>2</sup>, CAS nr. 76-05-1)<sup>3</sup>, en het natriumzout van trifluoracetaat (TFA, CAS nr. 2923-18-4)<sup>4</sup>. Ultrakorte keten PFAS zijn PFAS-verbindingen die vluchtig en erg mobiel zijn. Deze verbindingen zullen zich minder opstapelen in het menselijk lichaam maar verspreiden zich makkelijk via water en lucht. Er zijn zowel gasvormige als vloeibare ultrakorte keten PFAS.

Een Zweedse studie (Björnsdotter et al., 2019) trof verschillende vloeibare ultrakorte keten PFAS, zoals trifluorazijnzuur, perfluorpropaanzuur (PFPrA), trifluormethaansulfonzuur (TFMS), perfluorethaansulfonzuur (PFEtS) en perfluorpropaansulfonzuur (PFPrS) aan in verschillende waterbronnen, met concentraties tot 84 µg/l. Alhoewel deze ultrakorte keten PFAS volgens huidige inzichten minder in het lichaam zouden opstapelen, kan hierdoor niet geconcludeerd worden dat deze niet toxisch zijn, zoals hierboven beschreven voor TFA en het natriumzout van trifluoracetaat. Het onderzoek van Neuwald et al. (2022), concludeert dat de ultrakorte keten PFAS TFA het meest dominante was qua concentratie in de geanalyseerde stalen, in verhouding met het totale gehalte aan PFAS. In een aanbeveling voor drinkwaterrichtwaarde voor TFA in Nederland, leiden Janssen en Affourtit (2022) op basis van toename levergewicht een relatieve toxiciteit (RPF) ten opzichte van PFOA af van 0,002, goed voor een indicatieve drinkwaterrichtwaarde van 2200 ng/l.

Een deel van de gefluoreerde organische stoffen worden beschouwd als F-gassen (gefluoreerde broeikasgassen). Gevormde poly- maar vooral perfluor-bijproducten en hun natuurlijke afbraakproducten zijn krachtige broeikasgassen door hun C-F binding, die elektromagnetische straling absorbeert in de 1000-1400 cm<sup>-1</sup> golflengte range (Huber et al., 2009). De 'Global Warming Potential (GWP)' van CF<sub>4</sub> en C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> is, respectievelijk, 5700 en 11900 (TAR, IPCC). Perfluoramines N(C<sub>2</sub>F<sub>5</sub>)<sub>3</sub>, N(C<sub>3</sub>F<sub>7</sub>)<sub>3</sub>, en N(C<sub>4</sub>F<sub>9</sub>)<sub>3</sub> resulteerden in atmosferische verblijftijden van >3000 jaar en GWPs van, respectievelijk, 9900, 8700, 7800. Ook CHF<sub>3</sub> (ook gekend als het koelmiddel HFC-23 en onder de naam fluorofom) is een belangrijk bijproduct om op te volgen aangezien het vaak als bijproduct bij hoge verbanding wordt gevormd, erg resistent en ook een sterk broeikasgas is (GWP 12400) (VITO Health, 2022). Het wordt ook in verband gebracht met atmosferische foto-oxidatieve afbraak van bepaalde zogenaamde 4<sup>e</sup> generatie koelmiddelen (HFO's – hydrofluoroolefins, onverzadigde organische verbindingen bestaande uit waterstof, fluor en koolstof), die ook tot de PFAS behoren. Deze stoffen worden niet enkel als koelmiddelen gebruikt, maar ook bijvoorbeeld als 'blowing agents' in isolatieschuimen en aerosolverstuivers (Campbell et al., 2021, Behringer et al., 2021).

Uit de weinige info die er is, blijkt dat deze F-gassen zelf geen grote bezorgdheid zijn voor menselijke gezondheid of ecotoxiciteit. Atmosferische afbraak van bepaalde F-gassen, in het bijzonder 4<sup>e</sup>

<sup>2</sup> In de literatuur wordt soms de afkorting TFA gebruikt om trifluorazijnzuur aan te geven. Soms echter wordt het gebruikt om trifluoracetaat aan te geven, en wordt voor trifluorazijnzuur de afkorting TFAA gebruikt.

<sup>3</sup> Geharmoniseerde indeling: H314 Huidcorrosie/-irritatie, gevarencategorie 1A, 1B en 1C "Veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsels."; H332 Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 4 "Schadelijk bij inademing."; H412 Chronisch gevaar voor het aquatisch milieu, gevarencategorie 3 "Schadelijk voor in het water levende organismen, met langdurige gevolgen.". Zie <https://echa.europa.eu/nl/substance-information/-/substanceinfo/100.000.846>

<sup>4</sup> Niet-geharmoniseerde eigenschappen aangegeven door producenten/verdelers: H300 Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 2 "dodelijk bij inslikken"; H400 Acuut gevaar voor het aquatisch milieu, gevarencategorie 1 "Zeer giftig voor in het water levende organismen."; H410 Chronisch gevaar voor het aquatisch milieu, gevarencategorie 1 "Zeer giftig voor in het water levende organismen, met langdurige gevolgen."; H315 Huidcorrosie/-irritatie, gevarencategorie 2 "Veroorzaakt huidirritatie."; H319 Ernstig oogletsel/oogirritatie, gevarencategorie 2A "Veroorzaakt ernstige oogirritatie."; H335 Specifieke doelorgaan toxiciteit bij eenmalige blootstelling, gevarencategorie 3, irritatie van de luchtwegen "Kan irritatie van de luchtwegen veroorzaken.". Zie <https://echa.europa.eu/nl/substance-information/-/substanceinfo/100.018.982>

generatie koelmiddelen, kan aanleiding geven tot vorming van afbraakproducten met gevareneigenschappen zoals TFA, maar er lijkt geen eensgezindheid in de literatuur of dit al dan niet in relevante ecotoxicologische of humaan toxicologische concentraties is. Andere bronnen zoals verbranding van fluorhoudende stoffen kunnen belangrijkere bronnen vormen (Neale et al., 2021, David et al., 2021, Holland et al., 2021, Behringer et al., 2021). In Duitsland werd in neerslag over de periode 2018-2019 gemiddeld 0,429 µg/l TFA (variërend tussen 0,028 µg/ en 4,780 µg/l) gevonden. Tegelijk stelt men vast dat de concentraties de voorbije jaren sterk zijn toegenomen, en verwacht men verdere sterke toename de komende decennia (Behringer et al., 2021, Holland et al., 2021). De voornaamste effecten van F-gassen blijken echter het broeikasgaseffect en het ozonafbrekend effect te zijn. Hoewel er specifieke regelgeving rond uitstoot van dergelijke F-gassen bestaat (EU-verordening 517/204 betreffende gefluoreerde broeikasgassen), is het relevant om in deze BBT-studie als cross-media effect aan te geven wanneer deze onbedoeld gevormd worden, bijvoorbeeld bij destructie van grotere PFAS moleculen. Verder vormen ze echter niet de focus van deze studie.

## 2.2 RELEVANTE TOEPASSINGEN VAN PFAS

Belangrijke PFAS-bronnen naar het milieu zijn productie van PFAS, toepassing in de industrie, gebruik van blusschuim, consumentenproducten en afvalverwerking (waaronder stortplaatsen, afvalverbrandingsinstallaties en waterzuiveringsinstallaties). Figuur 4 toont typische verspreidingsroutes van PFAS aan. De typische oorsprong van PFAS emissies naar lucht uit ingedeelde inrichtingen/activiteiten wordt verder in detail besproken in hoofdstuk 3.

De productie en toepassing in productieprocessen van PFAS vindt plaats in verschillende industriële sectoren. Daarnaast worden de eindproducten op diverse plaatsen verder gebruikt, zowel in de industrie als in huishoudens, waardoor ook afval en afvalwater PFAS kunnen bevatten. In het onderzoek van Glüge et al. 2020, werden meer dan 200 gebruiken in 64 gebruikscategorieën geïdentificeerd voor meer dan 1400 individuele PFAS. De gebruikscategorieën worden in deze studie onderverdeeld in twee groepen, namelijk de 'industrie sectoren' en de 'andere gebruikscategorieën'. In de studie wordt bekeken welke de belangrijkste gebruikscategorieën zijn wat betreft gebruikte hoeveelheden (Figuur 6).

Industry branches	
Aerospace (7)	Mining (3)
Biotechnology (2)	Nuclear industry
Building and construction (5)	Oil & gas industry (7)
Chemical industry (8)	Pharmaceutical industry
Electroless plating	Photographic industry (2)
Electroplating (2)	Production of plastic and rubber (7)
Electronic industry (5)	Semiconductor industry (12)
Energy sector (10)	Textile production (2)
Food production industry	Watchmaking industry
Machinery and equipment	Wood industry (3)
Manufacture of metal products (6)	
Other use categories	
Aerosol propellants	Metallic and ceramic surfaces
Air conditioning	Music instruments (3)
Antifoaming agent	Optical devices (3)
Ammunition	Paper and packaging (2)
Apparel	Particle physics
Automotive (12)	Personal care products
Cleaning compositions (6)	Pesticides (2)
Coatings, paints and varnishes (3)	Pharmaceuticals (2)
Conservation of books and manuscripts	Pipes, pumps, fittings and liners
Cook- and bakeware	Plastic, rubber and resins (4)
Dispersions	Printing (4)
Electronic devices (7)	Refrigerant systems
Fingerprint development	Sealants and adhesives (2)
Fire-fighting foam (5)	Soldering (2)
Flame retardants	Soil remediation
Floor covering including carpets and floor polish (4)	Sport article (7)
Glass (3)	Stone, concrete and tile
Household applications	Textile and upholstery (2)
Laboratory supplies, equipment and instrumentation (4)	Tracing and tagging (5)
Leather (4)	Water and effluent treatment
Lubricants and greases (2)	Wire and cable insulation, gaskets and hoses
Medical utensils (14)	

Figuur 6: Industriële sectoren en andere gebruikscategorieën waar PFAS gebruikt worden of werden. Het cijfer staat voor het aantal subcategorieën (Glüge et al., 2020).

In totaal werden respectievelijk 87 gebruiken, binnen 21 industriële sectoren, en 123 gebruiken binnen de 43 andere gebruikscategorieën geïdentificeerd. Onder de gebruikscategorieën hebben medische gebruiksvorwerpen, de halfgeleiderindustrie en de auto-industrie het grootste aantal subcategorieën. In totaal is het gebruik voor meer dan 1400 individuele PFAS gevonden.

Glüge et al., 2020 identificeert onderstaande sectoren als belangrijkste PFAS producenten/gebruikers, gebaseerd op de drie individuele PFAS groepen:

- PFAA's en precursoren

- Chemische industrie (meer specifiek de hulpstoffen voor de polymerisatie van fluorpolymeren)
- Oppervlaktebehandeling van metalen en kunststoffen (chromeren) (Fotografische industrie valt hier ook onder)
- Brandblusschuim
- Oppervlaktebehandeling van textiel, kleding, leder, tapijt en papier
- Fluorkoolwaterstoffen
  - Elektronische industrie
  - Machines en apparatuur<sup>5</sup>
- Fluorpolymeren
  - Productie van plastic en rubber<sup>6</sup>
  - Coatings en gespecialiseerde chemicaliën

Aanvullend op het onderzoek van Glüge et al. (2020) worden alsook volgende industrieën of sectoren opgenomen in de BBT-studie:

- Fotografische industrie<sup>7</sup>
- Cosmetica

Het onderzoek van Glüge gaat niet over afvalverwerking. Deze sector is echter ook een belangrijke bron van PFAS uitstoot (Pancras et al., 2021; Hofman et al., 2022). Bijgevolg wordt dit wel behandeld in deze BBT-studie, met name volgende bronnen:

- Tankreiniging
- (Riool)waterzuiveringsinstallaties
- Afvalverbranding
- Stortplaatsen

## 2.3 ALTERNATIEVEN

Het gebruik van PFAS zit vervat in een heel breed gamma aan toepassingen. Dat maakt de zoektocht naar alternatieven des te uitdagender, alsook zeer uitgebreid en belangrijk voor alle gebruikscategorieën.

Zoals andere bronnen, concludeert het onderzoek van Glüge et al. 2020, dat de focus vooral moet gaan naar de vervanging van PFAS en hun precursoren, voornamelijk in volgend gebruik: hulpstoffen voor de polymerisatie van fluorpolymeren, in de oppervlaktebescherming van textiel, kleding, leer, tapijten en papier, en in brandblusschuim. Uit het Glüge onderzoek blijken PFAS een breed gebruik te kennen in de elektronische sector, alsook in machines en apparatuur. Verder is een alternatief nodig in de productie van plastic en rubber, in coatings, verf en vernissen. Voor toepassingen waarin PFAS

---

<sup>5</sup> Wordt in de BBT-studie niet apart behandeld, maar zit vervat in beschrijving sectoren galvanisatie, elektronische industrie en coatings en gespecialiseerde chemicaliën.

<sup>6</sup> Wordt in de BBT-studie niet apart behandeld, maar zit vervat in beschrijving sectoren chemische industrie (productie van PFAS) en coatings en gespecialiseerde chemicaliën

<sup>7</sup> Valt in deze BBT-studie onder oppervlaktebehandeling metalen/kunststoffen/papier

essentieel zijn, moet bekeken worden of een uitzondering mogelijk en te verantwoorden is. In paragraaf 3.2 wordt kort aangehaald voor welke sectoren een fluorvrij alternatief mogelijk is volgens de beschikbare informatie.

Onder andere op de website van PFAS Vlaanderen, wordt volgende systeemaanpak voorgesteld voor PFAS:

- 1) Om de verspreiding en blootstelling te beperken, moet er gestreefd worden naar een systeemaanpak in plaats van te focussen op alle individuele componenten, en een aanpak aan de bron: beperken van emissies, uitfaseren en saneren;
- 2) Een proactieve aanpak rond substitutie dringt zich op. Voor tal van toepassingen zijn alternatieve, vaak al bestaande oplossingen mogelijk;
- 3) Een verdere evolutie naar steeds strengere normen en meer en kwalitatievere metingen is noodzakelijk.

In hoofdstuk 4 wordt hier in detail verder op ingegaan.

## 2.4 MILIEUJURIDISCHE SITUERING BIJ PFAS VERWERKENDE SECTOREN

In onderstaande paragrafen wordt het milieujuridisch kader van deze BBT-studie geschetst. De aandacht gaat hierbij voornamelijk uit naar de regelgeving in Vlaanderen. Daarnaast komt ook de Europese regelgeving aan bod.

### 2.4.1 MILIEUVOORWAARDEN

VLAREM II (Besluit van de Vlaamse regering houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne) regelt de indeling en milieuvoorwaarden voor de hinderlijke inrichtingen in het Vlaamse Gewest. VLAREM III (Besluit van de Vlaamse regering houdende bijkomende algemene en sectorale bepalingen voor GPBV-installaties) geeft bijkomende milieuvoorwaarden voor GPBV-installaties.

#### 2.4.1.1 VLAREM II - INDELINGSLIJST

In VLAREM II wordt onderscheid gemaakt tussen drie klassen van hinderlijke inrichtingen. De inrichtingen of activiteiten van de eerste klasse brengen de grootste risico's of hinder mee. De inrichtingen of activiteiten van de derde klasse brengen de minste risico's of hinder mee.

Tot welke klasse een inrichting hoort, hangt af van de voorkomende rubrieken, vermeld in bijlage 1 van VLAREM II 'Indelingslijst'.

Activiteiten gelinkt aan PFAS productie, verwerking of PFAS emissies naar lucht vallen niet onder één bepaalde rubriek van de indelingslijst of één bepaalde klasse. De BBT-studie richt zich wel op die activiteiten of inrichtingen die ingedeeld zijn volgens één of meerdere rubrieken van de [indelingslijst](#), m.a.w. op ingedeelde inrichtingen of activiteiten.

#### 2.4.1.2 VLAREM II - MILIEUVOORWAARDEN

VLAREM II beschrijft de milieuvoorwaarden waaraan ingedeelde inrichtingen moeten voldoen. Er worden drie soorten milieuvoorwaarden onderscheiden: algemene, sectorale en bijzondere. De algemene milieuvoorwaarden zijn van toepassing op alle hinderlijke inrichtingen. De sectorale milieuvoorwaarden zijn specifiek van toepassing op welbepaalde hinderlijke inrichtingen, en primeren

op de algemene voorwaarden. Daarnaast voorziet VLAREM II ook de mogelijkheid om bijzondere milieuvoorwaarden op te leggen in de vergunning.

Relevante algemene voorwaarden beschreven in Deel 4 van VLAREM II, meer bepaald onder 'Beheersing van luchtverontreiniging' (Hoofdstuk 4.4), worden hieronder weergegeven.

### ALGEMENE MILIEUVOORWAARDEN

Van specifiek belang voor onderhavige studie is [artikel 4.4.2.1](#) betreffende de toepassing van de Beste Beschikbare Technieken:

*“De installaties worden ontworpen, gebouwd en geëxploiteerd volgens een code van goede praktijk zodat de luchtverontreiniging die van die installaties afkomstig is, maximaal wordt beperkt en indien mogelijk zelfs wordt voorkomen. De installaties worden daarvoor uitgerust en geëxploiteerd met middelen ter beperking van de emissies die met de beste beschikbare technieken overeenkomen. De emissiebeperkende maatregelen zijn gericht op zowel een vermindering van de massaconcentratie als een vermindering van de massastromen van de installatie uitgaande luchtverontreiniging. Daarbij wordt in het bijzonder rekening gehouden met:*

- a) maatregelen ter vermindering van de hoeveelheid afgas, zoals inkapselen van installatiedelen en doelgericht opvangen van stromen afgas;*
- b) maatregelen ter optimalisering van de gebruikte stoffen en energie;*
- c) maatregelen ter optimalisering van de handelingen voor opstarten en stilleggen en overige bijzondere bedrijfsomstandigheden.*

*Voor bestaande installaties wordt bij de toepassing van de eis met betrekking tot het gebruik van de beste beschikbare technieken, vermeld in het eerste lid, rekening gehouden met:*

- 1° de technische kenmerken van de inrichting;*
- 2° de gebruiksgraad en de residuele levensduur van de inrichting;*
- 3° de aard en het volume van de verontreinigende emissies van de inrichting;*
- 4° de wenselijkheid om geen overmatige hoge kosten te veroorzaken voor de betrokken inrichting, met name rekening houdend met de economische situatie van de ondernemingen die tot de betrokken categorie behoren.”*

Voor de evacuatie van de afgassen vermeldt art. 4.4.2.2: *“Met behoud van de toepassing van artikel 4.4.2.1 worden dampen, nevels en afgassen op de plaats waar ze ontstaan opgevangen en, na de eventueel noodzakelijke zuivering ter naleving van de emissie- en immissievoorschriften die van toepassing zijn, geëmitteerd.”* Dit kan een zuivering inhouden. Bij lozing via een schoorsteen moet deze aan bepaalde dimensionele voorwaarden voldoen, zoals een minimumhoogte. Bij bestaande inrichtingen is de hoogte van de schouw typisch een vast gegeven, en kan op basis van deze hoogte een inschatting gemaakt worden van de verspreiding van pollutanten zoals PFAS, zie ook bijlage A bij deze BBT-studie en **Error! Reference source not found.**

Artikel 4.4.3.1 verwijst naar de in bijlage 4.4.2 bij VLAREM II opgenomen emissiegrenswaarden die van toepassing zijn op de geloosde afgassen (geleide emissies) vanaf een bepaalde massastroom (g of kg/uur). Hierbij moet niet enkel rekening gehouden worden met de emissie per emissiepunt, maar met de totale emissie voor de ganse milieutechnische eenheid (alle emissies van het totale bedrijf). Voor een overzicht van de (algemene) emissiegrenswaarden kan verwezen worden naar bijlage 4.4.2 van VLAREM II.



In bijlage 2.5.1 (Milieukwaliteitsnormen voor lucht) en bijlage 4.4.2 (Algemene emissiegrenswaarden voor lucht) zijn er echter geen PFAS polluenten opgenomen.

Wel vermeldt artikel 4.4.3.1 volgende: *“Stoffen die niet in de lijst van organische stoffen voorkomen, worden gerekend tot de groep waarvan de stoffen wat betreft hun invloed op het milieu die stoffen het meest nabijkomen. Daarbij wordt in het bijzonder rekening gehouden met de afbreekbaarheid en bio-accumulatie, toxiciteit, invloeden van afbraakprocessen met hun betreffende reactieproducten en geurintensiteit. Dat kan geregeld worden in de omgevingsvergunning voor de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit.”*<sup>8</sup>

Volgens artikel 4.4.3.2 kunnen in de omgevingsvergunning voor de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit:

1° *in functie van de milieukwaliteitsnormen voor de lucht strengere emissiegrenswaarden worden opgelegd;*

2° *bij emissies waar stoom het dragergas en hoofdbestanddeel is, in afwijking van artikel 4.4.3.3, §1, de emissiegrenswaarden met inbegrip van het watergehalte worden toegepast. Emissies met natte pluimen als gevolg van natte gaswassers zijn uitgesloten van deze bepaling; de vergunningverlenende overheid doet daarover uitspraak in de omgevingsvergunning voor de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit;*

3° *emissiegrenswaarden voor bepaalde stoffen worden opgelegd, uitgedrukt in massastromen;*

4° *emissiebeperkingen worden opgelegd voor al dan niet gespecificeerde stoffen, uitgedrukt in maximale stofneerslaghoeveelheden op de bodem in de omgeving van de inrichting of in milieukwaliteitsnormen in de omgevingslucht rondom de inrichting.*

De luchthoeveelheden die naar een onderdeel van een installatie worden toegevoerd om het afvalgas te verdunnen of af te koelen, blijven bij de bepaling van de emissiewaarden buiten beschouwing. Tenzij anders vermeld in de omgevingsvergunning, geldt voor de geloosde afgassen een referentiezuurstofgehalte van 18% als naverbranding gebruikt wordt als afgasreinigingstechniek. (artikel 4.4.3.3)

## SECTORALE LOZINGSVOORWAARDEN VOOR LUCHTEMISSIES

Er bestaan momenteel geen sectorale emissiegrenswaarden met betrekking tot PFAS luchtemissies in VLAREM II.

Wel zijn er bepalingen rond gefluoreerde broeikasgassen/fluorhoudende bij behandeling van afvalstoffen (Hoofdstuk 5.2), garages, parkeerplaatsen en herstellingswerkplaatsen voor

---

<sup>8</sup> Ter indicatie, de groep met de strengste algemene voorwaarden hebben een emissiegrenswaarde van 0,1 mg/Nm<sup>3</sup> bij een massastroom van 0,5 g/u of meer. Gezien de zeer lage tijdelijke toetsingswaarde in omgevingslucht voor de 4 EFSA PFAS componenten (zie 2.4.2.1), en de zeer zorgwekkende eigenschappen van een ruimere groep PFAS componenten, kan deze emissiegrenswaarde momenteel als een mogelijke referentie voor minimumvoorwaarde gezien worden voor PFAS die tot de zeer zorgwekkende stoffen behoren. Het is door gebrek aan kennis over emissieniveaus, immissieniveaus, en toxiciteit van vele PFAS componenten echter niet zeker of dit voldoende bescherming biedt.

motorvoertuigen (5.15) en behandelen van gassen (5.16). Mogelijks kan hier een overlap zijn met PFAS.

### BIJZONDERE MILIEUVOORWAARDEN

Overeenkomstig hoofdstuk 3.3 van VLAREM II, kan de bevoegde overheid bijzondere milieuvoorwaarden opleggen. Bijzondere milieuvoorwaarden vullen de algemene en/of sectorale milieuvoorwaarden aan, of stellen bijkomende eisen. Ze worden opgelegd met het oog op de bescherming van de mens en het leefmilieu, en met het oog op het bereiken van de milieukwaliteitsnormen.

Er is voor deze BBT-studie geen systematische screening gedaan van bijzondere milieuvoorwaarden van inrichtingen.

#### 2.4.1.3 VLAREM III

VLAREM III geeft bijkomende milieuvoorwaarden voor GPBV-installaties. Het gaat hier om activiteiten die vallen onder het toepassingsgebied van Hoofdstuk II van de Richtlijn Industriële Emissies (RIE, 2010/75/EU, zie paragraaf 2.4.4). Deze zogenaamde GPBV activiteiten zijn in de indelingslijst (Bijlage I van VLAREM II) aangeduid met een in de kolom X in de kolom 'Opmerkingen'.

VLAREM III maakt geen vermelding naar PFAS parameters inzake luchtmissies.

### 2.4.2 OVERIGE VLAAMSE REGELGEVING

De onderstaande paragraaf geeft een oplist (niet-limitatieve lijst) van overige Vlaamse milieuregelgeving die relevant is voor de PFAS-geassocieerde activiteiten:

#### 2.4.2.1 TIJDELIJK HANDELINGSKADER OMGEVINGSLUCHT

In deze paragraaf wordt het tijdelijk handelingskader voor PFAS in omgevingslucht, voorgesteld door de Vlaamse PFAS opdrachthouder in het "Tweede rapport – Van kennis naar actie", kort overgenomen. Het kadert in een tijdelijk handelingskader voor verschillende milieucapartimenten, en gaat om een optimalisatie, uitbreiding en afstemming van bestaande en nieuwe regelgeving en kaders. Het is gericht op het maximaal beperken en voorkomen van PFAS-blootstelling, waarbij het essentieel is om alle bronnen en blootstellingsroutes te evalueren (Vrancken, 2022).

#### HANDELINGSKADER VOOR OMGEVINGSLUCHT

Het rapport van Peters et al. (2022) heeft het tijdelijke toetsingskader bepaald:

*"In de EFSA-opinie van 2020 wordt een maximale opname voor de som van 4 types PFAS geadviseerd: PFNA+PFOA+PFHxS+PFOS. Deze advieswaarde bedraagt 4,4 ng per kilogram lichaamsgewicht per week. Als we ervan uitgaan dat alle PFAS die we inademen in ons lichaam terecht komen dan kan op basis van het gemiddelde lichaamsgewicht en het gemiddelde volume dat we per dag inademen, berekend worden hoe hoog de concentratie van deze PFAS in de lucht mag zijn.*

*Deze berekening houdt evenwel nog geen rekening met andere bronnen van blootstelling (voeding, water, bodem,...). Vandaar dat de aldus bekomen concentratie nog moet vermenigvuldigd worden met een percentage dat aangeeft hoeveel percent van de blootstelling te wijten is aan luchtvervuiling, de zogenaamde allocatiefactor.*



*Op basis van deze methodiek werd voor een gemiddeld lichaamsgewicht van 70 kg en een gemiddelde ademhaling van 20 m<sup>3</sup>/dag een tijdelijk toetsingskader voor PFAS (EFSA-4: PFNA+PFOA+PFHxS+PFOS) in fijn stof berekend van 0,4 à 2,2 ng/m<sup>3</sup> (jaargemiddelde concentratie) en dit voor een allocatie van respectievelijk 20 en 100%.*

*Aangezien de EFSA TWI-waarde van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week bedoeld is voor chronische blootstelling dient deze luchtwaaarde ook op die manier gehanteerd te worden. De impact van dag-tot-dag variaties aan PFAS-concentraties op gezondheid zijn momenteel zeer moeilijk te interpreteren, en wellicht ongeschikt aan de toetsing van de chronische blootstelling.*

*Deze tijdelijk toetsingsnormen worden gebruikt in de vergunningsvoorwaarden van de aannemers die actief zijn bij de Oosterweelwerken. De advieswaarde van 0,4 ng/m<sup>3</sup> wordt gebruikt ter hoogte van bewoning en ter bescherming van de buurtbewoners. De 2,2 ng/m<sup>3</sup> in de onmiddellijke nabijheid van de werf ter bescherming van de werknemers. Bij overschrijding van deze waarden hanteert het AZG de aanbeveling om risicogericht no regret-maatregelen in te zetten rekening houdend met kwetsbare bevolkingsgroepen. Deze dienen opgevolgd en gemonitord te worden, om zo op termijn de risicoanalyses te verfijnen en te komen tot locatiespecifieke adviezen. Op zijn minst wordt een actieve bronaanpak aanbevolen.”*

Deze tijdelijke toetsingswaarde wordt momenteel toegepast voor omgevingslucht. Hoewel metingen zich oorspronkelijk voornamelijk op fijn stof richtten, verduidelijkt VMM dat het een toetsingswaarde is die geldt voor omgevingslucht in zijn geheel, dus zowel de gasfase als zwevend stof en vloeistofdruppels, zie ook de informatie uit het rapport van Peters et al. (2022) onder 3.1.1.

Meer informatie hierover is terug te vinden op:

<https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/tweede-rapport-opdrachthouder>

### 2.4.3 EUROPESE WETGEVING

Gebruik van PFAS in Vlaanderen wordt gereguleerd door de EU-wetgeving. In volgende paragrafen worden de relevante wetteksten beschreven.

#### 2.4.3.1 VERDRAG VAN STOCKHOLM INZAKE PERSISTENTE ORGANISCHE VERONTREINIGENDE STOFFEN

Het Verdrag van Stockholm inzake persistente organische verontreinigende stoffen is een internationaal milieuverdrag dat, tijdens de conferentie van de Verenigde Naties over persistente organische verontreinigende stoffen in Stockholm, op 22 mei 2001 werd aangenomen. Bepaalde PFAS-stoffen zijn opgenomen in het mondiale POP's-Verdrag (Verdrag van Stockholm i.v.m. persistente organische verontreinigende stoffen). Voor PFOS (2009) en PFOA (2019) is dit het geval. Voor de stoffen PFHxS en C9-14 PFCA's wordt de opname in dit Verdrag voorbereid. Het Verdrag liet in 2009 nog toe dat er voor PFOS nog specifieke belangrijke toepassingen mogelijk waren. Ondertussen is gebruik van PFOS nog slechts erg uitzonderlijk toegelaten.

Meer informatie hierover is terug te vinden op:

<http://www.pops.int/>

### 2.4.3.2 VERORDENING PERSISTENTE ORGANISCHE VERONTREINIGENDE STOFFEN (2019/1021)

Het verdrag van Stockholm is in het Europese Recht geïmplementeerd in de [POP-verordening](#) (laatste versie 2019/1021). Deze verordening regelt het verbod op de vervaardiging, het in de handel brengen en het gebruik van een aantal persistente organische pollutanten, waaronder PFOS en derivaten, en PFOA, zouten ervan en aanverwante verbindingen. Verder zijn er bepalingen voor afvalbeheer voor afvalstromen die bepaalde gehalten van POP's overschrijden. Voor PFOS en derivaten is er een concentratiegrenswaarde van 50 mg/kg, waarboven vernietiging of onomkeerbare omzetting van de POP's moet worden verzekerd, zodat het resterende afval en de vrijkomende stoffen geen kenmerken van POP's vertonen. Enkel de handelingen vernoemd in bijlage V van de verordening (chemische/fysische behandeling D9, verbranding D10, brandstof voor opwekken van energie R1 en bepaalde recycling/terugwinning van metalen en metaalverbindingen R4) zijn toegelaten, en enkel met de vernoemde beperkingen. Sinds 10 juni 2023 is dit ook het geval voor volgende PFAS componenten, met respectievelijke concentratiegrenswaarden: PFOA en zouten daarvan (1 mg/kg), de som van de aan PFOA verwante verbindingen (40 mg/kg), PFHxS en zouten daarvan (1 mg/kg), en PFHxS en zouten daarvan (40 mg/kg). Ook permanente opslag is toegestaan voor afvalstoffen met bepaalde POP's, waaronder bovenstaande PFAS componenten, onder strikte voorwaarden m.b.t. het type opslagplaats en indien is aangetoond dat dit vanuit milieuoogpunt de voorkeur verdient. Verder geldt een algemene verplichting voor producenten en houders van afval om alle redelijke inspanningen te verrichten om, waar mogelijk, verontreiniging van dit afval met in bijlage IV opgenomen stoffen (dus o.a. deze PFAS componenten) te voorkomen (ECHA, 2022b). Reactivatie of regeneratie van actief kool is een andere handeling (nl. R7: terugwinning van bestanddelen die worden gebruikt om vervuiling tegen te gaan). Het is bijgevolg niet toegelaten afvalstoffen die de drempels overschrijden (en dus POP-houdend zijn) te verwerken via deze weg.

De [Technische Richtlijnen](#) in het kader van de Basel Conventie rond verwerking van POP-houdende afvalstoffen, vermelden onder §161, en in §257 specifiek voor verbranding van gevaarlijke afvalstoffen, "praktische benchmarks" voor minimum destructie-efficiëntie (99,999%), waar van toepassing aangevuld met destructie- en verwijderingsefficiëntie (Destruction and Removal Efficiency - DRE, 99,9999%) om de performantie van een verwijderingstechnologie te beoordelen. Onder §257 wordt een DE groter dan 99,999% en DRE groter dan 99,9999% vermeld voor PFOS. Deze benchmarks zijn niet juridisch bindend.

Meer informatie hierover is terug te vinden op:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32022R2400>

### 2.4.3.3 REACH VERORDENING

REACH staat voor: Registratie, Evaluatie, Autorisatie en restrictie van Chemische stoffen. De verordening is van toepassing op alle chemische stoffen, zowel voor industriële processen als voor gebruik in ons dagelijks leven. Om aan de verordening te voldoen, moeten de risico's van geproduceerde of verhandelde stoffen (in de EU) geïnventariseerd en gecontroleerd worden.

#### REGISTRATIES

Bedrijven zijn verantwoordelijk voor het verzamelen van informatie over de eigenschappen en de gebruiksvormen van de stoffen die zij vervaardigen of importeren in hoeveelheden van meer dan één ton per jaar. Ze moeten ook de gevaren en potentiële risico's van de stof beoordelen. Deze informatie wordt aan ECHA bekendgemaakt door middel van een registratiedossier met daarin de gevareninformatie en, indien relevant, een beoordeling van de risico's die het gebruik van de stof kan

opleveren en de wijze waarop deze risico's moeten worden beheerst (ECHA, 2022a,b). Polymeren, waaronder ook polymeren die onder de PFAS definitie vallen, worden uitgesloten van registratie.

### AUTORISATIE

De autorisatieprocedure is bedoeld om er zeker van te zijn dat zeer zorgwekkende stoffen (ZZS/SVHC – Substances of Very High Concern) geleidelijk worden vervangen door minder gevaarlijke stoffen of technologieën als er technisch en economisch haalbare alternatieven beschikbaar komen. De identificatie van stoffen voor de Kandidaatslijst van zeer zorgwekkende stoffen voor autorisatie ([REACH Bijlage XIV](#)) volgt uit criteria die zijn vastgelegd in artikel 57 van de [REACH Verordening \(EG\) 1907/2006](#).

Stoffen met één of meer van de volgende eigenschappen voldoen aan deze criteria:

- kankerverwekkend (C)
- mutageen (M)
- giftig voor de voortplanting (R)
- persistent, bioaccumulerend en giftig (PBT)
- zeer persistent en zeer bioaccumulerend (vPvB)
- soortgelijke zorg (zoals hormoonverstorende stoffen)

### RESTRICTIES

Geperfluoreerde carbonzuren (C9-C14 PFCA's), zouten en precursoren zijn verboden in de EU vanaf februari 2023, volgende op een beslissing genomen door de Europese Commissie op basis van een voorstel door de Duitse en Zweedse overheden.

Noorwegen heeft een restrictie voorgesteld van perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS), zouten en gerelateerde stoffen. ECHA's wetenschappelijke comité heeft haar opinie verkondigd ondersteunend aan de restrictie van juni 2020 en het voorstel is momenteel bij de Europese Commissie, samen met de andere Europese landen, om hieromtrent een beslissing te nemen.

Duitsland heeft een verdere restrictie voorgesteld van undecafluorhexaanzuur (PFHxA), zouten en gerelateerde stoffen. Dit voorstel werd alsook ondersteund door ECHA's wetenschappelijke comité in december 2021. De Europese Commissie zal op korte termijn, samen met de EU landen, een beslissing nemen omtrent de restrictie.

Nederland, Duitsland, Noorwegen, Denemarken en Zweden hebben op 7 februari 2023 een restrictievoorstel ingediend dat een breed scala aan PFAS-gebruik afdekt. Het voorstel volgt de ruime definitie van OESO, met uitzondering van enkele volledig degradeerbare PFAS-subgroepen. Het voorstel verbiedt de aanwezigheid van individuele niet-polymeer PFAS-componenten van 25 deeltjes per miljard (ppb = µg/kg of ng/kg) of meer, en van 250 deeltjes per miljard of meer voor de som van niet-polymeer PFAS-componenten. Voor PFAS polymeren is de drempel 50 deeltjes per miljoen (ppm = mg/kg of 1000 µg/kg). Bij fluorniveaus boven 50 mg per kg, kunnen regulatoren een bewijs vragen of de gemeten fluorconcentraties PFAS of geen PFAS zijn (ECHA, 2023). Het voorstel voorziet een algemene transitieperiode van 18 maanden na finale goedkeuring voor veel voorkomende consumententoepassingen van polymeer PFAS, waaronder coatings voor antikleefpannen en bakpapier, skiwax en cosmetica. PFAS in biocides, gewasbeschermingsmiddelen en medicijnen zouden in afwijking voor onbepaalde tijd vrijgesteld zijn van het verbod, omdat zij onder andere EU wetgeving gereguleerd worden. Producenten en invoerders rapporteren aan ECHA over het gebruik van dergelijke actieve stoffen in afwijking, inclusief hun identiteit en hoeveelheid.

Het restrictievoorstel bekijkt twee opties. In één van de twee opties komt na de transitieperiode van 18 maanden een uitfaseringsperiode van 5 jaar voor een aantal gebruiken:

- Niet-polymere PFAS zouden nog gebruikt kunnen worden voor productie van polymeren, behalve PTFE, PVDF en FKM. Ze zouden ook aangebracht kunnen worden op textiel gebruikt voor industriële filtratie of scheiding, als koudemiddelen in klimatisatie voor voertuigen met verbrandingsmotor, in koeling bij transport en lage temperatuur diepvriezers (lager dan -50°C) en als isolatiegassen in hoogspanningsschakelaars.
- Polymere PFAS zouden nog gebruikt kunnen worden in industriële en professionele voedselproductie, en om protonuitwisselingsmembranen voor waterstofbrandstofcellen en elektrolyzers te vervaardigen.

Voor een aantal gebruiken wordt een langere uitfaseringsperiode van 12 jaar voorgesteld (na de transitieperiode van 18 maanden):

- Onder andere textiel gebruikt in persoonlijke beschermingsmiddelen voor brandbestrijding of waar werknemers werken met gevaarlijke stoffen of schadelijke biologische agentia, alsook herimpregnatie ervan, koudemiddelen in labotoestellen en gekoelde centrifuges, het hervullen van bestaande klimatisatietoestellen, bepaalde industriële reinigingsmiddelen, brandonderdrukkende agentia, diagnostisch laboratoriumonderzoek, additieven tegen corrosie en erosie voor hydraulische vloeistoffen in lucht- en ruimtevaart, hoogwaardige smeermiddelen indien nodig voor veiligheid, en calibratie van meettoestellen (onbepaalde duur).
- Polymere PFAS zouden nog gebruikt kunnen worden voor medische implantaten, katheters, dosis-inhalatoren en in petroleum en mijnsectoren.

Voor een aantal andere gebruiken is de bewijslast zwak dat door gebrek aan alternatieven een afwijking van de restrictie nodig is. Hier wordt een heroverweging voorgesteld na consultatie van het restrictiedossier. Het gaat dan over

- hardverchromen, blaasmiddelen voor spuitisolatie in gebouwen, antikleefcoatings in industrieel bakgerei (5 jaar afwijking),
- geluiddempend textiel in auto's, gebruik in 3D printers, drijfgassen voor bepaalde aerosolen, bescherming van culturele papiergebaseerde materialen, vloeistoffen en membranen voor medische toestellen, koudemiddelen in militaire voertuigen en vervaardiging van halfgeleiders (12 jaar afwijking),
- polymere PFAS voor producten voor behandeling van wondes, gaas voor hernia, coatings en verpakking van medische toestellen, contactlenzen en toepassingen voor veilig functioneren van transportvoertuigen (12 jaar afwijking).

Het ECHA heeft een zes maanden durende openbare raadpleging over het voorstel afgerond (september 2023), waarbij de adviezen van zijn twee deskundigencomités – over risicobeoordeling en over sociaaleconomische analyse – ten vroegste in 2024 worden verwacht. De verwachting is dat de Europese Commissie in 2025 een beperkingsbesluit zal opstellen, wat zou betekenen dat het algemene verbod van kracht zou gaan vanaf 2026-27.

Verder heeft ECHA in januari 2022 een restrictievoorstel ingediend voor het gebruik van PFAS in brandblusschuim. Een consultatie van dit voorstel werd gehouden van 23 maart tot en met 23 september 2022. Dit gebruik is niet opgenomen in de bredere PFAS restrictie die recent door vijf Europese landen werd voorgesteld.

Meer informatie hierover is terug te vinden op:

<https://echa.europa.eu/nl/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>

[https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index\\_nl.htm](https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index_nl.htm)

<https://echa.europa.eu/nl/regulations/reach/understanding-reach>

#### 2.4.3.4 CLP VERORDENING

Verordening ((EG) nr. 1272/2008) betreffende de indeling, etikettering en verpakking (Classification, Labelling and Packaging - CLP) is gebaseerd op het mondiaal geharmoniseerde systeem (Globally Harmonised System - GHS) van de Verenigde Naties en heeft tot doel een hoog niveau van bescherming van de gezondheid en het milieu te waarborgen, alsmede het vrije verkeer van stoffen, mengsels en voorwerpen. De CLP-verordening wijzigde de richtlijn gevaarlijke stoffen (67/548/EEG), de richtlijn gevaarlijke preparaten (1999/45/EG) en Verordening (EG) nr. 1907/2006 (REACH), en sinds 1 juni 2015 is het de enige wetgeving die in de EU van kracht is voor indeling en etikettering van stoffen en mengsels. CLP is wettelijk bindend in alle lidstaten en rechtstreeks van toepassing op alle bedrijfstakken. Uit hoofde van CLP zijn fabrikanten, importeurs of downstreamgebruikers van stoffen of mengsels verplicht hun gevaarlijke chemische stoffen op passende wijze in te delen, te etiketteren en te verpakken alvorens ze in de handel te brengen.

Een van de hoofddoelstellingen van de CLP is om te bepalen of een stof of mengsel eigenschappen bezit die tot indeling als gevaarlijk leiden. In dit verband is indeling het uitgangspunt voor het kenbaar maken van gevaren. Als relevante informatie (bijv. toxicologische gegevens) over een stof of mengsel voldoet aan de indelingscriteria in CLP worden de gevaren van een stof of mengsel geïdentificeerd door toekenning van een bepaalde gevarenklasse en -categorie. De gevarenklassen in CLP hebben betrekking op fysische, gezondheids-, milieu- en aanvullende gevaren. Als een stof of mengsel is ingedeeld, moeten de geïdentificeerde gevaren kenbaar worden gemaakt aan de andere actoren in de toeleveringsketen, waaronder consumenten. Door middel van gevarenetikettering kan de gevarenindeling, met etiketten en veiligheidsinformatiebladen, kenbaar worden gemaakt aan de gebruikers van een stof of mengsel, om hen te wijzen op de aanwezigheid van een gevaar en de noodzaak om de bijbehorende risico's te beheren.

CLP beschrijft gedetailleerd criteria voor de etiketteringselementen: pictogrammen, signaalwoorden en standaardzinnen voor gevaar, preventie, respons, bewaring en verwijdering voor elke gevarenklasse en -categorie. Ook beschrijft CLP algemene verpakkingsnormen om de veilige levering van gevaarlijke stoffen en mengsels te waarborgen. Naast het kenbaar maken van gevaren door middel van etiketteringseisen vormt CLP ook de grondslag voor veel wettelijke bepalingen over het risicobeheer van chemische stoffen (ECHA).

De [herziening van CLP door \(EU\) 2023/707 van 19 december 2022](#) voegt nieuwe gevarenklassen toe voor stoffen en mengsels op de EU markt, namelijk:

- Hormoonontregeling met gevolgen voor menselijke gezondheid
- Hormoonontregeling met gevolgen voor het milieu
- Persistent, bioaccumulerend en toxisch (PBT) of zeer persistent en zeer bioaccumulerend (zPzB)
- Persistent, mobiel en toxisch (PMT) of zeer persistent en zeer mobiel (zPzM)

Stoffen met deze eigenschappen moeten vanaf 1 mei 2025 als dusdanig ingedeeld en geëtiketteerd worden (1 november 2026 indien ze voordien in de handel zijn gebracht). Voor mengsels met een concentratie van dergelijke stoffen van minstens 0,1 gewichtspercent is dit 1 mei 2026 (1 mei 2028 indien ze voordien in de handel zijn gebracht).

PFAS, waaronder degene die PBT, zPzB, PMT, zPzM zijn, komen soms in lage concentraties voor in een mengsel (<0,1%), waardoor ze nu niet, en ook na het in voege treden van de herziening niet op de SDS-fiche vermeld staan.

Meer informatie hierover is terug te vinden op:

<https://echa.europa.eu/nl/regulations/clp/understanding-clp>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R0707>

### 2.4.3.5 EFSA

De Europese Autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA) geeft onafhankelijk wetenschappelijk advies aan de Europese Commissie over voedselgerelateerde risico's. Inzake PFAS is een gezondheidkundige grenswaarde opgenomen voor de som van 4 PFAS stoffen (PFOS, PFOA, PFHxS, PFNA). Deze TWI (toegelaten wekelijkse inname) uit 2020 is TWI 4.4 ng/week.kg lichaamsgewicht. (equivalent per dag: 0.63 ng/dag.kg lichaamsgewicht).

Dit houdt een aanzienlijke verstrenging in ten opzichte van de in 2008 vastgestelde waarden van 150 ng/dag.kg lichaamsgewicht voor PFOS en 1500 ng/dag.kg lichaamsgewicht voor PFOA.

Meer informatie hierover is terug te vinden op:

<https://www.efsa.europa.eu/>

### 2.4.3.6 RICHTLIJN INDUSTRIËLE EMISSIES (RICHTLIJN 2010/75/EG)

Op 6 januari 2011 is de Europese **Richtlijn Industriële Emissies, kortweg de RIE**, (Industrial Emissions Directive, 2010/75/EU) in werking getreden. De RIE verplicht de lidstaten van de EU om grote milieuvervuilende bedrijven (GPBV-bedrijven) te reguleren middels een integrale vergunning gebaseerd op de Beste Beschikbare Technieken. Bovendien moeten volgens de RIE bepaalde inrichtingen aan minimale voorwaarden voldoen. Bijlage I van de RIE geeft een overzicht van de GPBV-activiteiten. Verschillende van deze activiteiten zijn gerelateerd aan het voorkomen van PFAS en mogelijke PFAS luchtmissies.

De Europese Commissie organiseert een uitwisseling van informatie tussen de lidstaten en de betrokken bedrijfstakken over de Beste Beschikbare Technieken. Concreet worden door het European IPPC Bureau in Sevilla (Spanje) zogenaamde BREF's (referentiedocumenten Beste Beschikbare Technieken) opgesteld. Deze BREF's geven per bedrijfstak aan wat de BBT zijn en welke milieuprestaties met de BBT haalbaar zijn<sup>9</sup>. De BREF's die worden opgesteld onder de nieuwe RIE moeten zogenaamde BBT-conclusies bevatten. Deze **BBT-conclusies** worden gepubliceerd in alle officiële EU-talen, en moeten volgens de richtlijn dé basis vormen voor de vergunningsvoorwaarden. Een speciale rol is hierbij voorzien voor de zogenaamde **BBT-GEN** (de met de BBT geassocieerde emissieniveaus) die in de BBT-conclusies zijn opgenomen. De BBT-GEN zijn gedefinieerd als "de bandbreedte van emissieniveaus verkregen in normale bedrijfsomstandigheden met gebruikmaking

---

<sup>9</sup> Voor meer informatie over IPPC en BREF's, zie de website van het IPPC-bureau <http://eippcb.jrc.es/>, of de website van EMIS [www.emis.vito.be](http://www.emis.vito.be).



van een BBT of een combinatie van BBT als omschreven in de BBT-conclusies, uitgedrukt als een gemiddelde over een bepaalde periode, in specifieke referentieomstandigheden.” De BBT-GEN vormen hét richtpunt voor de emissiegrenswaarden. Meer bepaald stelt de richtlijn dat de emissiegrenswaarden moeten waarborgen dat de emissies onder normale bedrijfsomstandigheden niet hoger zijn dan de BBT-GEN.

In april 2022 is er een [voorstel tot herziening van de richtlijn](#) ingediend door de Europese Commissie. In maart 2023 publiceerde de Europese Raad (van milieu-ministers) hun [voorstel tot aanpassing](#). In de voorstellen zijn enkele elementen relevant voor de PFAS problematiek, waaronder:

- Overweging 13 en artikel 14 met betrekking tot het opzetten van een milieuzorgsysteem en het verplicht publiek beschikbaar maken van relevante delen. Het milieuzorgsysteem behandelt onder meer het risicobeheer gerelateerd aan het gebruik van gevaarlijke stoffen, omvat een chemische inventaris van gevaarlijke stoffen aanwezig in of uitgestoten uit de installatie, en analyse voor mogelijke substitutie door veiligere alternatieven. Hierbij is bijzonder aandacht voor stoffen die voldoen aan de criteria van REACH artikel 57 (zie 2.4.3.3). Deze informatie is via internet vrij toegankelijk, met mogelijke redactie van eventuele vertrouwelijke informatie. Maatregelen moeten genomen worden voor herziening en minstens elke 3 jaar een externe audit van het milieuzorgsysteem.
- Art. 13, §1: de Commissie organiseert een uitwisseling van informatie tussen de lidstaten, de betrokken bedrijfstakken, ECHA, milieu-organisaties en de Commissie zelf, dit om de BBT-referentie documenten op te stellen, te herzien en waar nodig te actualiseren.
- Art. 15, 3°: volgens het voorstel moet de bevoegde overheid de emissiegrenswaarde aan de onderkant van de BBT-GEN opleggen, tenzij de exploitant aantoont dat het toepassen van de BBT enkel een hogere emissiegrenswaarde toelaat.

Op het moment van schrijven lopen de [onderhandelingen tussen de Europese instellingen](#) nog. Het is dus niet uitgesloten dat er nog punten wijzigen ten opzichte van bovenstaand voorstel.

#### 2.4.3.7 KADERRICHTLIJN AFVALSTOFFEN – SCIP DATABANK

In deze BBT-studie wordt niet in detail ingegaan op de Kaderrichtlijn Afvalstoffen, maar deze wordt hier wel opgenomen omwille van de relevantie van de [SCIP databank](#). SCIP is de databank voor informatie over zorgwekkende stoffen (Substances of Concern) In voorwerpen als zodanig of in complexe objecten (Producten), opgezet uit hoofde van de kaderrichtlijn afvalstoffen.

Vanaf 5 januari 2021 moet elk bedrijf dat voorwerpen levert die op de kandidatenlijst voor autorisatie voorkomende zeer zorgwekkende stoffen bevatten in een concentratie van meer dan 0,1 gewichtsprocent (g/g) en die in de EU in de handel worden gebracht, informatie over die voorwerpen doen toekomen aan ECHA. Dankzij de SCIP-database is de informatie over voorwerpen die stoffen van de kandidatenlijst bevatten, beschikbaar gedurende de hele levenscyclus van producten en materialen, met inbegrip van de afvalfase. De informatie in de database wordt vervolgens beschikbaar gesteld aan afvalverwerkers en consumenten.<sup>10</sup>

Meer informatie hierover is terug te vinden op:

<https://echa.europa.eu/nl/scip>

---

<sup>10</sup> De afvalsector merkt op dat de databank, die opgebouwd is op productniveau, onwerkbaar is omdat de stromen die bij een afvalverwerker binnenkomen in de afvalfase zitten, en elke link met het originele product verloren is. De concentratiegrens wordt tevens als te hoog ervaren door de afvalsector.

## 2.4.4 BUITENLANDSE WETGEVING

### 2.4.4.1 OVERZICHT

Het Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC) geeft een nuttig overzicht van geldende regelgeving die van toepassing is in verschillende landen. In dit overzicht zijn er verschillende wetgevende kaders weergegeven, waaronder dat van afvalwater.

Meer informatie hierover is terug te vinden op:

[https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2022/11/ITRCPFASWaterandSoilValuesTables\\_OCT2022-FINAL.xlsx](https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2022/11/ITRCPFASWaterandSoilValuesTables_OCT2022-FINAL.xlsx)

### 2.4.4.2 NEDERLAND

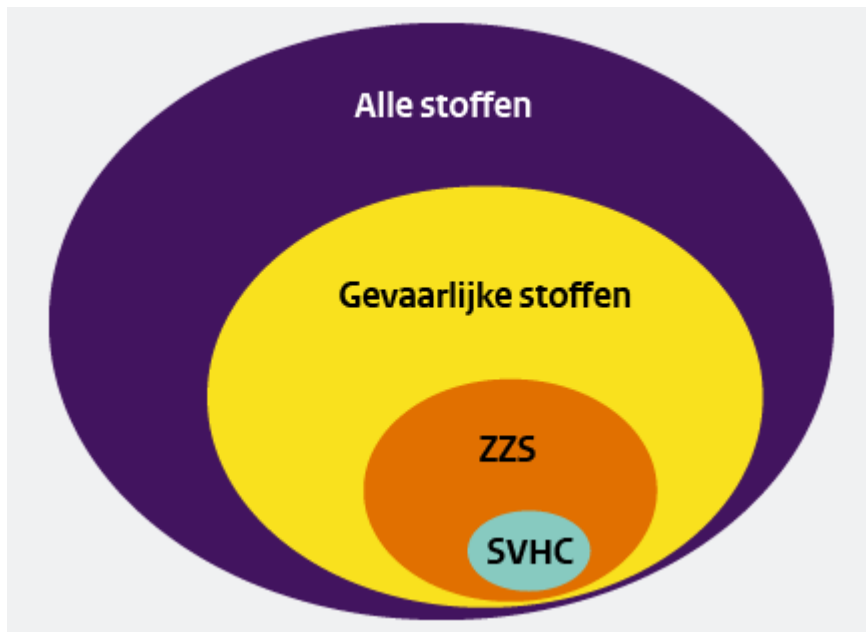
#### ZZS-BELEID

In Nederland wordt het vergunningsbeleid rond ZZS (Zeer Zorgwekkende Stoffen) niet louter gebaseerd op de bijlagen van de REACH Verordening (EG) 1907/2006 (zie ook 2.4.3.3), maar wordt ook naar andere Europese wetgeving en verdragen gekeken om ZZS te identificeren:

- [CLP Verordening \(EG\) 1272/2008](#) geclassificeerd als [C, M, of R categorie 1A of 1B](#);
- gelijkwaardige zorgstoffen in de [POP Verordening \(EU\) 2019/1021](#);
- prioritair gevaarlijke stoffen in de [Kaderrichtlijn Water 2000/60/EG](#);
- stoffen op de [OSPAR lijst](#) voor prioritaire actie.

De groep van ZZS is dus groter dan de groep van SVHC (Substances of Very High Concern) volgens REACH. Bijvoorbeeld stoffen die onder de CLP Verordening zijn geclassificeerd als C, M, of R categorie 1A of 1B worden als ZZS bestempeld, terwijl deze stoffen niet allemaal onder REACH zijn beoordeeld. Voor mengsels geldt over het algemeen een concentratiegrens van 0,1 gewichtsprocent (g/g). Een mengsel dat een ZZS bevat in een concentratie van 0,1% of meer, geldt dus zelf ook als ZZS.





**Figuur 7: Verhouding tussen gevaarlijke stoffen, ZZS in het Nederlandse beleid, en SVHC volgens REACH (bron: RIVM)**

Op het moment van schrijven is in Nederland het Activiteitenbesluit nog geldig, maar dit wordt vervangen door het Bal (Besluit activiteiten leefomgeving). Hieronder wordt de inhoud van beide, en de verschillen, beschreven.

Het [Informatiepunt Leefomgeving](#) (IPLO) geeft uitgebreide informatie over het Nederlandse ZZS-beleid en de implementatie ervan onder het toekomstige Bal. Alle informatie op de website Iplo over regelgeving geldt pas na inwerkingtreding van de Omgevingswet en het Bal. Inwerkingtreding van de Omgevingswet is voorzien op 1/1/2024. Het bestaat uit volgende onderdelen:

- Bronaanpak: voorkomen dat ZZS in het milieu terecht komen. Dit kan door ze te vervangen door minder schadelijke stoffen, en/of door het aanpassen van processen.
- Minimalisatie: als emissies van ZZS niet zijn te voorkomen, worden deze geminimaliseerd.
- Continu verbeteren: elke vijf jaar dienen bedrijven te onderzoeken of ze via de bronaanpak of via de minimalisatie de emissies verder kunnen verminderen.
- Stimuleren van innovatie en substitutie: vervanging van ZZS door minder gevaarlijke stoffen of vervanging van processen waardoor ZZS niet meer nodig zijn en/of niet meer vrijkomen.

Deze stappen zijn uitgewerkt in het vermijdings- en reductie programma ZZS. Bedrijven met emissies van ZZS moeten zo'n programma opstellen. In dit programma onderzoekt het bedrijf de mogelijkheden voor bronaanpak en reductiemaatregelen. Eén keer in de 5 jaar rapporteren bedrijven hierover aan het bevoegd gezag. Het bevoegd gezag beoordeelt vervolgens of het bedrijf voldoende invulling heeft gegeven aan de minimalisatie van ZZS. Het stappenplan staat als hulpmiddel voor dit programma op de website van het [IPLO](#). In grote lijnen zijn de stappen 1) emissiesituatie 2) onderzoek naar bronaanpak en reductiemethoden 3) immisietoets 4) prioriteren en opstellen van maatregelen. Voor meer informatie verwijzen we naar de website van het [IPLO](#) (zie hieronder). Als er naast de BBT ook nieuwe technieken beschikbaar zijn die haalbaar en betaalbaar zijn, moet het bedrijf deze technieken toepassen.

Verder sensibiliseert het beleid bedrijven over het principe 'Safe and Sustainable by Design': producten en processen zo ontwerpen, dat ze in de hele levenscyclus geen schadelijke gevolgen

hebben voor mens en milieu, onder meer via een [website](#). Het is één van de acties die de EU inzet vanuit de [Chemicals Strategy for Sustainability](#).

Bij vergunningplichtige activiteiten levert een bedrijf informatie over de emissie van ZZS (informatieverplichting). Vervolgens neemt het bevoegd gezag in de vergunning voorschriften op voor emissiebeperking en continue verbetering. De wettelijke verplichtingen voor emissies naar lucht zijn uitgewerkt op de [IPLO pagina's ZZS en lucht](#), die voor water in de [Algemene Beoordelingsmethodiek \(ABM\)](#) en het [Handboek Immissietoets](#), zie ook [IPLO over ZZS en afvalwater](#).

Volgens het [Besluit activiteiten leefomgeving](#) (paragraaf 5.4.4 en bij een aantal activiteiten in hoofdstuk 4), geldt voor emissies van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) naar de lucht, een emissiegrenswaarde en een ondergrens per stofklasse per puntbron, en bijbehorende monitoring per stofklasse. Voor ZZS zijn er 3 stofklassen:

- ERS - Een stof zit in de klasse ERS op basis van extreme persistentie, toxiciteit en bioaccumulatiegedrag. De emissiegrenswaarde is uitgedrukt in TEQ (Toxiciteit Equivalenten). Bij een emissievracht van meer dan 20 milligram (mg) TEQ per jaar per puntbron geldt een emissiegrenswaarde van 0,1 nanogram (ng) TEQ/Nm<sup>3</sup>
- MVP1 – emissiegrenswaarde 0,05 mg/Nm<sup>3</sup>; ondergrens per puntbron 0,075 kg/jaar. Dit zijn (“stofvormige”) stoffen met een dampspanning <10 Pa.
- MVP2 – emissiegrenswaarde 1 mg/Nm<sup>3</sup>; ondergrens per puntbron 1,25 kg/jaar. Dit zijn (“gas-of dampvormige”) stoffen met een dampspanning niet <10 Pa. (RIVM, 2020)

Voor diffuse emissies is een emissiegrenswaarde niet gebruikelijk. Het bevoegd gezag kan in dat geval andere eisen stellen om deze diffuse emissie te verminderen. Deze eisen legt het bevoegd gezag vast in een omgevingsvergunning of maatwerkbesluit.

Daarnaast moet het bevoegd gezag voor ZZS ook een immissietoets uitvoeren. Er wordt getoetst of restemissies geen onaanvaardbare risico's opleveren voor de leefomgeving. Hierbij worden normen voor stoffen en stofklassen gehanteerd: emissiegrenswaarden, maximaal toelaatbare risiconiveaus (MTR of MKE; immissie lucht), signaleringswaarden en milieukwaliteitseisen/normen voor stoffen (immissie water). Het milieurisicospoor bevat hiermee een toetsing van de gevolgen van de restemissie van ZZS (maar ook voor andere stoffen) voor de milieukwaliteit. Emissies van ZZS moeten echter altijd geminimaliseerd worden, ook als emissies onder de grenswaarden, normen en signaleringswaarden blijven. Deze waarden zijn dus feitelijk slechts een tussenstap in het uitvoeren van de minimalisatieplicht. (Schreuders et al., 2022)

Ook het huidige [Activiteitenbesluit](#) verplicht bedrijven hun lozingen en uitstoot van ZZS naar lucht te vermijden. Als dat niet haalbaar is, dan moeten emissies zo veel mogelijk worden beperkt (minimalisatieverplichting). Een eerste verschil is dat de ZZS-paragraaf in het Bal, in tegenstelling tot het Activiteitenbesluit, niet alleen voor lucht geldt, maar ook voor water. De emissiegrenswaarden per bron gelden volgens het Activiteitenbesluit alleen als de totale emissie van de hele inrichting boven de grensmassastroom voor de betreffende stofklasse uit komt:

- ERS - Een stof zit in de klasse ERS op basis van extreme persistentie, toxiciteit en bioaccumulatiegedrag. De emissiegrenswaarde is uitgedrukt in TEQ (Toxiciteit Equivalenten). Bij een emissievracht van meer dan 20 milligram (mg) TEQ per jaar geldt een emissiegrenswaarde van 0,1 nanogram (ng) TEQ/Nm<sup>3</sup>
- MVP1 – emissiegrenswaarde 0,05 mg/Nm<sup>3</sup>; grensmassastroom 0,15 g/u; vrijstellingsgrens per puntbron 0,075 kg/jaar
- MVP2 – emissiegrenswaarde 1 mg/Nm<sup>3</sup>; grensmassastroom 2,5 g/u; vrijstellingsgrens per puntbron 1,25 kg/jaar

Deze grensmassaastroom, en dus ook bijhorende sommatiebepaling, vervallen in het Bal. De vrijstellingsgrens per bron geeft aan voor welke kleine bronnen er geen emissiegrenswaarde geldt, en wordt in het Bal vervangen door een ondergrens per bron. De hoogte van vrijstellingsgrenzen/ondergrenzen en van de emissiegrenswaarden per bron blijven gelijk bij omschakeling van Activiteitenbesluit naar Bal.

#### ONDERSTEUNENDE INSTRUMENTEN EN NETWERK

Ter ondersteuning biedt het RIVM informatie en tools aan, zoals de ZZS-lijst, de [ZZS navigator](#) (gericht op de koppeling van type bedrijfsactiviteiten en mogelijke ZZS) en de [similarity tool](#). De PFAS opgenomen in de Nederlandse ZZS-lijst zijn [hier](#) te raadplegen, met informatie volgens welke wetgeving ze ZZS zijn, en hun grensmassaastroom en emissiegrenswaarde. Hexadecafluorheptaan (CAS-nr. 335-57-9) behoort tot de stofklasse ERS, de overige PFAS in de lijst zijn MVP1 of MVP2. Vele PFAA's behoren tot deze ZZS PFAS lijst, maar bijvoorbeeld PFBA wordt beschouwd als een potentiële ZZS. De ZZS navigator is een hulpmiddel voor vergunningverleners en toezichthouders. Dit hulpmiddel geeft een indruk welke ZZS naar het milieu kunnen worden geëmitteerd bij specifieke bedrijfstakken. Ter illustratie worden hier als voorbeeld de mogelijke en verwachte gebruiken en emissies naar lucht gegeven voor [PFOA](#), [PFOS](#) en [PFBS](#). De similarity tool is een hulpmiddel om de ZZS eigenschappen van stoffen die nog niet op de ZZS-lijst staan, te onderzoeken. Dit kan een aanleiding zijn voor het bevoegd gezag om een [stofadvies](#) aan het RIVM te vragen. Verder is er ook een [lijst met potentiële ZZS](#) (pZZS), stoffen die door de Europese lidstaten in het kader van de REACH (Registratie, Evaluatie en Autorisatie van Chemicaliën) Verordening onderzocht worden op mogelijke ZZS gevaarseigenschappen. Het bevoegd gezag kan uit voorzorg maatregelen opleggen om de emissies van pZZS te beperken. Voor borging en uitwisseling van informatie over bronnen en emissies van ZZS werkt het RIVM aan een ZZS-emissiedatabase waarin gegevens die verzameld worden vanuit de informatieplicht van bedrijven centraal kunnen worden opgeslagen en ontsloten (Schreuders et al., 2022).

Het RIVM heeft verder een [methode](#) ontwikkeld om de kosteneffectiviteit van maatregelen te beoordelen in het kader van de minimalisatieverplichting. Hiermee kan de vergunningverlener beoordelen of minimalisatiemaatregelen om de uitstoot naar lucht te verlagen kosteneffectief zijn. Deze methode kan worden gebruikt bij de afweging van maatregelen, zie hiervoor de [IPLO website](#). De ZZS-referentiewaarden voor kosteneffectiviteit helpen het bevoegd gezag in de te maken afwegingen bij het beoordelen van maatregelen die het bedrijf voorstelt om emissies van ZZS naar de lucht te minimaliseren. Ze zijn:

- ERS – geen referentiewaarde bepaald
- MVP1 – ondergrens 6.000 euro/kg; bovengrens 60.000 euro/kg
- MVP2 – ondergrens 3.000 euro/kg; bovengrens 30.000 euro/kg

Het bevoegd gezag kan de referentiewaarden gebruiken als hulpmiddel in haar integrale beoordeling:

- Boven de bovengrens referentiewaarde: het bevoegd gezag kan maatregelen beschouwen als niet-kosteneffectief
- Onder de ondergrens referentiewaarde: het bevoegd gezag kan maatregelen beschouwen als wel-kosteneffectief
- Tussen onder- en bovengrens: het bevoegd gezag kan de mate van kosteneffectiviteit van de maatregelen meenemen bij haar integrale afweging.

Het bevoegd gezag kan naast kosteneffectiviteit ook andere factoren meewegen zoals de lokale (milieu-) omstandigheden, specifieke bedrijfsomstandigheden, of specifieke eigenschappen van stoffen, zie voorbeelden op de website van IPLO. De referentiewaarden hebben geen wettelijke status. Op termijn wil men ze vastleggen in de Omgevingsregeling onder de Omgevingswet. Hiervoor zal in 2023 een evaluatie van de kosteneffectiviteit referentiewaarden voor ZZS plaatsvinden. Ook

voor de immissieberekening en -toets zijn hulpmiddelen en informatie beschikbaar via de websites van IPLO en RIVM.

Om het uitwisselen van vragen, kennis en ervaringen mogelijk te maken faciliteert de overheid (RIVM, RWS, InfoMil en de omgevingsdiensten) het Kennisnetwerk ZZS. Dit is een netwerk voor en door medewerkers van bevoegde gezagen en andere overheidsorganisaties.

### EVALUATIE VAN HET ZZS-BELEID IN NEDERLAND

Arcadis en Berenschot (Schreuders et al., 2022) hebben op initiatief van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een [evaluatie van het ZZS-emissiebeleid](#) over de periode 2016-2021 uitgevoerd. Belangrijke bevindingen en informatie die relevant zijn met het oog op aanbevelingen voor PFAS in deze BBT-studie worden hieronder weergegeven:

- Doordat het **ZZS-beleid relatief nieuw** is, slechts sinds 2016 wettelijk verankerd is en verder is aangepast, is er nog geen lange ervaring, en de beleidscyclus is nog niet geheel doorlopen. Relatief **recente ontwikkelingen** als de introductie van kosteneffectiviteit bij de minimalisatieverplichting (2020/2021) en de borging van de verplichting voor de maximaal vijfjaarlijkse cyclus voor 'continu verbeteren' met vermijdings- en reductieplannen (voor lozingen sinds 2021) laten zien dat de beleidsuitvoering nog altijd in ontwikkeling is. Hierdoor is het **te vroeg om te beoordelen of het ZZS-beleid effectief is**.
- In **algemene zin is te constateren dat het beleid werkt**, emissies worden namelijk aangepakt. Gezien de ontwikkelingen in aanpak en groeiende aandacht voor ZZS bij bevoegde gezagen en omgevingsdiensten wordt verwacht dat het beleid richting de toekomst aan effectiviteit zal winnen. Het is tegelijkertijd wel duidelijk dat de uitvoeringspraktijk in het ederlandse stelsel van vergunningverlening, toezicht en handhaving worstelt met de uitvoering van het beleid. Het systeem van wet- en regelgeving is complex, wat zorgt voor verschillen in interpretatie en omgang in de praktijk door bevoegde gezagen. **Van een 'level playing field' is hierdoor op nationaal niveau geen sprake**.
- Doordat ZZS een **Nederlandse term** is, is het bij grondstoffen en (tussen) producten uit andere landen vaak niet duidelijk of en in welke mate ZZS aanwezig zijn. Die informatie is vaak ook lastig op te vragen en te krijgen, helemaal als het gaat om hoeveelheden onder de 0,1% (massa). Beneden deze grenswaarde zijn bedrijven vanuit REACH-regelgeving niet verplicht informatie te verschaffen over aanwezigheid van stoffen.
- Het in beeld brengen van bronnen en emissies van deze stoffen is in de basis werkbaar, zo geven de meeste bedrijven en bevoegde gezagen aan. Er **ontbreekt nog praktijkgerichte informatie en begeleiding** over de verplichting voor deze bedrijven, zo geven zij aan. Tot op welk detailniveau moeten deze stoffen worden uitgelicht? Waar ga je meten, wanneer in het proces, welk deel van een molecuul valt onder die verplichting? Zowel bedrijven, bevoegde gezagen als omgevingsdiensten geven aan dat aanvullend beleid of instrumentarium nodig is voor omgang met situaties voor het in beeld brengen van ZZS bij variabele samenstelling van emissiestromen. Dit geldt in het bijzonder voor bedrijven in de afvalverwerkende industrie.
- Veel genoemd voorbeeld van mogelijk **brede verspreiding van ZZS in de leefomgeving** is het PFAS-dossier, waarbinnen sommige stoffen gekwalificeerd zijn als ZZS. De laatste jaren is veel onderzoek gedaan naar emissies en verspreiding van PFAS-stoffen. Dit leidt tot de constatering dat deze stoffen wijdverspreid zijn en dat deze stoffen via diverse emissieroutes in de leefomgeving belanden.

- Praktische toepassing en **uitvoering van de minimalisatieverplichting roept veel vragen en discussie op**, vanwege onduidelijkheden, kosteneffectiviteit en praktische bezwaren. De wet- en regelgeving omtrent bronaanpak en minimalisatieverplichting voor ZS-emissies wordt door veel betrokkenen als complex ervaren. Diverse wet- en regelgeving is van toepassing en nog altijd in (door)ontwikkeling, met daarbij diverse instrumenten. Toepassing ervan en het bijhouden van actuele ontwikkelingen en wijzigingen vragen om toegewijde inzet van zowel bevoegde gezagen, omgevingsdiensten als bedrijven. Dergelijke kennis en capaciteit is niet altijd beschikbaar bij partijen die betrokken zijn bij de uitvoeringspraktijk (zie ook verderop in deze paragraaf). Dit zorgt ervoor dat in de praktijk **verschillend wordt omgegaan met de wet- en regelgeving**, zo blijkt uit gesprekken. Op het gebied van vergunningverlening én in toezicht en handhaving daarop wordt veel verschil tussen de bevoegde gezagen en uitvoeringsorganisaties in het land ervaren. **Eenvoudigere en gebundelde wet- en regelgeving had volgens verschillende betrokkenen het terugdringen van ZS-emissies effectiever kunnen maken. Concrete, eenduidige richtlijnen en handelingskaders om meer praktijk- en risicogericht te acteren** werd soms gemist. Er bestaat in de bestaande wet- en regelgeving veel afwegingsruimte voor bevoegde gezagen. Om hier goed uitvoering aan te kunnen geven is er soms behoefte in de uitvoeringspraktijk aan meer praktijkgerichte regie en de ontwikkeling van aanvullend instrumentarium vanuit het ministerie van IenW. Voorbeelden die zijn genoemd is het gemis aan concretisering van de inspanningsverplichting voor het in beeld brengen van aanwezigheid, aard en eigenschappen van stoffen in (rest)emissiestromen, inclusief de wijze van beoordeling hiervan door bevoegde gezagen, en **duidelijke handvatten ten aanzien van de minimalisatieverplichting in relatie tot emissie-immissietoetsing**. Deze behoefte heeft een relatie met de eerder behandelde behoefte aan eenduidige beleidsuitvoering en duidelijkheid voor vergunninghouders.
- Een specifiek onderdeel dat door diverse partijen als complex en daardoor onduidelijk wordt gezien, is de **omgang met minimalisatieverplichting in relatie tot immissietoetsing**. Hier hinkt het beleid volgens sommige bevoegde gezagen en bedrijven op twee gedachten: enerzijds het zoveel mogelijk terugbrengen van emissies naar 'nul', maar anderzijds kent de regelgeving een toetsing aan wat acceptabel is aan immissie in zowel lucht als water. In de praktijk leidt dit tot verschillende omgang met regelgeving door bevoegde gezagen. Met **immissietoetsing** en met de recent ontwikkelde **kosteneffectiviteitstoets** zijn en worden in feite impliciet instrumenten gehanteerd en/of verwachtingen gewekt die zich richten op **acceptabele emissies en proportionaliteit** (kosteneffectiviteitstool), en niet zozeer op continue minimalisatie naar '0-emissie'. Een duidelijke, generieke beleidsuitwerking en communicatie over het begrip 'minimalisatie van emissies' in relatie tot het beleidsdoel met 'verwaarloosbaar risiconiveau' ontbreekt.
- Deze **ervaren complexiteit** lijkt deels ook het gevolg van het **'nieuwe' en evoluerende stadium van het ZS-emissiebeleid**. Er komt veel op bedrijven, bevoegde gezagen en omgevingsdiensten af. Anderzijds is deze complexiteit niet zozeer **gerelateerd** aan ZS-emissiebeleid an sich, maar **aan het bestaande stelsel van milieuwet- en regelgeving** (Wabo, Wet milieubeheer, Waterwet en onderliggende regelgeving) in het algemeen. Hoewel dit onder de Omgevingswet wordt gebundeld en vereenvoudigd, blijft de wet- en regelgeving voor emissies naar lucht en water in de ogen van de verschillende betrokkenen ingewikkeld. Ook afstemming op Europees stoffen- en emissiebeleid is daarbij een blijvend aandachtspunt.
- Voor de omgevingsdiensten en bevoegde gezagen is ook **niet altijd duidelijk** wat zij precies moeten of mogen doen (**handelingsperspectief**) met de opgevraagde informatie. Er is namelijk nog geen vervolgactie bepaald of afgesproken. Hierdoor heerst er onduidelijkheid voor bevoegde gezagen, uitvoeringsdiensten én het bedrijfsleven. Dit zorgt ook voor diversiteit in de aanpak tussen verschillende bevoegde gezagen en omgevingsdiensten. Er zijn



weinig instrumenten die in te zetten zijn om bedrijven zich aan hun eigen vermijdings- en reductieplannen te laten houden of om er zaken anders in op te laten nemen. Hierdoor zijn overheden aangewezen op het voeren van het goede gesprek en de welwillendheid van de bedrijven. De bevoegde gezagen geven aan dat een **goedkeuringsbevoegdheid van het vermijdings- en reductieplan** hen al veel zou helpen. Mogelijk kan ook de vergunning ambtshalve worden aangepast door er bijvoorbeeld maatwerkvoorschriften in op te nemen.

- De opgaven voor het terugdringen van ZZS-emissies zijn groot en worden door veel bedrijven als niet realistisch gezien in **relatie tot bedrijfseconomische belangen en (internationale) concurrentiepositie**. Bedrijven geven aan dat hier onvoldoende rekening mee wordt gehouden in de wet- en regelgeving. Investeringstermijnen zijn lang en niet passend bij de nu ingezette (maximaal) vijfjaarlijkse cyclus van vermijdings- en reductieplannen. Voor **een meer proportionele aanpak** is volgens veel bedrijven een **nadere risicogestuurde prioritering in ZZS-aanpak** nodig, gebaseerd op goed inzicht in bronnen en emissies. Enkele grotere bedrijven geven aan dat de 80-20-regel in grote lijnen geldt: “met eerdere en huidige investeringen van 20% brengen we 80% van emissies terug. Voor de resterende 20% is wellicht 80% investering nodig”. Zowel bedrijven als enkele bevoegde gezagen geven aan dat minimalisatie tot ‘nul-emissie’ vanuit bedrijfseconomisch perspectief niet realistisch is.
- Uit de evaluatie blijkt ook dat **integrale afwegingen** tussen emissiereductie van ZZS en opgaven voor CO<sub>2</sub>- en stikstof-emissiereductie een rol kunnen of juist (volgens sommige partijen) zouden moeten spelen in de uitvoeringspraktijk. Vergaande zuivering van emissiestromen naar lucht betekent in de praktijk bijvoorbeeld verbranding op hoge temperaturen. Dit leidt tot uitstoot van minder ZZS, maar meer emissie van andere stoffen, zoals CO<sub>2</sub> en stikstof. Dat botst met de ambities en opgaven voor klimaat en stikstof/natuur.
- De minimalisatieverplichting in het Activiteitenbesluit geldt enkel voor grotere, vergunningsplichtige (type C) bedrijven. **Niet vergunningsplichtige emissies zijn nog een blinde vlek**. Een type C-bedrijf is verplicht in de vergunningaanvraag informatie over het gebruik en emissies van ZZS naar de lucht te verschaffen. Dit betreft een inspanningsverplichting. Analoog gelden de vermijdings- en reductieprogramma’s niet voor **GPBV-bedrijven** voor emissies van stoffen die in een (Europese) BBT-conclusies geregeld zijn, al wordt dit aangepast door omschakeling naar het Bal. Voor deze bedrijven wordt de minimalisatieplicht momenteel geborgd in het minder dwingende ‘milieuzorgsysteem’.
- De **afvalketen** wordt gezien als achterblijver in het huidige beleid, met een complexe praktijk. Vanwege het vaak variabele karakter van afvalstromen kunnen ook emissies van afvalverwerkende bedrijven variabel zijn qua omvang en samenstelling van stoffen, waaronder ZZS. Dit alles leidt ertoe dat afval- en grondverwerkende bedrijven aangeven geen volledig zicht te kunnen hebben op de aanwezigheid van ZZS in hun emissies. Daardoor kan door deze bedrijven ook niet volledig worden voldaan aan de informatie- en minimalisatieverplichtingen. De **afvalverwerkende sector pleit voor een meer risicogestuurde, praktijkgerichte prioritering** in de aanpak van ZZS-emissies. Niet slechts een prioritering in stoffen is belangrijk volgens afvalverwerkende bedrijven. Ook prioritering in de hoeveelheid (vracht per dag/jaar – waar is de meeste winst te halen?) en de concentraties van de stoffen (welke zijn de grootste probleemstoffen qua concentratieniveaus in relatie tot normen, grens- en/of signaleringswaarden?) verdienen aandacht.
- De evaluatie verwijst naar een [inventarisatie door SGS Intron van ZZS in afvalstoffen](#). Andere achtergronddocumenten over gevaarlijk afval en ZZS zijn te vinden op een [website](#) van Rijkswaterstaat

- Verschillende bedrijven en ook omgevingsdiensten geven aan dat een **wijzigende en uitbreidende ZZS-lijst** in de praktijk tot knelpunten leidt. Een (vergunde) stof die ten tijde van vergunningverlening niet als ZZS was geclassificeerd, maar later wel, leidt in theorie tot overtreding van wet- en regelgeving door een emitterend bedrijf. Er bestaan geen generieke richtlijnen of handreikingen voor omgang met dergelijke situaties. In de praktijk wordt hier verschillend mee omgegaan: van handhavend optreden door bevoegde gezagen tot tijdelijk 'gedogen' tot een vergunning wordt geactualiseerd/ herzien. Zowel bedrijven als bevoegde gezagen geven aan dat een generieke, uniforme werkwijze voor omgang met dergelijke situaties gewenst is.
- Sommige bedrijven missen bij bevoegde gezagen gevoel voor **proportionaliteit als het eindproduct van een productieproces een ZZS is**, zoals dat geldt bij sommige PFAS. In die gevallen zou de inzet van betrokken partijen zich volgens deze bedrijven moeten richten op proportionele minimalisatie van ZZS naar de leefomgeving. Streven naar 0-emissie is in hun optiek niet wenselijk en alleen tegen zeer hoge (maatschappelijke) kosten mogelijk.
- Bedrijven ervaren geen '**veilige omgeving**' – het delen van informatie over ZZS in bedrijfsprocessen en emissies met bevoegde gezagen wordt gezien als een risico, omdat bevoegde gezagen in sommige gevallen direct handhavend optreden wanneer er sprake is van een niet vergunde situatie. Dit leidt in de praktijk tot risico's voor bedrijven, waardoor zij minder geneigd zijn mee te werken aan het vergoten van inzicht in ZZS-emissies en zich eerder beroepen op juridische procedures. Dit ondermijnt het draagvlak voor het ZZS-beleid, zo geven diverse bedrijven, maar ook enkele bevoegde gezagen aan.
- Andere sectoren ervaren het gevoerde beleid weer vanuit een ander perspectief. Bijvoorbeeld de **drinkwatersector profiteert juist van een strenger emissiebeleid**, aangezien zij vervolgens minder ZZS uit het water hoeven te halen en minder inspanningen hoeven te verrichten.
- **Praktische belemmeringen** leiden tot onduidelijkheid in uitvoeringspraktijk. Detectiegrenzen voor ZZS in relatie tot normen en omgang daarmee in toetsing en beoordeling. Lang niet alle ZZS zijn meetbaar op het gewenste niveau. Meet- en monitoringtechnieken zijn daarnaast nog niet toegerust op alle ZZS. Nog niet alle ZZS kunnen worden gemeten in de gangbare laboratoria. Analyses zijn bovendien kostbaar, waardoor monitoringinspanningen al gauw om forse investeringen vragen. Het (laten) afleiden van (indicatieve) normen voor nog onbekende/niet genormeerde stoffen ligt nu primair bij een emitterende partij, tenzij er vanuit het RIVM een nieuwe stof wordt toegevoegd. Snelheid van handelen voor bedrijven en bevoegde gezagen wordt nu soms beperkt door beperkte capaciteit bij het RIVM, zo geven verschillende partijen aan.
- Naast publieke lijsten met ZZS en potentiële ZZS, beheert het RIVM **een lijst met stoffen die met ZZS vergelijkbare eigenschappen** hebben, maar die nog niet als ZZS zijn geclassificeerd. Deze lijst is niet ontsloten via openbaar toegankelijke kanalen.

Deze en meer informatie is te vinden op:

[Zeet Zorgwekkende Stoffen | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#)

[Identificatie Zeet Zorgwekkende Stoffen | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#)

[Zeet Zorgwekkende Stoffen en lucht - Informatiepunt Leefomgeving \(iplo.nl\)](#)

[ZS PFAS - Detail ZS-lijst | Risico's van stoffen \(rivm.nl\)](#)

Evaluatie ZS-beleid [\(overheid.nl\)](#)

[Gevaarlijk afval en ZS - LAP3](#)

[Werkwijze NL Stofadviezen \(rivm.nl\)](#)

### 2.4.4.3 USA – STATES REGULATIONS

De staten Michigan, New Hampshire en New York<sup>11</sup> hebben voor verschillende PFAS stoffen in luchtemissies een maximumwaarden vastgelegd of voorgesteld.

Parameter	Michigan	New Hampshire	New York (Voorstel)
PFOA	0,07 µg/m <sup>3</sup>	NVT	0,0053 µg/m <sup>3</sup>
PFOS	0,07 µg/m <sup>3</sup>	NVT	NVT
APFO <sup>12</sup>	NVT	24 uur limiet: 0,05 µg/m <sup>3</sup>  Jaarlijkse limiet: 0,042 µg/m <sup>3</sup>	NVT

<sup>11</sup> <https://www.bclplaw.com/en-GB/insights/pfas-air-emissions-regulations.html>

<sup>12</sup> CAS nummer: 3825-26-1



---

## HOOFDSTUK 3. PFAS-LUCHTEMISSIES & RELEVANTE SECTOREN EN PROCESSEN



## HOOFDSTUK 3. PFAS-LUCHTEMISSIES & RELEVANTE SECTOREN EN PROCESSEN

In dit hoofdstuk wordt algemene informatie over de milieu-impact van PFAS luchtemissies beschreven, en worden vervolgens in een tweede deel sectoren en processen gerelateerd aan mogelijke PFAS luchtemissies in Vlaanderen geschetst.

### 3.1 PFAS EMISSIES NAAR LUCHT

Emissies van PFAS naar lucht vormen de kern van deze BBT-studie, en worden in de volgende paragrafen algemeen besproken. Andere milieuaspecten zoals energieverbruik, waterverbruik, materiaalverbruik, afvalstoffen, emissies naar water, geur, geluid en emissies naar lucht van andere stoffen vormen niet direct het onderwerp van deze BBT-studie, maar zullen doorheen de studie wel worden aangehaald en in rekening gebracht als zogenaamde 'cross-media' effecten bij het beheersen/beperken van PFAS luchtemissies.

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen:

- a) gasvormige emissies door vervluchtiging van PFAS. Dit hangt in belangrijke mate samen met de dampdruk(ken) van de component(en) in kwestie, en van de temperaturen en drukken waarop deze zich bevinden.
- b) emissies via stof(deeltjes) of aerosolen. PFAS kunnen zich bevinden in of binden aan fijne deeltjes die fijn verdeeld zijn in een gas: vaste stofdeeltjes, waterdruppels, druppels van solventen of reagentia, enz.

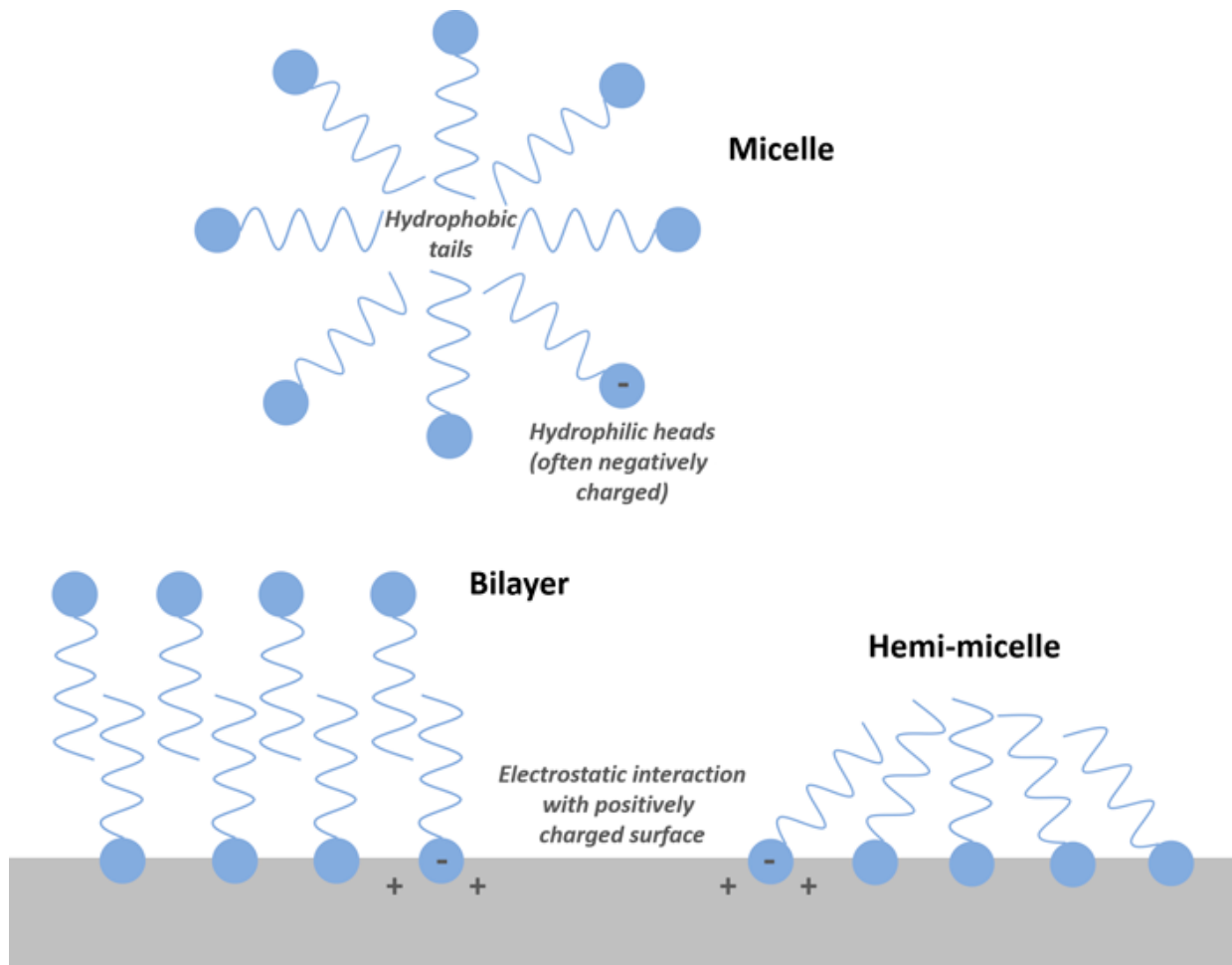
De mate waarin aanwezige PFAS geëmitteerd worden naar de lucht, hangt dus sterk af van de (proces)omstandigheden en van de matrix, maar ook van de eigenschappen van de PFAS component(en). Kleinere keten PFAS vertonen een hoge polariteit (Liu et al., 2022) en zijn relatief vluchtiger, en zullen dus meer voorkomen in de gasfase dan langere ketens en moleculen met een groot moleculair gewicht. Ook zijn fluortelomeren (FTOH's en FTS'en), gefluoreerde sulfonamides (FOSA's) en sulfonamido ethanolen (FOSE's) typisch vluchtiger dan de overeenkomstige 'eindstandige' (de uiteindelijk in het milieu gevormde) PFAA's (geperfluoreerde alkylzuren, typisch sulfonzuren of carboxylzuren), waarvan ze een precursor zijn. Ze kunnen op die manier gemakkelijker via de lucht verspreiden, en in het milieu worden omgezet naar eindstandige PFAA's.

Langere keten PFAS daarentegen verdelen zich relatief meer in de waterfase dan de gasfase, en binden vaak sterker aan vaste (organische) materie, waaronder stofdeeltjes (Liu et al., 2022). Dit maakt dat ze minder in gasvorm geëmitteerd worden, maar meer gebonden aan fijne stofdeeltjes en in of aan het oppervlak van waterdruppels. Ook korte keten PFAS zijn echter goed oplosbaar in water, en kunnen dus in relatief grote hoeveelheden aangetroffen worden in waterdruppels. Een volledig overzicht van gekende fysische en chemische eigenschappen van de verschillende PFAS componenten kan bv. gevonden worden op de PFAS website van Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC)<sup>13</sup>, alsook verdere uitleg over het gedrag van PFAS in lucht en andere media (zie o.a. '5 Environmental Fate and Transport Processes').

---

<sup>13</sup> Beschikbaar via [PFAS — Per- and Polyfluoroalkyl Substances \(itrcweb.org\)](https://www.itrcweb.org/)

Een ander verschijnsel bij langere ketens, is hun sterkere oppervlakteactieve werking. Hierdoor kunnen zij gemakkelijker micellen vormen, doordat hun apolaire staarten met elkaar in interactie gaan. Deze micellen kunnen ook als aerosolen meegevoerd worden in een gasstroom.



**Figuur 8: Illustratie van vorm PFAS micel, hemi-micel en dubbellaag. De figuur toont ook de elektrostatistische interactie met een positief geladen oppervlak. Omgekeerd, bij een negatief oppervlak worden vele PFAS afgestoten. Bron: ITRC (2022)**

Fysische en chemische eigenschappen zijn typisch weergegeven voor de neutrale vorm van de stoffen, maar in water dissociëren de meeste PFAS in een anion en een kation. De anionen hebben een sterke neiging tot de waterfase, waardoor de stoffen minder vluchtig zijn dan op basis van hun fysische en chemische eigenschappen wordt berekend. Verschillende ionische vormen gedragen zich verschillend in het milieu. Kationen worden meer waarschijnlijk geadsorbeerd aan de bodem, dat over het algemeen een netto negatieve lading heeft, terwijl de adsorptie van anionen over het algemeen lager is. De zuurtegraad (pH) kan verder het transport van ionische vormen via het milieu beïnvloeden (Meegoda et al., 2020).

Er zijn nog belangrijke lacunes in de kennis rond luchtmissies van PFAS, zowel op het vlak van hoeveelheden die worden uitgestoten, als op vlak van hun impact op mens en milieu. Op beide vlakken is de kennisopbouw volop in ontwikkeling. Industriële emissies van PFAS naar lucht kunnen gasvormig zijn, of geadsorbeerd aan, of geabsorbeerd in aerosolen zoals vaste stofdeeltjes of vloeistofdruppels. Luchtmissies kunnen in de vorm van geleide afgassen, of als diffuse (dus niet-geleide) emissies zijn. Emissies kunnen afkomstig zijn van normale operationele omstandigheden, of van accidentele of abnormale oorsprong. Er is op dit moment nog weinig geweten over de absolute en relatieve

hoeveelheden en bijdragen van de verschillende soorten emissiebronnen. In 3.2 wordt een overzicht gegeven van de voornaamste gekende industriële emissiebronnen. D'Ambro et al. (2021) modelleerden voor de uitstoot van 26 PFAS componenten bij een fluorpolymeer producerende installatie in North Carolina (VS) dat 5% van de totaal in de lucht uitgestoten massa PFAS en 2,5% van de uitgestoten massa HFPO-DA binnen 150 km van de installatie gedeponeed worden, en de resterende massa dus verder dan 150 km meegevoerd wordt in de atmosfeer. Componenten met zure functionaliteit vertonen volgens deze studie meer depositie door grotere wateroplosbaarheid en zuurtegraadafhankelijk verdeling naar waterig medium.

### 3.1.1 PFAS IN OMGEVINGSLUCHT EN DEPOSITIE

Om de aanwezigheid van PFAS in de omgevingslucht te monitoren, worden drie meetmethoden uitgewerkt door het Vlaamse referentielaboratorium van VITO: het meten van PFAS in zwevend stof, het meten van neervallende PFAS in depositiekruiken en het meten van vluchtige PFAS in de omgevingslucht. Peters et al. (2022) onderzochten i) methodes voor de bemonstering en analyse van PFAS in omgevingslucht en in depositie, en ii) concentratie van PFAS omgevingslucht en de hoeveelheid PFAS in depositie.

Het rapport haalt het tijdelijk toetsingskader voor de vier EFSA PFAS-componenten in de omgevingslucht (zie 2.4.2.1) aan: **“Een waarde tussen 0,4 en 2,2 ng/m<sup>3</sup> voor de som van de 4 EFSA-PFAS-verbindingen (PFNA+PFOA+PFHxS+PFOS) (jaargemiddelde concentratie; chronische blootstelling). Deze waarden kunnen dus als tijdelijk toetsingskader voor de bewoonde zones gebruikt worden.”** Verder stelt men: *“Men dient ermee rekening te houden dat de volledige ‘ruimte’ om de GAW<sup>14</sup> EFSA te bereiken niet volledig kan toegekend worden aan lucht, vermits mensen ook via voeding blootgesteld worden aan PFAS”*. Zoals in 2.4.2.1 gesteld, komen de waarden 0,4 en 2,2 ng/m<sup>3</sup> overeen met een allocatie van respectievelijk 20% en 100% voor blootstelling via ademhaling van omgevingslucht. Een allocatie van 20% betekent een aanname dat 80% van de blootstelling op andere manieren gebeurt: via voeding, drinkwater, binnenhuislucht... Het rapport wijst erop dat dit enkel als tijdelijk toetsingskader (enkel in het kader van bijstellingsvoorwaarden voor de exploitatie en werfvergunningen Oosterweel) dient gebruikt te worden, in afwachting van een volwaardige gezondheidskundige advieswaarde voor PFAS in omgevingslucht, volgens de methodiek opgesteld door AZG en VITO. De waarde wordt echter in de praktijk gehanteerd als tijdelijk handelingskader, zie 2.4.2.1.

De metingen uitgevoerd in dit onderzoek hebben een achtergrondconcentratie van slechts 0,001 ng/m<sup>3</sup> voor de 4 EFSA-componenten vastgesteld op een achtergrondlocatie te Dessel over een periode van zes maanden (stoffractie). Vergeleken met de tijdelijke toetsingswaarde van 0,4 ng/m<sup>3</sup> is dit vrijwel verwaarloosbaar (0,25%). Dit is echter nog te valideren door verdere metingen op andere onverdachte locaties in Vlaanderen. Op specifieke plaatsen kan de concentratie wel hoger liggen, bv. in de nabijheid van belangrijke (industriële) emissiebronnen. Op een locatie in Zwijndrecht wordt 0,103 ng/m<sup>3</sup> gerapporteerd voor de 4 EFSA-componenten. In dit onderzoek van Peters et al. (2022) wordt een selectie van 38 PFAS-verbindingen geanalyseerd. Echter, in de omgevingslucht in de omgeving van Zwijndrecht is PFOS de verbinding die in de hoogste concentratie voorkomt (op zwevend stof). PFOS vertegenwoordigt ongeveer 2/3de van de totale PFAS-concentratie (som van alle gemeten PFAS-verbindingen) en doorgaans 80-90% van de som van de EFSA-PFAS. De op één na belangrijkste PFAS is PFOA (7,7%). Een heel aantal andere PFAS komen in minder mate voor.

De voor het rapport gebruikte methode omvat zowel deeltjesgebonden (filter) als (semi-) gasvormige (PUF) PFAS componenten. Enkel de meest vluchtige (<C4) moeten via een andere methode (cannister) bemonsterd worden. Het rapport stelt dat het wenselijk zou zijn om verder in te zetten op de

<sup>14</sup> GAW: gezondheidskundige advieswaarde

gezondheidskundige vertaling van PFAS-concentraties en deposities, bv. door de ontwikkeling van toetsingskaders.

### 3.1.2 TOETSINGSCRITERIUM VOOR GELEIDE EMISSIES

In het tweede deel van hoofdstuk 3 worden typische sectoren en toepassingen van diverse PFAS besproken. Bij sommige van deze activiteiten vinden geleide emissies van afgassen plaats. Ondanks bovenvermelde beperkingen van het tijdelijk toetsingskader voor omgevingslucht, wordt het zinvol geacht om in het kader van deze BBT-studie na te gaan welke emissiewaarden ermee overeen komen in geval van geleide emissies. Dergelijke berekening kan immers mede de basis vormen voor een tijdelijk voorwaardenkader voor industriële luchtmissies in Vlaanderen.

In bijlage A wordt daarom, voor enkele types puntbronnen, de maximaal toegelaten emissievracht per jaar om een concentratie van 0,4 ng/m<sup>3</sup> in de omgevingslucht niet te overschrijden, berekend.<sup>15</sup> In het in de bijlage gegeven voorbeeld (C3, Middelhoge puntbron 25 m, zonder warmte-inhoud) is de maximale emissie 1,04 kg/jaar om 0,4 ng/m<sup>3</sup> te respecteren op een afstand tussen 200-500 m van de puntbron. Dit zou dus overeenkomen met woon- of recreatiegebied op een afstand tussen 200-500 m van deze puntbron. Echter, als er woon- of recreatiegebied op minder dan 100 m afstand ligt, zou de maximale emissie voor dergelijke puntbron (C3) 0,80 kg/jaar zijn, ofwel 91 mg/u in geval van een constante emissie. De kleinste berekende emissie is voor een puntbron C1 (lage puntbron <20 m, zonder warmte-inhoud), en een afstand tot woon- of recreatiegebied kleiner dan 100 m. In dit geval is de jaarlijkse emissie 0,0164 kg, ofwel 1,9 mg/u in geval van een constante emissie. Hierbij is nog geen rekening gehouden met depositie en mogelijke accumulatie in bodem, grondwater en oppervlaktewater, terwijl in bepaalde gevallen dit wel de meest kritische toetsing blijkt (informatie lid BC, 2022). Verder houdt de berekening nog geen rekening met locatiespecifieke omstandigheden, zoals aanwezigheid van andere diffuse of geleide emissiebronnen, of de achtergrondconcentratie, die eventueel lokaal verhoogd kan zijn.

De vertaling van dergelijk criterium in concrete aanbevelingen voor een normenkader wordt besproken in hoofdstuk 6 (6.1.4). Het spreekt echter voor zich dat dit gezien moet worden als een tijdelijk toetsingscriterium, omdat het gebaseerd is op een tijdelijke toetsingswaarde voor omgevingslucht, die enkel geldt voor de huidige 4 'EFSA-componenten' (PFOS-PFOA-PFNA-PFHxS). Niet alle PFAS zijn even schadelijk. Emissies van andere PFAS zullen dus op basis van hun toxiciteit en gedrag relatief gewogen moeten worden ten opzichte van de 'EFSA 4', zie ook 2.1.3. Als een "volwaardige gezondheidskundige advieswaarde" wordt ontwikkeld voor de huidige 4 EFSA-componenten, of voor een ruimere groep PFAS, moet dit criterium bijgewerkt worden op basis van die advieswaarde. Zoals bijlage A stelt, kan hiervoor de regel van drie toegepast worden.

### 3.1.3 MONITORING GELEIDE LUCHTEMISSIES

Het is belangrijk om te kunnen meten welke PFAS er in de lucht terecht komen via afgassen van industriële processen. Meetmethoden voor monitoring van emissieconcentraties van PFAS voor geleide emissies zijn volop in ontwikkeling. Voor de keuze van meetmethode moet rekening gehouden worden met de vluchtigheid van de PFAS verbindingen (vluchtig, semi-vluchtig, deeltjesgebonden), de PFAS ketenlengte en kwalitatieve (screening) vs kwantitatieve (target) bepalingsmethoden. Op het moment van schrijven is er een gevalideerde [Vlaamse ontwerpmethod](#)e voor luchtmissies van PFAS (LUC/VI/003). Een Europese meetmethode voor luchtmissies van PFAS is er nog niet. In eerste instantie is op Vlaams niveau een meetmethode ontwikkeld voor de bemonstering en analyse van

<sup>15</sup> De meteorologische gegevens voor het jaar 2015 zijn toegepast voor deze berekening. Door andere jaren te nemen zal het resultaat wel wat veranderen, maar de onzekerheid daarop zal veel kleiner zijn dan de onzekerheid door het springen tussen twee types bronnen (bv. van C1 naar C3).

deeltjesgebonden en semi-vluchtige PFAS (>C<sub>4</sub>, kookpunten >100°C) in geleide emissies, waarbij de PFAS isokinetisch worden bemonsterd en via een staalnametrein worden gecapteerd op een filter, adsorbentpatronen en wasflessen en vervolgens genalyseerd worden via LC-MS/MS. Niet alle PFAS-verbindingen kunnen kwantitatief opgemeten worden via deze methodiek. Bovendien is het vaak niet geweten welke PFAS componenten in producten en processen aanwezig zijn en/of als restproduct kunnen gevormd worden. De compendiummethode focust voor de monsterneming, meting en analyse van lucht (LUC) op 46 componenten, afgestemd op de 46 PFAS-verbindingen die reeds opgenomen zijn in de compendia voor de monsterneming, meting en analyse van water (WAC)<sup>16</sup>, en bodem (CMA)<sup>17</sup>. De methode werd gevalideerd door middel van vergelijkende ringtesten met verschillende Vlaamse laboratoria (analyse + staalname). De kwantificatielimiet en meetonzekerheid per component zijn sinds oktober 2023 toegevoegd aan de [ontwerpmethode LUC/VI/003](#).

De scope van deze methode (>C<sub>4</sub>, kookpunt>100°C) kan bovendien verder uitgebreid worden met de meest vluchtige (<C<sub>4</sub>) PFAS verbindingen via bijkomende bemonstering met cannisters en GC-MS analyse (zie ook [EPA TO-15 methode](#)). Dit kan in het bijzonder van belang zijn als moleculen als CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> en C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> en eventueel andere ultrakorte PFAS worden gezien als indicatormoleculen voor thermische destructie.

Praktijkervaring met de OTM-45 van EPA en afgeleide LUC draft methode werd reeds opgedaan door middel van schouwmetingen uitgevoerd bij diverse bedrijven en installaties in Vlaanderen en buurlanden. Een voorbeeld omvat de [herhaalde schouwmetingen op de draaitrommeloven \(DTO\) van Indaver NV](#).

Daarnaast wordt deze zogenaamde target-meting in de praktijk vaak gecombineerd met non-target screeningsmetingen op de verzamelde veldstalen via HR-MS en DART-MS, die identificatie (en ruwe groottebepaling) van eventuele onbekende PFAS componenten toelaten. Wanneer vele onbekende PFAS verbindingen uit de non-target screening komen (niet gedetecteerd in de target analyse (vb. FTOH)), kan een bijkomende TOP analyse (Total Oxidizable Precursor) worden uitgevoerd om te evalueren hoeveel van deze precursoren kunnen transformeren tot persistente perfluoralkylzuren (PFAA) eindproducten (Hofman et al. 2022). Deze analyse omvat een oxidatieve digestie (biotransformatie) waarbij de PFAA's voor en na de oxidatieve digestie worden opgemeten via LC-MS-MS. Verder kan ook als screening voor producten totaal organisch fluor (TOF) of extraheerbaar organisch fluor (EOF) met 'combustion ion chromatography' (CIC) gebruikt worden. Dit wordt beschouwd als goede en kosteneffectieve screeningsmethode voor een brede range aan PFAS en PFAS precursoren. Detectielimiet is vrij hoog en ligt rond de 100 µg/kg (afh. van de matrix) (Hofman et al. 2022).

### 3.1.4 DIFFUSE EN ABNORMALE OF ACCIDENTELE LUCHTEMISSIES

Naast geleide emissies onder normale operationele omstandigheden, kunnen er diffuse emissies onder normale operationele omstandigheden plaatsvinden. Voorbeelden zijn gegeven bij de beschrijving van sectoren en processen in het eerste deel van dit hoofdstuk.

Daarnaast kunnen er ook abnormale of accidentele emissies plaatsvinden. Een welgekend voorbeeld zijn brandblusmiddelen bij brandblus oefenterreinen, luchthavens, bulkopslag van chemicaliën, brandstofdepots, raffinaderijen, boorplatformen en andere installaties met grote hoeveelheden vloeibare brandstoffen. Sinds het verbod op PFOS-houdende blusmiddelen in 2010, bevatten blusmiddelen soms andere PFAS, in een ordegrrootte van 5%. Bij een grote brand kunnen tientallen kilo's PFAS ingezet worden, die doorgaans opgevangen worden in een inkuiping of opvangvoorziening. Bij

<sup>16</sup> <https://emis.vito.be/nl/erkende-laboratoria/water-gop/compendium-wac>

<sup>17</sup> <https://emis.vito.be/nl/erkende-laboratoria/bodem-en-afvalstoffen-ovam/compendium-cma>



grote branden zal door de hoge temperaturen en thermiek een deel van het brandblusschuim met de rook mee verspreid worden. In welke mate dit gebeurt, hoe de verspreiding in de lucht vervolgens verloopt, en of PFAS hechten aan roet- en waterdeeltjes in de rook of vervliegen is onbekend (Expertisecentrum PFAS, 2018; Baken, 2019).

## 3.2 BESCHRIJVING VAN PFAS-VERWERKENDE SECTOREN EN ACTIVITEITEN

Er is voor Vlaanderen een selectie gemaakt van de meest relevante sectoren en activiteiten (vaak horizontale, sectoroverschrijdende activiteiten). Deze selectie werd gedaan op basis van het Glüge onderzoek, verdere literatuurscreening, gesprekken met leden uit het begeleidingscomité, andere vertegenwoordigers van bedrijven en sectoren en andere experts. Daarnaast werd in de periode oktober – december 2022 in samenwerking met Departement Omgeving, Afdelingen GOP en Handhaving een selectie van een 40-tal bedrijven met hoge recente concentraties PFAS in de waterlozing gescreend, om inzicht te krijgen in eventuele nog weinig gekende bronnen van PFAS luchtmissies. Uit informatieverzameling blijkt dat bedrijven met een aanzienlijke waterlozing ook mogelijke bronnen van luchtmissies kennen. Hieruit is echter duidelijk dat nog niet alle aanwezigheid van (toxicologisch relevante) PFAS in gebruikte grondstoffen/producten en in verzamelde/verwerkte afvalstoffen in voldoende mate gekend is door bedrijven en overheden. Hierop zal dan ook verder worden ingegaan in de kandidaat technieken in hoofdstuk 4 en de aanbevelingen voor verdere kennisopbouw in hoofdstuk 6. Recent werd een breed PFAS [restrictievoorstel](#) ingediend door Duitsland, Denemarken, Nederland, Noorwegen en Zweden (zie 2.4.3.3). Dit restrictievoorstel en de bijlagen ervan, bv. bijlage A, bevat veel informatie over gebruik en emissies van PFAS in verschillende sectoren/producten. Deze informatie is niet overgenomen in deze BBT-studie, en kan dus aanvullende inzichten opleveren.

Een korte uitleg over het (productie)proces of de activiteit is opgenomen. Verder werd er getracht een inventaris te maken van de belangrijkste gebruikte PFAS in elke sector/activiteit (zowel historisch gebruik als huidig gebruik), alsook de belangrijkste emissiepunten in elke sector/activiteit, voor zover deze informatie ter beschikking was. De reden voor het opnemen van historisch gebruik is dat er in bepaalde gevallen duidelijk is vastgesteld dat zelfs na het stopzetten van het gebruik er lange tijd emissies plaatsvinden waarvoor het bedrijf maatregelen dient te nemen, bv. in het geval van PFOS. Tot slot wordt bekeken of en welke alternatieven reeds beschikbaar zijn. Dit kan sector- of activiteitsgenoten stimuleren om zelf om te schakelen naar dergelijke alternatieven. Op het Substitution Support Portal (SUBSPORT) van het Duitse Federaal Instituut voor Arbeidsveiligheid en Gezondheid (BAUA) staat [een databank](#) met 38 lijsten van stoffen die wettelijk of vrijwillig beperkt zijn of aanbevolen voor restrictie omwille van de gevaarlijke eigenschappen, en biedt op die manier een aanvullend inzicht in relevantie en mogelijke substitutie in bepaalde toepassingen.

De beschrijving van PFAS verwerkende sectoren/activiteiten is onderverdeeld in de productie van PFAS door de chemische industrie, het gebruik van PFAS in productieprocessen voor eindtoepassingen, afvalverwerking en ten slotte koeltorens. Hierbij is op te merken dat on-site waterzuivering bij vele verschillende sectoren een mogelijke bron is van diffuse, en in sommige gevallen geleide, luchtmissies. Dit wordt daarom niet systematisch herhaald bij de individuele sectoren, maar algemeen besproken onder 3.2.3.2. Analoog is er bij vele bedrijven/sectoren mogelijk gebruik van PFAS-houdende onderhoudsproducten, die bijvoorbeeld door de technische dienst worden gebruikt (smeermiddelen, drijfgassen voor aerosolen en dergelijke, zie ook 2.2), maar niet noodzakelijk eigen zijn aan een specifiek bedrijf of specifieke sector. Ook dit wordt hieronder niet afzonderlijk per sector/activiteit besproken.

### 3.2.1 CHEMISCHE INDUSTRIE (PRODUCTIE VAN PFAS)

#### ELEKTROCHEMISCHE FLUORINATIE (ECF)

##### Productieproces



Elektrochemische fluorinatie is een technologie waarin een organische grondstof een elektrolyse in een watervrij HF ondergaat, met als resultaat dat alle H-atomen vervangen worden door F-atomen. Aangezien het proces van nature vrij radicaal is, leidt dit tot herschikkingen en breuken in de koolstofketen, resulterend in een mix van lineaire en vertakte (verhoudingen zijn doorgaans 70% tot 80% lineair en 20% tot 30% vertakt) perfluorisomeren en homologen van de grondstof (Buck et al., 2011). In Vlaanderen is er één productiesite van PFAS waarbij gebruik gemaakt wordt van het ECF-proces. Het is tevens het enige productieproces van PFAS dat in Vlaanderen plaatsvindt en heeft plaatsgevonden.

#### **Veel voorkomende/geproduceerde PFAS**

Historisch werd er PFOS, PFOSA en PFOA geproduceerd, in Vlaanderen was dit voornamelijk PFOS tot voor 2002. Daarnaast werd er tot 2001 ook PFHxA, PFHxS en PFHxSA geproduceerd. Dit werd vervangen door voornamelijk korte keten PFAS (20-tal o.a. PFBA, PFBS, geperfluoreerde ketonen en amines, hexafluorpropyleenoxidedimeerzuur (ADONA)). Sinds 2022 worden de C4 Protective Materials en C4 Speciality Materials zoals PFBA, PFBS en PFBSA niet meer geproduceerd (Input leden BC, 2022).

#### **Emissiepunten lucht (Input leden BC, 2022)**

Geleide emissies:

- Directe schoorstenen of via afzuigsystemen met zuiveringstechnieken, afhankelijk van eigenschappen en samenstelling gas (gaswassing, thermische oxidatie, actief kool adsorptie). Zie beschrijving van deze technieken onder 4.6.

Diffuse emissies:

- Deuropeningen e.d. in productiehallen;
- Lekverliezen.

#### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Momenteel is er geen alternatief voor de polymerisatie hulpstof.

### **TELOMERISATIE**

#### **Productieproces**

Telomerisatie is een technologie waarin in een eerste stap perfluoralkyl jodide (meest voorkomende pentafluoroethyl) reageert met tetrafluorethyleen, waarbij een mengsel van perfluoralkyl jodiden met langere geperfluoreerde ketens ontstaat. Hierna wordt, in een tweede stap, ethyleen toegevoegd aan het mengsel van perfluoralkyl jodiden,  $C_mF_{2m+1}(CF_2CF_2)_n$ . Dit proces produceert primair, en bijna uitsluitend, lineaire PFAS (Buck et al., 2011). Dit productieproces wordt niet toegepast in Vlaanderen.

De productie van fluorpolymeren (GenX-proces) wordt toegepast in een Nederlands bedrijf. Het Belgische zusterbedrijf gebruikt in het buitenland geproduceerde fluorpolymeren en additieven om hier de formulering van coatings te doen, zie 'Coatings en gespecialiseerde chemicaliën' onder 3.2.2.

#### **Veel voorkomende/geproduceerde PFAS**

Historisch werd er PFOS en PFOA geproduceerd. Dit is momenteel vervangen door korte ketens PFAS (20-tal o.a. PFBS, perfluorketonen en amines, HFPO-DA). PFCA's kunnen door ECF of door telomerisatie geproduceerd worden. Vele substituten voor PFOS, PFOA en andere lange keten PFAA's, worden via telomerisatie geproduceerd, waaronder fluortelomeren als 6:2 FTS.

#### **Emissiepunten lucht**

Geleide emissies:

- Directe schoorstenen of via afzuigsystemen met zuiveringstechnieken, afhankelijk van eigenschappen en samenstelling gas (gaswassing + filter/demister, thermische oxidatie, actief kool adsorptie). Zie beschrijving van deze technieken onder 4.6.

Diffuse emissies:

- Deuropeningen e.d. in productiehallen;
- Lekverliezen

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Momenteel is er geen alternatief voor de polymerisatie hulpstof. Echter worden er reeds tests uitgevoerd met een alternatief bij een Nederlandse producent.

## **3.2.2 VOORNAAMSTE PFAS GEBRUIK IN DE PRODUCTIEPROCESSEN VAN EINDTOEPASSINGEN**

### **GALVANISATIE (VERCHROMEN)**

#### **Proces en veel gebruikte/voorkomende PFAS**

Bij galvanisatie werd PFOS vooral gebruikt als nevelonderdrukker bij het verchromen. Bij dit proces kan schadelijk chroom(VI) vrijkomen door nevelvorming afkomstig van de chroombaden. Om de werknemers te beschermen, werd PFOS toegevoegd om de nevelvorming te onderdrukken en vervolgens de emissies van chroom(VI) te vermijden. In theorie is het gebruik van PFOS enkel nog toegestaan voor niet-decoratieve hardverchroming met chroom(VI) indien men beschikt over een autorisatie, eventueel via de leverancier. In Vlaanderen wordt echter geen PFOS meer gebruikt bij hardverchroming, waarbij het gebruik van chroom(VI) nog slechts bij enkele bedrijven in Vlaanderen voorkomt. Echter kunnen er nog resten PFOS in de procesbaden aanwezig zijn. Sommige chroombaden worden namelijk nooit vervangen (Input leden BC, 2022). Momenteel wordt in de EU en in Vlaanderen de PFAS 6:2 FTS als belangrijkste alternatief voor PFOS als nevelonderdrukker toegepast. Alternatieven voor PFOS werken minder goed, waardoor grotere hoeveelheden/concentraties nodig zijn voor eenzelfde effectiviteit (Poulsen et al., 2020). De leverancier benadrukt dat op basis van hun studies over de stabiliteit van hun nevelonderdrukker in de oxidatieve chroombaden geen afbraak van het gebruikte product optreedt. Echter worden bij het gebruik van 6:2 FTS vaak andere kortere keten PFAS teruggevonden in de chroombaden en het spoelwater.

#### **Emissiepunten lucht**

Door het elektrolytisch proces worden er gasbelletjes gevormd in het chroombad waardoor deze kunnen zorgen voor de vorming van nevel. De temperatuur van het bad is typisch ook licht verhoogd op 40-50°C. Ondanks het gebruik van een nevelonderdrukker, bevestigt de leverancier ervan dat er nog een minimale mistvorming met de emissie van chroom(VI) kan optreden. De baden zijn daardoor vaak uitgerust met een afzuiging met eventueel een nabehandeling (voor zeswaardig chroom). Afhankelijk van de aard van de PFAS in het chroombad kunnen in meer of mindere mate PFAS emissies via meesleep door deze nevel/aerosolen, en waarschijnlijk beperktere mate via vervluchtiging, optreden.

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Fluor-vrije alternatieven (zowel chemische stoffen als technologie) zijn beschikbaar en reeds in gebruik (o.a. voor decoratieve en niet-decoratieve hardverchroming toepassingen). Dit heeft echter invloed op de effectiviteit, kwaliteit en bijkomende risico's. Een leverancier van nevelonderdrukkers geeft aan dat er lopend onderzoek is naar fluor-vrije alternatieven voor niet-decoratieve hardverchroming. Er zijn alternatieven ontwikkeld waarbij de nevel gevangen wordt onder een gevormde schuimlaag, maar deze stoffen waren niet stabiel genoeg om op lange termijn toegepast te worden in chroombaden. Het

gebruik van deze producten leidt tot een nood aan heel regelmatig doseren en zorgt uiteindelijk voor verlies van performantie van de coating door de vorming van afbraakproducten. Een andere leverancier bevestigt dat er sinds eind 2021 een PFAS-vrij alternatief op de markt is gebracht voor mistonderdrukkers voor hardverchroming (Leveranciersinformatie, 2022).

#### OPPERVLAKTEBEHANDELING VAN TEXTIEL, KLEDING, LEDER EN TAPIJT

##### Proces en veel gebruikte/voorkomende PFAS

Het grootste gerapporteerde gebruik van stoffen in de textiel sector zijn fluoropolymeren (voornamelijk PTFE), maar ook niet-polymeer PFAS en side-chain fluorinated polymers (polymeren met gefluoreerde zijketen). Kledij met waterafstotende coatings, zoals Gore-tex®, bestaat bijvoorbeeld uit:

- 1° Een ademende laag die PTFE polymeer bevat. Ondanks dat PTFE als inert beschouwd wordt, is de vrijstelling van PTFE monomeren tijdens productie (en door slijtage en tijdens de afvalverwerking) niet uitgesloten;
- 2° Een laag met polymeren met fluorhoudende zijketens als beschermende buitenlaag. Deze zijketens kunnen tijdens het dragen, slijtage en wassen als niet-polymeer PFAS worden vrijgesteld.

In het verleden gebruikte de lederindustrie voor de impregnatie EtFOSE polymeren (tot 15% van de massa) waarin PFOS (tot 2% van de massa) kon voorkomen als verontreiniging. Meer recent worden kortere keten (C4) alternatieven gebruikt zoals PFBS-gerelateerde polymeren (Hofman et al., 2022). In het verleden werd voor geperfluoreerde moleculen met een ketenlengte van 8 koolstoffen of langer vaak gesproken over perfluortensiden in deze sector, bijvoorbeeld in de BBT-studie voor de textielindustrie - Beperking van emissies van een aantal micropolluenten via het afvalwater (Derden et al., 2013).

In Vlaanderen werden vroeger spraytechnieken toegepast, voornamelijk bij tapijtbehandeling. Het is niet duidelijk in hoeverre dit nog het geval is, en of hierbij PFAS gebruikt worden. Navraag bij de Vlaamse sector leert dat bij minstens één bedrijf een C6 PFAS wordt toegepast via een schuimapplicatie in de ververij (exacte component niet gekend, niet medegedeeld door leverancier). Vermoedelijk gaat het om een precursor van PFAA's, omdat het bedrijf in de emissies voornamelijk pentaangebaseerde, dus C5 PFAS verwacht). Van andere via spray of schuimapplicatie toegepaste producten voor het afstoten van water-, vuil en vet is het niet geweten of er PFAS in voorkomen, enkel dat ze vrij zijn van PFOS. Deze processen vinden plaats in gesloten apparatuur.

De meeste behandeling van textiel met PFAS-houdende producten gebeurde en gebeurt in Vlaanderen echter door onderdompeling of door aanbrengen met rollen. Het aanbrengen gebeurt typisch in open baden (foulard) waarna het textiel doorgaans eerst mechanisch geperst wordt met opvang van product, en vervolgens gedroogd bij temperaturen van 80-180°C. Dit was bijvoorbeeld bij tapijten, nabehandeling van stukverf, of coaten van textiel voor matrassen (Derden et al., 2013). Het is niet steeds duidelijk in welke mate hierbij vandaag nog PFAS-houdende producten worden gebruikt, maar dit is vermoedelijk eerder beperkt, in het bijzonder bij kledij en tapijten, aangezien een aanzienlijk aantal bedrijven, zowel textielbedrijven als hun klanten, werken binnen eisen en beperkingen van marktlabels (OEKO-TEX, GUT, ...). OEKO-TEX klasse 1, bijvoorbeeld verplicht voor doeken voor baby's, is verplicht PFAS-vrij. Verder komen een aantal PFAS voor op MRSL (Manufacturing Restricted Substances List). C6 en C4 PFAS worden echter nog door een aantal bedrijven gebruikt, onder meer voor productie van technisch textiel, beschermkledij, filters, enz. Bevraging bij de Vlaamse sector leert dat C4 in mindere mate wordt gebruikt wegens gebrekkige performantie, en resterende toepassingen vooral C6 PFAS gebruiken, onder meer in de vorm van fluorcarbon-emulsies die gefluoreerde acrylaatverbindingen (fluoracrylaat copolymeren) bevatten, bijvoorbeeld voor automobielstoffen, militaire toepassingen, beschermkledij voor brandweer, politie, piloten enz., werkkledij (o.a. EN471), medische toepassingen, doeken voor waszakken en pilootjassen en andere specifieke ontwikkelingen die technisch textiel vereisen. Wat betreft de

filterdoeken die gebruikt worden als mitigerende maatregel voor diverse toepassingen en stoffen, niet enkel voor PFAS emissies, is één van de veelgebruikte basismaterialen PTFE, een PFAS polymeer (zie ook informatie in het REACH restrictievoorstel 2.4.3.3). Het is echter niet duidelijk of dit in Vlaanderen plaatsvindt. Verder worden ook fluorpolymeren voor automobielstoffen toegepast. C8 PFAS wordt enkel nog gebruikt voor enkele speciale toepassingen waarvoor nog toegestaan (bv. militaire toepassingen). Vanaf juni 2023 mag dit niet meer gebruikt worden, zo blijkt uit de bevraging. Er is verder geen informatie over huidig gebruik van niet-polymere PFAS met ketenlengte C8 of langer, dus vermoedelijk is overig gebruik ervan in Vlaanderen onbestaande of zeer uitzonderlijk.

Uit de bevraging blijkt een duidelijke uitfasering waar alternatieven beschikbaar zijn, zie ook hieronder. Verder besteedt minstens één bedrijf aandacht aan het “zo licht mogelijk” kiezen van het recept waar het gebruik van PFAS niet vermeden kan worden.

### Emissiepunten lucht

De bevraging bij de Vlaamse bedrijven maakt duidelijk dat de meeste toepassingen met dompelbaden (foulardbaden) open apparatuur zijn, waarbij, afhankelijk van de vluchtigheid van de PFAS-verbinding en de mogelijkheid tot vorming van aerosolen, diffuse emissies kunnen plaatsvinden. Het droogproces dat erop volgt in een gesloten droogoven bij verhoogde temperaturen van 80°C-180°C kan leiden tot geleide emissies van PFAS-verbindingen die bij omgevingstemperatuur maar beperkt vluchtig zijn. Fluorpolymeren worden geacht stabiel en niet-vluchtig te zijn bij deze verhoogde temperaturen, polymeren met etherverbindingen en met gefluoreerde zijketens zouden echter verder onderzocht moeten worden. Voor het behandelen van tapijt wordt een sprayapplicatie in gesloten apparatuur toegepast, waarbij geleide emissies mogelijk zijn, maar het is momenteel niet duidelijk of hierbij PFAS-bevattende producten worden gebruikt.

Voor textiel, tapijt en leder wordt ingeschat dat de voornaamste PFAS emissies plaatsvinden tijdens productie en gebruik (Pancras, 2021). Diffuse emissies van PFAS uit water- en vuilafstotende coatings in textiel, tapijt en leder zijn mogelijk (UNEP-POPs, 2017), alsook emissies door vervluchtiging of aerosolen uit afvalwater(zuivering).

### Mogelijke fluorvrije alternatieven (Lassen et al., 2015)

- a) Mogelijk voor water- en vuil afstotende eigenschappen (o.a. paraffine, dendrimeren, polysiloxanen, gemodificeerde melamine harsen of polyurethanen)
- b) Momenteel geen alternatieven voor olieafstotende eigenschappen en textiel dat meerdere functies biedt of aan bepaalde technische normen voor bescherming moet voldoen (technisch textiel, bv brandweer- en legerkledij). Wel mogelijk om de hoeveelheid te reduceren door toevoeging van "extenders" (gebaseerd op bijvoorbeeld hypervertakte en radiaal vertakte polyurethanen)

In de bevraging geven Vlaamse bedrijven problemen aan bij het gebruik van fluorvrije alternatieven, waaronder:

- Qua proces:

*“- Deze producten geven veel sneller problemen qua aanlading en bijhorende bevuiling op ons weefsel. Hierdoor is er vaker weefsel dat afgekeurd wordt door vlekken en voor verlies zorgt.*

*Tevens moeten we het weefsel voor behandeling vaak een extra spoelbeurt geven.*

*- De opbrengst van fluorvrije producten is vaak onegaler op het weefsel, waardoor het eindaspect minder mooi is.*

*- In combinatie met coaten of lamineren, zorgen fluorvrije producten voor een hoger risico op delaminatie.”*

- Qua weefsels:
  - “- Geen olie-afstoting mogelijk.
  - Geen chemische afstoting mogelijk.
  - De initiële waterafstoting is bij sommige weefsels beduidend lager.
  - Na wassen is de waterafstoting beduidend lager, waardoor herimpregnatie noodzakelijk is.
  - De touché van het weefsel is harder.
  - De brandwerendheid van het weefsel wordt verminderd.”

#### WASSERIJ EN DROOGKUIS VAN INDUSTRIËLE KLEDIJ

##### Proces en veel gebruikte/voorkomende PFAS

Er worden geen PFAS gebruikt bij het reinigen van kledij, maar de PFAS aanwezig in coatings op het textiel kunnen vrijkomen bij reiniging. Daarnaast is uit ervaringen bij textielbedrijven soms gebleken dat PFAS-verbindingen uit gebruikte vezels, dus niet enkel uit textielcoatings, kunnen vrijkomen (Input leden BC, 2022). Sommige wasserijen bieden ook diensten aan waarbij de technisch beschermende coating (vet- en zuurbestendig) opnieuw aangebracht wordt op technisch textiel, waarbij producten met PFAS gebruikt worden. In Vlaanderen zijn er wasserijen waarbij PFAS-emissies op deze manier vrijkomen. (Input leden BC, 2022)

##### Emissiepunten lucht

Emissies van bv. fluortelomeren (C6) naar afvalwater zijn mogelijk. Er zijn gevallen gekend waarin deze in een (biologische) waterzuivering door biotransformatie worden omgezet tot PFAA's, soms in aanzienlijke concentraties. Mogelijks is er ook sprake van diffuse emissies naar lucht uit de waterzuivering (zie ook 3.2.3.2) of afkomstig van sprays of eventuele behandelingsbaden voor aanbrengen van beschermende coatings, op analoge wijze als voor de (oorspronkelijke) behandeling van het textiel, zie vorige subtitel 'oppervlaktebehandeling van textiel, kleding, leder en tapijt'. Fluortelomeren en korte keten PFAS zijn immers relatief vluchtiger dan lange(re) keten PFAA's, zie 3.1.

##### Mogelijke fluorvrije alternatieven

Zie 'oppervlaktebehandeling van textiel, kleding, leder en tapijt'

#### OPPERVLAKTEBEHANDELING VAN PAPIER, VERPAKKINGSMATERIAAL EN GEPRINTE ZAKEN EN HET RECYCLEREN ERVAN

##### Veel gebruikte/voorkomende PFAS

De meerderheid van de gebruikte componenten zijn fluorgebaseerde surfactanten, waarvan de meeste als zuivere telomeren voorkomen of als telomeren in de zijketens van polymeren.

- Telomeer sulfonamides zoals perfluorooctyl sulfonamide;
- Sulfonzuren zoals perfluorbutaansulfonzuur;
- Fluortelomeeralcoholen (fosfaatdiesters, diPAP's) zoals (8:2 FTOH) difosfaat;
- Perfluoralkylfosfonzuren (PFPA's);
- Propion/butaandion/heptaanzuur esters en als zijketens van een polymeer;
- Polyacrylaten met pergefluoreerde zijketens;
- Fluorsiliconen/siloxanen.

Deze componenten werden en worden voornamelijk gebruikt in het veredelen (vuil- en vetafstotend maken) van papier. Er is geen kennis dat dit in Vlaanderen nu nog gebeurt, in het verleden werd het wel gedaan bij minstens één fabrikant. Papierverwerkers in Vlaanderen kopen veredeld papier aan in het buitenland. (Input leden BC, 2022)

Via inzameling en recyclage van oud papier en karton kunnen PFAS-houdende materialen als niet-intentionele verontreiniging bij producenten van pulp, papier en karton terecht komen, en dus leiden tot

mogelijke emissies, ook in Vlaanderen. Er is geen informatie gevonden over hoeveelheden of concentraties die via recyclage bij de producenten terechtkomen. Er is geen scheidingstechniek beschikbaar op industriële schaal voor deze PFAS-houdende materialen.

### Emissiepunten lucht

Emissies naar water en lucht bij papierrecyclage zijn niet uitgesloten. Geen informatie over mogelijke concentraties bij luchtemissies. Er zijn verschillende opwarm- en droogstappen in het proces voor papierproductie, waarbij luchtemissies kunnen vrijkomen. Ook door gebruik van verontreinigd grond- of oppervlaktewater zijn, net zoals bij vele andere sectoren en activiteiten, luchtemissies mogelijk, zie ook 3.2.4.

### Mogelijke fluorvrije alternatieven

Mogelijke alternatieven in de waardeketen:

- a) Natuurlijk vetbestendig papier
- b) Klei coatings
- c) Siliconen
- d) Biopolymeren
- e) Synthetisch plastic
- f) Waxen

Verdere informatie kan gevonden worden in het OESO rapport [PFASs and Alternatives in Food Packaging \(Paper and Paperboard\) Report on the Commercial Availability and Current Uses](#) (OECD, 2020).

## ELEKTRONISCHE INDUSTRIE

### Proces en veel gebruikte/voorkomende PFAS

PFAS worden gebruikt in zowel elektronische producten als componenten zelf om hun functionaliteit te verbeteren, evenals in het productieproces van die producten of componenten. Een grote verscheidenheid aan PFAS (niet-polymeer PFAS, fluorpolymeren en gefluoreerde zijketenpolymeren) wordt gebruikt in elektronica. Bijvoorbeeld in de productie van microelectronica (bv. halfgeleiders en chips) worden lichtgevoelige componenten gekend als PAG's (photoacid generators) gebruikt in gespecialiseerde coatings/solventen (Sun et al., 2012), ook bij minstens één bedrijf in Vlaanderen. Deze PAG's kunnen uiteenlopende componenten (veelal ionische verbindingen) zijn, afhankelijk van de gewenste fysische en chemische eigenschappen, en kunnen uiteenlopende PFAS, van C<sub>4</sub> PFAA's tot al dan niet-aromatische PFAS met hoog moleculair gewicht bevatten. Enkele voorbeelden zijn

- Bis(4-tert-butylphenyl)iodonium perfluoro-1-butanesulfonate, CAS 194999-85-4
- Triphenylsulfonium perfluoro-1-butanesulfonate, CAS 144317-44-2
- Triphenylsulfonium triflate, CAS 66003-78-9

Nieuwere generatie PAG's zijn vaak iets complexer, zowel het gedeelte dat bij uiteenvallen het kation vormt als het gedeelte dat het anion vormt. Er is online informatie over beschikbare photoacid generators, bijvoorbeeld via de website van leveranciers (bv. Sigma-Aldrich). Ook in andere toepassingen in de halfgeleiderindustrie zoals surfactantia, koelvloeistof (warmte-overdrachtsvloeistof), etsoplossingen/etsgassen (zoals C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>, CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> en CHF<sub>3</sub>), resisten en antireflectieve coatings.

Door hun diëlektrische en brandvertragende eigenschappen kunnen PFAS gebruikt zijn in, of als coating op, printplaten en als diëlektrische vloeistof. In condensatoren kunnen fluorpolymeren gebruikt zijn. PVDF is gebruikt als piëzo-elektrisch materiaal in akoestische apparatuur. LCD-schermen (Liquid Crystal Display) kunnen gefluoreerde componenten bevatten als onderdeel van de kristalstructuur. Er is een grote diversiteit aan kabels en geleiders met PTFE of een ander fluorpolymeer. Bepaalde hoge-efficiëntie



brandstofcellen bevatten perfluorvinylether-PTFE copolymeren als membraan, en fluoropolymeren worden gebruikt voor afdichtingen. Batterijen kunnen ook PFAS bevatten, zoals PVDF in lithium-ion batterijen, of diverse fluoropolymeren als het elektrolyt als vervanging voor hexafluorfosfaat. PFAS-houdende coatings zijn verder gebruikt in verschillende elektronische apparatuur, waaronder zonnepanelen, beeldschermen, luidsprekers, aanraakschermen en plasma nano-coatings.. Sommige solventen en reinigingsmiddelen in de sector bevatten perfluorkoolwaterstoffen. PFAS kunnen ook gebruikt worden in testprocessen van elektronica. Meer informatie is te vinden in 'Check your tech', opgemaakt door WSP voor ChemSec (Lay et al., 2023).

### **Emissiepunten lucht**

Er is weinig informatie bekend over emissies naar lucht. De toepassing van PAG's vindt plaats in gesloten apparatuur in cleanrooms, om contaminatie van buitenaf aan gevoelige componenten te vermijden. Vermoedelijk zijn de emissies naar de lucht beperkt, maar verder onderzoek is aangewezen om na te gaan in welke mate PFAS componenten zich verdelen tussen afvalwater en luchtmissies. Etsgassen worden wegens hun vluchtig karakter gezien als mogelijke bron van luchtmissies van F-gassen. Voor de emissiepunten van deze zure dampen en gassen worden in een Vlaams halfgeleiderbedrijf natte scrubbers gebruikt en voor de procestoestellen die gebruik maken van etsgassen worden point-of use abatement systemen (gasbehandelaars) gebruikt om de etsgassen zoveel mogelijk uit de emissiestromen te verwijderen. Een ander Vlaams halfgeleiderbedrijf stelt dat het voor haar productie geen grondstoffen gebruikt die PFAS bevatten, maar er wel onderdelen van toestellen zijn die PFAS (bv. tefloncoating) bevatten. Het bedrijf stoot wel F-gassen zoals  $CF_4$ ,  $C_2F_6$ ,  $C_4F_8$ ,  $CHF_3$  en  $CH_3F$  uit, dus vermoedelijk werd het begrip PFAS beperkter geïnterpreteerd dan in deze BBT-studie. Voor de F-gassen beperkt het bedrijf de emissies door de "combinatie verbranden en wassen met loog" en de "combinatie plasmatoestel/absorptiekolom". (navraag Vlaamse bedrijven, 2023)

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Er zijn enkele alternatieven mogelijk voor deze industrie, waaronder bv. EPDM en siliconenrubbers als alternatief voor fluorelastomeren bij afdichtingen en siliconenmaterialen als alternatief voor draadisolatie. Er zijn geen fluorvrije alternatieven gekend voor gespecialiseerde coatings (PAG's) voor productie van halfgeleiders en chips. Deze producten worden ingezet in een context met extreem kleine technische foutmarges, wat het toepassen van alternatieven uitdagender maakt. Voor printplaten zijn er mogelijke alternatieven, maar hierbij is herontwerp van onderdelen noodzakelijk, waardoor substitutie voor reserve-onderdelen moeilijk is. Voor condensatoren zijn verschillende alternatieve polymeren mogelijk. Voor lithium-on batterijen en hoge-efficiëntie brandstofcellen zijn alternatieven onvoldoende ontwikkeld. Voor verschillende coatings zijn alternatieven beschikbaar, maar deze zouden onvoldoende zijn voor bv. aanraakschermen. Voor verschillende solventen zijn alternatieven beschikbaar.

## **COATINGS EN GESPECIALISEERDE CHEMICALIËN**

### **Proces en veel gebruikte/voorkomende PFAS**

PFAS werden/worden toegepast in (productie van) coatings (inkten, verven, vernissen...). Er is beperkte kennis dat PFAS worden gebruikt bij formulatie door producenten in Vlaanderen, en dit is vermoedelijk enkel bij een beperkt aantal bedrijven en producten. Er worden in Vlaanderen verschillende PFAS-houdende coatings geformuleerd en geproduceerd op basis van fluoropolymeren voor onder andere de productie van coatings voor kookgerei, bakplaten, auto-onderdelen en voor medische en farmaceutische toepassingen. Over de industriële toepassing van deze coatings door Vlaamse bedrijven is slechts weinig informatie beschikbaar. Er is ook minstens één bedrijf in Vlaanderen dat mengsels met PAG's formuleert (zie 'elektronische industrie') in cleanrooms in gesloten apparatuur onder een stikstofatmosfeer. De producten kunnen een grote verscheidenheid aan PFAS bevatten, afhankelijk van de gewenste eigenschappen. Dit kunnen o.a. ionische verbindingen met de PFAS component als anion zijn, of polymeren zijn. De hoeveelheden en concentraties zijn klein, van <0,001% surfactant tot enkele % in het product.



### **Emissiepunten lucht**

Emissies bij het mengen/formuleren van coatings en gespecialiseerde chemicaliën zijn vermoedelijk heel beperkt, maar er is slechts weinig over geweten.

De productie (formulatie) van gespecialiseerde coatings/chemicaliën kan gebeuren in atmosferische ketels. In een bepaald bedrijf werd de productiehoeveelheid (waar de beperkte emissies van de atmosferische ketels uitkomen) uitgerust met een ventilatiesysteem die eventuele gevaarlijke stoffen (poeders zoals pigmenten, of solventdampen), die bij het laadproces vrijkomen, onmiddellijk evacueert naar de buitenlucht. Dit ventilatiesysteem is voorzien van een stoffilter.

De productie van bepaalde types solventgebaseerde producten die PFAS bevatten, bv. voor productie van elektronica, vindt plaats in gesloten apparatuur onder een stikstofatmosfeer in een cleanroom (klasse 100). Het bedrijf schat in dat er minimale emissies mogelijk zijn, eventueel op het moment dat de apparatuur wordt bijgeladen. Er is ruimte-afzuiging aanwezig, die over een actief koolfilter geleid wordt met het oog op eventuele solventemissies. Er worden geen detecteerbare hoeveelheden solvent aangetroffen in de emissies.

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Er zijn potentiële fluorvrije alternatieven voor diverse coatings, maar mogelijk niet voor alle toepassingen, zoals in de medische sector of voertuigsector, en de productie van elektronica.

## **COSMETICA**

### **Proces en veel gebruikte/voorkomende PFAS**

PFAS werden/worden toegepast voor het waterafstotend maken van crèmes (bv. huidcrèmes of zonnebrandcrème), in sprays, en als oplos- of bewaarmiddel. Er is geen kennis dat er op dit moment PFAS worden gebruikt bij formulatie van cosmetica door producenten in Vlaanderen.

### **Emissiepunten lucht**

Geen gekende emissiepunten bij productiebedrijven in Vlaanderen.

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet specifiek onderzocht voor de BBT-studie, maar vermoedelijk zijn er fluorvrije alternatieven voor alle cosmetica.

## **3.2.3 AFVALVERWERKING EN WATERZUIVERING**

### **3.2.3.1 THERMISCHE VERWERKING**

#### **ALGEMEEN**

Verbranding en pyrolyse van afvalstoffen zijn enerzijds belangrijke processen om PFAS, geheel of gedeeltelijk, af te breken. Anderzijds, indien de PFAS moleculen niet volledig afbreken, kunnen (ultra-) korte keten PFAS, of F-gassen met belangrijke broeikasgasimpact, gevormd worden uit langere ketens en polymeren, of eindstandige PFAS (bv. PFAA's) uit precursoren. Type en concentratie aan gevormde afbraakproducten zijn afhankelijk van de temperatuur, zuurstofbeschikbaarheid, verblijftijd, fysieke staat van het product, katalyst, ... (EPA, 2020). In de praktijk wordt vaak gefocust op temperatuur, verblijftijd en turbulentie. In het algemeen zijn de kleinste en meest gefluoreerde moleculen het moeilijkst afbreekbaar. Een belangrijk mogelijk afbraakproduct is dus het F-gas  $CF_4$ . Andere zogenaamde "Products of Incomplete Combustion" die kunnen gevormd worden zijn bv.  $\cdot CHF_2$ ,  $C_2F_6$ ,  $\cdot CF_3$ ,  $CF_3COOH$ ,  $\cdot CH_2F$ ,...

Temperaturen en omstandigheden waarbij PFAA's afbreken en volledig mineraliseren<sup>18</sup> is een domein van actief onderzoek. Meer informatie over verbranding van PFAS-houdende afvalstoffen, en over effectiviteit bij bepaalde temperaturen en procesomstandigheden, is te vinden op o.a. de website van van Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC)<sup>19</sup>, en in recent literatuuronderzoek van Hofman en Berghmans (2021) in opdracht van OVAM. De bevindingen in dit rapport vermelden onder meer dat bij verbranding (vb afvalverbrandingsovens) een goede afbreekbaarheid wordt waargenomen van target PFAS (PFOS/PFOA) bij 1000°C en 2 seconden verblijftijd<sup>20</sup>. Hierbij wordt ook corrosief HF en CO/CO<sub>2</sub> gevormd dat moet worden geneutraliseerd door middel van een base, bv. Ca(OH)<sub>2</sub>. Volgens het rapport is de moeilijkst afbreekbare PFAS component CF<sub>4</sub>, dat pas degradeert bij 1440°C. Roesch et al. (2020) beschrijven dat in afwezigheid van bronnen van waterstof, onvolledige afbraak van PFAS plaatsvindt op temperaturen tussen 200°C en 800°C, met vorming van kortere, meer vluchtige PFAS.

De relatieve stabiliteit van PFAA's, en PFAS in het algemeen, wordt ook mede bepaald door de specifieke functionele groep verbonden aan de fluoroalkyl staart. PFCA's (carboxylzuren) en PFSA's (sulfonzuren) zijn de meest thermisch stabiele gefluoreerde surfactantia. In het algemeen zijn zouten van dergelijke PFAA's minder thermisch stabiel, en de mate waarin hangt af van welk kation een tegenion is. De stabiliteit van bv. natriumzouten is lager dan die van lithiumzouten. Zouten van PFSA's zijn stabielere dan de overeenkomstige zouten van PFCA's (ITRC, 2022). Mogelijk kunnen lagere temperaturen gebruikt worden bij de thermische destructie van PFAS als bv. calcium wordt toegevoegd of aanwezig is. Dit werd onder andere aangetoond bij FTOH's waar calciumoxide (CaO) wordt toegevoegd. Geen PFAS bijproducten werden gevormd boven 600°C (600-800°C) in nabijheid van CaO. Door toevoeging van calcium wordt het vrijgekomen fluor gemineraliseerd naar het vrij inerte calcium fluoride (CaF<sub>2</sub>) (Riedel et al., 2021). Ook Wang et al. (2015) onderzochten toepassing van diverse calcium componenten (CaO, CaCO<sub>3</sub> en Ca(OH)<sub>2</sub>) om PFAS te destrueren bij lagere temperaturen (<600°C). Hierbij werd vastgesteld dat calcium hydroxide het meest effectieve additief was voor mineralisatie omdat de koolstof-fluor binding omgezet kan worden tot een koolstof-waterstof binding via een hydrodefluorinatiereactie. PFSA's bleken meer stabiel dan PFCA's bij behandeling met calcium. De bevindingen van Wu et al. (2019) liggen in dezelfde lijn. Zij stellen dat toename van pH, door toevoeging van bv. NaOH, de belangrijkste factor is voor mineralisatie van PFOS.

Watanabe et al. (2015) vonden een verhoogde mineralisatie (destructie) van PFOA, PFOS en PFHxA bij 700°C wanneer geadsorbeerd op granulair actief koolstof (GAC) en in bijzijn van NaOH. Volgens de auteurs beperkt het GAC de vervluchtiging van PFAS, terwijl het NaOH de destructie faciliteert en het gemineraliseerd fluor op het GAC oppervlak vastzet. Naast het beperken van de vervluchtiging, alsook de aanwezigheid van waterstofgas, kan de structuur van het koolstof de thermolyse katalyseren. Het polyaromatische oppervlak vormt hierbij mogelijk een elektronenshuttle (Baghirzade et al., 2021; Sasi et al., 2021). Kortere keten PFAS zoals HFPO-DA en PFBA worden bij thermische reactivatie afgebroken bij relatief lage temperaturen (175°C voor HFPO-DA en 475°C voor PFBA), maar het moet verder onderzocht worden welke afbraakproducten hierbij gevormd worden (Baghirzade et al., 2021; Sasi et al., 2021).

Ook de aanwezigheid van water bij hoge temperaturen zou de afbraakreacties bevorderen, via hydrothermale afbraak. De wetenschappelijke literatuur hierover is eerder beperkt. Sommige bronnen vermelden vorming van CO en H<sub>2</sub> bij hoge temperaturen in aanwezigheid van organisch materiaal en water, waarbij het H<sub>2</sub> kan reageren met de C-F binding, met vorming van HF (Input leden BC, 2022). Andere bronnen beschrijven een toename in hydroxyl radicalen (·OH) die zorgen voor een toename in

<sup>18</sup> Zie Begrippenlijst

<sup>19</sup> Beschikbaar via [PFAS — Per- and Polyfluoroalkyl Substances \(itrcweb.org\)](https://itrcweb.org/). Zie '4 Physical and Chemical Properties'.

<sup>20</sup> Dit is nog onderwerp van verder onderzoek. Verder is er discussie over wat 'goede' afbreekbaarheid betekent, en over welk rendement gehaald kan of moet worden.

afbraak van chloorfluorkoolstofverbindingen (Ryan et al., 1993). US EPA (2020) geeft dan weer aan dat de sterkte van de C-F binding maakt dat de reactie met hydroxyl radicalen onwaarschijnlijk is, en schuift waterstofradicaal naar voren als de kandidaat om met het koolstofgebonden fluor te reageren. Een recente review door Li et al. (2022) besluit dat >99% afbraak en >60% mineralisatie (defluorinatie) haalbaar is door subkritische en superkritische waterbehandeling.

Naast oxidatieve afbraak, is ook reductieve afbraak van PFAS mogelijk. Verder is er mechanochemische afbraak mogelijk, waarbij chemische oxidatie- of reductiereacties worden bevorderd door mechanische bewerking van de matrix. Voor meer informatie wordt verwezen naar de review van Roesch et al. (2020).

Veel van het onderzoek is experimenteel op labo- of pilotschaal. Het is daarom aangewezen de bevindingen uit de literatuur te valideren en meer concreet te onderzoeken op industriële schaal, en voor veranderlijke afvalstromen en procesomstandigheden, zie 6.3. Hierbij dient niet enkel gekeken te worden naar afbraak van target PFAS, maar ook naar welke afbraakproducten gevormd worden, en of volledige mineralisatie plaatsvindt.

PFAS is aanwezig in afval van diverse productie en producten (inclusief producten die stopgezet zijn, maar nog in afvalfase terechtkomen), bv. bij:

- Verbranding van slib van rioolwaterzuivering verontreinigd met PFAS;
- Verbranding van met PFAS verontreinigde gronden;
- Afvalverbrandingsovens voor industrieel en huishoudelijk afval dat PFAS bevat;
- Bodembehandeling door thermische desorptie/secundaire verbranding;
- Cementovens die PFAS-houdend afval en afvalwater verwerken (zie cementovens).
- Thermische regeneratie/reactivatie van actief kool verontreinigd met PFAS.

#### AFVALVERBRANDING EN AFVALMEEVERBRANDING

##### Proces en veel voorkomende PFAS

Verbranding wordt gedefinieerd als de destructie (mineralisatie) van pollutanten door middel van warmte in de aanwezigheid van zuurstof. De warmte wordt rechtstreeks in contact gebracht met de vloeibare of vaste afvalstromen in een verbrandingsinstallatie. Er zijn verschillende uitvoeringen van verbrandingsovens die gebruikt worden voor afvalverbranding zoals roosterovens, wervelbedovens en draaitrommelovens. Parameters die hierbij belangrijk zijn om een hoge destructie-efficiëntie te bereiken zijn verbrandingstemperatuur, verblijftijd en turbulentie. Typische waarden die hier gehanteerd worden zijn 600 – 1000°C en 2 – 4 seconden verblijftijd voor vloeibare afvalstromen en 1 - 1,5u verblijftijd voor vaste afvalstromen (EPA, 2020; Winchell; 2021). De verschillende type ovens hebben elk hun eigen typische mogelijkheden op vlak van deze parameters. De afgassen van verbranding doorlopen een uitgebreide rookgaszuivering, bij de draaitrommelovens in Vlaanderen gaat het om een naverbrander (minstens 2 seconden op 950°C), elektrostatische precipitator (stofverwijdering), gaswassers (verwijdering van gasvormige componenten) en actief koolfilter ('polishing' van de afgassen, verwijderen van laatste organische componenten, in de praktijk voornamelijk gericht op dioxinen en furanen).

Ook andere afvalstromen met verhoogde concentraties PFAS, die strikt genomen niet als POP-houdend beschouwd worden, worden in een draaitrommeloven op eenzelfde manier als POP-houdende stromen behandeld. Hierbij wordt typisch een grens van 50 mg PFAS/kg afval gehanteerd, in lijn met de huidige grenswaarde voor PFOS en derivaten. PFAS-houdende producten komen echter ook terecht in de roosterovens en wervelbedovens, typisch in afvalstromen met lagere concentraties PFAS, bv. via huishoudelijk afval of ongevaarlijk industrieel afval (Input leden BC, 2022). In Vlaanderen vindt de verbranding van huishoudelijk en ongevaarlijk afval in roosterovens plaats (minstens 2 seconden op 850°C) (Input leden BC, 2022). De verbranding van o.a. (RWZI)-slibs (vaak samen met vast, ongevaarlijk afval) gebeurt hoofzakelijk in wervelbedovens (minstens 6 seconden bij 830°C). Het gebeurt ook dat RWZI-slibs mee verwerkt worden op roosterovens, al is dit wel eerder de uitzondering. Wervelbedovens

kunnen daarnaast ook (hoogcalorisch) en ander bedrijfsafval of gemengd stedelijk afval verwerken. (Input leden BC, 2022).

Naast de destructie van een breed gamma polluenten, is verbranding eveneens een gevestigde techniek voor de specifieke destructie van PFAS in vaste en vloeibare afvalstromen (TRL 8-9). Bovendien wordt op het moment van schrijven verbranding beschouwd als het meest efficiënte destructieproces voor PFAS (Hofman & Berghmans, 2021) dat op grote schaal wordt toegepast in Vlaanderen. In Vlaanderen zijn er verschillende cases waar (een fractie van) afvalstromen afgevoerd worden voor verbranding. Hoewel afvalverbranding een gevestigde techniek is, is deze niet noodzakelijk afgestemd op het optimaal of zo verregaand mogelijk afbreken van PFAS moleculen.

De verbranding van gevaarlijke afvalstoffen wordt uitgevoerd in draaitrommelovens, die de hoge verbrandingstemperaturen van meer dan 1000°C, die noodzakelijk zijn om PFAS af te breken, kunnen garanderen. Er zijn namelijk indicaties dat roosterovens minder geschikt zijn voor de verbranding van vloeibare en vaste stromen (Input leden BC, 2022; Riegel et al., 2020). Voor afvalstromen met concentraties van PFOS en derivaten van meer dan 50 mg/kg moet volgens de POP-verordening de vernietiging of onomkeerbare omzetting van de POP's verzekerd worden, en is dit slechts toegelaten met de behandelingen en met de beperkingen vernoemd in bijlage V van de verordening. Verbranding (D10) is één van de geschikte behandelingen vermeld in bijlage V van de verordening (ECHA, 2022b).

Winchell et al. (2020) geven een overzicht van noodzakelijke temperaturen en condities om efficiënt PFAS af te breken (Tabel 3).

**Tabel 3: Overzicht van noodzakelijk verbrandingstemperaturen en condities voor de destructie van PFAS op basis van recente literatuur (Winchell et al., 2020).**

SOURCE	TEMPERATURE NOTED	COMMENTARY
Pancras et al. (2016)	1,000–1,200°C	High-temperature incineration is required for complete PFOS degradation
Kucharzyk et al. (2017)	1,000°C or greater	High-temperature incineration is required to destroy PFAS adsorbed to spent activated carbon
USEPA (2020c)	1,000°C	Studies found PFOA is removed to nondetect levels using laboratory-scale combustion experiments
UNEP (2019a)	1,100°C	Combustion at hazardous waste incineration process parameters (2 s residence time at temperature) is the most appropriate way to handle PFOS waste
Ross et al. (2018)	1,100°C	High temperatures are required for destruction of gas-phase PFAS
ITRC (2020)	1,000°C or greater	PFAS destruction can be achieved at high temperature

Bij de mineralisatie (volledige destructie<sup>21</sup>) van PFAS wordt de volledige molecule gedefluoreerd en omgezet naar o.a. HF, CO/CO<sub>2</sub>, water en/of zwavel moleculen (Longendyke et al., 2022). Afhankelijk van de aard van de PFAS zijn over het algemeen temperaturen boven de 1000 – 1200 °C voldoende om deze te mineraliseren. Echter werd vastgesteld dat verschillende PFAS niet in dezelfde mate worden afgebroken bij éénzelfde verbrandingstemperatuur (Hofman & Berghmans, 2021). Over het algemeen wordt onderstaande volgorde van thermische stabiliteit verondersteld (Bakker et al., 2021):

<sup>21</sup> Zie begrippenlijst

PFCS<sup>22</sup> > PFSA's > PFCA's > PFECA's<sup>23</sup> > FTOH's > PFASA's<sup>24</sup>

Op basis van enkele concrete voorbeelden kan onderstaande volgorde worden gesteld:

CF<sub>4</sub> > C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> > PFOS > PFOA > 6:2 FTOH > PFOSA

CF<sub>4</sub> is de meest thermisch stabiele component waarvoor temperaturen van 1440 °C bij 1s verblijftijd nodig zijn om deze voor 99,99% af te breken. Voor C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> is dit 961°C. Echter treedt er reeds degradatie van beide parameters op bij lagere temperaturen van respectievelijk 1100°C en 750°C (Bakker et al., 2021). De toevoeging van additieven zoals calcium voor de neutralisatie van HF kan zorgen voor zowel een snellere mineralisatie als een verlaging van de benodigde destructietemperatuur (Hofman & Berghmans, 2021; Tow et al., 2021). Over het algemeen wordt aangenomen dat met de geschikte verbrandingsinstallaties een destructie- en verwijderingsefficiëntie voor target PFAS van >99,99% kan bereikt worden (Hofman & Berghmans, 2021), en dit voor zowel lange als korte keten PFAS (Input lid BC, 2022). Belangrijk hierbij is een onderscheid te maken tussen target destructie en volledige destructie. Target destructie is de transformatie van de originele PFAS component waardoor deze specifieke PFAS component in concentratie afneemt of niet meer detecteerbaar is. Volledige destructie<sup>25</sup> betekent mineralisatie of volledige defluorering van PFAS waarbij enkel CO/CO<sub>2</sub>, HF en water wordt gevormd (Longendyke et al., 2022). Binnen het begeleidingscomité is geen eensgezindheid of HF, CF<sub>4</sub> en andere ultrakorte PFAS al dan niet geschikte indicatormoleculen zijn voor beoordeling van thermische destructie, zie ook aanbevelingen voor verder onderzoek (6.3.1).

Leden van het begeleidingscomité geven aan dat kostprijs en capaciteit van afvalverbranding mogelijke knelpunten zijn. Door de hoge kosten geassocieerd met deze techniek is het aangeraden om, in het geval van vloeibare afvalstromen, concentrerende voorbehandelingstechnieken (zie BBT-studie voor de zuivering met PFAS belast bedrijfsafvalwater en bemalingswater) toe te passen om het volume van de PFAS-houdende stromen die verbrand moeten worden te verkleinen (Riegel et al., 2020). Een laag watergehalte en een hoog BTU-gehalte (British Thermal Unit) zijn dus gewenst. Ionenuitwisselingsharsen hebben een BTU-gehalte van ongeveer 26.666 BTU/kg, terwijl GAC een BTU-gehalte heeft van 8.888 BTU/kg (Coyle et al., 2021).

De milieu-impact voor verbranding van PFAS-houdende afvalstromen wordt hoofdzakelijk bepaald door het transport, de verbranding zelf, de afgasbehandeling en de mogelijke bijkomende brandstof nodig om de verbranding te ondersteunen. De verbranding van PFAS-houdende afvalstromen is een energie-intensief proces dat geassocieerd wordt met emissies zoals CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dioxines, zware metalen en HF, maar potentieel ook PFAS-degradatieproducten die niet volledig gemineraliseerd zijn (ITRC, 2020; Input leden BC, 2022; Riegel et al., 2020). Op het moment van schrijven is de volledigheid van de mineralisatie van PFAS en potentieel gevormde restproducten nog niet volledig gekend (Hofman & Berghmans, 2021; ITRC, 2020; Input leden BC, 2022).

### Emissiepunten lucht

Emissies bij verbranding van afvalstoffen zijn voornamelijk afhankelijk van temperatuur, verblijftijd en turbulentie. Voor POP-houdende afvalstoffen gelden bepaalde wettelijke vereisten inzake verwijderings- en destructie-efficiëntie, zie 2.4.3.2.

<sup>22</sup> Volledig gefluoreerde perfluoralkyl verbindingen

<sup>23</sup> Per- en polyfluoralkylethercarbonsuren

<sup>24</sup> Perfluoralkylsulfonamides

<sup>25</sup> Zie ook begrippenlijst



Er zijn voornamelijk geleide emissies mogelijk door vrijzetting uit afvalstoffen die verbrand worden, omzetting van precursoren en gedeeltelijke degradatie van gefluoreerde polymeren en lange(re) ketens tot korte(re) ketens. Zie sectie 'Algemeen' hierboven voor een meer gedetailleerde beschrijving.

Bij onvolledige afbraak/mineralisatie<sup>26</sup> worden kortere keten PFAS als bijproducten gevormd die in de bodemassen, vliegassen of afgassen terecht kunnen komen. De belangrijkste bijproducten die ontstaan bij hoge temperaturen (>800°C) die in de literatuur vermeld worden zijn: CF<sub>4</sub>, CHF<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>6</sub>, TFA, en andere ultrakorte en korte keten PFAS (Bakker et al., 2021; Hofman & Berghmans, 2021; Longendyke, et al., 2022). Bakker et al. (2021) en Hofman et al. (2022) gaan dieper in op de aard en samenstelling van deze gevormde bijproducten. Het type en concentratie aan gevormde bijproducten is afhankelijk van temperatuur, zuurstofbeschikbaarheid, verblijftijd, katalysatoren, etc. Indien hoge concentraties PFAS behandeld worden, kunnen eveneens spoorconcentraties van de originele PFAS worden geëmitteerd (Hofman & Berghmans, 2021). Bijkomend onderzoek is nodig om de aard en samenstelling van de gevormde bijproducten en de condities waarin deze gevormd worden verder te bepalen.

Bijkomende afgasbehandeling is noodzakelijk om de emissies van dergelijke PFAS degradatieproducten te beperken. Sommige van de gevormde bijproducten zoals CF<sub>4</sub> en C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> zijn zeer krachtige broeikasgassen met global-warming potential van 5700 en 11900, respectievelijk (Hofman & Berghmans, 2021; Wanninayake, 2021). Bij de volledige destructie van PFAS wordt de volledige molecule gedeefluoreerd en omgezet naar bv. HF en CO/CO<sub>2</sub>. Het gevormde HF wordt vaak via een nabehandeling met basen geneutraliseerd. Het gevormde CO<sub>2</sub> kan verwijderd worden via scrubbers in de afgasbehandeling (Hofman et al., 2022; Hofman & Berghmans, 2021).

#### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing.

### **CEMENTOVENS**

#### **Proces en veel voorkomende PFAS**

Cementovens zijn lange, cilindrische en hellende ovens die worden gebruikt voor het omzetten van grondstoffen in cement. In deze ovens wordt het 'PFAS-houdend' afval niet aan de massa toegevoegd, maar rechtstreeks geïnjecteerd in de vlam of "main burner". Hierdoor kan een verblijftijd van 2 seconden bij 1400 - 2000°C gegarandeerd worden.

Aan de koude invoerzijde (toevoeging aan de massa), waar ook afvalstoffen worden gevoed, is de temperatuur lager. Terwijl het materiaal door de oven beweegt, passeert het verschillende temperatuurzones. (EPA, 2020). Doordat deze massa geleidelijk opwarmt, is de koude invoerzijde niet geschikt voor 'PFAS-houdend' afval, dat onder deze omstandigheden zou kunnen vervluchtigen en/of slechts gedeeltelijk afbreken en via de rookgassen meegevoerd worden.

Er is geen verbranding door cementovens in Vlaanderen, maar POP-houdend en gelijkaardig 'PFAS-houdend' afval (zie vorige paragraaf) wordt wel afgevoerd naar cementovens bv. in Wallonië. Bij minstens één bedrijf worden op het moment van schrijven rechtstreeks in de vlam injecteerbare afvalstromen aanvaard tot 8.000 ppm (8.000 mg/kg) fluorcomponenten.

PFAS-houdend brandbluswater, actieve kool, en fijne fractie van reinigen grond zijn belangrijke bronnen, maar ook slib afkomstig van riolering en waterzuiveringsinstallaties kan als alternatieve brandstof dienen (EPA, 2020; Input leden BC, 2022).

<sup>26</sup> Zie ook begrippenlijst

Het fluor aanwezig in de PFAS wordt omgezet tot HF. Vervolgens reageert het HF vrij snel tot  $\text{CaF}_2$  en  $\text{CO}_2$ . PFAS wordt zo rechtstreeks verwerkt in de grondstoffen. Hierdoor is er geen toevoeging van kalk nodig. Er moet wel gekeken worden naar het risico of onvolledig afgebroken PFAS in het product terecht kunnen komen, zie 6.3. (Input leden BC, 2022).

Vloeibare afvalstoffen kunnen rechtstreeks geïnjecteerd worden (geen voorbehandeling). Wat de vaste afvalstromen betreft is er een fijne, homogene stroom nodig voor injectie. Eventueel is hier een voorbehandeling nodig, zoals bijvoorbeeld vermenging van actief kool met zaagsel. De voorbehandeling zal er dus uit bestaan een meer geconcentreerde stroom aan te leveren, dan een grote bulk aan verontreinigd grond of groot volume afvalwater. De jaarlijkse capaciteit van een bepaald bedrijf is 10.000 ton voor afvalwater met PFAS, 20.000 ton voor grond slibben van grondreiniging en ongeveer 30.000 ton voor actieve kool of harsen die gebruikt waren om PFAS op te vangen. (Input leden BC, 2022).

Voor cementovens kan het BTU-gehalte van verbruikte GAC de brandstofbehoefte -compenseren. In tegenstelling tot de meeste verbrandingsinstallaties, waar de primaire verbranding indirecte verbranding is, worden cementovens direct gestookt. Aldus draagt de verwarming van de oven, als gevolg van verbranding van de GAC, bij aan het verminderen van de brandstofbehoefte (Coyle et al., 2021). Co-verbranding kan een veelbelovende verwerkingstechniek zijn voor PFAS-houdend media, omdat het (theoretisch) de juiste voorwaarden biedt voor PFAS-vernietiging (EPA, 2020).

#### **Emissiepunten lucht**

Op het eerste zicht geeft deze verwerking positieve resultaten, met emissies van fluorwaterstof  $<1 \text{ mg/m}^3$ . Beperkte meetresultaten van een meting op een moment dat er nog geen gevalideerde meetmethode beschikbaar was, wijzen op een vergaande verwijdering tot onder de detectielimiet ( $< 2,8 \text{ ng/Nm}^3$  droog) voor target PFAS (componenten op de lijst CMA/3/D van VITO, versie november 2021) (Input leden BC, 2022). Het is niet bekend in welke mate PFAS-bevattende afvalstoffen werden meeverbrand op het ogenblik van de metingen. Het is niet bekend welke meetmethode werd gevolgd.

#### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing.

### **REACTIVATIE EN REGENERATIE ACTIEF KOOL**

#### **Proces en veel voorkomende PFAS**

Actief kool wordt ingezet bij zuivering van drinkwater, en van diverse afvalwaters (zie ook de parallel lopende BBT-studie over PFAS waterzuiveringstechnieken) en afgassen voor het verwijderen van organische componenten via adsorptie. PFAS kunnen bedoeld of onbedoeld geadsorbeerd zijn op verzadigd actief kool dat wordt aangeboden voor reactivatie. Bij thermische reactivatie van het actief kool worden via een pyrolyse proces, dus bij lage zuurstofconcentratie, de PFAS moleculen van het actief kool gedesorbeerd en afgebroken bij hoge temperatuur ( $900^\circ\text{C}$  à  $950^\circ\text{C}$  tot  $1200^\circ\text{C}$ ) met de vorming van HF,  $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{CaF}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . Ook bij dit proces zijn er naast temperatuur nog andere factoren zoals verblijftijd, turbulentie en chemische omstandigheden die de afbraak van PFAS beïnvloeden (Input leden BC, 2022). De rookgassen worden gereinigd met een naverbrander, gaswasser en doekenfilter. Reactivatie is zeer verschillend van regeneratie, waarbij met stoom of heet stikstofgas de organische componenten worden verwijderd van het actief kool. Doordat reactivatie plaatsvindt bij veel hogere temperaturen, is er een impact op de thermische afbraak. De begrippen worden echter door elkaar gebruikt, en soms is er sprake van 'thermal regeneration' (Baghirzade et al., 2021; Chemviron, 2022).

Voor afvalstoffen met PFAS componenten die de drempels van de POP-Verordening overschrijden waardoor het afval te beschouwen is als POP-houdend (dus momenteel  $50 \text{ mg/kg}$  voor PFOS), zijn reactivatie en regeneratie geen toegelaten handelingen, zie 2.4.3.2. Ook hier is het courante praktijk om deze grens te hanteren voor een ruimere groep PFAS componenten (Input leden BC, 2022).



Concentratiegrenzen voor onder meer PFOA en PFHxS en hun zouten zullen toegevoegd worden (1 mg/kg; 40 mg/kg voor gerelateerde verbindingen die ernaar kunnen ontbinden).

In een recente studie werd aangetoond dat 99,993% van een groep van 36 PFAS componenten (en 99,999% voor PFOA, PFOS, PFBS en HFPO-DA) aanwezig in het GAC kan afgebroken worden tijdens het reactivatieproces. De grootste fractie van de afbraak vond plaats tijdens het pyrolyseproces met een kleinere fractie die werd afgebroken in de thermische naverbrander. De emissieconcentraties aan de schouw zijn niet gegeven, de massastromen zijn er 22,1 mg/u voor de som van 36 PFAS componenten, en 1,27 mg/u voor de som van PFOS, PFOA, PFBS en HFPO-DA (DiStefano et al., 2022). Echter werden in deze studies geen non-target PFAS analyses uitgevoerd en zijn er nog resterende vragen bij de fluoridebalans in het proces waardoor er nog geen volledige duidelijkheid is over de volledigheid van de afbraak (volledige mineralisatie) van PFAS in het proces.

#### **Emissiepunten lucht**

Voornamelijk geleide emissies mogelijk door vrijzetting uit het actief kool dat gereactiveerd wordt, omzetting van precursoren en gedeeltelijke degradatie van gefluoreerde polymeren en lange ketens tot korte ketens.

#### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing.

### **3.2.3.2 ANDERE AFVALVERWERKING**

#### **(RIOOL)WATERZUIVERINGSINSTALLATIES (RWZI)**

##### **Veel voorkomende PFAS**

Er kan vervuiling zijn van historische en actuele productie en aanwezigheid van PFAS in industriële of consumentenproducten. PFAS kunnen in industrieel afvalwater terechtkomen bv. als afvalwater van een watergebaseerd productieproces, spoelwater, reinigingswater, enz. Een andere mogelijke herkomst is een natte afgaszuivering waarbij PFAS componenten geheel of gedeeltelijk in een waterige oplossing worden opgenomen. Via industriële lozingen, en via huishoudelijk afvalwater, kunnen PFAS in rioolwater en rioolwaterzuivering terechtkomen.

Er is ook een mogelijke PFAS aanwezigheid bij externe verwerking van industrieel afvalwater van derden. Uit meetgegevens blijkt dat dit in bepaalde gevallen over zeer hoge concentraties gaat. Er is een belangrijke overlap tussen het verwerken van externe afvalwaters en het reinigen van tanks, vaten en andere recipiënten. Ook bij reiniging van gronden via een wassing kan PFAS bevattend afvalwater ontstaan.

#### **Emissiepunten lucht**

- Diffuse emissies: beluchtingsbekken (door aerosolvorming in de beluchters kan er emissie van PFAS naar lucht voorkomen), en in mindere mate open bekkens/buffers/tanks zonder beluchting, vooral bij het roeren/agiteren van het afvalwater. Er dient ook aandacht te gaan naar het bedrijf/de activiteit waarvan extern afvalwater afkomstig is, bv. het reinigen van tanks of vaten, of van een ander proces waarbij PFAS emissies naar de lucht kunnen ontstaan.
- Geleide emissies: bij luchtstrippen met striptoren of plaatstripper voor verwijdering van VOS (bv. bij zuivering bemalingswater/saneringswater) of uitzonderlijk bij afvang van diffuse luchtemissies. Er zijn weinig gegevens beschikbaar, maar voor één case blijkt op basis van gelijktijdige in- en effluentmetingen alvast dat een striptoren (geoptimaliseerd voor VOS-verwijdering uit bemalingswater) de aanwezige PFAS-componenten in het water nauwelijks overdraagt naar het compartiment lucht (informatie BC, 2023). Dit kan, indien bevestigd bij andere cases, erop wijzen dat het risico voor luchtemissies bij dergelijke activiteit klein is.

Het voorkomen van verschillende klassen PFAS in de omgevingslucht van afvalwaterzuiveringsinstallaties (in het bereik van pg/m<sup>3</sup> tot ng/m<sup>3</sup>) is onderzocht in een beperkt aantal studies. In vergelijking met referentielocaties, waar de lucht vermoedelijk niet verontreinigd was door emissies van afvalwaterzuivering, waren de gemeten PFAS-concentraties 1,5 tot 15 keer hoger op locaties met een afvalwaterzuivering. Over het algemeen bleken FTOH's dominant te zijn (meer bepaald 6:2FTOH), goed voor 60 - 90% van de totale PFAS gemeten in het actief-slibstelsel (Hamid et al., 2016). Daarnaast was perfluoroctaansulfonzuur (PFOS) dominant binnen de WZI (43–171 pg/m<sup>3</sup>), gevolgd door perfluorbutaanzuur (PFBA) (55–116 pg/m<sup>3</sup>) (Ahrens et al., 2011). Het is interessant om op te merken dat, afhankelijk van het type behandeling, de relatieve verdeling van PFAS drastisch kan veranderen (Hamid et al., 2016). Shoeib et al. (2016) vonden 1,7 tot 35 keer hoge concentraties van target componenten bij RWZI's in Ontario, Canada ten opzichte van onverdachte locaties. Ze ontdekten dat ΣPFAA's goed waren voor > 70% van de gasfase-PFAS in een lagunesysteem dat afvalwater behandelt. Deze verdelingsverschuiving werd waarschijnlijk veroorzaakt door de langere hydraulische retentietijd (>3000 uur in vergelijking met 5 - 16 uur) van de lagunes, waardoor de afbraak van de precursoren (bijv. FTOH's) tot PFAA's toenam. PFAS luchtmissies van afvalwaterzuiveringsinstallaties correleerden ook positief met de instroomsnelheid van afvalwater en het aantal inwonerequivalenten. Dit gold niet voor PFAA's, wat vermoedelijk wijst op extra input als gevolg van de omzetting van precursoren. Bijkomend is ook op te merken dat de PFCA-concentraties afnamen met toenemende ketenlengte en dat de emissies voor de PFCA's met een even ketenlengte groter waren dan de emissies voor de verbindingen met een oneven ketenlengte. Bovendien werden er sterk verhoogde PFC-concentraties gevonden in de buurt van de beluchtingstanks in vergelijking met de andere tanks (d.w.z. primaire en secundaire bezinktanks). Dit is waarschijnlijk geassocieerd met verhoogde vervluchtiging tijdens beluchting die verder kan worden versterkt door waterig aerosol-gemedieerd transport. (Ahrens et al., 2011; Hamid et al., 2016; Shoeib et al., 2016) Deze studies vermelden echter niet de aanwezige concentraties in het afvalwater, waardoor niet kan ingeschat worden of ze representatief zijn voor Vlaamse industriële afvalwaters en/of rioolwaterzuiveringen.

Het onderzoek naar PFAS lucht emissies afkomstig van een waterzuiveringsinstallatie is beperkt. Wel is reeds vastgesteld dat er een verhoogde vervluchtiging is tijdens de beluchtingsfase. Dit stemt overeen met andere pollutanten, die tijdens de beluchtingsfase van de vloeistof naar de gasfase overgaan. Uit het onderzoek van Upadhyay et al. (2013) blijkt dat er aerosolisatie van afvalwater optreedt. Enerzijds is beluchting geen belangrijke bron van fijnstof, organische koolstof- of NH<sub>3</sub>-emissies in een stedelijke omgeving. Aan de andere kant is het wel een aandachtspunt dat aerosolisatie van afvalwater voorkomt in de fractie fijnstof (PM<sub>2,5</sub>), waardoor transport over een grotere afstand en verblijftijd mogelijk zijn, wat resulteert in blootstelling buiten de faciliteiten zelf. Tot op heden zijn er geen studies beschikbaar naar het voorkomen van PFAS in de omgevingslucht van afvalwaterzuiveringsinstallaties in Vlaanderen, of studies waar een verhoogde PFAS concentratie in de omgevingslucht te relateren valt aan de nabijheid van een RWZI.

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing

### **REINIGING GROND EN BODEM**

#### **Veel voorkomende PFAS**

Vervuiling van bodems en gronden door historische vervuiling en door transfer van PFAS uit water en lucht door bv. diffuse emissiebronnen of industriële puntbronnen.

#### **Emissiepunten lucht**

Diffuse emissies mogelijk bij in situ reiniging, en bij op- en overslag van verontreinigde bodems/gronden. Geleide emissies mogelijk in reinigingscentra.

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing

### **REINIGING TANKS, VATEN EN REACTOREN**

#### **Veel voorkomende PFAS**

Opslagtanks (vaste houders), vaten/bussen (verplaatsbare recipiënten) en procesinstallaties/reactoren bij of van activiteiten die in dit hoofdstuk zijn beschreven kunnen de voor die activiteit relevante PFAS componenten bevatten, die bij reinigingshandelingen kunnen vrijkomen. Een onderscheid kan gemaakt worden tussen reiniging van vaste tanks en reactoren 'in situ' waar het proces/de activiteit zich bevindt, en reiniging van verplaatsbare recipiënten zoals IBC's, vaten en bussen, die typisch 'off-site' plaatsvinden bij gespecialiseerde bedrijven in een installatie toegewijd aan dergelijke reiniging.

#### **Emissiepunten lucht**

Reiniging van vaste tanks/reactoren kan aanleiding geven tot 'abnormale' emissies (buiten normale operationele omstandigheden, bv. dampen/nevels die vrijgesteld worden. Deze kunnen diffuus zijn, of geleid indien een (mobiele) afzuiging voorzien is.

Reiniging van verplaatsbare recipiënten in toegewijde installaties kunnen gelijkaardige emissies veroorzaken, maar bij dergelijke installaties kunnen valt dit binnen de normale bedrijfsvoering.

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing

### **AFVALBEHANDELING EN -RECYCLAGE**

#### **Veel voorkomende PFAS**

Aanwezigheid van PFAS in industriële of consumentenproducten en -afvalstoffen, in het bijzonder afval van producten/materialen beschreven in paragraaf 3.2.2 hierboven, afvalstoffen afkomstig van zuivering van (afval)water en afgassen, maar ook van de ruimere verzameling producten en materialen beschreven in 2.2. In 2023 wordt er bv. een onderzoek opgestart in opdracht van OVAM in verband met de brede scanning van PFAS in betonpuin. Er is in Vlaanderen minstens één bedrijf dat PFAS componenten recycleert voor toepassing in gespecialiseerde coatings, verven, enz. Het proces is een mechanochemische behandeling, waarbij ook een verhitting/droging in een oven plaatsvindt. Het afvalwater van de gaswassing van de afgassen van deze oven bevat verschillende PFAS componenten. Mogelijke luchtmissies worden op dit moment onderzocht.

#### **Emissiepunten lucht**

Mogelijke diffuse en geleide emissies bij sortering, voorbereiding, behandeling (bv. mechanische behandeling zoals in shredder of kogelmolen, of thermische behandeling) en recyclage van afvalstromen/afvalstoffen. Volgens de BREF Afvalbehandeling (Waste Treatment) is de typische temperatuur in een shredderkamer niet hoger dan 70°C, hoewel lokaal hogere temperaturen mogelijk zijn. Bij deflagratie, hetgeen niet als normale bedrijfsomstandigheden beschouwd wordt, zijn hogere temperaturen mogelijk. In het bijzonder daar waar fijn stof geëmitteerd wordt, en waar PFAS kunnen vrijkomen door vervluchtiging bij verhoogde temperaturen, of kunnen getransporteerd worden door vernevelde druppels van water of organische stoffen. Bij bv. het drogen van RWZI-slib of het indampen van afvalwater wordt er een condensaat gevormd en zijn er mogelijke emissies naar lucht en water.

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing

#### STORTPLAATSEN

##### Veel voorkomende PFAS

Het percolaat van stortplaatsen kan verhoogde PFAS concentraties bevatten. De PFAS concentratie wordt beïnvloed door het type afval waaruit zo'n stortplaats bestaat, alhoewel de exacte toewijzing van het type afval niet altijd bepaald kan worden. Zowel bij stortplaatsen met huishoudelijk afval als met industrieel afval wordt PFAS in het percolaat aangetroffen.

##### Emissiepunten lucht

Er is geen kennis over luchtemissies. Deze zijn vermoedelijk heel beperkt.

Opgevangen percolaat kan PFAS bevatten, en dus indirect tot diffuse en/of geleide luchtemissies leiden bij verdere verwerking, zie (riool)waterzuiveringsinstallaties en afval(mee)verbranding.

##### Mogelijke fluorvrije alternatieven

Niet van toepassing

### 3.2.4 ANDERE

#### HET GEBRUIK VAN BRANDBLUSSCHUIM

##### Veel gebruikte/voorkomende PFAS

PFAS worden in brandblusschuimen gebruikt omdat deze in staat zijn om zeer snel een afsluitende filmlaag te vormen. Doordat de gebruikte PFAS chemisch en thermisch zeer stabiel zijn bij extreme omstandigheden blijft het schuim voor lange tijd intact ondanks de extreme omstandigheden. Hierdoor wordt het schuim bijvoorbeeld toegepast bij het blussen van zeer agressieve zure of basische brandstoffen en chemicaliën op onder andere vliegvelden, raffinaderijen, bulkopslag chemicaliën en andere locaties waar gewerkt wordt met grote volumes van brandbare vloeibare koolwaterstoffen (OVAM, 2018). In het verleden (tot 2002) werden in deze toepassing hoofdzakelijk PFOS en PFOA gebruikt. Door de lange houdbaarheid van schuimconcentraten is PFOS-houdend brandblusschuim mogelijk nog gebruikt na 2002 tot het gebruik ervan werd verboden in 2011. Het gebruik van schuim dat PFOA bevat wordt vanaf 2022 uitgefaseerd. PFOS en PFOA (reeds anticiperend op de aankomende uitfasering) worden momenteel vervangen door kortere keten PFAS en polyfluoralkylverbindingen zoals 6:2 FTS en 8:2 FTS. De samenstelling van deze brandblusschuimen zijn vaak niet gekend (concentraties moeten niet vermeld worden op de SDS-fiches) en verschillen naargelang de producent (OVAM, 2018). Doorgaans bevatten deze brandblusschuimen meerdere PFAS verbindingen, inmiddels zijn er reeds 240 verschillende PFAS gedetecteerd (Barzen-Hanson et al., 2017).

Momenteel is er geen productie site in Vlaanderen (Input leden BC, 2022).

##### Emissiepunten lucht

Emissies naar lucht zijn er tijdens het blussen van een brand door verwaaiing van (deeltjes en aerosolen van) PFAS-houdend blusschuim. Ook dienen er regelmatige testen van blussystemen uitgevoerd te worden om de technische werking te controleren/waarborgen. Tijdens dergelijke testen kunnen ook deeltjes en aerosolen verwaaien, zie ook 3.1.4 (Input leden BC, 2022).

##### Mogelijke fluorvrije alternatieven

Volledig fluorvrij blusschuim, F3 schuim. Uit informatie via leden van het BC, blijkt dat er momenteel reeds actief wordt omgeschakeld naar F3 schuim. Afhankelijk van de toepassing, zijn er programma's/verplichtingen voor het uitfaseren van PFAS-houdend blusschuim.

Meer info is te vinden op:

<https://www.saval.be/nieuws/aangescherpte-eu-regelgeving-pfas-in-blusschuim/>  
<https://echa.europa.eu/nl/fluorine-free-foams>

### KOELTORENS EN WATERBEKKENS

#### Veel voorkomende PFAS

Mogelijke aanwezigheid van uiteenlopende PFAS componenten in uiteenlopende concentraties in oppervlakte- of grondwater dat zich via verdamping uit koeltorens of waterbekkens kan verspreiden. De concentraties zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden, in het bijzonder van (historische) verontreiniging.

#### Emissiepunten lucht

Bij verdamping van grote hoeveelheden water uit koeltorens of waterbekkens (zie ook waterzuiveringsinstallaties onder 3.2.3.2) kunnen, afhankelijk van de PFAS concentraties en de eigenschappen van de verschillende aanwezige PFAS componenten, relevante hoeveelheden in de lucht worden uitgestoten en dus verspreid via de atmosfeer.

Bij koeltorens komt ca. 2% van het opgepompte koelwater als damppluim uit de koeltorens. In vlaanderen bedroeg in 2020 het [koelwaterverbruik](#) 1,9 miljard m<sup>3</sup>. Het is niet duidelijk welk aandeel hiervan verdampt via koeltorens of op een andere manier. Het is moeilijk in te schatten hoeveel uitstoot naar de lucht dit met zich meebrengt. Dit hangt af van o.a. de aanwezige concentratie en dampspanning van de verschillende PFAS-componenten, temperatuur en turbulentie, en mogelijkheid tot vorming van aerosolen (zie ook 2.1.1 en 2.1.2)

#### Mogelijke fluorvrije alternatieven

Niet van toepassing

---

## HOOFDSTUK 4. BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN





## HOOFDSTUK 4. BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk worden de verschillende maatregelen toegelicht die geïmplementeerd kunnen worden in ingedeelde inrichtingen of activiteiten om luchtmissies bij aanwezigheid van PFAS in het proces te voorkomen of te beperken. Bij de bespreking van de milieuvriendelijke technieken komen telkens volgende punten aan bod:

- a) beschrijving van de techniek;
- b) toepasbaarheid van de techniek;
- c) milieuvoordeel van de techniek;
- d) financiële aspecten van de techniek.

De informatie in dit hoofdstuk vormt de basis waarop in hoofdstuk 5 de BBT-evaluatie zal gebeuren. Het is dus niet de bedoeling om reeds in dit hoofdstuk (hoofdstuk 4) een uitspraak te doen over het al dan niet BBT zijn van bepaalde technieken. Het feit dat een techniek in dit hoofdstuk besproken wordt, betekent m.a.w. niet per definitie dat deze techniek BBT is.

### 4.1 INVENTARISATIE VAN PFAS-RISICO'S

#### BESCHRIJVING

Opmaak van een inventaris van 'PFAS-risico's' die voorkomen, of kunnen voorkomen, in gebruikte grondstoffen (ook gerecycleerde of secundaire grondstoffen) of additieven, of die kunnen gevormd worden in het proces, bijvoorbeeld door een omzetting van precursoren. Met PFAS-risico's worden bedoeld zowel de gekende aanwezigheid van PFAS componenten, als de industriële toepassingen waarbij het te verwachten of aannemelijk is dat PFAS aanwezig zijn zonder dat dit in veiligheidsinformatiebladen (SDS-fiches) of in de beschrijving van een afvalstof expliciet is aangegeven. Het gaat dan om toepassingen waarmee PFAS typisch geassocieerd worden, zoals vuil- en waterafstotende producten en oppervlakteactieve producten. Vervuilingen of onzuiverheden, zoals microverontreinigingen in ingekochte producten die niet moeten gemeld worden onder de geldende regelgeving niet-intentionele verontreiniging van bv. verontreinigd grond- of oppervlaktewater of verontreinigde (secundaire) grondstoffen, worden niet systematisch in kaart gebracht, tenzij waar ze relevant zijn voor de totale massabalans van PFAS componenten. De inventaris kan onderdeel zijn van een ruimere chemische inventaris, bijvoorbeeld bij bedrijven die gebruik maken van uiteenlopende chemicaliën, en kan ook kijken naar emissies naar water.

De mate van detail hangt af van de risico's voor milieu en gezondheid, en dus van enerzijds de gevareneigenschappen van de stoffen, bv. of het zeer zorgwekkende stoffen zijn, of stoffen met een gekende (lage) gezondheidkundige grenswaarde of milieukwaliteitsnorm, en anderzijds van de mate waarin (lucht)emissies mogelijk zijn. Dit hangt onder andere af van de activiteit en de (proces-)omstandigheden die daarbij voorkomen. Waar dit een meerwaarde is en afhankelijk van de beschikbare informatie en variabiliteit, kan de informatie gegroepeerd worden voor verschillende gelijkaardige componenten, of kan met ranges gewerkt worden.

Doordat PFAS zo wijdverspreid zijn in de samenleving, wordt in het bijzonder in de afvalsector vastgesteld/verwacht dat de meeste afvalstromen PFAS bevatten in meer of mindere mate, en dat aanwezige PFAS componenten en hun concentraties kunnen variëren tussen verschillende afvalstromen en doorheen de tijd. Het groeperen/categoriseren van PFAS componenten en concentraties kan in dergelijke gevallen zinvoller zijn. Bij verwerkers van afval of afvalwater, kan dit onderdeel zijn van, of afgestemd zijn op, de procedures voor afvalkarakterisatie en (pre)acceptatie. In de meeste gevallen zal dit zijn op basis van informatie-uitwisseling tussen afvalproducent en afvalinzamelaar. Waar nodig kan dit aangevuld worden met analyses van het afval.

Ook voor minder risicovolle inrichtingen (bv. inrichtingen/activiteiten die niet vermeld werden onder 3.2) en/of minder gevaarlijke PFAS componenten, kan een grovere inventarisatie van groepen van PFAS componenten met hun gemiddelde concentraties meer aangewezen zijn.

Op het moment van schrijven is de informatie over de risico's voor milieu en gezondheid, en over welke inrichtingen wel/niet risicovol zijn, nog deels in ontwikkeling. Onder 6.3.1 worden daarom aanbevelingen geformuleerd voor verbetering van de huidige kennis.

De inventaris verzamelt informatie die relevant is om potentiële luchtemissies te kunnen karakteriseren<sup>27</sup>, zoals

- welke PFAS-verbindingen in welke hoeveelheden/concentraties voorkomen,
- fysische en chemische eigenschappen van PFAS (inclusief omzetting van precursoren),
- gekende toxicologische effecten en/of CLP-indeling,
- invloed van procesomstandigheden (zie ook 3.2), en
- hun gedrag in het milieu

Ook rond de opmaak van duidelijke instrumenten en richtlijnen voor het stellen van prioriteiten en aanpassen van mate van detail in functie van risico's en variabiliteit van processen worden aanbeveling voor verder onderzoek gedaan onder 6.3.1. De informatie in veiligheidsinformatiebladen in kader van REACH vormt in bepaalde gevallen een goede basis voor dergelijke inventaris. Echter, vele PFAS-verbindingen zijn niet ingedeeld volgens CLP, en/of komen in zeer lage concentraties voor in grondstoffen, waardoor hun aanwezigheid vaak niet vermeld is in veiligheidsinformatiebladen (de grens is vaak 0,1 massapercent). Wanneer de aanwezigheid van PFAS te verwachten of aannemelijk is, kan het dus nodig zijn om bijkomende informatie op te vragen bij leveranciers, of eventueel de aanwezigheid van PFAS te (laten) analyseren in een labo. Er zijn echter verschillende voorbeelden gekend waarbij de gemeten concentraties PFAS in afvalwater of een afvalstroom toenemen na biologische, thermische of chemische behandeling. Dit is te wijten aan de aanwezigheid van precursoren die buiten de bestaande meetmethoden vallen. Ook bij labo-analyses is er dus een risico op onderschatting van de aanwezige PFAS.

- Meer en meer leveranciers delen of verspreiden actief informatie over de aan- of afwezigheid van PFAS in hun producten, soms met labeling/claims dat een product PFAS-vrij is. Hierbij is wel aandacht geboden voor mogelijk misleidende of verwarrende claims zoals de afwezigheid van perfluoralkylstoffen of van PFAA's (maar dan nog wel met andere PFAS zoals fluortelomeren die een precursor kunnen zijn voor eindstandige PFAA's). In deze BBT-studie wordt in hoofdstukken 2 en 3 uitgebreid toegelicht welke de belangrijkste gekende toepassingen van PFAS zijn. Aanvullende informatiebronnen zijn onder andere de genoemde toepassingen in het REACH restrictievoorstel rond PFAS (zie 2.4.3.3), de SCIP databank (zie 2.4.3.7) en de ZZS-navigator van het Nederlandse RIVM (zie 2.4.4.2). De evaluatie van het ZZS-beleid in Nederland (zie 2.4.4.2) verwijst verder naar een [inventarisatie door SGS Intron van ZZS in afvalstoffen](#), en andere achtergronddocumenten over gevaarlijk afval en ZZS, te vinden op een [website](#) van Rijkswaterstaat.

---

<sup>27</sup> Hoewel het strikt genomen buiten de scope van deze BBT-studie valt, wordt opgemerkt dat dergelijke inventaris ook naar andere mogelijke uitstoot en verspreiding naar alle milieucompartimenten in het milieu kijkt, niet enkel naar uitstoot via luchtemissies.

Afhankelijk van de locatie, kunnen ook oppervlaktewater en grondwater verhoogde PFAS-concentraties bevatten. Indien dit kan leiden tot relevante luchtemissies, zijn deze mee op te nemen in de inventaris.

#### TOEPASBAARHEID

Een PFAS inventaris is algemeen toepasbaar. De mate van detail hangt af van de mogelijke risico's inzake (lucht)emissies en de beschikbaarheid van informatie. Momenteel zijn er nog een heel aantal bedrijven die slechts beperkt zicht hebben op welke PFAS er in grondstoffen, additieven en hulpstoffen aanwezig zijn.

#### MILIEUVOORDEEL

Dergelijke inventaris verbetert indirect de milieuprestaties door betere kennis van mogelijke aanwezigheid van PFAS, en mogelijke emissies naar de lucht. De inventaris is essentieel om brongerichte en end-of-pipe maatregelen gericht te kunnen inzetten.

#### FINANCIËLE ASPECTEN

Een inventaris brengt niet noodzakelijk significante kosten met zich mee. De kosten zijn personeelskosten voor het verzamelen en zo nodig bijwerken van de informatie. Dit hangt af van de mate van detail.

Er kan een terugverdieneffect zijn. Immers, hoe beter de PFAS-risico's gekend zijn, hoe gericht en efficiënter maatregelen om hun aanwezigheid en uitstoot te beperken kunnen genomen worden.

## 4.2 BEPERKING VAN AANWEZIGHEID PFAS

#### BESCHRIJVING

Emissies van PFAS kunnen vermeden of beperkt worden door de aanwezigheid van PFAS in de procesvoering te verminderen. De twee mogelijke manieren zijn substitutie en minimalisatie.

- 1° Substitutie: Vervanging van PFAS, of van bepaalde PFAS componenten, door PFAS-vrije alternatieven of, indien dat niet mogelijk blijkt, door minder schadelijke alternatieve PFAS componenten. In sommige gevallen wordt dit verplicht door bepalingen in het kader van REACH (zie o.a. het recente restrictievoorstel 2.4.3.3) of POP Verordening (zie 2.4.3.2), maar ook vrijwillig wordt voor vele industriële toepassingen een alternatief gezocht/toegepast voor (de meest schadelijke) PFAS componenten, in het bijzonder deze die persistent, bioaccumulerend en toxisch (PBT) zijn, maar meer en meer ook deze die persistent, mobiel en toxisch (PMT) zijn, omdat emissies van deze stoffen aanleiding kunnen geven tot evenveel bezorgdheid.
- 2° Minimalisatie<sup>28</sup>: Waar substitutie niet (volledig) haalbaar blijkt, kan, afhankelijk van de benodigde functionaliteit en de organisatie van de procesvoering, in bepaalde gevallen de gebruikte hoeveelheid zo beperkt mogelijk gehouden worden. Dit hangt vaak ook samen met een goede procesbeheersing en het beperken van verliezen aan de bron (zie 4.3).

Voor afvalstromen wordt dit in zekere mate ook gereflecteerd door de bepaling in [artikel 7 van de POP Verordening](#) voor producenten en houders van afval om alle redelijke inspanningen te verrichten om, waar mogelijk, verontreiniging van dit afval met in bijlage IV (o.a. PFOS) opgenomen stoffen te voorkomen. Voor afval is het verder wenselijk om afvalstoffen die PFAS, en in het bijzonder zeer

<sup>28</sup> De betekenis van minimalisatie in het ZZS-beleid in Nederland slaat op minimalisatie van de uitstoot zelf. Het vertrekpunt voor minimalisatie van de uitstoot is echter de minimalisatie van het gebruik/de aanwezigheid, zoals hier beschreven. In deze BBT-studie wordt minimalisatie van gebruik/aanwezigheid en van uitstoot apart besproken.

zorgwekkende stoffen, bevatten, gescheiden te houden van andere afvalstoffen. Dit vereist een samenwerking doorheen de waardeketen, en zo goed mogelijke scheiding aan de bron, gescheiden inzameling en verwerking. Voor de afvalverwerkende sector en voor bedrijven die gebruik maken van secundaire grondstoffen is het gebrek aan voldoende informatie op het moment van schrijven nog een knelpunt.

### TOEPASBAARHEID

De beperking van de aanwezigheid van PFAS is toepasbaar voor de meeste activiteiten, maar de mate waarin er ruimte voor verbetering is op korte termijn varieert sterk naargelang de toepassing en proces- of productvereisten. Vaak worden, of werden in het verleden, al inspanningen gedaan om PFAS door minder schadelijke verbindingen te vervangen en/of hun hoeveelheid te beperken. Beperking van aanwezigheid van PFAS kan buiten de controle van de exploitant liggen, bv. bij afvalbehandeling of bij bedrijven die gebruik maken van secundaire grondstoffen waar ongekende verontreiniging of gekende onopzettelijke verontreiniging aanwezig kan zijn

Bij producerende bedrijven is het volledig vermijden van de aanwezigheid van PFAS niet altijd wenselijk omwille van mogelijke milieu-, veiligheids- of kwaliteitsredenen. Voorbeelden uit bv. de textielsector en metaalbehandeling zijn gegeven in hoofdstuk 3. Bij vele resterende toepassingen wordt onderzoek gevoerd naar mogelijke alternatieven, maar deze hebben niet altijd dezelfde performantie of stabiliteit. Voor sommige toepassingen bestaan er nog geen concrete alternatieven. Op het Substitution Support Portal (SUBSPORT) van het Duitse Federaal Instituut voor Arbeidsveiligheid en Gezondheid (BAUA) staat [een databank](#) met 38 lijsten van stoffen die wettelijk of vrijwillig beperkt zijn of aanbevolen voor restrictie omwille van de gevaarlijke eigenschappen, en biedt op die manier een aanvullend inzicht in mogelijke substitutie in bepaalde toepassingen.

### MILIEUVOORDEEL

Preventie aan de bron geniet in het algemeen de voorkeur op end-of-pipe behandeling. Het is doorgaans beter voor het milieu in zijn geheel.

Een bijzonder belangrijk en relevant aandachtspunt in de context van PFAS is het vermijden van 'regrettable substitution' (betreurenswaardige substitutie), bijvoorbeeld het vervangen van een verbinding die PBT is, door één die minder bioaccumulerend is (en dus niet PBT), maar wel mobieler, en dus gemakkelijker verspreidt via (drink)water, bepaalde voedingsmiddelen, en mogelijk ook via lucht.

Verder moet bij substitutie of minimalisatie ook gekeken worden naar het milieu in zijn geheel, en of eventuele meerverbruiken van andere materialen, water of energie, emissies van andere polluenten (bv. bij hardverchroming) of een kortere levensduur van een product wel opweegt tegen de vermeden milieu-impact van PFAS emissies. Dergelijke afweging zal verschillen voor PFAS die worden beschouwd/ingedeeld als zeer zorgwekkende stoffen, en andere PFAS waarvan het gebruik veel minder zorgwekkend is, en het risico op (lucht)emissies veel beperkter. In het bijzonder fluoropolymeren worden in de literatuur omschreven als 'polymers of low concern'. Er zijn echter wel nog vraagtekens over hun impact over de gehele levenscyclus, in het bijzonder over hun aanwezigheid in afvalstoffen, zie 2.1.2.

### FINANCIËLE ASPECTEN

Kosten en eventuele opbrengsten, of vermeden kosten door het niet of minder moeten zuiveren van afgassen, kunnen heel uiteenlopend zijn, en hangen sterk af van de individuele situatie. Daarom wordt hier binnen de BBT-studie niet verder op ingegaan. Wel is het zo dat PFAS typisch heel dure grondstoffen zijn, en bedrijven dus ook om financiële redenen vaak streven naar een beperking van het gebruik hiervan (input door leden BC, 2022).

### 4.3 PROCESBEHEERSING TER BEPERKING VAN EMISSIES AAN DE BRON

#### BESCHRIJVING

Waar het gebruik of voorkomen van PFAS in het proces niet kan worden vermeden, of waar het omwille van bv. milieu-, veiligheids- of kwaliteitsredenen niet wenselijk is om het gebruik te vermijden, is het van belang het proces zo te beheersen en indien mogelijk te sturen, dat emissies zo veel mogelijk aan de bron beperkt worden.

Er is op het moment van schrijven bij vele toepassingen nog een gebrek aan kennis over hoe en hoeveel luchtemissies er in het proces ontstaan, maar er zijn wel enkele algemene verschijnselen, die hier kort besproken worden. Voor verdere details over de eigenschappen van PFAS en hun gedrag, wordt verwezen naar hoofdstuk 3. In het algemeen is er een belangrijk onderscheid tussen:

- a) gasvormige emissies door vervluchtiging van PFAS. Dit hangt in belangrijke mate samen met de dampdruk(ken) van de component(en) in kwestie, en van de temperaturen en drukken in het proces.
- b) emissies via stof of aerosolen. PFAS kunnen zich bevinden in of binden aan fijne deeltjes die fijn verdeeld zijn in een gas: vaste stofdeeltjes, waterdruppels, druppels van solventen of reagentia, micellen, enz.

De mate waarin aanwezige PFAS geëmitteerd worden naar de lucht, hangt zoals aangegeven in hoofdstuk 3 sterk af van de procesomstandigheden en van de matrix, maar ook van de eigenschappen van de PFAS component(en).

Verder zijn, al dan niet intentionele, chemische omzettingen mogelijk waardoor bepaalde PFAS worden afgebroken en/of omgezet in andere PFAS of andere stoffen zoals F-gassen. Dergelijke omzetting is in het bijzonder relevant voor precursoren zoals fluortelomeren die kunnen worden omgezet in bijvoorbeeld eindstandige PFAA's in het proces (maar in sommige gevallen ook in het milieu na emissie). Daarnaast dient men rekening te houden met mogelijke degradatie van PFAS onder invloed van (mogelijke combinaties van) temperatuur, druk, zuurtegraad, redox, straling, biologische activiteit, katalysatoren, enz. Typisch zorgt dit voor een afbraak of omzetting van grotere PFAS moleculen/langere ketens tot kleinere moleculen/kortere ketens. Enkel een volledige afbraak<sup>29</sup>, die zorgt voor mineralisatie waarbij alle PFAS componenten zijn omgezet in waterstoffluoride of fluorzouten zoals calciumfluoride, zorgt voor een volledige eliminatie van PFAS in de afgassen, en voorkomt de vorming van F-gassen, die bekend staan als belangrijke broeikasgassen, zie ook 3.2.3.

In het algemeen zijn er dus twee verschillende strategieën om emissies in het proces/aan de bron te beperken:

- een beperking van aerosolvorming. Dit kan bijvoorbeeld door vermindering van turbulentie/agitatie, het vermijden of beperken van beluchting (bijvoorbeeld bij afvalwaterzuivering), of verlaging van de temperatuur... welke eventuele vluchtige emissies zullen beperken. Waar beperking door processturing niet/beperkt mogelijk is, zie 4.5, kan gesloten apparatuur de luchtemissies eveneens drastisch beperken (bijvoorbeeld overkappen of afdekken van een wateroppervlak). Specifiek voor beluchting bij afvalwaterzuivering, kan gekeken worden naar efficiënter beluchten om de beluchting te beperken, bv. vervanging van oppervlakte beluchters door fijn-bellen-beluchting (met minder aerosolvorming vergeleken met puntbeluchting of grove-bellen-beluchting) of door het toepassen van artificiële intelligentie.

<sup>29</sup> Zie begrippenlijst

Een andere mogelijkheid is de inzet van puur zuurstofgas in de plaats van lucht. Dit kan leiden tot een sterk verlaagd beluchtingsdebiet (gezien lucht bestaat uit bij 80% stikstofgas) en efficiëntere opname van zuurstof door bacteriën. Verder kan (bv. voor stikstof bij RWZI) gekeken worden naar specifieke adsorptiematerialen welke kunnen instaan voor een zogenaamde “polishing” van effluent om de mate van beluchting te beperken. Verder dient opgemerkt te worden dat (meer) beluchting kan leiden tot verhoogde schuimvorming, waarin PFAS componenten zich typisch meer concentreren. Waar dit voorkomt kan het afvangen van het schuim en/of afscherming tegen wind de emissies naar lucht verminderen. (informatie lid BC en leveranciersinformatie, 2023)

- een zo volledig mogelijke afbraak van PFAS componenten in het proces zelf. Voorbeelden hiervan zijn afvalverbranding en reactivatie van actief kool waar onder meer tijd, temperatuur en turbulentie zo gestuurd worden dat een hoog niveau van afbraak wordt bereikt, zie ook 3.2.3

### TOEPASBAARHEID

Er is weinig informatie beschikbaar over sturing van processen, specifiek met het oog op de beperking van PFAS luchtmissies. De mate waarin processturing toegepast kan worden met het oog op de reductie van PFAS luchtmissies, zal in vele gevallen beperkt zijn. Het proces zal hiervoor trager of minder effectief moeten verlopen, bv. door het verlagen van temperatuur/beluchting/agitatie/turbulentie. Zowel bij productieprocessen als bij bv. waterzuivering kan dit beperkend zijn.

### MILIEUVOORDEEL

Preventie aan de bron geniet in het algemeen de voorkeur op end-of-pipe behandeling. Het is doorgaans beter voor het milieu in zijn geheel omdat er geen verbruik van energie, water of materialen nodig is zoals bij een afgaszuivering, en geen afvalstroom gegenereerd wordt.

Er is weinig informatie over sturing van processen met het oog op beperking van PFAS luchtmissies, dus ook de effectiviteit en over eventuele (negatieve) cross-media effecten. Er moet voor PFAS componenten een afweging gemaakt worden tussen de beperking van emissies naar de lucht en de eventueel mogelijke toename in afval of afvalwater. In het algemeen is de verschuiving van een minder controleerbaar compartiment, lucht, naar een meer controleerbaar compartiment, water of afval, wenselijk. Zoals ook beschreven in deze BBT-studie, kunnen emissies naar lucht leiden tot blootstelling en depositie over grote afstanden.

Een mogelijk nadelig cross-media effect bij onvolledige (thermische) afbraak van PFAS componenten is de vorming van (ultra)korte keten PFAS en/of F-gassen met groot broeikasgaseffect. Wanneer de temperatuur/het energieniveau verhoogd wordt met het oog op volledige afbraak (mineralisatie) van PFAS, bv. bij afvalverbranding of reactivatie van actief kool, nemen het energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies door hoger brandstofverbruik toe. Dit kan leiden tot een afweging tussen het broeikasgaseffect van F-gassen enerzijds, en CO<sub>2</sub> anderzijds.

Een ander mogelijk negatief cross-media effect is het moeilijker bereiken van verstrengde stikstofnormen voor bv. RWZI-effluent, zie ook het [ontwerpvoorstel voor de herziening van de Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater](#). Dergelijke verstrengde stikstofnormen kunnen in de toekomst leiden tot een nood aan effectievere, en dus mogelijk meer, beluchting. In de plaats van, of in combinatie met, meer beluchten kan ook gekeken worden naar efficiënter beluchten, zie voorbeelden hierboven onder ‘beschrijving’.

### FINANCIËLE ASPECTEN

Kosten en eventuele opbrengsten, of vermeden kosten door het niet moeten zuiveren van afgassen, kunnen heel uiteenlopend zijn, en hangen sterk af van de individuele situatie. PFAS zijn typisch heel dure grondstoffen. Bedrijven streven daarom ook om financiële redenen vaak naar een beperking van



verliezen, waaronder luchtmissies (input door leden BC, 2022). Een afname in snelheid of capaciteit van het proces, of een toename in energieverbruik, bv. bij afvalverbranding, kan een belangrijke kost zijn.

## 4.4 MONITORING VAN LUCHTEMISSIES

### BESCHRIJVING

Monitoring omvat meer dan louter het meten van emissies of emissieconcentraties. Monitoring van luchtmissies vindt om diverse redenen plaats. Voorbeelden hiervan zijn:

- Aantonen dat een installatie voldoet aan de geldende emissie- en immissiegrenswaarden;
- Procesmonitoring of -optimalisatie;
- Het voorspellen van het emissiegedrag van een installatie
- Noodzaak tot installeren/uitbreiden van een reinigingstechniek evalueren
- Aantonen van de goede werking van een reinigingstechniek.

Monitoring kadert in een goed milieubeheer en beheersing van de milieurisico's. (Infomil, Meten en monitoring; REF Monitoring).

Monitoring van luchtmissies kan hoofdzakelijk gebeuren op drie manieren, die eventueel gecombineerd kunnen worden:

- 1° Metingen van de emissieconcentratie (en massastroom) bij geleide luchtmissies
- 2° Massabalans van alle luchtmissies (geleid en diffuus)
- 3° Omgevingsmetingen (immissie)

Het meten van de emissieconcentratie van PFAS-componenten bij geleide luchtmissies is, in vergelijking met andere organische pollutanten, complex. Er wordt voor PFAS gestreefd naar heel gevoelige metingen met lage detectielimieten, omwille van hun persistente en voor sommige PFAS ook toxische en bioaccumulerende eigenschappen. Daarnaast zijn de fysische en chemische eigenschappen (deeltjesgebonden vs. gasvormig, functionele groep, ketenlengte, ...) van PFAS erg uiteenlopend, wat de staalname, -verwerking en analyse technisch uitdagend maakt. Bovendien wordt door het algemene voorkomen van PFAS, het risico van kruiscontaminatie als hoog ingeschat, waardoor een strenge kwaliteitscontrole nodig is. Op het moment van schrijven is er een gevalideerde [ontwerpmethode](#) in Vlaanderen voor het meten van PFAS luchtmissies. Meer informatie is te vinden onder 3.1.3.

Een massabalans van de totale luchtmissies kan opgesteld worden indien voldoende nauwkeurige informatie is gekend over o.a.

- aanwezigheid van PFAS in het proces, welke componenten en in welke concentraties
- de eigenschappen van de aanwezige PFAS componenten, bv. vluchtigheid/dampspanning, maar ook mogelijke vorming van micellen en/of adsorptie aan fijn stof
- de eigenschappen van de matrix waarin de PFAS componenten zich bevinden, bv. al dan niet sterke neiging tot binden van PFAS
- procesomstandigheden, bv. temperatuur, turbulentie, luchtsnelheden, enz.
- processtappen die tot geleide en/of diffuse PFAS emissies kunnen leiden

Dit kan onderdeel zijn van een totale massabalans/stoffenbalans, waarbij alle instromen en uitstromen van het proces gekarakteriseerd worden. In theorie is dergelijke massabalans dus vollediger dan emissiemetingen van geleide emissies aangezien zowel geleide als diffuse emissies doorheen het volledige proces in kaart worden gebracht. Echter, de kennis over de aanwezigheid en het gedrag van PFAS componenten in verschillende processen en onder verschillende procesomstandigheden is nog deels in ontwikkeling, zie ook 6.3.1. Waar mogelijk, bieden rechtstreekse metingen van geleide

luchtemissies doorgaans de meest betrouwbare resultaten. Vaak zal een combinatie van beiden dus aangewezen zijn om de massabalans zo goed mogelijk te sluiten/benaderen.

Omgevingsmetingen kunnen op verschillende manier gebeuren, afhankelijk van de gewenste informatie. Er kan bijvoorbeeld een meting gedaan worden in de nabije omgeving van (potentiële) diffuse emissiepunten (bv. open baden, open bekkens, deuren of poorten van ruimtes) om een beeld te krijgen van de (grootteorde van) diffuse emissies. Er kunnen ook op verschillende plaatsen rondom een installatie omgevingsmetingen gedaan worden om zicht te krijgen op immisies in de omgeving (lokale achtergrond) en de lokale verhoging door de installatie (ten opzichte van de achtergrond). Bijvoorbeeld bij grondverzet kan bijzondere aandacht gaan naar stofemissies van graafwerken, verlading, transport, enz;

Voor [waterige](#) en vaste (o.a. [bodem](#)) matrixes bestaan er voor een heel aantal PFAS componenten wel gevalideerde meetmethoden, en kan er dus gekeken worden naar de verschillen tussen in- en uitstroom om een inschatting te maken van diffuse/totale emissies. Alternatief kunnen de diffuse en totale emissies ingeschat worden via emissiefactoren, op basis van metingen en/of berekeningen in de eigen of gelijkaardige installaties. In principe kan alles wat niet aan vaste of vloeibare fracties kan toegewezen worden, beschouwd worden als luchtemissies. Er is echter, gezien de eigenschappen van vele PFAS, significante adsorptie van PFAS aan de installatieonderdelen mogelijk, waardoor vertraging- en geheugeneffecten mogelijk zijn wanneer in- en uitstroom worden vergeleken.

Dergelijke massabalans houdt ook rekening met mogelijke chemische omzettingen, zoals van fluortelomeren of andere precursoren naar eindstandige PFAA's (carboxylzuren of sulfonzuren), zowel in het (productie)proces, als in het eventuele afgaskanaal en afgaszuivering. Dit maakt dergelijke massabalans complex voor PFAS, omdat meetmethoden voor een groep van individuele PFAS componenten niet alle relevante precursoren (zullen) omvatten, en er dus andere, en soms schijnbaar grotere concentraties, PFAS voorkomen na een zuivering dan ervoor. Eventueel kan gewerkt worden met een proxy parameter/meetmethode die gefluoreerde/polygefluoreerde/geperfluoreerde organische componenten meet.

#### TOEPASBAARHEID

Emissiemetingen (volgens de LUC ontwerpmethod) zijn algemeen toepasbaar bij geleide emissiepunten. Hoewel in sommige gevallen heel complex, met mogelijk beperkte meerwaarde en nauwkeurigheid, is een massabalans wel algemeen toepasbaar voor relevante emissiebronnen, als hier indicaties voor zijn in de PFAS inventaris (zie 4.1). De mate van detail en vereiste nauwkeurigheid hangen af van de risico's (een grotere nauwkeurigheid is bv. aan de orde bij emissies van PFAS die als zeer zorgwekkende stoffen beschouwd worden, en/of emissies die een risico vormen voor het overschrijden van milieukwaliteitsnormen of gezondheidskundige grenswaarden, rekening houdend met reeds aanwezige concentraties in de omgeving en andere emissiebronnen), en van de beschikbaarheid van betrouwbare meetmethoden of inschattingmethoden en hun onzekerheden. Bijvoorbeeld bij verwerking van afval of afvalwater, kunnen afvalstromen zeer heterogeen zijn, en heel uiteenlopende PFAS in uiteenlopende concentraties bevatten. Voor waterzuiveringsinstallaties geldt overigens hetzelfde. Bijkomend zijn de beluchtingsbekkens ervan diffuse emissiepunten waar momenteel geen luchtemissiemetingen op worden uitgevoerd. Omgevingsmetingen/immissemetingen boven/rondom de bekkens zijn wel toepasbaar.

#### MILIEUVOORDEEL

Er is een indirect milieuvoordeel omwille van de betere kennis over ingeschatte, verwachte of (in het geval van metingen) effectieve luchtemissies. Bovendien ondersteunen metingen/inschattingen de PFAS-inventaris (4.1), en kunnen ze optimalisatie van processen ondersteunen. Hoe hoger en minder stabiel de luchtemissies, hoe groter de meerwaarde van meer frequente metingen. Dit wordt in meer

detail besproken in 6.1.5. Hoe groter de onzekerheden over de metingen en massabalans, hoe beperkter dit milieuvoordeel. Er is een nadelige milieu-impact door verbruik van materialen en transport van stalen bij metingen.

#### FINANCIËLE ASPECTEN

De kost van PFAS luchtmetingen zal hoger zijn dan metingen van andere pollutanten, omwille van de uitgebreide stappen voor staalname (bemonsteringstrein met filter, adsorbent en wasflessen en uitgebreide procedure kwaliteitscontrole) en verwerking. Omdat een emissiemeting zelf een dag in beslag neemt (opstelling/spoelen/3u meten/spoelen/afbreken), gaat dit gepaard met zeer hoge kosten. De inschattingen door leden van het begeleidingscomité liggen uiteen, gaande van van ca. 2.800 euro tot meer dan 10.000 euro per meetpunt voor geleide emissies, en ca. 1000 euro en meer per meetpunt voor omgevingsmetingen. Het dient echter opgemerkt te worden dat dit voorlopige inschattingen zijn, aangezien er nog geen commerciële ervaring is met metingen volgens een gevalideerde meetmethode uitgevoerd door een erkend labo.

In het geval van een massabalans met metingen op vloeibare en vaste matrices, zijn er uitgewerkte Vlaamse meetmethoden, en dus zijn de kosten wel gekend bij bedrijven en labo's (ca. 135 euro per analyse).

Daarnaast hangen de kosten uiteraard af van de meetfrequentie.

## 4.5 AFZUIGING OF EVACUATIE VAN AFGASSEN

### BESCHRIJVING

Dampen, nevels en afgassen worden, volgens een code van goede praktijk, op de plaats waar ze ontstaan opgevangen en, na de eventueel noodzakelijke zuivering (zie volgende sectie 4.6), geëmitteerd via een schoorsteen. Dergelijke afzuiging/evacuatie van afgassen wordt in vele gevallen ook toegepast om te hoge concentraties voor werknemers in binnenruimtes te voorkomen. In vele bestaande inrichtingen zijn er reeds afzuigingen aanwezig voor de beheersing van andere stoffen dan PFAS, in het bijzonder bij verbrandingsprocessen, of processen waarbij gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen. Een voorbeeld is de afzuiging van afgassen bij open verchromingsbaden, waar het initiële doel de afzuiging van chroom(VI) is (Input leden BC, 2022).

Bij dergelijke afzuiging wordt rekening gehouden met maatregelen ter vermindering van de hoeveelheid afgas, zoals inkapselen van installatiedelen en doelgericht opvangen van stromen afgas. Geconcentreerde stromen worden apart afgezogen (en behandeld), en verdunning wordt vermeden.

Zoals aangegeven in paragraaf 3.2.3.2, kunnen er zowel geleide als diffuse emissies ontstaan bij het exploiteren van een waterzuiveringsinstallatie. Diffuse emissies zijn afkomstig van beluchtingsbekken (door aerosolvorming in de beluchters kan er emissie van PFAS naar lucht voorkomen), en in mindere mate open bekkens/buffers/tanks zonder beluchting, vooral bij het roeren/agiteren van het afvalwater. In een beperkt aantal gevallen vindt afvalwaterzuivering met beluchting in gesloten apparatuur plaats, gewoonlijk bij (afval)water met relatief hoge PFAS concentraties (bv. bij een producent van PFAS) en/of bij schuimfractionatie, zie ook de BBT-studie over PFAS waterzuivering. Dit wordt dan typisch gecombineerd met een afgaszuivering van onttrokken afgassen, zie 4.6. Bij toepassing van een luchtstripper (voor verwijdering VOS) worden de afgassen echter wel altijd opgevangen en naar een gaszuivering geleid.

### TOEPASBAARHEID

Afzuiging is in principe overal toepasbaar waar het proces niet volledig gesloten gebeurt. De beslissing om al dan niet een afzuiging, met eventuele afgaszuivering, toe te passen, is een afweging van de milieuaspecten en de financiële aspecten, zie volgende paragrafen.

**MILIEUVOORDEEL**

Voor het milieu in zijn geheel is er geen direct milieuvoordeel. Afzuiging of evacuatie van afgassen zorgt voor een grotere en/of meer gecontroleerde spreiding van de geloosde stoffen, wat op een lokaal niveau voordelig kan zijn vanuit milieuoogpunt en voor de volksgezondheid. De verontreiniging wordt echter enkel verplaatst en niet verwijderd. In het bijzonder in het geval van zeer persistente stoffen als PFAS, kan een grotere verspreiding echter leiden tot te hoge omgevingsconcentraties over zeer grote afstanden.

Het voornaamste milieuvoordeel is indirect. Immers, het opvangen van dampen, nevels en stof aan de bron laat toe zuiveringstechnieken toe te passen op de afgassen. Hiervoor wordt verwezen naar volgende paragraaf 4.6.

Daartegenover staan het energieverbruik en het materialenverbruik voor (werking van) de afzuiging. Bij zeer beperkte emissiebronnen kunnen deze negatieve cross-media effecten belangrijker zijn dan het (indirecte) milieuvoordeel. Echter, aangezien de kennis over de (eco)toxiciteit en aanwezige concentraties in het milieu en te verwachten emissieniveaus nog in ontwikkeling is, is het op het moment van schrijven niet haalbaar om hier een meer concrete inschatting van te maken, zie ook 6.3.1. Minstens bij de in hoofdstukken 2 en 3 beschreven activiteiten is het zinvol om aan de hand van de inventaris van PFAS-risico's (4.1) en monitoring (via massabalans) van diffuse emissies (4.4) in te schatten waar het opvangen van diffuse emissies opweegt tegen het energie- en materialenverbruik.

**FINANCIËLE ASPECTEN**

De kosten hangen in grote mate af van het debiet van de afzuiging. Geconcentreerde afgassen met kleinere debieten zijn dus kosteneffectiever dan verdunde afgassen met hoge debieten. Bij zeer beperkte emissiebronnen is de relatieve kost ten opzichte van het (indirecte) milieuvoordeel hoog.

**4.6 VERWIJDERING VAN LUCHTEMISSIES DOOR ZUIVERING VAN AFGASSEN****BESCHRIJVING**

Eerder in deze BBT-studie werd al beschreven dat PFAS luchtmissies kunnen verlopen in gasvorm, of via aerosolen, en dat dit verschillend is voor verschillende ketenlengtes/molecuulgroottes, zie 3.1 en 4.3. Bij de zuivering van afgassen is eveneens een belangrijk onderscheid te maken tussen de verwijdering van fijne stofdeeltjes en de verwijdering (inclusief afbraak) van gasvormige PFAS, die eventueel met elkaar gecombineerd worden, afhankelijk van de aard en samenstelling van het afgas. Bij de zuivering van afgassen, zal er steeds een afzuiging aan voorafgaan, zie 4.5.

Hier worden een aantal aan PFAS gerelateerde zuiveringstechnieken kort beschreven, met de voornaamste informatie zoals toepassingen, varianten en werkingsgraad. Deze opsomming heeft niet de ambitie om een exhaustieve lijst te vormen van beschikbare technieken, maar beschrijft de op dit moment meest toegepaste en onderzochte technieken. Voor meer details en andere mogelijke technieken wordt verwezen naar de techniekfiches van de LUSS-tool (Luchtzuiveringstechnieken SelectieSysteem)<sup>30</sup>. LUSS is een beslisondersteunend systeem dat kan helpen bij een eerste screening van mogelijke technieken om een luchtverontreiniging op te lossen.

- 1° Verwijdering stofvormige luchtmissies

<sup>30</sup> LUSS <https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/selectiesystemen/luss>

Er zijn verschillende technieken om fijne stofdeeltjes te verwijderen uit afgassen, elk met specifieke voor- en nadelen, zie ook de techniekfiches van de LUSS-tool. Afgevangen stof wordt in de meeste gevallen afgevoerd als afvalstroom.

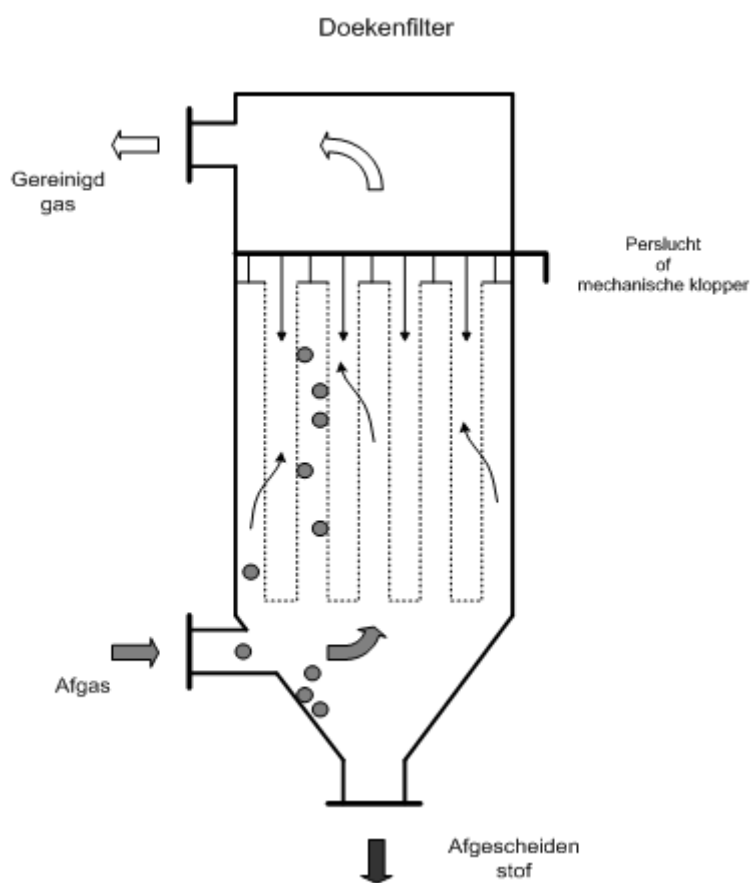
- Stoffilters

Om stofdeeltjes (met PFAS) te verwijderen tot zeer lage niveaus, worden vaak stoffilters gebruikt, bv. doekenfilters/mouwenfilters, zie LUSS techniekfiche<sup>31</sup> en onderstaande figuur. Met dergelijke doekenfilters zijn algemeen stofconcentraties van  $< 10 \text{ mg/Nm}^3$  haalbaar, met een verwijderingsrendement van 99 – 99,9 %. Stoffilters worden toegepast voor verwijdering van PFAS-houdend stof, onder meer bij producenten van PFAS. Eén van de veelgebruikte basismaterialen voor de filterdoeken is PTFE, een PFAS polymeer. Hierbij is het dus van belang dat degradatie van dit PTFE vermeden wordt, door o.a. de maximale continue werkingstemperatuur van 260°C te respecteren.

Een stoffilter worden doorgaans ook toegepast voorafgaand aan verwijdering van gasvormige componenten. Dit is zeker het geval bij het inzetten van actiefkoolfilterelementen (zie volgende paragrafen), met als doel deze actiefkoolfilters niet te verstopen met stof. Stoffilters die filteren tot stofconcentraties  $< 10 \text{ mg/Nm}^3$  zijn echter minder geschikt voor de toepassing voorgeschakeld aan een actiefkoolfilter. Een lagere concentratie is hier aangewezen om verstopping en verlies aan capaciteit van de actief koolfilter te beperken (Informatie leden BC, 2022). Platenfilters kunnen toegepast worden om stof concentraties tot  $< 0,1 \text{ mg/m}^3$  te bereiken. Er zijn geen toepassingen van een platenfilter gericht op verwijdering van PFAS-houdend stof gekend, maar ze worden wel gebruikt (in combinatie van zuivering van gasvormige pollutanten) bij andere veeleisende toepassingen zoals voor de verwijdering van (andere) POP's bij shredders van metaalschroot. Ze kunnen ingezet worden bij temperaturen tot 110°C (Informatie leverancier, 2022).

---

<sup>31</sup> Techniekfiche doekenfilter <https://emis.vito.be/nl/node/19308>



Figuur 9: Afbeelding van doekenfilter (LUSS, 2022)

Een variant op de doekenfilters zijn compactfilters, ook cassettefilters of enveloppenfilters genaamd. Het verschil t.o.v. een doekenfilter is de compacte opbouw en de manier waarop de filterelementen zijn aangebracht in het filterhuis. Ze zijn zodanig geplaatst dat ze eenvoudig te vervangen zijn.

Voor specifieke toepassingen kunnen in de doeken katalysatoren worden verwerkt, zogenaamde katalytische doeken. In deze gevallen wordt vanadium/titanium als katalysator gebruikt. Er zijn geen gekende toepassingen voor PFAS, en hun werkingsgraad voor PFAS is niet gekend. De belangrijkste toepassing is de verwijdering van dioxines en furanen, maar ook andere verontreinigingen zoals VOC's, PAK's, PCB's en andere gechloreerde verbindingen kunnen worden verwijderd.

Daarnaast zijn er keramische filters met hetzelfde werkingsprincipe als een doeken- en compactfilter, maar uitgevoerd in o.a. aluminium oxide, siliciumoxide en siliciumcarbide. Deze zijn inzetbaar bij temperaturen  $<1000^{\circ}\text{C}$ , en verwijdering van stof tot concentraties van  $1 \text{ mg/m}^3$  is haalbaar, zie LUSS techniefiche<sup>32</sup>. Er zijn echter geen toepassingen voor verwijdering van PFAS-houdend stof bekend.

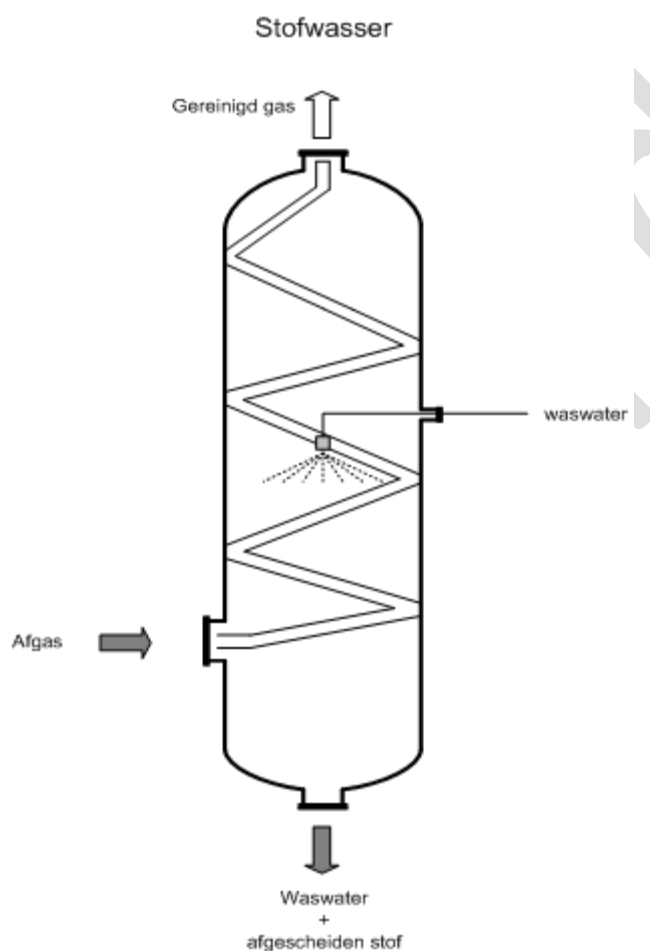
- Stofwassing

<sup>32</sup> Techniefiche keramische filter <https://emis.vito.be/nl/node/19309>



Stofdeeltjes kunnen ook verwijderd worden door wassing van het afgas met water of een andere vloeistof, oplossing of mengsel, ook wel scrubber genaamd (zie LUSS techniekfiche<sup>33</sup> en onderstaande figuur). Een stofwassing kan tegelijk ook gasvormige componenten verwijderen (zie gaswassing hieronder). Er zijn toepassingen gekend voor verwijdering van PFAS-houdend stof in meerdere sectoren, onder meer bij producenten van PFAS.

De twee meest voorkomende varianten van stofwassers zijn de venturi- en rotatiewassers. Venturiwassers (venturi scrubber, wervelwasser, cyclone scrubber) hebben een hoog rendement (70 tot 99 %) afhankelijk van de deeltjesgrootteverdeling. Ze kunnen ingezet worden bij temperaturen tot 1000°C, zie LUSS techniekfiche<sup>34</sup>. Rotatiewassers (Rundnassentstauber, Rotationnassabscheider, Nassventilator-Kolonnenwäscher, dynamische wasser) kunnen hoge verwijderingsrendementen tot 99 % tot in het submicron gebied behalen, afhankelijk van de uitvoeringsvorm. Rotatiewassers kunnen deeltjes tot 0,1 µm verwijderen, stofdeeltjes groter dan 1 à 2 µm worden bijna volledig afgescheiden. De temperatuur is afhankelijk van de uitvoeringsvorm beperkt tot <200°C, zie LUSS techniekfiche<sup>35</sup>.



Figuur 10: Afbeelding van een stofwasser (LUSS, 2022)

<sup>33</sup> Techniekfiche stofwasser <https://emis.vito.be/nl/node/19300>

<sup>34</sup> Techniekfiche venturiwasser <https://emis.vito.be/nl/node/19302>

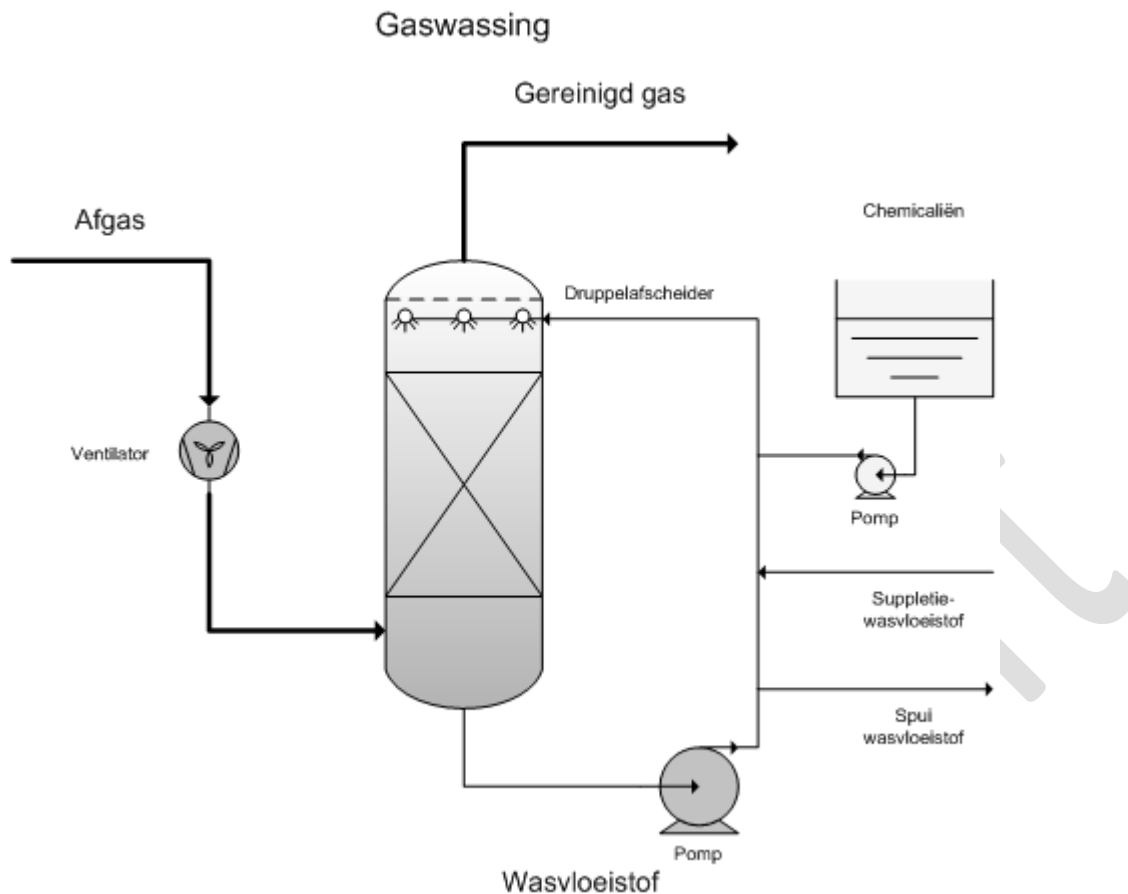
<sup>35</sup> Techniekfiche rotatiewasser <https://emis.vito.be/nl/node/19301>

## 2° Verwijdering gasvormige luchtmissies

Er zijn verschillende technieken om organische gasvormige stoffen zoals PFAS te verwijderen uit afgassen, elk met specifieke voor- en nadelen, zie ook de techniekfiches van de LUSS-tool. Voor gasvormige PFAS luchtmissies is de algemene strategie om bij hoge concentraties effectieve destructietechnieken toe te passen, en bij lage concentraties de componenten te scheiden uit de gasstroom en te transfereren in een geconcentreerde vaste of vloeibare matrix, en deze al dan niet extern verder te verwerken met een destructietechniek. Sommige technieken in opkomst (labo- of pilotschaal) zijn mogelijk wel geschikt voor destructie bij relatief lage concentraties. Hieronder worden eerst een aantal scheidingstechnieken opgelijst, en daarna destructie.

- Gaswassing (scheidingstechniek)

Een [gaswasser](#) (scrubber, absorptie) is een reinigingsinstallatie waarin een gasstroom in intensief contact wordt gebracht met een vloeistof met als doel bepaalde gasvormige componenten uit het gas naar de vloeistof te laten overgaan, zie onderstaande figuur. Er zijn vele verschillende varianten en uitvoeringen mogelijk, zoals [sproeitoren](#), [venturiwassers](#), [rotatiewassers](#), ionisatiewassers en wassers met schotelkolommen of gepakte kolommen. Verschillende vloeistoffen kunnen gebruikt worden, waarbij voor PFAS, en in het bijzonder PFAA's, voornamelijk water en een NaOH-oplossing relevant zijn. Ook combinaties worden in de praktijk toegepast, bv. een serie van wassers waar 'zure gassen' gewassen worden met water, met in de laatste wasser toevoeging van NaOH ter neutralisatie. Dit is typisch voor afvalverbranding of bij een naverbrander (zie verder), waarbij de lage pH in de zure wasser veroorzaakt wordt door aanwezigheid van aanzienlijke concentraties zuren zoals HF en HCl in de afgassen na verbranding. Afhankelijk van de pH van de oplossing (typisch pH 1 in dergelijke omstandigheden) en van de dissociatieconstante pKa van de stof, zullen bepaalde PFAS zoals PFCA's en PFSA's (gedeeltelijk) dissociëren tot anionen. Vele van deze PFCA's en PFSA's hebben een pKa kleiner dan 1, wat betekent dat zij voor meer dan 50% gedissocieerd zijn bij pH 1. Bij pH 5 of meer, typisch voor de latere wasser (die gericht is op verwijdering SOx), zijn alle componenten met pKa kleiner dan 3 voor meer dan 99% gedissocieerd. Voor deze PFAS betekent dit een betere oplosbaarheid, en verlaagde volatiliteit, zie ook 3.1. Voor niet-dissociërende componenten wordt de lucht-water verdeling volledig bepaalde door de Henry constant Kaw. Apolaire groepen zoals PFIA's (perfluoralkyl iodides), FTI's (fluorotelomer iodides) en PFC's (perfluoroalkanen) hebben een hogere Kaw en blijven voornamelijk in de gasfase, terwijl FTOH's een matige Kaw hebben (RIVM, 2021; informatie BC, 2022). [RIVM](#) (Bakker et al., 2021) verschaft meer uitgebreide informatie. Het rapport geeft in bijlage V een overzicht van de effectiviteit van verwijdering voor een uitgebreide lijst PFAS componenten, zowel voor een typische trein van technieken (quench + gaswassing met NaOH in 'SO<sub>2</sub> trap' + venturiwasser + poeder actief kool) als voor de individuele technieken waaruit de trein is opgebouwd, en dus ook voor gaswassers. Hieruit blijkt duidelijk dat de effectiviteit zeer sterk varieert tussen verschillende componenten. Analoog wordt dit geanalyseerd voor een installatie met CO<sub>2</sub> recuperatie in bijlage VI. Zure en basische wassers zijn inzetbaar bij temperatuur van 5-80°C, en lage stofgehaltenes <10 mg/m<sup>3</sup>. Voor meer details en andere randvoorwaarden, zie LUSS techniekfiches [zure wasser](#) en [basische wasser](#). Er zijn toepassingen gekend voor verwijdering van PFAS in meerdere sectoren, onder meer bij afvalverbranding en reactivatie van actief kool, maar ook bij producenten van PFAS. Een gaswasser wordt daar bijvoorbeeld gecombineerd met een mistfilter (99% verwijdering van deeltjes > 0,1 micron) en nageschakelde actief kool filter (zie verder) voor behandeling van afgassen met hoog debiet en lage concentratie, zoals fluorpolymeerdroging bij producenten. Gaswassing kan ook voor andere afgassen met lage concentraties ingezet worden, bv. bij afzuiging van de werkruimte. Het is op het moment van schrijven niet duidelijk of de techniek geschikt is voor hoge concentraties, bv. voor procesafgassen.



**Figuur 11: Afbeelding van een gaswasser**

- Actief kool adsorptie (scheidingstechniek)

**Actief kool** is een microporeuze inerte koolstofmatrix, met een zeer groot intern oppervlak (700 tot 1 500 m<sup>2</sup>/g). Dit intern oppervlak leent zich ideaal tot adsorptie. Actief kool wordt gemaakt van amorf koolstofbevattend materiaal zoals hout, steenkool, turf, kokosnootschalen,... Het wordt gevormd door een thermisch proces waarbij de vluchtige componenten van het koolstofhoudend materiaal (grondstof) worden verwijderd in afwezigheid van zuurstof. Via specifieke behandelingen krijgt men een bepaalde poriënstructuur die de adsorptiecapaciteit en adsorptie eigenschappen van die actieve kool bepaalt. De gasstroom wordt door het actief kool geleid, waar de te verwijderen componenten door adsorptie worden gebonden aan het actief kool. Bij het bereiken van de verzadigingsgraad van het actief kool wordt deze vervangen of geregenereerd/gereactiveerd. Het is belangrijk de filter te vervangen voordat 'doorbraak' kan leiden tot emissies naar het milieu. In de meeste industriële toepassingen worden gesloten filters gebruikt, met 2 of meerdere filters in serie (lead-lag configuratie) of parallel. In een seriële opstelling wordt, wanneer de eerste filter verzadigd is (wanneer er doorbraak van één van de PFAS componenten wordt vastgesteld) wordt deze verwijderd, schuiven de overige filters een plaats op en wordt er een nieuwe bij geplaatst op de laatste plaats in de serie. In een parallelle opstelling dient de ene filter tijdig te worden vervangen, voor doorbraak van PFAS componenten, terwijl het afgas naar de andere filter wordt geleid. Bij vervanging wordt de beladen actief kool meestal teruggenomen door de leverancier die het als (chemisch) afval afvoert, regeneert of reactiveert, zie ook (WASS, 2010; Watercircle, 2021). Adsorptie d.m.v. actief kool kan gebeuren in vaste of mobiele filters onder de vorm van gevulde patronen, als los gestorte kool in een gepakt bed of als injectie van poedervormige kool gecombineerd met een doekfilter.

De werkingsgraad is afhankelijk van het type verontreiniging, het type actieve kool dat wordt gebruikt en de temperatuur en vochtigheid van de afgassen. Hoe lager temperatuur, vochtgehalte en stofgehalte, hoe beter de werking van het actieve kool. Actief kool is een simpele en robuuste technologie, en geschikt voor continue en discontinue processen. Mengsels van componenten kunnen voor een snelle doorslag zorgen, en in het bijzonder korte keten PFAS kunnen verdreven worden van een actief kool bed door competitie door andere componenten die preferentieel adsorberen. In het bij de gaswasser gegeven voorbeeld van de combinatie gaswasser + mistfilter + actief koolfilter, wordt een afgas van ca. 50 mg/Nm<sup>3</sup> gezuiverd tot < 0,005 mg/Nm<sup>3</sup>, dus een verwijdering > 99,99% voor de combinatie van de zuiveringstechnieken, waarbij het actieve kool een efficiëntie van >99% heeft voor fluorcomponenten met minstens 5 koolstofatomen. Wanneer de ingangconcentratie laag is, kan 'stripping' (overdracht van actief kool naar het gas) van eerder geadsorbeerde PFAS componenten plaatsvinden. Het is dus te vermijden dat propere gassen over het actief koolbed worden geleid. Het type actief kool heeft invloed op de efficiëntie, kleinere poriëgroottes verbeteren deze.

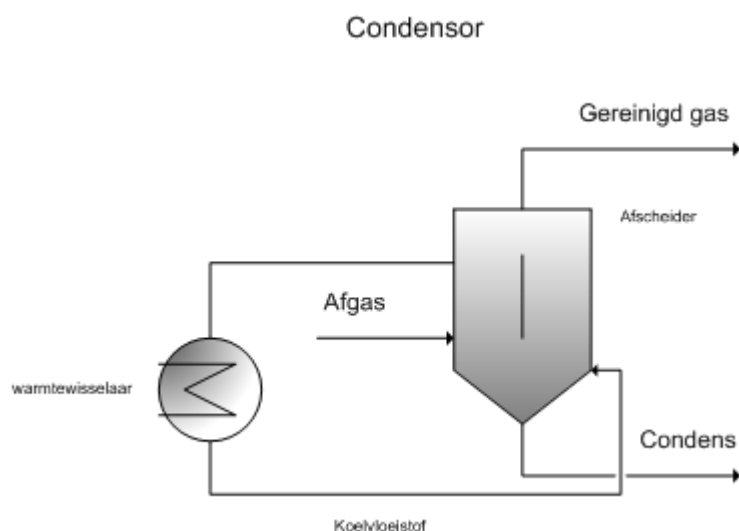
De werkingsgraad en specifieke voor- en nadelen zijn reeds veel meer onderzocht en gekend voor waterzuivering dan voor luchtzuivering. Hiervoor verwijzen we onder meer naar de BBT-studie PFAS waterzuiveringstechnieken (in opmaak). Algemeen kan men stellen dat adsorptie aan actief kool in de gasfase dezelfde regels volgt als bij adsorptie in vloeistof- of waterfase. Het grootste verschil is de aanwezigheid van de waterfase zelf als drager van de pollutanten i.p.v. luchtfase, wat de diffusietijden om de pollutanten naar de adsorptieplaatsen te brengen zal verlengen. Voor een waterfase zijn empty bed contacttijden minuten tot uren nodig, tegenover een paar seconden in een luchtfase (leveranciersinformatie, 2022). Zoals vermeld bij gaswassing, verschaft [RIVM](#) (Bakker et al., 2021) een uitgebreid overzicht van de effectiviteit bij gaszuivering bij afvalverbranding.

Actief kool adsorptie (vast bed) (meer specifiek granulaire actieve kool met een korrelgrootte van 2 tot 5 mm) wordt toegepast voor verwijdering van specifiek PFAS uit afgassen, onder meer bij producenten van PFAS. Het wordt verder breed toegepast voor uiteenlopende organische componenten in verschillende sectoren, ook sectoren met mogelijke PFAS luchtmissies, al is er in veel gevallen nog weinig informatie over hun werking bij complexe mengsels.

- Condensor (scheidingstechniek)

In een [condensor](#) wordt de gasstroom afgekoeld met een koelmedium (koude wand van een warmtewisselaar of vloeistof). Door de temperatuurverlaging verlaagt de dampspanning van de pollutanten in de gasstroom. Indien de dampspanning onder de partieldruk van de pollutent komt, zal de stof uitcondenseren in een nevel of druppeltjes. Deze nevel of druppeltjes moeten nadien worden afgescheiden met een nevel of druppelafscheider, zie onderstaande figuur.

Condensoren worden toegepast voor herwinning van condenseerbare PFAS bij producenten van PFAS in het productieproces, niet als end-of-pipe emissie beperkende techniek. Er is geen toepassing als emissie beperkende techniek voor PFAS gekend (buiten als onderdeel van het productieproces voor PFAS zelf). Het condensaat, met daarin de gecondenseerde PFAS, zal verder behandeld moeten worden (zie BBT-studie voor de zuivering met PFAS belast bedrijfsafvalwater en bemalingswater).



**Figuur 12: Afbeelding van een condensor**

- Thermische oxidatie (destructietechniek)

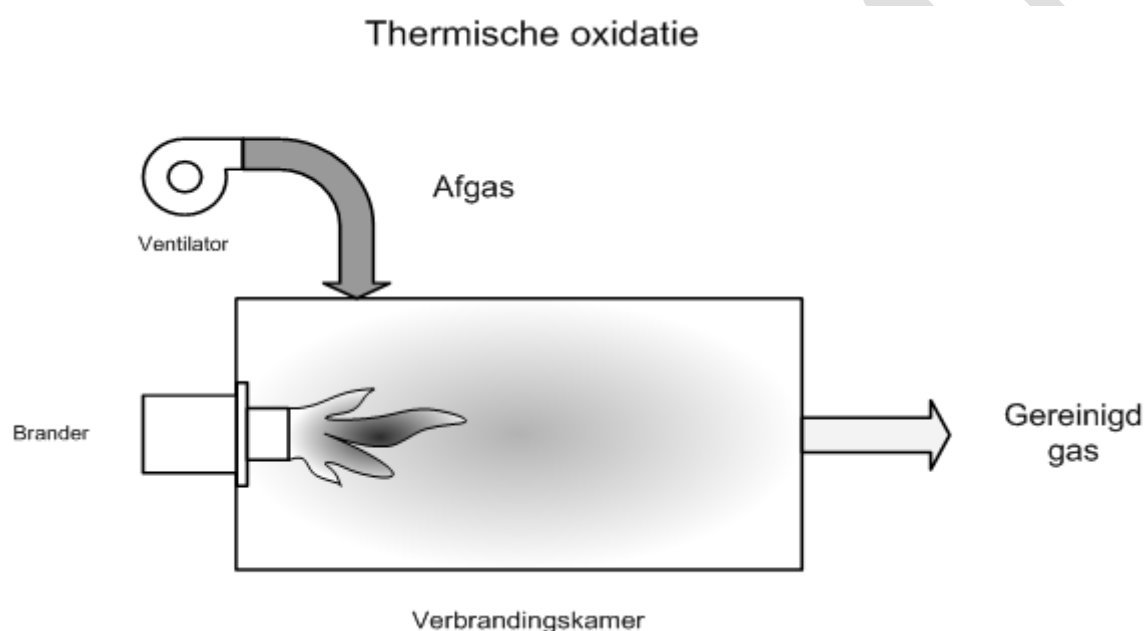
De afgassen worden bij [thermische oxidatie](#) (thermische naverbranding) samen met de nodige hoeveelheid verbrandingslucht voldoende lang op een hoge temperatuur gebracht en gehouden, waarbij de verontreinigingen (VOS, geur, ...) met zuurstof geoxideerd worden tot  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{HCl}$ , ... . Bij verbranding van PFAS wordt daarnaast ook een aanzienlijke hoeveelheid HF gevormd. De efficiëntie van de naverbranding wordt voornamelijk beïnvloed door de temperatuur, verblijftijd, turbulentie (voor menging) en beschikbaarheid van zuurstof.

De temperatuur varieert bij thermische naverbranding in het algemeen tussen  $750^\circ\text{C}$  en  $1200^\circ\text{C}$ . Voor gehalogeneerde componenten is een hogere temperatuur aangewezen tussen  $1000^\circ\text{C}$  en  $1200^\circ\text{C}$ , en in het bijzonder voor ge(per)fluoreerde componenten, die beschikken over de sterkste covalente bindingen, en ze dus het meeste energie vereisen om deze bindingen te doorbreken.

Hierbij worden PFAS moleculen bij voorkeur volledig afgebroken/geminaliseerd tot HF en/of (in aanwezigheid van kationen) zouten zoals  $\text{CaF}_2$  (en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , enz.). Bij onvolledige afbraak van PFAS ontstaan er kortere keten PFAS en andere fluorcomponenten, die op hun beurt moeilijker afbreken, en dus meer energie vereisen, en eveneens moeilijker te verwijderen zijn met andere technieken. De moeilijkst afbreekbare fluorcomponent is  $\text{CF}_4$ . Afbraak van 99% ervan gebeurt onder een verblijftijd van 2 seconden bij  $1440^\circ\text{C}$  (Hofman et al, 2022; Hofman en Berghmans, 2021; Bakker et al., 2021)<sup>36</sup>. Meer gedetailleerde informatie uit de wetenschappelijke literatuur wordt gegeven onder 3.2.3. Naverbranders van  $1440^\circ\text{C}$  zijn technisch een uitdaging omdat er geen tolerantie is voor stof. Anders treedt er verglazing op (informatie leden BC, 2023). Hoewel er van enkele van de kleinste, moeilijkst af te breken moleculen zoals  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  en  $\text{C}_3\text{F}_8$ , aanwijzingen zijn dat deze niet, of althans veel minder, toxicologisch relevant zijn (zie hoofdstuk 2), zijn dit sterke F-gassen, met belangrijk broeikasgaseffect. Hun vorming en emissie wordt daarom best zo veel mogelijk beperkt. Van korte keten PFAS (bv.  $\text{C}_4$  zoals PFBA en PFBS) zijn er aanwijzingen dat ze wel toxicologisch relevant zijn (zie hoofdstuk 2). In welke mate is onderwerp van verder onderzoek (zie 6.3.1). Voor ultrakorte keten PFSA's en PFCA's (< $\text{C}_4$ ) is de eventuele toxiciteit nog niet duidelijk. Omdat HF een corrosief gas is, wordt het afgas na thermische oxidatie vaak nabehandeld met een base (bv. kalkmelk,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ...) ter neutralisatie.

<sup>36</sup> [Literature review thermal PFAS destruction \(vlaanderen.be\)](#)

Het verhogen van de verhouding waterstof ten opzichte van halogenen (dus bv. fluor-, chloor- en broomatomen), typisch door fijne verneveling van water in de vlam, blijkt een gunstige invloed te hebben op de volledige afbraak van PFAS. Een >30% overmaat waterstof/halogenen bevordert de volledige mineralisatie van fluorverbindingen zoals PFAS bij een temperatuur van 1100°C bij 3-4% O<sub>2</sub>. Ook is een goede menging van afgas, brandstof en verbrandingslucht van belang. De beperking van de temperatuur beperkt ook de sublimatie van AlF<sub>3</sub>, hetgeen een reactieproduct is van de aantasting van Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> door AlF<sub>3</sub>. De dampdruk zou bij 1160°C ongeveer 10x hoger zijn. Officiële 'derde partij' schouwmetingen door extern labo (overzien door US EPA) uitgevoerd bij een commerciële naverbrander (Chemours vestiging Parkersburg, WV, US) heeft een verwijderingsefficiëntie voor C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> van >99,995% bij 1100°C en >99,997% bij 1200°C. Voor HFC-23 (fluoroform of trifluormethaan) is dit typisch >99,9999% (informatie leden BC, 2022).



**Figuur 13: Afbeelding van thermische oxidatie**

Thermische oxidatie is het efficiëntst bij hoge concentraties organische componenten, en ook vanuit economisch oogpunt is dit het meest interessant, omdat er dan minder steunbrandstof nodig is om de verbrandingstemperatuur te bereiken. Bij te lage concentraties en hoge debieten is de techniek niet kosteneffectief. Om de kosteneffectiviteit en energetische efficiëntie te verbeteren, is recuperatieve thermische oxidatie<sup>37</sup> een mogelijk alternatief. Hierbij wordt een deel van de gegenereerde warmte teruggewonnen via een warmtewisselaar, die het inkomende afgas opwarmt met de warmte van het gereinigd afgas.

Een ander alternatief is [regeneratieve thermische oxidatie](#), soms ook RTO genaamd. Voor verbranding van PFAS dient deze techniek echter gezien te worden als een techniek in opkomst, zie informatie in hoofdstuk 7, . 'off-the-shelf' beschikbare installaties behalen niet de benodigde temperaturen en/of zijn te gevoelig aan de corrosieve werking van HF.

<sup>37</sup> Techniefiche recuperatieve thermische oxidatie <https://emis.vito.be/nl/node/19351>



Thermische oxidatie wordt toegepast voor specifieke destructie van PFAS, onder meer bij producenten van PFAS. Hierbij wordt een verwijderings- of afbraakefficiëntie van >90% vermeld voor componenten die meetbaar zijn in de afgasstroom na de thermische oxidatie, en niveaus beneden detectielimiet met >99% efficiëntie voor andere componenten. Bij een industriële thermische oxidatie-installatie met een verblijftijd van 1 seconde en een temperatuur tussen 1200 – 1400°C werd een afbraakefficiëntie van 93,7% voor CF<sub>4</sub> vastgesteld en concentraties onder de quantificatielimiet (met meer dan 99% afbraakefficiëntie) voor alle andere meetbare PFAS componenten. Bij een ander bedrijf wordt een temperatuur van 1100°C en een verblijftijd van “enkele seconden” toegepast (informatie leden begeleidingscomité, 2022). Zoals hierboven beschreven, hangt de afbraak van PFAS bij thermische oxidatie niet enkel af van tijd en temperatuur, maar nog van vele andere factoren, zoals het gasmengsel ter hoogte van de vlam.

### 3° Verwijdering aerosol luchtmissies

Voor de verwijdering van aerosol luchtmissies worden vaak dezelfde technieken gebruikt, zoals bv. gaswassing (mist eliminator).

#### TOEPASBAARHEID

Deze zuiveringstechnieken zijn enkel toepasbaar op geleide luchtmissies, en hangen dus samen met afzuiging/evacuatie van afgassen beschreven in 4.5. Hoewel end-of-pipe technieken voor geleide luchtmissies van (gasvormige) organische pollutanten en/of stofdeeltjes algemeen toepasbaar zijn, worden ze specifiek voor PFAS op dit moment nog niet breed toegepast. Bij productie van PFAS en PFAS-houdende producten zijn ze wel algemeen toegepast. Er is op het moment van schrijven slechts beperkte informatie over de randvoorwaarden voor en de werkingsgraad van verschillende technieken specifiek voor behandeling van PFAS. Echter, in het algemeen lijken er voor zowel verwijdering van stofdeeltjes als voor gasvormige emissies van vele PFAS componenten, en in het bijzonder componenten die gemakkelijk dissociëren, voldoende efficiënte en effectieve technieken beschikbaar. De keuze van (combinaties van) zuiveringstechniek(en) hangt af van de samenstelling en karakteristieken van het afgas. Enkele bestaande voorbeelden uit de praktijk (niet exhaustief):

- thermische oxidatie + (meertraps)gaswassing + actief koolfilter: voor afgassen met hoge concentraties PFAS en/of organische stoffen in het algemeen. De gaswassing en actief koolfilter zorgen voor captatie van verbrandingsproducten en eventuele restconcentraties PFAS. Beperkte stofconcentraties (anders moet er nog stoffiltratie toegevoegd worden)
- electrostatische filter/precipitator + (meertraps)gaswassing + actief koolfilter: dit wordt onder andere toegepast bij afvalverbranding, waaronder draaitrommelovens
- gaswassing + mistfilter (+ eventueel gevolgd door actief kool adsorptie als polishing stap): voor lage of matige concentraties (bv. 50 mg/Nm<sup>3</sup>) fluorcomponenten. De combinatie van gaswasser + mistfilter verwijdert zowel oplosbare componenten als partikels >0,1 micron (99%).

Echter, deze technieken en treinen van technieken zijn niet effectief voor alle PFAS componenten. [RIVM](#) (Bakker et al., 2021) verschaft hierin meer inzichten.

#### MILIEUVOORDEEL

De verwijdering of afbraak van het in het afgas aanwezige PFAS is het belangrijkste milieuvoordeel. Zoals beschreven bij de verschillende technieken, is er weinig informatie over de werkingsgraad en randvoorwaarden. Afhankelijk van de aard en de samenstelling van het afgas, en de te bereiken eindconcentraties, kan het nodig zijn technieken te combineren of ze in een meertrapsvorm toe te passen.

Bij elk van de technieken zijn er echter nadelige cross-media effecten, afhankelijk van de aard en de samenstelling van het afgas, en de techniek in kwestie, waaronder:

- a) Toename energieverbruik van ventilatoren om drukval te compenseren bij alle technieken
- b) Vorming PFAS-houdend stof of slib bij stofverwijdering, dat verder verwerkt moet worden
- c) Verbruik van water en eventueel chemicaliën bij gaswassing
- d) Vorming PFAS-houdend afvalwater bij gaswassing, dat verder verwerkt moet worden
- e) Verbruik van actief kool bij actief koolfilter
- f) Vorming van PFAS-houdend actief kool afval, dat in sommige gevallen niet gereactiveerd kan worden, en dus op een andere manier verder verwerkt moet worden
- g) Verbruik van energie voor koeling bij een condensor
- h) Vorming PFAS-houdend afvalwater bij condensor, dat verder verwerkt moet worden
- i) Verbruik van brandstoffen bij thermische oxidatie
- j) Groter 'verbruik' van keramisch materiaal in RTO's indien stofafzetting optreedt en inbranden ervan
- k) Vorming van sterke broeikasgassen (F-gassen) bij onvolledige thermische afbraak. Hier kan de impact door het meerverbruik aan energie (brandstoffen) vergeleken worden met de impact door verdere afbraak van F-gassen, zie ook 3.2.3.1.

De afvalstoffen die ontstaan bij de scheidingstechnieken (o.a. stoffilter, actief koolfilter, gaswassing, condensatie), moeten op hun beurt weer verwerkt worden, wat doorgaans extern gebeurt. Dit leidt, naast mogelijk verbruik van materialen, water en energie, elders opnieuw tot (mogelijke) luchtmissies. Het voordeel is echter dat scheidingstechnieken toelaten PFAS componenten meer te concentreren, en zo het energieverbruik voor destructie te beperken.

In het algemeen nemen de nadelige cross-media effecten toe naarmate de concentraties PFAS en/of interfererende stoffen voor zuivering toenemen, en naarmate de te bereiken eindconcentratie na zuivering afneemt. Het is af te wegen of en wanneer het milieuvoordeel van de PFAS verwijdering opweegt tegen de nadelige effecten. Algemeen zal dit meer het geval zijn bij hogere concentraties en meer schadelijke componenten, in het bijzonder bij zeer zorgwekkende stoffen. Er lijkt op dit moment onvoldoende informatie beschikbaar te zijn om hier een meer concrete inschatting van te maken.

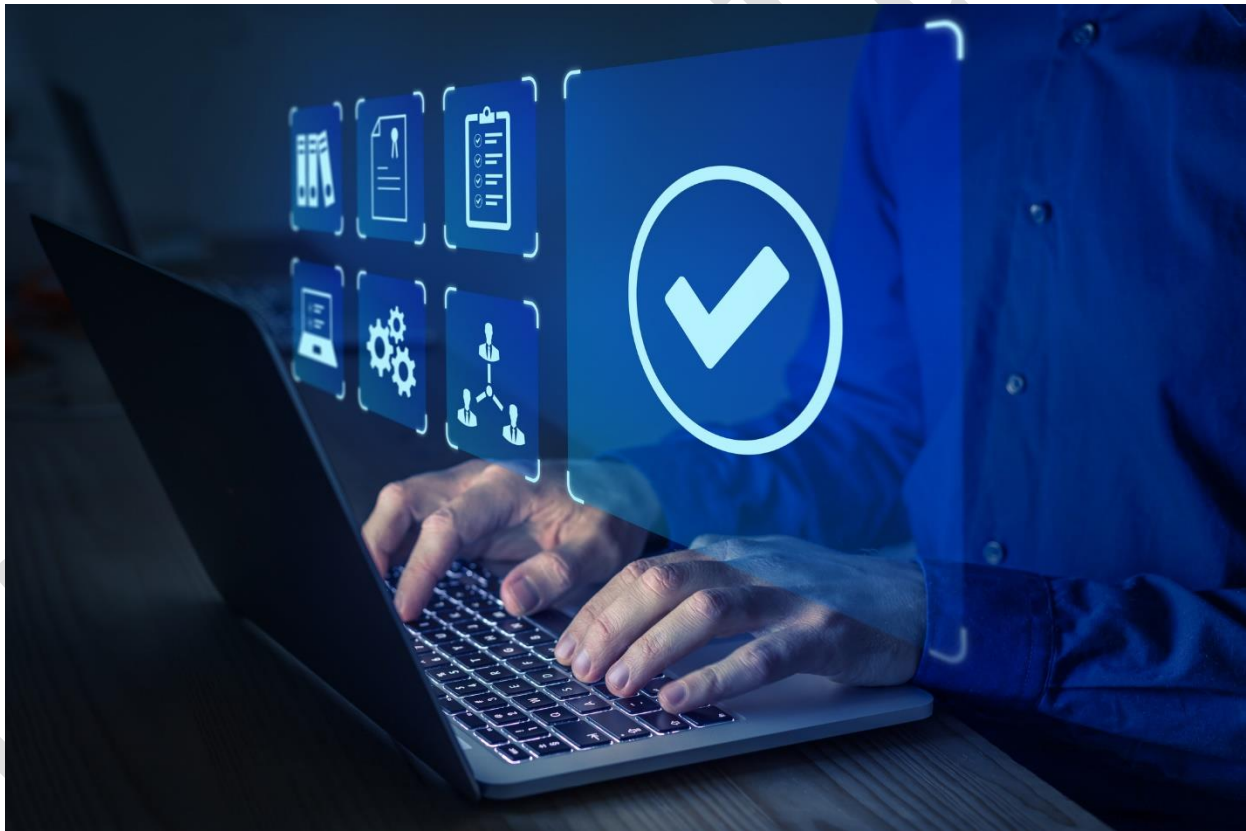
Indien relevante concentraties PFAS aanwezig zijn in gebruikte grondstoffen of hulpstoffen voor de behandeling van het afgas, bv. in het water voor gaswassing, kan dit leiden tot een minder effectieve verwijdering, of in bepaalde gevallen zelfs een toename van PFAS, of van bepaalde componenten, in het afgas na de behandeling.

#### FINANCIËLE ASPECTEN

End-of-pipe technieken gaan gepaard met investerings- en operationele kosten, afhankelijk van de aard en samenstelling van het afgas, en de te verwerken debieten. Voor meer informatie en concrete cases wordt verwezen naar de LUSS techniekfiches die worden vermeld bij elk van de technieken. In het algemeen zijn technieken kosteneffectiever bij beperkte debieten, hoge concentraties, efficiënt te verwijderen componenten en componenten met een grotere impact op milieu en gezondheid. Er lijkt op dit moment onvoldoende informatie beschikbaar om hier een meer concrete inschatting van te maken.

Vergeleken met de mogelijke grootteorde van saneringskosten bij verontreiniging van de omgeving, zal het beperken van luchtmissies, procesgeïntegreerd (zie technieken 4.2 en 4.3.) of end-of-pipe, nagenoeg altijd kosteneffectiever zijn. De saneringskost kan, bv. in het geval van grondwater/bemalingswater, oplopen tot honderdduizenden euro per kg PFAS. (informatie leden BC, 2022)

## HOOFDSTUK 5. SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN



## HOOFDSTUK 5. SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk worden de milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 geëvalueerd naar hun technische haalbaarheid, milieu-impact en economische haalbaarheid, en wordt aangegeven of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al dan niet als BBT aanzien kunnen worden.

Dit wil niet zeggen dat elk bedrijf ook zonder meer elke techniek die als BBT aangegeven wordt, kan toepassen. De bedrijfsspecifieke omstandigheden moeten steeds in acht genomen worden.

De BBT-selectie in dit hoofdstuk mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke technieken in hoofdstuk 4 als met de vertaling van de BBT-selectie naar aanbevelingen en concretisering van de milieuregelgeving in hoofdstuk 6.

### 5.1 EVALUATIE VAN DE BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN

In Tabel 4 worden de beschikbare milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 getoetst aan een aantal criteria. Deze multi-criteria analyse laat toe te oordelen of een techniek als Beste Beschikbare Techniek (BBT) kan beschouwd worden. De criteria hebben niet alleen betrekking op de milieucompartimenten (water, lucht, bodem, energie, ...), maar ook de technische haalbaarheid en de economische aspecten worden beschouwd. Dit maakt het mogelijk een integrale evaluatie te maken, conform de definitie van BBT (cf. Hoofdstuk 1).

Toelichting bij de inhoud van de criteria in Tabel 4:

#### TECHNISCHE HAALBAARHEID

- **bewezen:** geeft aan of de techniek zijn nut bewezen heeft in de industriële praktijk (“-”: niet bewezen; “+”: wel bewezen);
- **veiligheid:** geeft aan of de techniek, bij correcte toepassing van de gepaste veiligheidsmaatregelen, aanleiding geeft tot een verhoging van de risico’s op brand, ontploffing en arbeidsongevallen in het algemeen (“-”: verhoogt risico; “0”: verhoogt risico niet; “+”: verlaagt risico);
- **algemeen toepasbaar:** geeft aan of de techniek zonder technische beperkingen algemeen toepasbaar is in een gemiddeld bedrijf (“-”: niet algemeen toepasbaar; “+”: wel algemeen toepasbaar);
- **kwaliteit:** geeft aan of de techniek een invloed heeft op de kwaliteit van het eindproduct (“-”: verlaagt kwaliteit; “0”: geen effect op kwaliteit; “+”: verhoogt kwaliteit);
- **globaal:** schat de globale technische haalbaarheid van de techniek in (“+”: als voorgaande alle “+” of “0”; “-/ +”: als voorgaande alle “+” of “0” en toepasbaarheid “-”; “-”: als minstens één van voorgaande (behalve toepasbaarheid) “-”).

#### MILIEUVOORDEEL

- **waterverbruik:** hergebruik van afvalwater en beperking van het totale waterverbruik;
- **afvalwater:** inbreng van verontreinigde stoffen in het water tengevolge van de exploitatie van de inrichting;
- **lucht:** inbreng van verontreinigde stoffen in de atmosfeer tengevolge van de exploitatie van de inrichting;
- **bodem:** inbrengen van verontreinigde stoffen in de bodem en het grondwater tengevolge van de exploitatie van de inrichting;
- **afval:** het voorkomen en beheersen van afvalstromen;

- energie: energiebesparingen, inschakelen van milieuvriendelijke energiebronnen en hergebruik van energie;
- chemicaliën: invloed op de gebruikte chemicaliën en de hoeveelheid;
- effect op de keten: invloed op de voor- en naketen, exclusief het effect op de toeleveranciers van energie en water;
- globaal: ingeschatte invloed op het gehele milieu.

Per techniek wordt voor elk van bovenstaande criteria een kwalitatieve beoordeling gegeven, waarbij:

- “-”: negatief effect;
- “0”: geen/verwaarloosbare impact;
- “+”: positief effect;
- “+/-”: soms een positief effect, soms een negatief effect.

#### ECONOMISCHE HAALBAARHEID

- “+”: de techniek werkt kostenbesparend;
- “0”: de techniek heeft een verwaarloosbare invloed op de kosten;
- “-”: de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden draagbaar geacht voor de sector (d.i. voor een gemiddeld bedrijf) en staan in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieuwinst;
- “- -”: de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden niet draagbaar geacht voor de sector (d.i. voor een gemiddeld bedrijf), of staan niet in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieuwinst.

Uiteindelijk wordt in de laatste kolom telkens beoordeeld of de beschouwde techniek als beste beschikbare techniek kan geselecteerd worden (BBT: ja of BBT: nee). Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde instelling en/of lokale omstandigheden wordt BBT: vgtg (van geval tot geval) als beoordeling gegeven.

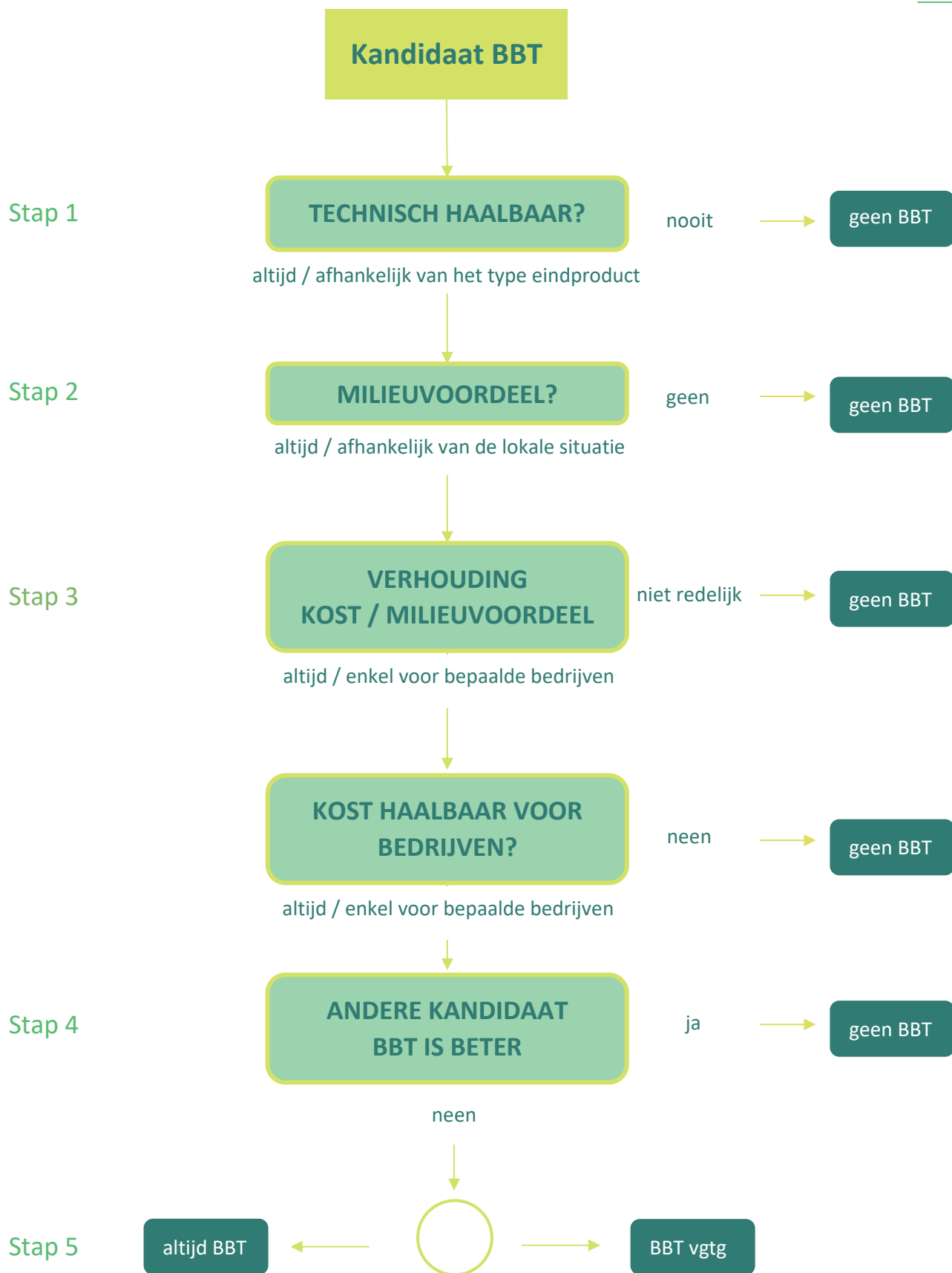
Het proces dat gevolgd wordt bij de BBT-selectie, is schematisch voorgesteld in Figuur 14:

- Eerst wordt nagegaan of de techniek (de zogenaamde “kandidaat BBT”) technisch haalbaar is, waarbij rekening wordt gehouden met de kwaliteit van het product en de veiligheid (stap 1).
- Wanneer de techniek technisch haalbaar is, wordt nagegaan wat het effect is op de verschillende milieucompartimenten (stap 2). Door een afweging van de effecten op de verschillende milieucompartimenten te doen, kan een globaal milieuoordeel geveld worden. Om dit laatste te bepalen worden de volgende elementen in rekening gebracht:
- Zijn één of meerdere milieuscores positief en géén negatief, dan is het globaal effect steeds positief;
- Zijn er zowel positieve als negatieve scores dan is het globaal milieu-effect afhankelijk van de volgende elementen:
  - de verschuiving van een minder controleerbaar naar een meer controleerbaar compartiment (bijvoorbeeld van lucht naar afval);
  - relatief grotere reductie in het ene compartiment ten opzichte van toename in het andere compartiment;
  - de wenselijkheid van reductie gesteld vanuit het beleid; onder andere afgeleid uit de milieukwaliteitsdoelstellingen voor water, lucht,... (bijvoorbeeld “distance-to-target” benadering).

- Wanneer het globaal milieu-effect positief is, wordt nagegaan of de techniek bijkomende kosten met zich meebrengt, of deze kosten in een redelijke verhouding staan tot de bereikte milieuwinst, en draagbaar zijn voor een gemiddeld bedrijf uit de sector (stap 3).
- Kandidaat BBT die onderling niet combineerbaar zijn (omdat combinatie niet mogelijk of niet zinvol is) worden onderling met elkaar vergeleken, en enkel de beste wordt als kandidaat BBT weerhouden (stap 4).
  - Uiteindelijk wordt beoordeeld of de beschouwde techniek als beste beschikbare techniek (BBT) kan geselecteerd worden (stap 5). Een techniek is BBT indien hij technisch haalbaar is, een verbetering brengt voor het milieu (globaal gezien), economisch haalbaar is (beoordeling “-“ of hoger), en indien er geen “betere” kandidaat BBT bestaan. Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde instelling en/of lokale omstandigheden kunnen aan de BBT-selectie randvoorwaarden gekoppeld worden.

Final draft





Figuur 14: Selectie van BBT op basis van scores voor verschillende criteria

**BELANGRIJKE OPMERKINGEN BIJ HET GEBRUIK VAN DE BBT-EVALUATIETABEL**

Bij het gebruik van onderstaande tabel mag men volgende aandachtspunten niet uit het oog verliezen:

- De beoordeling van de diverse criteria is onder meer gebaseerd op:
  - ervaring van exploitanten met deze techniek;
  - BBT-selecties uitgevoerd in andere (buitenlandse) vergelijkbare studies;
  - adviezen gegeven door het begeleidingscomité.
  - inschattingen door de auteurs
  - Waar nodig, wordt in een voetnoot bijkomende toelichting verschaft. Voor de betekenis van de criteria en de scores wordt verwezen naar de beschrijvingen in het begin van dit hoofdstuk.
- De beoordeling van de criteria is als indicatief te beschouwen, en is niet noodzakelijk in elk individueel geval van toepassing. De beoordeling ontslaat een exploitant dus geenszins van de verantwoordelijkheid om b.v. te onderzoeken of de techniek in zijn/haar specifieke situatie technisch haalbaar is, de veiligheid niet in gevaar brengt, geen onacceptabele milieuhinder veroorzaakt of overmatig hoge kosten met zich meebrengt. Tevens is bij de beoordeling van een techniek aangenomen dat steeds de gepaste veiligheids/milieubeschermdende maatregelen getroffen worden.
- De tabel mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke technieken in hoofdstuk 4 als met de vertaling van de tabel naar aanbevelingen en concretisering van de milieuregelgeving in hoofdstuk 6.
- De tabel geeft een algemeen oordeel of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al of niet als BBT aanzien kunnen worden. Dit wil niet zeggen dat elk bedrijf ook zonder meer elke techniek die als BBT aangegeven wordt, kan toepassen. De bedrijfsspecifieke omstandigheden moeten steeds in acht genomen worden.

## 5.2 BBT EVALUATIETABEL

Tabel 4: Evaluatie van beschikbare milieuvriendelijke technieken en selectie van BBT

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID					MILIEUVOORDEEL										KOSTENHAALBAARHEID- EN EFFECTIVITEIT	BBT
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Waterverbruik	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Chemicaliën	Effect op de keten	Globaal			
4.1 PFAS INVENTARISATIE	+	0	+	0	+	0	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/+	0/+	0/+ <sup>38</sup>	0	ja	
4.2 BEPERKING VAN AANWEZIGHEID PFAS	+	0	<sup>-39</sup>	0	+/-	0	0/+	0/+	0/+	0/+	0	0/+	+	+ <sup>40</sup>	0/-	vgtg <sup>41</sup>	

<sup>38</sup> De opmaak van een PFAS inventaris heeft een indirect gunstig effect op chemicaliënbeheer, op emissies naar de omgeving (lucht, water, bodem), op afvalstromen en op de voor- en naketen. De inventaris ondersteunt/faciliteert de verdere technieken.

<sup>39</sup> De techniek kan in bepaalde gevallen slechts in beperkte mate toepasbaar zijn omwille van mogelijke milieu-, veiligheids- of kwaliteitsredenen, of kan buiten de controle van de exploitant liggen, bv. bij afvalbehandeling.

<sup>40</sup> De beperking van aanwezigheid van PFAS heeft een gunstig effect, in het bijzonder wanneer het om zeer zorgwekkende stoffen gaat. Voor bepaalde PFAS zoals fluorpolymeren is het milieuvoordeel bij industriële gebruikers in de inrichting zelf zeer beperkt of zelfs verwaarloosbaar, maar is er wel een gunstig effect in de waardeketen, o.a. door beperktere aanwezigheid in afvalstromen.

<sup>41</sup> De techniek is BBT in alle gevallen waar hij toepasbaar is, zie voetnoot bij kolom 'Algemeen toepasbaar'. Waar aanwezigheid van PFAS niet geëlimineerd kan worden, is het BBT te streven naar minimalisatie.

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID					MILIEUVOORDEEL									KOSTENHAALBAARHEID- EN EFFECTIVITEIT	BBT
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Waterverbruik	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Chemicaliën	Effect op de keten	Globaal		
4.3 PROCESBEHEERSING TER BEPERKING VAN EMISSIES AAN DE BRON	+	0	- <sup>42</sup>	0	+/-	0	0/-	+	0	0/-	0/-	0/+	+/-	+ <sup>43</sup>	0/-	vgtg <sup>44</sup>
4.4 MONITORING VAN LUCHTEMISSIES	+ <sup>45</sup>	0	-	0	-	0	0	0/+	0	0/-	0	0	0	0/+ <sup>46</sup>	-	vgtg <sup>47</sup>
4.5 AFZUIGING OF EVACUATIE VAN AFGASSEN	+	0	+	0	+/-	0	0	0/+	0	0	-	0	0	0/+ <sup>48</sup>	-	vgtg <sup>49</sup>

<sup>42</sup> Zie 'Toepasbaarheid' onder 4.3.

<sup>43</sup> Er moet een afweging gemaakt worden tussen de beperking van emissies naar de lucht en de eventueel mogelijke toename in afval of afvalwater of mogelijke toename in energieverbruik. In het algemeen is het een wenselijke verschuiving naar een meer controleerbaar compartiment.

<sup>44</sup> De techniek is BBT in alle gevallen waar hij toepasbaar is. Sommige processen kunnen niet of slechts in beperkte mate gestuurd worden met het oog op beperking van PFAS luchtemissies.

<sup>45</sup> Recent werd een gevalideerde [LUC-ontwerpmethode](#) (LUC/VI/003) voor meting van geleide emissies gepubliceerd. De kennis over het gedrag van PFAS die nodig is om accurate massabalansen en emissiefactoren op te maken, moet nog verder ontwikkeld en verfijnd worden.

<sup>46</sup> Monitoring van PFAS luchtemissies heeft een indirect gunstig effect op luchtemissies en milieubeheer in het algemeen. Monitoring ondersteunt/faciliteert de andere technieken.

<sup>47</sup> Enkel BBT indien de PFAS inventaris (techniek 4.1) uitwijst dat er enig risico is op luchtemissies van PFAS, en enkel indien voldoende kennis over de eigenschappen van PFAS componenten in het proces en/of emissiemetingen beschikbaar zijn om de emissies accuraat in kaart te brengen.

<sup>48</sup> Afzuiging heeft geen direct milieuvoordeel voor luchtemissies, maar is noodzakelijk om zuiveringstechnieken (4.6) toe te passen.

<sup>49</sup> Te beschouwen samen met de eventuele noodzaak voor zuivering en/of emissie monitoring.

TECHNIEK	TECHNISCHE HAALBAARHEID					MILIEUVOORDEEL									KOSTENHAALBAARHEID- EN EFFECTIVITEIT	BBT
	Bewezen	Veiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	Globaal	Waterverbruik	Afvalwater	Lucht	Bodem	Afval	Energie	Chemicaliën	Effect op de keten	Globaal		
4.6 VERWIJDERING VAN LUCHTEMISSIES DOOR ZUIVERING VAN AFGASSEN	+	0	+ <sup>50</sup>	0	+/-	0/-	0/-	+	0	0/-	-	0/-	0/-	0/+ <sup>51</sup>	-/--	vgtg <sup>52</sup>

<sup>50</sup> Techniek is enkel toepasbaar in combinatie met afzuiging.

<sup>51</sup> De mate waarin het milieuvoordeel opweegt ten opzichte van de cross-media effecten, hangt af van de aard en concentratie van PFAS componenten.

<sup>52</sup> BBT waar er volgens de PFAS inventaris en/of emissie monitoring relevante emissies worden vastgesteld. Bij zeer kleine emissies en/of emissies van toxicologisch weinig relevante stoffen weegt het milieuvoordeel niet op tegen de kost en/of de cross-media effecten. De vertaling van 'relevante' emissies in voorstellen voor milieuvorwaarden gebeurt in hoofdstuk 6.

Final draft



## HOOFDSTUK 6. AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN



## HOOFDSTUK 6. AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

De beste beschikbare technieken vormen een belangrijke basis voor het opstellen en concretiseren van de milieuregelgeving.

Artikel 2.8.2.4 van VLAREM II specificeert dit als volgt:

Na iedere Vlaamse BBT-studie evalueert de afdeling Milieu, bevoegd voor de omgevingsvergunning, in overleg met de betrokken adviesverlenende overheidsorganen, vermeld in artikel 20, §1, van titel II van het VLAREM, en de afdeling Milieu-Inspectie<sup>53</sup>, de noodzaak om aan de Vlaamse minister een ontwerp van besluit van de Vlaamse Regering tot het bepalen van de algemene of sectorale milieuvoorwaarden te bezorgen. In voorkomend geval, legt de Vlaamse minister het ontwerp van besluit tot het bepalen van de algemene of sectorale milieuvoorwaarden voor aan de Vlaamse Regering.

In dit hoofdstuk wordt op basis van de BBT-analyse een aantal concrete aanbevelingen en suggesties geformuleerd voor algemene en bijzondere milieuvoorwaarden: er wordt nagegaan hoe de BBT kunnen vertaald worden naar milieuvoorwaarden en er worden suggesties geformuleerd om de bestaande milieuregelgeving te concretiseren en/of aan te vullen met het oog op het beperken van PFAS luchtmissies. Er worden op basis van de huidige kennis en de doelstellingen en timing van de BBT-studie geen aanbevelingen voor sectorale milieuvoorwaarden gedaan.

Deze BBT-studie behandelt een aantal generieke technieken over verschillende sectoren heen. Daarom wordt hieronder voorgesteld om deze te vertalen in algemene milieuvoorwaarden. De aanbevelingen bevatten complementair een voorstel voor (tijdelijke) emissiegrenswaarden, zie 6.1.4, in combinatie met een tijdelijk toetsingscriterium gelinkt aan te verwachten immissieniveaus in de omgevinglucht, als referentie voor bijzondere voorwaarden, zie 6.2.1. Het is belangrijk op te merken dat deze waarden niet afgeleid zijn van zogenaamde BBT-GEN (met BBT geassocieerde emissieniveaus), maar dat het gaat om

- enerzijds een (tijdelijk) vangnet gebaseerd op een vergelijking met de algemene emissiegrenswaarden voor andere zeer zorgwekkende stoffen, en
- anderzijds een (tijdelijk) toetsingscriterium gebaseerd op in Vlaanderen gehanteerde tijdelijke toetsingswaarden voor omgevingslucht (zie ook 3.1.1).

Ter verduidelijking, deze kwantitatieve voorwaarden zijn niet enkel onderling aanvullend, maar ook aanvullend op de kwalitatieve voorwaarden (o.a. onderzoek minimalisatie emissies, zie 6.1.3). Elk van de hieronder beschreven paragrafen beschrijven dus een noodzakelijke, maar niet voldoende voorwaarde. Bovendien houden deze grens- en toetsingswaarden nog geen rekening met de mogelijke impact van depositie en accumulatie in bodem en water. Dit dient steeds bijkomend onderzocht te worden, zie ook 6.3.1.

Aanbevelingen voor de milieusubsidieregeling worden niet behandeld. Er is momenteel niet voldoende informatie voorhanden over welke milieuvriendelijke technieken voor beperking van PFAS luchtmissies in aanmerking kunnen genomen worden voor Ecologiepremie.

---

<sup>53</sup> Dit moet worden: “afdeling, bevoegd voor milieuhandhaving”. Hier wordt echter de huidige formulering van VLAREM II geciteerd.

## 6.1 AANBEVELINGEN VOOR ALGEMENE MILIEUVOORWAARDEN

Er zijn in de huidige VLAREM slechts beperkte aanknopingspunten om de BBT uit deze BBT-studie aan af te toetsen. Voor meer duidelijkheid en overzichtelijkheid, en gelet op het belang van de PFAS-problematiek, wordt hier voorgesteld om de vertaling van de BBT op te nemen in een apart hoofdstuk of aparte afdeling binnen de algemene milieuvoorwaarden, eerder dan dit te verweven met bestaande artikels. Hieronder wordt onder elke subtitel (6.1.1 tot en met 6.1.5) een concreet tekstvoorstel geformuleerd voor de algemene milieuvoorwaarden, met daarbij telkens een toelichting die de nodige context en interpretatie geeft.

### 6.1.1 INVENTARISEREN

#### Voorstel

De exploitant maakt een inventaris van gekende aanwezige en te verwachten PFAS componenten, en van activiteiten en grondstoffen/producten waar er mogelijk PFAS componenten aanwezig zijn. De inventaris omvat onder andere de hoeveelheden, concentraties en gevareneigenschappen van PFAS componenten in grondstoffen, producten, bijproducten en afvalstromen, mogelijke omzettingen van PFAS componenten in toegepaste processen en activiteiten, en mogelijke emissies. De mate van detail van de inventaris hangt af van de risico's voor milieu en menselijke gezondheid, de beschikbaarheid van informatie en de variabiliteit in de procesomstandigheden.

De inventaris wordt regelmatig bijgewerkt in functie van de variabiliteit van grondstoffen, producten en processen.

#### Toelichting

Dit voorstel vloeit voort uit de BBT-evaluatie. Het is BBT voor alle ingedeelde inrichtingen (en dus niet voor bv. kantoorruimtes). De opmaak van de inventaris is te beschouwen als een inspanningsverplichting. Stoffen die niet gekend/verwacht zijn en die men ook redelijkerwijs niet behoort te kennen/verwachten, moet men niet proactief in kaart brengen. Een voorbeeld is de mogelijke aanwezigheid van (micro)verontreinigingen in bv. ingekochte producten of gebruikte waterstromen. Echter, wanneer zij toch opduiken (e.g. ter kennis komen, gemeld worden, gemeten worden, getraceerd worden bij bronnenonderzoek, ...), actualiseert het bedrijf zo snel mogelijk de inventaris.

De inventaris beperkt zich niet noodzakelijk tot in SDS-fiches gerapporteerde PFAS componenten, maar screent bijkomend 'verdachte' toepassingen zoals oppervlakreactieve stoffen, water-, vuil- en vetafstotende stoffen, enz. Niet-intentionele verontreinigingen van grondstoffen, in het bijzonder bij secundaire grondstoffen, en/of producten met PFAS in concentraties lager dan deze die leiden tot verplichte vermelding op de SDS-fiche (0,1 gewichtspercent), kunnen in bepaalde gevallen een belangrijke bron van PFAS in het proces en/of in de (lucht)emissies zijn. Stoffen/producten die kunnen verwacht worden in/op de ingenomen gebruikte producten zijn mee te nemen in de inventaris. In deze BBT-studie wordt in hoofdstukken 2 en 3 uitgebreid toegelicht welke de belangrijkste gekende toepassingen van PFAS zijn. Afhankelijk van de risico's voor milieu en gezondheid, bv. bij vaststelling van emissies van zeer zorgwekkende stoffen, kunnen eventueel metingen op aangewende grondstoffen/producten nodig zijn, aanvullend op informatie van leveranciers (en/of afvalproducenten in het geval van afvalverwerking).

Indien er geen PFAS voorkomen in de grondstoffen/processen/producten, en indien er geen 'verdachte' toepassingen zijn, is een verklaring dat dit het geval is, voldoende.

De mate van detail hangt af van de risico's voor milieu en gezondheid, en dus van enerzijds de gevareneigenschappen van de stoffen, bv. of het zeer zorgwekkende stoffen zijn, en anderzijds van de mate waarin (lucht)emissies mogelijk zijn. De inventaris moet dus gezien worden in functie van het beheersen van risico's van (lucht)emissies, in het bijzonder bij emissies van zeer zorgwekkende PFAS componenten en/of emissies die een risico vormen voor het overschrijden van milieukwaliteitsnormen<sup>54</sup> of gezondheidkundige grenswaarden, rekening houdend met reeds aanwezige concentraties in de omgeving, en andere emissiebronnen. Echter, in welke mate men rekening dient te houden met andere emissiebronnen buiten het eigen bedrijf (inclusief niet-industriële emissiebronnen), is een politieke afweging, en kan niet behandeld worden binnen de scope van een BBT-studie.

Verder hangt de mate van detail af van de beschikbaarheid van informatie en de variabiliteit in de procesomstandigheden. In Nederland, waar reeds meer ervaring is met een beleid rond Zeer Zorgwekkende Stoffen en inventarisatie, wordt vastgesteld dat de informatie over hoeveelheden onder 0,1 massa% vaak lastig te verkrijgen is. Vandaar dat hier gesteld wordt dat het gaat om een inspanningsverplichting, en wordt de link gelegd met het 'opduiken' (zie hierboven) van informatie. In het bijzonder in de afvalsector is het moeilijk om een volledig overzicht te krijgen van welke PFAS componenten er in afvalstromen/afvalwaters aanwezig zijn, omwille van de zeer brede waaier aan mogelijke componenten, die mogelijk in zeer lage of zeer veranderlijke concentraties aanwezig zijn, en niet allen (kwantitatief) gemeten kunnen worden. Voor minder risicovolle stoffen/inrichtingen in de afvalsector lijkt een volledige inventaris van de individuele componenten en hun concentraties niet haalbaar, of niet proportioneel tot het risico. Hier lijkt een grovere inventarisatie van (eventuele groepen van) PFAS componenten met hun gemiddelde concentraties (bv. jaarlijks) meer aangewezen. Hetzelfde geldt voor luchtemissies voortvloeiend uit het gebruik van oppervlakte- of grondwater met PFAS verontreiniging. Tegelijkertijd maakt het gegeven dat een ruime groep PFAS componenten (nog) niet gemeten kunnen worden in afvalstoffen, een goede informatie-uitwisseling tussen afvalproducent, afvalinzamelaar en afvalverwerker des te belangrijker.

Op het moment van schrijven zijn meer concrete aanbevelingen over de mate van detail niet haalbaar, enerzijds omdat het gaat om een sectoroverschrijdende studie voor zeer uiteenlopende activiteiten met zeer uiteenlopende risico's, en anderzijds omdat de kennis over de aanwezigheid van verschillende PFAS componenten en ermee gepaarde risico's nog in volle ontwikkeling is, zie ook 6.3.1.

Enkele leden van het begeleidingscomité waren vragende partij om dergelijke inventaris niet te laten opstellen door alle ingedeelde inrichtingen, maar slechts door een selectie van specifieke inrichtingen/activiteiten met een gekend risico, waarbij werd verwezen naar het lopende [universele PFAS-restrictiedossier in kader van REACH](#), zie ook 2.4.3.3. Dit is (op termijn) inderdaad een optie die zou toelaten zich te concentreren op (de meest) relevante inrichtingen/activiteiten. Echter, op het moment van schrijven wordt de informatie rond (essentiële) gebruiken en mogelijke restricties/uitfasering/toelating nog verzameld en verwerkt. Bovendien is er nog geen zekerheid of, en in welke vorm, deze universele restrictie zal toegepast worden. Het kan momenteel dus niet gehanteerd worden als basis voor een concreet tekstvoorstel in deze BBT-studie. Het is wel een aanbeveling voor verder onderzoek, zie 6.3.1.

---

<sup>54</sup> Voor de beoordeling van luchtkwaliteit, zie [Richtlijnsysteem Lucht in het kader van MER](#), waar sprake is van milieukwaliteitsnorm indien het gaat om een huidige grenswaarde of een toekomstige streef-/grenswaarde. Voor PFAS is er een tijdelijke toetsingswaarde voor de concentratie in omgevingslucht, zie 2.4.2.1. Daarnaast zijn er de milieukwaliteitsnormen voor water en bodem, waarop depositie van PFAS luchtemissies een invloed kan hebben.

De frequentie waarmee de inventaris wordt bijgewerkt hangt af van de risico's voor milieu en gezondheid. Het kan aangewezen zijn initieel met een hogere frequentie te werken in de periode waarin de kennis over de aanwezigheid van PFAS in producten en materialen zich sterk of snel ontwikkelt, en in latere fase de frequentie te verlagen, en enkel te herzien bij bv. wijziging in grondstoffen of processen.

De PFAS inventaris wordt ter beschikking gesteld van de toezichthouder als die daarom verzoekt.

De scope van deze BBT-studie is beperkt tot luchtmissies, maar het is evident dat dergelijke inventaris ook van belang is voor beheersing van emissies naar water en bodem en aanwezigheid in afvalstoffen en bijproducten.

### 6.1.2 AANWEZIGHEID MINIMALISEREN

#### Voorstel

Tenzij uit de inventaris van PFAS componenten en relevante activiteiten blijkt dat er geen risico naar de omgeving is, evalueert de exploitant de mogelijkheden om het gebruik van PFAS componenten te voorkomen, en waar dit niet mogelijk is, maximaal te beperken door substitutie door ongevaarlijke of minder gevaarlijke stoffen. Waar dit niet of slechts beperkt kan, beperkt de exploitant het gebruik van PFAS componenten zo veel mogelijk, rekening houdende met milieu-, technische en economische aspecten.

#### Toelichting

Het voorstel vloeit voort uit de BBT-evaluatie. Bovenstaand voorstel gaat niet enkel over 'zeer zorgwekkende' PFAS, maar over alle PFAS componenten, en geldt met behoud van verplichtingen in andere regelgevende kaders zoals de POP verordening en REACH (zie 2.4.3). Het is echter niet beperkt tot deze verplichtingen. Het zet de exploitant aan om zich niet te beperken tot bv. restricties en autorisaties in het kader van REACH en/of om de uitkomst van het ingediende restrictievoorstel af te wachten, maar om proactief op zoek te gaan naar alternatieven voor PFAS waar dit een milieuvoordeel oplevert tegen redelijke voorwaarden. Dergelijke evaluatie is niet relevant wanneer uit de inventaris van PFAS-risico's (zie 6.1.1) blijkt dat er geen risico naar de omgeving is, bv. geen geleide of diffuse (lucht)emissies. Ook waar het risico 'verwaarloosbaar' is, is dergelijke evaluatie niet relevant. Echter, op het moment van schrijven is het door de nog in ontwikkeling zijnde kennis voor vele PFAS componenten nog niet haalbaar om in te schatten wanneer het risico verwaarloosbaar is, zie ook 6.3.1.

Zoals beschreven in hoofdstuk 4 (4.2), is het minimaliseren van de aanwezigheid van PFAS niet steeds haalbaar. Daarom is het voorstel een evaluatie van de mogelijkheden, geen resultaatsverbintenis. Onder 6.1.3 wordt ook voorgesteld om over deze inspanningen te rapporteren samen met het voorkomen/minimaliseren van emissies van 'zeer zorgwekkende' PFAS.

### 6.1.3 EMISSIES VOORKOMEN EN MINIMALISEREN

#### Voorstel

Met behoud van artikels [4.4.2.1](#) en [4.4.2.2](#), en tenzij uit de inventaris van PFAS componenten en relevante activiteiten blijkt dat er geen risico naar de omgeving is, onderzoekt de exploitant de mogelijkheden voor minimalisatie van (lucht)emissies van ZZS PFAS.

Dit omvat minstens een onderzoek van:

- technieken ter voorkoming van emissies aan de bron;
- inkapselen en afzuigen van diffuse bronnen en zuiveringstechnieken bij geleide bronnen waar de emissies niet aan de bron voorkomen kunnen worden;



- innovatieve ontwikkelingen en substitutiemogelijkheden.

Op regelmatige basis, en minstens elke vijf jaar, wordt hierover gerapporteerd aan Omgeving-GOP en aan VMM.

### Toelichting

Het voorstel vloeit voort uit de BBT-evaluatie, en is een combinatie van de complementaire technieken 'Procesbeheersing ter beperking van emissies aan de bron' (4.3) en de combinatie van 'Afzuiging of evacuatie van afgassen' (4.5) en 'Verwijdering van luchtmissies door zuivering van afgassen' (4.6). Er is een hiërarchie tussen het voorkomen van emissies aan de bron, door substitutie/beperking van gebruik (zie 6.1.2) en/of procesgeïntegreerde technieken enerzijds, en inkapselen en afzuigen van diffuse bronnen en zuivering van afgassen (end-of-pipe) anderzijds. Dergelijk onderzoek is niet relevant wanneer uit de inventaris van PFAS-risico's (zie 6.1.1) blijkt dat er geen risico naar de omgeving is. Ook waar het risico 'verwaarloosbaar' is, is dergelijk onderzoek niet relevant. Op het moment van schrijven is het echter voor vele PFAS componenten nog niet haalbaar om in te schatten wanneer het risico verwaarloosbaar is, zie ook 6.3.1.

Het onderzoek naar minimalisatie van emissies is geïnspireerd door het beleid rond Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) in Nederland, zie 2.4.4.2. Het toepassingsgebied omvat de PFAS die als ZZS beschouwd worden. Op het moment van schrijven loopt studiewerk rond de afbakening van ZZS in Vlaanderen, zie de begrippenlijst in deze BBT-studie en de aanbevelingen voor verder onderzoek in 6.3.1.

Dergelijk onderzoek dient rekening te houden met mogelijke 'cross-media effecten' zoals de mogelijke verschuiving van verontreiniging naar afval of afvalwater, en mogelijke toename in energie-/water-/materialenverbruik. De kennis over de precieze milieu- en gezondheidsimpact van verschillende PFAS componenten, én over de grootte van cross-media effecten die overeenkomt met een bepaalde afbraak-/verwijderingsgraad is echter nog in ontwikkeling, zie ook 6.3. Bij elke update van het onderzoek dienen dus ook nieuwe inzichten in de milieu- en gezondheidsimpact van emissies van de verschillende PFAS componenten, en van de cross-media effecten nagegaan te worden.

In Nederland is een beperkte [template voor rapportage van het Vermijdings- en reductieprogramma ZZS](#) (dat inhoudelijk overeenkomt met bovenstaand voorstel). Verder is er een [checklist](#) of het vermijdings- en reductieprogramma compleet is. Binnen het BC van de BBT-studie werd ook een eventuele koppeling met het IMJV overwogen. Dit wordt gezien als een aanbeveling voor verder onderzoek, alsook dat daarbij moet gekeken worden naar harmonisatie van de meetmethode in de EU (zie 6.3.1).

Naast 5-jaarlijkse rapportage aan Omgeving-GOP en VMM, kan er een eventuele nood zijn om te rapporteren aan de vergunningverlener. Deze 5-jaarlijkse rapportage omvat ook het onderzoek naar mogelijke substitutie/beperking van gebruik zoals beschreven onder 6.1.2. Dit wordt ook verstaan onder het derde punt "innovatieve ontwikkelingen en substitutiemogelijkheden" (formulering overgenomen uit NL beleid).

Het voorstel geldt met behoud van de 'Algemene installatievoorschriften' m.b.t. beheersing van luchtverontreiniging in [Afdeling 4.4.2. van VLAREM II](#). Daar is o.a. voorgeschreven dat

- *"De installaties worden ontworpen, gebouwd en geëxploiteerd volgens een code van goede praktijk zodat de luchtverontreiniging die van die installaties afkomstig is, maximaal wordt beperkt en indien mogelijk zelfs wordt voorkomen. De installaties worden daarvoor uitgerust en geëxploiteerd met middelen ter beperking van de emissies die met de beste beschikbare technieken overeenkomen (...)"*. Specifiek voor PFAS die zeer zorgwekkend zijn, wordt dit gekoppeld aan de verplichting om minstens elke vijf jaar over het onderzoek te rapporteren. De verplichting tot formeel onderzoek met verplichte rapportage wordt, omwille van kosteneffectiviteit, best (prioritair) geconcentreerd op 'zeer zorgwekkende' PFAS, en niet op alle

PFAS, overwegende dat het geldt in aanvulling op de mogelijke/vermoedelijke beperking in gebruik die de REACH restrictie zou opleggen (zie 2.4.3.3).

- “dampen, nevels en afgassen op de plaats waar ze ontstaan opgevangen en, na de eventueel noodzakelijke zuivering ter naleving van de emissie- en immissievoorschriften die van toepassing zijn, geëmitteerd”. Ondanks deze verplichting komen toch nog bronnen van diffuse emissies voor (bv. open reservoirs, tanks of baden bij waterzuivering of productieprocessen, droogprocessen, enz.). De toepassing van de beste beschikbare technieken (zie punt hierboven) in combinatie met dit artikel vereist dat diffuse bronnen maximaal ingekapseld en afgezogen moeten worden. Resterende bronnen van diffuse PFAS-emissies moeten vanuit de eis tot voorkomen en minimaliseren van emissies daar waar het technisch en economisch haalbaar is ingekapseld en afgezogen worden. De afgezogen emissies worden zo nodig naar een afgasbehandelingsinstallatie geleid. Dit maakt deel uit van het periodiek onderzoek. Gezien er op dit moment slechts zeer beperkte kennis is over de grootteorde van emissies bij verschillende types diffuse bronnen, is het een aanbeveling voor verder onderzoek om risicogebaseerd meer concreet af te bakenen welke soorten emissiebronnen opgevangen moeten worden, zie 6.3.1.

De scope van de BBT-studie is beperkt tot luchtmissies, en beperkt tot PFAS. Gelijkaardige bepalingen kunnen echter voor zeer zorgwekkende stoffen in het algemeen en voor andere emissies (bv. naar water) overwogen worden. Idealiter wordt gekeken naar de totale massabalans van het beschouwde proces, rekening houdend met afwenteling tussen verschillende media.

De verplichting tot onderzoek naar minimalisatie van emissies geldt naast (dus in aanvulling op) onderstaand vangnet (6.1.4) en de toetsing van immissie en depositie (6.2.1).

#### 6.1.4 EMISSIEGRENSSWAARDEN VANGNET

##### Voorstel

Voor (lucht)emissies van PFAS die behoren tot de zeer zorgwekkende stoffen mogen de emissies volgende waarden niet overschrijden:

- emissiegrenswaarde 0,05 mg/Nm<sup>3</sup> voor de som van deze stoffen; vrijstellingsgrens 0,075 kg/jaar per puntbron voor de som van deze stoffen

In afwijking (van dit artikel) kunnen in de omgevingsvergunning hogere emissiegrenswaarden (gedurende een bepaalde overgangstermijn) toegelaten worden.

##### Toelichting

Er is op het moment van het schrijven van de BBT-studie nog te weinig informatie over luchtmissies en technische en economische haalbaarheid van beschikbare technieken om een definitieve algemene emissiegrenswaarde vast te stellen op basis van een met BBT geassocieerd emissieniveau (BBT-GEN). In de plaats daarvan kijkt deze BBT-studie naar een ‘vangnet’ gebaseerd op een combinatie van het Nederlandse ZZS-beleid (zie 2.4.4.2) en de [bestaande algemene luchtmissiegrenswaarden in VLAREM II bijlage 4.4.2](#). Voor verdere toelichting over de afbakening van ‘ZZS’ PFAS, zie de begrippenlijst en de toelichting onder 6.1.3.

Het vangnet mag niet gezien worden als een voldoende voorwaarde, enkel als een noodzakelijke voorwaarde. Het onderzoek naar minimalisatie van emissies volgens 6.1.3 moet ook bij het respecteren van de emissiegrenswaarden gebeuren. Het is essentieel om de aftoetsing aan het vangnet en het onderzoek naar minimalisatie verder aan te vullen met een immissietoetsing om na te gaan of risico’s



voor mens en milieu voldoende beheerst zijn, zowel in omgevingslucht als in bodem en water ten gevolge van depositie. (zie verder 6.2.1 en 6.3.1).

Momenteel is er slechts voor een beperkt aantal activiteiten kwantitatieve informatie over (geleide) luchtemissies (zie ook 3.2). Het wordt aanbevolen om, naarmate de kennis over emissieniveaus bij verschillende activiteiten en over de impact op milieu en gezondheid zich verder ontwikkelt (bv. de kennis over ultrakorte keten PFAS), zowel het vangnet zelf te herzien, als meer gericht onderzoek te doen naar sectorale en bedrijfsspecifieke emissiegrenswaarden, zie 6.3.1.

In tegenstelling tot de algemene ZZS emissiegrenswaarden in Nederland, maakt het voorgestelde vangnet geen onderscheid naargelang de dampspanning van de stoffen. De Nederlandse emissiegrenswaarden zijn immers afgeleid voor een veel ruimere groep ZZS, en niet specifiek op maat van ZZS PFAS. Het voorstel voor vangnet komt overeen met de strengste emissiegrenswaarde voor ZZS in Nederland (uitgezonderd stofklasse ERS voor PCDD/F), namelijk deze [voor stofklasse MVP1](#): 0,05 mg/Nm<sup>3</sup>. Dit omwille van de specifieke bezorgdheden rond PFAS als 'forever chemicals' (hun zeer persistente aard, voor sommige componenten in combinatie met hun bewezen/vermoedelijke humaan toxicologische en ecotoxicologische eigenschappen). De, in vergelijking tot het Nederlandse Activiteitenbesluit strenge, algemene emissiegrenswaarde wordt verder gerechtvaardigd door de mogelijkheid tot tijdelijke afwijking in de omgevingsvergunning (zie verder). Het is bovendien minder complex, duidelijker en eenvoudiger te handhaven. Er kan overwogen worden om dit te combineren met een grensmassaastroom van 0,15 g/u (voor de inrichting) zoals in het huidige Activiteitenbesluit in Nederland, al is de meerwaarde hiervan niet duidelijk, aangezien men in Nederland zal afstappen van het gebruik van dergelijke grensmassaastroom. In de [bestaande algemene luchtemissiegrenswaarden in VLAREM II bijlage 4.4.2 wordt wel gewerkt met een grensmassaastroom voor de inrichting/milieu-technische eenheid](#).

De vrijstellingsgrens (ofte ondergrens) 0,075 kg/jaar geeft per puntbron aan voor welke bronnen de emissiegrenswaarde niet geldt. Het is echter te vermijden dat emissiepunten opgesplitst worden om het vangnet te omzeilen. Zoals in verschillende recente BREF's (bv. BREF WGC) wordt aangegeven, worden voor de berekening van de massastromen 2 of meer afzonderlijke schoorstenen waardoor afgassen met vergelijkbare kenmerken worden geloosd, en die naar het oordeel van de bevoegde autoriteit via één schoorsteen kunnen worden geloosd, beschouwd als één schoorsteen.

Een belangrijk verschil met [VLAREM II, bijlage 4.4.2](#) is dat het voorstel een mogelijkheid tot tijdelijke afwijking in de omgevingsvergunning voorziet. De voornaamste reden is dat er zeer beperkte, en voor sommige types activiteiten geen, kwantitatieve informatie is over de grootteorde van de huidige emissies, waardoor er geen zekerheid is dat de emissiegrenswaarden voor alle inrichtingen proportioneel en kosteneffectief (m.a.w. BBT) zijn. Anderzijds is het niet zeker of het vangnet voldoende bescherming biedt door gebrek aan kennis over emissieniveaus, immissieniveaus, en toxiciteit van vele PFAS componenten (zie 2.4.1.2). Het is daarom aanbevolen om eventuele afwijkingen te beperken in de tijd, met voorwaarden opdat zo snel mogelijk alle maatregelen genomen worden om het vangnet wel te respecteren<sup>55</sup>. Voor de termijn waarbinnen dit gerealiseerd moet worden en de precieze maatregelen kan rekening gehouden worden met proportionaliteit en kosteneffectiviteit. Inzake kosteneffectiviteit kan verwezen worden naar de waarden in Nederland (zie 2.4.4.2), hoewel deze wellicht aan de lage kant liggen voor PFAS ZZS. Vanzelfsprekend is in afwijkingsdossiers (net zoals in het algemeen – zie inleidende paragrafen hoofdstuk 6) rekening te houden met immissie- en depositietoetsing, en nieuwe inzichten met betrekking tot emissieniveaus en omgevingsrisico's.

<sup>55</sup> Dit kan bijvoorbeeld afgestemd worden op het onderzoek tot voorkomen en minimaliseren van ZZS PFAS emissies (zie 6.1.3).

Binnen het begeleidingscomité werd als alternatief een richtwaarde overwogen. Hier wordt echter gekozen voor de mogelijkheid tot afwijking, omdat hier meer beleidservaring mee is, en dit bedrijf en overheid aanzet om precies te onderzoeken welke bijzondere emissiegrenswaarde wél in lijn met BBT beschouwd wordt, met bijgevolg meer duidelijkheid voor handhaving.

Opmerking: In Nederland bestaat ook nog een andere indeling 'Extreem Risicovolle Stoffen (ERS)', op basis van "extreme persistentie, toxiciteit en bioaccumulatiegedrag". Deze wordt gebruikt voor dioxinen, PCB's en dioxineachtige verbindingen. De emissiegrenswaarde hiervan is uitgedrukt in TEQ (Toxiciteit Equivalenten). Bij een emissievracht van meer dan 20 milligram (mg) TEQ per jaar geldt een emissiegrenswaarde van 0,1 nanogram (ng) TEQ/Nm<sup>3</sup>. Voor PFAS is er op het moment van schrijven nog geen wetenschappelijke consensus over een geschikte analoge weging o.b.v. toxiciteit en/of gedrag van de verschillende componenten doch veel PFAS zijn wel degelijk persistent en/of toxisch en/of (bio)accumuleerbaar en/of worden gekenmerkt door andere relevante zorgwekkende negatieve effecten op biota. Een aantal PFAS worden wel reeds als PBT-stof benoemd, zie ook 2.1.

Ter vergelijking, de groep met de strengste algemene emissiegrenswaarden in [VLAREM II, bijlage 4.4.2](#) heeft een emissiegrenswaarde van 0,1 mg/Nm<sup>3</sup> bij massastroom van 0,5 g/u of meer, waarbij geldt: "Stoffen die niet in de lijst van organische stoffen voorkomen, worden gerekend tot de groep waarvan de stoffen wat betreft hun invloed op het milieu die stoffen het meest nabijkomen. Daarbij wordt in het bijzonder rekening gehouden met de afbreekbaarheid en bio-accumulatie, toxiciteit, invloeden van afbraakprocessen met hun betreffende reactieproducten en geurintensiteit. Dat kan geregeld worden in de omgevingsvergunning voor de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit." (zie 2.4.1.2)

Een andere mogelijke vergelijking is kwik, waarvan de toxische effecten goed gekend zijn. Hiervoor is algemene emissiegrenswaarde 0,2 mg/Nm<sup>3</sup> bij een massastroom vanaf 1 g/u. Hetzelfde geldt voor cadmium. Voor cadmium is de [WGO-advieswaarde](#) 5 ng/m<sup>3</sup>, dus ongeveer 10x de tijdelijke toetsingswaarde voor de 4 EFSA PFAS componenten (zie 2.4.2.1).

## 6.1.5 MONITORING EMISSIES

### Voorstel

De exploitant voert regelmatige monitoring uit van PFAS emissies naar de lucht. Tenzij uit de inventaris van PFAS componenten en relevante activiteiten blijkt dat er geen risico naar de omgeving is,

- maakt de exploitant minstens jaarlijks een rapport op van alle PFAS emissies naar lucht.,
- maakt de exploitant minstens jaarlijks een massabalans van PFAS componenten in het proces of de inrichting. De mate van detail van de massabalans hangt af van de risico's voor milieu en menselijke gezondheid.

Geleide emissies worden gemeten volgens ontwerpmethode LUC/VI/003.

Geleide emissies worden 2-maandelijks gemeten:

- Bij volgende activiteiten:
  - chemische productie van PFAS componenten,
  - formuleren van mengsels met minstens 0,1 massapercent PFAS componenten,
  - afvalverbranding,
  - reactivatie van actief kool,

- verwerking of recycling van POP-houdende afvalstoffen of bijproducten,
- oppervlaktebehandeling met gebruik van PFOS, PFOA, PFHxS of PFNA; of
- Indien uit de massabalans of een eerste meting blijkt dat de PFAS emissies significante risico's inhouden. Dit is minstens het geval bij emissies van PFAS die behoren tot de zeer zorgwekkende stoffen boven de vrijstellingsgrens.<sup>56</sup>

In deze gevallen wordt eveneens een jaarlijkse beoordeling gemaakt van de emissies ten opzichte van aanvaardbare immissieniveaus met het oog op concentraties in omgevingslucht, water en bodem, zowel op korte als lange termijn.

Andere relevante geleide emissies worden jaarlijks gemeten.

De meetfrequentie kan in beide gevallen verhoogd worden in de omgevingsvergunning op basis van de immissie- of depositiebijdrage van de emissie.

Indien de emissies voldoende laag en stabiel zijn, kan het schema in [VLAREM II bijlage 4.4.4](#) toegepast worden voor de aanpassing van bovenstaand monitoringprogramma (zie VLAREM II, Hoofdstuk 4.4).

### Toelichting

Monitoring omvat meer dan het meten van (geleide) luchtmissies. De voorwaarde heeft tot doel het volledig in kaart brengen van alle relevante geleide en diffuse emissiebronnen. Dit kan op verschillende manieren, via massabalansen, omgevingsmetingen, emissiefactoren, modellering en emissiemetingen. Er is een overlap of koppeling mogelijk met de PFAS inventaris beschreven in 6.1.1.

Een jaarlijks rapport van luchtmissies en jaarlijkse massabalansen worden voorgesteld, tenzij wanneer uit de inventaris van PFAS-risico's (zie 6.1.1) blijkt dat er geen risico naar de omgeving is. Ook waar het risico 'verwaarloosbaar' is, zijn massabalansen en emissierapport niet relevant. Op het moment van schrijven is het echter voor vele PFAS componenten nog niet haalbaar om in te schatten wanneer het risico verwaarloosbaar is, zie ook 6.3.1.

Analoog aan de inventaris (6.1.1) is dit te beschouwen als een inspanningsverplichting. Stoffen die niet gekend/verwacht zijn en die men ook redelijkerwijs niet behoort te kennen/verwachten, moet men niet proactief in kaart brengen. Hierbij kan men denken aan bv. onbedoelde verontreiniging zoals het binnenwaaien van met PFAS vervuilde stofdeeltjes, contaminatie van gebruikt leidingwater of microverontreinigingen in gebruikte grondstoffen. Echter, zoals aangegeven in 6.1.1, kunnen niet-intentionele verontreinigingen van grondstoffen, in het bijzonder bij secundaire grondstoffen, en/of producten met PFAS in concentraties lager dan deze die leidt tot verplichte vermelding op de SDS-fiche (0,1 massapercent = 1 gram/kg), in bepaalde gevallen een belangrijke bron van PFAS in het proces en/of in de (lucht)emissies zijn. Waar dit een risico inhoudt voor milieu of menselijke gezondheid, zijn deze mee te nemen in massabalansen/emissierapport.

Analoog aan de inventaris is dat de mate van detail van de massabalansen afhangt van risico's voor milieu en gezondheid. Een grotere mate van detail is aangewezen bij emissies van zeer zorgwekkende PFAS componenten en/of emissies die een risico vormen voor het overschrijden van milieukwaliteitsnormen (toetsingswaarden/immissienormen omgevingslucht en/of depositienormen bodem/water) of gezondheidkundige grenswaarden, rekening houdend met de reeds aanwezige concentraties in de omgeving en andere emissiebronnen. Op het moment van schrijven zijn meer concrete aanbevelingen over de mate van detail niet haalbaar, enerzijds omdat het gaat om een sectoroverschrijdende studie

<sup>56</sup> Zie 6.1.4

voor zeer uiteenlopende activiteiten met zeer uiteenlopende risico's, en anderzijds omdat de kennis over de aanwezigheid van verschillende PFAS componenten en ermee gepaarde risico's nog in volle ontwikkeling is, zie ook 6.3.1.

Met welke frequentie er gemeten moet worden hangt af van het emissieniveau en/of de activiteit. Voor emissiemetingen van geleide emissies werd in mei 2023 een [ontwerpmethode LUC/VI/003](#) gepubliceerd door VITO, zie 3.1.3 in deze BBT-studie. Het voorstel maakt qua meetfrequentie een onderscheid tussen de meest risicovolle emissiepunten en de minder risicovolle. De emissiepunten van de activiteiten hierboven opgelijst hebben een verhoogde meetfrequentie. Dit zijn, op basis van de huidige kennis, meer risicovolle activiteiten. Deze lijst kan aangevuld/aangepast worden met voortschrijdend inzicht. In het bijzonder voor oppevlaktebehandeling stelt zich de vraag of naast de EFSA-4 PFAS ook toepassing van andere PFAS, bijvoorbeeld deze boven een bepaalde RPF (zie 2.1.3), en precursoren ervan, dergelijke verhoogde meetfrequentie zouden verantwoorden. Naast de lijst van activiteiten wordt ook een verhoogde meetfrequentie voorgesteld voor de emissies van emissiepunten van andere activiteiten die de vrijstellingsgrens van het 'vangnet' overschrijden voor de som zeer zorgwekkende PFAS (zie 6.1.4).

Voor deze meest risicovolle activiteiten/emissiepunten wordt een frequentie voorgesteld in lijn met de sectorale milieuvoorwaarden voor dioxinen, furanen en dioxineachtige pcb's bij afvalverbranding in [VLAREM III, artikel 3.16.7.2.2 \(frequentie in het eerste jaar volgens voetnoot 4 bij de tabel in het artikel\)](#). Hierbij is op te merken dat er ook nog een continue bemonstering en ten minste tweewekelijkse analyses moeten gebeuren van dioxinen, furanen en dioxineachtige pcb's bij afvalverbranding. Andere activiteiten met relevante emissies dioxinen en furanen hebben een gelijkaardige meetfrequentie, bv. een basisfrequentie van drie metingen per jaar voor klasse 1 inrichtingen van rubrieken 20.2 'productie en omzetting van metalen' of 29.4 'metaalgieterijen en metaalpoeders' ([VLAREM II, artikel 5.29.0.6](#)). Dioxinen, furanen en dioxineachtige pcb's zijn een mogelijke referentie omdat de complexiteit en kost van de meetmethode deze van PFAS het meest benadert. Een belangrijk verschil is echter dat continue bemonstering niet realistisch is omwille van verzadiging van de bemonsteringsmedia (filter en adsorbentpatronen) bij staalname. Hierdoor is het arbeidsintensiever, en dus duurder, om te meten met een hoge frequentie.

In deze gevallen wordt eveneens een jaarlijkse beoordeling gemaakt van de emissies ten opzichte van aanvaardbare immissieniveaus met het oog op concentraties in omgevingslucht, water en bodem, zowel op korte als lange termijn. Dit houdt minstens een toetsing ten opzichte van het tijdelijk toetsingscriterium omgevingslucht in (zie 6.2.1), alsook toetsing van depositiebijdrage (zie 6.2 en 6.3.1).

Andere relevante geleide emissies worden jaarlijks gemeten. Het kan gaan om bijvoorbeeld detecteerbare niveaus van zeer zorgwekkende PFAS onder de vrijstellingsgrens, en/of emissies van (target) PFAS die niet als zeer zorgwekkende stoffen beschouwd worden boven het niveau van de vrijstellingsgrens.

Volgens verschillende leden van het BC is de capaciteit van erkende laboratoria momenteel een knelpunt. Dit werd via mail bevestigd door erkende laboratoria, op korte en middellange termijn. Bovenstaand voorstel houdt hier geen rekening mee. In de praktijk kan het dus aangewezen zijn verder te differentiëren/prioriteren, of een overgangperiode te voorzien. Een mogelijke piste is om bij de meest risicovolle activiteiten minstens initieel te meten, en afhankelijk van de emissieniveaus een aangepaste, al dan niet tijdelijke, basisfrequentie te voorzien, of een aangepast afbouwschema te voorzien met meer flexibiliteit/snellere afbouw op basis van initiële meting(en). De (verwachte) hoge kost (zie 4.4) kan eventueel ook een argument zijn om bv. een snellere afbouw op basis van initiële metingen mogelijk te maken.

De voorgestelde meetfrequenties houden nog geen rekening met de impact op de immissie en depositie. Daarom is toegevoegd dat in de vergunning een hogere frequentie opgelegd kan worden, zowel voor de tweemaandelijke als jaarlijkse metingen. Gezien de beperkte capaciteit van erkende

laboratoria lijkt het aangewezen om slechts in zeer uitzonderlijke gevallen een frequentie hoger dan tweemaandelijks te kiezen, maar het voorstel maakt dit principieel mogelijk. Hier is het relevant te vergelijken met het voorstel voor een tijdelijk toetsingscriterium onder 6.2.1. Immers, de voorgestelde drempel van 0,75 kg/jaar is voor verschillende types emissiebronnen groter dan of in de grootteorde van het toetsingscriterium voor rechtstreekse blootstelling via ademhaling in Tabel 5, en bovendien is volgens Tabel 6 rekening te houden met slechts een percentage van dit toetsingscriterium om te bepalen hoe dwingend het is om maatregelen te nemen. Zoals onder 6.2.1 vermeld, moet aanvullend de mogelijke impact van depositie nog beoordeeld worden. De risico's op (lokale) overschrijding van een milieukwaliteitsnorm kunnen lokaal verschillen. De afweging van de bijkomende kosten voor extra metingen ten opzichte van deze risico's dient dus geval per geval te gebeuren.

Het afbouwen kan volgens het afbouwschema in VLAREM II. Recent is [onderzoek](#) (Soumillion et al., 2022) gevoerd naar een beoordelingskader voor 'stabiele emissies', waarin onder meer aandacht werd besteed aan afbouw voor metingen die weinig frequent (bv. minder dan maandelijks) gebeuren. Het is de intentie van GOP om de bestaande beoordelingskaders in VLAREM II en VLAREM III (na consultatie van de betrokken stakeholders) te vervangen door een nieuw beoordelingskader, gebaseerd op het voorstel in voormelde studie.

Er kan overwogen worden om aan het tekstvoorstel toe te voegen dat gemeten moet worden volgens een 'worst-case'-scenario (of, naar analogie met de verwoording van BBT-conclusies van BREF's, "bij de hoogste verwachte emissietoestand onder normale bedrijfsomstandigheden"). Dit zal echter niet steeds duidelijk zijn voorafgaand aan (een) initiële meting(en). Dit kan een relevante toevoeging zijn voor PFAS luchtmissies, maar het is mogelijk beter dit op een algemener niveau te evalueren (voor alle parameters en emissies naar alle media).

## 6.2 AANDACHTSPUNTEN VOOR DE BIJZONDERE MILIEUVOORWAARDEN

Niet alle BBT lenen zich tot een rechtstreekse vertaling in de algemene of sectorale voorwaarden, bijvoorbeeld omdat de toepasbaarheid, milieuvoordeel of economische haalbaarheid geval per geval moet beoordeeld worden. Het kan echter wel nuttig zijn voor de vergunningsverlener om ook rekening te houden met dergelijke BBT maatregelen in de vergunning en hier indien nodig bijzondere milieuvoorwaarden voor op te leggen. Hieronder worden aandachtspunten voor de bijzondere milieuvoorwaarden opgesteld, specifiek aangaande de toetsing van emissies aan immisatieconcentraties in omgevingslucht. Het is op te merken dat dit geen uitspraak doet over (on)aanvaardbaarheid van impact van depositie en accumulatie in bodem en water. In het bijzonder op plaatsen waar de concentraties in bodem en water reeds hoog zijn, bv. in de buurt van of zelfs boven milieukwaliteitsnormen of gezondheidskundige grenswaarden, kunnen zelfs zeer beperkte emissies aanleiding geven tot onaanvaardbare effecten.

### 6.2.1 TIJDELIJK TOETSINGSCRITERIUM OMGEVINGSLUCHT

#### VOORSTEL TIJDELIJK TOETSINGSCRITERIUM OMGEVINGSLUCHT

Er wordt hier een tijdelijke toetsingswaarde, of ruimer gesteld, een toetsingscriterium, voorgesteld. Immers, één enkele emissiewaarde voor alle types emissiebronnen is mogelijk onvoldoende afgestemd op het risico voor de omgevingslucht, zoals in 3.1.2, bijlage A en hieronder verder wordt besproken. Het uiteindelijke doel, zoals de algemene voorwaarden in VLAREM II stellen, moet zijn om luchtverontreiniging maximaal te beperken en indien mogelijk zelfs te voorkomen, in lijn met BBT, waarbij o.a. rekening wordt gehouden met de aard en het volume van de verontreinigende emissies van

de inrichting (zie 2.4.1.2). Een toetsingscriterium laat een eerste screening van een emissiebron toe, om te bepalen of de emissie geen aanleiding geeft tot een overschrijding van een voor mens en milieu aanvaardbare immissie en depositie.

Voor PFAS is er op dit moment enkel een tijdelijke toetsingswaarde voor 4 'EFSA' PFAS (PFOS-PFOA-PFNA-PFHxS) in omgevingslucht (0,4 ng/m<sup>3</sup> in o.a. woongebied), die enkel rekening houdt met menselijke blootstelling via ademhaling (zie 2.4.2.1), en niet met de impact via depositie. Voor depositie en daaropvolgende accumulatie in bodem, grondwater of oppervlaktewater is er nog geen (tijdelijke) toetsingswaarde of norm. Dit maakt dat er enkel een tijdelijk toetsingscriterium voor omgevingslucht kan voorgesteld worden in de BBT-studie, dat eventueel in een latere fase herzien moet worden, en dat naast het toetsingscriterium een aanvullende controle nodig is van de mogelijke effecten op bodem, grondwater en oppervlaktewater.

De beoordeling van de emissie verloopt in meerdere stappen:

- bepaling welke jaarlijkse emissie overeenkomt met de toetsingswaarde voor omgevingslucht ('toetsingscriterium omgevingslucht')
- toepassing van het MER beoordelingskader (toetsing immissiebijdrage)
- nagaan van mogelijke impact van depositie van luchtmissies, en aftoetsing aan (milieukwaliteits)normen voor oppervlaktewater, grondwater, bodem... (toetsing depositiebijdrage)
- 

### **Bepaling toetsingscriterium**

Om tot een vereenvoudigd en conservatief voorstel voor toetsingscriterium te komen dat een ruwe screening toelaat, wordt van de emissies bepaald in bijlage A, voor elke categorie emissiebron de strengste emissiewaarde over alle afstandsbanden heen genomen.<sup>57</sup> Dit is in onderstaande tabel weergegeven.

**Tabel 5: Toetsingscriterium per categorie emissiebron, bepaald op basis van de modellering in bijlage A, uitgaande van het tijdelijk toetsingskader voor omgevingslucht.**

Hoofdcategorie bron	Geldig voor emissiebron	Toetsingscriterium omgevingslucht (kg/j)
C1	Lage puntbron (H<20m), warmte-inhoud Q<0,8 MW	0,0164

<sup>57</sup> Dit is dus een vereenvoudigde, conservatieve benadering. Indien er geen bewoning of recreatiegebied binnen de meest kritische afstandsband in kwestie ligt (zie bijlage A), kan eventueel voor verdere verfijning van de aftoetsing gekeken worden naar de strengste waarde voor een afstandsband die wel relevant is.



Hoofdcategorie bron	Geldig voor emissiebron	Toetsingscriterium omgevingslucht (kg/j)
C2	Lage puntbron ( $H < 20\text{m}$ ), warmte-inhoud $Q > 0,8\text{ MW}$	1,97
C3	Middelhoge puntbron ( $20\text{m} < H < 45\text{m}$ ), warmte-inhoud $Q < 1,8\text{ MW}$	0,80
C4	Middelhoge puntbron ( $20\text{m} < H < 45\text{m}$ ), warmte-inhoud $1,8 < Q < 3,8\text{ MW}$	11,02
C5	Middelhoge puntbron ( $20\text{m} < H < 45\text{m}$ ), warmte-inhoud $Q > 3,8\text{ MW}$	24,57
C6	Hoge puntbron ( $H > 45\text{m}$ ), warmte-inhoud $Q < 4,5\text{ MW}$	16,17
C7	Hoge puntbron ( $H > 45\text{m}$ ), warmte-inhoud $Q > 4,5\text{ MW}$	50,64

De warmte-inhoud is te bepalen conform [VLAREM II, bijlage 4.4.1](#).

### **Beoordeling emissie**

Bovenstaand 'toetsingscriterium omgevingslucht' is de jaarlijkse emissie die overeen komt met de toetsingswaarde voor omgevingslucht, die in zekere zin vergelijkbaar is met een milieukwaliteitsnorm voor lucht. Dit houdt echter nog geen rekening met mogelijke cumulatieve effecten van meerdere industriële en niet-industriële emissiebronnen, en (eventueel verhoogde) lokale achtergrondconcentraties, zie ook 3.1.1. Het toetsingscriterium omgevingslucht is gericht op geleide emissies, voor diffuse emissies dient een analoge aanpak gevolgd te worden.

Om de emissie aan de hand van dit toetsingscriterium te beoordelen, wordt hier een aanpak analoog aan het [beoordelingskader voor MER](#) voorgesteld, waarbij het toetsingscriterium als equivalent voor de milieukwaliteitsnorm wordt gesteld.

Hierbij wordt eerst de 'score' van de emissie bepaald:

**Tabel 6: Scores van emissies i.f.v. hun aandeel van het toetsingscriterium omgevingslucht**

	Score	Score als concentratie in omgevingslucht toetsingswaarde <sup>58</sup> >80%
Emissie ≤ 1% van toetsingscriterium	0	0
Emissie > 1% van toetsingscriterium	-1	-2
Emissie > 3% van toetsingscriterium	-2	-3
Emissie > 10% van toetsingscriterium	-3	-3

Het toetsingscriterium omgevingslucht geldt per categorie puntbron, afhankelijk van de karakteristieken (hoogte en warmte-inhoud) van die bron. Indien een inrichting meerdere bronnen heeft, moet rekening gehouden worden met alle bronnen samen.

- Voor gelijkaardige bronnen, kunnen de emissies gesommeerd worden en getoetst aan het toetsingscriterium.
- Indien er verschillende types puntbronnen zijn, wordt eerst voor elke puntbron apart berekend wat het percentage van de emissie is ten opzichte van het respectievelijke toetsingscriterium, en worden vervolgens de percentages opgeteld om de score in lijn met bovenstaande tabel te bepalen.<sup>59</sup>

Om de score te kunnen bepalen, is het noodzakelijk na te gaan of de concentratie in de omgevingslucht onder of boven 80% van de toetsingswaarde omgevingslucht ligt, en dus welke andere bronnen relevante PFAS-emissies veroorzaken binnen de invloedsfeer van het bedrijf in kwestie.

Afhankelijk van deze score (0, -1, -2, -3) dienen dan [milderende maatregelen](#) onderzocht te worden, analoog aan de MER beoordeling:

- Score 0: Onderzoek naar milderende maatregelen is minder dwingend.
- Score -1: Onderzoek naar milderende maatregelen is minder dwingend.
- Score -2: Er dient onderzoek te gebeuren naar milderende maatregelen
- Score -3: Er dienen in elk geval milderende maatregelen voorgesteld te worden.

Hierbij is op te merken dat als een emissie groter is dan het toetsingscriterium, dit een onaanvaardbare emissie is, en aanleiding is voor onmiddellijke actie. Het is echter wel belangrijk te benadrukken dat het om een jaarlijkse emissie gaat, en dus rekening gehouden moet worden met mogelijke variatie en fluctuaties in emissies doorheen het jaar. Voor het omgaan met onzekerheden, wordt verwezen naar het [Richtlijnsysteem Lucht](#).

<sup>58</sup> Hiermee wordt bedoeld de toetsingswaarde voor omgevingslucht, waarvoor een tijdelijke toetsingswaarde van 0,4 ng/m<sup>3</sup> is afgeleid voor o.a. woongebied. Dit is inclusief de eigen emissie, dus na realisatie van plan/project in het geval van een nieuwe inrichting of een uitbreiding.

<sup>59</sup> Een fictief voorbeeld: Een inrichting heeft twee bronnen: een C3 bron en een C7 bron. De C3 bron heeft een emissie van 0,008 kg/jaar (=1% toetsingscriterium) en de C7 bron een emissie van 1 kg/jaar (<2% toetsingscriterium). Opgeteld is dit <3 % van het 'gecombineerde' toetsingscriterium, en dus score -1 (of -2 als de concentratie in de omgevingslucht >80% van de toetsingswaarde is).

Het toetsingscriterium omgevingslucht dient om de aanvaardbaarheid naar blootstelling via ademhaling na te gaan, en is gebaseerd op de toetsingswaarde omgevingslucht voor de 4 'EFSA' componenten (PFOS-PFOA-PFNA-PFHxS). Als vereenvoudigde en conservatieve benadering wordt echter voorgesteld om eerst de som van alle op dat moment volgens de gevalideerde (LUC-)meetmethode kwantitatief meetbare PFAS via deze beoordeling af te toetsen. Indien deze som niet tot een negatieve score leidt én alle redelijke maatregelen voor minimalisatie van emissies van zeer zorgwekkende stoffen zijn getroffen, is deze aanvaardbaar voor blootstelling via ademhaling. Het toepassingsgebied van deze eerste toetsing evolueert dus mee met de ontwikkeling van de meetmethode. Echter, indien toxicologisch relevante, op basis van de inventaris/massabalans gekende, emissies niet kwantitatief gemeten kunnen worden, is bijkomend rekening te houden met de ingeschatte emissies van die niet kwantitatief meetbare componenten. Alternatief zou in de toekomst een groepsbepaling van PFAS componenten een eerste screening van de grootteorde van emissies kunnen toelaten, maar dergelijke meetmethode is momenteel niet voorhanden, zie ook 6.3.1.

Er is bovendien nog steeds een controle nodig van de effecten op bodem, grondwater en oppervlaktewater door depositie. Er zijn aanwijzingen dat depositie mogelijk een meer kritische factor is dan rechtstreekse blootstelling via omgevingslucht. Het is op het moment van schrijven echter onmogelijk hier een correcte inschatting van te maken door gebrek aan zowel emissiegegevens, depositiesnelheden als depositienormen. Dit is dan ook een belangrijke aanbeveling voor verder onderzoek (6.3.1).

Indien de gesommeerde emissie van alle PFAS tot een negatieve score leidt, is een meer verfijnde beoordeling aangewezen, waarbij rekening wordt gehouden met de relatieve toxiciteit van andere PFAS verbindingen ten opzichte van de 4 EFSA verbindingen.

Op het moment van schrijven is er nog geen geschikte methode beschikbaar om luchtemissies van verschillende PFAS componenten te wegen. De voorlopig voorgestelde methode is de RPF-methode van het Nederlandse RIVM, hoewel de toepasbaarheid voor luchtemissies nog te valideren is. Bovendien zijn er verschillende RPF's afgeleid voor zowel levertoxiciteit als voor verschillende effecten m.b.t. immunotoxiciteit, zie 2.1.3. Verder onderzoek is nodig om te komen tot één weging die bruikbaar is voor beoordeling van luchtemissies (6.3.1). In elk geval moet de relatieve toxiciteit van ultrakorte keten PFAS nog aanvullend ingeschat worden, aangezien deze niet zijn meegenomen in de bepaling van RPF's (op levertoxiciteit van TFA na).

De hierboven voorgestelde beoordeling aan de hand van het toetsingscriterium moet gezien worden als een ruwe screening. Afhankelijk van de risico's, bv. bij een score -3, kan een meer precieze immissiemodellering op maat, aangevuld met immissiemetingen, aangewezen zijn. Deze kan dan bijvoorbeeld rekening houden met de exacte gaskarakteristieken en schouwhoogte, alsook relatieve (eco)toxiciteit van verschillende PFAS componenten. Het verhogen van de schouw kan echter niet als 'oplossing' aanbevolen worden, in het bijzonder omdat het gaat om componenten die persistent zijn in het milieu, en waarvan sommige zeer zorgwekkende stoffen zijn. Het verhogen van de schouw is dus enkel een laatste redmiddel, en vervangt op geen enkele manier de minimalisatieverplichting voor emissies van zeer zorgwekkende stoffen.

#### ALTERNATIEF OP BASIS VAN VERORDENING PERSISTENTE ORGANISCHE POLLUENTEN

Binnen het begeleidingscomité werd eveneens een alternatieve benadering gesuggereerd, om een emissiewaarde af te leiden op basis van een vergelijking van bepalingen in de POP-Verordening (Verordening persistente organische verontreinigende stoffen - EU/2019/1021, zie ook 2.4.3.2). Hierbij zou vergeleken kunnen worden met dioxinen en furanen. Dit zijn immers persistente organische polluenten waarvoor zowel de toxicologische kennis als kennis over emissies en emissiebeperking beter gekend is, en er binnen een aantal sectoren emissiegrenswaarden bepaald zijn op basis van een toxicologische equivalentie, zoals afval(mee)verbranding, ijzer- en staalproductie, cement- en

kalkindustrie, non-ferrometaalindustrie en bepaalde productie van organisch-chemische producten. Tegelijkertijd zijn er voor zowel dioxinen en furanen als voor PFOS (en derivaten ervan) concentratiegrenzen vastgelegd in de bijlagen van de POP-Verordening voor afvalbeheer en afvalstromen, die bepalen wanneer POP's in een afvalstroom vernietigd of onomkeerbaar omgezet moeten worden. Ter referentie, voor PFOS is dit 50 mg/kg, terwijl dit voor dioxinen en furanen 15 µg/kg is (na verrekening van toxische-equivalentiefactoren).

Er lopen initiatieven op EU-niveau om concentratiegrenzen voor PFOA en PFHxS en hun zouten (1 mg/kg; 40 mg/kg voor gerelateerde verbindingen die ernaar kunnen ontbinden) toe te voegen, en deze voor dioxinen en furanen te verlagen.

Er wordt binnen deze BBT-studie echter niet verder ingegaan op deze piste, omwille van volgende argumenten:

- Deze concentratiegrenzen kaderen specifiek in afvalbeheer, en zijn niet noodzakelijk representatief voor andere industriële sectoren waarin PFAS geproduceerd of al dan niet intentioneel toegepast worden. Er zijn verschillen in het aantal en de soort industriële en andere emissiebronnen waaraan mens en milieu worden blootgesteld.
- Beleid voor afval- en materiaalstromen heeft niet noodzakelijk dezelfde focus als beleid met het oog op het beperken van luchtmissies. Ze zijn moeilijk te vergelijken. Bovendien zullen verschillende (groepen of families van) componenten zich verschillend gedragen qua luchtmissies, en qua effectiviteit van technieken. Dioxinen en furanen zijn bijvoorbeeld niet in dezelfde mate persistent als PFAS.
- De studies van Ramboll (2019) en RPA Europe & partners (2021) waarop de nieuwe voorstellen voor PFOA en PFHxS gebaseerd zijn, verklaren waarom niet voor lagere concentratiegrenzen werd gekozen. Hierbij wordt vooral verwezen naar de onzekerheid over aanwezigheid van deze componenten in afvalstromen, en mogelijke beperkingen qua recyclage. Voor PFOA wordt de meeste vooruitgang voor mens en milieu verwacht door beperkingen vanuit REACH, eerder dan door verstrengde waarden in de POP-Verordening, doordat de aanwezigheid van deze component doorheen heel de waardeketen mettertijd steeds minder aanwezig zal zijn. Bovendien is het gebruik van PFOA en PFHxS in de EU, en de aanwezigheid in geïmporteerde producten, sterk afgenomen. Het studiewerk focust heel sterk op deze individuele componenten en hun gerelateerde verbindingen, niet op omzetting naar andere componenten door bv. thermische oxidatie. Het is belangrijk op te merken dat een review is voorzien na 5 jaren, waarbij zal gekeken worden naar bijkomende beschikbare informatie.
- De studie van RPA Europe & partners (2021) verwijst wel naar de nieuwe EFSA gezondheidskundige waarden, maar voor PFOA wordt nog een achterhaalde waarde van 8 ng/kg lichaamsgewicht aangehaald, terwijl bij PFHxS wel de definitieve waarde van 4,4 ng/kg is vermeld.

### 6.3 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK EN TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELING

In dit onderdeel worden suggesties gedaan voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling. Dit gebeurt volgens 2 sporen:

- aanbevelingen voor het verbeteren van de beschikbare informatie en kennis;
- aanbevelingen voor de ontwikkeling van nieuwe milieutechnieken.

### 6.3.1 AANBEVELINGEN VOOR VERBETERING VAN HUIDIGE KENNIS

Bij het opstellen van de BBT-studie werden een aantal hiaten in de beschikbare kennis/informatie opgemerkt, zowel met betrekking tot de milieu-impact van PFAS luchtmissies als met betrekking tot de beschikbare milieuvriendelijke technieken. Verder onderzoek op deze domeinen is aanbevolen om deze hiaten weg te werken. Een overzicht van de betrokken domeinen en de hieraan gekoppelde onderzoeksaanbevelingen wordt hieronder gegeven. Er zijn tevens een aantal reeds lopende onderzoeksprojecten aangegeven die bij het opstellen van de BBT-studie werden opgemerkt, doch deze lijst is niet noodzakelijk volledig.

#### AANWEZIGHEID, CONCENTRATIES EN EIGENSCHAPPEN VAN PFAS

Van een aantal specifieke PFAS componenten zijn de impact op milieu en gezondheid goed gekend, in het bijzonder de 4 componenten waarvoor EFSA een gezondheidskundige advieswaarde heeft voorgesteld (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS). Deze componenten, maar ook een veel ruimere groep PFAS componenten worden beschouwd als zeer zorgwekkende stoffen volgens REACH en/of volgens Nederlandse stoffenlijsten van ZZS, potentiële ZZS en stoffen die met ZZS vergelijkbare eigenschappen hebben (zie 2.4.4.2). Verder onderzoek moet toelaten voor Vlaanderen eenduidige criteria of lijsten vast te leggen van wat verstaan wordt onder 'zeer zorgwekkende stoffen' en hoe dit begrip afgebakend wordt. Op het moment van schrijven is dergelijk studiewerk lopende in opdracht van Departement Omgeving, Afdeling Vlaams Planbureau voor Omgeving.

Er is echter voor vele, zo niet de meeste componenten, slechts gebrekkige informatie over hun concentraties en gedrag (verspreiding, accumulatie, omzettingen, enz.) in diverse media en in producten en grondstoffen, in het bijzonder wanneer dit in relatief lage concentraties is (bv. <0,1 massapercent in verkochte producten). Voor een groot aantal PFAS componenten komt daarbij nog dat de gezondheidsrisico's slechts beperkt of gedeeltelijk gekend zijn. Dit alles maakt het voor de meeste componenten momenteel (zeer) moeilijk om veilige of aanvaardbare immissieniveaus, laat staan emissieniveaus, af te leiden.

Om een betere inventarisatie van PFAS componenten en betere inschattingen van het risico van mogelijke emissies toe te laten, is betere kennisuitwisseling nodig tussen producenten/leveranciers en aankopers/gebruikers. Analoog is voor afvalstromen een betere kennisuitwisseling nodig over stromen met (verhoogde concentraties aan) PFAS componenten. Dit op een manier die eveneens toelaat meer inzicht te verwerven in de risico's van specifieke ingedeelde inrichtingen, om eventueel specifiekere sectorale voorwaarden of prioriteiten uit te werken. De informatie die op het moment van schrijven verzameld wordt in het kader van het PFAS restrictiedossier, kan hier richting aan geven, zie 2.4.3.3. Immers, mocht het voorstel daadwerkelijk doorgevoerd worden in de toekomst (huidige verwachting 2026-2027), zou het gebruik van PFAS verboden zijn, behalve voor een aantal expliciet vernoemde toepassingen/gebruiken die ofwel in afwijking van het verbod vrijgesteld zijn (gewasbeschermingsmiddelen, biocides en medicijnen), ofwel een transitieperiode kennen. Vanaf dan zijn PFAS enkel te verwachten bij dergelijke toegelaten gebruiken, en als resterende aanwezigheid bij 'historische' gebruiken in processen, apparatuur en afval/afvalwater.

Om de impact van die emissies beter in te schatten, is niet alleen onderzoek naar emissie- en depositie monitoring (zie volgende titel) aangewezen, maar ook toxicologisch onderzoek, dat bij voorkeur resulteert in werkbare equivalentiefactoren zoals voor dioxines en furanen, zie ook aanbevelingen voor rapportage van emissies hieronder.

Omdat PFAS zo divers en wijdverspreid zijn, en er tegelijk in mens en milieu PFAS concentraties worden vastgesteld die aanleiding geven tot grote bezorgdheid, is er nood aan duidelijke prioritering en instrumenten die daarbij helpen. Deze BBT-studie verzamelt reeds beschikbare informatie, maar er blijkt een duidelijke noodzaak tot meer en concretere instrumenten en richtlijnen om prioriteiten te stellen,

en een gepaste mate van detail op korte en langere termijn te bepalen. Dit voor verschillende aanbevelingen in deze BBT-studie, zoals de inventaris van PFAS-risico's, het onderzoek naar minimalisatie van zeer zorgwekkende PFAS componenten, massabalans van emissies en immisietoeting. Ook besteedt verder onderzoek best voldoende aandacht aan wanneer lagere emissieniveaus 'relevant' of 'niet verwaarloosbaar' zijn, met zo concreet mogelijke drempels/criteria.

Zoals aangegeven onder 6.1.3, is verder te onderzoeken of/hoe de PFAS inventaris en rapportage van emissies (zie ook volgende titel) opgenomen kan worden in het IMJV voor IMJV-plichtige bedrijven, en voor andere bedrijven deze zaken dan actief bezorgd of ter beschikking gehouden worden. Voor rapportage van emissies (in het IMJV) moet gekeken worden naar toekomstige harmonisatie van de meetmethode in de EU.

#### **Aanbevelingen:**

- Verderzetten en implementeren studiewerk rond duidelijke afbakening van het begrip zeer zorgwekkende stoffen in het Vlaamse (emissie-)beleid. Onderzoek naar welke PFAS componenten tot deze zeer zorgwekkende stoffen behoren.
- Onderzoek naar (intentionele) aanwezigheid van PFAS, in het bijzonder ZZS PFAS, in relatief lage concentraties (<0,1 massa%) in grondstoffen/producten.
- Duidelijke instrumenten en richtlijnen voor het stellen van prioriteiten en aanpassen van mate van detail in functie van risico's en variabiliteit, voor onder andere inventaris PFAS-risico's, onderzoek naar minimalisatie, massabalans en immisietoetsing. Bijzondere aandacht voor de afvalsector, en voor onderscheid tussen sectoren met geen/beperkt te verwachten risico en sectoren met te verwachten relevant/significant risico.
- Onderzoek naar integratie van PFAS inventaris en/of rapportage emissies in het IMJV.
- Naarmate kennis over emissies en omgevingsrisico's zich verder ontwikkelt, eventuele sectorale voorwaarden of prioriteiten afleiden.
- Afstemming op PFAS-restrictievoorstel(len) in kader van REACH. In het bijzonder het gericht maken van de verplichting tot inventarisatie (en monitoring) tot die gebruiken die geïdentificeerd worden in dit kader. Op termijn, na van kracht worden restrictie, verdere beperking tot enkel toegelaten gebruiken en (voor emissies relevante) resterende aanwezigheid.
- Onderzoek naar referentiewaarden kosteneffectiviteit voor reductie van emissies van specifiek PFAS componenten, in het bijzonder de zeer zorgwekkende stoffen, samen met een afweging hoe reductie van PFAS luchtemissies zich verhoudt tot typische/te verwachten cross-media effecten.

#### **EMISSIE- EN DEPOSITIEMONITORING EN -RAPPORTAGE**

De massabalans is voor emissies naar lucht onderhevig aan zeer grote veronderstellingen indien er geen luchtemissiemetingen beschikbaar zijn, bv. bij installaties die gasreiniging toepassen, dewelke de PFAS massabalans in meer of mindere mate zal beïnvloeden. Er is nood aan meer kennis over het gedrag van PFAS in onder meer thermische of katalytische processen die PFAS componenten kunnen omzetten, en in processen waar vluchtige componenten of aerosolen geëmitteerd kunnen worden. Onder andere de kennis over in welke mate en welke verhouding PFAS componenten aanwezig zijn in gasfase, als aerosol, of geadsorbeerd aan stofdeeltjes, is beperkt.

Emissiemetingen zullen de kennisleemte, in het bijzonder voor geleide emissies, stelselmatig opvullen, maar de huidige meetmethoden zijn gericht op een groep van target PFAS componenten, waardoor een aanzienlijk aandeel van de totale hoeveelheid PFAS gemist kan worden. Bovendien waren zelfs deze meetmethoden tot recent nog in een fase van ontwikkeling en validatie (op het moment van schrijven is er wel een LUC ontwerpmethod), waardoor er voorlopig slechts weinig reële emissiegegevens zijn.



Zoals in de vorige titel aangegeven, moet voor rapportage van emissies gekeken worden naar toekomstige harmonisatie van de meetmethode in de EU. Het is verder te onderzoeken of, en welke, (toxicologische) wegingsfactoren representatief zijn voor het omgevingsrisico van luchtemissies, naar analogie met dioxines en furanen. De RPF's (Relative Potency Factor) van het RIVM, afgeleid voor leveren immunotoxiciteit (zie 2.1.3), zijn een goed vertrekpunt, maar nog te valideren voor luchtemissies.

Tegelijk is de kennis over de depositiesnelheden van verschillende PFAS componenten in verschillende omstandigheden nog onvoldoende, en is de kennis over de mogelijke impact van depositie op concentraties in oppervlaktewater, grondwater en bodem te beperkt. Verder onderzoek naar verspreiding en depositie van emissies, de hoeveelheid PFAS die nu niet targeted worden bepaald, en mogelijke accumulatie in het milieu, moet in de toekomst toelaten om het normenkader voor luchtemissies verder af te stemmen op alle milieu- en gezondheidsrisico's, niet enkel de blootstelling via ademhaling. In bepaalde gevallen is het mogelijk dat depositie kritieker is dan de rechtstreekse blootstelling via ademhaling van omgevingslucht. Dit is niet enkel afhankelijk van de PFAS component(en), maar ook in belangrijke mate van de deeltjesgrootte van PFAS-bevattende partikels, en dus van de karakteristieken van het uitgestoten afgas, en van het gedrag in de omgevingslucht. Deze deeltjesgrootte is immers een bepalende factor voor de depositiesnelheid. De onzekerheden voor inschatting van depositiesnelheden/depositieniveaus zijn zeer groot, onder meer omdat nog niet goed gekend is hoe groot de partikels die PFAS bevatten, zijn. Afhankelijk van de partikelgrootte (Zhang et al., 2000; Giardina en Buffa, 2018) kan de droge depositie variëren van ongeveer 0,3 cm/s (voor PM1-PM2.5) tot 50 cm/s (voor heel grof stof). Deze twee waardes toegepast op een concentratie van 0,4 ng/m<sup>3</sup> levert voor droge depositie een spreiding op van 38 µg/(m<sup>2</sup>.jaar) tot 6300 µg/(m<sup>2</sup>.jaar). Natte depositie hangt af van de hydrofiliteit, die hier niet specifiek bekeken is, maar vaak is op korte afstand droge depositie overheersend. Shimizu et al. (2021) hebben de verdeling van de vluchtige fractie en deeltjesfractie (verdeling PUF/filter), en de verdeling van de wateroplosbare/ en aan deeltjes gebonden PFAS componenten onderzocht. Op basis daarvan hebben zij de resulterende impact op natte/droge depositieflux bepaald (door simultane droge/natte depositiemeting).

#### Aanbevelingen:

- Verder ontwikkelen en valideren van meetmethoden voor target PFAS componenten, en deze in de mate van het mogelijke uitbreiden met alle toxicologisch relevante componenten (in het bijzonder zeer zorgwekkende stoffen).
- Ontwikkeling/validatie van wegingsfactoren voor rapportage en beoordeling van PFAS luchtemissies
- Toekomstige harmonisatie van meetmethode(n) in EU, en afstemming van emissierapportage erop.
- Ontwikkelen van representatieve groepsparameters die het milieu- en gezondheidsrisico van de totale emissie benaderen, bv. analoog aan TOP-assay, waarbij een beeld wordt verkregen van de totale hoeveelheid PFAS gezien daarbij ook de niet-targeted PFAS worden bepaald.
- Actief agenderen van het ontwikkelingswerk in Vlaanderen m.b.t. bemonstering en analyse van PFAS in lucht op de betreffende EU fora (concreet CEN/TC264) om te komen tot een Europees geharmoniseerde bemonsterings- en analysemethode naar voorbeeld van o.a. dioxine- en furanenbemonstering en -analyse.
- Verder onderzoek (emissie)gedrag van aanwezige/toegepaste PFAS componenten in specifieke sectoren/processen, zoals textielbehandeling, metaaloppervlakbehandeling, productie en toepassing van gespecialiseerde coatings, smeermiddelen en reagentia, afvalbehandeling en -verbranding, afvalwaterzuivering, verwerking van verontreinigde bodem en slib en koeltorens, en evaluatie van gepaste meetmethode en -frequentie.
- Karakteriseren van afgassen: niet enkel de concentraties van de verschillende PFAS-componenten moet in kaart gebracht worden, maar ook welke fractie van elke PFAS-component

in welke deeltjesgrootte aanwezig is. Relateren van verschillende PFAS componenten met deeltjesgrootte. Te bepalen via cascade impactor metingen.

- Specifieke aandacht naar diffuse emissies, een goede inschatting van hun grootteorde en impact op milieu en gezondheid, en eventuele noodzaak tot opvangen met het oog op metingen of gasreiniging.
- Onderzoek naar gedrag van PFAS en PFAS-deeltjes in omgevingslucht, zoals mogelijke omzettingen van precursoren naar eindstandige PFAS, sorptie van PFAS aan partikels indien de temperatuur lager is dan in de schouw, welke fractie van elke PFAS-component in welke deeltjesgrootte aanwezig is, enz.
- Onderzoek naar verspreiding, depositie en accumulatie van PFAS componenten in het milieu, evenals de cumulatieve en versterkende negatieve (matrix)effecten die kunnen optreden bij blootstelling aan meerdere PFAS en/of andere ZZS, met het oog op het verder afstemmen van het normenkader op de milieu- en gezondheidsrisico's. Inschattingen verfijnen en/of valideren aan de hand van depositiemetingen en concentratiemetingen in bodem en water. Een belangrijk onderdeel is verder onderzoek naar depositienormen die rekening houden met milieu- en gezondheidsrisico's. VITO en ARCHE voeren momenteel dergelijk onderzoek uit in opdracht van VMM. De doelstelling van deze opdracht bestaat erin gezondheidkundige toetsingswaarden voor PFAS in lucht en depositie te bepalen zodat deze waarden kunnen gebruikt worden bij het evalueren van gemeten concentraties, bij de opmaak van vergunningsvoorwaarden, in MER richtlijnenboeken en/of de VLAREM milieuregelgeving. De selectie bestaat uit volgende componenten:
  - Omgevingslucht: PFBA, PFBS, HPFO-DA, 6:2 FTS, PFPrA. Daarnaast is er ook een evaluatie van de tijdelijke toetsingswaarden voor de EFSA-4.
  - Depositie: PFOS, PFBA

#### ULTRAKORTE KETEN PFAS EN DIVERSE PFAS COMPONENTEN

De term ultrakorte keten PFAS wordt doorgaans gebruikt voor perfluorcarbons (PFCA's) met twee tot en met drie koolstofatomen en perfluorsulfonzuren (PFSA's) met één tot drie koolstofatomen. Ze kunnen ook gevormd worden uit precursoren, die kunnen variëren van zeer kleine moleculen met één tot drie koolstofatomen tot grote PFAS moleculen, waaronder ook polymeren (bv. polymeren met gefluoreerde zijketen). Op het moment van schrijven is er weinig geweten over de oorsprong, transport, het lot, toxiciteit en bijgevolg de luchtbehandelingstechnieken voor de verwijdering van deze PFAS. Het zijn verbindingen die gekenmerkt worden door een hoge persistentie en mobiliteit waardoor ze snel doorheen het milieu kunnen bewegen. In het bijzonder zijn ze vluchtiger dan grotere PFAS moleculen.

Verder is er nog een grote groep van diverse, vaak complexe PFAS componenten die worden gebruikt in gespecialiseerde toepassingen zoals de productie van elektronica (o.a. chips en halfgeleiders) en gespecialiseerde coatings en reagentia. Vaak is er slechts beperkte kennis over de milieu- en gezondheidsrisico's van deze componenten en hun afbraakproducten, niet enkel in het milieu maar ook bijvoorbeeld als ze in afvalverbranding of afvalwaterzuivering terechtkomen.

#### Aanbevelingen:

- Er is nood aan bijkomend onderzoek naar de oorsprong, het (emissie)gedrag en het voorkomen van ultrakorte keten PFAS in luchtmissies in Vlaanderen;
- Om de relevantie van deze parameters te kunnen inschatten zijn bijkomende inzichten in de schadelijkheid en toxiciteit voor mens en milieu van ultrakorte keten PFAS noodzakelijk;
- Verder onderzoek naar analysemethoden voor target ultrakorte keten PFAS en verbetering van groepsparameter analyses zodat mogelijk ultrakorte keten PFAS mee gemeten kunnen worden.
- Bovenstaande punten gelden ook voor diverse PFAS componenten waarvan de kennis over risico's en verspreiding nog beperkt is.

**DREMPELWAARDEN PFAS IN POP-VERORDENING**

Momenteel moet, volgens de POP-verordening, voor afvalstromen met concentraties van PFOS en derivaten van meer dan 50 mg/kg de vernietiging of onomkeerbare omzetting van de POP's verzekerd worden. In de toekomst zal er een drempelwaarde van 1 mg/kg voor PFOA en PFHxS gelden, en 40 mg/kg voor gerelateerde verbindingen die ernaar kunnen ontbinden. De verplichtingen van de POP-verordening hebben belangrijke invloed op de luchtemissies van afvalverbranding en andere afvalverwerking, maar het ligt buiten de scope van deze BBT-studie om hier concrete aanbeveling rond te maken. Vanuit het oogpunt van luchtemissies is het echter wel aangewezen om een hoge verwijderings- en destructie-efficiëntie op te leggen voor alle afvalstoffen die zeer zorgwekkende PFAS componenten bevatten, en die PFAS componenten (bv. PFAS polymeren) bevatten die door verbranding kunnen degraderen tot zeer zorgwekkende PFAS componenten.

**Aanbevelingen:**

- Verder te onderzoeken of ook hier een groepsaanpak aangewezen is voor minimale destructie- of verwijderingsefficiëntie bij afvalverwerking (cfr. restrictievoorstel REACH), en wat een geschikte drempelwaarde zou zijn voor (precursoren van) zeer zorgwekkende stoffen.
- Eventuele herziening van de drempelwaarde van PFOS te onderzoeken, gezien het grote verschil met deze voor PFOA en PFHxS.

**VERBETERING VAN KENNIS OVER AFVALVERBRANDING EN REACTIVATIE ACTIEF KOOL**

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de kennishiaten specifiek bij afvalverbranding en reactivatie van actief kool, waarvoor verder onderzoek aangewezen is. Hierbij is op te merken dat er reeds veel onderzoek is verricht op labo- of pilotschaal (zie 3.2.3), maar slechts beperkte kennis is over reële reacties en emissies op industriële schaal. Het strategisch basisonderzoek in project AB FF-PFAS (geleid door UGent) onderzoekt afbraak en mineralisatie van PFAS componenten.

Techniek	Kennishiaten
Reactivatie van actief kool	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De optimale condities die maximale PFAS afbraak verzekeren;</li> <li>• Aard een hoeveelheid van gevormde PFAS-bijproducten in het reactivatieproces en in welke mate deze voorkomen in luchtemissies;</li> <li>• Onzekerheid over luchtemissies door gebrek aan metingen/gevalideerde meetmethode;</li> <li>• Onzekerheid over geschiktheid voor POP-houdend afval (haalbaarheid destructiegraad vereist volgens POP-verordening)</li> </ul>
Afvalverbranding in <ul style="list-style-type: none"> <li>- draaitrommeloven</li> <li>- cementoven</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennis over graad van volledige mineralisatie die optreedt;</li> <li>• Aard een hoeveelheid van gevormde PFAS-bijproducten in het verbrandingsproces en in welke mate deze voorkomen in luchtemissies en/of in product (cementovens);</li> <li>• Capaciteit die verwerkt kan worden in de geschikte en beschikbare ovens.</li> <li>• Geschiktheid voor POP-houdend afval (haalbaarheid destructiegraad vereist volgens POP-verordening) die momenteel wordt verondersteld op basis van de eerste analyses systematisch te bevestigen</li> </ul>
Afvalverbranding in roosteroven of wervelbedoven	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennis over graad van volledige mineralisatie die optreedt;</li> </ul>

Techniek	Kennishiaten
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aard een hoeveelheid van gevormde PFAS-bijproducten in het verbrandingsproces en in welke mate deze voorkomen in luchtemissies;</li> <li>• Onzekerheid over luchtemissies door gebrek aan metingen/gevalideerde meetmethode;</li> <li>• Onzekerheid over geschiktheid voor POP-houdend afval (haalbaarheid destructiegraad vereist volgens POP-verordening)</li> </ul>

### 6.3.2 AANBEVELINGEN VOOR ONTWIKKELING VAN MILIEUVRIENDELIJKE TECHNIEKEN

Bij het opstellen van de BBT-studie werd vastgesteld dat de huidige BBT niet steeds een optimale of volledige oplossing bieden voor de milieuproblematiek van PFAS luchtemissies, hetzij:

- omdat er voor een bepaald milieu-aspect geen BBT bestaan, of
- omdat de huidige BBT het milieuprobleem onvolledig/onvoldoende oplossen, of
- omdat de huidige BBT technische, economische of milieukundige beperkingen kennen (d.w.z. technisch moeilijk of niet universeel toepasbaar zijn, duur zijn, belangrijke cross-media effecten hebben).

Verder onderzoek en ontwikkeling van milieutechnieken is hier aanbevolen, en kan in een later stadium leiden tot nieuwe BBT.

Een overzicht van de betrokken milieu-aspecten en de hieraan gekoppelde onderzoeksaanbevelingen wordt gegeven in Tabel 7: Aanbevelingen voor ontwikkeling van milieuvriendelijke technieken. In de tabel zijn tevens de relevante technieken in opkomst opgelijst die in paragraaf 7.1 beschreven worden.

**Tabel 7: Aanbevelingen voor ontwikkeling van milieuvriendelijke technieken**

Milieu-aspecten waarvoor de huidige BBT geen optimale oplossing bieden	Aanbeveling	Technieken in opkomst
Gebruik van PFAS, in het bijzonder zeer zorgwekkende stoffen	Onderzoek naar toepasbaarheid van milieuvriendelijke alternatieven	Verschillende ontwikkelingen gaande, waarvan sommige vernoemd in hoofdstuk 3 van deze BBT-studie.
Werkingsgraad destructietechnieken	Onderzoek werkingsgraad en mogelijkheden optimalisatie, waaronder invloed tijd, temperatuur en turbulentie, zuurstofgehalte, vochtgehalte, zuurtegraad, bevorderen destructie door bv. calcium, actief kool, enz. Onderzoek beperking/optimalisatie van cross-media effecten	Onderzoek besproken in hoofdstukken 3, 4 en 7 van deze BBT-studie.
Werkingsgraad scheidingstechnieken	Onderzoek werkingsgraad en mogelijkheden optimalisatie,	Opgenomen in hoofdstuk 3 en 4 van deze BBT-studie.

Milieu-aspecten waarvoor de huidige BBT geen optimale oplossing bieden	Aanbeveling	Technieken in opkomst
	<p>waaronder gaskarakteristieken, dimensionering en sturing van de techniek.</p> <p>Onderzoek beperking/optimalisatie van cross-media effecten</p>	
Energiegebruik thermische oxidatie	Onderzoek naar toepasbaarheid regeneratieve of recuperatieve thermische oxidatie	Regeneratieve thermische oxidatie, zie hoofdstuk 7
Nieuwe zuiveringstechnieken voor PFAS	Onderzoek naar alternatieve/innovatieve zuiveringstechnieken met mogelijk grotere efficiëntie, beperktere cross-media effecten en/of lagere kost.	Hydrothermische liquefactie Pyrolyse (smoldering), zie hoofdstuk 7

Final draft

## HOOFDSTUK 7. TECHNIEKEN IN OPKOMST





## HOOFDSTUK 7. TECHNIKEN IN OPKOMST

In dit hoofdstuk worden een aantal technieken in opkomst besproken die bij de opmaak van de BBT-studie werden geïdentificeerd. Technieken in opkomst zijn nieuwe technieken voor een industriële activiteit die, als zij commercieel worden ontwikkeld, hetzij een hoger algemeen beschermingsniveau voor het milieu hetzij minstens hetzelfde beschermingsniveau voor het milieu en grotere kostenbesparingen kunnen opleveren dan de beste beschikbare technieken. Het zijn technieken die nog niet op industriële schaal worden toegepast, of nog in ontwikkeling zijn, en mogelijk in de toekomst BBT kunnen worden. Ook technieken die milieuproblemen aanpakken die nog maar recent onder de aandacht zijn gekomen voor een activiteit komen hier aan bod. Daarnaast worden in dit hoofdstuk ook aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling.

Bij een eventuele herziening van deze BBT-studie in de toekomst, kan onderzocht worden of de technieken in opkomst inmiddels BBT zijn geworden, en of verder onderzoek tot nieuwe inzichten geleid heeft.

Volgende technieken in opkomst werden bij de opmaak van de studie geïdentificeerd.

### 7.1 REGENERATIEVE THERMISCHE OXIDATIE

Een variant op een naverbrander (thermische oxidatie, zie 4.6) is regeneratieve thermische oxidatie, soms ook RTO genaamd. Hierbij worden keramische bedden gebruikt om de warmte van de gereinigde afgassen op te slaan en nadien af te geven aan het te reinigen gas. Bij het verlaten van het keramisch bed, benadert het te reinigen gas reeds de verbrandingstemperatuur of is de verbranding reeds gestart bij autothermiciteit. In de verbrandingsruimte wordt het gas door middel van branders verder verhit zodat thermische oxidatie optreedt of loopt de verbranding verder indien er autothermiciteit is. Met regeneratieve naverbranding kan een energierecuperatie van 85 – 98 % worden gerealiseerd. Dit maakt een RTO in het algemeen meer geschikt voor afgassen met lagere concentraties organische componenten dan een klassieke thermische oxidatie. De keramische bedden zijn geschikt voor temperaturen tot 1100 °C zonder dat er problemen optreden. Voor verbranding van PFAS dient deze techniek echter gezien te worden als een techniek in opkomst. 'off-the-shelf' beschikbare installaties behalen niet de benodigde temperaturen en/of zijn te gevoelig aan de corrosieve werking van HF.

### 7.2 HYDROTHERMISCHE LIQUEFACTIE

Hydrothermische liquefactie (HTL) is een thermochemisch depolymerisatieproces dat plaats vindt in een gesloten reactor dat gebruik maakt van de eigenschappen van subkritisch water. Tijdens HTL vinden achtereenvolgens hydrolyse, depolymerisatie en herpolymerisatie/zelfcondensatie plaats en wordt natte biomassa omgezet in gas, een waterige fase, bioruwe olie en biochar.

Momenteel wordt deze techniek vooral bestudeerd voor de vernietiging van PFAS (EPA, 2020).

### 7.3 PYROLYSE EN GASIFICATIE

#### Proces en veel voorkomende PFAS

Pyrolyse wordt gedefinieerd als de chemische afbraak van organische materialen bij hoge temperaturen (tot 1100°C) onder inerte omstandigheden (afwezigheid van zuurstof) en vereist minder warmte/energie in vergelijking met verbranding. Het temperatuursbereik kan gaan tot 1200°C (EPA, 2020). Wat er overblijft is een brandbaar gas (Winchell et al., 2021). Het proces omvat twee stappen voor koolwaterstoffen:

1. Desorptie bij 150-350°C bij hun kookpunten

## 2. Pyrolyse bij 400-500°C

Momenteel zijn er verschillende studies die focussen op de pyrolyse van biosolids naar biochar. Deze biosolids zijn dan afkomstig van afval van de waterzuivering van PFAS houdende afvalwaters.

Het algemene doel van het onderzoek van Bamdad et al. (2022) was de evaluatie van het vermogen van hoge temperatuur pyrolyse om PFAS-componenten in biologische vaste stoffen te elimineren. De detecteerbare concentratie van PFAS in de vaste biochar-productstroom werd verminderd met 97 tot 100 gew.% bij een verwerkingstemperatuur van 500 °C, en met 99,6 tot 100 gew.% bij een verwerkingstemperatuur van 700 °C. Als alle productstromen (biochar, bio-olie en pyrogas) in ogenschouw worden genomen, is de gemeten PFAS verlaagd met 88,2 gew.% bij 700 °C. Hierdoor wordt aangetoond dat pyrolyse bij hoge temperatuur (HTP) een effectieve methode kan zijn om de aanwezigheid van PFAS in biologische vaste stoffen drastisch te verminderen, resulterend in extreem lage tot niet-detecteerbare concentraties in de biokoolstofoutput bij 700 °C.

Uit een onderzoek uit 2019 (Ding et al., 2019) werd een kostprijs weergegeven van 300 \$/ton.

Omdat het pyrolyseproces bij hoge temperatuur zuurstofvrij is, zouden veel ongewenste verbindingen niet gevormd worden. Het bepalen van de aanwezigheid van HF zou het echter mogelijk maken verdere optimalisatie van pyrogasbehandelingsprocessen en constructiematerialen aan te brengen voor volledig systemen op commerciële schaal. Het uiteindelijke doel van een commercieel HTP-systeem (Hoge Temperatuur Pyrolyse) is het creëren van zoveel mogelijk producten met toegevoegde waarde uit diverse soorten afval, met het toegevoegde potentieel voor het omzetten van pyrogas in hernieuwbaar aardgas met een hoge energetische waarde (Bamdad et al., 2022).

Pyrolyse en gasificatie staan al lang in de belangstelling voor hun vermogen om moeilijk hanteerbare organische grondstoffen om te zetten in gasvormige of vloeibare brandstoffen, die gemakkelijker kunnen opgeslagen en gebruikt worden in conventionele verbrandingstoepassingen. Bovendien kunnen deze technieken het materiaal in vaste fase verwerken tot een koolstofrijk product, char of biochar, met unieke en waardevolle eigenschappen voor agrarische en industriële toepassingen (Winchell et al., 2022).

### **Emissiepunten lucht**

Pyrolyse- en gasificatietechnologieën omvatten een gasfase-output die behandeling vereist om te voldoen aan de voorschriften voor luchtmissies (Winchell et al., 2022).

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing.

## 7.4 SMOLDERING

### **Proces en veel voorkomende PFAS**

Smoldering (smeulen) is een vlamloze verbrandingstechniek die voorkomt in een gecondenseerd brandstofoppervlak om CO<sub>2</sub>, water en energie (warmte) te produceren in de aanwezigheid van zuurstof. De gemiddelde gerapporteerde temperatuur was 500 - 1.100°C en kan oplopen tot hogere temperaturen door overtollige zuurstof te voorzien. Energie wordt in de beginfase en minimaal tijdens het proces toegevoegd om het proces van smoldering te ondersteunen (EPA, 2020).

Op het moment van schrijven is deze techniek voornamelijk het onderwerp van studies, oa in de US. Recent zijn er ook enkele veld toepassingen in Canada, US, Brazilië, specifiek naar de reiniging van verontreinigde bodems. Er zijn geen cases waargenomen in Vlaanderen.

De techniek kan de PFAS-destructietemperaturen bereiken wanneer de afvalmatrix gecombineerd wordt met geschikte brandstoffen. Hiervoor wordt de gecontamineerde matrix eerst gemixt met een brandstof (bv granulair geactiveerde koolstof (GAC)) voor de effectieve destructie, wat energie-efficiënter is dan

verbranding (EPA, 2020). Deze techniek lijkt veelbelovende resultaten op te leveren voor de destructie van verschillende PFAS (PFOA, PFOS en PFHxS) bij temperaturen van  $>900^{\circ}\text{C}$ , waar PFAS na behandeling onder de detectielimiet viel en HF als restproduct (31% van totale fluoride gedetecteerd in emissie) werd gevormd (Hofman et al., 2022).

Uit het onderzoek van Duchesne et al. (2020), uitgevoerd op PFAS-houdende grond, werd aangetoond dat smoldering de C4-C9-verbindingen kan afbreken tot C2- en C3-ketenlengtes. De productie van gefluoreerde verbindingen met een korte keten werd waargenomen bij temperaturen onder de  $900^{\circ}\text{C}$ , en dus ondervindt PFAS waarschijnlijk afbraakprocessen in dit voorverwarmgebied. Toch kunnen deze resultaten de hypothese ondersteunen dat het grootste deel van de oorspronkelijke PFAS in het poreuze mediamengsel tijdens het smeulen uit de grond wordt verwijderd en in de emissies vrijkomt in substantieel gewijzigde vormen met kleinere ketens.

Uit een onderzoek uit 2016 (Vidonish et al., 2016) werd een kostprijs weergegeven van 260-330 \$/ton.

Omdat smoldering geen externe energie gebruikt na ontsteking, zou een groot ex situ batch behandelingssysteem of een kleiner continue zuiveringsreactor een duurzame en economische manier kunnen zijn om de aanwezige PFAS in grote volumes te vernietigen die aanwezig is in grond of verbruikt GAC (Duchesne et al., 2020).

### **Emissiepunten lucht**

Ook bij deze techniek kunnen er nog bij-/restproducten worden verwacht (Hofman, 2021; Major, 2021). Aangezien tijdens het transformeren van PFAS in grond en GAC naar HF-emissies een succes is, wordt erkend dat HF zorgvuldig moet worden beheerd. Er zijn echter tal van nageschakelde behandelingen beschikbaar voor het verwijderen HF uit verbrandingsovenemissies. Deze methoden zouden geïmplementeerd moeten worden naast de standaard emissiebehandeling gebruikt in commerciële smoldering systemen (Duchesne et al., 2020).

### **Mogelijke fluorvrije alternatieven**

Niet van toepassing.

## **7.5 PLASMABEHANDELING**

### **BESCHRIJVING**

Bij plasmabehandelingstechnologie wordt er gebruik gemaakt van een plasma om de PFAS componenten af te breken. Een plasma is een hoogenergetische toestand van een gas. Deze toestand komt tot stand door de toevoeging van thermische of elektrische energie waarbij een mix ontstaat van ionen, hoogenergetische vrije elektronen, fotonen en radicalen. Deze hoogenergetische speciën zijn in staat om PFAS af te breken.

Eén van de plasmasoorten die gebruikt kan worden om PFAS te vernietigen is niet-thermisch plasma. Dit plasma is gekenmerkt door de afwezigheid van een thermodynamisch evenwicht, in deze situatie hebben de elektronen een hoger energieniveau dan de rest van de gasfase. Concreet betekent dit dat de elektronen zich op zeer hoge temperatuur ( $>10\ 000\ \text{K}$ ,  $> 10\ \text{eV}$ ) bevinden, terwijl de overige bulk gasmoleculen zich op lage temperatuur bevinden dicht bij kamertemperatuur (Palma et al., 2022). Hierdoor kan het plasma behouden worden op lagere drukken met een lager energieverbruik als gevolg. Het plasma wordt gecreëerd door de elektrische ontlading tussen een twee elektrodes waarover een hoog potentiaalverschil wordt aangelegd. Dit zorgt voor de productie van hoogreactieve reductieve en oxidatieve species zoals bijvoorbeeld hydroxyl-, zuurstof-, en waterstofradicalen, ozon, waterstofperoxide, vrije elektronen, geëxciteerde elektronen, ionen en fotonen. Dit zijn de hoofdzakelijke speciën die zorgen voor de afbraak van pollutanten. De manier waarop de ontlading gecreëerd wordt en welke reactieve species gecreëerd wordt is afhankelijk van type reactor en opstelling. (Leung et al., 2022)

Het gebruik van niet-thermisch plasma is gekend voor verwijdering van PFAS uit waterige afvalstromen. (Stratton et al., 2017) Zelfs het zeer stabiele  $CF_4$  kan volledig afgebroken worden door plasma. Energie-efficiëntie voor de afbraak van  $CF_4$  kan verhoogd worden door gebruik van katalysator.  $\gamma-Al_2O_3$  is een simpele maar performante katalysator. De katalysator verhoogt  $CF_4$ -conversie ook bij sterk verlaagd plasma potentiaal. (Pan et al., 2019)

Niet-thermisch plasma wordt ook onderzocht voor de verwijdering van PFAS uit afgassen. Op het moment van schrijven zijn er in Vlaanderen testen lopende (input lid BC, 2023).

#### TOEPASBAARHEID

Een plasmareactor is geschikt voor behandeling van koude gasstromen. Daarnaast kan plasma gasstromen van  $> 300\text{ }^\circ\text{C}$  verwerken. Dergelijke verhoogde temperatuur zal de afbraak van  $CF_4$  in de hand werken als er een  $Al_2O_3$  katalysator gebruikt wordt (Pan et al., 2019). Verder is plasma niet gelimiteerd door de aanwezigheid van stofpartikels, tenzij deze zeer goed geleidend zijn. Ook de PFAS op deze partikels zullen afgebroken worden.

Niet-thermische plasmareactoren kunnen gemakkelijk ingebouwd worden in constante gasstromen waarin PFAS aanwezig zijn. Plasma units kunnen ook als mobiele eenheid ingezet worden, bv. waar een tijdelijke emissie van PFAS verwacht wordt.

#### MILIEUVOORDEEL

Niet-thermisch plasma kan zeer algemeen ingezet worden voor de verwijdering van pollutanten. Zo wordt niet alleen PFAS verwijderd uit gasstromen maar ook VOS (Qu et al., 2021), NO (dat geoxideerd wordt naar  $NO_2$  (Paulauskas et al., 2019)) en  $H_2S$  (Zhu et al., 2018).

De degradatie van PFAS via niet-thermisch plasma vereist enkel elektrische energie, voor het behoud van het niet-thermisch plasma in de reactor. Het energieverbruik is sterk afhankelijk van de opstelling en uitvoering van de techniek. Zo kan gebruik van katalysatoren en optimalisatie van reactieparameters dit energieverbruik sterk doen dalen. Bijkomend onderzoek is noodzakelijk om de totale energievraag bij volledige mineralisatie van PFAS vast te stellen, wat sterk afhankelijk zal zijn van de specifieke gasstroom. Zoals bij andere afbraaktechnieken, is er een risico op vorming van (ultra)korte ketens en/of F-gassen bij onvolledige afbraak/mineralisatie.

Er is geen bijkomende toevoeging van grondstoffen/reactiegassen vereist omdat de benodigde hoog reactieve speciën gevormd worden vanuit de gasstroom zelf in combinatie met het plasma. Deze reactieve speciën hebben een korte levensduur en worden niet uitgestoten..

De mineralisatie van PFAS zorgt voor de vorming van HF waarvoor, afhankelijk van de HF-concentratie (en dus van de oorspronkelijke PFAS-concentratie), mogelijk een afgasbehandeling noodzakelijk is, zoals een scrubber met NaOH, CaOH om deze zure afgassen te neutraliseren. (Palma et al., 2022)

Aangezien de pollutanten afgebroken worden is er geen afwenteling van deze pollutanten naar een ander milieucompartiment. Er is ook geen transport of verwerking vereist van verbruiksgoederen.

#### FINANCIËLE ASPECTEN

Op het moment van schrijven zijn slechts beperkte gegevens beschikbaar over de financiële aspecten. Dankzij het destructieve karakter van plasma is er geen transport van ongeconcentreerde afvalstromen vereist, deze kost wordt uitgespaard. Bijkomend kan de investering in plasma verwijderingstechniek ook dienen om VOC, NO en  $H_2S$  te verwijderen uit andere of dezelfde gasstroom.

## LITERATUURLIJST

Ahrens, L., Shoeib, M., Harner, T., Lee, S.C., Guo, R., Reiner, E.J. (2011). Wastewater Treatment Plant and Landfills as Sources of Polyfluoroalkyl Compounds to the Atmosphere. *Environmental Science & Technology*. DOI: 10.1021/es1036173

Ateia, M., Maroli, A., Tharayil, N. & Karanfil, T. (2019). The overlooked short- and ultrashort-chain poly- and perfluorinated substances: A review. *Chemosphere*, 220, 866-882. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.12.186

Baghirzade, B.S., Zhang, Y., Reuther, J. F., Saleh, N. B., Venkatesan, A. K., & Apul, O. G. (2021). Thermal Regeneration of Spent Granular Activated Carbon Presents an Opportunity to Break the Forever PFAS Cycle. *Environmental Science & Technology*, 55(9), 5608–5619. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c08224>

Bakker, J., Bokkers, B., & Broekman, M. (2021). Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gasses. RIVM report 2021-0143. DOI: 10.21945/RIVM-2021-0143 <http://hdl.handle.net/10029/625409>

Bamdad, H., Papari, S., Moreside, E., & Berruti, F. (2022). High-Temperature Pyrolysis for Elimination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Biosolids. *Processes*, 10(11), 2187. <https://doi.org/10.3390/pr10112187>

Behringer, D., Heydel, F., Gschrey, B., Osterheld, S., Schwarz, W., Warncke, W., Nödler, K., Henne, S., Reimann, S., Blepp, M., Jörß, W., Liu, R., Ludig, S., Rüdener, I., Gartiser, S. (2021) Persistent degradation products of halogenated refrigerants and blowing agents in the environment: type, environmental concentrations, and fate with particular regard to new halogenated substitutes with low global warming potential. German Environment Agency

Berg, C., Crone, B., Gullett, B., ... & Whitehill, A. (2021). Developing innovative treatment technologies for PFAS-containing wastes. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 72, 540-555. DOI: 10.1080/10962247.2021.2000903

Bil, W., Zeilmaker, M.J., Bokkers, B.G.H. (2022) Internal Relative Potency Factors for the Risk Assessment of Mixtures of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Human Biomonitoring. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 130, No. 7. <https://doi.org/10.1289/EHP10009>

Bil, W., Erlich, V., Chen, G., Vandebriel, R., Zeilmaker, M., Luijten, M., Uhl, M., Marx-Stoelting, P., Halldorsson, T.I., 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, 107727. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107727>

Björnsdotter, M.K., Yeung, L.W.Y., Kärrman, A., Jogsten, I.E. (2019). Ultra-Short-Chain Perfluoroalkyl Acids Including Trifluoromethane Sulfonic Acid in Water Connected to Known and Suspected Point Sources in Sweden. *Environmental Science & Technology*. DOI: 10.1021/acs.est.9b02211

Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., de Voogt, P., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A., & van Leeuwen, S.P.J. (2011). Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7, 513-541. DOI: 10.1002/ieam.258

Brinkmann, T., Both, R., Scalet, B.M., Roudier, S., Sancho, L.D. (2018) JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations. Joint Research Centre Cousins, I.T., Johansson, J.H.,

Salter, M.E., Sha, B., Scheringer, M. (2020). Are Fluoropolymers Really of Low Concern for Human and Environmental Health and Separate from Other PFAS? *Environmental Science & Technology*. DOI: 10.1021/acs.est.2c02765

Chemviron website. <https://www.chemviron.eu/applications/municipal-water-treatment/reactivation-pfas/>

Coyle, C., Ghosh, R., Leeson, A., Thompson, T. (2021). US Department of Defense–Funded Research on Treatment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance–Laden Materials. *Environmental Toxicology and Chemistry*. DOI: 10.1002/etc.4836

D'Ambro, E. L., Pye, H. O. T., Bash, J. O., Bowyer, J., Allen, C., Efstathiou, C., Gilliam, R. C., Reynolds, L., Talgo, K., Murphy, B. N. (2021). Characterizing the Air Emissions, Transport, and Deposition of Per- and Polyfluoroalkyl Substances from a Fluoropolymer Manufacturing Facility. *Environ. Sci. Technol.* 2021, 55, 2, 862–870. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06580>

Derden, A., Vanassche, S., Huybrechts, D. (2010). Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor de textielindustrie - Beperking van emissies van een aantal micropolluenten via het afvalwater: Broomhoudende vlamvertragers (BVV), antimoontrioxide (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), perfluortensiden (PFT), nonylfenolen (NFn), nonylfenoethoxylaten (NFE) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs). [https://emis.vito.be/sites/emis/files/pages/migrated//BBT\\_Textiel\\_micropolluenten\\_afvalwater\\_versi\\_eAcademiaPress.pdf](https://emis.vito.be/sites/emis/files/pages/migrated//BBT_Textiel_micropolluenten_afvalwater_versi_eAcademiaPress.pdf)

Ding, Y., Zhang, W., Yu, L., & Lu, K. (2019). The accuracy and efficiency of GA and PSO optimization schemes on estimating reaction kinetic parameters of biomass pyrolysis. *Energy*, 176, 582–588. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.030>

DiStefano, R., Feliciano, T., Mimna, R.A., Reddin, A.M., & Matthis, J. (2022). Thermal destruction of PFAS during full-scale reactivation of PFAS-laden granular activated carbon. *Remediation*. <https://doi.org/10.1002/rem.21735> Dixit, F., Dutta, R., Barbeau, B., Berube, P., & Mohseni, M. (2021). PFAS removal by ion exchange resins: A review. *Chemosphere*, 272, 129777. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.129777

Duchesne, A.L., J.K. Brown, D.J. Patch, D. Major, K.P. Weber, and J.I. Gerhard, 2020. Remediation of PFAS-Contaminated Soil and Granular Activated Carbon by Smoldering Combustion. *Environmental Science and Technology*. DOI: 10.1021/acs.est.0c03058

ECHA. (2022a). REACH begrijpen. Geraadpleegd op 20/07/2022. <https://echa.europa.eu/nl/regulations/reach/understanding-reach>

ECHA. (2022b). Perfluoroalkyl bevattende chemische stoffen (PFAS). Geraadpleegd op 18/05/2022. <https://echa.europa.eu/nl/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>

EMIS. (2022a). Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water (WAC). Geraadpleegd op 20/07/2022. <https://emis.vito.be/nl/node/272>

EMIS. (2022b). Referentielaboratorium milieuanalyses en -metingen. Geraadpleegd op 20/07/2022. <https://emis.vito.be/nl/node/24964>

EPA. (2020). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): Incineration to Manage PFAS Waste Streams. Geraadpleegd op 10/11/2022. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-09/documents/technical\\_brief\\_pfas\\_incineration\\_ioaa\\_approved\\_final\\_july\\_2019.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-09/documents/technical_brief_pfas_incineration_ioaa_approved_final_july_2019.pdf)



EPA. (2020). Thermal Treatment of PFAS in Environmental Media: A review of the state-of-the-science. [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_Report.cfm?dirEntryId=348571&Lab=CE SER](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?dirEntryId=348571&Lab=CE SER)

Gagliano, E., Sgroi, M., Falciglia, P.P., Vagliasindi, F.G.A., & Roccaro, P. (2020). Removal of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) from water by adsorption: Role of PFAS chainlength, effect of organic matter and challenges in adsorbent regeneration. *Water Research*, 171, 115381. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115381.

Garg, S., Wang, J., Kumar, P., Mishra, V., Arafat, H., Sharma, R.S., & Dumée, L.F. (2021). Remediation of water from per-/poly-fluoroalkyl substances (PFAS) – Challenges and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 9, 105784. DOI: 10.1016/j.jece.2021.105784

Giardina, M., en Buffa, P. (2018). A new approach for modeling dry deposition velocity of particles. *Atmospheric Environment*. Volume 180, May 2018, Pages 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.02.038>

Giesy J.P., Kannan, K. (2001). Global Distribution of Perfluorooctane Sulfonate in Wildlife. *Environmental Science & Technology*. DOI: 10.1021/es001834k

Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I.T., DeWitt, J.C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C.A., Trier, X., & Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22, 2345-2373. DOI: 10.1039/d0em00291g

Hamid, H. and Li, L. (2016). Role of wastewater treatment plant (WWTP) in environmental cycling of poly- and perfluoroalkyl (PFAS) compounds. *ECOCYCLES*, 2 (2). pp. 43-53. ISSN 2416-2140

Hammel, E., Webster, T.F., Gurney, R., Heiger-Bernays, W. (2022). Implications of PFAS definitions using fluorinated pharmaceuticals. *iScience*. DOI: 10.1016/j.isci.2022.104020

Henry, B. J., Carlin, J. P., Hammerschmidt, J. A., Buck, R. C., Buxton, L. W., Fiedler, H., Seed, J., & Hernandez, O. (2018). A critical review of the application of polymer of low concern and regulatory criteria to fluoropolymers. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 14(3), 316–334. <https://doi.org/10.1002/ieam.4035>

Hofman, J., Berghmans, P. (2021). Grondreiniging PFAS: Beknopte literatuurstudie en marktbevraging grondreiniging. Rapport OVAM. Geraadpleegd op 24/05/2022. <https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1642156808/OVAM - Grondreiniging PFAS ufluxbo.pdf>

Hofman, J., Berghmans, P., Otten, G. (2022). Literatuurstudie PFAS: Bronnen, Meetmethoden & Thermische Destructie. VITO - studie in opdracht van Departement Omgeving. [Literature review thermal PFAS destruction \(vlaanderen.be\)](https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1642156808/OVAM - Grondreiniging PFAS ufluxbo.pdf)

Hofman, J., & Berghmans, P. (2021). Literatuurstudie verbranding PFAS. VITO - studie in opdracht van OVAM. <https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1647439447/PFAS - Tweede rapport - Literatuurstudie thermische destructie j9u24w.pdf>

Holland, R., Khan, M.A.H., Driscoll, I., Chhantyal-Pun, R., Derwent, R.G., Taatjes, C.A., Orr-Ewing, A.J., Percival, C.J., Shallcross, D.E. (2021). Investigation of the Production of Trifluoroacetic Acid from Two Halocarbons, HFC-134a and HFO-1234yf and Its Fates Using a Global Three-Dimensional Chemical Transport Model. *ACS Earth Space Chem.* 2021, 5, 4, 849–857. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.0c00355>

- Horst, J., McDonough, J., Ross, I., & Houtz, E. (2020). Understanding and Managing the Potential By-Products of PFAS Destruction. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 40(2), 17–27. <https://doi.org/10.1111/gwmr.12372>
- Huber, S., Moe, M., Schmidbauer, J., Hansen, G., & Herzke, D. (2009). Emission from Incineration of Fluoropolymer materials: A literature survey. *Environmental Science*. [https://www.semanticscholar.org/paper/Emission-from-Incineration-of-Fluoropolymer-A-Huber-Moe/bc4a6e446ba13ca11e4df0f8cb3b2b1302653cd6?utm\\_source=direct\\_linklery](https://www.semanticscholar.org/paper/Emission-from-Incineration-of-Fluoropolymer-A-Huber-Moe/bc4a6e446ba13ca11e4df0f8cb3b2b1302653cd6?utm_source=direct_linklery), R. (2019). Treatment technologies for PFAS site management. NAVFAC. Geraadpleegd op 24/05/2022. [https://clu-in.org/conf/tio/FRTRPresents5\\_062019/slides/2Slide\\_Presentation\\_for\\_Ramona\\_Iery,\\_Ph.D.,\\_Naval\\_Facilities\\_Engineering\\_and\\_Expeditionary\\_Warfare\\_Center.pdf](https://clu-in.org/conf/tio/FRTRPresents5_062019/slides/2Slide_Presentation_for_Ramona_Iery,_Ph.D.,_Naval_Facilities_Engineering_and_Expeditionary_Warfare_Center.pdf)
- ITRC (2020). PFAS Technical and Regulatory Guidance Document and Fact Sheets PFAS-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, PFAS Team. Geraadpleegd op 20/07/2022. <https://pfas-1.itrcweb.org/>
- Janssen, P. en Affourtit, F. (2022). RIVM-VSP Advies 14434A02 – Drinkwaterrichtwaarde voor trifluorazijnzuur. Online beschikbaar via
- Kissa, E. (2001). Fluorinated Surfactants and Repellents, 2nd Ed. Dekker, New York. Major, D., 2019. Demonstration of Smoldering Combustion Treatment of PFAS-impacted Investigation-Derived Waste. SERDP Project ER 18-1593. Alexandria, VA: Strategic Environmental Research and Development Program. <https://www.serdp-estcp.org/ProgramAreas/Environmental-Restoration/ER18-1593>
- Kjølholt, J., Jensen, A.A., Warming, M. (2015). Short-chain Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). Gepubliceerd door Deens Environmental Protection Agency. Online beschikbaar via <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/05/978-87-93352-15-5.pdf>
- Lassen, C., Astrup Jensen, A., Warming, M. (2015). Alternatives to perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in textiles. Survey of chemical substances in consumer products No. 137, 2015. [Rapport \(mst.dk\)](https://www.mst.dk/rapport/137)
- Lay, D., Keyte, I., Tiscione, S., Kreissig, J. (2023). Check Your Tech - A guide to PFAS in electronics. Online beschikbaar via [https://chemsec.org/app/uploads/2023/04/Check-your-Tech\\_230420.pdf](https://chemsec.org/app/uploads/2023/04/Check-your-Tech_230420.pdf)
- Lenka, S.P., Kah, M., & Padhye, L.P. (2021). A review of the occurrence, transformation, and removal of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) in wastewater treatment plants. *Water Research*, 199, 117187. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117187
- Leonello, D., Fendrich, M.A., Parrino, F., Patel, N., Orlandi, M., & Miotello, A. (2021). Light-induced advanced oxidation processes as PFAS remediation methods: A review. *Applied Sciences*, 11, 8458. DOI: 10.3390/app11188458
- Leung, S. C. E.; Shukla, P.; Chen, D.; Eftekhari, E.; An, H.; Zare, F.; Ghasemi, N.; Zhang, D.; Nguyen, N.-T.; Li, Q. (2022). Emerging Technologies for PFOS/PFOA Degradation and Removal: A Review. *Science of The Total Environment* 2022, 827, 153669. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153669>
- Li, J., Pinkard, B.R., Wang, S., Novosselov, I.V. (2022). Review: Hydrothermal treatment of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Chemosphere*. Volume 307, Part 2, November 2022, 135888 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135888>
- Liu, Y., Li, T., Bao, J., Hu, X., Zhao, X., Shao, L., Li, C., & Lu, M. (2022). A review of treatment techniques for short-chain perfluoroalkyl substances. *Applied Sciences*, 12, 1941. DOI: 10.3390/app12041941

Lohmann, R., Cousins, I.T., Dewitt, J.C., Glüge, J., Goldenman, G., Herzke, D., Lindstrom, A.B., Miller, M.F., Ng, C.A., Patton, S., Scheringer, M., Trier, X., Wang, Z. (2020). Environ. Sci. Technol. 2020, 54, 20, 12820–12828. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03244>

Longendyke, G. K., Katel, S., & Wang, Y. (2022). PFAS fate and destruction mechanisms during thermal treatment: a comprehensive review. Environmental Science: Processes & Impacts, 24(2), 196–208. <https://doi.org/10.1039/d1em00465d>

Meegoda, J.N., Kewalramani, J.A., Li, B., & Marsh, R.W. (2020). A Review of the Applications, Environmental Release, and Remediation Technologies of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. Environmental Reserach and Public Health, 17, 8117. DOI: 10.3390/ijerph17218117

Meten en monitoring. (z.d.). Kenniscentrum InfoMil. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/digitale-ner/meten-monitoring/>

Neale, R.E., Barnes, P.W., Robson, T.M. et al. (2021). Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. Photochem Photobiol Sci 20, 1–67. <https://doi.org/10.1007/s43630-020-00001-x>

Neuwald, I.J., Hübner, D., Wiegand, H.L., Valkov, V., Borchers, U., Nödler, K., Scheurer, M., Hale, S.E., Arp, H.P.H., Zahn, D. (2022). Ultra-Short-Chain PFASs in the Sources of German Drinking Water: Prevalent, Overlooked, Difficult to Remove, and Unregulated. Environmental Science & Technology. DOI: 10.1021/acs.est.1c07949

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2018). Toward a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): report no.14/20 87 Summery report on updating the OECD 2007 list of per- and polyfluoroalkylsubstances (PFASs), Series on Risk Management No. 39

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance, OECD Series on Risk Management, No. 61, OECD Publishing, Paris.

OECD (2020), PFASs and Alternatives in Food Packaging (Paper and Paperboard) Report on the Commercial Availability and Current Uses, OECD Series on Risk Management, No. 58, Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD.

Palazzolo, S., Caligiuri, I., Sfriso, A.A., Mauceri, M., Rotondo, R., Campagnol, D., Canzonieri, V., & Rizzolio, F. (2022). Early Warnings by Liver Organoids on Short- and Long-Chain PFAS Toxicity. Toxics 2022, 10, 91. DOI: 10.3390/toxics10020091

Palma, D., Richard, C., Minella, M. (2022). State of the art and perspectives about non-thermal plasma applications for the removal of PFAS in water. Chemical Engineering Journal Advances, Volume 10, 15 May 2022, 100253. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100253>

Pan, K. L.; Chen, Y. S.; Chang, M. B. (2019). Effective Removal of CF4 by Combining Nonthermal Plasma with  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Plasma Chem Plasma Process 2019, 39 (4), 877–896. <https://doi.org/10.1007/s11090-019-09990-9>

Pancras, T., van Bentum, E., & Slenders, H. (2018). Poly- en PerFluor Alkyl stoffen (PFAS) - Kennisdoucment over stofeigenschappen, gebruik, toxicologie, onderzoek en sanering van PFAS in grond en grondwater. Expertisecentrum PFAS. DDT219-1/18-009.764

- Pancras, T., Slenders, H. & Vredenburg, L. (2021). PFAS in products and waste streams in The Netherlands. Arcadis. Geraadpleegd op 24/10/2022, van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/05/28/pfas-in-products-and-waste-streams-in-the-netherlands>
- Paulauskas, R.; Jögi, I.; Striūgas, N.; Martuzevičius, D.; Erme, K.; Raud, J.; Tichonovas, M. (2019). Application of Non-Thermal Plasma for NO<sub>x</sub> Reduction in the Flue Gases. *Energies* 2019, 12 (20), 3955. <https://doi.org/10.3390/en12203955>
- Pavankumar Challa Sasi, Ali Alinezhad, Bin Yao, Alena Kubátová, Svetlana A. Golovko, Mikhail Y. Golovko, Feng Xiao. (2021). Effect of granular activated carbon and other porous materials on thermal decomposition of per- and polyfluoroalkyl substances: Mechanisms and implications for water purification, *Water Research*, Volume 200, 117271, ISSN 0043-1354. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117271>.
- Peters, J., Berghmans, P., Jacobs, G., Voorpoels, S., Spruyt, M., Bertels, D., De Bouwere, K., Hofman, J., Hufkens, N., Poelmans, E., Van Deun, M. (2022). Studie naar PFAS in lucht en deposities in de omgeving van 3M en Zwijndrecht. [VITO VMM 2022 eindrapport PFAS zwevendstof depositie jul21-jan22 TW.pdf](https://www.vito.be/sites/default/files/2022-07/VITO_VMM_2022_eindrapport_PFAS_zwevendstof_depositie_jul21-jan22_TW.pdf)
- Porter M.E. (1985). *Competitive advantage - creating and sustaining superior performance*, uitgegeven door The Free Press.
- Poulsen, P.B., Gram, L.K., Jensen, A.A., Rasmussen, A.A., Ravn, C., Møller, P., Jørgensen, C.R., Løkkegaard, K. (2020). Hard chrome metal plating – use of PFOS as mist suppressant and its alternatives. Swedish Chemicals Agency, Keml, H20-05692. Geraadpleegd op 19/07/2022. [https://www.researchgate.net/publication/268350210 Substitution of PFOS for use in non-decorative hard chrome plating](https://www.researchgate.net/publication/268350210_Substitution_of_PFOS_for_use_in_non-decorative_hard_chrome_plating)
- Qu, M.; Cheng, Z.; Sun, Z.; Chen, D.; Yu, J.; Chen, J. (2021). Non-Thermal Plasma Coupled with Catalysis for VOCs Abatement: A Review. *Process Safety and Environmental Protection* 2021, 153, 139–158. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.028>
- Riedel, T., Wallace, A. G., Shields, E. P., Jeffrey, Ryan, V., Lee, C. W., & Linak, W. P. (2021). Low temperature thermal treatment of gas-phase fluorotelomer alcohols by calcium oxide-Web of Science Core Collection. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000635594700073>
- Riegel, M., Egner, S., & Sacher, F. (2020). Review of water treatment systems for PFAS removal. Concawe, report no. 14/20.
- RIVM. (2020). Werkwijze stofadviezen ZZS in de vergunningverlening. Versie 2.0. [Werkwijze NL Stofadviezen \(rivm.nl\)](https://www.rivm.nl/werkwijze-stofadviezen)
- Roesch, P., Vogel, C., Simon, F.-G. (2020). Reductive Defluorination and Mechanochemical Decomposition of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs): From Present Knowledge to Future Remediation Concepts. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17(19), 7242; <https://doi.org/10.3390/ijerph17197242>
- Schmidt, S.. (2022). Truth in the Serum? Estimating PFAS Relative Potency for Human Risk Assessment. *Environ Health Perspect.* 2022 Sep; 130(9): 094001. <https://doi.org/10.1289/EHP11799>
- Shimizu, M.S., Mott, R., Potter, A., Zhou, J., Baumann, K., Surratt, J.D., Turpin, B., Brooks Avery, G., Harfmann, J., Kieber, R.J., Mead, R.N., Skrabal, S.A., Willey, J.D. (2021). Atmospheric Deposition and Annual Flux of Legacy Perfluoroalkyl Substances and Replacement Perfluoroalkyl Ether Carboxylic Acids in Wilmington, NC, USA. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2021, 8, 5, 366–372. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00251>

Shoeib, M., Schuster, J., Rauert, C., Su, K., Smyth, S., Harner, T. (2016). Emission of poly and perfluoroalkyl substances, UV-filters and siloxanes to air from wastewater treatment plants. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.043>

Soumillion, A., Oosterlinck, J., Boersma, J., Van Acker, K. (2022). Beoordelingskader 'stabiele emissies' – Rapport voor Departement Omgeving - Afdelingen Handhaving en GOP. <https://archieff.onderzoek.omgeving.vlaanderen.be/Onderzoek-3180715>

Stratton, G.; Dai, F.; Bellona, C.; Holsen, T.; Dickenson, E.; Thagard, S. (2017). Plasma-Based Water Treatment: Efficient Transformation of Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in Prepared Solutions and Contaminated Groundwater. *Environmental Science & Technology* 2017, 51. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04215>

Thoma, E. D., Wright, R. S., George, I., Krause, M., Presezzi, D., Villa, V., Preston, W., Deshmukh, P., Kauppi, P., & Zemek, P. G. (2022). Pyrolysis processing of PFAS-impacted biosolids, a pilot study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 72(4), 309–318. <https://doi.org/10.1080/10962247.2021.2009935>

UNEP-POPs. (2017). Persistent organic pollutants (POPs) are organic chemical substances that are recognized as a serious, global threat to human health and to ecosystems. Geraadpleegd op 20/07/2022. <https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/persistent-organic-pollutants-pops>

UNEP - Conference of the Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal. (2019). General technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants. <https://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW.13-6-Add.5-Rev.1.English.pdf>

Upadhyay, N., Sun, Q., Allen, J.O., Westerhoff, P., Herckes, P. (2013). Characterization of aerosol emissions from wastewater aeration basins. *Journal of the Air & Waste Management Association*. <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.726693>

Vandecasteele, C., & Block, C. (2006). Milieuproblemen en -technologie. Leuven: Uitgeverij Lannoo Campus.

Vidonish, J. E., Zygourakis, K., Masiello, C. A., Sabadell, G., & Alvarez, P. J. (2016). Thermal Treatment of Hydrocarbon-Impacted Soils: A Review of Technology Innovation for Sustainable Remediation. *Engineering*, 2(4), 426–437. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2016.04.005>

Vrancken. (2021). Aanpak PFAS-problematiek. Eerste tussentijdse rapportering door de opdrachthouder aangesteld door de Vlaamse Regering. Vlaamse overheid. D/2021/3241/255

Vrancken. (2022). Tweede tussentijds rapport van de opdrachthouder voor de aanpak van de PFAS-problematiek aangesteld door de Vlaamse Regering. Vlaamse overheid. D/2022/3241/100

Wang, F., Xingwen, L., Li, X., Shih, K. (2015) Effectiveness and Mechanisms of Defluorination of Perfluorinated Alkyl Substances by Calcium Compounds during Waste Thermal Treatment. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 9, 5672–5680. <https://doi.org/10.1021/es506234b>

Wang, M., Tan, Q., Liu, L., & Li, J. (2019). A Facile, Environmentally Friendly, and Low-Temperature Approach for Decomposition of Polyvinylidene Fluoride from the Cathode Electrode of Spent Lithium-ion Batteries [research-article]. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b01546>



- Watanabe, N., Takata, M., Takemine, S., & Yamamoto, K. (2015). Thermal mineralization behavior of PFOA, PFHxA, and PFOS during reactivation of granular activated carbon (GAC) in nitrogen atmosphere [OriginalPaper]. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 7200-7205. <https://doi.org/doi:10.1007/s11356-015-5353-2>
- Wu, B., Hao, S., Choi, Y., Higgins, C.P., Deeb, R., Strathmann, T.J. (2019). Rapid Destruction and Defluorination of Perfluorooctanesulfonate by Alkaline Hydrothermal Reaction. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2019, 6, 10, 630–636. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.9b00506>
- Winchell, L. J., Ross, J. J., Wells, M. J. M., Fonoll, X., Norton, J. W., & Bell, K. Y. (2020). Per- and polyfluoroalkyl substances thermal destruction at water resource recovery facilities: A state of the science review. *Water Environment Research*, 93(6), 826–843. <https://doi.org/10.1002/wer.1483>
- Winchell, L. J., Ross, J. J., Brose, D. A., Pluth, T. B., Fonoll, X., Norton, J. W., & Bell, K. Y. (2022). Pyrolysis and gasification at water resource recovery facilities: Status of the industry. *Water Environment Research*, 94(3). <https://doi.org/10.1002/wer.10701>
- Weinberg, I., Dreyer, A., & Ebinghaus, R. (2011). Waste water treatment plants as sources of polyfluorinated compounds, polybrominated diphenyl ethers and musk fragrances to ambient air. *Environmental Pollution*, 159(1), 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.09.023>
- Zeilmaker M.J., Fragki, S., Verbruggen, E.M.J., Bokkers, B.G.H., Lijzen, J.P.A. (2018). Mixture exposure to PFAS: A Relative Potency Factor approach - RIVM Report 2018-0070. DOI 10.21945/RIVM-2018-0070
- Zhang, L., Gong, S., Padro, J., Barrie, L. (2000). A size-segregated particle dry deposition scheme for an atmospheric aerosol module. *Atmospheric Environment* 35 (2001) 549}560.
- Zhu, T., Wang, R., Bian, W., Jing, W. (2018). Advanced Oxidation Technology for H<sub>2</sub>S Odor Gas Using Non-Thermal Plasma. *Plasma Sci. Technol.* 2018, 20 (5), 054007. <https://doi.org/10.1088/2058-6272/aaae62>



## BEGRIPPENLIJST

### **afvalwater**

verontreinigd water waarvan men zich ontdoet, zich moet ontdoen of de intentie heeft zich van te ontdoen, met uitzondering van hemelwater dat niet in aanraking is geweest met verontreinigende stoffen; amfotere detergenten die kationisch reageren in zure oplossingen en anionisch in basische

### **(volledige) destructie/afbraak**

Een (volledige) omzetting van PFAS tot stoffen andere dan PFAS. Dit kunnen anorganische stoffen zijn, zie ook het begrip (volledig) mineraliseren, of organofluorcomponenten andere dan PFAS.

Opmerking: Dit is de definitie van het begrip binnen de context van deze BBT-studie. Dit doet géén uitspraak over de juridische interpretatie van vernietiging in de context van de POP-Verordening (zie 2.4.3.2)

### **(volledig) mineraliseren/defluoreren**

Een (volledige) omzetting van PFAS tot anorganische componenten, in het bijzonder HF (en/of fluorzouten) en CO<sub>2</sub> en eventueel, afhankelijk van de samenstelling van de PFAS moleculen, H<sub>2</sub>O en/of andere zouten, anorganische gassen, ... Met volledig wordt in deze BBT-studie bedoeld dat er geen PFAS meer gedetecteerd kunnen worden.

### **Onvolledige destructie/afbraak**

Een onvolledige omzetting van PFAS componenten. Dit kan zowel betekenen dat een gedeelte van de oorspronkelijke aanwezige component(en) nog steeds aanwezig is na de reactie/het proces, en/of dat de oorspronkelijk aanwezige componenten zijn omgezet tot andere (veelal kleinere) PFAS componenten, eerder dan dat ze volledig gemineraliseerd/gedefluoreerd zijn.

Opmerking: Dit is de definitie van het begrip binnen de context van deze BBT-studie. Dit doet géén uitspraak over de juridische interpretatie van vernietiging in de context van de POP-Verordening (zie 2.4.3.2)

### **(thermische) reactivatie van actief kool**

Bij thermische reactivatie van het actief kool worden via een pyrolyse proces, dus bij lage zuurstofconcentratie, de PFAS moleculen van het actief kool gedesorbeerd en afgebroken bij hoge temperatuur (900°C à 950°C tot 1200°C) met de vorming van HF, CO<sub>2</sub>, CO, CaF<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. Ook bij dit proces zijn er naast temperatuur nog andere factoren zoals verblijftijd, turbulentie en chemische omstandigheden die de afbraak van PFAS beïnvloeden. Reactivatie is zeer verschillend van regeneratie, waarbij met stoom of heet stikstofgas de organische componenten worden verwijderd van het actief kool. Doordat reactivatie plaatsvindt bij veel hogere temperaturen, is er een impact op de thermische afbraak. De begrippen worden echter door elkaar gebruikt, en soms is er sprake van 'thermal regeneration'.

### **Zeer zorgwekkende stoffen (ZZS)**

Op het moment van schrijven is er nog geen eenduidige definitie van het begrip zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) in Vlaanderen.

In deze BBT-studie wordt ermee bedoeld

- minstens stoffen die voldoen aan de criteria in [artikel 57 van de REACH Verordening](#)
  - carcinogeen, mutageen of reprotoxisch categorie 1A of 1B;
  - PBT (persistent, bioaccumulerend en toxisch);
  - zPzB (zeer persistent zeer bioaccumulerend); of
  - hormoonontregelend of met PBT/zPzB eigenschappen met wetenschappelijke aanwijzingen even zorgwekkende gevolgen voor mens/milieu,

en

- andere (groepen van) stoffen die aanleiding geven tot evenveel bezorgdheid, zoals
  - de PMT (persistent mobiel en toxisch) en zPzM (zeer persistent zeer mobiel), hormoonontregelende klassen die recent werden toegevoegd aan CLP (zie 2.4.3.4), maar ook
  - de andere criteria die in de [Nederlandse \(PFAS\) ZS-lijsten](#) worden gehanteerd zijn te overwegen (namelijk EU gevaarsindeling, KRW, OSPAR, EU POP Verordening).

Het is aan te bevelen dit bij vertaling naar VLAREM/vergunningvoorwaarden verder af te stemmen op lopend studiewerk naar afbakening van (voor emissies relevante) ZS in Vlaanderen, zie 6.3.1.

**BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN DE BBT-STUDIE****KENNISCENTRUM VOOR BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN**

- Sander Vander Aa
- Annouck Lescauwaet
- Tim Goelen
- Greet Janssens

BBT-kenniscentrum  
p/a VITO  
Boeretang 200  
2400 MOL  
Tel. (014)33 58 68  
Fax. (014)32 11 85  
E-mail: [bbt@vito.be](mailto:bbt@vito.be)

**LEDEN BEGELEIDINGSCOMITÉ UIT ADMINISTRATIES/OVERHEIDSINSTELLINGEN**

- |                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| • Ann Spaerkeer       | Departement Omgeving - Handhaving |
| • Bart Bautmans       | Departement Zorg                  |
| • David Knight        | VMM                               |
| • Eric Van Gijsegheem | Departement Omgeving - Handhaving |
| • Jacob Mennes        | OVAM                              |
| • Vicky Demeyer       | Departement Omgeving - GOP        |

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de administraties en andere overheidsinstellingen in het begeleidingscomité voor deze studie.

**LEDEN BEGELEIDINGSCOMITÉ UIT BEDRIJFSWERELD/FEDERATIES/STUDIEBUREAUS**

- |                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| • Alain Konings        | BW2E – Belgian Waste-to-Energy |
| • An Maes              | Essenscia                      |
| • Andres Van Brecht    | BW2E - Belgian Waste-to-Energy |
| • Arnout Soumillion    | Witteveen + Bos                |
| • Bruno Arts           | TWZ                            |
| • Dirk Van Look        | RSK Group                      |
| • Eline Baert          | Agfa Gevaert                   |
| • Heidi Van Waes       | Agoria                         |
| • Jean-Jacques Biot    | Geocycle                       |
| • Jochen Aendenboom    | 3M                             |
| • Johan Craeye         | Desotec                        |
| • Katelijne Haspeslagh | Voka                           |
| • Kristof Bogaert      | Denuo                          |
| • Lennert Dockx        | Aquafin                        |
| • Veerle Fincken       | VOM                            |
| • Willem Callens       | Chemours Belgium               |
| • Wouter Deweirtdt     | Tectero                        |

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de bedrijven/sectoren/studiebureaus in het begeleidingscomité voor deze studie.

**EXTERNE LECTOREN**

- Annemie Houben Desotec
- Emma Tavernier 3M
- Erik Sweevers SARPI VEOLIA
- Frederick Thoma Lybover
- Gert Osselaer Lantis
- Johan Bonnier BW2E – Belgian Waste-to-Energy
- Johny Bultheel Argex
- Matthias Van den Bergh Renewi
- Saskia Vandenheede TWZ

Het BBT-rapport (of delen ervan) werd aan bovenstaande personen voorgelegd ter kritisch nazicht.

**INTERNE LECTOREN VITO**

- Gert Otten
- Jelle Hofman
- Katleen De Brouwere
- Patrick Berghmans

Het BBT-rapport (of delen ervan) werd aan bovenstaande personen voorgelegd ter kritisch nazicht.

**GECONTACTEERDE EXPERTS**

- Christopher Bryan 3M
- Joren Van Stappen 3M
- Kristof Verstraeten 3M
- Mike Parent 3M
- Dirk Weydts Centexbel
- Timothy Mosselmans Chemviron
- Karel Vincke d'Haene
- Mieke Neutens d'Haene
- Tine Cattoor essencia
- Lutgart Stals Exxon Mobil
- Bruno Eggermont Fedustria
- Kelly Vandersteen FOD Volksgezondheid
- Pieter Luys FOD Volksgezondheid
- Eric Waeyenbergh Geocycle/Holcim
- Marnix De Smet H2O Group
- Marc Bailli Indufed
- Nicolas Egri Indufed
- Bart Denturck JSR Micro
- Bart Vanherp JSR Micro
- Thomas Soin JSR Micro
- Koen Pollaris Kanigen
- Sven Langenaeken Kanigen
- Peter Braeckevelt Picanol
- Bart Franssens Shamrock Europe
- Christophe Schepers Shamrock Europe
- Hans Baillieul Sodecon
- Jolien Moerman Sweco Belgium

- Stefan Voorspoels VITO
- Kaat Touchant VITO

Bovenstaande personen werden buiten het begeleidingscomité gecontacteerd voor een 1-op-1 gesprek in het kader van informatieverzameling voor deze BBT-studie.

#### BEZOCHTE BEDRIJVEN TIJDENS HET UITVOEREN VAN DE STUDIE

- Chemours – Dordrecht (15/07/2022)  
Contactpersonen: An Lemaire & Ellen De Boeff
- 3M – Zwijndrecht (06/09/2022)  
Contactpersoon: Steven Corveleyn

Final draft

Final draft



**BIJLAGE 2: FINALE OPMERKINGEN**

Dit rapport komt overeen met wat het BBT-kenniscentrum op dit moment als de BBT en de daaraan gekoppelde aangewezen aanbevelingen beschouwt. De conclusies van de BBT-studie zijn mede het resultaat van overleg in het begeleidingscomité maar binden de leden van het begeleidingscomité niet.

Deze bijlage geeft de opmerkingen of afwijkende standpunten die leden van het begeleidingcomité en de stuurgroep namens hun organisatie formuleerden op het voorstel van eindrapport. Volgens de procedure die binnen het BBT-kenniscentrum van VITO gevolgd wordt voor het uitvoeren van BBT-studies, worden deze opmerkingen of afwijkende standpunten niet meer verwerkt in de tekst (tenzij het kleine tekstuele correcties betreft), maar opgenomen in deze bijlage. In de betrokken hoofdstukken wordt door middel van voetnoten verwezen naar deze bijlage.

Final draft

Final

**Vlaams BBT-kenniscentrum**  
VITO  
Boeretang 200  
B-2400 Mol  
bbt@vito.be

[emis.vito.be/bbt](https://emis.vito.be/bbt)

