

Verkenning en preselectie van PFAS-typegebieden voor humane biomonitoring

FREDERIK PRIEM, ANN COLLES, VEERLE VERHEYEN, ELLY DEN
HOND, LIESBETH BRUCKERS, EVA BONGAERTS, KATLEEN DE
BROUWERE

Eindrapport Juni 2025

Studie uitgevoerd door VITO, PIH en UHasselt in kader van de PartnerOrganisatie MilieuGezondheidszorg in opdracht van Departement Zorg.

Deze studie werd begeleid door een stuurgroep bestaande uit volgende actoren: VMM, OVAM, Departement Omgeving, Departement Zorg, Vlaamse ZS coördinator en Logo Waasland.

SAMENVATTING

Aanleiding en doelstelling van deze studie

De aanwezigheid van PFAS (per- en polyfluoralkylstoffen) in de leefomgeving is een belangrijk milieugezondheidskundig aandachtspunt. Verschillende gebieden in Vlaanderen kampen met PFAS-vervuiling in de leefomgeving, zoals blijkt uit uitgebreide monitoring van PFAS in bodem, grondwater, oppervlaktewater en lucht. Het gaat o.a. om gebieden rond industriële sites, zoals de 3M-fabriek in Zwijndrecht, maar ook gebieden rond brandweerkazernes, wijken rond textielnijverheid en verbrandingsovens, enz. De mate waarin omwonenden van deze sites worden blootgesteld aan PFAS is voor de meeste gebieden nog onbekend.

In aanvulling op metingen in milieucompartimenten zoals lucht, bodem en water, meet humane biomonitoring (HBM) de concentraties aan vervuilende stoffen in het lichaam, die daar terecht komen via diverse blootstellingsroutes. HBM-studies zijn reeds meerdere decennia in Vlaanderen een belangrijk beleidsondersteunend instrument. Zo werd ook PFAS gemeten in het bloed van bewoners rond de 3M-fabriek in Zwijndrecht, wegens de grote bezorgdheid van burgers en de Vlaamse overheid. Maar ook op andere Vlaamse locaties heerst ongerustheid over de gezondheidsimpact van PFAS-verontreiniging bij de bevolking. Daarom overweegt de Vlaamse overheid het opzetten van HBM-onderzoek naar PFAS in het bloed van omwonenden van andere PFAS-typegebieden in Vlaanderen dan tot heden onderzocht (met name: PFAS-productie in Zwijndrecht).

De Vlaamse overheid stelt een gefaseerde aanpak voor. In een eerste fase wordt een voorbereidende studie uitgevoerd, om de PFAS-typegebieden voor potentieel HBM-onderzoek te identificeren en selecteren. Nadien volgt de uitvoering van het HBM-onderzoek in een tweede fase.

In deze studie werd fase 1 uitgevoerd. De hoofddoelen van deze studie waren enerzijds het in kaart brengen, karakteriseren en selecteren van PFAS-typegebieden die in aanmerking komen voor HBM-onderzoek, en anderzijds het uitwerken van een concreet stappenplan voor HBM-onderzoek in PFAS-typegebieden.

Definitie van het begrip 'PFAS-typegebieden'

Vooraleer in te gaan op de aanpak en resultaten van de studie, wordt de definitie van een PFAS-typegebied hier toegelicht. Een PFAS-typegebied is een verzameling van sites waarin een bepaalde soort van menselijke activiteit heeft plaatsgevonden die mogelijks geleid heeft tot PFAS-uitstoot en bijgevolg verhoogde PFAS-concentraties, al dan niet met een kenmerkende samenstelling naar specifieke PFAS-stoffen, in de omgeving in én rondom deze sites. Voorbeelden van PFAS-typegebieden zijn industriële productie-, opslag- en verbrandingssites. De typegebieden zijn gebaseerd op groeperingen van PFAS-verdachte activiteiten. De term 'PFAS-typegebied' gebruiken we voor de verzamelnaam van deze aan elkaar gerelateerde activiteiten. Onder elk PFAS-typegebied vallen ook verschillende percelen en inrichtingen, die overkoepelend typegebiedsites worden genoemd. Typegebiedsites kunnen op meerdere plaatsen in Vlaanderen voorkomen, soms zelfs in grote aantallen.

Inventarisatie en karakterisatie van PFAS-typegebieden en -sites in Vlaanderen

In een eerste onderdeel van de studie werd er een inventarisatie en karakterisatie van PFAS-typegebieden in Vlaanderen gemaakt. Het vertrekpunt zijn PFAS-verdachte activiteiten die geleid hebben tot potentiële PFAS-belasting in drie milieumatrices: bodem, grondwater en lucht.

De inventarisatie gebeurde in twee stappen. In een eerste stap werd een bevraging van bevoegde entiteiten (VMM, OVAM, Departement Omgeving en Zorg) uitgevoerd, leidend tot een lijst van 650 VLAREM-rubrieken die gelinkt kunnen worden aan PFAS-verdachte activiteiten, waarvan wordt

ingeschat dat ze een grote, of op zijn minst niet verwaarloosbare, kans hebben op PFAS-verontreiniging in bodem of andere omgevingsmatrices. Deze VLAREM-rubrieken werden samengevoegd tot 32 PFAS-typegebieden behorende tot 3 typegebiedsgroepen, namelijk:

- **Industrie** (22 typegebieden): PFAS-productie, Papier/karton, Metaalbewerking/behandeling, Elektronica/halfgeleiders, Brandblusschuim, Petrochemie, Verven/coating, Fotogevoelige materialen, Textiel, Transportmiddelen, Cosmetica/detergenten, Kunststoffen, Bouwmaterialen, Pesticiden/biociden, Farmaceutica, Lijmen, Elastomeren, Niet-eetbare vetstoffen, Eetbare vetstoffen, Wasserijen/droogkuis, Oppervlaktereiniging, Drukwerk.
- **Afvalverwerking en Grondverzet** (7 typegebieden): Opslag gevaarlijke goederen, Afvalinzameling/-verwerking, Afvalverbranding, Stortplaats, Waterzuivering, Lozing in grondwater, Grondverzet/-verwerking.
- **Brandweer-gerelateerde activiteiten** (3 typegebieden): Vliegvelden, Brandweeroefenterrein, Brandincident.

Er werd een ruimtelijke inventaris van gekende PFAS-typegebiedsites in Vlaanderen opgesteld op basis van vier databronnen, nl. 1) de PFAS-screening, waarbij OVAM in samenwerking met de Vlaamse gemeenten in de loop van 2021 tot 2023 voor een aantal PFAS-verdachte activiteiten een inventaris heeft gemaakt van sites met een verhoogde kans op PFAS-verontreiniging in bodem, 2) de Mistral-databank van OVAM, 3) de contouren van omgevingsvergunningaanvragen ingediend bij het Omgevingsloket van Departement Omgeving, en 4) de inventaris van brandincidenten en brandweeroefenterreinen (BWOT) die aan de hand van verkennende bodemonderzoeken (VBO) stelselmatig geëvalueerd worden. Merk op dat zowel brandincidenten als BWOT PFAS-verdachte activiteiten zijn zonder VLAREM-rubriek.

Sommige typegebieden (petrochemie, oppervlaktereiniging en PFAS-productie) hebben een beperkt aantal (gekende) sites. Daartegenover staan enkele typegebieden met een zeer groot aantal gekende sites, zoals de BWOT, grondverzet/-verwerking, afvalinzameling/-verwerking en verven/coatings.

In een tweede stap werden **PFAS-metgegevens in bodem, grondwater en lucht in Vlaanderen verzameld en geografisch geanalyseerd**. Vermits er momenteel nog zeer weinig data beschikbaar zijn in lucht, werden deze analyses beperkt tot de omgevingsmatrices bodem (vaste deel van de aarde) en grondwater. Hiervoor werden voornamelijk de PFAS-omgevingsdata uit de online tool PFAS-verkenner van Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) gebruikt. In het totaal werden er 540087 analyseresultaten in grondwater en 629828 analyseresultaten in het vaste deel van de aarde gevonden, met overeenkomstig 11375 en 11535 unieke meetpunten. Deze meetgegevens werden gekruist met de ruimtelijke inventaris van gekende PFAS-typegebiedsites in Vlaanderen.

Er werden 3 kernanalyses uitgevoerd op de geografische gekruiste dataset:

- *Dekkingsgraad per typegebied: Hoeveel sites bevatten meetpunten?*

De dekkingsgraden per typegebied variëren van zeer laag (<5%) voor o.a. elektronica/halfgeleiders, fotogevoelige materialen, oppervlaktereiniging, lozing in grondwater en vliegvelden tot matig (tussen 5% en 20%) voor o.a. PFAS-productie, metaalbewerking/-behandeling, petrochemie, pesticiden/biociden, en zijn voor 2 typegebieden hoog (> 50%), namelijk voor brandweeroefenterreinen en brandincidenten.

Zeker voor de typegebieden met lage dekkingsgraden zijn er onvoldoende gegevens om een representatieve uitspraak te doen m.b.t de PFAS-belasting voor deze typegebieden. Alle resultaten, en in het bijzonder die met betrekking tot deze typegebieden, moeten met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

- *Overschrijdingsgraad per typegebied: In welke mate worden PFAS-toetsingswaarden overschreden binnen de grenzen van de typegebiedsites?*

Deze analyse vertrekt van bemeten typegebiedsites, zijnde sites die minstens één meetpunt hebben binnen hun grenzen. Voor het **vaste deel van de aarde** vertonen de meeste typegebieden in 20% tot 40% van de overeenkomstige bemeten sites een overschrijding van de toetsingswaarde bestemmingstype III (woongebied) voor PFOS_{totaal}, die van kracht is sinds 2023 en hierna ook naar verwezen zal worden als TW-III. Er zijn uitschieters die boven deze overschrijdingsgraden vallen, waaronder PFAS-productie. Het valt op dat typegebiedsites met een TW-III-overschrijding dit in ongeveer een derde van de gevallen meteen ook 10 keer of zelfs 100 keer overschrijden. Voor een aantal typegebieden zijn er geen overschrijdingen van TW-III voor PFOS_{totaal} in bodem, met name: cosmetica/detergenten, lijmen, niet-eetbare vetstoffen, oppervlaktereiniging en opslag van gevaarlijke stoffen. Maar conclusies voor deze typegebieden zijn onzeker omdat ze zeer weinig (1 tot 8) bemeten sites hebben. Overschrijdingsgraden voor PFOA_{totaal} in bodem vertonen minder vaak overschrijdingen van TW-III. In **grondwater** zien we dat de in deze matrix geldende toetsingswaarde (TW) veel vaker overschreden wordt in de typegebiedsites dan in bodem, en vooral dan voor de parameter Som PFAS-20 die nagenoeg consistent **overschrijdingsgraden van 80% of meer** vertoont. Ook Som PFAS Kwantitatief¹ vertoont hoge overschrijdingsgraden die bijna voor elk typegebied boven de 40% liggen. De trends in functie van typegebieden zijn wel gelijkaardig als voor PFOS_{totaal} in het vaste deel van de aarde.

- *Fingerprinting: Wat is het Chemisch profiel van PFAS-belasting per typegebied?*

Bovenstaande analyses zijn gebaseerd op resultaten voor PFOS_{totaal}, PFOA_{totaal}, Som PFAS-20 en Som PFAS Kwantitatief. Echter, de beschikbare analyseresultaten bevatten een gedetailleerde rapportage van 57 PFAS-componenten. De samenstelling en het relatief voorkomen van bepaalde componenten als onderdeel van de totale PFAS-concentratie wordt bestudeerd in de 'fingerprinting'. Bij vergelijking van de fingerprinting tussen de verschillende typegebieden, valt op dat PFOS_{totaal} en de somparameters over alle typegebieden heen verhoogde concentraties vertonen in het vaste deel van de aarde, terwijl er meer variatie waargenomen wordt in de andere PFAS-parameters. In grondwater zien we bij alle typegebieden hoge waarden voor PFOS_{totaal}, PFBS, PFHxS, PFOA_{totaal}, PFBA, PFHpA, PFHxA en de somparameters. Er zijn echter ook verschillen waar te nemen tussen de profielen van de typegebieden. Zo scoren de perfluoroalkaansulfonamiden (PFASA), een subgroep binnen de verzameling van alle PFAS-stoffen, hoog bij de typegebieden PFAS-productie, brandblusschuim, verven/coatings, kunststoffen en elastomeren, zowel in het vaste deel van de aarde als grondwater. Bij de andere typegebieden hebben de PFASA-parameters eerder lage waarden, maar er zijn ook typegebieden die dan weer opvallen door verhoogde concentraties in een andere stoffengroep, zoals bv. pesticiden/biociden, opslag gevaarlijke goederen, afvalverbranding, vliegvelden en brandweeroefenterreinen die hoger scoren op één of meerdere parameters van de n:2 FTS-stoffengroep. Nog een verschil kan vastgesteld worden bij afvalverbranding, die nagenoeg als enige typegebied verhoogde concentraties vertoont voor de parameter HFPO-DA, behorende tot de stoffengroep van de perfluorethercarbonzuren (PFECA).

De fingerprinting van de bodem- en grondwaterstalen kan als toepassing hebben om te identificeren welke PFAS-verbindingen men best kan opnemen in de selectie van PFAS-biomerkers voor HBM-onderzoek bij bepaalde typegebieden.

Aantal omwonenden in perimeters rond de verschillende PFAS-typegebieden

In een **tweede deel** van de studie werd nagegaan **hoeveel inwoners woonachtig zijn binnen verschillende perimeters rond typegebiedsites met een toetsingswaardeoverschrijding binnen de**

¹ Som PFAS Kwantitatief is de som van de concentraties van alle PFAS-parameters die met de huidige beschikbare meettechnieken kwantitatief bepaalbaar zijn. De indicatieve PFAS-parameters vallen hier m.a.w. niet onder.

grenzen van de sites. Dit deel bouwt verder op de eerder besproken ruimtelijke inventaris en karakterisatie van de PFAS-typegebieden in Vlaanderen. De voornaamste drijfveer achter deze analyse is het aanbieden van werkbaar en ondersteunende informatie aan de uitvoerders van de HBM-studie, waarmee men beter kan inschatten wat de mogelijkheden en beperkingen zijn als men zou opteren om deelnemers te rekruteren rond bepaalde typegebieden.

Het aantal inwoners binnen afstandsintervallen van 100m, 500m, 1500m en 3000m rond typegebiedsites met een toetsingswaardeoverschrijding werd berekend op basis van de rasterdataset “Inwoners per ha – toestand 2019”. Hoewel deze gelokaliseerde bevolkingsgegevens publiek beschikbaar zijn, merken we hierbij op dat VITO intern, via een dataovereenkomst met het Kadaster, toegang heeft tot een ruimtelijk meer gedetailleerde dataset die verder ook opgedeeld is naar leeftijdsgroepen én de recentere situatie van 2022 dekt. Er werd dan ook geopteerd om met deze gedetailleerdere en recentere data te werken. Wegens het privacygevoelig karakter van deze data kunnen we de hieruit voortvloeiende resultaten enkel op geaggregeerde wijze bespreken in dit rapport (de gedetailleerde analyseresultaten worden wel aan de opdrachtgever overhandigd). De gebruikte perimeters zijn gekozen op basis van de afstanden die gehanteerd worden in de huidige algemene en specifieke *no regret*-maatregelen in Vlaanderen (bv. rond brandweeroefenterreinen en sites van zware industriële branden, en rond de 3M-site te Zwijndrecht). In een volgende stap werden er dan indicatieve selectiecriteria voorgesteld op basis van de actieve bevolking in Vlaanderen (de 20- tot 64-jarigen) die woonachtig is binnen de onderzochte perimeters, alsook op basis van de mate van toetsingswaardeoverschrijding in het vaste deel van de aarde binnen de grenzen van de typegebiedsites (criterium 1: $\geq$ TW-III in perimeter 0-100m, criterium 2: $\geq$ TW-III in 0-500m perimeter, criterium 3: $\geq 10 \times$ TW-III in 0-1500m perimeter, en criterium 4: $\geq 100 \times$ TW-III in perimeter 0-3000 m). Deze indicatieve criteria volgen de logica dat grotere toetsingswaardeoverschrijdingen mogelijk ook grotere perimeters vereisen voor de rekrutering van kandidaat-deelnemers. In de praktijk zal deze denkwijze maar voor een aantal typegebieden opgaan.

Op basis van de analyse van de resultaten in het vaste deel van de aarde, stellen we vast dat er binnen een straal van 100 m rond de typegebiedsites met een TW-III-overschrijding relatief weinig inwoners voorkomen uit de bevolkingsgroep van de 20- tot 64-jarigen. Voor de meeste typegebieden beperken deze totale inwonersaantallen (voor heel Vlaanderen) zich tot enkele honderd- of duizendtallen. Uitzonderingen hierop zijn de drie typegebieden afvalinzameling/-verwerking, grondverzet/-verwerking en brandweeroefenterreinen die elk meer dan 4000² inwoners tellen binnen de perimeters van 100m rond de overeenkomstige sites. Bij sites met een TW-overschrijding in grondwater liggen de bevolkingsaantallen aanmerkelijk hoger: 9 van de 32 typegebieden tellen meer dan 4000 inwoners binnen een afstand van 100m. Bij de grotere perimeters, die oplopen tot 3000m, liggen de inwonersaantallen vaker (ver) boven het indicatieve minimum van 4000 inwoners, met voor enkele typegebieden zoals brandoefenterreinen, brandincidenten, afvalinzameling/verwerking, stortplaatsen meer dan 1 miljoen inwoners perimeters tot 3000 m. De bevolkingsaantallen binnen de perimeters nemen over het algemeen sterk af wanneer we ons beperken tot sites met meervoudige toetsingswaardeoverschrijdingen (van meer dan tienmaal of zelfs honderdmaal de grenswaarde), maar deze aantallen blijven doorgaans nog steeds in de orde van tienduizenden of honderdduizenden. Voor sommige typegebieden, zoals PFAS-productie, papier/karton, elastomeren, afvalinzameling/-verwerking, grondverzet/-verwerking, daalt het aantal inwoners binnen de perimeters minder sterk, wat lijkt aan te geven dat een beperkt aantal sites met (zeer) sterke PFAS-belasting doorwegen op deze cijfers.

Bij de voorgestelde selectiecriteria valt het op dat de typegebieden metaalbewerking/ -behandeling, verven/coatings, afvalinzameling/-verwerking, grondverzet/-verwerking, brandweeroefenterreinen

² Powerberekeningen toonden aan dat een steekproefgrootte van 400 deelnemers nodig is; rekening houdend met een participatigraad van 10%, zijn er dus minstens 4000 inwoners nodig

en brandincidenten in bijna alle criteria bovenaan de rangorde staan (met het meest aantal 20- tot 64-jarigen binnen de overeenkomstige perimeters). Ook de typegebieden textiel, productie van brandblusschuim, stortplaatsen, afvalverbrandingen en vliegvelden vertonen hoge inwonersaantallen binnen de perimeters van één of meerdere selectiecriteria.

De uitgevoerde analyses geven de grootteordes aan van de mogelijks aan PFAS blootgestelde bevolking onder verschillende aannames over de ruimtelijke spreiding van PFAS-belasting rond de typegebiedsites, en dit per typegebied en regio binnen Vlaanderen. Er kan hieruit besloten worden dat er voor heel wat typegebieden voldoende deelnemers lijken te wonen in de nabije omgeving van de typegebiedsites, waarschijnlijk voldoende om een HBM-studie uit te voeren die kan nagaan of omwonenden al dan niet verhoogde PFAS-waarden hebben in hun bloed ten opzichte van de referentiepopulatie in Vlaanderen.

Uit deze cijfers (van soms grote bevolkingsaantallen in perimeters rond PFAS typegebieden), mogen geen voorbarige conclusies getrokken worden dat deze grote groepen van mensen woonachtig in perimeters rond die typegebieden daadwerkelijk een verhoogde PFAS blootstelling hebben. Dit zou net moeten onderzocht worden in een HBM onderzoek.

Wat deze gegevens ook niet toelaten is om zonder bijkomende argumentering of onderbouwing te bepalen welke perimeters uiteindelijk gebruikt moeten worden tijdens de HBM-studie. We weten immers niet of, en in welke mate, de PFAS verontreiniging aanwezig binnen de kadastrale zones van de PFAS typegebieden zich verspreid heeft in omgeving buiten de kadastrale zones van de PFAS typegebieden.

Deze keuze m.b.t. perimeters voor uitvoeren van HBM onderzoek zal in de praktijk bijkomend onderzoek en meer uitgewerkte beleidsvragen vereisen. We erkennen dat het geleverde werk slechts een aanzet is naar een selectie van PFAS-typegebieden, en dat we hiermee nog geen definitieve knopen kunnen doorhakken over welke typegebieden of gemeenten in Vlaanderen nu effectief het meest interessant of strategisch zijn om opgenomen te worden in de HBM-studie.

Kennis uit HBM-literatuur m.b.t. PFAS-typegebieden

Voorgaand onderdeel beschrijft een analyse/aanbeveling voor PFAS-typegebieden op basis van milieugegevens in Vlaanderen. Daarnaast werd in deze studie ook gekeken of literatuurgegevens (uit binnen- en buitenland) m.b.t. HBM-metingen bij omwonenden van PFAS-typegebieden richtinggevend kunnen zijn. Immers, dit kan ons inzicht geven of we voor gelijkaardige Vlaamse PFAS-typegebieden al dan niet verhoogde PFAS-serumniveaus bij omwonenden kunnen verwachten.

Op basis van de beschikbare HBM-literatuurdata kunnen we concluderen dat er voor een aantal PFAS-typegebieden, met name PFAS-productie, *downstream use* van PFAS in kunststoffen (teflon) en sites verontreinigd door brandweeractiviteiten sterk verhoogde PFAS-serumwaarden zijn gemeten, in verschillende studies, telkens met een voldoende omvangrijke steekproefgrootte.

Voor een specifieke subsector onder het typegebied afvalverwerking, met name 'metaalversnipperaars' is er weliswaar slechts één studie (nl. in Wallonië, BIOBRO-project (BIOBRO, 2024)), maar deze is gebaseerd op een voldoende grote steekproef, en werd aangetoond dat er significant verhoogde PFOS-serumwaarden waren bij tieners die in de buurt van een shredder wonen t.o.v. andere Waalse tieners.

Daarnaast zijn er een aantal typegebieden (textiel, afvalverwerking: stortplaatsen, en afvalverbranding) met telkens slechts 1 studie, die bovendien een zeer beperkte steekproefgrootte hadden. De selectiecriteria van de deelnemers zijn onduidelijk, waardoor het moeilijk is om deze resultaten te veralgemenen naar omwonenden van PFAS-typegebieden. Evenwel suggereren deze metingen dat de lokale bevolking een matige (stortplaatsen) tot sterk (textiel) verhoogde PFAS-blootstelling kent, hetgeen een reden kan zijn voor bijkomend onderzoek en dus deze typegebieden relevant maakt bij de keuze van typegebieden voor HBM-onderzoek.

Aan de andere kant zijn er ook typegebieden, zoals bijvoorbeeld kust- en zeegebieden (zeeschuim), waar we vermoeden dat er geen verhoogde PFAS-waarden in serum zijn. Dit is echter gebaseerd op slechts één studie met een kleine steekproef en moet nog worden bevestigd, bijvoorbeeld door het lopend RIVM-onderzoek aan de Westerschelde.

Daarnaast zijn er nog **veel hiaten in de beschikbare HBM-data voor bepaalde PFAS-typegebieden** (bvb. metaalbewerking, papier en karton, etc.), wat betekent dat we de aanwezigheid van verhoogde PFAS-waarden in serum van omwonenden in deze typegebieden nog niet bevestigd hebben gezien in eerder onderzoek, maar wel waarschijnlijk achten gezien (sterk) verhoogd voorkomen van PFAS in omgevingsmatrices in de verschillende typegebieden (zie hoger)). **Deze typegebieden (met hiaten in HBM-onderzoek) kunnen dus in overweging genomen worden bij de selectie van PFAS-typegebieden voor HBM-onderzoek.**

Stappenplan voor uitvoering HBM-onderzoek

Het laatste onderdeel van de opdracht bestaat uit het opstellen van een **stappenplan voor het uitvoeren van een HBM-onderzoek** naar PFAS in de geselecteerde typegebieden. Eveneens volgens de doelstellingen gedefinieerd door de opdrachtgever, moet het stappenplan erop gericht zijn om na te gaan in welke typegebieden de inwendige blootstelling groter is dan in de Vlaamse referentiepopulatie.

Om deze redenen werden volgende **aannames** gemaakt in het opstellen van het stappenplan:

- Er wordt in de geselecteerde typegebieden gekozen voor humane biomonitoring.
- De doelgroep in de typegebieden is afgestemd op de Vlaamse referentiepopulatie, onderzocht in het subsidieproject “HBM-referentiecampaagne voor PFAS bij volwassenen”.
- De PFAS HBM-resultaten in de onderzochte typegebieden zullen vergeleken worden met de meest recente Vlaamse referentiewaarden.

Dit stappenplan voor HBM-onderzoek in PFAS-typegebieden heeft tot **hoofddoel** om **per typegebied** voor de lokale bevolking **actuele PFAS-data voor interne blootstelling** te genereren. De resultaten van een HBM-onderzoek kunnen worden aangewend voor de **milieugezondheidkundige risicobeoordeling** van PFAS-blootstelling bij inwoners van de typegebieden.

Een HBM-onderzoek bestaat uit **verschillende stappen**, waarbij het draaiboek/stappenplan in volgorde van uitvoering wordt besproken: 1) Selectie van relevante biomerkers – opmaak vragenlijsten, 2) Afbakening studiegebieden, 3) Selectie doelgroep, 4) Rekrutering, 5) Veldwerk, 6) Chemische analyses, 7) Statistische analyses, 8) Interpretatie en rapportering, 9) Communicatie, 10) Ethisch dossier, 11) Projectcoördinatie.

Elk van deze 11 stappen is in detail uitgewerkt in HOOFDSTUK 5 van dit rapport. Dit stappenplan geeft **praktische richtlijnen** voor elke fase van het onderzoek aan en behandelt ook een aantal praktische en wetenschappelijke aandachtspunten. Het is belangrijk dat in elke stap aandacht besteed wordt aan socio-demografische en socio-economische verschillen bij de deelnemers.

Dit stappenplan is geënt op het lopende Vlaamse humane-biomonitoringonderzoek bij een referentiepopulatie Vlaamse jongeren en PFAS referentie-HBM bij volwassenen (Flemish Environment and Health Studies, FLEHS-5, 2022-2027), uitgevoerd door het Steunpunt Omgeving en Gezondheid.

Dit stappenplan kan gebruikt worden voor het uitvoeren van HBM-studies in PFAS-typegebieden.

Enkel een meting in stalen van menselijke oorsprong kan de totale, humane interne blootstelling weergeven. HBM-onderzoek weerspiegelt de geïntegreerde humane blootstelling aan een chemische stof, en houdt rekening met humane factoren zoals opname, metabolisme en excretie. Mogelijk zijn niet alle bronnen gekend en meetbaar via milieumetingen. Een andere toegevoegde waarde van HBM-onderzoek is dat er directe verbanden gelegd kunnen worden tussen de interne blootstelling aan chemische stoffen, zoals PFAS, en vroegtijdige merkers van gezondheid. Verder is er in de toekomst

een gezondheidsopvolging mogelijk via een link met het huisartsendossier of andere gezondheidsregisters. HBM-onderzoek in typegebieden kan daarenboven een beter inzicht geven in lokale determinanten van blootstelling via het gebruik van vragenlijsten, koppeling met bestaande lokale milieudata en eventueel ook nieuw gegeneerde milieumetingen. Internationaal onderzoek heeft al aangetoond dat de determinanten van blootstelling aan PFAS bepaald worden door het type bron en de manier van verspreiding. Tot slot is er ook het mentale effect: *“pollution gets personal”*. Een HBM-studie zet een participatief proces in gang, en vergroot het draagvlak voor beleidsmaatregelen.

INHOUDSTAFEL

HOOFDSTUK 1.	INLEIDING	16
1.1	SITUERING	16
1.2	DOELSTELLING	17
HOOFDSTUK 2.	INVENTARISATIE EN KARAKTERISATIE VAN PFAS-TYPEGEBIEDEN	18
2.1	DOELSTELLING	18
2.2	METHODE	18
2.2.1	BEVRAGING VAN DE BEVOEGDE ENTITEITEN	18
2.2.2	ANALYSE VAN DE BESCHIKBARE DATA	19
2.2.3	GEBRUIKTE DATA	19
2.2.4	AANPAK PER ANALYSE	28
2.3	RESULTATEN	29
2.3.1	PFAS-TYPEGEBIEDEN VERKREGEN VIA BEVRAGING VAN DE BETROKKEN ENTITEITEN	29
2.3.2	DATA-ANALYSE PFAS-TYPEGEBIEDEN	33
2.4	CONCLUSIE	43
HOOFDSTUK 3.	BEVOLKING WOONACHTIG IN DE NABIJHEID VAN TYPEGEBIEDSITES MET PFAS-BELASTING	45
3.1	DOELSTELLING	45
3.2	METHODE	46
3.2.1	GEBRUIKTE DATA	46
3.2.2	OPSTELLEN VAN DE PERIMETERS ROND SITES MET PFAS-BELASTING	48
3.2.3	RUIMTELIJKE KRUISING VAN DE PERIMETERS MET DE LOKALE BEVOLKINGSGEGEVENS	48
3.3	RESULTATEN	49
3.3.1	BEVOLKING WOONACHTIG IN DE PERIMETERS ROND DE TYPEGEBIEDSITES	49
3.4	VOORGESTELDE SELECTIECRITERIA VOOR TYPEGEBIEDEN HBM-STUDIE	54
3.4.1	DEFINIËRING VOORGESTELDE SELECTIECRITERIA	54
3.4.2	BEREKENING VAN DE VOORGESTELDE SELECTIECRITERIA	55
3.5	OPLEVERING VAN DE GEDETAILEERDE ANALYSERESULTATEN	58
3.6	CONCLUSIE	59

HOOFDSTUK 4. LITERATUURSTUDIE HBM-ONDERZOEK IN INVLOEDSZONES VAN PFAS-TYPEGEBIEDEN 62

4.1 METHODE	62
4.2 OVERZICHT VAN HBM-STUDIES IN PFAS-TYPEGEBIEDEN	62
4.3 CONCLUSIE	65

HOOFDSTUK 5. STAPPENPLAN VOOR HBM-ONDERZOEK IN PFAS-TYPEGEBIEDEN 67

5.1 DOELSTELLING	67
5.1.1 HOOFDDOEL	67
5.1.2 BIJKOMENDE DOELSTELLINGEN	68
5.2 METHODE	70
5.3 SELECTIE VAN BIOMERKERS EN OPMAAK VRAGENLIJSTEN	71
5.3.1 SELECTIE VAN BIOMERKERS	71
5.3.2 OPSTELLEN VRAGENLIJSTEN	74
5.4 AFBAKENING STUDIEGEBIEDEN	75
5.4.1 SELECTIE VAN LOCATIES BINNEN EEN TYPEGEBIED	75
5.4.2 AFBAKENING VAN HET STUDIEGEBIED PER LOCATIE	76
5.5 DOELGROEP SELECTEREN	76
5.5.1 KEUZE VAN DE DOELGROEP	76
5.5.2 POWERBEREKENINGEN GROOTTE STUDIEPOPULATIE	78
5.6 REKRUTERING	84
5.6.1 SELECTIE VAN PRIMAIRE SAMPLING UNIT	84
5.6.2 SELECTIE VAN DEELNEMER	85
5.7 VELDWERK	86
5.7.1 PRAKTISCHE ORGANISATIE VAN HET VELDWERK	86
5.7.2 VELDWERKPROCEDURES	87
5.7.3 BIOBANK	88
5.7.4 MOGELIJKE UITBREIDING	89
5.8 CHEMISCHE ANALYSES	89
5.9 DATABEHEER	90
5.10 DATA-ANALYSES	90
5.11 INTERPRETATIE EN RAPPORTERING	91
5.11.1 BESCHRIJVENDE RESULTATEN VAN DE TYPEGEBIEDEN	91

5.11.2 VERGELIJKING VAN DE TYPEGEBIEDEN MET DE VLAAMSE REFERENTIEPOPULATIE	91
5.11.3 GEZONDHEIDSKUNDIGE INTERPRETATIE	91
5.11.4 IDENTIFICEREN VAN INVLOEDSFACTOREN	92
5.12 COMMUNICATIE RESULTATEN	92
5.12.1 NAAR DEELNEMERS	92
5.12.2 NAAR INTERMEDIAIREN	92
5.12.3 NAAR HET BREDE PUBLIEK	93
5.13 PARTICIPATIE	93
5.14 ETHISCH DOSSIER	94
5.15 PROJECTCOÖRDINATIE	95

<u>BIJLAGE 1. VLAREM-RUBRIEKEN MET MOGELIJKE PFAS-VERDACHTE ACTIVITEITEN DIE VERVUILING KUNNEN VEROORZAKEN IN ÉÉN OF MEERDERE OMGEVINGSMATRICES.</u>	96
---	-----------

<u>BIJLAGE 2: LITERATUURSTUDIE M.B.T. PFAS-HBM-GEGEVENS BIJ OMWONENDEN VAN PFAS-TYPEGEBIEDEN</u>	112
---	------------

LIJST VAN FIGUREN

- Figuur 1.** Ruimtelijke spreiding van de unieke meetpunten (totale aantallen weergegeven tussen haakjes boven elke deelfiguur), per onderzochte omgevingsmatrix, waarvoor er PFAS-analyseresultaten beschikbaar worden gemaakt via de PFAS-verkenner Bron: DOV, VMM (voor meetgegevens in lucht)..... 21
- Figuur 2.** Locaties van de in deze studie **onderzochte** PFAS-verdachte sites, hier georganiseerd per databron: PFAS-screening, Mistral, Vergunningscontouren en VBO. Het cijfer tussen haakjes geeft het overeenkomstig totaal aantal gekende sites weer. Bemerk dat er een gedeeltelijke overlap kan bestaan tussen deze databronnen. De geometrieën van de individuele sites worden in deze figuur vereenvoudigd weergegeven met het overeenkomstige middelpunt. Merk ook op dat deze figuur de onderzochte PFAS verdachte sites weergeeft, en niet enkel de sites met bevestigd overschrijding van toetsingswaarden (dit komt in een hoofdstuk 2.3.2.2 aan bod). Bronnen: OVAM, Departement Omgeving..... 27
- Figuur 3.** Locaties van de in deze studie onderzochte PFAS-verdachte sites, georganiseerd per typegebied. Het cijfer tussen haakjes geeft het overeenkomstig totaal aantal gekende sites weer. De geometrieën van de individuele sites worden in deze figuur vereenvoudigd weergegeven met het overeenkomstige middelpunt. Bronnen: OVAM, Departement Omgeving, DOV. 31
- Figuur 4.** Overschrijding van de toetsingswaarde-bestemmingstype III (TW-III) in sites met één of meerdere meetpunten in het **vaste deel van de aarde**, weergegeven per typegebied en voor de parameters PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal}. De cijfers tussen haakjes geven de overeenkomstige aantallen sites weer..... 36
- Figuur 5.** Overschrijding van de toetsingswaarde (TW) in sites met één of meerdere meetpunten in **grondwater**, weergegeven per typegebied en voor de somparameters Som PFAS-20 en Som PFAS Kwantitatief. De cijfers tussen haakjes geven de overeenkomstige aantallen sites weer. 37
- Figuur 6.** PFAS-fingerprint in het vaste deel van de aarde, weergegeven per typegebied. De rijen in deze figuur stellen de typegebieden voor, en de kolommen de bemeten PFAS-parameters die op hun beurt per stoffengroep georganiseerd zijn..... 39
- Figuur 7.** PFAS-fingerprint in grondwater, weergegeven per typegebied. De rijen in deze figuur stellen de typegebieden voor, en de kolommen de bemeten PFAS-parameters die op hun beurt per stoffengroep georganiseerd zijn. 41
- Figuur 8.** Aantal inwoners per ha in Vlaanderen, toestand 2019. Bron: Departement Omgeving. 47
- Figuur 9:** Precisie voor PFOS (ln-schaal) als functie van het aantal deelnemers in de steekproef, voor de verschillende scenarios/studies (rood: 1^{ste} PFAS-bloedonderzoek in regio 3M, groen: FLEHS-2 volwassenen, paars: FLEHS-3 volwassenen)..... 81
- Figuur 10:** Grafische weergave van de berekende power in functie van de steekproefgrootte, om een verschil tussen studies aan te tonen van 10% (rood), 15% (groen), 20% (blauw), 25% (geel) en 30% (paars), telkens voor scenario 1 (volle lijn) en scenario 2 (stippenlijn). Berekend met een ANOVA-model met leeftijdsklassen, geslacht, de interactie tussen leeftijdsklasse en geslacht en het gebied (referentiegebied of typegebied) als verklarende variabelen. A: resultaten voor PFOS, B, resultaten voor PFNA, C: resultaten voor som 4 PFAS (PFOS + PFHxS + PFOA + PFNA) 84

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1. Geanalyseerde PFAS-parameters met overeenkomstig aantal unieke meetpunten per onderzochte omgevingsmatrix, alsook het aantal unieke meetpunten met meetwaarde boven de kwantificatielimiet. De vermelding van L tussen haakjes na een parameternaam wil zeggen dat het metingen betreft van uitsluitend de lineaire niet-vertakte vorm van de overeenkomstige parameter. Een parameternaam dat eindigt op ‘totaal’ geeft aan dat het meetwaarden betreft van zowel de lineaire als vertakte vormen van de overeenkomstige parameter. Een vermelding van K tussen haakjes na een parameternaam, wat alleen bij somparameters voorkomt, betekent dat de somparameter enkel kwantitatief bepaalde parameters dekt, en dus geen indicatieve parameters. De bron van de meetgegevens in het vaste deel van de aarde en grondwater is de PFAS-verkenner (DOV), en de bron van meetgegevens in lucht is VMM. De waarden voor Som PFAS-20 in grondwater zijn verkregen via eigen verwerking van de gegevens uit de PFAS-verkenner.	22
Tabel 2. PFAS-toetsingswaarden en rapportagegrenzen, in bodem, grondwater en lucht, die gebruikt worden in deze analyse en die in 2024 van toepassing waren in Vlaanderen.	25
Tabel 3. Lijst van PFAS-typegebieden en typegebiedgroepen die afgelijnd werden via bevraging van en in overleg met de betrokken entiteiten.	30
Tabel 4. Dekkingsgraden van de gekende sites, i.e. de mate waarin ze één of meerdere meetpunten binnen hun grenzen hebben, hier weergegeven per typegebied. Herinner hierbij dat de ruimtelijke definitie van sites niet overeenkomt met die van commerciële vestigingen of PFAS-dossiers. Zie uitleg in 2.2.3.1. Herinner ook dat we met de beschikbare data geen compleet beeld hebben van de typegebiedsites in Vlaanderen.	34
Tabel 5. Samengevatte resultaten van de ruimtelijke analyse naar aantal inwoners, behorende tot de Vlaamse actieve bevolking (20- tot 64-jarigen), woonachtig in een perimeter rond typegebiedsites die een TW-III-overschrijding hebben in het vaste deel van de aarde binnen de grenzen van deze sites.50	
Tabel 6. Samengevatte resultaten van de ruimtelijke analyse naar aantal inwoners, behorende tot de Vlaamse actieve bevolking (20- tot 64-jarigen), woonachtig in een perimeter rond typegebiedsites die een TW-overschrijding hebben in grondwater binnen de grenzen van deze sites.	52
Tabel 7. Kenmerken van de voorgestelde selectiecriteria, die aangewend kunnen worden om PFAS-typegebieden te prioriteren voor de HBM-studie.	55
Tabel 8. Waarden van de voorgestelde selectiecriteria beschreven in Tabel 7 , weergegeven in dalende volgorde van aantal 20- tot 64-jarigen woonachtig in de overeenkomstige perimeters. De cijfers tussen haakjes geven de bevolkingsaantallen weer die overeenkomen met het getoonde typegebied en selectie criterium.	57
Tabel 9. Beschrijving van de 15 velden opgenomen in de tabel “bevolking_hbm_perimeter” met de gedetailleerde analyseresultaten.	59
Tabel 10: Overzicht van beschikbaarheid van HBM-data in literatuur per typegebied	63
Tabel 11: Minimale lijst PFAS die werden opgenomen in de Vlaamse referentie-HBM van FLEHS-5, gebaseerd op de PARC-lijst.	72
Tabel 12: Overzicht van de gebruikte datasets voor de precisie-gebaseerde berekeningen van de steekproefgrootte voor de PFAS-typegebieden	80

Tabel 13: Precisie-gebaseerde steekproefgrootteberekening (inputwaarden op basis van de 18-65-jarigen in het bloedonderzoek omgeving 3M).....	80
Tabel 14: Verdeling over de leeftijdsklassen in de twee scenario's	82
Tabel 15: Aantal deelnemers nodig in het PFAS-type gebied om 80% power te bekomen	82
Tabel 16: Overzicht HBM-studies verontreinigde gebieden gelinkt aan PFAS-producerende industrie	117
Tabel 17: overzicht HBM-studies rond verontreinigde gebieden gelinkt aan PFAS-verwerkende industrie; textielindustrie.....	122
Tabel 18: Overzicht HBM-studies rond verontreinigde gebieden gelinkt aan brandweeractiviteiten; militaire oefenplaatsen en luchthavens	126
Tabel 19: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan brandweeractiviteiten; civiele luchthaven	131
Tabel 20: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan brandweeractiviteiten; brandweer en industriële oefenplaatsen	132
Tabel 21: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan afvalverwerking; afvalverbrandingsinstallaties	133
Tabel 22: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan afvalverwerking; stortplaatsen	135
Tabel 23: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan PFAS-verwerkende industrie; metaalindustrie	137
Tabel 24: Overzicht HBM-studie rond PFAS-vervuilde gebieden gelinkt aan afvalverwerking; recycling	138
Tabel 25: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan gebruik van PFAS-houdend slib	141

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

1.1 SITUERING

De aanwezigheid van PFAS in de leefomgeving is in Vlaanderen, en in de rest van de wereld, een belangrijk milieugezondheidkundig aandachtspunt. Verschillende gebieden in Vlaanderen kampen met PFAS-vervuiling in de leefomgeving, zoals blijkt uit uitgebreide monitoring van PFAS in bodem en grondwater, oppervlaktewater en lucht. Het gaat o.a. om gebieden rond industriële sites, zoals de 3M-fabriek in Zwijndrecht, maar ook gebieden rond brandweerkazernes, wijken rond textielnijverheid en verbrandingsovens, enz. De mate waarin omwonenden van deze gebieden worden blootgesteld aan PFAS is voor de meeste gebieden nog onbekend.

In aanvulling op metingen in milieucompartimenten zoals lucht, bodem en water, meet humane biomonitoring (HBM) de concentraties aan vervuilende stoffen die in het lichaam terechtkomen via diverse blootstellingsroutes (zoals inademen, inslikken, of via huidcontact) en die van diverse bronnen (zoals voeding, drinkwater, consumentenproducten, bodem- en stofdeeltjes) afkomstig kunnen zijn. HBM-studies zijn reeds meerdere decennia in Vlaanderen een belangrijk beleidsondersteunend instrument. Zo werd ook PFAS gemeten in het bloed van bewoners rond de 3M-fabriek in Zwijndrecht, wegens de grote bezorgdheid van burgers en de Vlaamse overheid^{3,4}. Maar ook op andere Vlaamse locaties heerst ongerustheid over de gezondheidsimpact van PFAS-verontreiniging bij de bevolking. Om aan deze ongerustheid van burger en overheid tegemoet te komen, overweegt de Vlaamse overheid het opzetten van HBM-onderzoek naar PFAS in het bloed van omwonenden van andere PFAS-typegebieden dan tot heden onderzocht (met name: PFAS-productie in Zwijndrecht). Naast de maatschappelijke overwegingen (onder andere m.b.t. ongerustheid) worden ook andere aspecten en doelen (zorginhoudelijk, beleidsmatig, wetenschappelijk) in rekening gebracht om al dan niet een HBM-onderzoek uit te voeren (Departement Zorg, 2023)⁵.

Op 27 november 2023⁶ stelde Vlaams minister van Welzijn, Volksgezondheid en Gezin, Hilde Crevits hiervoor volgende gefaseerde aanpak voor:

1. In een eerste fase worden PFAS-typegebieden (gebieden met een vermoedelijke verhoogde PFAS-belasting in de leefomgeving omwille van historische en/of huidige antropogene activiteiten) geselecteerd voor mogelijk extra PFAS-bloedonderzoek.
2. De tweede fase beoogt de uitvoering en analyse van een uitgebreid PFAS HBM-onderzoek in de geselecteerde typegebieden.

Dit rapport omvat de eerste fase, namelijk de inventarisatie en karakterisatie van PFAS-typegebieden in Vlaanderen en de selectie van PFAS-typegebieden in Vlaanderen die relevant zijn voor HBM-onderzoek.

³ https://www.hbm-pfas.be/wp-content/uploads/2023/04/Jongerenstudie_HBM_omgeving3M_resultatenrapport_24april2023.pdf

⁴ https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1652873412/Bevolkingsonderzoek_PFAS_Zwijndrecht_-_Wetenschappelijk_rapport_-_update_240222_vzdk8c.pdf

⁵ [Standpunt bloedonderzoek PFAS](#)

⁶ <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/nieuwsberichten/pfas-bloedafnames-op-meer-locaties-in-vlaanderen>

1.2 DOELSTELLING

Het hoofddoel van dit project is het selecteren van PFAS-typegebieden die in aanmerking kunnen komen voor een PFAS-bloedonderzoek of een PFAS-humane-biomonitoringstudie.

Om dit doel te realiseren, werd de opdracht opgedeeld in drie onderdelen:

- Deel 1: Inventarisatie en karakterisatie van PFAS-typegebieden in Vlaanderen.
- Deel 2: Selectie van PFAS-typegebieden voor HBM-onderzoek.
- Deel 3: Opstellen van een stappenplan voor HBM.

Deze onderdelen worden in de volgende hoofdstukken toegelicht.

HOOFDSTUK 2. INVENTARISATIE EN KARAKTERISATIE VAN PFAS-TYPEGEBIEDEN

2.1 DOELSTELLING

Het overkoepelende objectief van dit deel van het project is om een ruimtelijk overzicht te verkrijgen van de PFAS-typegebieden in Vlaanderen én de actuele PFAS-belasting binnen de grenzen van deze gebieden. Om typegebieden ruimtelijk te identificeren vertrekken we in deze studie van percelen, of andere ruimtelijke entiteiten, waarin er activiteiten plaatsvinden of hebben plaatsgevonden waarbij er mogelijk PFAS in de omgeving terecht komt.

In een **eerste luik** stellen we een lijst op van de momenteel **gekende PFAS-verdachte activiteiten**. Om de beoogde PFAS-verdachte activiteiten zo compleet mogelijk in kaart te brengen voeren we eerst een bevraging uit van de bevoegde Vlaamse entiteiten, meer bepaald VMM, OVAM, Departement Omgeving en Departement Zorg, die vanuit hun decretale taken betrokken zijn in het monitoren en/of aanpakken van de PFAS-problematiek. Op basis van de verkregen lijst van PFAS-verdachte activiteiten wordt er dan een meer gegroepeerde typologie opgesteld, met name van de PFAS-typegebieden. We erkennen dat er tegenwoordig ook veel aandacht uitgaat naar diffuse PFAS-verontreiniging, wat een vorm van meer wijdverspreide en ruimtelijk complexe vervuiling is waarvan de oorsprong moeilijker getraceerd kan worden naar een specifieke locatie of tijdstip. Algemeen wordt echter aangenomen dat diffuse PFAS-verontreiniging qua intensiteit relatief beperkt is in vergelijking met verontreiniging die rechtstreeks gelinkt kan worden aan gekende puntbronnen. Bijgevolg zullen typegebieden die eerder behoren tot de groep van diffuse PFAS-verontreiniging, zoals landbouwgronden en kustgebieden, in deze studie slechts beperkt aan bod komen (met name: enkel in de literatuurstudie, zie HOOFDSTUK 4 en **Bijlage 2**).

In een **tweede luik** voeren we dan analyse uit op de momenteel beschikbare PFAS-data. Gelet op de momenteel beperkte databeschikbaarheid of de beperkte ruimtelijke spreiding van PFAS-omgevingsdata in bepaalde omgevingsmatrices, zullen we in dit onderzoek ons toelagen op de analyse van PFAS in het vaste deel van de aarde, grondwater en lucht. We maken voor onze analyses gebruik van GIS-data die enerzijds de gelokaliseerde PFAS-analyseresultaten beschrijven en anderzijds de grenzen van de sites met PFAS-verdachte activiteiten. Naast het inventariseren zijn we hier ook geïnteresseerd in de dekkingsgraad, i.e., de mate waarin de gekende sites van de verschillende soorten typegebieden minstens 1 meetpunt hebben binnen hun grenzen, wat ons toelaat om al dan niet zinvolle uitspraken te kunnen maken over deze gebieden. We zijn uiteraard ook geïnteresseerd in de overschrijdingsgraad, i.e., de mate waarin de bemeeten sites de toetsingswaarden in de onderzochte omgevingsmatrices overschrijden, wat ons dan weer toelaat om de graad van PFAS-belasting per typegebied te evalueren. De samenstelling van het PFAS-verontreinigingsprofiel, ook wel gekend als de *PFAS-fingerprint*, kan eveneens nuttig zijn om de gekende humane risico's beter in te schatten per typegebied, indien er ook effectief blootstelling plaatsvindt.

2.2 METHODE

2.2.1 Bevraging van de bevoegde entiteiten

Op 17 september 2024 werden vertegenwoordigers van VMM, OVAM, Departement Omgeving en Departement Zorg per e-mail aangeschreven. In de e-mail werd eerst kort het opzet van de bevraging geschetst, alsook hoe deze bevraging kadert binnen dit onderzoeksproject. Ter informatie werd er een

preliminaire lijst van PFAS-typegebieden meegegeven, waarbij duidelijk werd aangegeven dat deze lijst onvolledig en nog verder aan te vullen is. Vervolgens werden er twee vragen gesteld:

1. *Hebben jullie weet van andere PFAS-verdachte activiteiten die nog niet in de meegegeven lijst staan?*
2. *Hebben jullie toegang tot de vergunningsgegevens en/of locaties (perceelnummers, adressen of GIS-data) van de reeds vermelde en/of de door jullie opgegeven PFAS-verdachte activiteiten?*

In de daaropvolgende dagen en weken werden de ontvangen antwoorden verzameld, en op basis hiervan werd er een tweede voorstel van de PFAS-typegebieden gecompileerd. Tijdens de eerste stuurgroepvergadering van dit onderzoeksproject, die plaatsvond op 8 oktober 2024, en waarin de hierboven vermelde vertegenwoordigers van de betrokken entiteiten zetelden, werd de nieuwe lijst van typegebieden plenair voorgesteld en besproken. Bij afloop van deze bespreking werd er een aanpak vastgelegd om deze lijst te finaliseren én om de benodigde GIS-data te verkrijgen. Ten slotte werd de finale lijst van PFAS-typegebieden voorgesteld en goedgekeurd tijdens de tweede stuurgroepvergadering van dit project, die plaatsvond op 28 januari 2025. Naast het afstemmen van de afbakening van de PFAS-typegebieden werd de algemene methodologie van dit onderzoeksproject ook gevalideerd tijdens deze stuurgroepvergaderingen.

2.2.2 Analyse van de beschikbare data

Zoals eerder aangegeven in 2.1 beogen we in dit deel van het onderzoek drie analyses van de beschikbare ruimtelijke data. Deze ruimtelijke data omvatten enerzijds de uitgevoerde PFAS-omgevingsmetingen en anderzijds de sites van de beschouwde PFAS-typegebieden. De gebruikte data worden verderop in 2.2.3 in meer detail besproken. De drie uitgevoerde analyses en hun overeenkomstige onderliggende onderzoeksvragen worden hieronder samengevat:

- **Analyse 1 – Dekkingsgraad:** *hebben we voldoende meetpunten in de typegebieden, en in elk van de onderzochte omgevingsmatrices, om onderbouwde uitspraken te kunnen doen m.b.t. PFAS-belasting in de typegebieden?*
- **Analyse 2 – Overschrijdingsgraad:** *in welke mate, hoe vaak en hoe sterk, worden de PFAS-toetsingswaarden overschreden binnen de onderzochte typegebieden en omgevingsmatrices?*
- **Analyse 3 – Fingerprinting:** *wat is de samenstelling van de PFAS-belasting per typegebied, welke specifieke PFAS-stoffen komen vaker in hoge concentratie voor binnen deze profielen?*

De details van onze aanpak worden hieronder per analyse uitgezet.

2.2.3 Gebruikte data

2.2.3.1 PFAS-omgevingsdata

PFAS-omgevingsdata worden in Vlaanderen publiek ontsloten via de online tool PFAS-verkenner van Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV). Op 22 mei 2025 werden via de *Web Feature Service* (WFS) van de PFAS-verkenner de op dat moment beschikbare metingen opgevraagd in grondwater en in het vaste deel van de aarde, vertrekkende van de gegevens opgenomen in de WFS-tabel *Analyseresultaten*. Meetwaarden in het vaste deel van de aarde werden, voor zover dit nog niet het geval was, omgezet naar de meeteenheid $\mu\text{g/kg ds}$, terwijl meetwaarden in grondwater waar nodig omgezet werden naar de meeteenheid ng/l . Meetwaarden met onduidelijke of onlogische eenheden werden verwijderd uit de dataset. In het totaal werden er 540087 analyseresultaten in grondwater

verkregen en 629828 analyseresultaten in het vaste deel van de aarde, met overeenkomstig 11375 en 11535 unieke meetpunten. Deze metingen zijn uitgevoerd tussen november 2017 en maart 2025. Hoewel metingen in lucht ook opgenomen zijn in de PFAS-verkenner, heeft VMM ons een completere nog te publiceren dataset aangeleverd met tijdsreeksen van luchtmetingen uitgevoerd tussen juli 2021 en augustus 2024. Deze dataset omvat 42 unieke meetpunten met 2016 meetresultaten van gasvormige PFAS en PFAS aanwezig in de lucht als zwevend stof. De eenheid die gebruikt werd om deze meetwaarden te rapporteren is ng/m^3 . Depositie-metingen waren ook beschikbaar in deze dataset, maar deze metingen werden uiteindelijk niet weerhouden voor onze analyse wegens te beperkt in aantal. PFAS-analyseresultaten van groenten, fruit en eieren, die voornamelijk verkregen werden ter hoogte van de regio Zwijndrecht, zijn ook beschikbaar in de PFAS-verkenner, maar ook omwille van te beperkte aantallen en een te enge geografische spreiding werden deze resultaten niet meegenomen in de analyse. De locaties van de gebruikte meetpunten worden geïllustreerd in **Figuur 1**.

Zowel in grondwater als in het vaste deel van de aarde worden er doorgaans per meetpunt herhaalde metingen uitgevoerd over verschillende diepte-intervallen van de overeenkomstige peilbuizen of grondboringen. Gezien deze studie gericht is op HBM-ondersteuning moeten we hier vooral rekening houden met de meetwaarden die de meest waarschijnlijke en/of risicovolle blootstellingsroutes weerspiegelen. Voor bodem namen we aan dat PFAS in de toplaag (0 – 20 cm diepte) van het vaste deel van de aarde de meest relevante laag voor blootstelling is, die aangesneden kan worden via zowel tuinteelt, het houden van kippen, het opwaaien van stofdeeltjes als grondverzet. Voor grondwater beschouwden we grondwaterwinning als de belangrijkste blootstellingsroute, en grondwater kan onttrokken worden vanuit bodemlagen op verschillende dieptes. Daarom kijken we in het vaste deel van de aarde bij herhaalde metingen over verschillende dieptes enkel naar de meest ondiepe meting. Voor grondwater daarentegen kijken we bij herhaalde metingen over verschillende dieptes enkel naar de meetwaarde met de hoogste concentratie. Voor lucht aggregereerden we de tijdsreeksen van metingen voor elk meetpunt naar het overeenkomstige jaargemiddelde, omdat er op het moment van uitvoeren van deze analyse enkel voor deze indicator toetsingswaarden bestonden die ons toelaten om PFAS-belasting te evalueren in dit medium.

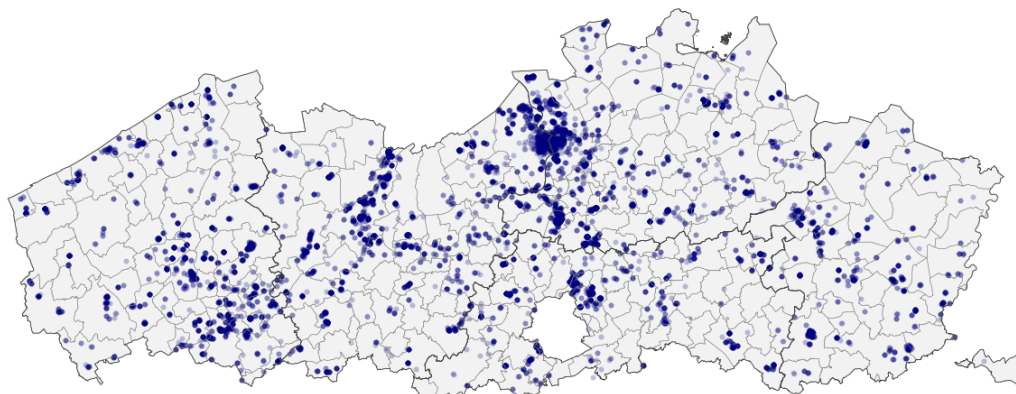
In het totaal worden er 57 PFAS-stoffen of -parameters bemeten in de opgevraagde data. Deze stoffen werden onderverdeeld in zeven PFAS-stoffengroepen: PFSA, PFCA, PFASA, n:2 FTS, PAP, PFECA en de somparameters. Deze laatste groep omvat indicatoren waarvoor er een som gemaakt wordt van de concentraties van een welbepaalde lijst van individuele PFAS-stoffen. In deze analyse beschouwen we drie somparameters, nl. Som PFAS Kwantitatief, Som PFAS-20 en EFSA-4. De parameter EFSA-4 betreft de som van PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS. De berekeningsmethode van Som PFAS Kwantitatief voor het vaste deel van de aarde en grondwater wordt overeenkomstig beschreven in het Compendium voor monsterneming en analyses van afvalstoffen en bodem (CMA) rubriek 3/D⁷ en in Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water (WAC) rubriek 4/A/25⁸. We merkten op dat de waarden voor Som PFAS-20 momenteel nog niet opgenomen zijn in de PFAS-verkenner. Bijgevolg werden de Som PFAS-20-waarden zelf berekend volgens de modaliteiten beschreven in Richtlijn (EU) 2020/2184 over de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water⁹. We voerden deze berekening enkel uit voor grondwater, gezien Som PFAS-20 in Vlaanderen voorlopig geen

⁷ <https://emis.vito.be/nl/erkende-laboratoria/bodem-en-afvalstoffen-ovam/compendium-cma>

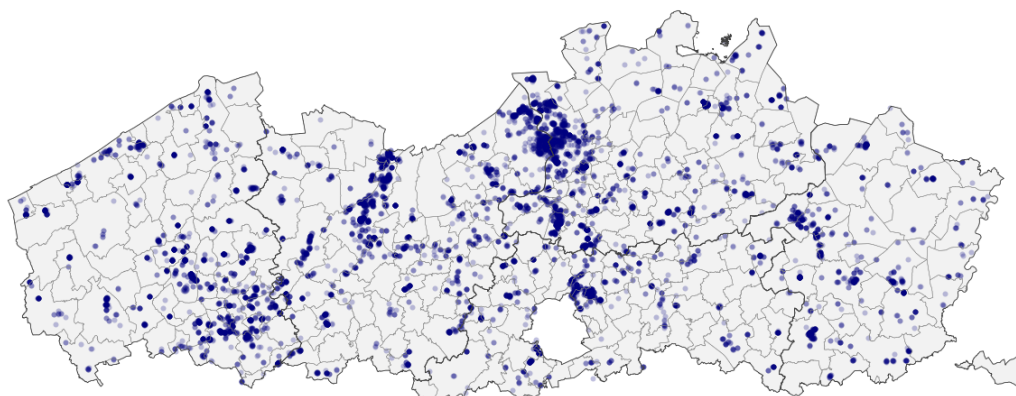
⁸ <https://emis.vito.be/nl/erkende-laboratoria/water-gop/compendium-wac>

⁹ <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>

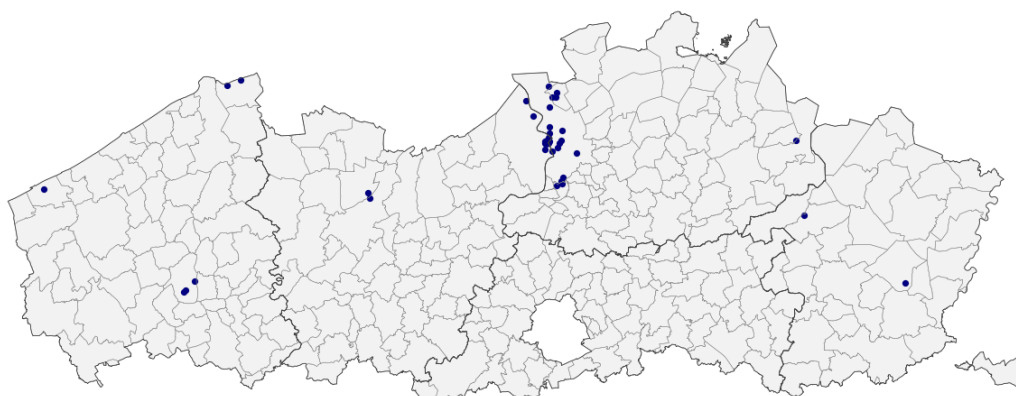
Vaste deel van de aarde (11535)



Grondwater (11375)



Lucht (42)



Figuur 1. Ruimtelijke spreiding van de unieke meetpunten (totale aantallen weergegeven tussen haakjes boven elke deelfiguur), per onderzochte omgevingsmatrix, waarvoor er PFAS-analyseresultaten beschikbaar worden gemaakt via de PFAS-verkenner Bron: DOV, VMM (voor meetgegevens in lucht).

Tabel 1. Geanalyseerde PFAS-parameters met overeenkomstig aantal unieke meetpunten per onderzochte omgevingsmatrix, alsook het aantal unieke meetpunten met meetwaarde boven de kwantificatielimiet. De vermelding van L tussen haakjes na een parameternaam wil zeggen dat het metingen betreft van uitsluitend de lineaire niet-vertakte vorm van de overeenkomstige parameter. Een parameternaam dat eindigt op 'totaal' geeft aan dat het meetwaarden betreft van zowel de lineaire als vertakte vormen van de overeenkomstige parameter. Een vermelding van K tussen haakjes na een parameternaam, wat alleen bij somparameters voorkomt, betekent dat de somparameter enkel kwantitatief bepaalde parameters dekt, en dus geen indicatieve parameters. De bron van de meetgegevens in het vaste deel van de aarde en grondwater is de PFAS-verkenner (DOV), en de bron van meetgegevens in lucht is VMM. De waarden voor Som PFAS-20 in grondwater zijn verkregen via eigen verwerking van de gegevens uit de PFAS-verkenner.

Groep	Parameter	Aantal unieke meetpunten			Aantal uniek meetpunten met meetwaarde $\geq$ kwantificatielimiet		
		Vaste deel van de aarde	Grondwater	Lucht (gasvorm /zwevend stof)	Vaste deel van de aarde	Grondwater	Lucht (gasvorm /zwevend stof)
PFSA	PFOS (L)	3921	6394	42	2040	3032	42
	PFOS totaal	10518	10551	42	7457	5342	42
	PFBS	11362	11175	42	727	6421	42
	PFD oDS	10894	10839	42	306	21	42
	PFDS	11335	11102	42	406	108	42
	PFECHS	9550	9564	42	71	698	42
	PFHpS	11045	10988	42	671	1926	42
	PFHxS (L)	4614	5522	42	387	2274	42
	PFHxS totaal	9444	9352	42	1388	3931	42
	PFNS	11040	10863	42	455	247	42
	PFPeS	11045	10986	42	320	3085	42
	PFT rDS	1463	8657	41	7	22	41
	PFUnDS	1476	8817	41	7	21	41
PFCA	PFOA (L)	4299	6435	42	1063	4022	42
	PFOA totaal	9984	10614	42	3947	6538	42
	PFBA	11354	11150	42	2842	8705	42
	PFDA	11343	11156	42	1449	996	42
	PFD oDA	11318	11151	42	836	134	42
	PFHpA	11341	11162	42	1847	5926	42
	PFHxA	11363	11161	42	2347	7246	42
	PFHxDA	11304	11091	42	167	115	42
	PFNA	11343	11145	42	1522	1943	42
	PFODA	11196	11070	0	38	33	0
	PFPeDA	1	4123	0	0	28	0
	PFPeA	0	0	42	0	0	42
	PFT eDA	11328	11099	42	433	62	42
	PFT rDA	11335	11107	42	444	61	42
	PFUnDA	11343	11162	42	844	256	42

Groep	Parameter	Aantal unieke meetpunten			Aantal uniek meetpunten met meetwaarde ≥ kwantificatielimiet		
		Vaste deel van de aarde	Grondwater	Lucht (gasvorm /zwevend stof)	Vaste deel van de aarde	Grondwater	Lucht (gasvorm /zwevend stof)
PFASA	PFBSA	8213	8866	41	372	2075	41
	MePFBSA	7897	8795	41	77	508	41
	PFHxSA (L)	7720	8462	37	374	1078	37
	PFHxSA totaal	0	0	41	0	0	41
	PFOSA (L)	3883	4828	42	309	602	42
	PFOSA totaal	8514	8812	42	858	1079	42
	FOSAA	97	9	0	1	0	0
	EtPFOSAA (L)	0	0	42	0	0	42
	EtPFOSAA totaal	0	0	42	0	0	42
	EtPFOSA (L)	3888	4737	42	99	51	42
	EtPFOSA totaal	8538	8374	42	230	91	42
	MePFBSAA	7765	8648	41	75	792	41
	MePFOSA (L)	3894	4768	42	78	49	42
	MePFOSA totaal	8631	8481	42	222	114	42
	MePFOSAA (L)	10923	10913	42	484	664	42
	MePFOSAA totaal	0	0	42	0	0	42
n:2 FTS	4:2 FTS	11069	10984	0	8	255	0
	6:2 FTS	11255	10998	0	1311	3018	0
	8:2 FTS	11279	10994	22	644	593	22
	10:2 FTS	11283	10980	0	417	63	0
PAP	8:2 diPAP	10826	10839	42	123	107	42
	6:2 diPAP	10879	10841	42	186	138	42
	6:2 PAP	1	2	0	0	0	0
	6:2/8:2 diPAP	10716	10696	31	114	33	31
	8:2 PAP	208	122	0	0	0	0
PFECA	DONA	8145	7972	42	8	113	42
	HFPO-DA	10841	10768	42	121	559	42
SUM	EFSA-4 (K)	6854	8329	42	4480	5284	42
	Som PFAS (K)	7548	6584	42	5253	5148	42
	Som PFAS-20	/	8819	/	/	/	/

toetsingswaarden heeft voor het vaste deel van de aarde en lucht. Bij de berekening van Som PFAS-20 werd het *lower bound* principe toegepast, gebruik makend van de rapportagegrenzen van de kwantitatieve en indicatieve parameters beschreven in het WAC.

Na het toepassen van de hierboven uitgelegde aggregatie bij herhaalde metingen over verschillende dieptes, verkregen we de hieronder getoonde totale aantallen unieke meetpunten per parameter (**Tabel 1**). Deze tabel toont eveneens per parameter hoeveel unieke meetpunten een meetwaarde hebben boven de kwantificatielimiet (KL). Veel van de bemeaten PFAS-parameters vertonen typisch zeer lage concentraties. Voor meetwaarden die onder de kwantificatielimiet vallen, wat in de opgevraagde datasets aangegeven wordt met het meetconditieteken “<”, kan er met de door het overeenkomstige labo gehanteerde meettechniek geen betrouwbare waarde voor de overeenkomstige concentratie bepaald worden.

2.2.3.3 Toetsingswaarden

Een belangrijk aspect van de karakterisatie van de typegebieden is de mate waarin de overeenkomstige bemeaten sites (die minstens één meetpunt hebben binnen hun grenzen) met PFAS belast zijn. PFAS-belasting wordt doorgaans geëvalueerd aan de hand van de momenteel geldende toetsingswaarden, die gedefinieerd zijn voor sommige van de onderzochte stoffen en omgevingsmatrices. In **Tabel 2** tonen we de in deze analyse gebruikte toetsingswaarden en andere grenswaarden. Bemerk dat er naast deze toetsingswaarden ook nog andere toetsingswaarden momenteel van kracht zijn in Vlaanderen. Bemerk ook dat het hier niet steeds over strikt wettelijke toetsingswaarden gaat, omdat sommige van deze waarden onderdeel zijn van tijdelijke toetsingskaders, in afwachting van verdere uitwerking of het in voege treden van een reeds uitgewerkt kader. Voor het vaste deel van de aarde worden de rapportagegrens en de toetsingswaarde voor bodembestemmingstype III (woongebied) onderzocht voor PFOS en PFOA. Voor grondwater kijken we naar de rapportagegrens en de toetsingswaarde voor Som PFAS Kwantitatief en Som PFAS-20. Voor PFAS in lucht, als gasvorm of zwevend stof, maken we gebruik van de toetsingswaarde wonen en landbouw voor de somparameter EFSA-4. De grens- en toetsingswaarden weergegeven in **Tabel 2** worden beschreven in het WAC, in het Tijdelijk Handelingskader Grondverzet (THK)¹⁰, of in het rapport “Bepalen toetsingswaarden voor PFAS in omgevingslucht”¹¹. De toetsingswaarden in bodem en grondwater werden gekozen voor deze analyse omdat ze een op zijn minst impliciete betekenis hebben voor humane blootstelling aan PFAS in de woonomgeving.

2.2.3.1 Sites met PFAS-verdachte activiteiten

Om sites in Vlaanderen met een historische of nog steeds actieve PFAS-verdachte activiteit te identificeren, hebben we beroep gedaan op **vier databronnen**. Een eerste databron is de **PFAS-screening**, waarbij OVAM in samenwerking met de Vlaamse gemeenten in de loop van 2021 tot 2023 voor een aantal PFAS-verdachte activiteiten een inventaris heeft gemaakt van sites met een verhoogde kans op PFAS-verontreiniging in bodem. Deze inschatting werd gemaakt op basis van de

¹⁰ De volledige titel van het document waarin het THK beschreven wordt is “Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van een tijdelijk handelingskader voor het gebruik van PFAShoudende bodemmateriële en voor de invulling van het saneringscriterium, vermeld in artikel 19, §1, van het Bodemdecreet van 27 oktober 2006, voor PFAS-houdende bodem”. Dit document kan via de volgende link geconsulteerd worden:

<https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/pfas-normenkader-voor-bodemsanering-en-grondverzet>

¹¹ <https://vmm.vlaanderen.be/publicaties/bepalen-toetsingswaarden-voor-pfas-in-omgevingslucht-en-in-depositie-omgevingslucht>

Tabel 2. PFAS-toetsingswaarden en rapportagegrenzen, in bodem, grondwater en lucht, die gebruikt worden in deze analyse en die in 2024 van toepassing waren in Vlaanderen.

Medium	Parameter	Naam grenswaarde	Grens- waarde	Eenheid	Bron	Jaar invoer- ing
Vaste deel van de aarde	PFOS	Rapportagegrens	0.5	µg/kg ds	CMA/3/D	2023
		Toetsingswaarde – bodembestemmingstype III (woongebied)	4.9	µg/kg ds	THK	2023
	PFOA	Rapportagegrens	0.5	µg/kg ds	THK	2023
		Toetsingswaarde – bodembestemmingstype III (woongebied)	7.9	µg/kg ds	THK	2023
Grondwater	Som PFAS (K)	Rapportagegrens	20	ng/l	WAC/IV/A/025	2024
		Toetsingswaarde	500	ng/l	THK, Richtlijn (EU) 2020/2184	2023
	Som PFAS-20	Rapportagegrens	50	ng/l	WAC/IV/A/025	2024
		Toetsingswaarde	100	ng/l	THK, Richtlijn (EU) 2020/2184	2022
Lucht	EFSA-4 (K)	Toetsingswaarde (wonen en landbouw)	0.4	ng/m ³	Rapport toetsings- waarden PFAS in omgevings- lucht	2024

gemeentelijke vergunningsregisters, literatuuronderzoek en terreinkennis van de lokale besturen. De belangrijkste beperkingen van deze databron zijn onvolledigheid en het gegeven dat de screening ondertussen deels gedateerd is.

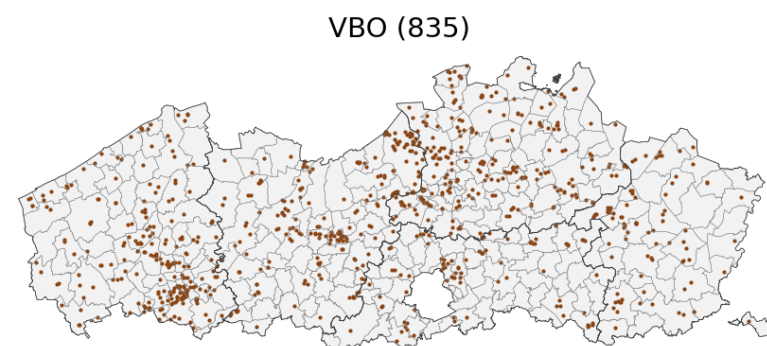
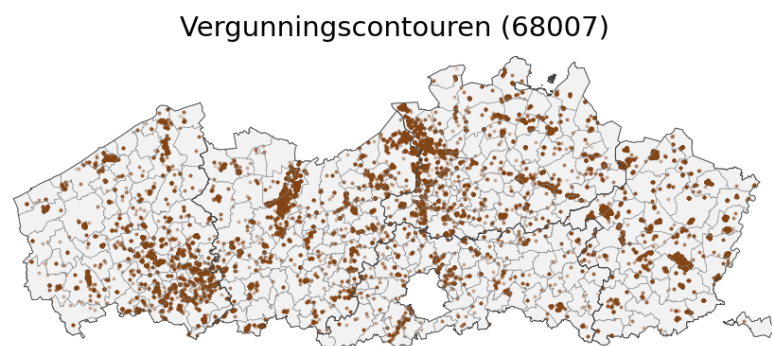
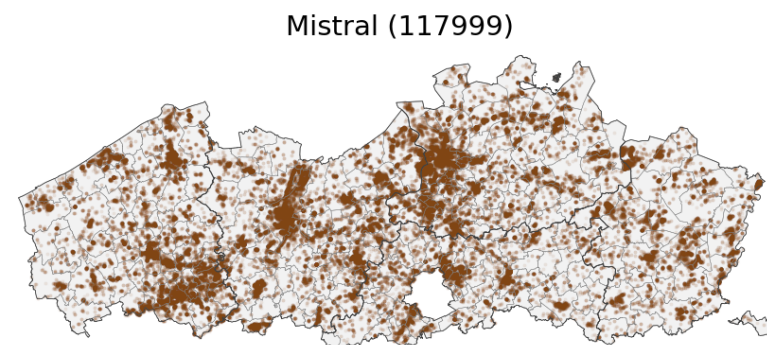
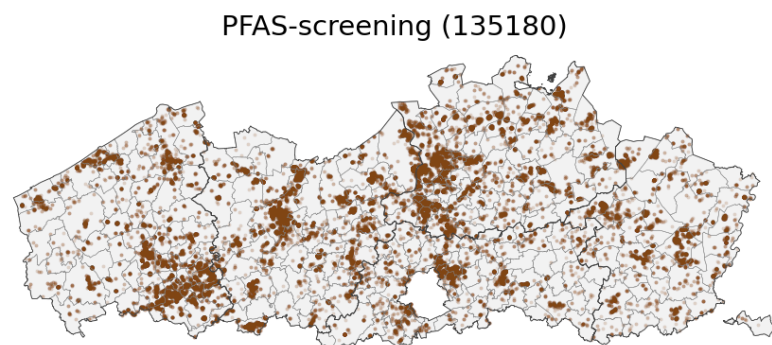
Een tweede gebruikte bron is de **Mistral-databank** van OVAM, waarin er sinds de jaren '90 gegevens verbonden aan bodemonderzoeken en -attesten worden bijgehouden met het oog op het ondersteunen van de gelijknamige online tool van OVAM. Hoewel Mistral geen vergunningsregister is, worden er in deze databank ook ruimtelijke gegevens bijgehouden van sites die opgenomen zijn in een omgevingsvergunningsaanvraag met één of meerdere VLAREBO-rubrieken. Zowel de PFAS-screening als Mistraldata, beide aangeleverd door OVAM, omvatten perceelsgrenzen met overeenkomstige VLAREBO-rubrieken die gelinkt kunnen worden aan een PFAS-verdachte activiteit. Hoewel deze bron zeker nuttig is voor dit onderzoek, merken we toch op dat de Mistral-databank een ander doel dient dan wat er hier beoogd wordt. Er is ook geen enkele garantie dat de gegevens in deze bron volledig zijn.

De derde gebruikte databron omvat **contouren van omgevingsvergunningsaanvragen** ingediend bij het omgevingsloket van Departement Omgeving. De gebruikte vergunningscontouren beschrijven ingedeelde inrichtingen met de overeenkomstige activiteiten, wat zich ruimtelijk veelal vertaalt naar verzamelingen van percelen. Voor deze analyse behouden we enkel de contouren van vergunningsplichtige activiteiten met één of meerdere VLAREM-rubrieken die gelinkt kunnen worden aan een PFAS-verdachte activiteit. Een belangrijke beperking hier is dat vergunningsaanvragen maar sinds 2018 gecentraliseerd worden in het omgevingsloket. Eerdere aanvragen maken dus geen deel uit van deze dataset. De vergunningscontouren zelf kunnen gedownload worden via Datavindplaats¹², maar de VLAREM-rubrieken gekoppeld aan deze contouren worden enkel op aanvraag door Departement Omgeving vrijgegeven. Deze data werden uiteindelijk ook aangevraagd en aangeleverd.

Ten slotte keken we voor brandincidenten en brandweeroefenterreinen (BWOT), beide PFAS-verdachte activiteiten zonder VLAREM-rubriek, naar de overeenkomstige **no regret-zones** die publiek gemaakt worden via de PFAS-verkenner. Voor deze sites wordt er door OVAM, aan de hand van Verkennende Bodemonderzoeken (VBO), stelselmatig geëvalueerd of er al dan niet PFAS-verontreiniging voorkomt in bodem of grondwater. Sites van dit type waarbij er na uitvoering van een VBO geen verontreiniging werd vastgesteld, worden als niet-risicovol beschouwd en worden dan ook niet meegenomen in deze analyse.

In **Figuur 2** tonen we de ruimtelijke spreiding van deze sites per databron. Hoewel ze elkaar deels aanvullen, bestaat er ook een grote mate van overlap tussen deze bronnen, die zowel van ruimtelijke, temporele als thematische aard kan zijn. Met uitzondering van de VBO-data kunnen deze sites immers betrekking hebben op identieke VLAREM-rubrieken, en bij uitbreiding dus ook identieke typegebieden. Rekening houdend met de uitgesproken persistentie van PFAS-verontreiniging, vereenvoudigden we deze data alvast deels door de tijdsdimensie in de vergunningsgegevens niet in beschouwing te nemen voor onze analyse. Ook, in geval van (gedeeltelijke) ruimtelijke overlap tussen sites van hetzelfde typegebied, werden deze sites samengevoegd tot één aaneengesloten gebied. Hiermee vermeden we dat het aantal sites per typegebied kunstmatig opgedreven werd ten gevolge van de overlap tussen de gebruikte databronnen. Omgekeerd werden sites die een verzameling zijn van niet aan elkaar grenzende stukken grond ook opgesplitst. De beschouwde VLAREM-rubrieken die

¹² <https://www.vlaanderen.be/datavindplaats/catalogus/omgevingsloket-exploitatie-van-een-ingedeelde-inrichting-of-activiteit-v2>



Figuur 2. Locaties van de in deze studie **onderzochte** PFAS-verdachte sites, hier georganiseerd per databron: PFAS-screening, Mistral, Vergunningscontouren en VBO. Het cijfer tussen haakjes geeft het overeenkomstig totaal aantal gekende sites weer. Bemerk dat er een gedeeltelijke overlap kan bestaan tussen deze databronnen. De geometrieën van de individuele sites worden in deze figuur vereenvoudigd weergegeven met het overeenkomstige middelpunt. Merk ook op dat deze figuur de onderzochte PFAS verdachte sites weergeeft, en niet enkel de sites met bevestigd overschrijding van toetsingswaarden (dit komt in een hoofdstuk 2.3.2.2 aan bod). Bronnen: OVAM, Departement Omgeving.

gelinkt kunnen worden aan een PFAS-verdachte activiteit, alsook de opdeling van deze rubrieken naar PFAS-typegebieden, worden verderop besproken in **2.3.1**.

2.2.4 Aanpak per analyse

2.2.4.1 Aanpak Analyse 1 – Dekkingsgraad

Alle gekende sites van de beschouwde typegebieden werden ruimtelijk gekruist met de beschikbare meetpunten, per omgevingsmatrix. Als een site minstens één meetpunt bevat binnen zijn grenzen dan werd het gelabeld als gedekt (bemeten) voor de overeenkomstige omgevingsmatrix. In het tegengestelde geval werd de site als ongedekt (niet-bemeten) gelabeld. Op basis van deze binaire dekkingswaarde werden er dan absolute sommen en relatieve frequenties berekend die de dekkingsgraad per typegebied en omgevingsmatrix beschrijven.

2.2.4.2 Aanpak Analyse 2 – Overschrijdingsgraad

Voor deze analyse werden de sites van de typegebieden opnieuw ruimtelijk gekruist met de meetpunten. Hier werkten we enkel verder met sites die minstens één meetpunt bevatten binnen hun grenzen. We beperkten ons ook tot het analyseren van overschrijdingen t.o.v. de toetsingswaarden beschreven in **Tabel 2**. Bijgevolg keken we voor het vaste deel van de aarde enkel naar de meetwaarden van de parameters PFOStotaal en PFOAtotaal, voor grondwater naar Som PFAS Kwantitatief en Som PFAS-20, en voor lucht naar EFSA-4. Per site behielden we van alle overlappende meetpunten de hoogste meetwaarde voor deze parameters en omgevingsmatrices. De overeenkomstige meetwaarden werden dan geclassificeerd naargelang de mate van overschrijding van de eerder besproken toetsingswaarden. Bij overschrijding van de toetsingswaarde-bestemmingstype III in bodem spreken we van PFAS-belasting. Bij overschrijding van 10 keer de toetsingswaarde spreken we van sterke PFAS-belasting. En bij overschrijding van 100 keer de toetsingswaarde spreken we uiteindelijk van zeer sterke PFAS-belasting. Deze overschrijdingen werden op analoge wijze in grondwater en lucht bepaald. De veelvouden van de toetsingswaarde hebben hier uitsluitend indicatieve betekenis, ze hebben geen link met een wettelijk kader of een gezondheidkundige richtlijn, maar ze laten ons wel toe om lichtere en sterkere overschrijdingen van elkaar te onderscheiden. Op basis van deze classificatie berekenden we dan per typegebied, stof en medium de fracties van overschrijdingen in de overeenkomstige bemeten gronden.

2.2.4.3 Aanpak Analyse 3 – Fingerprinting

De samenstelling van het PFAS-profiel, ook wel gekend als de *PFAS-fingerprint*, kan eveneens nuttig zijn om de humane gezondheidsrisico's beter in te schatten. Voor deze analyse namen we eerst de meetpunten die voor minstens één genormeerde stof een overschrijding vertonen van de toetsingswaarde-bestemmingstype III, in het vaste deel van de aarde, of de toetsingswaarde, in grondwater. Om de *fingerprint* van een bepaald typegebied op te stellen namen we dan de deelverzameling van deze meetpunten die binnen de grenzen van een overeenkomstige site liggen. In tegenstelling tot Analyse 2 willen we hier de meetwaarden tonen van alle bemeten PFAS-parameters, en niet enkel van de parameters met toetsingswaarden. Om dit te faciliteren werden de meetwaarden geclassificeerd met een logaritmisch waardeninterval, om een beter beeld te kunnen vormen van de grootteordes van deze meetwaarden. Vervolgens werden er per typegebied fracties berekend van deze geclassificeerde grootteordes. De *fingerprint* werd dan uiteindelijk visueel bekomen door deze fracties in grafiekvorm voor te stellen.



2.3 RESULTATEN

2.3.1 PFAS-typegebieden verkregen via bevraging van de betrokken entiteiten

Op basis van de bevraging van en het overleg met de betrokken entiteiten OVAM, VMM, Departement Zorg en Departement Omgeving, waarvan de werkwijze en tijdslijn werden meegegeven in **2.2.1**, verkregen we uiteindelijk een lijst van 650 unieke VLAREM-rubrieken die gelinkt kunnen worden aan een PFAS-verdachte activiteit. De bulk van deze lijst komt overeen met activiteiten waarvan ingeschat wordt dat ze een hoge kans op PFAS-bodemvervuiling hebben, zoals aangegeven in het rapport “PFAS-verdachte activiteiten voor grond-, grondwater- en waterbodem-verontreiniging”¹³. Om een werkbaar aantal typegebieden te verkrijgen werden bepaalde rubrieken/activiteiten die behoren tot een gelijkaardige industriële tak samengevoegd. Zo vallen bv. de VLAREM-rubrieken 41.3.3°a) en 41.4.3°a), respectievelijk voorbehandelen/behandelen/veredeling van textiel en textiel waterafstotend maken, beide tot het typegebied textiel. Bemerkt opnieuw dat we ons hier enkel baseren op rubrieken van (deel)activiteiten van industriële takken die volgens de betrokken entiteiten een verhoogde kans hebben op PFAS-verontreiniging. Uit de lijst van 650 rubrieken werden er uiteindelijk 32 PFAS-typegebieden geïdentificeerd, onderverdeeld in 3 PFAS-typegebiedsgroepen: (1) industrie, (2) afvalverwerking en grondverzet en (3) brandweer-gerelateerde activiteiten. De term grondverzet wordt hier als noemer gebruikt voor activiteiten m.b.t. zowel opslag, verwerking en verzet van bodemmateriële. De hier voorgestelde omlijning van de typegebieden volgt in grote mate, maar niet volledig, de groeperingen *sector* en *activiteit* die OVAM hanteert voor de definities van de PFAS-verdachte activiteiten in bodem, grondwater en waterbodem¹⁴. We benadrukken hierbij dat deelactiviteiten van een industriële tak die geen of enkel laag ingeschatte kansen hebben op PFAS-verontreiniging, niet weerhouden werden voor onze analyse. M.a.w., de typegebieden kunnen niet steeds veralgemeend worden naar de volledige verzameling van activiteiten behorende tot de gelijknamige industriële tak. De lijst van de 32 typegebieden met opdeling naar groep wordt weergegeven in **Tabel 3**. De ruimtelijke spreiding van gronden met PFAS-risicoactiviteit, die eerder apart per databron werd getoond in **Figuur 2**, wordt nu ook apart getoond per typegebied in **Figuur 3**. De volledige lijst van de 650 gebruikte VLAREM-rubrieken, met opdeling naar typegebied en typegebiedsgroep, wordt in **Bijlage 1** meegegeven. Deze tabel is te omvangrijk om hier per activiteit te bespreken. We nodigen de belanghebbende lezer uit om deze tabel door te nemen om de precieze definities van de hier gebruikte PFAS-verdachte activiteiten te verkrijgen. In het vervolg van dit rapport werken we verder met de 32 PFAS-typegebieden voor analyse en bespreking.

¹³ <https://ovam.vlaanderen.be/nl/w/update-van-de-lijst-met-pfas-verdachte-activiteiten>

¹⁴ Zie Tabel 2 in het rapport “PFAS-verdachte activiteiten voor grond-, grondwater- en waterbodemverontreiniging”.

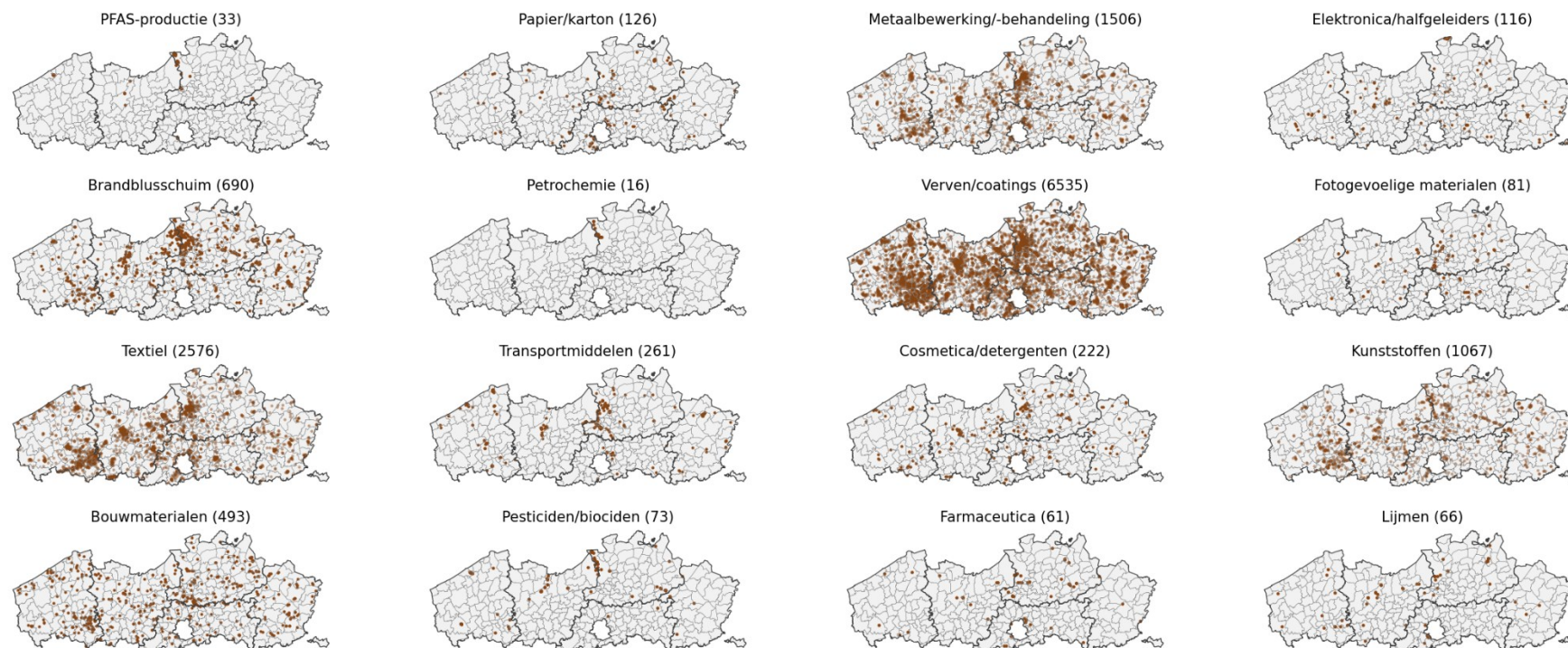


Tabel 3. Lijst van PFAS-typegebieden en typegebiedgroepen die afgelijnd werden via bevraging van en in overleg met de betrokken entiteiten.

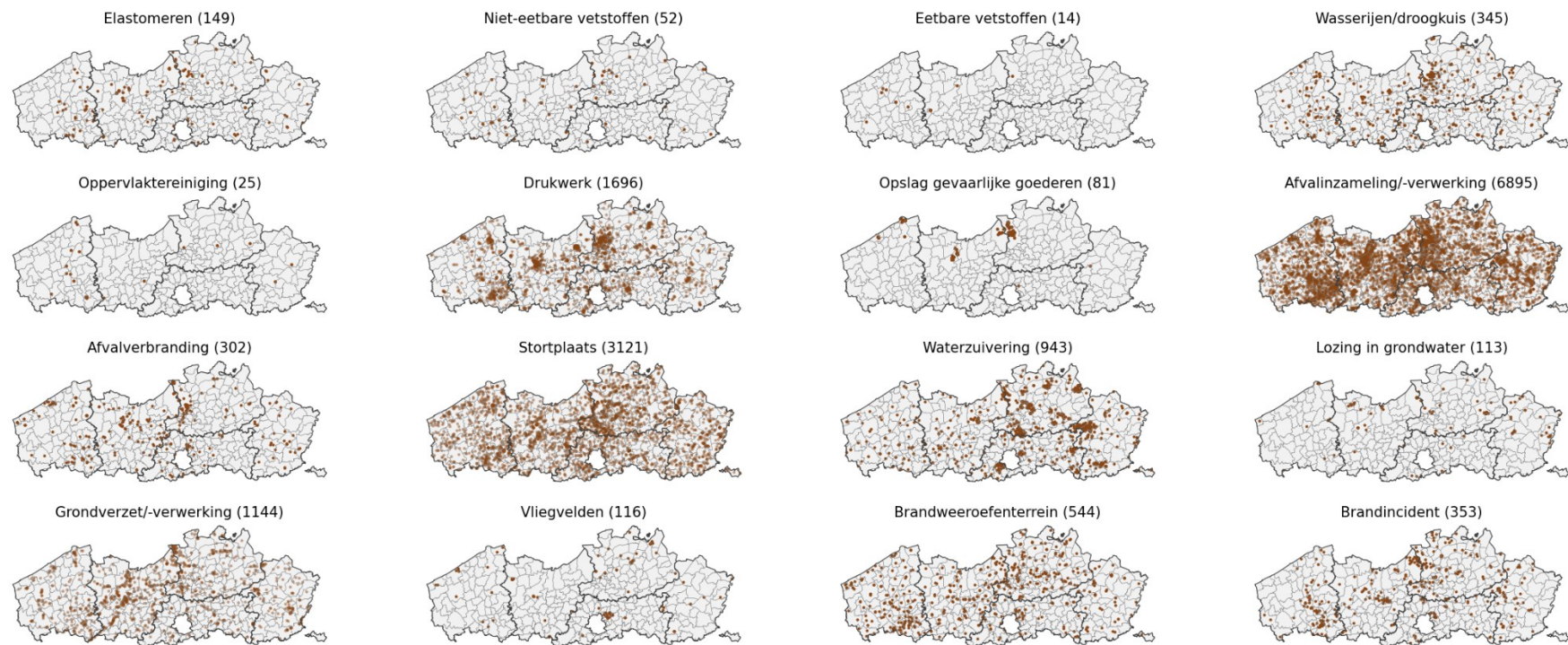
Typegebiedgroep	Typegebied-nummer	Typegebied*
Industrie	1	PFAS-productie
	2	Papier/karton
	3	Metaalbewerking/-behandeling
	4	Elektronica/halfgeleiders
	5	Brandblusschuim
	6	Petrochemie
	7	Verven/coatings
	8	Fotogevoelige materialen
	9	Textiel
	10	Transportmiddelen
	11	Cosmetica/detergenten
	12	Kunststoffen
	13	Bouwmaterialen
	14	Pesticiden/biociden
	15	Farmaceutica
	16	Lijmen
	17	Elastomeren
	18	Niet-eetbare vetstoffen
	19	Eetbare vetstoffen
	20	Wasserijen/droogkuis
	21	Oppervlaktereiniging
	22	Drukwerk
	23	Opslag gevaarlijke goederen
Afvalverwerking/grondverzet	24	Afvalinzameling/-verwerking
	25	Afvalverbranding
	26	Stortplaats
	27	Waterzuivering
	28	Lozing in grondwater
	29	Grondverzet/-verwerking
Brandweer-gerelateerde activiteiten	30	Vliegvelden
	31	Brandweeroefenterrein
	32	Brandincident

*: *Bemerk dat het voor de typegebieden onder de hoofdcategorie 'industrie' gaat om productiesites en niet over gebruik (bv. productiesites pesticiden en biociden: gronden waarop deze pesticiden en biociden gebruikt worden in de landbouw vallen hier niet onder).*





Figuur 3. Locaties van de in deze studie onderzochte PFAS-verdachte sites, georganiseerd per typegebied. Het cijfer tussen haakjes geeft het overeenkomstig totaal aantal gekende sites weer. De geometrieën van de individuele sites worden in deze figuur vereenvoudigd weergegeven met het overeenkomstige middelpunt. Bronnen: OVAM, Departement Omgeving, DOV.



Figuur 3-bis.

2.3.2 Data-analyse PFAS-typegebieden

2.3.2.1 Resultaten Analyse 1 - Dekkingsgraad

Tabel 4 geeft de **dekkingsgraad** weer per typegebied en omgevingsmatrix. Dekkingsgraad wordt enerzijds geëvalueerd door te kijken naar de absolute aantallen sites per typegebied die minstens één meetpunt hebben, en anderzijds via de fracties sites met minstens één meetpunt t.o.v. het totaal aantal gronden per typegebied. Hoewel er geen strikte definitie bestaat van wat hoge of lage dekkingsgraden zijn in de context van het soort onderzoek dat hier wordt voorgedragen, hebben we grenswaarden van 5 gronden en 5% van alle gekende gronden gehanteerd, overeenkomstig voor de absolute en relatieve dekkingsindicatoren. Dekkingsgraden die onder deze grenswaarden vallen worden als laag aanschouwd en worden met donkeroranje aangeduid in **Tabel 4**. Wanneer de beide dekkingsgraden van een typegebied onder de overeenkomstige grenswaarden vallen, kunnen we stellen dat de momenteel beschikbare PFAS-omgevingsdata het beoogde typegebied waarschijnlijk onvoldoende dekken om zinvolle uitspraken te doen binnen de context van dit onderzoek. In dit geval duiden we het overeenkomstige typegebied ook met donkeroranje aan in **Tabel 4**.

We delen drie bedenkingen bij de resultaten weergegeven in **Tabel 4**. Ten eerste is er het gegeven dat sommige typegebieden een beperkt aantal (gekende) sites hebben. De drie typegebieden petrochemie, oppervlaktereiniging en PFAS-productie vallen in het bijzonder op, met overeenkomstig slechts 16, 25 en 33 sites. Daartegenover staan enkele typegebieden met een zeer groot aantal gekende sites, zoals afvalinzameling/-verwerking en verven/coatings met overeenkomstig 19763, 6895 en 6535 sites. Let hierbij wel op dat sites in de context van dit onderzoek niet hetzelfde betekenen als vestigingen. Een vestiging, die administratief of commercieel gezien een eenheid vormt, kan geografisch gezien uit meerdere sites bestaan die ruimtelijk los van elkaar staan. Er bestaat dus geen analogie met hoe de omgevingsagentschappen dossiers of opdrachten ruimtelijk afbakenen, en onze resultaten kunnen dus niet hiermee vergeleken worden. Herinner ook dat de identificatie van typegebiedsites hier voornamelijk gebeurt a.d.h.v. omgevingsvergunningsdata, die betrekking kunnen hebben op historische activiteiten of zelfs op activiteiten die, ondanks het verkrijgen van een vergunning, mogelijk nooit hebben plaatsgevonden. Verwijzend naar het eerdere voorbeeld zijn er dus, naar alle waarschijnlijkheid, geen 33 fabrieken waarin PFAS-productie heeft plaatsgevonden in Vlaanderen. Een tweede belangrijke opmerking bij de resultaten in **Tabel 4** is dat er bij de omgevingsmatrix lucht voor alle typegebieden een lage tot onbestaande dekkingsgraad hebben. Bijgevolg werd er dan ook besloten om in wat volgt geen verdere resultaten verbonden aan lucht te rapporteren, gezien er tenminste voor de met deze studie beoogde analyses momenteel nog niet voldoende meetpunten beschikbaar zijn in deze omgevingsmatrix. Ten derde stellen we vast dat er in de media vaste deel van de aarde en grondwater ook enkele typegebieden zijn met beperkte dekkingsgraden, hoewel er in elk geval wel minstens één site met een meetpunt bestaat. De zes typegebieden met een zeer lage dekkingsgraad zijn elektronica/halfgeleiders, fotogevoelige materialen, niet-eetbare vetstoffen, eetbare vetstoffen, oppervlaktereiniging en lozing in grondwater. We raden hoe dan ook aan om in wat volgt alle resultaten met de nodige voorzichtigheid te interpreteren, in het bijzonder voor deze zes typegebieden. Tegelijk benadrukken we dat er op regelmatige basis meer PFAS-omgevingsdata worden vrijgegeven via de PFAS-verkenner, waardoor deze dekkingsgraden en bijgevolg de betrouwbaarheid van al onze resultaten beter zullen worden bij herhaalde uitvoering van de analyse op een later tijdstip.

Tabel 4. Dekkingsgraden van de gekende sites, i.e. de mate waarin ze één of meerdere meetpunten binnen hun grenzen hebben, hier weergegeven per typegebied. Herinner hierbij dat de ruimtelijke definitie van sites niet overeenkomt met die van commerciële vestigingen of PFAS-dossiers. Zie uitleg in 2.3.2.1. Herinner ook dat we met de beschikbare data geen compleet beeld hebben van de typegebiedsites in Vlaanderen.

Typegebied	Totaal aantal gekende sites	Aantal gekende sites met 1 of meerdere meetpunten binnen de grenzen van de site			Dekkingsgraad (%)		
		Grond-water	Lucht	Vaste deel van de aarde	Grond-water	Lucht	Vaste deel van de aarde
PFAS-productie	33	9	< 5	9	27.3	< 5	27.3
Papier/karton	126	9	< 5	11	7.1	< 5	8.7
Metaalbewerking/-behandeling	1506	178	< 5	151	11.8	< 5	10
Elektronica/halfgeleiders	116	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Brandblusschuim	690	83	< 5	75	12	< 5	10.9
Petrochemie	16	< 5	< 5	< 5	25	< 5	25
Verven/coatings	6535	266	< 5	232	< 5	< 5	< 5
Fotogevoelige materialen	81	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Textiel	2576	151	< 5	111	5.9	< 5	< 5
Transportmiddelen	261	16	< 5	20	6.1	< 5	7.7
Cosmetica/detergenten	222	9	< 5	9	< 5	< 5	< 5
Kunststoffen	1067	104	< 5	91	9.7	< 5	8.5
Bouwmaterialen	493	23	< 5	20	< 5	< 5	< 5
Pesticiden/biociden	73	19	< 5	15	26	< 5	20.5
Farmaceutica	61	< 5	< 5	8	11.5	< 5	13.1
Lijmen	66	< 5	< 5	< 5	6.1	< 5	6.1
Elastomeren	149	< 5	< 5	9	6	< 5	6
Niet-eetbare vetstoffen	52	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Eetbare vetstoffen	14	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Wasserijen/droogkuis	345	13	< 5	6	< 5	< 5	< 5
Oppervlaktereiniging	25	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Drukwerk	1696	86	< 5	70	5.1	< 5	< 5
Opslag gevaarlijke goederen	81	8	< 5	< 5	9.9	< 5	< 5
Afvalinzameling/-verwerking	6895	313	5	263	< 5	< 5	< 5
Afvalverbranding	302	30	< 5	23	9.9	< 5	7.6
Stortplaats	3121	225	< 5	190	7.2	< 5	6.1
Waterzuivering	943	69	< 5	52	7.3	< 5	5.5
Lozing in grondwater	113	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Grondverzet/-verwerking	1144	99	3	95	8.7	< 5	8.3
Vliegvelden	116	6	< 5	5	5.2	< 5	< 5
Brandweeroefenterrein	544	280	< 5	310	51.5	< 5	57
Brandincident	353	215	< 5	224	60.9	< 5	63.5

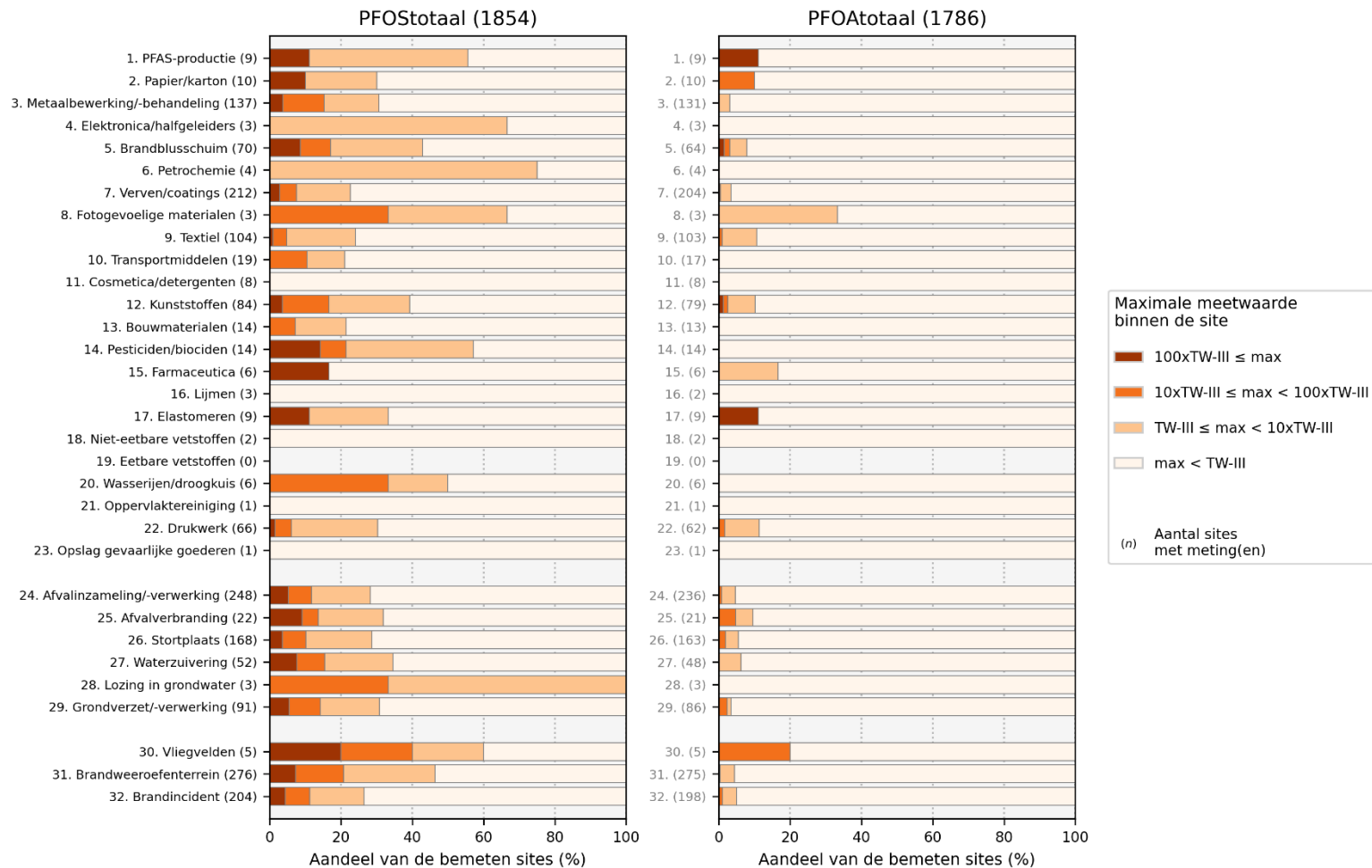
2.3.2.2 Resultaten Analyse 2 – Overschrijdingsgraad

De **overschrijdingsgraden** voor de toetsingswaarde-bestemmingstype III van PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} in het vaste deel van de aarde worden getoond in **Figuur 4**. **Figuur 5** toont de overschrijdingsgraden voor de toetsingswaarde van Som PFAS-20 en Som PFAS Kwantitatief in grondwater. Herinner dat we hier enkel kijken naar sites met minstens één meetpunt binnen hun grenzen. Het aantal sites met meetwaarde wordt in **Figuur 4** en **Figuur 5** steeds tussen haakjes meegegeven. Hieronder geven we de belangrijkste bedenkingen bij deze resultaten mee, in zoverre deze relevant zijn voor het vervolg van het rapport.

In **Figuur 4** zien we bij het vaste deel van de aarde dat voor PFOS_{totaal} de overschrijdingsgraden t.o.v. TW-III voor de meeste typegebieden tussen de 20% en 40% van de bemeten gronden schommelt. Er zijn uitschieters die boven deze waarde vallen, waaronder PFAS-productie en vliegvelden. Maar al deze typegebieden hebben, met uitzondering van pesticiden/biociden, minder dan 10 bemeten gronden. Het valt verder op dat sites van typegebieden die een TW-III-overschrijding vertonen dit doorgaans in een derde of meer van de overeenkomstige sites met een veelvoud overschrijden. Bij PFAS-productie zien we dat 1 van de 9 bemeten sites, meer bepaald de 3M-site te Zwijndrecht, een overschrijding van meer dan 100 maal de TW-III-waarde vertoont voor PFOS_{totaal}. Bij andere typegebieden zien we ook aanzienlijke fracties van de bemeten sites, gaande van 5% tot 20%, die zeer sterke PFOS-belasting vertonen, waaronder papier/karton, pesticiden/biociden, afvalverbranding, waterzuivering en brandweeroefenterreinen. Voor PFOA_{totaal} in het vaste deel van de aarde liggen de overschrijdingsgraden t.o.v. TW-III dan weer nagenoeg voor elk typegebied onder de 20%. Dit lijkt aan te tonen dat we in Vlaanderen voornamelijk een sterkere PFOS-belasting hebben in het vaste deel van de aarde.

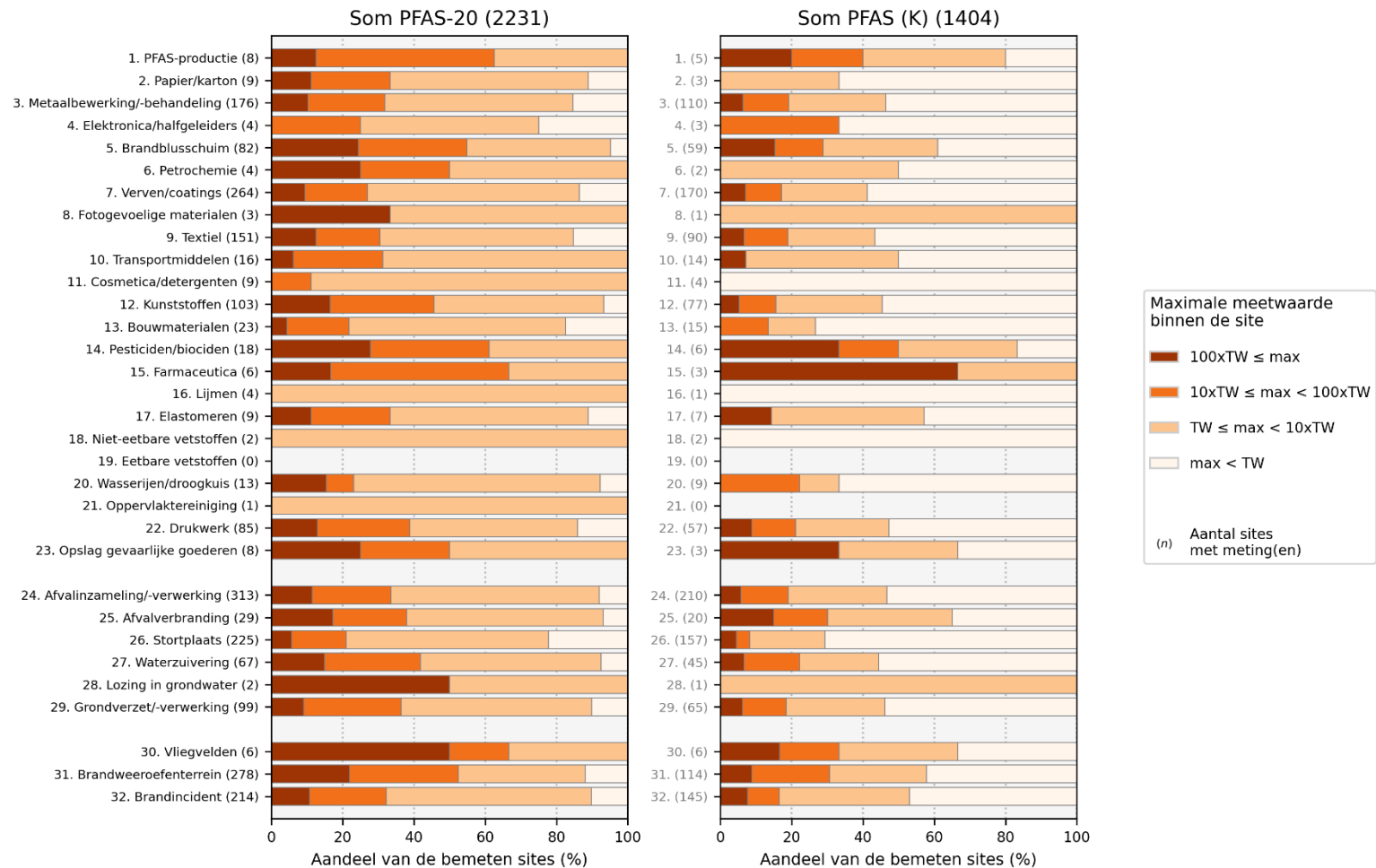
In **Figuur 5** stellen we eerst en vooral vast dat de overschrijdingsgraden in grondwater algemeen veel hoger liggen dan bij het vaste deel van de aarde. Voor Som PFAS-20 liggen de fracties bemeten gronden boven de toetsingswaarde bijna consistent boven de 80%. Zelfs als we enkel naar de meervoudige overschrijdingen van de toetsingswaarde kijken, blijven de percentages rond de 40% schommelen. Mogelijke uitschieters zijn de typegebieden PFAS-productie en vliegvelden, maar deze hebben beide ook een beperkt aantal bemeten sites. Voor Som PFAS Kwantitatief liggen de overschrijdingsgraden eerder rond de 40%, en de meervoudige overschrijdingsgraden rond de 20%. Deze cijfers zijn gevoelig lager dan bij Som PFAS-20, wat op zich niet mag verbazen gezien Som PFAS Kwantitatief meer parameters dekt maar een mindere strenge toetsingswaarde heeft. Daarbij omvatten beide somparameters de meest courant voorkomende PFAS-stoffen.

Overschrijding van de Toetsingswaarde - Bestemmingstype III (woongebied) in het vaste deel van de aarde



Figuur 4. Overschrijding van de toetsingswaarde-bestemmingstype III (TW-III) in sites met één of meerdere meetpunten in het **vaste deel van de aarde**, weergegeven per typegebied en voor de parameters PFOStotaal en PFOAtotaal. De cijfers tussen haakjes geven de overeenkomstige aantallen sites weer.

Overschrijding van de Toetsingswaarde in grondwater



Figuur 5. Overschrijding van de toetsingswaarde (TW) in sites met één of meerdere meetpunten in **grondwater**, weergegeven per typegebied en voor de somparameters Som PFAS-20 en Som PFAS Kwantitatief. De cijfers tussen haakjes geven de overeenkomstige aantallen sites weer.

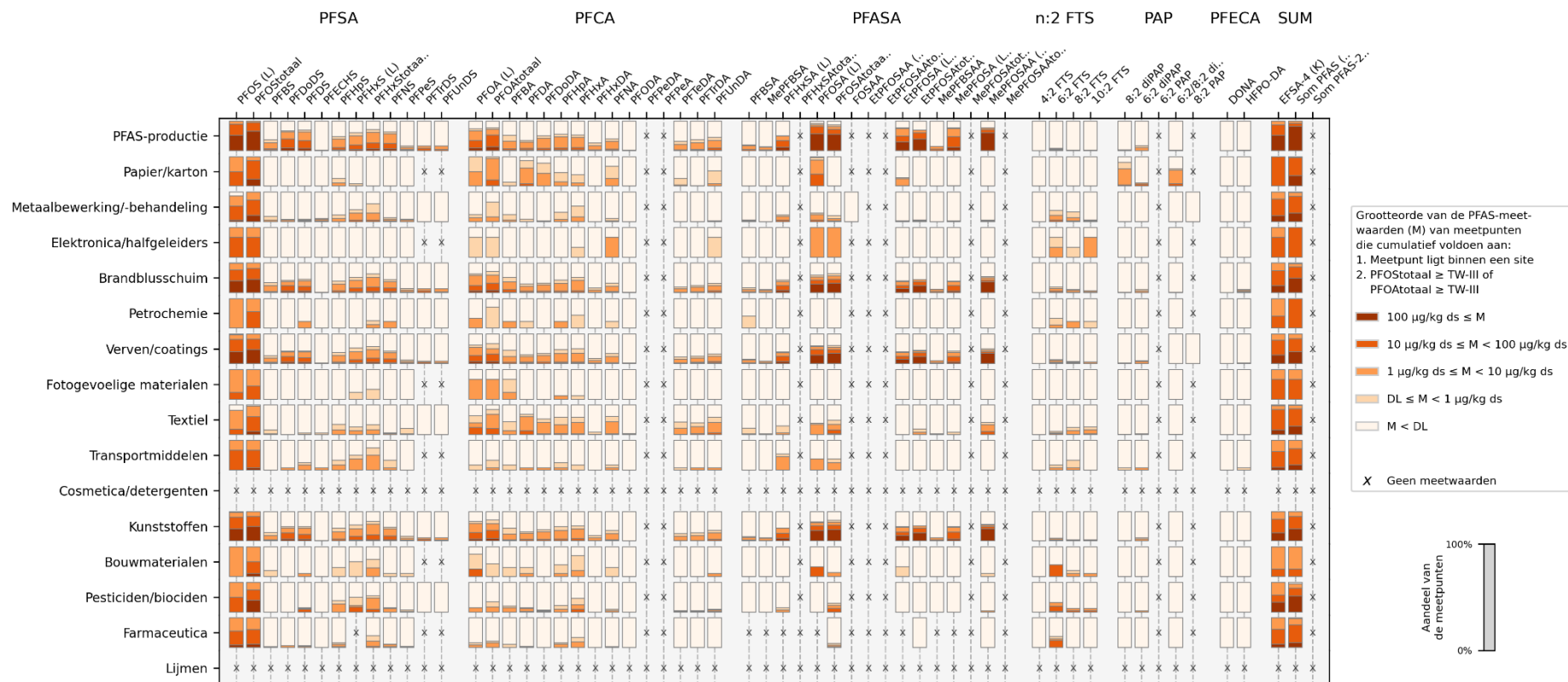
2.3.2.3 Resultaten Analyse 3 – Fingerprinting

De resultaten van de analyse PFAS-*fingerprinting* in het vaste deel van de aarde worden weergegeven in **Figuur 6**, en dezelfde resultaten voor grondwater worden getoond in **Figuur 7**. Voor elk van de in dit onderzoek beschouwde 32 typegebieden en 57 PFAS-parameters worden in deze figuren de samenstelling naar concentratiegrootteordes getoond voor alle meetpunten die binnen de grenzen van de overeenkomstige sites vallen. Een site wordt meegenomen in deze analyse als het voor minstens één parameters een maximale meetwaarde heeft dat gelijk is aan of hoger ligt dan de respectievelijke toetsingswaarde, wat overeenkomstig neerkomt op een overschrijding voor PFOS totaal of PFOA totaal t.o.v. TW-III in het vaste deel van de aarde, en voor Som PFAS-20 of Som PFAS Kwantitatief t.o.v. TW in grondwater. Hoe groter het aandeel van (donker)oranje kleuren is in elk van de balken weergegeven in **Figuur 6** en **Figuur 7**, hoe vaker er hogere concentraties gemeten worden voor de overeenkomstige typegebieden en stoffen. Bemerkt dat we hier een logaritmische schaal hanteren om de concentratiegrootteordes af te lijnen. Wanneer we deze samenstellingen over alle bemeeten parameters in beschouwing nemen voor een bepaald typegebied, door te kijken naar een bepaalde rij in **Figuur 6** of **Figuur 7**, dan verkrijgen we een visuele weergave van de PFAS-*fingerprint* van dat typegebied.

Een eerste observatie bij deze resultaten is dat sommige typegebieden geen bruikbare gegevens hebben wegens gebrek aan meetpunten in de sites. In het vaste deel van de aarde is dit het geval voor cosmetica/detergenten, lijmen, niet-eetbare vetstoffen, eetbare vetstoffen, oppervlaktereiniging en opslag van gevaarlijke goederen. In grondwater ontbreken er enkel waarden voor eetbare vetstoffen, wat mogelijk deels een gevolg is van het feit dat Som PFAS-20 via eigen verwerking verkregen werd in elk meetpunt. Als we zoeken naar de gelijkenissen tussen de profielen van de typegebieden, dan valt het op dat PFOS totaal en de somparameters over alle typegebieden heen verhoogde concentraties vertonen in het vaste deel van de aarde, terwijl er meer variatie waargenomen wordt in de andere parameters. In grondwater zien we bij de meeste typegebieden hoge waarden voor PFOS totaal, PFBS, PFHxS, PFOA totaal, PFBA, PFHpA, PFHxA en de somparameters. Er zijn echter ook verschillen waar te nemen tussen de profielen van de typegebieden. Zo scoren de PFASA-stoffen hoog bij de typegebieden PFAS-productie, brandblusschuim, verven/coatings, kunststoffen en elastomeren, en dit zowel in het vaste deel van de aarde als grondwater. Bij de andere typegebieden hebben de PFASA-parameters eerder lage waarden, maar er zijn ook typegebieden die dan weer opvallen door verhoogde concentraties in een andere stoffengroep, zoals bv. pesticiden/biociden, opslag gevaarlijke goederen, afvalverbranding, vliegvelden en brandweeroefenterreinen die hoger scoren op één of meerdere parameters van de n:2 FTS-groep, in bodem en/of grondwater. Nog een verschil kan vastgesteld worden bij afvalverbranding, die nagenoeg als enige typegebied verhoogde concentraties vertoont in bodem en grondwater voor de parameter HFPO-DA van de PFECA-stoffengroep.

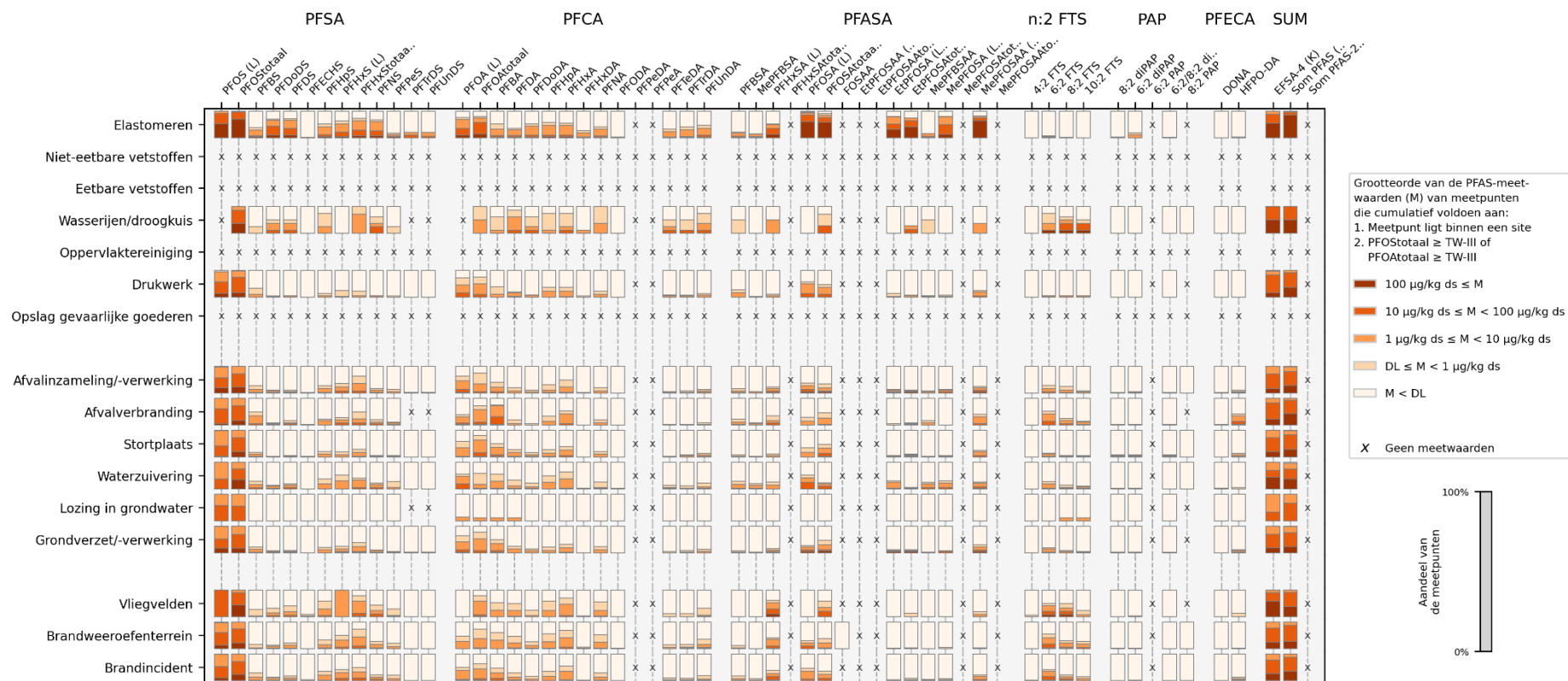
Een beoogde toepassing van PFAS-fingerprinting is nagaan of PFAS-belasting waargenomen op een bepaalde locatie gelinkt kan worden aan één of meerdere bronactiviteiten met herkenbare profielen, waarvan er zich al dan niet sites van de overeenkomstige typegebieden in de nabije omgeving kunnen bevinden. Voor deze studie zijn we echter vooral geïnteresseerd in de mogelijke gezondheidsrisico's van PFAS-blootstelling.

PFAS-fingerprint van meetpunten die gelegen zijn binnen een site en een TW-III-overschrijding hebben in het vaste deel van de aarde



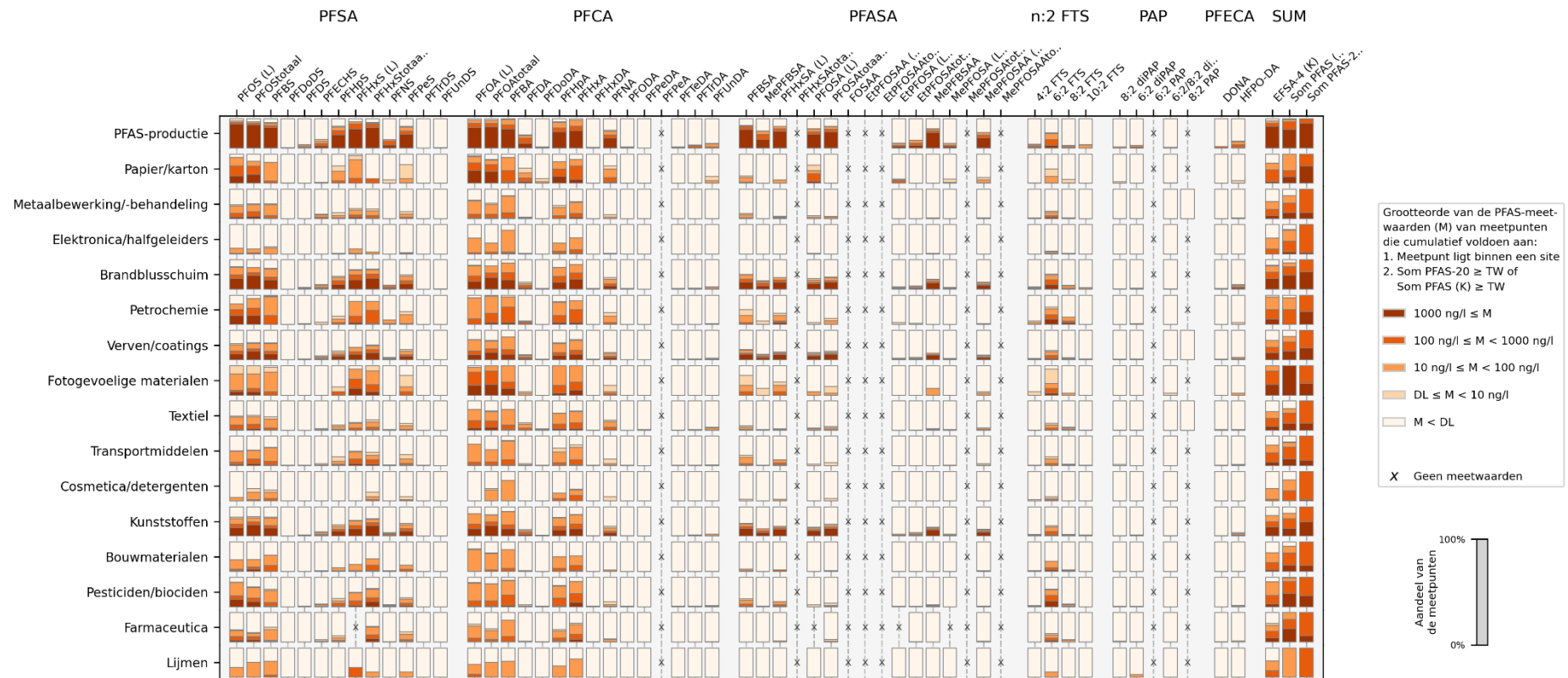
Figuur 6. PFAS-fingerprint in het vaste deel van de aarde, weergegeven per typegebied. De rijen in deze figuur stellen de typegebieden voor, en de kolommen de bemeten PFAS-parameters die op hun beurt per stoffengroep georganiseerd zijn.

PFAS-fingerprint van meetpunten die gelegen zijn binnen een site en een TW-III-overschrijding hebben in het vaste deel van de aarde



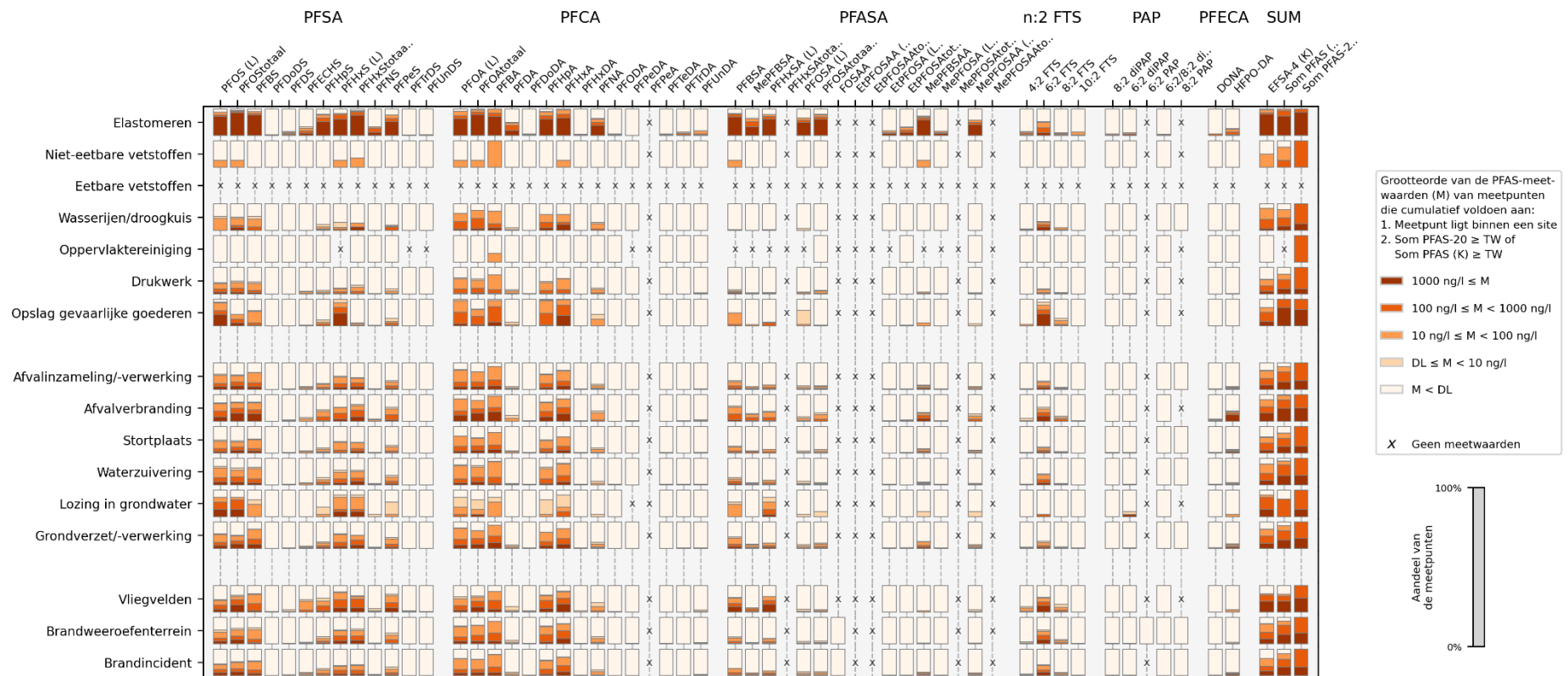
Figuur 6-bis.

PFAS-fingerprint van meetpunten die gelegen zijn binnen een site en een TW-overschrijding hebben in grondwater



Figuur 7. PFAS-fingerprint in grondwater, weergegeven per typegebied. De rijen in deze figuur stellen de typegebieden voor, en de kolommen de bemeaten PFAS-parameters die op hun beurt per stoffengroep georganiseerd zijn.

PFAS-fingerprint van meetpunten die gelegen zijn binnen een site en een TW-overschrijding hebben in grondwater



Figuur 7-bis.

Het onderzoek naar de effecten van PFAS-blootstelling op de gezondheid op lange termijn is nog in volle ontwikkeling. Voor een aantal stoffen, voornamelijk lange ketens zoals PFOA, PFOS, PFNA en PFHxS, is de evidentie al vrij groot, en zijn er associaties aangetoond tussen blootstelling en allerlei aandoeningen, of risicofactoren voor aandoeningen, gaande van kankers, aandoeningen van het immuunsysteem, vruchtbaarheidsproblemen, verlaagd geboortegewicht, ontwikkelingsproblemen alsook hormonale en metabolische afwijkingen^{15,16}. Verder zijn er voor deze stoffen (of mengsel) goed onderbouwde gezondheidskundige toetsingswaardes voor PFAS in serum (bv. voor PFOS, PFOA, en som 4 EFSA PFAS). Voor een reeks andere PFAS-verbindingen is de kennis m.b.t. effecten op humane gezondheid eerder beperkt, maar omwille van overeenkomsten in structuurformules en indicaties uit dierproefstudies en *in vitro* testen, is het aannemelijk dat ook andere PFAS-verbindingen deze gezondheidsuitkomsten negatief kunnen beïnvloeden. Meer nog, de wetenschappelijke evidentie wijst uit dat men best naar het effect van het PFAS-mengsel kijkt vermits verschillende stoffen additief (of mogelijks synergistisch) kunnen werken (een stof per stof benadering zou het risico onderschatten). Deze kennis i.v.m. mengseltoxiciteit is ook nog in volle ontwikkeling. Bijgevolg dienen we zeker voldoende aandacht te hebben voor andere PFAS-verbindingen dan 4 EFSA, en kan het aangewezen zijn om in HBM-opzet een vrij breed palet van PFAS-blootstellingsmarkers te includeren. Op die manier draagt men bij aan kennisopbouw en kunnen ook resultaten van andere PFAS-metingen in de toekomst beter geïnterpreteerd worden i.f.v. impact op gezondheid. De fingerprinting van de bodem- en grondwaterstalen kan dus een toepassing hebben om te identificeren welke PFAS-verbindingen men best kan opnemen in de selectie van PFAS-biomarkers bij bepaalde typegebieden (zie verder).

2.4 CONCLUSIE

In dit hoofdstuk stelden we in samenwerking met de betrokken entiteiten een typologie op van PFAS-typegebieden. We gaven eveneens een ruimtelijk overzicht van de overeenkomstige typegebiedsites in Vlaanderen. Met de drie uitgevoerde data-analyses die in dit hoofdstuk gepresenteerd werden schetsten we voorts een beeld van (1) de mate waarin deze typegebiedsites gedekt worden door de momenteel beschikbare PFAS-omgevingsdata, (2) de mate waarin de maximale meetwaarden binnen de grenzen van de sites de toetsingswaarden overschrijden, en (3) de samenstelling en vorm van de *fingerprints* van de PFAS-belasting die voorkomt binnen deze sites. Gelet op het feit dat er momenteel nog zeer weinig data beschikbaar zijn in lucht, werden deze analyses beperkt tot de omgevingsmatrices bodem en grondwater. Deze resultaten zijn een eerste belangrijke stap richting het verkrijgen van werkbare informatie waarmee men het maatschappelijke en strategische belang van de verschillende typegebieden kan inschatten voor de HBM-studie. We geven de uitvoerders van dit onderzoek hiermee alvast een ruimtelijke en kwantitatieve basis aan achtergrondkennis mee. Het volgende hoofdstuk bouwt verder op deze resultaten om ook een beeld te vormen van de bevolking die woonachtig is binnen bepaalde stralen rond de typegebiedsites met PFAS-belasting.

Eerder werden er al enkele belangrijke bedenkingen gedeeld over de gebruikte data. We herhalen hier dat zowel de PFAS-omgevingsdata als de gegevens die gebruikt werden om PFAS-typegebiedsites te identificeren verscheidene tekortkomingen vertonen, waaronder onvolledigheid, interne inconsistenties en overlap tussen de verschillende gebruikte bronnen, onduidelijkheid of er in de typegebiedsites effectief PFAS-verdachte activiteiten hebben plaatsgevonden, en indien wel, of er ook

¹⁵ *Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food*. EFSA. EFSA Journal, 18(9), 6223. 2020. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>

¹⁶ Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. ATSDR. 2021. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK592143/>

effectief uitstoot naar de omgeving heeft plaatsgevonden. Gelet op deze factoren kunnen we niet ontkennen dat de momenteel beschikbare data gedeeltelijk ongeschikt of op zijn minst deels onvoldoende zijn voor het vaststellen van een oorzakelijk verband tussen PFAS-belasting en de aanwezigheid van een PFAS-verdachte activiteit. PFAS-belasting aanwezig op een stuk grond kan verklaard worden door een veelheid aan factoren. Een waarschijnlijke -maar niet noodzakelijk sluitende- verklaring, indien van toepassing, is de aanwezigheid van een PFAS-verdachte activiteit op de site waar deze belasting wordt vastgesteld. De waargenomen PFAS-belasting kan eveneens een gevolg zijn van één of meerdere PFAS-verdachte activiteiten gelegen in de nabijheid, al dan niet op afstanden van enkele kilometers. Eveneens mogelijk is dat de PFAS-belasting op secundaire wijze verspreid werd uit een andere locatie met PFAS-verontreiniging, bv. via uitloging van vervuild water, via opwaaien van vervuilde bodemdeeltjes, of via grondverzet. Daarbij komt dat PFAS-uitstoot in de omgeving al minstens een halve eeuw plaatsvindt in Vlaanderen, in de eerste plaats via PFAS-productie maar ook via allerlei industriële, brandweer-gerelateerde en afvalverwerking-gerelateerde activiteiten. Ondanks deze enorme uitdagingen kunnen we het ons niet permitteren om geen actie te ondernemen met de beschikbare PFAS-data in Vlaanderen, die naar Europese normen al zeer uitgebreid en ruimtelijk gebiedsdekkend zijn. Daarom dringen we opnieuw aan om alle resultaten verkregen met onze analyses met de nodige voorzichtigheid te behandelen, en tegelijk om hier wel degelijk naar te handelen.

Ten slotte willen we er nogmaals op wijzen dat er voor de ruimtelijke gegevens van sites met een PFAS-verdachte activiteit, in tegenstelling tot de PFAS-omgevingsdata, geen unieke databron gevonden kon worden. Het ontbreken van een zogenaamde *single point of truth* veroorzaakt meerdere hindernissen en blijft het onderzoek naar PFAS in de Vlaamse omgeving bemoeilijken. Bijzonder problematisch voor een onderwerp als PFAS, waarvan de bulk van de uitstoot mogelijk al meerdere decennia geleden heeft plaatsgevonden, is de beperking dat er enkel gecentraliseerde vergunningsdata kunnen opgevraagd worden vanaf 2018. Een beleidsaanbeveling die we in het verlengde van dit hoofdstuk formuleren is dan ook om -al dan niet stapsgewijs- de bestaande vergunningeninventaris uit te breiden met bijkomende historische gegevens. Om het gebrek aan historische data te compenseren werd er hier beroep gedaan op data aangeleverd door OVAM, die locaties van sites die onder het VLAREBO-besluit vallen bijhoudt ter ondersteuning van de interne werking. Maar OVAM is niet belast met de decretale taak om een vergunningsregister bij te houden.

HOOFDSTUK 3. BEVOLKING WOONACHTIG IN DE NABIJHEID VAN TYPEGEBIEDSITES MET PFAS-BELASTING

3.1 DOELSTELLING

In dit deel van het onderzoek werken we verder met de resultaten besproken in het voorgaande hoofdstuk, met het doel om bijkomende ondersteunende informatie aan te bieden aan de organisatoren van de HBM-studie en om een voorstel uit te werken van selectiecriteria waarmee PFAS-typegebieden eventueel geprioriteerd kunnen worden. Een belangrijk punt voor de organisatie van deze HBM-studie is het verzekeren dat er voor de gekozen typegebieden voldoende kandidaat-deelnemers geïdentificeerd kunnen worden die woonachtig zijn binnen een bepaalde straal rond sites met een zekere mate van PFAS-belasting. In het volgende hoofdstuk, o.a. in sectie 5.5.2 waar er a.d.h.v. powerberekeningen minimale steekproefgroottes bepaald worden om voldoende precieze resultaten te bekomen met de HBM-studie, wordt de rol van de aantallen kandidaat-deelnemers per typegebied verder besproken. Ook van belang voor de HBM-studie is weten waar deze kandidaat-deelnemers gerekruteerd kunnen worden en met welke lokale besturen er samenwerking moet opgezet worden. We maken hier de bewuste keuze om enkel de aantallen inwoners te berekenen rond sites met een (sterke/zeer sterke) PFAS-belasting, om met meer -maar zeker geen volledige-zekerheid te bepalen waar omwonenden verhoogde PFAS-waarden kunnen hebben in hun bloed ten gevolge van deze belasting. Wegens de gelimiteerde databeschikbaarheid en het ontbreken van een uitgewerkt analytisch kader voor PFAS-brontracering kunnen we momenteel nog geen voldoende onderbouwde keuze meegeven van de afstanden rond specifieke sites waarin kandidaat-deelnemers gerekruteerd dienen te worden. Daarom definiëren we, ter informatie voor de uitvoerders van de HBM-studie en naar analogie met de *no regret*-maatregelen, een aantal **perimeters** met oplopende stralen rond sites met een overschrijding van de toetsingswaarde. Binnen elke perimeter berekenen we dan het overeenkomstige aantal inwoners.

Dit hoofdstuk omvat **twee luiken**. In een eerste luik kruisen we de perimeters met **lokale bevolkingsgegevens** die het aantal inwoners per leeftijdsgroep weergeven per cel van 1 ha. Hoewel de berekeningen uitgevoerd worden voor alle leeftijdsgroepen, ligt de focus van de volgende HBM-studie op de actieve bevolking, die met de beschikbare data wordt afgelijnd met leeftijden tussen 20 en 64 jaar. We beperken ons in dit rapport dus tot het bespreken van deze specifieke leeftijdsgroep. Voor andere leeftijdsgroepen, nl. de 0- tot 19-jarigen en 65plussers, zijn resultaten beschikbaar bij de onderzoeksgroep, maar niet opgenomen in dit rapport. In het tweede luik werken we een **indicatief voorstel voor de selectie van typegebieden voor de HBM-studie** uit, op basis van een aantal aannames over de ruimtelijke spreiding van PFAS rond sites met een TW-overschrijding. Voor de berekening van de selectiecriteria maken we gebruik van de resultaten uit het eerste luik van dit deel van het rapport, alsook met de gegevens verkregen uit de eerdere overschrijdingsanalyse (zie 2.3.2.3). De voorgestelde selectiecriteria dienen als illustratie van hoe men de bevolkingsaantallen per perimeter kan aanwenden voor de HBM-studie.

3.2 METHODE

3.2.1 Gebruikte data

3.2.1.1 Lokale bevolkingsgegevens

Om het aantal inwoners woonachtig in een PFAS-perimeter te identificeren maakten we gebruik van de dataset genaamd “*Inwoners per ha - Vlaanderen*” die online via Datavindplaats teruggevonden kan worden¹⁷ (**Figuur 8**). Deze online aangeboden dataset wordt verkregen door eerst de bewoonde adrespunten uit het Rijksregister alfanumeriek te koppelen aan georeferencierte adrespunten van het Centraal Referentieadressenbestand (CRAB), dat momenteel ondergebracht is in het nieuwere adressenbestand *BeSt Adress*¹⁸. Vervolgens worden deze bevolkingsgegevens geaggregeerd naar cellen met een resolutie van 100 bij 100 m. Eventuele inconsistenties met de totale bevolkingsaantallen gerapporteerd door FOD Economie worden in deze dataset op statistische sectorniveau vereffend. Op het moment van schrijven kunnen er online enkel totale inwonersgegevens per ha opgevraagd worden voor het jaar 2019. Via een samenwerkingsovereenkomst met het Kadaster heeft VITO intern toegang tot de recentere data van 2022, die naast rapportering op een hogere ruimtelijke resolutie van 10m ook opgedeeld zijn naar leeftijdsgroepen, gedefinieerd met leeftijdsintervallen van 5 jaar lopende van 0 jaar tot 95 jaar of ouder. De berekeningen werden uitgevoerd met deze meer gedetailleerde data. Gezien de gevoeligheid van deze gegevens kunnen we de hieruit voortvloeiende resultaten in dit rapport enkel op geaggregeerde wijze bespreken. Om de vele leeftijdsintervallen in deze data enigszins te reduceren, beschouwen we in deze studie de volgende drie geaggregeerde leeftijdsgroepen: de 0- tot 19-jarigen, de 20- tot 64-jarigen, en de 65-plussers.

3.2.1.2 Administratieve eenheden

Zoals vermeld in **3.1** willen we de verdere uitwerking van de HBM-studie ondersteunen door het aantal inwoners woonachtig in allerhande perimeters op gelokaliseerde wijze te rapporteren. Daarom deden we beroep op ruimtelijke datasets die de administratieve eenheden van de gemeenten en statistische sectoren in Vlaanderen beschrijven. De huidige definities van de Vlaamse gemeenten kunnen via Datavindplaats teruggevonden worden¹⁹. Bemerkt hierbij dat er ten gevolge van de recentste gemeentefusies een aantal Vlaamse gemeenten samengevoegd werden op 1 januari 2025^{20,21}. Wij vertrokken voor deze analyse dan ook van de recentste toestand van de gemeentegrenzen. De statistische sectoren, waarvan de recentste toestand dateert van 2022, kunnen eveneens via Datavindplaats teruggevonden worden²². Hierbij hebben we voor het gebruiksgemak een koppeling uitgevoerd tussen statistische sectoren en de overeenkomstige huidige gemeente.

¹⁷ <https://www.vlaanderen.be/datavindplaats/catalogus/inwonersdichtheid-per-ha-vlaanderen-toestand-2019>

¹⁸ <https://bosa.belgium.be/nl/services/best-address-services>

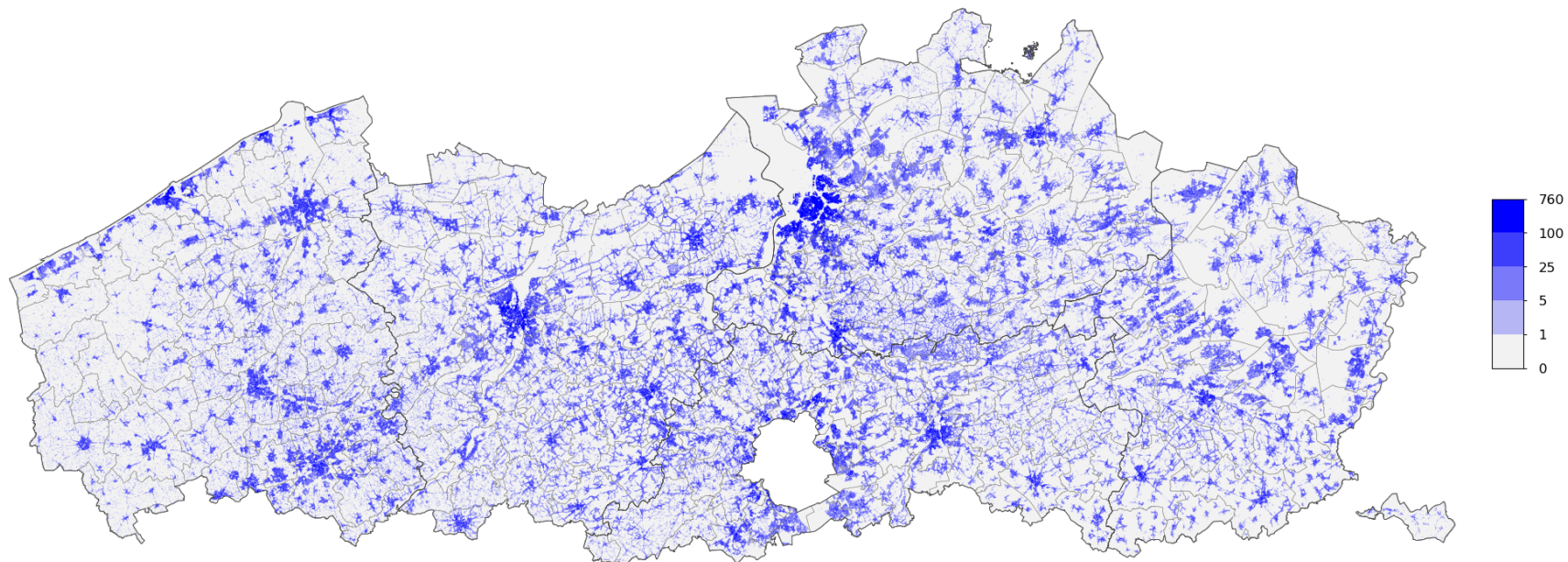
¹⁹ <https://www.vlaanderen.be/datavindplaats/catalogus/voorlopig-referentiebestand-gemeentegrenzen-toestand-01-01-2025-correctie-11-02-2025>

²⁰ <https://www.vlaanderen.be/lokaal-bestuur/nieuwsberichten/groen-licht-voor-13-nieuwe-fusiegemeenten>

²¹ <https://statbel.fgov.be/nl/over-statbel/methodologie/classificaties/geografie>

²² <https://www.vlaanderen.be/datavindplaats/catalogus/statistische-sectoren-van-belgie-toestand-01-01-2019-correctie-24-01-2022-0>

Aantal inwoners per ha - toestand 2019



Figuur 8. Aantal inwoners per ha in Vlaanderen, toestand 2019. Bron: Departement Omgeving.

3.2.2 Opstellen van de perimeters rond sites met PFAS-belasting

Voor het opstellen van de perimeters beroepen we ons op de afstandsintervallen die gebruikt worden bij de algemene *no regret*-maatregelen, bij de *no regret*-maatregelen rond brandweeroefenterreinen en sites van zware industriële branden²³, alsook de specifieke *no regret*-maatregelen in regio Zwijndrecht, rondom de 3M-site²⁴. De gebruikte afstandsintervallen lopen van 0m tot 100m, 100m tot 500m, 500m tot 1500m, en 1500m tot 3000m. Voor elk van deze afstandsintervallen werd er een overeenkomstige cirkel- of ringvormige buffer getekend rond sites van typegebieden die in het vaste deel van de aarde minstens een TW-III-overschrijding hebben voor PFOS-totaal of PFOA-totaal. Voor grondwater tekenden we deze perimeters enkel rond sites die minstens een TW-overschrijding hebben voor Som PFAS-20 of Som PFAS Kwantitatief. De hier gebruikte afstanden zijn consistent met eerder onderzoek naar de ruimtelijke spreiding en het afstandsverval van PFAS-verontreiniging rondom vervuilde bronsites, waarin veelal geobserveerd wordt dat de hoogste concentraties binnen enkele kilometers van de onderzochte bronnen voorkomen^{25,26,27}. Daarom wordt er ook pragmatisch aangenomen dat een zoekafstand van maximaal 3 km rond sites met PFAS-belasting volstaat voor dit HBM-onderzoek.

3.2.3 Ruimtelijke kruising van de perimeters met de lokale bevolkingsgegevens

Om het aantal inwoners woonachtig in verschillende types perimeters te bepalen per gemeente of statistische sector, sneden we eerst de grenzen van de perimeters af naar de grenzen van de gemeenten en sectoren. In een tweede stap berekenden we dan de zonale sommen van de eerder besproken bevolkingsdata. Concreet wil dit zeggen dat we per gemeente/statistische sector en per hierin opgedeelde perimeter het aantal inwoners optellen van alle cellen die binnen de overeenkomstige grenzen vallen. Deze berekening werd voorts gedaan per leeftijdsgroep, omgevingsmatrix, typegebied, mate van TW(-III)-overschrijding binnen de grenzen van de typegebiedsites, en afstandsinterval van de perimeter. Bijgevolg levert deze analyse een grote verzameling resultaten op die in een derde stap bevestigd en samengevat dienen te worden voor interpretatie.

²³ <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/no-regret-maatregelen-brandweeroefenterreinen-en-sites-van-een-zware-industriële-brand>

²⁴ <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/pfas-aanpak-regio-zwijndrecht/zwijndrecht-no-regret-maatregelen>

²⁵ Shin, H.-M., Vieira, V. M., Ryan, P. B., Steenland, K., & Bartell, S. M. (2011). *Environmental fate and transport modeling for PFOA emitted from the Washington Works Facility in West Virginia*. **Environmental Science & Technology**, 45(4), 1435–1442. [10.1021/es102769t](https://doi.org/10.1021/es102769t)

²⁶ Emmett, E. A., Shofer, F. S., Zhang, H., Freeman, D., Desai, C., & Shaw, L. M. (2006). *Community exposure to perfluorooctanoate: Relationships between serum concentrations and exposure sources*. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, 48(8), 759–770. [10.1097/01.jom.0000232486.07658.74](https://doi.org/10.1097/01.jom.0000232486.07658.74)

²⁷ Chen, H., Yao, Y., Zhao, Z., Wang, Y., Wang, Q., Ren, C., Wang, B., Sun, H., Alder, A., Kannan, K. (2018), *Multimedia Distribution and Transfer of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) Surrounding Two Fluorochemical Manufacturing Facilities in Fuxin, China*. **Environmental Science & Technology**. Vol 52 (15). 8263-8271. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00544>

3.3 RESULTATEN

3.3.1 Bevolking woonachtig in de perimeters rond de typegebiedsites

De samengevatte resultaten van de analyse beschreven in 3.2.3 worden weergegeven in **Tabel 5** en **Tabel 6**, respectievelijk voor het vaste deel van de aarde en grondwater. Deze tabellen tonen de geaggregeerde totalen van 20- tot 64-jarigen die woonachtig zijn binnen de beschouwde perimeters rond de typegebiedsites, en dit per mate van TW(-III)-overschrijding binnen de grenzen van de typegebiedsites. Deze resultaten omvatten m.a.w. alle 20- tot 64-jarigen in Vlaanderen die in één of meerdere van de hier beschouwde perimeters wonen. De ruimtelijk meer gedetailleerde resultaten, op gemeente- of statistische sectorniveau, en cijfers voor de andere leeftijdsgroepen worden in dit rapport niet besproken maar worden wel beschikbaar gemaakt aan de organisatoren van de HBM-studie (zie verder).

Een eerste observatie die gemaakt kan worden bij deze resultaten is dat de aantallen 20- tot 64-jarigen die woonachtig zijn binnen de onderzochte perimeters nagenoeg consistent hoger liggen rond typegebiedsites met een toetsingswaardeoverschrijding in grondwater dan rond typegebiedsites met een toetsingswaardeoverschrijding in het vaste deel van de aarde. Herinner van de eerder besproken overschrijdingsanalyse, waarvan de resultaten getoond werden in **Figuur 4** en **Figuur 5**, dat er in grondwater veel frequenter een overschrijding van de toetsingswaarde voorkwam voor Som PFAS-20 dan voor de toetsingswaarde-bestemmingstype III voor PFOS totaal in het vaste deel van de aarde. Er zijn m.a.w. voor grondwater meer sites waarrond er een perimeter getekend wordt in deze analyse dan voor het vaste deel van de aarde, wat de voornaamste verklaring is voor dit resultaat. Verder zien we dat er binnen een straal van 100 m rond de typegebiedsites in de meeste gevallen geen tot relatief weinig inwoners voorkomen, zowel voor sites met een toetsingswaardeoverschrijding in het vaste deel van de aarde als grondwater. Meestal beperken deze bevolkingsaantallen zich voor heel Vlaanderen tot enkel honderdtallen of duizendtallen, wat onvoldoende is om een HBM campagne op te zetten (hiervoor is minimum een bevolkingsaantal van 4000 nodig; zie verder). Drie uitzonderingen hierop zijn de typegebieden afvalinzameling/-verwerking, grondverzet/-verwerking en brandweeroefenterreinen die respectievelijk 8795, 5459 en 12946 inwoners tellen binnen de perimeter van 0 tot 100m rond sites met een TW-III-overschrijding in het vaste deel van de aarde.

Bij grondwater zien we zelfs voor 9 van de 32 typegebieden bevolkingsaantallen boven de 4000 in de perimeter van 0m tot 100m rond sites met een TW-overschrijding. Als we dan kijken naar de grotere perimeters, die lopen van 100m tot 500 en van 500m tot 1500m rond de typegebiedsites met een TW-overschrijding, dan liggen de aantallen inwoners meestal ver hierboven, zeker wanneer de bevolkingsaantallen van deze twee perimeters worden opgeteld. Bij de grootste perimeter, die loopt van 1500m tot 3000m, worden de overeenkomstige bevolkingsaantallen nog groter en liggen deze veelal in de orde van de tienduizenden tot honderdduizenden. In het geval van brandweeroefenterreinen zien we zelfs meer dan 1 miljoen volwassen inwoners in de afstandszone van 1500 tot 3000m rond sites met een TW-III-overschrijding in bodem. Met uitzondering van de typegebieden die geen enkele site met een TW-overschrijding hebben, ten minste volgens de momenteel beschikbare data, hebben alle typegebieden ruim meer dan 5000 inwoners in de overeenkomstige perimeters. Dit gaat zowel op voor overschrijdingen in bodem en grondwater. Enkel als we ons zouden beperken tot de kleinste perimeter van 100m rond sites met een TW-overschrijding, zouden we voor de meeste typegebieden mogelijk een te laag aantal inwoners bekomen om een statistisch significant resultaat te verkrijgen met een HBM-studie.

Tabel 5. Samengevatte resultaten van de ruimtelijke analyse naar aantal inwoners, behorende tot de Vlaamse actieve bevolking (20- tot 64-jarigen), woonachtig in een perimeter rond typegebiedsites die een TW-III-overschrijding hebben in het vaste deel van de aarde binnen de grenzen van deze sites.

Typegebied	Inwoners (20 tot 64 jaar) woonachtig in een perimeter rond een typegebiedsite met een TW-III-overschrijding in het vaste deel van de aarde											
	Overschrijding				Overschrijding				Overschrijding			
	PFOStotaal $\geq$ TW-III OF PFOAtotaal $\geq$ TW-III				PFOStotaal $\geq$ 10xTW-III OF PFOAtotaal $\geq$ 10xTW-III				PFOStotaal $\geq$ 100xTW-III OF PFOAtotaal $\geq$ 100xTW-III			
	Perimeter				Perimeter				Perimeter			
	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m
PFAS-productie	26	1421	19008	32780	0	108	3819	12967	0	108	3819	12967
Papier/karton	427	4171	15042	22471	373	3178	7465	11459	373	3178	7465	11459
Metaalbewerking/-behandeling	3683	39580	202894	506029	1181	17172	92688	260189	250	2836	17146	59836
Elektronica/halfgeleiders	9	135	6038	30423	0	0	0	0	0	0	0	0
Brandblusschuim	588	11624	89848	288729	321	6859	57058	176223	20	1290	12487	45826
Petrochemie	0	33	6	13798	0	0	0	0	0	0	0	0
Verven/coatings	3612	39372	216599	531750	1208	13776	79810	196510	394	5986	35746	74334
Fotogevoelige materialen	5	65	2594	28464	1	12	1399	20837	0	0	0	0
Textiel	2730	32447	173333	284029	517	9150	62909	119007	46	1563	11695	22990
Transportmiddelen	72	4686	12823	60532	15	1775	5120	30938	0	0	0	0
Cosmetica/detergenten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kunststoffen	1356	16958	129289	344263	877	10806	77187	196755	0	355	7281	16326
Bouwmaterialen	366	4073	25080	37023	364	3575	15033	15295	0	0	0	0
Pesticiden/biociden	67	2486	13394	25903	0	520	3079	4545	0	520	3079	3872
Farmaceutica	259	1573	8415	5321	259	1573	8415	5321	259	1573	8415	5321
Lijmen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Typegebied	Inwoners (20 tot 64 jaar) woonachtig in een perimeter rond een typegebieds site met een TW-III-overschrijding in het vaste deel van de aarde											
	Overschrijding				Overschrijding				Overschrijding			
	PFOS _{totaal} ≥ TW-III OF PFOA _{totaal} ≥ TW-III				PFOS _{totaal} ≥ 10xTW-III OF PFOA _{totaal} ≥ 10xTW-III				PFOS _{totaal} ≥ 100xTW-III OF PFOA _{totaal} ≥ 100xTW-III			
	Perimeter				Perimeter				Perimeter			
	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m
Elastomeren	0	152	4988	21222	0	108	3819	12973	0	108	3819	12973
Niet-eetbare vetstoffen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eetbare vetstoffen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wasserijen/droogkuis	150	4962	32279	58958	150	4915	31947	54370	0	0	0	0
Oppervlaktereiniging	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Drukwerk	1592	16819	95441	213474	194	1229	11852	35411	102	731	5483	8887
Opslag gevaarlijke goederen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Afvalinzameling/-verwerking	8795	71675	320820	711124	2408	21639	145340	403000	1867	13363	75076	243542
Afvalverbranding	5	480	9989	57146	0	1	89	16794	0	0	55	16776
Stortplaats	1984	29781	181764	456995	774	14069	88831	190011	353	4951	29162	46212
Waterzuivering	1094	8915	72794	171254	467	3425	21557	54609	165	1755	10802	17107
Lozing in grondwater	66	831	1292	13341	0	110	412	5774	0	0	0	0
Grondverzet/-verwerking	5459	44909	154790	277622	5309	40741	116544	185100	5150	38596	103892	159329
Vliegvelden	2087	15887	66642	126739	1893	13822	53169	107693	794	7397	18824	24535
Brandweeroefenterrein	12946	154942	648052	1096819	6196	73322	335578	599029	1462	20215	100358	179254
Brandincident	2227	32529	210792	504927	1061	14441	111876	288571	878	11867	77692	185020

Tabel 6. Samengevatte resultaten van de ruimtelijke analyse naar aantal inwoners, behorende tot de Vlaamse actieve bevolking (20- tot 64-jarigen), woonachtig in een perimeter rond typegebiedsites die een TW-overschrijding hebben in grondwater binnen de grenzen van deze sites.

Typegebied	Inwoners (20 tot 64 jaar) woonachtig in een perimeter rond een typegebiedsite met een TW-overschrijding in grondwater											
	Overschrijding				Overschrijding				Overschrijding			
	Som PFAS-20 $\geq$ TW OF Som PFAS Kwantitatief $\geq$ TW				Som PFAS-20 $\geq$ 10xTW OF Som PFAS Kwantitatief $\geq$ 10xTW				Som PFAS-20 $\geq$ 100xTW OF Som PFAS Kwantitatief $\geq$ 100xTW			
	Perimeter				Perimeter				Perimeter			
	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m
PFAS-productie	26	1421	21711	48516	21	1237	14371	22577	0	108	3819	12967
Papier/karton	678	8568	44435	83096	533	4007	20833	48375	373	3178	7465	11459
Metaalbewerking/-behandeling	12215	129581	674757	1292131	4478	55697	322027	695392	1154	18533	111791	270942
Elektronica/halfgeleiders	10	782	17525	49329	1	61	3595	20087	0	0	0	0
Brandblusschuim	1384	28175	239823	641889	730	15501	135438	376966	289	8800	72864	196689
Petrochemie	0	33	813	17904	0	33	6	12354	0	0	5	12073
Verven/coatings	12901	146815	741157	1525770	4116	45537	294756	714885	1306	15622	126319	328795
Fotogevoelige materialen	522	4844	22333	66232	4	53	1195	7627	4	53	1195	7627
Textiel	15856	159853	671060	1060852	5523	59586	288919	495706	2150	20236	104012	217335
Transportmiddelen	619	10899	52462	174372	415	5193	21659	83674	14	1337	3584	21237
Cosmetica/detergenten	551	12420	79138	178702	41	1048	2701	10236	0	0	0	0
Kunststoffen	3206	34804	276837	721276	1316	14047	138195	417206	521	7289	66259	178496
Bouwmaterialen	903	9520	59447	128565	427	4006	21607	51638	364	3575	15033	15295
Pesticiden/biociden	89	5546	54811	157816	71	2803	13490	42568	62	2269	8758	12142
Farmaceutica	446	5403	36581	52253	270	2113	16592	18928	261	1637	14204	15909
Lijmen	80	2203	19058	66896	0	0	0	0	0	0	0	0

Typegebied	Inwoners (20 tot 64 jaar) woonachtig in een perimeter rond een typegebiedsite met een TW-overschrijding in grondwater											
	Overschrijding				Overschrijding				Overschrijding			
	Som PFAS-20 $\geq$ TW OF Som PFAS Kwantitatief $\geq$ TW				Som PFAS-20 $\geq$ 10xTW OF Som PFAS Kwantitatief $\geq$ 10xTW				Som PFAS-20 $\geq$ 100xTW OF Som PFAS Kwantitatief $\geq$ 100xTW			
	Perimeter				Perimeter				Perimeter			
	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m	0 – 100 m	100 – 500 m	500 – 1500 m	1500 – 3000 m
Elastomeren	195	3506	32321	127159	0	108	5961	32222	0	108	3819	12973
Niet-eetbare vetstoffen	13	336	2922	8297	0	0	0	0	0	0	0	0
Eetbare vetstoffen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wasserijen/droogkuis	2094	19608	107614	195726	1177	8950	49370	86702	1029	4246	20048	55224
Oppervlaktereiniging	0	250	2990	3463	0	0	0	0	0	0	0	0
Drukwerk	5470	58310	377547	813348	2681	30557	183073	416590	576	4859	31073	129188
Opslag gevaarlijke goederen	6	85	2757	32884	6	5	36	16483	6	4	28	12700
Afvalinzameling/-verwerking	17839	180710	880389	1706402	10950	97352	512065	998363	2291	24881	175006	453847
Afvalverbranding	484	11198	94151	293982	75	895	10085	76688	0	213	4475	31384
Stortplaats	8400	90673	531401	1247013	3118	31471	197161	485186	2290	17274	91892	176029
Waterzuivering	2072	19237	146407	406934	1355	10112	83321	211827	570	4908	33411	79590
Lozing in grondwater	0	110	638	12932	0	0	226	7158	0	0	226	7158
Grondverzet/-verwerking	6871	62359	334728	726046	6150	47454	204359	355448	5782	40839	118945	196046
Vliegvelden	2143	16445	70125	144802	2143	15899	67357	139502	2087	15887	66642	126739
Brandweeroefenterrein	20302	233656	923373	1462117	13667	164426	692653	1107044	7753	86423	354515	614874
Brandincident	9403	107027	551590	1192495	3320	46592	247191	572994	1360	20545	120772	266560

Wanneer we kijken naar de rechtse kolommen in **Tabel 5**, die de bevolkingscijfers tonen voor de typegebiedsites met hogere overschrijdingen (van minstens tienmaal en honderdmaal de toetsingswaarde), dan observeren we dat de aantallen inwoners binnen de perimeters voor de meeste typegebieden aanzienlijk afnemen t.o.v. de aantallen bij een minimale overschrijding. Dit kan verklaard worden door de kleinere aantallen sites waarrond perimeters in beschouwing worden genomen. Voor bepaalde typegebieden, zoals PFAS-productie, papier/karton, elastomeren, afvalinzameling/-verwerking, grondverzet/-verwerking, zijn de afnames in bevolkingsaantallen bij toename van overschrijdingsfactor eerder beperkt, ten minste rond sites met een TW-III-overschrijding in bodem. Dit lijkt aan te geven dat de verkregen bevolkingsaantallen voor deze typegebieden voornamelijk gedreven worden door een beperkter aantal sites met (zeer) sterke PFAS-belasting. We merken evenwel op dat voor de meeste typegebieden er zelfs bij hogere overschrijdingsgraden (veel) meer dan 5000 inwoners in de overeenkomstige perimeters overblijven, wat het eventueel mogelijk zou maken om de HBM-studie toe te spitsen op de gebieden rond sites met een sterkere PFAS-belasting, ten minste als dit wenselijk zou zijn.

Tenslotte merken we op dat voor de overgrote meerderheid typegebieden er voldoende mensen woonachtig zijn in de een van perimeters om zijn een HBM campagne (minimum 4000 deelnemers) te kunnen uitvoeren; enkel voor de typegebied 'eetbare vetten' en 'oppervlaktereiniging' zijn er niet voldoende inwoners in de perimeters (0-3000 m).

3.4 VOORGESTELDE SELECTIECRITERIA VOOR TYPEGEBIEDEN HBM-STUDIE

3.4.1 Definiëring voorgestelde selectiecriteria

De resultaten van de analyse gepresenteerd in de vorige paragraaf geven ons cijfermateriaal waarmee er selectiecriteria gedefinieerd kunnen worden voor de prioritering van de typegebieden in het HBM-onderzoek. Een dergelijke prioritering dringt zich enerzijds op door de veelheid aan typegebieden, waarvan er sommige mogelijk meer relevant zijn voor HBM-onderzoek dan andere. Anderzijds moeten we idealiter een zo hoog mogelijk aantal kandidaat-deelnemers hebben per typegebied, zodat er na rekrutering voldoende deelnemers zijn ingeschreven in de studie om statistisch robuuste resultaten te bekomen. Vooroplopend op de resultaten die verder in detail besproken worden in sectie 5.5.2.2 van dit rapport, maken we voor de kadering van de onderstaande resultaten de eerder conservatieve aanname dat er minstens 400 deelnemers nodig zijn. Als we verder ook aannemen dat alle beoogde kandidaat-deelnemers aangeschreven kunnen worden en dat de participatiegraad, d.i. het percentage uitgenodigden dat zich effectief ook inschrijft in de studie, 10% bedraagt, dan bekomen we een **minimale populatiegrootte van 4000 inwoners per typegebied**. We benadrukken dat dit een benaderde grenswaarde is, en verwijzen naar het stappenplan voor HBM-onderzoek, dat verderop in dit rapport zal voorgesteld worden, voor meer info.

In **Tabel 7** stellen we **vier indicatieve selectiecriteria** voor. Gelet op het feit dat bodem in Vlaanderen een universeler blootstellingsmedium is dan grondwater, hebben we hier de keuze gemaakt om enkel selectiecriteria uit te werken die betrekking hebben tot het vaste deel van de aarde. Verder focussen we ons, in navolging van de vooropgestelde objectieven van de HBM-studie, op de actieve bevolking die hier afgebakend wordt met de leeftijdsgroep van de 20- tot 64-jarigen. Deze selectiecriteria worden onderbouwd door welbepaalde aannames over de ruimtelijkheid van PFAS-belasting rond sites met een (sterke/zeer sterke) toetsingswaardeoverschrijding. Criterium 1 is eerder conservatief en baseert zich op de aanname dat enkel de directe omgeving tot 100m rond sites met minstens een TW-III overschrijding relevant zijn voor HBM-onderzoek. Criterium 2 gaat een stap verder en kijkt tot 500m rond sites met minstens een TW-III overschrijding. Criterium 3 volgt dan een eerder

progressieve aanpak en gebruikt perimeters met een straal van 1500m rond sites met een sterkere overschrijding van minstens 10 maal TW-III (sterke PFAS-belasting). Criterium 4 ten slotte focust zich op de zwaardere gevallen van PFAS-belasting en beschouwt enkel perimeters ronds sites die minstens 100 keer TW-III overschrijden (zeer sterke PFAS-belasting), maar gebruikt tegelijk ook een grotere perimeterstraal van 3000m. Voor elk van deze criteria worden de totale aantallen 20- tot 64-jarigen

Tabel 7. Kenmerken van de voorgestelde selectiecriteria, die aangewend kunnen worden om PFAS-typegebieden te prioriteren voor de HBM-studie.

Selectie-criterium	Medium	Minimale overschrijding binnen de grenzen van de typegebiedsites	Perimeters rond typegebied-sites	Beoogde bevolkingsgroep
1	Vaste deel van de aarde	PFOStotaal $\geq$ TW-III OF PFOAtotaal $\geq$ TW-III	0 - 100m	Actieve bevolking (20 tot 64 jaar)
2	Vaste deel van de aarde	PFOStotaal $\geq$ TW-III OF PFOAtotaal $\geq$ TW-III	0 - 500m	Actieve bevolking (20 tot 64 jaar)
3	Vaste deel van de aarde	PFOStotaal $\geq$ 10xTW-III OF PFOAtotaal $\geq$ 10xTW-III	0 - 1500m	Actieve bevolking (20 tot 64 jaar)
4	Vaste deel van de aarde	PFOStotaal $\geq$ 100xTW-III OF PFOAtotaal $\geq$ 100xTW-III	0 - 3000m	Actieve bevolking (20 tot 64 jaar)

berekend binnen de overeenkomstige perimeters. Het verkennen en vergelijken van alternatieve aannames over de ruimtelijkheid van PFAS-belasting rond typegebiedsites is nodig omdat de momenteel beschikbare analytische kaders en data, op uitzonderingen na, voorlopig nog niet volstaan om op eenduidige wijze én met voldoende bewijs voor een oorzakelijk verband ruimtelijke afbakeningen op te stellen van PFAS-belasting rond typegebiedsites. De selectiecriteria die we hier voorstellen bieden complementaire perspectieven en strategieën voor de HBM-studie. We kunnen dan ook niet bij voorbaat bepalen welk van deze vier criteria, of eventuele bijkomende criteria, voorkeur moet genieten. We benadrukken hierbij ook dat deze voorgestelde selectiecriteria niet exhaustief zijn. Deze criteria kunnen tevens, al dan niet op vraag van de uitvoerders van de HBM-studie, eenvoudig opnieuw doorgerekend worden met aangepaste parameters, met name andere zoekafstanden, definities van PFAS-belasting, omgevingsmatrices, preselecties van typegebieden, bevolkingsgroepen enz.

3.4.2 Berekening van de voorgestelde selectiecriteria

In **Tabel 8** tonen we dan de berekening van de vier voorgestelde selectiecriteria. In deze tabel worden de typegebieden per criterium in dalende volgorde van aantal 20- tot 64-jarigen in de overeenkomstige perimeters weergegeven. Typegebieden waarvoor er geen inwoners uit deze leeftijdsgroep aanwezig zijn in de perimeters worden niet getoond in deze lijst.

Het conservatieve selectiecriterium 1 heeft, zoals eerder al aangegeven, een relatief beperkt aantal inwoners binnen een straal van 100m rond de typegebiedsites met een TW-III-overschrijding in bodem. Enkel voor brandweeroefenterreinen, afvalinzameling/-verwerking en grondverzet/-verwerking zouden er met het vooropgestelde minimum een voldoende groot aantal kandidaat-deelnemers voor de HBM-studie gevonden kunnen worden, hoewel metaalbewerking/-behandeling en verven/coatings ook in de buurt komen. Gezien de korte afstand en de relatief hoge inwonersaantallen zouden deze 5 en eventueel ook nog bijkomende typegebieden in aanmerking

komen voor de HBM-studie, op voorwaarde dat er maatregelen getroffen worden om een voldoende hoge participatiegraad te behalen.

Bij het meer gematigde selectiecriteria 2 staan de brandweeroefenterreinen met 167888 inwoners binnen een straal van 500m rond de overeenkomstige sites bovenaan de ranking. Ook afvalinzameling/-verwerking en grondverzet/-verwerking hebben opnieuw hoge aantallen inwoners

Tabel 8. Waarden van de voorgestelde selectiecriteria beschreven in **Tabel 7**, weergegeven in dalende volgorde van aantal 20- tot 64-jarigen woonachtig in de overeenkomstige perimeters. De cijfers tussen haakjes geven de bevolkingsaantallen weer die overeenkomen met het getoonde typegebied en selectie criterium.

Rang-orde	Selectie criterium 1	Selectie criterium 2	Selectie criterium 3	Selectie criterium 4
1	Brandweeroefenterrein (12946)	Brandweeroefenterrein (167888)	Brandweeroefenterrein (415096)	Afvalinzameling/-verwerking (333848)
2	Afvalinzameling/-verwerking (8795)	Afvalinzameling/-verwerking (80470)	Afvalinzameling/-verwerking (169387)	Grondverzet/-verwerking (306967)
3	Grondverzet/-verwerking (5459)	Grondverzet/-verwerking (50368)	Grondverzet/-verwerking (162594)	Brandweeroefenterrein (301289)
4	Metaalbewerking/-behandeling (3683)	Metaalbewerking/-behandeling (43263)	Brandincident (127378)	Brandincident (275457)
5	Verven/coatings (3612)	Verven/coatings (42984)	Metaalbewerking/-behandeling (111041)	Verven/coatings (116460)
6	Textiel (2730)	Textiel (35177)	Stortplaats (103674)	Stortplaats (80678)
7	Brandincident (2227)	Brandincident (34756)	Verven/coatings (94794)	Metaalbewerking/-behandeling (80068)
8	Vliegvelden (2087)	Stortplaats (31765)	Kunststoffen (88870)	Brandblusschuim (59623)
9	Stortplaats (1984)	Drukwerk (18411)	Textiel (72576)	Vliegvelden (51550)
10	Drukwerk (1592)	Kunststoffen (18314)	Vliegvelden (68884)	Textiel (36294)
11	Kunststoffen (1356)	Vliegvelden (17974)	Brandblusschuim (64238)	Waterzuivering (29829)
12	Waterzuivering (1094)	Brandblusschuim (12212)	Wasserijen/droogkuis (37012)	Kunststoffen (23962)
13	Brandblusschuim (588)	Waterzuivering (10009)	Waterzuivering (25449)	Papier/karton (22475)
14	Papier/karton (427)	Wasserijen/droogkuis (5112)	Bouwmaterialen (18972)	Elastomeren (16900)
15	Bouwmaterialen (366)	Transportmiddelen (4758)	Drukwerk (13275)	PFAS-productie (16894)
16	Farmaceutica (259)	Papier/karton (4598)	Papier/karton (11016)	Afvalverbranding (16831)
17	Wasserijen/droogkuis (150)	Bouwmaterialen (4439)	Farmaceutica (10247)	Farmaceutica (15568)
18	Transportmiddelen (72)	Pesticiden/biociden (2553)	Transportmiddelen (6910)	Drukwerk (15203)
19	Pesticiden/biociden (67)	Farmaceutica (1832)	PFAS-productie (3927)	Pesticiden/biociden (7471)
20	Lozing in grondwater (66)	PFAS-productie (1447)	Elastomeren (3927)	
21	PFAS-productie (26)	Lozing in grondwater (897)	Pesticiden/biociden (3599)	
22	Elektronica/halfgeleiders (9)	Afvalverbranding (485)	Fotogevoelige materialen (1412)	
23	Fotogevoelige materialen (5)	Elastomeren (152)	Lozing in grondwater (522)	
24	Afvalverbranding (5)	Elektronica/halfgeleiders (144)	Afvalverbranding (90)	
25		Fotogevoelige materialen (70)		
26		Petrochemie (33)		

voor dit criterium, respectievelijk 80470 en 50368. In het totaal zijn er 17 typegebieden die 4000 of meer 20- tot 64-jarigen tellen in de perimeters van selectiecriterium 2. Voor deze typegebieden lijkt het er dus op dat er zelfs binnen een relatief beperkte afstand rond de sites een voldoende grote pool van kandidaat-deelnemers aangeschreven zou kunnen worden voor de HBM-studie.

De selectiecriteria 3 en 4, die respectievelijk tot 1500m en 3000m rond sites kijken met minstens 10 maal en 100 maal een TW-III overschrijding, vertonen aanzienlijk grotere waarden i.v.m. de eerder besproken selectiecriteria, en dit ondanks het feit dat er minder sites in beschouwing genomen worden. Herinner van de overschrijdingsanalyse dat sites met een TW-III-overschrijding dit vaak (ongeveer in een derde van de gevallen) met een veelvoud overschrijden. De toename in straal van de perimeter weegt dus sterker door dan de afname in aantal sites. De aantallen 20- tot 64-jarigen woonachtig binnen deze perimeters lopen voor selectiecriteria 3 en 4 al gauw in de orde van tienduizenden of zelfs honderdduizenden. Met 415096 inwoners uit de leeftijdsgroep 20- tot 64-jarigen staan de brandweeroefenterreinen weerom bovenaan de ranking voor selectiecriterium 3, en met 333848 inwoners nogmaals bovenaan de ranking voor selectiecriterium 4. Hierbij moet men zich wel afvragen of het zinvol is om voor elk van deze typegebieden deelnemers te rekruteren over grotere afstanden rond sites met (zeer) grote PFAS-belasting. Mogelijk zou het eerder aangewezen zijn om deze lijst te beperken tot de typegebieden waarvan geweten is dat de uitstoot plaatsvindt of heeft plaatsgevonden via een hoge schouw, van waaruit dispersie en depositie over een groter gebied meer waarschijnlijk is. Dit kan bv. het geval zijn voor de typegebieden PFAS-productie en afvalverbranding, die voor selectiecriterium 4 respectievelijk 16894 en 16831 inwoners tellen.

Ten slotte valt het op dat de typegebieden metaalbewerking/-behandeling, verven/coatings, afvalinzameling/-verwerking, grondverzet/-verwerking, brandweeroefenterreinen en brandincidenten in bijna alle selectiecriteria bovenaan de rangorde staan, nl. in de top 5. Dit is niet zo verwonderlijk als men rekening houdt met de eerdere overschrijdingsanalyse (**Figuur 4**), waaruit blijkt dat elk van deze typegebieden (bijna) 100 of meer bemeten sites heeft, waarvan ongeveer een derde een maximale PFOS-totaal-meetwaarde groter of gelijk aan TW-III heeft. Met 276 sites, waarvan meer dan 40% een TW-III-overschrijding vertoont, is het typegebied brandweeroefenterreinen het meest talrijk, en bijgevolg wordt er voor dit typegebied dus ook het grootste aantal perimeters in rekening gebracht om de omwonenden te berekenen.

3.5 OPLEVERING VAN DE GEDETAILLEERDE ANALYSERESULTATEN

De gedetailleerde analysegegevens van dit onderzoek worden beschikbaar gesteld aan de organisatoren van de HBM-studie. Hiermee kunnen zij de aantallen inwoners opvragen voor eender welke perimeter, leeftijdsgroep, gemeente of statistische sector. Indien wenselijk kan men hiermee ook de hierboven voorgestelde selectiecriteria reconstrueren of zelfs in beperkte mate aanpassen. Deze gegevens zijn te omvangrijk om rechtstreeks in dit document op te nemen. Bovendien zijn deze gegevens gebaseerd op data met een privacygevoelig karakter waarop er een dataovereenkomst met beperkende voorwaarden van toepassing is. Daarom worden de gedetailleerde resultaten los van dit rapport mee opgeleverd aan de opdrachtgever, in de vorm van een SQLite-databestand genaamd "*bevolking_hbm_perimeter.sqlite*".

Het opgeleverde databestand beschrijft een database met een benaderde omvang van 12.6 GB. Deze database bevat één tabel, ook genaamd "*bevolking_hbm_perimeter*", die 29119488 rijen telt (header niet meegerekend) en waarden heeft voor de 15 velden beschreven in **Tabel 9**. Het sleutelveld *ID* bevat een unieke numeriek waarde per rij, voor eventuele verwijzing naar specifieke resultaten. *NIS-code* en *Naam* geven respectievelijk de NIS-code en naam van de gemeente of statistische sector die in de rij wordt beschreven. De velden *NIS-code gemeente vanaf 2025* en *Naam gemeente* werden

Tabel 9. Beschrijving van de 15 velden opgenomen in de tabel “bevolking_hbm_perimeter” die de gedetailleerde analyseresultaten van dit onderzoek bevat.

Naam veld	Datatype	Mogelijke waarden of voorbeeld van mogelijke waarde
ID	Tekst	<i>Bv. 3657</i>
Niveau	Tekst	<i>Gemeente, statistische sector</i>
NIS-code	Tekst	<i>Bv. 11002</i>
Naam	Tekst	<i>Bv. Antwerpen</i>
NIS-code gemeente vanaf 2025	Tekst	<i>Bv. 46030</i>
Naam gemeente	Tekst	<i>Bv. Beveren-Kruibeke-Zwijndrecht</i>
Leeftijdsgroep	Tekst	<i>L0_19, L20_64, L65_95_plus, L0_95_plus</i>
Bevolking	Numeriek (geheel getal)	<i>Bv. 2137</i>
Medium	Tekst	<i>Vaste deel van de aarde, grondwater</i>
Typegebied	Tekst	<i>Bv. Textiel</i>
Overschrijding	Tekst	<i>Bv. PFOStotaal $\geq 10 \times TW\text{-III}$ OF PFOAtotaal $\geq 10 \times TW\text{-III}$</i>
Minimale afstand perimeter	Numeriek (geheel getal)	<i>0, 100, 500, 1500</i>
Maximale afstand perimeter	Numeriek (geheel getal)	<i>100, 500, 1500, 3000</i>
Bevolking in perimeter	Numeriek (geheel getal)	<i>Bv. 347</i>
Percentage bevolking in perimeter	Numeriek (reëel getal)	<i>Bv. 21.3</i>

toegevoegd om voor de statistische sectoren makkelijker te kunnen filteren op de respectievelijke gemeentes, wat niet altijd evident is gezien de recente gemeentefusies en aanpassing van sommige gemeentelijke NIS-codes. Het veld *Bevolking* beschrijft het aantal inwoners van de gespecificeerde leeftijdsgroep binnen de gemeente of statistische sector. *Medium* beschrijft de omgevingsmatrix waarbinnen er gekeken wordt naar TW(-III)-overschrijdingen om de perimeters op te stellen. Het veld *Overschrijding* beschrijft de minimale grootte van de TW(-III)-overschrijding die moet voorkomen binnen de grenzen van de sites van het gespecificeerde typegebied om de overeenkomstige perimeters te gebruiken. De velden *Minimale/maximale afstand perimeter* beschrijven het afstandsinterval, uitgedrukt in meter, van de perimeter die in de rij wordt beschouwd. *Bevolking in perimeter* bevat dan uiteindelijk het aantal inwoners van de gespecificeerde leeftijdsgroep die binnen de gespecificeerde perimeters vallen binnen de gespecificeerde gemeente/statistische sector. Het veld *Percentage bevolking in perimeter* werd toegevoegd om makkelijk in te kunnen schatten wat de relatieve dekking van de overeenkomstige bevolking is. Voor elk veld in deze tabel werd er een index opgesteld, om bevragingen van deze omvangrijke dataset vlotter te laten verlopen.

3.6 CONCLUSIE

In dit hoofdstuk bouwden we verder op de ruimtelijke inventaris en karakterisatie van de PFAS-typegebieden in Vlaanderen, die besproken werden in het vorige hoofdstuk, met als doel een beeld te vormen van de bevolkingsaantallen die woonachtig zijn binnen verschillende afstanden rond typegebiedsites met een toetsingswaardeoverschrijding binnen hun overeenkomstige grenzen. De voornaamste drijfveer achter deze analyse is het aanbieden van werkbaar en ondersteunende informatie aan de uitvoerders van de HBM-studie, waarmee men beter kan inschatten wat de

mogelijkheden en beperkingen zijn als men zou opteren om deelnemers te rekruteren rond bepaalde typegebieden. Concreet werd deze informatie verkregen door het aantal inwoners te tellen binnen afstandsintervallen van 100m, 500m, 1500m en 3000m rond typegebiedsites met een toetsingswaardeoverschrijding. Deze ruimtelijke analyse werd uitgevoerd per typegebied, leeftijdsgroep, omgevingsmatrix, mate van toetsingswaardeoverschrijding binnen de grenzen van de typegebiedsites (minstens éénmaal, tienmaal en honderdmaal), en gemeente en statistische sector in Vlaanderen. Door de veelheid aan ruimtelijke entiteiten en deelaspecten in deze analyse bekwamen we uiteindelijk een zeer omvangrijke verzameling van resultaten, die gecapteerd werd in een tabel met 15 velden en bijna dertigmiljoen rijen. De overeenkomstige databank wordt overhandigd aan de opdrachtgever, die het op zijn beurt aan de uitvoerders van de HBM-studie zal overhandigen. In dit rapport werden de samengevatte resultaten, op niveau van heel Vlaanderen, voor de actieve bevolking gepresenteerd en werden de belangrijkste overkoepelende bevinden toegelicht. Er werden eveneens vier indicatieve selectiecriteria opgesteld op basis van onze resultaten, waarmee men een prioritering van de typegebieden voor de HBM-studie kan helpen opstellen. Het hier gepresenteerde werk vormt een vertrekpunt voor de verdere uitwerking van de HBM-studie en zal de organisatoren toelaten om beter geïnformeerde keuzes te maken.

De globale analyses uitgevoerd in deze studie stellen ons in staat om de grootteordes van de mogelijk blootgestelde bevolking te bepalen onder verschillende aannames over de ruimtelijke spreiding van PFAS-belasting rond de verschillende typegebiedsites, en dit per regio binnen Vlaanderen. Wat deze gegevens niet toelaten is om zonder bijkomende argumentering of onderbouwing te bepalen welke perimeters uiteindelijk gebruikt moeten worden tijdens de HBM-studie. Deze keuze zal in de praktijk mogelijk site- of typegebied-afhankelijk gemaakt moeten worden, o.a. rekening houdend met lokale databeschikbaarheid, de specifieke wijze en duur van de PFAS-uitstoot die plaatsgevonden heeft in de sites, en een meer toegespitst literatuuronderzoek. We erkennen ook dat de opgeleverde analyses en gegevens slechts een aanzet zijn naar een selectie van PFAS-typegebieden, en dat we hiermee nog geen definitieve knopen kunnen doorhakken over welke typegebieden of gemeenten in Vlaanderen nu effectief het meest interessant of strategisch zijn om opgenomen te worden in de HBM-studie. Deze keuze zal in grote mate afhangen van de specifieke beleidsvragen die men met de HBM-studie wenst te beantwoorden, en die op het moment van uitvoeren van de hier gepresenteerde studie nog niet voldoende op punt gezet waren. Verder zullen ook maatschappelijke noden, die voor een groot deel voortvloeien uit bezorgdheden van burgers, middenveldorganisaties en industrie, ook een rol kunnen spelen in de organisatie van de HBM-studie. Bovenstaande analyses houden a priori geen rekening met specifieke beleidsvragen en maatschappelijke noden maar geven vooral de mogelijkheid aan voor welke PFAS-typegebieden er genoeg mensen woonachtig zijn in een welbepaalde straal rond een typegebied om een voldoende grote steekproef te kunnen bekomen en statistisch onderbouwde uitspraken te kunnen doen. Alle berekeningen uitgevoerd in het kader van deze studie kunnen, indien nodig, eenvoudig opnieuw uitgevoerd worden met aangepaste parameters en/of nieuwe data, wat naar alle waarschijnlijkheid ook nodig zal zijn gezien de steeds evoluerende inzichten en datasets over PFAS.

Eerder in dit hoofdstuk werd er, voorlopig op de resultaten van de powerberekeningen die verderop in dit rapport besproken worden, een benaderd minimaal aantal deelnemers van 400 gesuggereerd, wat met een aangenomen participatiegraad van 10% zou resulteren in een minimale pool van 4000 kandidaat-deelnemers om statistisch onderbouwde uitspraken te kunnen doen over een bepaald PFAS-typegebied. Typegebieden waarbij er minder dan 4000 personen binnen de perimeters van de overeenkomstige selectiecriteria wonen kunnen eventueel toch in overweging genomen worden als men inschat dat de participatiegraad groter zal zijn dan 10%. In gebieden waar er een grotere onrust leeft in de bevolking over de PFAS-problematiek, zal de bereidheid om deel te

nemen aan een HBM-studie mogelijk groter zijn. Dit wordt best in een voortraject afgetoetst, om in te schatten hoe groot de verwachte participatiegraad zal zijn. Ook kunnen er via samenwerking met lokale actoren bijkomende inspanningen georganiseerd worden om de participatiegraad te verhogen.

HOOFDSTUK 4. LITERATUURSTUDIE HBM-ONDERZOEK IN INVLOEDSZONES VAN PFAS-TYPEGEBIEDEN

De analyses in bovenstaande hoofdstukken zijn gebaseerd op ruimtelijke spreiding van PFAS-verontreiniging in omgevingsmatrices (bodem en grondwater). Deze resultaten geven een indicatie over mogelijke ruimtelijke spreiding in blootstelling aan PFAS bij de mens. Echter, andere factoren dan aanwezigheid van PFAS in bodem en water spelen ook een rol (bijv. blootstellingsduur, gebruik van grondwater, gebruik van moestuin en/of kippenren, etc.), en op basis van de concentraties in bodem en grondwater is het moeilijk te voorspellen welke niveaus in serum men kan verwachten.

Daarom werd complementair aan bovenstaande analyses een literatuurstudie uitgevoerd m.b.t. PFAS-blootstelling (a.d.h.v. metingen in serum) in reeds onderzochte gebieden; dit kan richtinggevend zijn voor te verwachten PFAS-niveaus en fingerprints in de Vlaamse PFAS-typegebieden, en kan ook hiaten naar boven halen (met name: voor welke typegebieden ontbreken er HBM-studies).

4.1 METHODE

Er werd een zoekopdracht uitgevoerd op basis van beschikbare wetenschappelijke literatuur en overheidsrapporten naar bestaand HBM-onderzoek in invloedszones van PFAS-verontreinigde gebieden. De focus lag op studies in Vlaanderen, België en Europa, maar vanwege het beperkte aantal beschikbare HBM-studies werd het uitgebreid naar andere relevante regio's, rekening houdend met mogelijke afwijkingen in context en PFAS-types ten opzichte van de Vlaamse situatie. HBM-data uit referentiepopulaties van de algemene bevolking (niet specifiek woonachtig in PFAS-verontreinigde gebieden) en beroepsblootstellingen zijn niet meegenomen in het overzicht, omdat de focus specifiek ligt op omwonenden van PFAS-verontreinigde gebieden die gelinkt zijn aan bepaalde PFAS-typegebieden. Blootstellingsniveaus en -routes uit beroepsblootstellingstudies zijn immers doorgaans niet vergelijkbaar met de blootstellingsniveaus bij de omwonenden. Naast de wetenschappelijke literatuurstudie is ook informatie ingewonnen bij collega's uit het HBM4EU PFAS-hotspot netwerk over nieuwe of lopende studies die mogelijk nog niet gepubliceerd zijn.

4.2 OVERZICHT VAN HBM-STUDIES IN PFAS-TYPEGEBIEDEN

Het merendeel van de beschikbare HBM-data zijn afkomstig van onderzoeken nabij sterk PFAS-verontreinigde locaties, namelijk productie- en verwerkingssites van PFAS zoals 3M of Chemours/DuPont. Er is echter minder bekend over de blootstelling aan PFAS in typegebieden met lichte tot matige verontreiniging en in sectoren waar PFAS-verbindingen in diverse toepassingen werden of worden gebruikt (bijv. papier- en kartonindustrie, wasserijen en droogkuis, metaalindustrie, etc). Een overzicht m.b.t. voor welke PFAS-typegebieden er HBM-data bij omwonenden gevonden werden in de literatuur is samengevat in **Tabel 10**.

Tabel 10: Overzicht van beschikbaarheid van HBM-data in literatuur per typegebied

Industrie (23)		Afval/grondverzet (6)		Brand (3)	
1. PFAS-productie	HBM	13. Bouwmaterialen	24. Afvalinzameling/-verwerking HBM *	30. Vliegvelen	HBM
2. Papier/karton		14. Pesticiden/biociden	25. Afvalverbranding HBM **	31. Brandweeroefenterrein	HBM
3. Metaalbewerking/-behandeling		15. Farmaceutica	26. Stortplaats HBM **	32. Brandincident	HBM
4. Elektronica/halfgeleiders		16. Lijmen	27. Waterzuivering		
5. Brandblusschuim		17. Elastomeren	28. Lozing in grondwater		
6. Petrochemie		18. Niet-eetbare vetstoffen	29. Grondverzet/-verwerking		
7. Verven/coatings		19. Eetbare vetstoffen			
8. Fotogevoelige materialen		20. Wasserijen/droogkuis	Diffuse PFAS-bronnen: - Kust- en zeegebied HBM ** <i>zonder verhoogde PFAS-serumwaarden</i> - Landbouw HBM		
9. Textiel	HBM **	21. Oppervlakte reiniging			
10. Transportmiddelen		22. Drukwerk			
11. Cosmetica/detergenten		23. Opslag gevaarlijke goederen			
12. Kunststoffen	HBM				

HBM: HBM-data beschikbaar *: zeer beperkte steekproef *: slechts één studie of niet-EU studie(s)

Een uitgebreid overzicht van de PFAS-serumniveaus, PFAS-fingerprints, steekproefgroottes, dominante blootstellingroutes - en bronnen, en aantal verontreinigde gebieden/studies per PFAS-typegebied is opgenomen in **Bijlage 2** en wordt in onderstaande paragrafen samengevat.

De historische en huidige PFAS-productie in Europa, vooral rondom locaties zoals 3M, heeft geleid tot wijdverspreide milieuverontreiniging. HBM-studies tonen aan dat mensen nabij deze **PFAS-productiesites** significant hogere PFAS-concentraties in hun bloed hebben dan referentiepopulaties. De samenstelling van de gedetecteerde PFAS-mengsels varieert sterk tussen verschillende productiesites, afhankelijk van de specifieke PFAS-stoffen en de manier waarop ze in het milieu terechtkomen. Ook de niveaus van PFAS blootstelling (PFAS concentraties in serum) bij omwonenden van PFAS-productiesites variëren sterk tussen verschillende PFAS-hotspots; dit heeft enerzijds te maken met verschillende PFAS-fingerprints en niveaus in het milieu (bodem, water, lucht, lokale voeding), maar anderzijds ook met blootstellingsduur, -frequentie en met de relevante blootstellingsroutes en factoren die verschillen tussen de verschillende studies (bv. of het verontreinigde grondwater al dan niet gebruikt werd voor productie van drinkwater; of omwonenden een moestuin of kippenren hebben, of aan lokale visvangst doen, en dus via consumptie van lokaal, gecontamineerd voedsel aan PFAS werden blootgesteld).

Naast productie zijn er PFAS-typegebieden waar PFAS werden verwerkt of gebruikt, zoals de **downstream chemische sector, de metaalindustrie en brandweeractiviteiten**. Er zijn HBM-studies rondom chemische sites in Nederland, Duitsland en de VS waar PFAS geproduceerd en vervolgens gebruikt werden bij de productie van fluoropolymeren (bijv. Teflon) of polymeren met gefluoreerde zijketens. Deze studies tonen consistent hogere PFAS-bloedwaarden (vooral PFOA) bij omwonenden. Andere PFAS-verwerkende industrieën omvatten o.a. de textielindustrie, maar hier zijn de beschikbare HBM-studies eerder beperkt en/of uitgevoerd op (zeer) beperkte steekproeven (Climaxi), waardoor het moeilijker is om duidelijke conclusies te trekken.

Het wijdverspreide gebruik van **AFFF-brandblusschuimen tijdens brandweeractiviteiten** leidt tot PFAS-verontreiniging van grondwater en drinkwaterbronnen, wat resulteert in verhoogde PFAS-niveaus in het bloed van omwonenden. De beschikbare HBM-studies werden vooral verricht in de omgeving van militaire luchthavens en oefenterreinen en in mindere mate rond civiele luchthavens of brandweeroefenterreinen. **De gerapporteerde HBM-waarden variëren sterk tussen verschillende studies**, hetgeen wijst op verschillen in verontreinigingniveaus in de leefomgeving, maar ook duur van

blootstelling, en verschillen in blootstellingsroute (bv. drinkwater of verontreinigd vlees) (informatie over blootstellingroutes per studie: zie Tabel 16 in bijlage 2). De verschillende studies m.b.t. brandweeractiviteiten vinden vooral verhoogde waarden van **PFOS en PFHxS** terug in het bloed van omwonenden.

PFAS-houdende producten komen ook in afvalstromen terecht, waardoor afvalverwerkingslocaties zoals stortplaatsen, metaalversnipperaars, afvalverbrandingsinstallaties en waterzuiveringsinstallaties PFAS-verontreinigde gebieden kunnen zijn. Het aantal HBM-studies in deze typegebieden is echter beperkt.

Voor afvalverwerking van metalen (metaalversnipperaars) is weliswaar slechts één studie (nl. in Wallonië, BIOBRO-project (BIOBRO, 2024)), maar deze is gebaseerd op een voldoende grote steekproef. In deze studie werd aangetoond dat er significant verhoogde **PFOS-serumwaarden** waren bij tieners die in de buurt van een shredder wonen t.o.v. andere Waalse tieners.

Voor afvalverwerking en een aantal van de andere voorgaande PFAS-typegebieden voerde Climaxi een verkennend onderzoek uit, waarbij op een beperkte steekproef PFAS-bloedmetingen bij omwonenden van (historische) stortplaatsen, (textiel)industrie en afvalverbrandingsinstallaties zijn uitgevoerd. De steekproefgrootte van deze studies was zeer beperkt, en de selectiecriteria van de deelnemers is onduidelijk, waardoor het moeilijk is om deze resultaten te veralgemenen naar omwonenden van deze met PFAS verontreinigde gebieden. Evenwel suggereren deze metingen dat de lokale bevolking mogelijk een matige (stortplaatsen) tot sterk (textielindustrie) verhoogde PFAS-blootstelling kent, hetgeen deze PFAS-typegebieden relevant maakt bij de keuze van typegebieden voor HBM-onderzoek. De PFAS-waarden van deelnemers rond afvalverbrandingsinstallaties waren lager, en mogelijks weinig of niet verhoogd, maar ook hier is het aantal stalen te beperkt om een goed onderbouwde conclusie te kunnen formuleren.

In kust- en zeegebieden worden verhoogde PFAS-waarden in water en zeeschuim gemeten. Voorlopig is er één studie gepubliceerd m.b.t. blootstelling aan PFAS bij populaties in kustgebieden. In deze studie werden geen verhoogde PFAS-concentraties gevonden in het bloed van Deense surfers in vergelijking met de algemene bevolking. Lopend onderzoek van de RIVM in de regio van de Westerschelde zal mogelijks verdere duiding geven over de blootstelling aan PFAS in kust- en zeegebieden.

Landbouw kan ook een PFAS-bron zijn door het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en biociden die PFAS-verbindingen bevatten of door het gebruik van PFAS-verontreinigd slib als bodemverbeteraar.

Twee Duitse HBM-studies toonden sterk verhoogde PFOA-serumwaarden bij omwonenden van landbouwgrond bewerkt met industrieel sterk vervuild **PFAS-houdend slib**. Het gebruik van slib als bodemverbeteraar is niet courant in Vlaanderen, en onderhevig aan strikte regelgeving m.b.t. bodemkwaliteit en volksgezondheid (cfr. VLAREMA; aanpassingen 7 juni 2024²⁸) zijn er geen gegevens bekend die erop wijzen dat sterk PFAS-verontreinigd slib in de Vlaamse landbouw wordt of werd gebruikt²⁹, vandaar dat deze gegevens minder relevant zijn voor Vlaamse PFAS-typegebieden. Dus is

²⁸ <https://emis.vito.be/nl/actuele-wetgeving/7-juni-2024-besluit-van-de-vlaamse-regering-tot-wijziging-van-de-regelgeving-over>

²⁹ Schriftelijke vraag Vlaams Parlement: Verontreiniging met fluorhoudend slib. [Schriftelijke vraag 240 \(2021-2022\) | Vlaams Parlement](#)

dit type en de mate van verontreiniging niet representatief voor de typische PFAS-verontreiniging in de landbouw door gebruik van slib.

Voor PFAS-verontreiniging door gebruik van pesticiden zijn er geen HBM-gegevens gekend.

Er werden geen HBM-studies gevonden voor de metaalindustrie, papier- en kartonindustrie, de lak-, inkt- en verfindustrie, wasserijen/droogkuis, drukkerijen of grote scheepswerven, ondanks de aanwezigheid van PFAS in milieustalen in deze typegebieden.

4.3 CONCLUSIE

PFAS komen wijdverspreid en via diverse bronnen in de omgeving terecht, wat leidt tot de PFAS-blootstelling bij mensen die woonachtig zijn in de buurt van PFAS-verdachte activiteiten (PFAS-typegebieden). Verhoogde PFAS-blootstelling bij omwonenden van PFAS-typegebieden werden immers bevestigd aan de hand van HBM-metingen (metingen PFAS in serum). Hoewel het merendeel van de HBM-studies zich richt op PFAS-verontreinigde gebieden zoals productiesites en brandweeractiviteiten (o.a. militaire luchthavens en brandweeroefenterreinen), kan ook in de buurt van andere PFAS-typegebieden verhoogde PFAS-blootstelling van de algemene bevolking verwacht worden (bijv. afvalverwerking, textielindustrie,). Gezien de diversiteit en wijde verspreiding van PFAS-bronnen kan verder HBM-onderzoek in Vlaanderen een beter inzicht geven in humane blootstelling en bijhorende gezondheidsrisico's.

Op basis van de beschikbare HBM-literatuurdata kunnen we concluderen dat er voor een aantal PFAS-typegebieden, met name PFAS-productie, *downstream use* van PFAS in kunststoffen (teflon) en sites verontreinigd door brandweeractiviteiten sterk verhoogde PFAS-serumwaarden zijn gemeten, in verschillende studies, telkens met een voldoende omvangrijke steekproefgrootte.

Voor een specifieke subsector onder het typegebied afvalverwerking, met name 'metaalversnipperaars' is er weliswaar slechts één studie (nl. in Wallonië, BIOBRO-project (BIOBRO, 2024)), maar deze is gebaseerd op een voldoende grote steekproef, en werd aangetoond dat er significant verhoogde **PFOS-serumwaarden** waren bij tieners die in de buurt van een shredder wonen t.o.v. andere Waalse tieners.

Daarnaast zijn er een aantal typegebieden (textiel, afvalverwerking: stortplaatsen, en afvalverbranding) met telkens slechts 1 studie, die bovendien een zeer beperkte steekproefgrootte hadden. De selectiecriteria van de deelnemers zijn onduidelijk, waardoor het moeilijk is om deze resultaten te veralgemenen naar omwonenden van deze met PFAS verontreinigde gebieden. Evenwel suggereren deze metingen dat de lokale bevolking een matige (stortplaatsen) tot sterk (textiel) verhoogde PFAS-blootstelling kent, hetgeen een reden kan zijn voor bijkomend onderzoek en dus deze typegebieden relevant maakt bij de keuze van typegebieden voor HBM-onderzoek.

Aan de andere kant zijn er ook typegebieden, zoals bijvoorbeeld kust- en zeegebieden (zeeschuim), waar we vermoeden dat er geen verhoogde PFAS-waarden in serum zijn. Dit is echter gebaseerd op slechts één studie met een kleine steekproef en moet nog worden bevestigd, bijvoorbeeld door het lopend RIVM-onderzoek aan de Westerschelde.

Daarnaast zijn er nog **veel hiaten in de beschikbare HBM-data voor bepaalde PFAS-typegebieden**, wat betekent dat we de aanwezigheid van verhoogde PFAS-waarden in serum van omwonenden in deze typegebieden nog niet bevestigd hebben gezien in eerder onderzoek, maar wel waarschijnlijk achten gezien (sterk) verhoogd voorkomen van PFAS in omgevingsmatrices in de verschillende typegebieden (zie HOOFDSTUK 2 en HOOFDSTUK 3). **Deze typegebieden (met hiaten in HBM-**

onderzoek) kunnen dus in overweging genomen worden bij de selectie van PFAS-typegebieden voor HBM-onderzoek.

Tenslotte is het belangrijk te vermelden dat we zien of tenminste vermoeden dat er binnen alle typegebieden een sterke diversiteit in PFAS-*fingerprints* en blootstellingsniveaus is, die naast de aard van het typegebied en de niveaus van milieuverontreiniging ook beïnvloed worden door de lokale context, zoals de historiek en duur van de blootstelling, de relevante blootstellingsroutes (bijv. al dan niet gecontamineerd drinkwater), en gewoontes bij de lokale bevolking (consumptie van eigen geteeld voedsel). Hierdoor is het niet mogelijk om HBM-serumniveaus te veralgemenen per typegebied, en de bevindingen uit literatuur te extrapoleren. Bij de selectie van typegebieden en locaties voor HBM-onderzoek dient ook rekening gehouden te worden met lokale omstandigheden zoals historiek en duur van blootstelling, en vermoedelijke blootstellingsroutes (drinkwater, lokale voeding...).

HOOFDSTUK 5. STAPPENPLAN VOOR HBM-ONDERZOEK IN PFAS-TYPEGEBIEDEN



Het derde deel van de opdracht, zoals vastgelegd in het ministerieel besluit van 14 augustus 2024, bestaat uit het opstellen van een stappenplan voor het uitvoeren van een HBM-onderzoek naar PFAS in de geselecteerde typegebieden. Eveneens volgens de opdracht, moet het stappenplan erop gericht zijn om na te gaan in welke typegebieden de inwendige blootstelling groter is dan in de Vlaamse referentiepopulatie. Om deze redenen werden volgende aannames gemaakt in het opstellen van het stappenplan:

- Er wordt in de geselecteerde typegebieden gekozen voor humane biomonitoring.
- De doelgroep in de typegebieden is afgestemd op de Vlaamse referentiepopulatie, onderzocht in het subsidieproject “HBM-referentiecampaagne voor PFAS bij volwassenen”.
- De PFAS HBM-resultaten in de onderzochte typegebieden zullen vergeleken worden met de meest recente Vlaamse referentiewaarden.

5.1 DOELSTELLING

5.1.1 Hoofddoel

Dit stappenplan voor HBM-onderzoek in PFAS-typegebieden heeft tot **hoofddoel** om **per typegebied** voor de lokale bevolking **actuele PFAS-data voor interne blootstelling** te genereren.



Waarom HBM?

Enkel een meting in de mens kan de totale, humane blootstelling weergeven. HBM-onderzoek weerspiegelt de geïntegreerde humane blootstelling aan een chemische stof, en houdt rekening met humane factoren zoals opname, metabolisme en excretie. Mogelijk zijn niet alle bronnen gekend en meetbaar via milieumetingen. Een andere toegevoegde waarde van HBM-onderzoek is dat er directe verbanden gelegd kunnen worden tussen de interne blootstelling aan chemische stoffen, zoals PFAS, en vroegtijdige merkers van gezondheid. Verder is er in de toekomst een gezondheidsopvolging mogelijk via een link met het huisartsendossier of andere gezondheidsregisters. HBM-onderzoek in typegebieden kan daarenboven een beter inzicht geven in lokale determinanten van blootstelling via het gebruik van vragenlijsten, koppeling met bestaande lokale milieudata en eventueel ook nieuw gegeneerde milieumetingen. Internationaal onderzoek heeft al aangetoond dat de determinanten van blootstelling aan PFAS bepaald worden door het type bron en de manier van verspreiding. Tot slot is er ook het mentale effect: “pollution gets personal”. Een HBM-studie zet een participatief proces in gang, en vergroot het draagvlak voor beleidsmaatregelen.

De resultaten van een HBM-onderzoek kunnen worden aangewend voor de milieugezondheidskundige risicobeoordeling van PFAS-blootstelling bij inwoners van de typegebieden. Deze wetenschappelijke inzichten kunnen worden ingezet om beleidsmaatregelen en -inspanningen te onderbouwen om de humane blootstelling aan PFAS in de typegebieden te verminderen. De milieugezondheidskundige risicobeoordeling van de PFAS-blootstelling bij inwoners van de typegebieden omvat verschillende deelaspecten:

- 1) statistische vergelijking van de PFAS-serumwaarden in de PFAS-typegebieden met de meest recente Vlaamse referentiewaarden voor PFAS laat toe om een wetenschappelijke uitspraak te doen over de PFAS-belasting in een typegebied ten opzichte van de achtergrondblootstelling in Vlaanderen;
- 2) beschrijvende vergelijking van de gemiddelde PFAS-serumwaarden in de PFAS-typegebieden met regionale en internationale referentiedata (vb. HBM4EU, PARC) laat toe om de PFAS-blootstelling semi-kwantitatief te kaderen ten opzichte van andere populaties in Vlaanderen, België, Europa of wereldwijd;
- 3) vergelijking van de PFAS-serumwaarden in de PFAS-typegebieden met gezondheidkundige advieswaarden (GAW, health-based guidance values, HBGV's) geeft informatie over het milieugezondheidsrisico van deze stoffen voor de bewoners van de typegebieden en voor de individuele deelnemers;
- 4) inzicht in determinanten van blootstelling aan PFAS in typegebieden. Dit laatste aspect biedt overheid en burger handelingsperspectieven om de interne blootstelling te verminderen.

Een **maximale praktische en inhoudelijke afstemming van deze studie op de bestaande HBM-onderzoeken** in Vlaanderen is essentieel om PFAS-metwaarden te genereren die vergelijkbaar zijn met de Vlaamse en internationale referentiewaarden.

Dit stappenplan geeft **praktische richtlijnen** voor elke fase van het onderzoek aan en behandelt ook een aantal praktische en wetenschappelijke aandachtspunten. Het is belangrijk dat in elke stap aandacht besteed wordt aan socio-demografische en socio-economische verschillen bij de deelnemers.

5.1.2 Bijkomende doelstellingen

In lijn met de beleidsvraag naar aandacht voor de weerslag van de PFAS-problematiek op het (mentaal) welzijn en de onrust van de onderzochte bevolking en met het FLEHS-5 referentie-HBM voor volwassenen, **zijn bijkomende doelstellingen** voor dit HBM-onderzoek:

1) Inzicht verwerven in welke mate ook in typegebieden de problematiek van PFAS-vervuiling leeft onder de volwassen bevolking. Een eerste indicator is daarbij de respons op de uitnodiging tot deelname aan dit onderzoek. Daarnaast is het mogelijk om in de vragenlijsten de respondenten hierover meer specifiek te bevragen. Deze doelstelling bevat deeldoelstellingen:

- Er wordt onderzocht in welke mate kennis en percepties over de PFAS-problematiek verband houden met gedrag patronen (bv. geen eieren van eigen kippen meer eten) en percepties over de leefomgeving, en hoe dit kadert in een breder milieubewustzijn.
- Een belangrijk aandachtspunt hierbij is in welke mate deelnemers hun weg vinden naar informatie over PFAS-vervuiling, zich daarmee voldoende en correct geïnformeerd voelen en in staat zijn om deze informatie op een goede manier te bevatten en ernaar te handelen (*environmental health literacy*).
- Daarnaast wordt onderzocht in welke mate percepties en kennis over PFAS-problematiek geassocieerd zijn met mentale gezondheid en welbevinden.

De bevindingen betreffende deze aspecten uit de PFAS HBM-studie bij de Vlaamse referentiepopulatie volwassenen kunnen hierbij dienen als vergelijkingsbasis voor de bevindingen in deze studie en kunnen gerichte beleidsacties rond milieubewustzijn en welbevinden onderbouwen.

2) Collectie van serumbiobankstalen voor suspect screening van PFAS en toekomstig onderzoek

In CompTox, de chemicaliëndatabase die wordt bijgehouden door het U.S. Environmental Protection Agency (EPA), zijn momenteel bijna 15.000 PFAS-componenten opgenomen (<https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical-lists/PFASSTRUCT>). Al deze componenten kunnen echter niet kwantitatief gemeten worden middels een gevalideerde meting. Om te bestuderen aan welke PFAS-componenten de bewoners van typegebieden intern blootgesteld worden (zie ook 2.3.2.3), kunnen (biobank)stalen worden verzameld, met als doel een bredere screening naar PFAS-componenten. Voor deze screening kan de EPA-database als basis gehanteerd worden. Naast screening op de aanwezigheid van PFAS in het lichaam is ook het kwantificeren van de interne blootstelling aan nieuwere PFAS-componenten interessant.

In biobankstalen die in dit onderzoek verzameld worden, kunnen in de (nabije) toekomst PFAS-componenten gekwantificeerd worden waarvoor nog geen gevalideerde meettechniek in humane stalen beschikbaar is. Zo wordt momenteel gewerkt aan de kwaliteitsvolle kwantificatie van korteketen PFAS (C2-C5) in humane matrices. De wetenschappelijke kennis rond humane blootstelling aan deze groep PFAS is momenteel nog beperkt. Zoals de MINA-raad reeds aangaf ([PFAS actieplan MINA](#)), worden korteketen-PFAS wereldwijd steeds vaker als alternatief voor reeds gereguleerde PFAS gebruikt. Ze zijn echter ook zeer persistent en mobiel in het milieu en dit leidt mogelijk tot verhoogde gehalten in het menselijk lichaam. Vanuit wetenschappelijk oogpunt kan het interessant zijn deze humane blootstelling na te gaan. Biobankstalen kunnen in de toekomst eveneens aangewend worden om andere relevante humane Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) te meten.

Voorafgaand aan de metingen in de biobankstalen dient beoordeeld te worden of de stalen geschikt zijn voor het geplande onderzoek (matrix, volume, stabiliteit, etc.) en wat de impact is op het restvolume zodat de nood kan worden afgewogen ten opzichte van mogelijke toekomstige onderzoeksvragen.

3) Koppeling van de PFAS-resultaten met gezondheidsdata geregistreerd door huisartsen.

Een aanvullende doelstelling in dit onderzoek kan zijn om de PFAS-resultaten aan de huisarts te bezorgen, zodat de gegevens in de toekomst ook van nut kunnen zijn voor onderzoek naar verbanden tussen PFAS-blootstelling en gezondheid binnen de Intego-databank. De haalbaarheid van de koppeling tussen Intego-data en HBM-data werd recent bestudeerd en bevestigd ([koppeling-van-pfas-hbm-data-aan-gezondheidseindpunten-uit-het-emd](#), Jansen et al. (2025)³⁰). Intego is een registratienetwerk van Vlaamse huisartsen met gegevens over eerstelijnszorgmorbiditeit. Slechts een deel van de algemene bevolking is aangesloten bij een Intego-arts. We nemen dit bewust niet mee als selectiecriteria, maar op basis van toeval verwachten we dat een proportie van de huidige PFAS-metingen (jongeren en volwassenen) benut kan worden voor toekomstig Intego-onderzoek. In eerder onderzoek in de regio rond 3M was een koppeling mogelijk voor ongeveer 30% van de deelnemers. Door de data van deze studie te combineren met andere PFAS-bloedonderzoeken in Vlaanderen (o.m. FLEHS-5, PFAS-bloedonderzoek rond 3M uit 2021; grootschalig bloedonderzoek 3M; HBM-jongerenstudie 3M), wordt op termijn een databank bekomen die voldoende groot is voor verder wetenschappelijk onderzoek. Via een 'trusted third party' of Intego zelf worden gegevens uit het elektronisch medisch dossier (EMD) geëxtraheerd en geanonimiseerd, waarna de ziektegegevens beschikbaar

³⁰ Jansen P., Den Hond E., De Brouwere K., Ali E.A., Hassen H.Y., Gabaret I., Van Pottelbergh G. (2025) Integrating human biomonitoring exposure data into a primary care morbidity database: a feasibility study. Environmental Health, vol24:1, <https://doi.org/10.1186/s12940-024-01152-5>

worden gemaakt voor wetenschappelijk onderzoek. De geëxtraheerde gegevens omvatten o.m. diagnoses, symptomen, technische metingen (bv. bloeddruk, gewicht, ...), medicatie, laboratoriumwaarden. Deze koppeling maakt een langetermijnopvolging van gezondheid in relatie tot PFAS-blootstelling in Vlaanderen mogelijk en is dus zowel wetenschappelijk als beleidsmatig een meerwaarde. De HBM-resultaten uit de PFAS-typebieden kunnen een waardevolle aanvulling zijn bij de reeds uitgevoerde studies om de via de Intego-databank blootstelling-effectassociaties in Vlaanderen te onderzoeken.

5.2 METHODE

De HBM-studie bestaat uit verschillende fases, waarbij het draaiboek/ stappenplan in volgorde van uitvoering besproken wordt.

1. Selectie van relevante biomerkers – opmaak vragenlijsten
2. Afbakening studiegebieden
3. Selectie doelgroep
4. Rekrutering
5. Veldwerk
6. Chemische analyses
7. Statistische analyses
8. Interpretatie en rapportering
9. Communicatie
10. Ethisch dossier
11. Projectcoördinatie

Dit stappenplan is geënt op het lopende Vlaamse humane-biomonitoringonderzoek bij een referentiepopulatie Vlaamse jongeren en PFAS referentie-HBM bij volwassenen (Flemish Environment and Health Studies, FLEHS-5, 2022-2027), uitgevoerd door het Steunpunt Omgeving en Gezondheid. Het onderzoeksprogramma ondersteunt sinds 2001 het Vlaamse milieugezondheidsbeleid door de complexe interacties tussen milieu, levensstijl, socio-economische variabelen en fysieke en mentale gezondheid in kaart te brengen. De noodzaak van een dergelijk Vlaams HBM-programma werd in 2003 verankerd in het Vlaams Decreet Preventieve Gezondheidszorg en in 2024 bekrachtigd in de herziening van het preventiedecreet in 2024³¹. FLEHS-5 wordt in opdracht van de Vlaamse kennishub Omgeving en Gezondheid uitgevoerd door een multidisciplinair onderzoeksteam met wetenschappers van alle Vlaamse universiteiten en van de kennisinstellingen VITO, PIH en INBO (medewerkers-steunpunt-omgeving-en-gezondheid). FLEHS-5 bouwt voort op de sterke punten en ervaring die werden opgedaan in de eerste vier FLEHS-cycli (2001-2006, 2007-2011, 2012-2015, 2016-2020) en richt zich op het meten van een brede waaier aan blootstellingen zoals chemische stoffen, waaronder ook PFAS. Het Vlaams HBM-programma heeft de voorbije twee decennia de chemische milieubelasting van de Vlaamse bevolking en de associaties met fysieke en mentale gezondheidseffecten gekarakteriseerd. Ook de mentale gezondheid in relatie tot milieublootstelling worden in FLEHS-5 mee in rekening genomen.

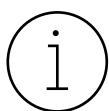
³¹ <https://codex.vlaanderen.be/PrintDocument.ashx?id=1012025&geannoteerd=false>

5.3 SELECTIE VAN BIOMERKERS EN OPMAAK VRAGENLIJSTEN

5.3.1 Selectie van biomerkers

Gezien de HBM-studies gericht worden op PFAS-typegebieden, zullen de **biomerkers van blootstelling** in de eerste plaats bestaan uit **PFAS-componenten**. **Tabel 11** omvat een voorstel tot een **minimale set PFAS**, te meten in alle typegebieden die bestudeerd worden.

- Deze PFAS-selectie omvat de PFAS die bij de Vlaamse jongeren en volwassenen referentiepopulatie in FLEHS-5 gemeten worden en zorgt zo voor een optimale vergelijking tussen de typegebieden en de Vlaamse referentiegroep. De set PFAS uit de referentiemonitoring is in overeenstemming met de Europese HBM-referentiestudies (general survey) in het kader van de chemische risicobeoordeling in PARC³².
- De selectie omvat eveneens minstens de 13 PFAS die in het grootschalig bloedonderzoek binnen een straal van 5 km rond de 3M-fabriek gemeten worden.
- Deze minimale selectie kan worden aangevuld met bijkomende PFAS-componenten die relevant zijn voor een specifiek typegebied, indien deze informatie beschikbaar is (zie ook fingerprinting in 2.2.4.3).



Eenzelfde set PFAS meten in de verschillende onderzoeksgebieden zorgt voor een optimale vergelijking tussen de gebieden. De vergelijking geeft niet alleen informatie over eventuele verschillen in concentraties tussen gebieden, maar ook over verschillen in aan- of afwezigheid van PFAS-componenten. Deze verschillen in PFAS-fingerprint bevatten nuttig informatie over lokale aandachtspunten en klemtonen.

³² Partnership for the Assessment of Risks from Chemicals: <https://www.eu-parc.eu/>

Tabel 11: Minimale lijst PFAS die werden opgenomen in de Vlaamse referentie-HBM van FLEHS-5, gebaseerd op de PARC-lijst.

Naam	Afkorting
Perfluor carboxyl zuren	PFCA's
Perfluoro-n-butaanzuur	PFBA
Perfluoro-n-pentaanzuur	PFPeA
Perfluoro-n-hexaanzuur	PFHxA
Perfluoro-n-heptaanzuur	PFHpA
Perfluoro-n-octaanzuur (lineair)	PFOA _{lineair}
Perfluoro-n-octaanzuur (lineair + vertakt)	PFOA _{totaal}
Perfluoro-n-nonaanzuur	PFNA
Perfluoro-n-decaanzuur	PFDA
Perfluoro-n-undecaanzuur	PFUnDA
Perfluoro-n-dodecaanzuur	PFDoDA
Perfluor sulfonaat zuren	PFSA's
Perfluoro-n-butaansulfonzuur	PFBS
Perfluoro-n-hexaansulfonzuur (lineair)	PFHxS _{lineair}
Perfluoro-n-hexaansulfonzuur (lineair + vertakt)	PFHxS _{totaal}
Perfluoro-n-heptaansulfonzuur	PFHpS
Perfluoro-n-octaansulfonzuur (lineair)	PFOS _{lineair}
Perfluoro-n-octaansulfonzuur (lineair + vertakt)	PFOS _{totaal}
perfluoro-n-nonaansulfonzuur	PFNS
Precursoren en vervangproducten	
n-methylperfluor-n-octaansulfonamide (lineair)	MePFOSA
n-ethylperfluor-n-octaansulfonamide (lineair)	EtPFOSA
4:2 fluortelomeersulfonzuur	4:2 FTS
6:2 fluortelomeersulfonzuur	6:2 FTS
8:2 fluortelomeersulfonzuur	8:2 FTS
Perfluor-2-propoxypropaanzuur	HFPO-DA of GenX
4,8-dioxa-3H-perfluornonaanzuur	DONA
9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonaan-1-sulfonaat	9CI-PF3ONS

In de opdracht is ook gespecificeerd om in het stappenplan aanbevelingen op te nemen voor het inschatten van de **mentale gezondheid en welbevinden**. Het in kaart brengen van mentale gezondheid en welbevinden kan aan de hand van gevalideerde vragenlijsten (zie sectie 5.3.2). De zo verkregen indicatoren voor mentale gezondheid en welbevinden kunnen gebruikt worden om de lokale situatie in het typegebied te beschrijven en om via blootstelling-effect-associaties na te gaan in welke mate de inwendige PFAS-gehalten geassocieerd zijn met verschillen in mentale gezondheid en welbevinden.



Hoe gebeurt dit in de Vlaamse referentie HBM?

In de 5^{de} cyclus van de Vlaamse referentie HBM (FLEHS-5) worden bij de jongeren en bij de volwassenen merkers opgenomen voor:

- Normaal functioneren en de graad van psychische moeilijkheden
- Vitaliteit
- Emotionele problemen
- Gedragsproblemen
- Hyperactiviteit
- Problemen met leeftijdsgenoten
- Prosociaal gedrag
- Emotionele uitputting
- Persoonlijkheidskenmerken (openheid, zorgvuldigheid, extraversie, vriendelijkheid, neuroticisme)

Bijkomende opties

Afhankelijk van de specifieke beleids- en/of onderzoeksvragen kan de biomerkerselectie nog worden uitgebreid met volgende opties:

- **Suspect screening of non-targeted screening:** Via chemische analysetechnieken die worden toegepast in suspect screening of in non-targeted screening kan de chemische samenstelling van stalen, zoals bloed of urine, in kaart gebracht worden. Door de resultaten te vergelijken met uitgebreide bibliotheken aan chemische stoffen, kunnen de stoffen in het staal geïdentificeerd worden. Deze methode laat toe na te gaan of er bepaalde chemische stoffen aanwezig zijn die mogelijk verdere aandacht vereisen. Zie ook bijkomende doelstelling 2 in 5.1.2.
- **Bijkomende blootstellingsmerkers:** In sommige PFAS-typegebieden zijn mogelijks ook bronnen of vervuiling aanwezig van andere zorgwekkende stoffen. In dat geval kan het er een bijkomende vraag zijn om naast PFAS ook andere blootstellingsmerkers te meten of hiervoor biobankstalen te voorzien.
- **Effectmerkers:** Om meer inzicht te krijgen op de gezondheidssimpact van de waargenomen blootstelling kunnen ook effectmerkers in het protocol worden opgenomen. Door het meten van gezondheidseffecten of van biomerkers van biologische veranderingen in het lichaam en blootstellingsmerkers in dezelfde personen kunnen associaties tussen deze merkers onderzocht worden. Dit kan nuttige informatie verschaffen voor de milieugezondheidskundige betekenis van de blootstelling in geval er geen toetsingswaarden beschikbaar zijn of om vroegtijdige veranderingen op te sporen die een preventief gezondheidsbeleid van de nodige gegevens voorzien.

5.3.2 Opstellen vragenlijsten

Naast het geven van humane stalen, wordt aan de deelnemers ook gevraagd om gedetailleerde vragenlijsten in te vullen.

- Aan de hand van vragenlijsten kan van de deelnemers nuttige informatie bekomen worden die de waargenomen variatie in de biomerkmetingen kan verklaren (**determinanten**). Hieruit kunnen aanknopingspunten worden afgeleid voor beleidsontwikkeling of die handelingsperspectief bieden aan de inwoners van de typegebieden.
- Via de vragenlijsten kan ook gepeild worden naar de **perceptie** van de burgers waaruit informatie wordt verkregen over noden, bezorgdheden en vertrouwen die nuttig is om breed gedragen beleidsacties af te leiden. Dit is in overeenstemming met de communicatie van minister Crevits op 27 november 2023 om ook de onrust van de onderzochte bevolking in kaart te brengen. Naast een bevraging van de perceptie zijn ook focusgesprekken en diepte-interviews met deelnemers interessante tools voor deze doelstelling.
- Sommige **gezondheidseffecten** worden in kaart gebracht aan de hand van gevalideerde vragenlijsten, zo ook merkers voor **mentale gezondheid en welbevinden**:
 - General Health Questionnaire (GHQ12): het algemeen mentaal welbevinden, het normaal functioneren en de graad van psychische moeilijkheden
 - Short Form Health Survey (SF-36): vitaliteitsschaal
 - Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ): emotionele en gedragsproblemen, hyperactiviteit, problemen met leeftijdsgenoten en prosociaal gedrag
 - Utrechtse Burnout Schaal voor Studenten (UBOS-S): emotionele uitputting
 - Big Five Inventory (BFI) 2 – Extra-Short Form: vijf persoonlijkheidstrekken openheid, zorgvuldigheid, extraversie, vriendelijkheid en neuroticisme

Om de vergelijkbaarheid tussen de studiepopulatie in de typegebieden en deze in de Vlaamse referentiemonitoring te bevorderen, dienen **de vragenlijsten** inhoudelijk maximaal afgestemd te worden op de vragenlijsten uit de **FLEHS-5 referentiemonitoring voor PFAS** (en het grootschalig bloedonderzoek).



Hoe gebeurt dit in de Vlaamse referentie HBM?

Vragenlijsten die vast onderdeel uitmaken van een PFAS-HBM-studie bij volwassenen zijn: 1) een algemene vragenlijst, in te vullen voorafgaand aan de staalafname; 2) een vragenlijst recente blootstelling, in te vullen op de onderzoeksdag. Beide vragenlijsten zijn opgebouwd uit meerdere modules van gevalideerde vragen die tot doel hebben de PFAS-data correct te interpreteren en die verder onderzoek naar determinanten van blootstelling of verbanden met gezondheidseffecten mogelijk maken. De vragenlijsten in FLEHS-5 zijn afgestemd op voorgaande FLEHS-cycli en op de general survey in PARC. In de FLEHS-studies kunnen de vragenlijsten zowel digitaal als op papier ingevuld worden.

Algemene vragenlijst FLEHS-5 referentie volwassenen (± 60 min):

- MODULE 1: startvragen i.v.m. persoonskenmerken en huishouden, woning, leefgewoonten
- MODULE 2: voeding en woonomgeving
- MODULE 3: welbevinden, sociale contacten en vrijetijdsbesteding
- MODULE 4: PFAS en het milieu: kennis, perceptie, en gedrag

Vragenlijst recente blootstelling (±15 min):

- Startvragen
- Levensstijl algemeen en recent (vb. roken, alcohol)
- Omgeving buiten en binnen, recent productgebruik buiten en binnen
- Voeding, recente consumptie van voeding

Gezien de omvang van de vragenlijst, is het aangewezen dat elke module afzonderlijk en op een ander tijdstip ingevuld kan worden.

5.4 AFBAKENING STUDIEGEBIEDEN

Verschillende PFAS-typegebieden die vermeld zijn in hoofdstuk 4 bevatten meerdere locaties in Vlaanderen met gelijkaardige activiteiten. Om voldoende deelnemers te kunnen rekruteren, zullen vaak meerdere locaties in eenzelfde typegebied nodig zijn. Het studiegebied van een typegebied zal dan bestaan uit het geheel van de aparte geselecteerde locaties in het typegebied.

5.4.1 Selectie van locaties binnen een typegebied

De verschillende PFAS-typegebieden zijn veelal samengesteld uit meerdere locaties verspreid in Vlaanderen (zie ook 2.2.4.1). Om een selectie te maken van op te nemen locaties binnen een typegebied kunnen verschillende strategieën gehanteerd worden:

- **Opnemen van alle locaties:** Opnemen van alle locaties die werden geïdentificeerd kan aangewezen zijn als er weinig locaties zijn of indien gewenst is om het volledige typegebied te bemonsteren. In dit geval worden ook locaties waarvoor nog geen (milieu)meetgegevens beschikbaar zijn, opgenomen in de selectie. Dit heeft als voordeel dat er geen blinde vlekken zijn. Wel is er mogelijk een kans op ‘verdunding’ van de resultaten indien er weinig blootstelling is in de locaties zonder voorkennis met milieudata.
- **Willekeurige selectie uit alle locaties:** Via computermodellen kan een willekeurige selectie gemaakt worden uit alle geïdentificeerde locaties in een typegebied. Eventueel kan de kans op selectie groter of kleiner gemaakt worden door bepaalde kenmerken van de locatie (vb. aanwezigheid van kwetsbare bevolkingsgroepen, overschrijding van richtwaarden) meer gewicht te geven in de willekeurige selectie.
- **Specifieke selectie** van locaties met vermoeden van de hoogste kans op blootstelling: Een mogelijke motivatie voor deze aanpak kan bestaan uit het in kaart brengen van een ‘*worst case*’ scenario. Deze selectie beperkt zich tot locaties met beschikbare meetresultaten in de leefomgeving.
- **Specifieke selectie** van locaties met vermoeden van de hoogste en de laagste kans op blootstelling. Deze aanpak kan wenselijk zijn indien de blootstellingsrange binnen het typegebied onderzocht wordt. Deze selectie beperkt zich eveneens tot locaties met beschikbare meetresultaten in de leefomgeving.

Ook kunnen de gegevens die verzameld werden in 2.3.2 en in 3.3 gebruikt worden om binnen een typegebied specifieke locaties te selecteren.

5.4.2 Afbakening van het studiegebied per locatie

Voor elke geselecteerde locatie in een typegebied moet een geografische afbakening gemaakt worden van het gebied waarin inwoners zullen worden uitgenodigd om aan de studie deel te nemen. Deze afbakening wordt meestal gebaseerd op beschikbare gegevens over emissies, gehalten in het leefmilieu (bodem, water, lucht), bevolkingsgegevens. De data die verzameld werden in hoofdstukken 3 en 4 kunnen hiervoor als input dienen.

Omdat er ook veel (historische) informatie aanwezig is bij buurtbewoners en lokale actoren is het ook aan te raden om deze stap participatief aan te pakken en met lokale actoren in gesprek te gaan over de geografische afbakening van het studiegebied. Naast het vervullen van de beschikbare gegevens met lekeninformatie, draagt dit ook bij tot het vergroten van het draagvlak van het studieontwerp bij de lokale actoren (zie ook 5.13).

5.5 DOELGROEP SELECTEREN

5.5.1 Keuze van de doelgroep

Er moet worden nagegaan welke doelgroep het meest relevant is om te bemonsteren in het typegebied. De doelgroep is bij voorkeur een groep die het meeste risico loopt op blootstelling en/of die het meest gevoelig is voor de blootstelling en/of die een goede weergave biedt van de inwoners van het typegebied. Hierbij moet ook rekening worden gehouden met de onderzoeks-/beleidsvragen en met de praktische haalbaarheid. Gezien een vergelijking van de resultaten in de typegebieden met de Vlaamse referentiewaarden de hoofdonderzoeksvraag is, wordt hier de focus gelegd op de doelgroepen waarvoor recente Vlaamse referentiewaarden beschikbaar zullen zijn.

- **Jongeren in de puberteit:**
 - Gevoelige groep voor de effecten van blootstelling gezien de hormonale veranderingen in hun lichaam in die periode.
 - Goede weerspiegeling van de lokale situatie omdat ze geen beroepsblootstelling hebben en veel tijd in het studiegebied doorbrengen (wonen en hobby).
 - Praktisch:
 - Veldwerk kan gecentraliseerd worden op scholen, indien het studiegebied groot genoeg is.
 - Afname van bloed en/of urine is vaak geen probleem
 - Sommige delen van de vragenlijst moeten worden ingevuld door de ouders
 - Toestemming nodig van jongeren en van de ouders/voogd
 - In kleinere studiegebieden kan het moeilijk zijn om voldoende aantallen deelnemers te vinden.
 - Vlaamse referentiegroep in FLEHS-5 (14-15-jarigen, 2025-2026)
 - Voorbeeld: aandachtsgebieden Genk-Zuid, regio Menen, Gentse kanaalzone, regio 3M
- **Volwassenen:**
 - Volwassenen in vruchtbare leeftijd zijn ook een gevoelige groep voor effecten van hormoonverstorende vervuulende stoffen.
 - Bij volwassenen op latere leeftijd kunnen sommige gezondheidseffecten duidelijker zichtbaar zijn.
 - Mogelijk historische blootstelling als ze al lange tijd in het studiegebied wonen.
 - Weerspiegeling van de lokale situatie kan vertroebeld worden door beroepsblootstelling of door verhuisgedrag.

- Praktisch:
 - Moeilijkere beschikbaarheid voor veldwerk (werkende bevolking)
 - Afname van bloed en/of urine is vaak geen probleem
 - Kunnen de vragenlijsten zelf invullen
 - Gemakkelijker om voldoende aantallen deelnemers te vinden in het studiegebied
 - Vlaamse referentiegroep 18-65-jarigen (2025-2026)
- Voorbeeld: regio 3M

Naast de keuze van de leeftijdsgroep is het ook aan te raden om een inclusie criterium op te nemen betreffende de **verblijftijd in het studiegebied**. De relevantie van dit criterium is afhankelijk van de onderzoeksvraag.

- Onderzoeksvraag: PFAS-blootstelling door een lokale bron in kaart brengen. Om de lokale situatie voldoende te kunnen capteren, dienen de deelnemers voldoende lang in het studiegebied te hebben gewoond. Deze termijn wordt medebepaald door de halfwaardetijd van de biomerkers. Voor de EFSA-4 PFAS varieert de halfwaardetijd in het lichaam tussen 2 jaar en 15 jaar. Daarom is een minimale verblijftijd van 5 jaar in het studiegebied aanbevolen.
- Onderzoeksvraag: Bezorgdheid van burgers over PFAS-blootstelling. Er kunnen PFAS-metingen in bloed gebeuren om burgers te informeren over hun eigen interne blootstelling. Dan kan gekozen worden om geen rekening te houden met de verblijftijd. In dit geval kan de bekomen informatie over PFAS-gehalten niet beschouwd worden als typerend voor de regio, omdat burgers die pas in het gebied zijn komen worden blootstelling kunnen meedragen die ze elders hebben opgelopen.



Hoe gebeurt dit in de Vlaamse referentie-HBM?

In de HBM-onderzoeken van het Vlaams HBM-programma wordt een inclusie criterium van minimum 5 jaar wonen in Vlaanderen gehanteerd.

Ook dient er een beslissing te worden genomen over het **aantal leden van eenzelfde gezin** die aan de studie kunnen deelnemen. Deze beslissing is deels ook afhankelijk van de onderzoeksvragen die moeten worden beantwoord. Indien het belangrijk is om te beschikken over onafhankelijke observaties, is er een beperking nodig van 1 deelnemer per gezin. Als meerdere deelnemers van eenzelfde gezin deelnemen, zijn de meetwaarden niet meer onafhankelijk van elkaar (omwille van o.a. genetisch verwantschap, overdracht van blootstelling tussen ouders en kinderen, gelijkaardige leefgewoonten, enz.). Hierdoor vermindert ook de statistische power en zullen grotere steekproefgroottes nodig zijn (zie ook 5.5.2).

Alternatieve opties

Indien andere onderzoeksvragen naar voren worden geschoven dan de vergelijking met de Vlaamse referentiewaarden dan kunnen ook volgende doelgroepen mogelijke opties zijn:

- **Jonge kinderen:** Jonge kinderen hebben vaak een hogere blootstelling en vormen een goede weerspiegeling van de lokale situatie. Er zijn mogelijk wel beperkingen in de beschikbare matrix (niet-invasieve methodes) en in de beschikbaarheid van vergelijkende resultaten of toetsingswaarden.
- **Alle inwoners in het studiegebied:** Alle leeftijdsgroepen die gedurende x aantal jaren in het studiegebied wonen komen in aanmerking als deelnemer. Ook hier kunnen er beperkingen zijn in de beschikbare matrix (vooral voor <12 jaar) en in de beschikbaarheid van vergelijkende resultaten en toetsingswaarden.

5.5.2 Powerberekeningen grootte studiepopulatie

Het geschatte aantal beoogde deelnemers wordt verkregen via steekproefberekeningen of powerberekeningen. Deze berekeningen hadden een dubbel doel:

- 1) het adequaat schatten van het gemiddelde PFAS-gehalte in een typegebied met een specifieke precisie,
- 2) het mogelijk maken van statistische vergelijkingen tussen de gemiddelde PFAS-gehalten in de referentie-HBM en een specifiek typegebied.

Ter info: De doelgroep in het Vlaams HBM-programma zijn 300 jongeren (14-15 jaar), een gevoelige bevolkingsgroep voor de gezondheidsimpact van milieublootstelling. De doelgroep van de referentie-HBM voor PFAS bij volwassenen zijn 400 volwassen Vlamingen tussen 18 en 65 jaar oud. Omdat de omvang van het studiegebied soms beperkt kan zijn in omvang, achten we de kans groter dat die studiepopulatie zal bestaan uit volwassenen tussen 18 en 65 jaar om voldoende deelnemers te kunnen insluiten. Daarom werden de steekproefberekeningen uitgevoerd voor deze leeftijdsgroep.

De biologische variabiliteit en (technische) meetonzekerheid spelen een belangrijke rol bij de interpretatie van biomerkers voor PFAS. Om gemiddelde gehalten tussen verschillende groepen of gebieden te vergelijken, kunnen statistische methoden zoals t-toetsen en variantieanalyse worden gebruikt. De standaardfout van het gemiddelde, die de onzekerheid van het gemiddelde weerspiegelt, is kleiner dan de onzekerheid van de individuele metingen, en de onzekerheid van het gemiddelde neemt af naarmate de steekproefgrootte toeneemt. Hierdoor kan een verschil tussen de groepsgemiddelden, zelfs als dit kleiner is dan de meetonzekerheid van individuele metingen, toch statistisch significant zijn. Dit gebeurt doordat willekeurige meetfouten gedeeltelijk worden gecompenseerd bij het aggregeren van data, terwijl systematische verschillen tussen groepen of gebieden behouden blijven. Daarom is voldoende statistische power noodzakelijk om betrouwbare conclusies te trekken. De klinische of biologische relevantie van kleine verschillen moet afzonderlijk worden beoordeeld. Verschillen tussen gebieden die kleiner zijn dan de meetfout, kunnen duiden op

(subtiële) milieu- of gezondheidstrends, en van belang zijn voor beleidsvorming en interventiestrategieën.

Onderstaande berekeningen resulteren in een steekproefgrootte die uitgaat van **onafhankelijke observaties**. Wanneer echter deelnemers uit hetzelfde gezin worden toegelaten (bijvoorbeeld partners, ouders en kinderen), zijn de observaties niet meer onafhankelijk. Gehalten van deelnemers uit hetzelfde gezin zijn waarschijnlijk gelijkaardiger dan de gehalten van deelnemers uit verschillende gezinnen. Dit resulteert in een lagere precisie en power voor dezelfde steekproefgrootte.

Om de gewenste precisie en power te behouden, moet de steekproefgrootte worden aangepast door deze te vermenigvuldigen met een designeffect, dat rekening houdt met de onderlinge afhankelijkheid van de observaties. Momenteel zijn er geen Vlaamse HBM-gegevens beschikbaar om het designeffect in te schatten. De ATSDR hanteert een designeffect van 2,1, wat wordt beschouwd als een conservatieve schatting; het werkelijke designeffect kan mogelijk lager zijn.

5.5.2.1 Precisie-gebaseerde berekening van de steekproefgrootte voor de PFAS-typegebieden

De benodigde steekproefgrootte om de **gemiddelde PFAS-waarde in een bepaald typegebied nauwkeurig te bepalen**, is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de gewenste precisie, het significantieniveau en de spreiding van de PFAS-waarden. Statistische analyses van biomerkers worden doorgaans uitgevoerd op de ln-getransformeerde waarden, en daarom worden de steekproefgrootteberekeningen ook uitgevoerd voor het gemiddelde van de ln-getransformeerde PFAS-waarden. De lineaire vormen van de biomerkers zijn gebruikt in de berekeningen

De gewenste precisie, uitgedrukt als de halfbreedte van het betrouwbaarheidsinterval, wordt relatief ten opzichte van het gemiddelde uitgedrukt. In deze berekeningen varieert de gewenste precisie van 5% tot 30%. Bijvoorbeeld, bij een gemiddelde (van ln-waarden) van 1,5 en een gewenste precisie van 15%, zou het betrouwbaarheidsinterval voor dit gemiddelde tussen [1,275; 1,725] liggen (15% van 1,5 = 0,225). De inputwaarden voor het (verwachte) gemiddelde en de spreiding van PFAS-waarden, die nodig zijn voor het uitvoeren van de steekproefgrootteberekeningen, zijn verkregen uit de HBM-studies waarin biomerkers voor PFAS werden gemeten bij deelnemers tussen de 18 en 65 jaar (**Tabel 12**). Het bloedonderzoek rondom 3M is het meest relevant voor het inschatten van realistische waarden in een typegebied voor deze leeftijdsgroep (daarvoor werden de 18-65-jarigen geselecteerd). De resultaten van het grootschalige bloedonderzoek binnen een straal van 5 km rond 3M waren nog niet beschikbaar op het moment dat deze berekeningen werden uitgevoerd. De meerwaarde om deze studie alsnog mee te nemen in de powerberekeningen is echter beperkt. Voor het bepalen van te verwachten gemiddelden en standaarddeviaties van PFAS-waarden in een typegebied kon namelijk gebruik worden gemaakt van het bloedonderzoek uit 2021. Dat onderzoek richtte zich op een kleiner en specifiek gebied, wat het geschikter maakt als input om realistische waarden te verkrijgen voor een typegebied. De HBM-jongeren campagne omgeving 3M werd niet meegenomen omdat de leeftijdsrange (12.5j - 16.5j) niet overeenkomt met de doelgroep voor de typegebieden. Het significantieniveau is vastgesteld op 5%.

Figuur 9 toont voor PFOS de precisie als functie van het aantal deelnemers, voor verschillende scenario's. Naarmate het aantal deelnemers toeneemt, verbetert de precisie. **Tabel 13** toont het aantal deelnemers dat nodig is in een typegebied om een precisie van 10%, 15%, 20%, 25% of 30% te bereiken, of de precisie die haalbaar is met 200, 250, 300, 350 of 400 deelnemers in het typegebied.

Gebaseerd op de gegevens van de 18-65-jarigen uit het bloedonderzoek rondom 3M kan met 200 deelnemers voor PFOS een precisie van 10% worden behaald, terwijl met 400 deelnemers een precisie

van 7% kan worden bereikt. Voor PFNA kan met 200 deelnemers een precisie van ongeveer 9% worden gerealiseerd en met 400 deelnemers een precisie van ongeveer 7%.

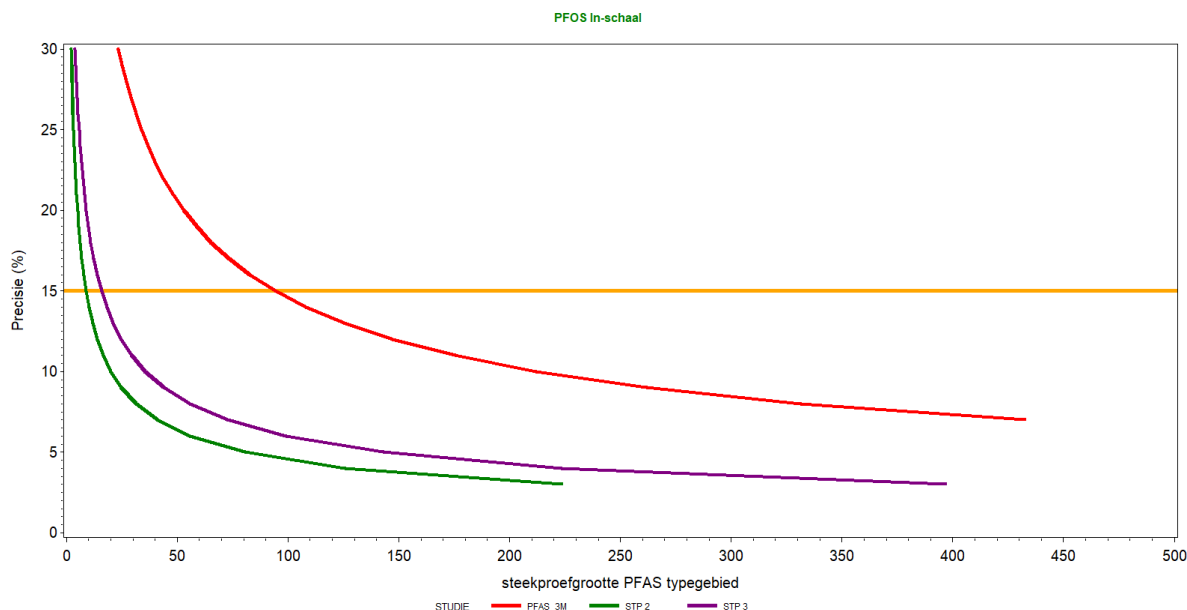
Tabel 12: Overzicht van de gebruikte datasets voor de precisie-gebaseerde berekeningen van de steekproefgrootte voor de PFAS-typegebieden

Studie	Periode veldwerk	Aantal deelnemers	Leeftijdsklasse
FLESH-2 (enkel PFOS en PFOA)	juni 2008 - mei 2009	204	21 - 40
FLESH-3	mei 2014 – november 2014	209	50 - 65
Bloedonderzoek omgeving 3M	zomer 2021	796	12 - 85

Tabel 13: Precisie-gebaseerde steekproefgrootteberekening (inputwaarden op basis van de 18-65-jarigen in het bloedonderzoek omgeving 3M)

Biomerker	Aantal deelnemers nodig voor gewenste precisie				
	10%	15%	20%	25%	30%
PFOS	212	94	53	34	23
PFOA	4921	2187	1230	788	547
PFNA	176	78	44	28	19
PFHXS	4886	2172	1221	781	542
Som PFAS	95	42	24	15	11
Biomerker	Precisie bekomen naar aantal deelnemers				
	200	250	300	350	400
PFOS	10.3%	9.2%	8.4%	7.8%	7.3%
PFOA	49.6%	44.4%	40.5%	37.5%	35.1%
PFNA	9.4%	8.4%	7.7%	7.1%	6.6%
PFHXS	49.4%	44.2%	40.4%	37.4%	34.9%
Som PFAS	6.9%	6.2%	5.6%	5.2%	4.9%

Voor andere PFAS-biomarkers (PFOA, PFHXS), waarvan de gemiddelde waarde na ln-transformatie dicht bij 0 ligt of die veel spreiding vertonen, zijn grotere steekproeven nodig om een precisie van 25% of minder te bereiken.



Figuur 9: Precisie voor PFOS (ln-schaal) als functie van het aantal deelnemers in de steekproef, voor de verschillende scenarios/studies (rood: 1^{ste} PFAS-bloedonderzoek in regio 3M, groen: FLEHS-2 volwassenen, paars: FLEHS-3 volwassenen)

5.5.2.2 Steekproefgrootteberekening voor de vergelijking van Vlaanderen (referentie) en een PFAS-typegebied.

Om te bepalen of de **PFAS-gehalten in een typegebied** gemiddeld hoger zijn dan de gehalten in Vlaanderen, worden deze **vergeleken met een Vlaamse referentiewaarde**. Deze referentiewaarde zal gebaseerd zijn op 400 deelnemers, proportioneel verdeeld over de leeftijds- en geslachtsklassen, zoals in de Vlaamse bevolking van 18-65 jaar.

Het benodigde aantal deelnemers in het typegebied om een statistisch significante vergelijking te kunnen maken, is afhankelijk van het gemiddelde verschil tussen de PFAS-waarden in het typegebied en de referentiewaarde, de spreiding van de metingen, het gekozen significantieniveau en de gewenste statistische power. Aangezien statistische analyses van biomerkers doorgaans op ln-getransformeerde waarden worden uitgevoerd, worden deze berekeningen ook uitgevoerd voor de ln-getransformeerde gehalten.

Omdat de leeftijds- en geslachtsverdeling van de deelnemers uit het typegebied mogelijk afwijkt van die in de referentiestudie, worden twee scenario's meegenomen (**Tabel 14**): (1) de verdeling over de leeftijds- en geslachtsklassen in het typegebied is gelijk aan die in het referentiegebied en komt overeen met de verdeling in de algemene populatie 18-65-jarigen), en (2) in het PFAS-typegebied zullen relatief minder jongeren deelnemen en meer 50-plussers.

Het beoogde verschil dat gedetecteerd moet kunnen worden, wordt doorgaans uitgedrukt als een procentuele verhoging in het typegebied ten opzichte van de referentiewaarde. Aangezien de referentiewaarde momenteel nog niet beschikbaar is, worden de waargenomen gehalten uit het bloedonderzoek in de omgeving van 3M (2021) voor de leeftijdsgroep 18-65 jaar als representatie voor een typegebied gebruikt. De steekproefgrootte wordt vervolgens berekend voor een verlaging ten opzichte van deze waarden, met de veronderstelling dat het gemiddelde (van de ln-getransformeerde waarde) van de referentiegroep 10-30% lager ligt. De leeftijds- en geslachtsspecifieke gemiddelden (van de ln-gehalten) uit het bloedonderzoek in de omgeving van 3M

(2021) voor 18-65-jarigen worden gebruikt, met de aanname dat het gebiedseffect gelijk is voor zowel jonge als oudere deelnemers, en voor mannen en vrouwen. De standaarddeviatie wordt eveneens gebaseerd op de waarde uit het 3M-bloedonderzoek.

In de powerberekeningen varieert de steekproefgrootte voor het PFAS-typegebied van 100 tot 400 deelnemers, terwijl voor de referentiegroep een steekproefgrootte van 400 deelnemers wordt verondersteld. Verder wordt een significantieniveau van 5% gehanteerd.

De power wordt berekend via een ANOVA-model, waarin leeftijdsklasse, geslacht, de interactie tussen leeftijdsklasse en geslacht, en het gebied (referentie of typegebied) als verklarende variabelen worden opgenomen. De resultaten zijn grafisch weergegeven in **Figuur 10**. De power neemt toe met een groter aantal deelnemers in het typegebied en een groter verschil tussen de gebieden. Een verschil in leeftijds- en geslachtsverdeling tussen het typegebied en het referentiegebied heeft een zeer klein effect op de power voor PFOS en de som van de vier PFAS-componenten. Voor PFNA daarentegen verlaagt dit verschil de power, ten opzichte van een steekproef waarbij de leeftijds- en geslachtsverdeling in de twee gebieden gelijk is.

Voor PFOS (lineair) kan met 260 deelnemers in het PFAS-typegebied een verschil van 20% (voor de In-getransformeerde waarden) tussen de referentiewaarde en het typegebied met 79% power worden gedetecteerd. Voor PFNA kan met 200 deelnemers in het PFAS-typegebied een verschil van 20% tussen de referentiewaarde en het typegebied met 85% power worden gedetecteerd. Bij 400 deelnemers kan een verschil van ongeveer 15% met 80% power worden vastgesteld.

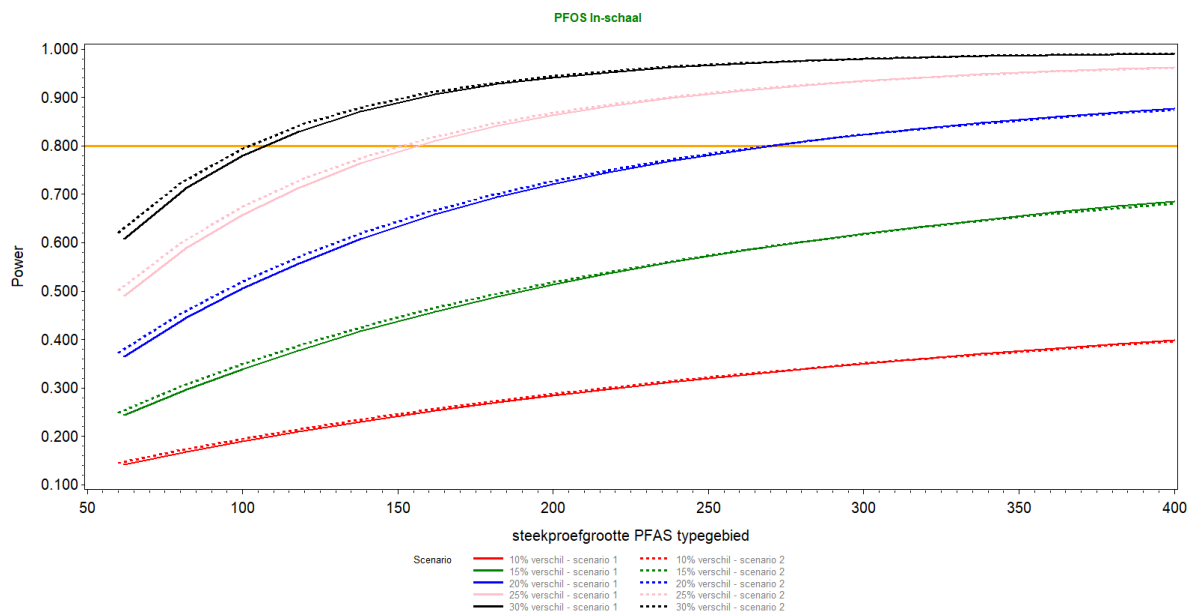
Tabel 15 toont het benodigde aantal deelnemers voor het detecteren van verschillen van 10% - 30%, tussen de twee studiegroepen met een power van 80% bij een gelijke leeftijds- en geslachtsverdeling in de twee studiegroepen.

Tabel 14: Verdeling over de leeftijdsklassen in de twee scenario's.

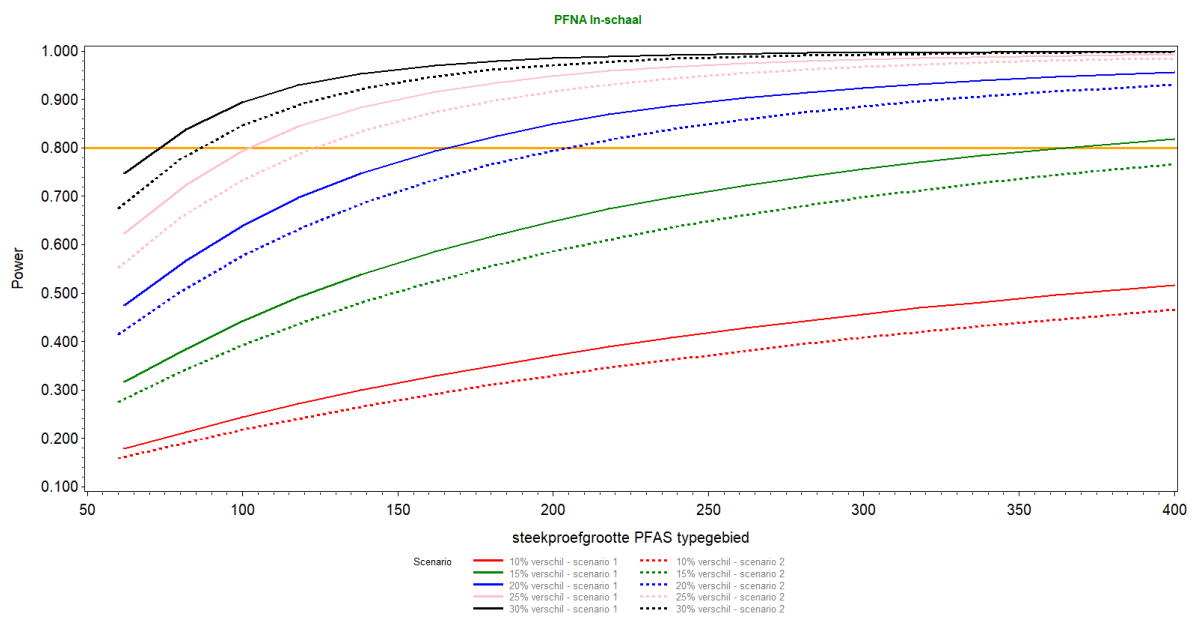
Leeftijdsklasse	% deelnemers – scenario 1 (m/v)	% deelnemers – scenario 2 (m/v)
18-30	10%/10%	5%/5%
30-40	11%/11%	5%/5%
40-50	11%/11%	10%/10%
50-60	12%/12%	20%/20%
60-65	6%/6%	10%/10%

Tabel 15: Aantal deelnemers nodig in het PFAS-type gebied om 80% power te bekomen.

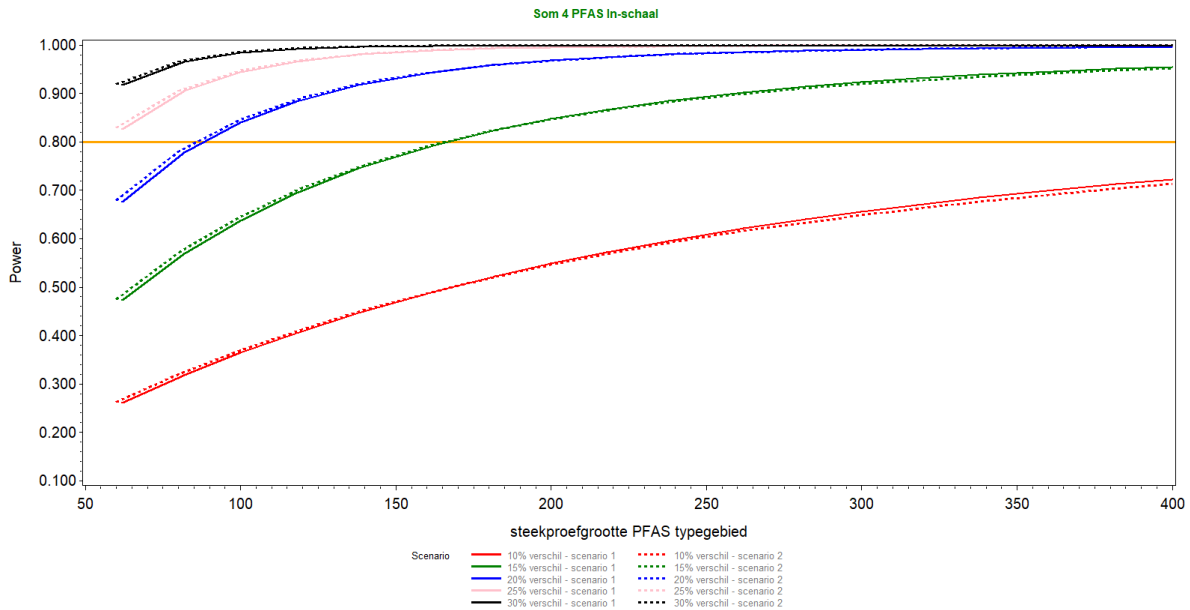
Biomarker	Verschil tussen de twee steekproeven (ln-schaal)				
	10%	15%	20%	25%	30%
PFOS	>1400	780	282	162	110
PFOA	>1400	>1400	>1400	>1400	>1400
PFNA	>1400	382	165	100	75
PFHXS	>1400	>1400	>1400	>1400	>1400
Som 4 PFAS	618	170	95	60	45



A



B



C

Figuur 10: Grafische weergave van de berekende power in functie van de steekproefgrootte, om een verschil tussen studies aan te tonen van 10% (rood), 15% (groen), 20% (blauw), 25% (geel) en 30% (paars), telkens voor scenario 1 (volle lijn) en scenario 2 (stippenlijn). Berekend met een ANOVA-model met leeftijdsklassen, geslacht, de interactie tussen leeftijdsklasse en geslacht en het gebied (referentiegebied of typegebied) als verklarende variabelen. A: resultaten voor PFOS, B: resultaten voor PFNA, C: resultaten voor som 4 PFAS (PFOS + PFHxS + PFOA + PFNA)

5.6 REKRUTERING

5.6.1 Selectie van primaire sampling unit

Na selectie van het onderzoeksgebied (geografische afbakening) en de doelgroep (jongeren of volwassenen) wordt een **rekruteringsstrategie** uitgewerkt met als doel om een representatieve studiebevolking te onderzoeken die bestaat uit het aantal personen dat is vastgelegd in de powerberekeningen. Hiervoor wordt gewerkt via een **gestratificeerd, geclusterd multi-stage design**. Het onderzoeksgebied bestaat uit de afgebakende zone of de combinatie van afgebakende zones van het geselecteerde typegebied.

Allereerst wordt de primaire sampling unit bepaald. In de Vlaamse referentie-HBM worden scholen gedefinieerd als primaire sampling unit, zowel voor de jongeren (leerlingen van het 3^e secundair onderwijs) als voor de volwassenen (alle volwassenen die rechtstreeks of onrechtstreeks bereikt worden via de school, o.m. schoolpersoneel, ouders, grootouders, oud-leerlingen, enz.).

Voor de HBM in typegebieden kan gewerkt worden **via scholen**, op voorwaarde dat het typegebied voldoende groot is, en het mogelijk is het gewenste aantal scholen te rekruteren binnen het typegebied. Als vuistregel wordt genomen dat er 20-30 leerlingen (3^e jaar secundair onderwijs) gerekruteerd worden per school of 40-50 volwassenen per school. Op basis van het aantal benodigde deelnemers kan ingeschat worden hoeveel scholen nodig zijn binnen het typegebied. Uitgaande van een responsgraad van 1 op 8 bij de scholen, kan worden nagegaan of er voldoende scholen zijn binnen het studiegebied of in de buurt van het studiegebied. Een factor van onzekerheid is dat enkel leerlingen die binnen het studiegebied wonen, in aanmerking komen voor deelname aan het PFAS-

onderzoek en dat de woonplaats van de jongeren pas bevraagd kan worden via de school. Rekrutering via scholen vraagt dus heel wat aannames, waardoor de slaagkans vooraf moeilijk is in te schatten. Scholen zijn bijgevolg een potentiële primaire sampling unit, maar niet de ideale piste.

Als alternatief kan gewerkt worden **via het bevolkingsregister**, zowel voor jongeren als volwassenen. Het grote voordeel van deze methode is dat de uitnodigingen gebeuren op thuisadres, en het bijgevolg mogelijk is om enkel deelnemers te selecteren die in het studiegebied wonen. Deze methode vergt samenwerking met de lokale besturen om toegang te vragen tot gegevens van het bevolkingsregister. Dit is mogelijk na het afsluiten van een samenwerkingsovereenkomst tussen overheden via het 'protocol voor elektronische mededeling van persoonsgegevens'. Dit laat toe dat de onderzoeksgroep adressen opvraagt bij het lokaal bestuur op basis van de gewenste selectiecriteria. De primaire sampling unit is in dit geval een administratieve eenheid (bijv. een gemeente, een deelgemeente, een statistische sector). Op basis van het aantal benodigde deelnemers in combinatie met de grootte van het typegebied, kan bepaald worden welk percentage van de bevolking nodig is voor het onderzoek. Uitgaande van een respons van 5-10%, kan bepaald worden hoeveel personen moeten worden uitgenodigd voor het onderzoek. Om tot dit aantal te komen wordt een willekeurige selectie gedaan van de administratieve eenheden binnen het onderzoeksgebied en worden bewoners uit de juiste leeftijdsklasse uitgenodigd.

5.6.2 Selectie van deelnemer

Potentiële deelnemers worden gecontacteerd, hetzij via de school, hetzij via de post op het thuisadres. Ze ontvangen een informatiebrochure en geïnformeerd toestemmingsformulier (ICF, *informed consent form*). Extra rekruteringsmethodieken zoals een digitaal aanmeldsysteem, een promotiefilmpje, een mondelinge toelichting, een FAQ-lijst op de website, e.d. kunnen worden ingezet; dit is afhankelijk van de manier van contacteren van de deelnemers.

Het ICF wordt opgemaakt door de onderzoeksgroep en bevat minimaal de volgende gegevens:

- wat wordt onderzocht en hoe dit wordt onderzocht;
- wie wel en wie niet mag deelnemen aan het onderzoek;
- waar en wanneer het onderzoek plaatsvindt;
- wat wordt verwacht van de deelnemer;
- wat de deelnemer hiervoor terugkrijgt;
- wat de kosten en risico's zijn voor de deelnemer;
- informatie over het stoppen met het onderzoek;
- beschrijving hoe de gegevens worden verwerkt;
- beschrijving hoe wordt omgegaan met de resultaten;
- beschrijving hoe wordt omgegaan met de resten van de stalen;
- waar de deelnemers terecht kunnen met vragen;
- welke verzekering van toepassing is;
- formulering van de toestemming;
- handtekening van de arts/hoofdonderzoeker;
- handtekening van de deelnemer (en ouder/voogd in geval van minderjarige).

Deelnemers kunnen het ondertekende ICF terugbezorgen aan de onderzoeksgroep, hetzij via de school, hetzij via een gratis retourenveloppe.

Nadat deelnemers zich hebben aangemeld, wordt de finale selectie uitgevoerd door het onderzoeksteam. Eerst wordt het inclusie criterium gecontroleerd, nl. minimum 5 jaar wonen binnen het onderzoeksgebied (maar niet noodzakelijk op hetzelfde adres) en behoren tot de juiste

leeftijdsklasse (op basis van geboortejaar). De minimale verblijftijd van 5 jaar is aangewezen om de lokale blootstelling te kunnen karakteriseren en om methodologisch de correcte vergelijking te kunnen doen met de Vlaamse referentiewaarden (zie ook sectie 5.5.1). Vervolgens wordt gezorgd dat de populatie representatief is door te stratificeren volgens de selectiecriteria. Voor jongeren zijn de selectiecriteria: geslacht en onderwijstype; voor volwassenen zijn de selectiecriteria: geslacht en leeftijd. Indien bepaalde strata niet gehaald worden, zal een overselectie gebeuren bij het uitnodigen van deze subgroep.

Ervaring leert dat sociaal kwetsbare populaties moeilijker te rekruteren zijn. Daarom is het belangrijk om extra inspanningen te voorzien om de drempels voor kwetsbare groepen te verlagen, bijv. een filmpje met uitleg over de studie, flyer met infographics, optie van tolk voorzien voor het invullen van de vragenlijsten, ...

Bijkomende optie

Om de mogelijkheid te voorzien om in de toekomst prospectief epidemiologisch onderzoek te doen via de Intego-databank wordt in het protocol best de optie voorzien om de resultaten van de serum PFAS-waarden door te sturen naar het Elektronisch Medisch Dossier (EMD) van de huisarts. Hiervoor dient toestemming van de deelnemer te worden gevraagd in het ICF en dienen de nodige logistieke afspraken te worden gemaakt met het uitvoerend laboratorium (o.m. toegang tot rijksregisternummer van de deelnemer, RIZIV-nummer van huisarts, protocol voor versturen via e-Health).

5.7 VELDWERK

5.7.1 Praktische organisatie van het veldwerk

De locatie voor het uitvoeren van het veldwerk hangt af van de keuze van de primaire sampling unit. Indien gewerkt wordt via scholen, worden in samenspraak met de directie één of twee lokalen gekozen voor het HBM-onderzoek én de staalverwerking. Indien wordt gewerkt via lokale besturen, kan geopteerd worden voor een centrale, publieke locatie, bijv. een sporthal, bibliotheek, cultureel centrum, waar ook weer één of twee aparte lokalen beschikbaar dienen te zijn. De onderzoeksruimtes bieden de nodige privacy en zijn gelegen in de buurt van een toilet (indien ook urinecollectie wordt voorzien). De onderzoeken vinden bij voorkeur overdag plaats om maximaal vergelijkbaar te zijn met de staalafname in de referentiepopulatie.

Om cross-contaminatie te vermijden wordt een procedure uitgeschreven met richtlijnen voor de veldwerkers en de inrichting van de onderzoeksruimte; deze procedure is gebaseerd op “Richtlijn PFAS-onderzoek” van OVAM, dd. 3/6/2020.

Iedere deelnemer krijgt een uniek studienummer volgens een vooraf afgesproken formaat. Dit studienummer wordt gebruikt om alle studie-elementen te labelen (bijv. vragenlijsten, tubes, onderzoeksblad, biobankstalen, ...). De sleutel tussen het studienummer en de identiteit van de deelnemer wordt bewaard door het veldwerkteam onder verantwoordelijkheid van de studiearts.

Tijdens het veldwerk worden volgende activiteiten uitgevoerd:

- controle van ingevuld en ondertekend ICF;
- controle van ingevulde algemene vragenlijst (digitaal of op papier);
- bloedafname door ervaren verpleegkundige;

- (optioneel) urinecollectie;
- meten van lengte en gewicht door ervaren veldwerker;
- verwerking van bloed- en urinestalen ter plaatse door ervaren laborant;
- invullen van digitale, korte vragenlijst van recente blootstelling;
- toekennen van beloning na afronden van volledige protocol.

5.7.2 Veldwerkprocedures

De veldwerkprocedures worden uitgeschreven in een document 'Veldwerkprocedures' en is maximaal gebaseerd op de huidige 'best practices' in Europa zoals beschreven in de richtlijnen van PARC D4.1 en bijhorende annexen (<https://www.eu-parc.eu/deliverables>; [PARC AD4.1.pdf](#)). Idealiter is de procedure volledig identiek aan die van de Vlaamse referentie-HBM zodat optimale vergelijkbaarheid tussen beide studies gegarandeerd wordt.

Vragenlijsten

De vragenlijsten zoals beschreven in 5.3.2 worden bij voorkeur digitaal afgenomen. Na goedkeuring van de inhoud van de vragenlijsten (algemeen en recente blootstelling), worden eerst codeboeken opgemaakt met variabele namen en codes per vraag. Deze codeboeken worden geharmoniseerd met de codeboeken van de Vlaamse referentie-HBM zodat koppeling tussen beide databanken optimaal kan gebeuren. Daarna worden de vragenlijsten gedigitaliseerd (bijv. via LimeSurvey).

Deelnemers ontvangen ongeveer twee weken vóór de onderzoeksdag een unieke link naar hun persoonlijke algemene vragenlijst. Ze kunnen de vragenlijst thuis invullen, eventueel op verschillende tijdstippen, en dit op computer, tablet of smartphone. Er worden contactgegevens van de onderzoekers voorzien voor vragen of onduidelijkheden. Voor deelnemers die dit wensen is er de optie om de vragenlijst op papier in te vullen, maar dit wordt niet gestimuleerd. Bij een digitale vragenlijst is het immers mogelijk om meer controles in te bouwen voor het correct invullen. Daarnaast is de digitale optie kosten-efficiënter wat betreft personeelskost (een papieren vragenlijst vereist dubbele ingave en meer kwaliteitscontroles). Het invullen van de vragenlijsten wordt gemonitord door het veldwerkteam, en indien nodig worden herinneringsmails gestuurd. Indien de vragenlijst niet is ingevuld op de onderzoeksdag, worden afspraken gemaakt met de deelnemer (ter plaatse invullen, nieuwe link naar digitale vragenlijst, papieren vragenlijst met terugsturenveloppe).

Deelnemers vullen tijdens het veldwerk de digitale vragenlijst 'recente blootstelling' in op een tablet van het onderzoeksteam. Ook hier is er per deelnemer een unieke link naar de vragenlijst met het persoonlijke studienummer. Veldwerkers zijn in de buurt voor eventuele vragen of onduidelijkheden.

Bloedafname

De bloedafname gebeurt door een ervaren verpleegkundige in rustige en afgeschermdede omstandigheden die comfortabel zijn voor de deelnemer en met inachtnaam van maatregelen om cross-contaminatie te voorkomen. De deelnemer moet hierbij niet nuchter zijn.

Er wordt minstens 1 serumstaal genomen voor analyse van de geselecteerde PFAS-componenten (zie 5.3.1.). Daarnaast wordt met de opdrachtgever de optie besproken om nog bijkomende stalen te voorzien in de biobank. De bloedafname gebeurt in de geschikte tube(s). De stalen worden binnen het uur gecentrifugeerd en gealiquoteerd in de geschikte recipiënten en onmiddellijk gekoeld. Definitieve stockage in het centrale lab gebeurt binnen de 24 uur. Om contaminatie vanuit de omgeving te kennen, worden per veldwerkdag ook twee veldwerkblanco's gevuld met milliQ, uitverdeeld en mee

gestockeerd in het centrale lab. Er worden voor alle stalen voldoende controles ingebouwd om correcte labelling te garanderen.

Urinecollectie

In overleg met de opdrachtgever wordt beslist of een urinestaal nodig is voor het bewaren van biobankstalen. Het minimale urinevolume is gebaseerd op het aantal biobankstalen.

Deelnemers hoeven niet nuchter te zijn. Er wordt vooraf gevraagd om niet vlak voor het onderzoek te plassen. Deelnemers collecteren een urinestaal in een geschikte primaire urinecontainer (PFAS vrij; bij voorkeur ook metaal- en ftalaatvrij om biobankstalen te collecteren onder dezelfde condities als in de Vlaamse referentie-HBM). De urinestalen worden onmiddellijk koel bewaard. Het totale volume wordt genoteerd. Aliquotering van de urine in de geschikte recipiënten en stockage in het centrale lab gebeuren bij voorkeur binnen de 12 uur en zeker binnen de 24 uur. Er worden voldoende controles ingebouwd om correcte labelling te garanderen.

Lengte en gewicht

Deelnemers worden tijdens het veldwerk door een ervaren veldwerker gewogen en gemeten met gestandaardiseerde weegstaal en meetlat. De metingen gebeuren met lichte kledij en zonder schoenen.

Beloning

In overleg met de opdrachtgever wordt de beloning voor de deelnemer vastgelegd, en hetzij ter plaatse overhandigd, hetzij achteraf bezorgd. Deelnemers ontvangen enkel een beloning als alle onderdelen zijn afgerond (bloed, biometrie, (urine,) vragenlijsten). Indien er door omstandigheden onvoldoende bloed gecollecteerd kan worden, ontvangt de deelnemer alsnog de beloning.

5.7.3 Biobank

De biobank kan beschouwd worden als een biologisch archief van de huidige blootstelling aan PFAS (en eventueel andere zorgwekkende stoffen) in de typegebieden, en maakt een toekomstige analyse met nieuwe technologieën mogelijk.

De registratie en opslag van menselijke stalen moet in een biobank gebeuren, in overeenstemming met de geldende Belgische reglementering betreffende het gebruik van menselijk weefsel voor wetenschappelijk onderzoek (Wet 2008) en het Koninklijk Besluit inzake biobanken (Belgisch Staatsblad 05.02.2018). De biobanklevenscyclus van elk staal (tijdstip van verzameling, preregistratie, ontvangst, verwerking, kwaliteitscontrole (QC), opslagbeheer, aanvraag, selectie en distributie) wordt geregistreerd en beheerd met behulp van een staal- en gegevensbeheersysteem dat de traceerbaarheid van de humane stalen garandeert.

Een “Samenwerkingsovereenkomst” over gegevensbeheer en biobanking, dient opgemaakt te worden, als waarborg voor de privacy en toestemming van de deelnemers en de ethische goedkeuring. Tevens zijn er “spelregels” aangewezen om de externe communicatie van onderzoeksresultaten o.b.v. de biobank te sturen.



Hoe gebeurt dit in de Vlaamse referentie-HBM?

Ter info: In FLEHS-studies worden verzamelde stalen daarom geregistreerd in de biobank van VITO, Biobank@VITO genaamd. De Biobank@VITO is erkend door een erkend Medisch Ethisch Comité van UZA en geregistreerd bij het Federaal Agentschap voor Geneesmiddelen en Gezondheidsproducten (FAGG). Dit alles gebeurt in overeenstemming met de QC-systemen die bij VITO van toepassing zijn (ISO 9001 en 14001, OHSAS 18001). Het beheer van de biobankstalen is toegewezen aan de Toezichtcommissie van het Steunpunt Omgeving en Gezondheid, die over verzoeken voor nieuwe analyses op de biobankmonsters oordeelt.

Registratie en bewaring van stalen uit studies die niet kaderen binnen het Steunpunt Omgeving en Gezondheid kan eventueel ook in een andere biobank.

5.7.4 Mogelijke uitbreiding

Naast het collecteren van humane stalen kan het ook interessant zijn om bijkomend ook **stalen van de persoonlijke leefomgeving** te verzamelen bij de deelnemers uit het studiegebied. Voorbeelden zijn: huisstof in de woning, bodem uit de tuin/kippenren, regenwater, groenten uit de tuin en eieren van eigen kippen.

Zeker in een context van lokale verontreiniging kunnen gepaarde metingen in humane stalen en omgevingsstalen van dezelfde deelnemers bijdragen om de lokale blootstellingsroutes nauwkeuriger in kaart te brengen. Via de vragenlijsten zal reeds informatie bekomen worden over de relevantie van lokale factoren (zoals lokale voeding) om spreiding in de waargenomen blootstelling te verklaren. De bijkomende metingen in de leefomgeving kunnen deze waarnemingen bevestigen. De meetgegevens in de omgevingsstalen kunnen ook als input gebruikt worden voor modelleringstools waarmee het relatieve belang van de verschillende blootstellingsroutes kan worden bestudeerd.

5.8 CHEMISCHE ANALYSES

De selectie van PFAS-componenten die in de targeted analyse worden gemeten, wordt best afgestemd op de selectie binnen PARC en de componenten die in het grootschalig PFAS-bloedonderzoek gemeten worden (zie ook 5.3.1 Selectie van biomerkers). Dit vergroot de mogelijkheden om de resultaten van de PFAS-typegebieden te vergelijken met resultaten uit andere studies in Vlaanderen en in Europa.

Om de vergelijkbaarheid van de gegenereerde PFAS-serumwaarden met resultaten uit andere studies te optimaliseren (zoals de Vlaamse en Europese PFAS-referentiewaarden of de resultaten van studies in de regio rond Zwijndrecht), is het aangeraden dat de analyse uitgevoerd wordt door een labo dat recent succesvol deelnam of zal deelnemen aan ringtesten. Bij voorkeur worden dan gekozen voor dezelfde ringtesten als het labo dat de Vlaamse referentie HBM uitvoert en/of als de labo's die het PFAS-bloedonderzoek 2021 en het grootschalig bloedonderzoek 2023-2024 hebben uitgevoerd.

Om lineaire perfluorverbindingen in serum te bepalen worden interne standaarden toegevoegd. De analyse wordt uitgevoerd met behulp van vloeistofchromatografie met een massaspectrometer als detector (LC-MS/MS). Chemische analyse van vertakte PFAS of totale (=lineaire + vertakte vormen) PFAS bestaat momenteel uit semi-kwantitatieve metingen waarvan het resultaat methode-afhankelijk is. Om vergelijking van deze resultaten tussen studies te optimaliseren, wordt best eenzelfde methode gebruikt. Hiervoor kan ook worden afgestemd op de PARC-methodologie waarin gestreefd wordt naar een geharmoniseerde aanpak voor alle deelnemende Europese studies.

Verschillen in de gebruikte methodes voor staalafname, staalbewaring en -behandeling en in chemische analysemethode tussen het PFAS-typegebied en de Vlaamse referentiegroep of het aandachtsgebied rond 3M kunnen bijdragen tot verschillen in resultaten in deze groepen. Het is aan te raden om controlestalen mee te nemen in de nieuwe analyses. Deze laten echter enkel toe om verschillen in de meetmethode na te gaan. Indien er voor de staalafname, -bewaring en behandeling wordt afgeweken van de methode die gebruikt wordt in de Vlaamse referentie-HBM of die gebruikt werd in de studies rond 3M in Zwijndrecht dient hiervoor een aparte vergelijking te worden uitgevoerd.



Hoe gebeurt dit in de Vlaamse referentie-HBM?

De Vlaamse referentie-HBM hanteert de methodes die in het kader van het Europese PARC-project opgesteld werden als “golden standard”, en die gedetailleerd in “standard operating procedures” beschreven zijn, om harmonisatie te bevorderen (voor technische specificaties, zie [PARC AD4.1.pdf](#)).

Aanvullend wordt sterk aangeraden om een gerichte PFAS-screening in een selectie van minimaal 10% van de biobankstalen per typegebied uit te voeren, op basis van vooraf bepaalde selectiecriteria. De EPA-masterlist database bevat meer dan 15000 gekende PFAS. Deze screening biedt een beter (wetenschappelijk) inzicht in het profiel en de fingerprint van de humane PFAS-blootstelling in een typegebied en biedt beleidsondersteuning in een gebiedsgerichte aanpak en in de aanpak van nog niet-gereguleerde opkomende PFAS. Met suspect screening en non-targeted screening kunnen PFAS-componenten geïdentificeerd worden die relevant blijken voor de blootstelling maar momenteel nog ontbreken in de monitoring.

5.9 DATABASEER

De verschillende datasets worden gekoppeld op basis van het uniek studienummer van de deelnemer. Transfer van de verschillende gegenereerde datasets (biomarkerdata, vragenlijstgegevens) kan enkel via beveiligde weg verzonden worden naar de centrale databeheerder (vb. Belnet Filesender). Een centrale databank wordt opgebouwd, met de nodige kwaliteitscontroles. Dit resulteert in een pseudonieme dataset en codeboek, geschikt voor verdere statistische analyse. De pseudonieme dataset en codeboek wordt na afloop van het project opgeleverd.

Er wordt aanbevolen om bij de opbouw van de databank de standaarden, semantiek en ontologie te hanteren die gedefinieerd werd in verschillende Vlaamse HBM-projecten en in internationale projecten zoals PARC of platformen zoals IPCHEM. Dit maakt een vlotte harmonisatie en integratie van data van verschillende PFAS HBM-studies mogelijk.

5.10 DATA-ANALYSES

De aanpak van de data-analyse wordt neergeschreven in een statistisch analyseplan. In het statistisch analyseplan wordt vermeld hoe er wordt omgesprongen met waarnemingen onder de rapportagegrens. Ook wordt er vermeld welke beschrijvende statistieken zullen gegenereerd worden, welke methodes zullen gebruikt worden voor het beantwoorden van de verschillende onderzoeksvragen en welke significantieniveaus hierbij verondersteld worden. Het statistisch

analyseplan bevat ook een overzicht van welke variabelen met de statistische methodes zullen onderzocht worden. Door het statistisch analyseplan te aligneren met de werkwijze in PARC wordt de vergelijking van de resultaten in de PFAS-typegebieden met resultaten uit andere Europese studies geoptimaliseerd.

5.11 INTERPRETATIE EN RAPPORTERING

5.11.1 Beschrijvende resultaten van de typegebieden

De beschrijvende resultaten brengen de situatie in het PFAS-typegebied in kaart en bestaan uit:

- **Beschrijving van de studiepopulatie:** De belangrijkste kenmerken van de studiepopulatie worden weergegeven zoals de verdeling over de leeftijdsklassen, de verdeling man/vrouw, aandeel rokers, sociaaleconomisch profiel, afstand van het woonadres tot de bron, voedingskenmerken, enz.
- **Beschrijving van de waargenomen PFAS-gehalten:** De verdeling van de PFAS-gehalten over de studiepopulatie wordt beschreven aan de hand van aandeel boven of onder de rapporteergrens, gemiddelde met standaardafwijking, percentielen.
- **Beschrijving van het (mentale) welzijn bij de deelnemers:** Op basis van de gegevens uit de gevalideerde vragenlijsten kan een beeld worden gevormd van het (mentale) welzijn bij de deelnemers in het PFAS-typegebied.
- **Beschrijving van de perceptieresultaten bij de deelnemers:** Deze resultaten geven inzicht in de mate van aanwezige kennis over PFAS, bezorgdheid over PFAS, andere bezorgdheden, vertrouwen in verschillende instanties, nood aan informatie of andere noden, enz.

Bij de beschrijvende statistiek moet rekening worden gehouden met de bescherming van persoonsgegevens door enkel te rapporteren voor deelnemersgroepen met voldoende deelnemers om individuele identificatie te voorkomen.

5.11.2 Vergelijking van de typegebieden met de Vlaamse referentiepopulatie

Via statistische methodes kunnen de resultaten van het PFAS-typegebied vergeleken worden met deze van de Vlaamse referentiegroepen. Hierbij moeten eventuele verschillen in kenmerken van beide studiepopulaties in rekening worden gebracht. Ook verschillen in de gebruikte methodes voor staalafname, staalbewaring en -behandeling en in chemische analysemethode kunnen bijdragen tot verschillen in resultaten tussen het PFAS-typegebied en de Vlaamse referentiegroep. Methodologische verschillen dienen dan te worden vermeld bij de vergelijking.

5.11.3 Gezondheidskundige interpretatie

Voor PFAS-componenten waarvoor gezondheidskundige toetsingswaarden bestaan, kunnen de waargenomen resultaten hieraan getoetst worden.

Via statistische technieken om blootstelling-effectassociaties te bestuderen, kan worden nagegaan of de waargenomen PFAS-gehalten associaties vertonen met gezondheidsbiomerkers zoals waargenomen merkers voor mentale gezondheid en welbevinden.

5.11.4 Identificeren van invloedsfactoren

Uit de vragenlijstgegevens kunnen variabelen voor mogelijke invloedsfactoren worden afgeleid. Om de relatie tussen deze mogelijke invloedsfactoren en de waarde van de biomerkers te bestuderen kunnen statistische modellen en procedures gebruikt worden. Om de relatie tussen een merker y en een indicator x te onderzoeken, is het belangrijk om te corrigeren voor de invloed van andere invloedsfactoren.

5.12 COMMUNICATIE RESULTATEN

5.12.1 Naar deelnemers

Deelnemers hebben de keuze om al dan niet hun persoonlijk resultaat van de serum-PFAS-metingen te ontvangen. Dit wordt bij de rekrutering uitgelegd in de informatiefolder, en voorzien als keuzeoptie in het toestemmingsformulier. Deelnemers die kiezen voor een persoonlijk resultaat ontvangen op het eind van de studieperiode hun individuele meetwaarden. Deze waarden worden gekaderd ten opzichte van de groepsresultaten van het PFAS-typegebied, ten opzichte van de Vlaamse referentiewaarde en waar mogelijk ook ten opzichte van gezondheidskundige toetsingswaarden. Er wordt achtergrondinformatie voorzien bij de gemeten biomerkers en er worden preventieve adviezen gegeven om blootstelling te vermijden. Voor deelnemers die ongerust zijn, wordt de optie voorzien voor een consultatie met de studiearts. Communicatie van de resultaten kan gebeuren via een brief (via de post) of via een digitaal systeem (bijv. DERBI). Hiervoor wordt een gemotiveerde keuze gemaakt in overleg met de opdrachtgever.

Deelnemers ontvangen als eerste een samenvatting van de groepsresultaten. Deze samenvatting op lekenniveau geeft op toegankelijke wijze een weergave van de hoofdboodschappen en beleidsconclusies. Communicatie kan gebeuren via een brief (via de post) of digitaal (via mail). Hiervoor wordt een gemotiveerde keuze gemaakt in overleg met de opdrachtgever.

In overleg met de opdrachtgever wordt beslist of er ook actieve communicatie gebeurt naar de deelnemers toe, bijv. onder de vorm van een infomoment; hetzij online, hetzij fysiek. Dit hangt o.m. af van de grootte van het typegebied, de regionale spreiding van het typegebied, de ongerustheid bij de bevolking, het beschikbare budget, e.d. Indien er wordt beslist tot een communicatiemoment wordt er een communicatieplan uitgewerkt met stappenplan, verantwoordelijkheden en tijdslijn.

5.12.2 Naar intermediairen

De resultaten worden neergeschreven in een wetenschappelijk rapport voor de opdrachtgever en voor professionele intermediairen, zoals regionale en lokale milieu-ambtenaren, huisartsen, gezondheidswerkers, ... Het rapport wordt beschikbaar gesteld via de website van de Vlaamse overheid.

In overleg met de opdrachtgever wordt beslist of er ook actieve communicatie gebeurt naar de intermediairen toe, bijv. onder de vorm van een webinar; hetzij online, hetzij fysiek. Er is ook mogelijkheid om aan te sluiten bij de communicatie naar de deelnemers (zie hierboven) of communicatie naar de burgers (zie verder). Dit wordt uitgewerkt in een communicatieplan met stappenplan, verantwoordelijkheden en tijdslijn.

5.12.3 Naar het brede publiek

De lekensamenvatting voor de deelnemers kan dienen als publiekssamenvatting en beschikbaar worden gesteld voor het brede publiek via de website van de Vlaamse overheid.

In overleg met de opdrachtgever wordt beslist of er nood is aan een persconferentie of een andere vorm van communicatie naar het brede publiek. Dit wordt uitgewerkt in een gedetailleerd communicatieplan met stappenplan, verantwoordelijkheden en tijdslijn.

5.13 PARTICIPATIE

Onder participatie begrijpen we het betrekken van belanghebbenden en doelgroepen extern aan de eigen organisatie bij het uitvoeren van de studie. Deze belanghebbenden kunnen bestaan uit de burger, het ruimere publiek, specifieke groepen, instanties, organisaties, of niet-gouvernementele actoren.

Participatie is altijd maatwerk omdat elke situatie of elke studie zijn eigen kenmerken heeft. Er zijn verschillende doelen waarom een participatieve aanpak kan gebruikt worden. In een lokale context zoals een PFAS-typegebied bestaan deze doelen uit:

- **Afbakenen van de probleemstelling:** In geval van de PFAS-typegebieden zal vanuit de overheid en de onderzoekers de focus in de probleemstelling liggen op verontreiniging met PFAS. Bij lokale actoren kunnen ook andere bezorgdheden of hekelpunten leven die de lokale situatie kenmerken. Omdat deze mogelijk een invloed kunnen hebben op het verloop van de studie, is het aan te raden deze eerst duidelijk in kaart te brengen. Bij de start van een studie kan best ook gepolst worden naar de verwachtingen van de actoren ten aanzien van de studie en hun rol hierin. Er kan dan op een transparante manier worden toegelicht welke verwachtingen kunnen worden ingelost binnen het project en welke niet. Vooral bij deze laatste is het geven van een motivatie of een argumentatie belangrijk. Onrealistische verwachtingen of verwachtingen die buiten de scope van de studie vallen, kunnen zo al bij het begin van het project worden aangekaart en verduidelijkt. Zo worden ontgoochelingen aan het eind van het project vermeden. Ook kan ervoor gekozen worden om bij de verdere ontplooiing van de studie rekening te houden met verwachtingen die nog niet werden opgenomen. Dit kan ervoor zorgen dat de actoren betrokken blijven en niet halverwege het proces afhaken.
- **Verschuilde perspectieven in kaart brengen:** Het is goed om bij de start van een studie een zicht te krijgen op de meningen van verschillende groepen actoren. Wanneer de actoren hierbij ook elkaars perspectieven kunnen aanhoren, kan dit ook bijdragen tot meer inzicht in en wederzijds begrip voor elkaars standpunten. Er kan ook met de actoren worden besproken wat volgens hen een positieve of een negatieve invloed kan hebben op de studie en op hun eigen werking. Door in de studie, waar mogelijk, rekening te houden met de mogelijke verliezen voor tegenstanders van het project kan worden nagegaan of bepaalde wijzigingen aan het project deze verliezen kunnen opvangen of winsituaties voor beide partijen kunnen creëren om zo tegemoet te komen aan de negatieve argumenten van deze tegenstanders.
- **Kennisverwerving in beide richtingen:** Participatie kan worden ingeschakeld voor het vergroten van de kennisbasis, van zowel de onderzoekers als van de actoren. De actoren kunnen specifieke lekenkennis bezitten (over bijvoorbeeld de lokale historiek) of optreden als ervaringsdeskundigen en zo complementaire kennis aanleveren. Het studiedesign wordt op die manier optimaal afgestemd op de lokale situatie. Daarnaast kan hiermee ook de kennis

van de actoren over PFAS en over de studie vergroten, waarmee eventueel bepaalde onterechte percepties kunnen worden rechtgezet.

- **Draagvlak voor de studie:** De betrokkenheid van de lokale actoren in een vroeg stadium van de studie waarbij ook geluisterd wordt naar hun bezorgdheden en waarbij hun kennis wordt toegevoegd aan het project creëert draagvlak voor de studie en voor de beslissingen die binnen de studie moeten genomen worden.
- **Hulp bij de uitvoering van de studie:** Voor bepaalde onderdelen of taken binnen de studie kan het nuttig zijn om medewerking te verkrijgen van actoren met specifieke kennis of ervaring, bijvoorbeeld voor de rekrutering, voor het betrekken van sociaal kwetsbare groepen of zeer specifieke doelgroepen (kinderen, ouderen, migranten, enz.) of voor het ter beschikking stellen van locaties voor het veldwerk.
- **Draagvlak voor de resultaten:** Door de lokale actoren van bij de start van de studie te betrekken, wordt er gewerkt aan een vertrouwensband tussen de onderzoekers en de lokale actoren. Hierdoor vergroot ook het draagvlak voor de resultaten aan het einde van de studie.
- **Delen van verantwoordelijkheden:** In een lokale setting kan het soms voorvallen dat het realiseren van bepaalde acties vereist dat specifieke lokale actoren ook delen in de verantwoordelijkheden. Door hen al van bij de start bij de studie te betrekken, vergroot de betrokkenheid en verbondenheid van de actoren tot de studie waardoor actoren gemakkelijker te mobiliseren zijn om bepaalde acties (mee) te dragen.

Het is mogelijk dat er binnen het typegebied reeds **overlegstructuren** aanwezig zijn die op regelmatige basis samenkomen. Er kan dan van die bestaande structuren gebruik worden gemaakt om het eigen participatietraject op te enten. Eventueel ontbrekende perspectieven kunnen aan de bestaande structuur worden toegevoegd. Hoe sterker deze bestaande structuren reeds zijn uitgebouwd, hoe belangrijker het is om na te gaan welke actoren nog ontbreken en hoeveel ruimte er is om de bestaande structuur uit te breiden. Is het toch te moeilijk om actoren toe te voegen, dan kunnen afzonderlijke overlegmomenten met de ontbrekende perspectieven worden ingericht. Bestaande structuren als basis nemen, heeft verschillende voordelen. Zo vergroot dit de aansluiting van het project bij het lokale beleid, is er hierdoor ook een grotere kans dat lokale actoren verantwoordelijkheden zullen opnemen en vergroot dit ook de kans dat de overlegstructuren nadien nog zullen worden verdergezet.

Meer informatie, tips en tools voor participatieve trajecten zijn ook te vinden in de inspiratiegids voor participatie in milieugezondheidskundige aandachtsgebieden (Colles et al., 2019)³³.

5.14 ETHISCH DOSSIER

Na de opmaak van de studieopzet en alle bijhorende studiedocumenten (vragenlijsten, geïnformeerde toestemmingsformulieren, promotiemateriaal) wordt het finale studieprotocol door de verantwoordelijke studiearts voorgelegd aan een Ethisch Comité. Hierbij horen ook de nodige certificaten en verzekeringen. De rekrutering kan pas van start gaan na een gunstig advies van het Ethisch Comité.

³³ Colles A., Mollen L., Vandierendonck S. (2019) Inspiratiegids voor participatie in milieugezondheidskundige aandachtsgebieden.

5.15 PROJECTCÖÖRDINATIE

De projectcoördinatie beoogt: efficiënte samenwerking tussen de partners van het onderzoek, naleving van ethische en privacyaspecten, de opmaak van een werkplan dat aan de opdrachtgevers wordt voorgelegd ter goedkeuring, het opvolgen van de communicatiestrategie in overeenstemming met de communicatiespelregels, databeheer en -governance, in overeenstemming met de samenwerkings- en beheersovereenkomst.

BIJLAGE 1. VLAREM-RUBRIEKEN MET MOGELIJKE PFAS- VERDACHTE ACTIVITEITEN DIE VERVUILING KUNNEN VEROORZAKEN IN ÉÉN OF MEERDERE OMGEVINGSMATRICES.

Deze lijst werd verkregen via de bevraging van de overheidsagentschappen die deel uitmaken van de stuurgroep van dit project (Departement Omgeving, OVAM, VMM en Departement Zorg), alsook op basis van literatuuronderzoek. De opdeling van rubrieken naar typegebied(groep) werd via eigen verwerking verkregen.

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
2.1.1.a)1°	Opslag en overslag van afvalstoffen	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.1.1.a)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.1.1.a		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.1.1.b)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.1.1.c		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.1.a)	Afvalinzamelaars- en verwerkers - Opslag en sortering van afvalstoffen, met oog op nuttige toepassing	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.1.b)_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.1.b)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.1.c)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.1.c)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.1.d)1°	Afvalinzamelaars- en verwerkers - Opslag en verwijdering van afvalstoffen met oog op definitieve opslag of vernietiging	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.1.d)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.1.a)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.1.b		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.1.2.d)1°	Opslag en nuttige toepassing van afvalstoffen	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.1.2.d)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.a)1°	Afvalinzamelaars- en verwerkers - Opslag en sortering van afvalstoffen, met oog op nuttige toepassing	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.a)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.b)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
2.2.2.b)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.c)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.c)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.c)3°_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.c)3°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.c)4°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.d)1°a)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.d)1°b)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.d.1		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.d)2°a)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.d)2°b)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.d.2		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.d)3°_20191001		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.d)3°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.e)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.f.1		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.f)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.2.g)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.a)1°_20201103	Afvalinzamelaars- en verwerkers - Opslag en fysisch chemische behandeling, met oog op definitieve opslag of vernietiging	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.a)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.a)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.a)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.b)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.c)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.d)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.e)1°_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.e)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.e)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.e		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.2.g)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.1.3.1°_20201103		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.1.3.1°		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.1.3.2°		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.3.3.c)	Afvalinzamelaars- en verwerkers - Opslag en biologische behandeling, met oog op definitieve opslag of vernietiging	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.4.1.b)		Afval/grond	Afvalverbranding

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
2.3.4.1.c)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.1.e)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.1.f)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.1.h)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.1.j)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.1.k)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.1.m)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.2.b)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.2.c)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.2.d)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.2.e)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.3.4.2.g)		Afval/grond	Afvalverbranding
2.2.5.a)1°_20201103	Afvalinzamelaars- en verwerkers - Opslag en fysisch chemische behandeling , met oog op nuttige toepassing	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.a)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.a)2°_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.a)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.a)3°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.a		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.b)1°_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.b)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.b)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.b		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.c)1°_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.c)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.c)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.c		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.d)1°_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.d)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.d)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.d		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.e)1°_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.e)1°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.e)2°_20201103		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.e)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.e)3°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.e		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.5.f)2°		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.5.	Afvalinzamelaars- en verwerkers - Opslag en reiniging van metalen recipiënten door uitbranden	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.6.a	Opslag en nuttige toepassing van afvalstoffen	Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.6.b		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
2.2.6.c)		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.2.6.d		Afval/grond	Afvalinzameling/-verwerking
2.3.6.a)1°	Stortplaatsen - Afbraak materiaal in stort (bv. behandeld textiel, papier), uitloging uit stort - alle storten muv enkel inerte afvalstoffen	Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.a.2		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.b)1°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.b)2°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.b)3°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.b)4°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.b)5°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.b)6°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.c)1°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.c)2°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.c)3°		Afval/grond	Stortplaats
2.3.6.c)4)		Afval/grond	Stortplaats
2.3.7.a)_20190401	Grondverwerking, verzet en storten van gronden - Bagger en ruimingspecie	Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.3.7.a)		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.3.7.c)_20190401		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.3.7.c)		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.3.7.d)_20190401		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.3.7.d)		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.3.7		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.2.8.a)_20190401		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.2.8.a)		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.2.8.b)_20190401		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
2.2.8.b)		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
3.6.4.3	Afvalwaterzuiveringsinstallaties	Afval/grond	Waterzuivering
3.6.4.4°		Afval/grond	Waterzuivering
3.6.6.	Waterzuivering - Waterzuivering industrie	Afval/grond	Waterzuivering
3.6.7.		Afval/grond	Waterzuivering
4.1.1°	Bedekkingsmiddelen	Industrie	Verven/coatings
4.1.2°	Lak- en verfindustrie - Productie van lak en verf met gebruik van PFAS	Industrie	Verven/coatings
4.1.3°		Industrie	Verven/coatings
4.3.a)1°i)	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Mechanisch, pneumatisch of elektrostatisch	Industrie	Verven/coatings

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
4.3.a)1°ii)		Industrie	Verven/coatings
4.3.a.1		Industrie	Verven/coatings
4.3.a)2°i)		Industrie	Verven/coatings
4.3.a)2°ii)		Industrie	Verven/coatings
4.3.a.2		Industrie	Verven/coatings
4.3.a.3		Industrie	Verven/coatings
4.6.a)	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Oppervlakte behandeling	Industrie	Verven/coatings
4.3.b)1°i)	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Mechanisch, pneumatisch of elektrostatisch	Industrie	Verven/coatings
4.3.b)1°ii)		Industrie	Verven/coatings
4.3.b.1		Industrie	Verven/coatings
4.3.b)2°i)		Industrie	Verven/coatings
4.3.b)2°ii)		Industrie	Verven/coatings
4.3.b.2		Industrie	Verven/coatings
4.3.b.3		Industrie	Verven/coatings
4.6.b)	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Oppervlakte behandeling	Industrie	Verven/coatings
4.3.c)1°i)	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Mechanisch, pneumatisch of elektrostatisch	Industrie	Verven/coatings
4.3.c)1°ii)		Industrie	Verven/coatings
4.3.c)2°i)		Industrie	Verven/coatings
4.3.c)2°ii)		Industrie	Verven/coatings
4.3.c)3)		Industrie	Verven/coatings
4.2.	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Indompeling	Industrie	Verven/coatings
4.6	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Oppervlakte behandeling	Industrie	Verven/coatings
5.4.1°_20201103	Productielocaties pesticiden en biociden - Productie van pesticiden	Industrie	Pesticiden/biociden
5.4.1°		Industrie	Pesticiden/biociden
5.4.2°		Industrie	Pesticiden/biociden
5.5.		Industrie	Pesticiden/biociden
7.1.1°	Brandblusschuimen - Productie brandblus schuimen	Industrie	Brandblusschuim
7.3.1°_20201103	Chemicaliën - Petrochemische installaties of vervolgfabrieken ten behoeve van het kraken of vergassen van nafta, gasolie, L.P.G. of andere aardoliefracties alsmede daarvan afgeleide organische chemie	Industrie	Petrochemie
7.3.1°		Industrie	Petrochemie

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
7.11.1°f)	PFAS-productie - Productie PFOS/PFOA, telomeren	Industrie	PFAS-productie
7.11.1°h)	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Fluorpolymeren en polymeren met gefluoreerde zijketens	Industrie	Kunststoffen
7.11.1°i)	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Rubbers	Industrie	Elastomeren
7.1.2°_20201103	Brandblusschuimen - Productie brandblus schuimen	Industrie	Brandblusschuim
7.1.2°		Industrie	Brandblusschuim
7.3.2°	Chemicaliën - Petrochemische installaties of vervolgfabrieken ten behoeve van het kraken of vergassen van nafta, gasolie, L.P.G. of andere aardoliefracties alsmede daarvan afgeleide organische chemie	Industrie	Petrochemie
7.12.2°a)	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Rubbers	Industrie	Elastomeren
7.12.2°b)		Industrie	Elastomeren
7.12.2°c)		Industrie	Elastomeren
7.1.3°	Brandblusschuimen - Productie brandblus schuimen	Industrie	Brandblusschuim
7.2.	Productielocaties pesticiden en biociden - Productie van pesticiden	Industrie	Pesticiden/biociden
11.1.2°a)	Drukkerijen en grafische industrie	Industrie	Drukwerk

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
11.1.2°b)		Industrie	Drukwerk
11.1.2		Industrie	Drukwerk
11.2.2°a)		Industrie	Drukwerk
11.2.2°b)		Industrie	Drukwerk
11.2.2		Industrie	Drukwerk
11.1.3.a		Industrie	Drukwerk
11.1.3°b)		Industrie	Drukwerk
11.1.3		Industrie	Drukwerk
11.2.3°a)		Industrie	Drukwerk
11.2.3		Industrie	Drukwerk
12.4.2°a)_20201103	Elektronische industrie en halfgeleiderindustrie - Productie van elektronica	Industrie	Elektronica/halfgeleiders
12.4.2°a)		Industrie	Elektronica/halfgeleiders
12.4.2°b)_20201103		Industrie	Elektronica/halfgeleiders
12.4.2°b)		Industrie	Elektronica/halfgeleiders
12.4.2°		Industrie	Elektronica/halfgeleiders
12.4.3°a)		Industrie	Elektronica/halfgeleiders
12.4.3°b)		Industrie	Elektronica/halfgeleiders
12.4.3		Industrie	Elektronica/halfgeleiders
13.1	Farmaceutische stoffen	Industrie	Farmaceutica
14.1°a)	Fotogevoelige materialen	Industrie	Fotogevoelige materialen
14.3°a)		Industrie	Fotogevoelige materialen
14.1°b)		Industrie	Fotogevoelige materialen
14.2°b)		Industrie	Fotogevoelige materialen
14.3°b)		Industrie	Fotogevoelige materialen
14.2		Industrie	Fotogevoelige materialen
14.3		Industrie	Fotogevoelige materialen
19.4.1°	Bouwmaterialen - Productie van bouwmaterialen zoals glas, laminaat, tegels, roofing, gipsplaten ..	Industrie	Bouwmaterialen
19.1.2°a)_20201103		Industrie	Bouwmaterialen
19.1.2°a)		Industrie	Bouwmaterialen
19.1.2°b)_20201103		Industrie	Bouwmaterialen
19.1.2°b)		Industrie	Bouwmaterialen
19.2.2°a)_20201103		Industrie	Bouwmaterialen
19.2.2°a)		Industrie	Bouwmaterialen
19.2.2°b)		Industrie	Bouwmaterialen
19.4.2°		Industrie	Bouwmaterialen
19.1.3°a)		Industrie	Bouwmaterialen
19.1.3°b)		Industrie	Bouwmaterialen
19.1.3		Industrie	Bouwmaterialen
19.2.3°a)		Industrie	Bouwmaterialen
19.2.3°b)		Industrie	Bouwmaterialen

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
19.2.3		Industrie	Bouwmaterialen
19.4.3°		Industrie	Bouwmaterialen
19.4.4°		Industrie	Bouwmaterialen
19.7.		Industrie	Bouwmaterialen
20.4.1.1°_20201103	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Fluorpolymeren en polymeren met gefluoreerde zijketens	Industrie	Kunststoffen
20.4.1.1		Industrie	Kunststoffen
20.4.1.2°		Industrie	Kunststoffen
20.5.1°	Papier en karton - Inrichtingen voor de chemische fabricage van papierpap	Industrie	Papier/karton
20.1.2.a)	Industriële inrichtingen die behoren tot bijzondere categorieën - Het raffineren van olie	Industrie	Petrochemie
20.1.2.b)		Industrie	Petrochemie
20.1.2.		Industrie	Petrochemie
20.4.2.1°	PFAS-productie - Productie PFOS/PFOA, telomeren	Industrie	Kunststoffen
20.4.2.2°	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Fluorpolymeren en polymeren met gefluoreerde zijketens	Industrie	Kunststoffen
20.5.2°	Papier en karton - Inrichtingen voor de chemische fabricage van papierpap	Industrie	Papier/karton
20.3.4.2°	Bouwmaterialen - Productie van bouwmaterialen zoals glas, laminaat, tegels, roofing, gipsplaten ..	Industrie	Bouwmaterialen
20.3.8.		Industrie	Bouwmaterialen

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
22.1.1°a)	Fabricage van cosmetica en reinigingsmiddelen - Verlagen oppervlaktespanning	Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.1°b)		Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.2°a)_20201103		Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.2°a)		Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.2°b)_20201103		Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.2°b)		Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.2		Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.3°a)		Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.3°b)		Industrie	Cosmetica/detergenten
22.1.3	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Productie en oppervlakte behandeling van	Industrie	Cosmetica/detergenten
23.1.1°b)		Industrie	Kunststoffen
23.1.1°c)		Industrie	Kunststoffen
23.1.2		Industrie	Kunststoffen
23.2.2°a)_20201103		Industrie	Kunststoffen
23.2.2°a)		Industrie	Kunststoffen
23.2.2°b)_20201103		Industrie	Kunststoffen
23.2.2°b)		Industrie	Kunststoffen
23.2.3°a)		Industrie	Kunststoffen
23.2.3°b)	Kunststoffen	Industrie	Kunststoffen
23.2.3		Industrie	Kunststoffen

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
23.4.	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Productie en oppervlakte behandeling van	Industrie	Kunststoffen
25.1.1.	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Leer	Industrie	Textiel
25.1.2.		Industrie	Textiel
25.1.3.		Industrie	Textiel
26.1.1°a)	Lijmen	Industrie	Lijmen
26.1.1°b)		Industrie	Lijmen
26.1.2°b)		Industrie	Lijmen
26.1.2		Industrie	Lijmen
26.1.3		Industrie	Lijmen
29.5.10.2°a)	Metaalbewerking of -behandeling	Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
29.5.10.2°b)		Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
29.5.5.2°a)_20201103	Metaalindustrie - Metaaloppervlakte behandeling /galvanisatie	Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
29.5.5.2°a)		Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
29.5.5.2°b)_20201103		Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
29.5.5.2°b)		Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
29.5.5.2		Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
29.5.5.3°		Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
29.5.5.4°		Industrie	Metaalbewerking/-behandeling
33.1.a.2	Papier- en Verpakkingsindustrie	Industrie	Papier/karton
33.1.a.3		Industrie	Papier/karton
33.2.a)1°a)	Papier en karton - Papier- en kartonfabrieken	Industrie	Papier/karton
33.2.a)1°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.a)2°a)_20201103		Industrie	Papier/karton
33.2.a)2°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.a)2°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.a.2		Industrie	Papier/karton
33.2.a)3°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.a)3°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.a.3		Industrie	Papier/karton
33.1.b.2	Papier- en Verpakkingsindustrie	Industrie	Papier/karton
33.1.b.3		Industrie	Papier/karton
33.2.b)1°a)	Papier en karton - Papier- en kartonfabrieken	Industrie	Papier/karton
33.2.b)1°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.b)2°a)		Industrie	Papier/karton

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
33.2.b)2°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.b.2		Industrie	Papier/karton
33.2.b)3°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.b.3		Industrie	Papier/karton
33.2.c)1°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.c)1°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.c)2°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.c)2°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.c)3°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.c)3°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.c.3		Industrie	Papier/karton
33.2.d)1°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.d)1°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.d)2°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.d)2°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.d.2		Industrie	Papier/karton
33.2.d)3°a)		Industrie	Papier/karton
33.2.d)3°b)		Industrie	Papier/karton
33.2.d.3		Industrie	Papier/karton
33.2.e)		Industrie	Papier/karton
33.1.	Papier en karton - De fabricage, in industriële installaties, van papierpulp uit hout of andere vezelstoffen	Industrie	Papier/karton
34.2.1.a	Reinigingsmiddelen	Industrie	Cosmetica/detergenten
34.2.1°b)		Industrie	Cosmetica/detergenten
34.2.2°a)		Industrie	Cosmetica/detergenten
34.2.2°b)		Industrie	Cosmetica/detergenten
34.2.2		Industrie	Cosmetica/detergenten
34.2.3°a)		Industrie	Cosmetica/detergenten
34.2.3		Industrie	Cosmetica/detergenten
36.3.1°b)1)_20201103	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Rubbers	Industrie	Elastomeren
36.3.1°b)1)		Industrie	Elastomeren
36.3.1°b)2)_20201103		Industrie	Elastomeren
36.3.1°b)2)		Industrie	Elastomeren
36.3.1°c)1)		Industrie	Elastomeren
36.3.1.c.2		Industrie	Elastomeren
36.3.1.c		Industrie	Elastomeren
36.3.2°	Rubber en andere elastomeren	Industrie	Elastomeren

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
36.1.	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Rubbers	Industrie	Elastomeren
41.1.1°a)	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Voorbehandelen en behandelen van textiel, Textielveredeling	Industrie	Textiel
41.1.1°b)		Industrie	Textiel
41.3.1°a)		Industrie	Textiel
41.3.1°b)		Industrie	Textiel
41.4.1°a)	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Behandelen textiel, leer, waterafstotend maken, vernevelen.	Industrie	Textiel
41.4.1°b)		Industrie	Textiel
41.4.1		Industrie	Textiel
41.9.1°a)	Papier en karton - Productie van viscose voor vezels, filamentgaren, film, sponzen, kunst darmen, alsook installaties voor het produceren en bewerken van celstof	Industrie	Papier/karton
41.9.1°b)		Industrie	Papier/karton
41.1.2°a)_20201103	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Voorbehandelen en behandelen van textiel, Textielveredeling	Industrie	Textiel
41.1.2°a)		Industrie	Textiel
41.1.2°b)_20201103		Industrie	Textiel
41.1.2°b)		Industrie	Textiel
41.3.2°a)		Industrie	Textiel
41.3.2°b)		Industrie	Textiel
41.3.2		Industrie	Textiel
41.4.2°a)_20201103	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Behandelen textiel, leer, waterafstotend maken, vernevelen.	Industrie	Textiel
41.4.2°a)		Industrie	Textiel

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
41.4.2°b)_20201103		Industrie	Textiel
41.4.2°b)		Industrie	Textiel
41.4.2		Industrie	Textiel
41.6.2°a)_20201103	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Tapijten	Industrie	Textiel
41.6.2°a)		Industrie	Textiel
41.6.2°b)		Industrie	Textiel
41.9.2°a)	Papier en karton - Productie van viscose voor vezels, filamentgaren, film, sponsen, kustdarmen, alsook installaties voor het produceren en bewerken van celstof	Industrie	Papier/karton
41.9.2°b)		Industrie	Papier/karton
41.9.2		Industrie	Papier/karton
41.3.3°a)	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Voorbehandelen en behandelen van textiel, Textielveredeling	Industrie	Textiel
41.3.3°b)		Industrie	Textiel
41.3.3		Industrie	Textiel
41.4.3°a)	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Behandelen textiel, leer, waterafstotend maken, vernevelen.	Industrie	Textiel
41.4.3°b)		Industrie	Textiel
41.4.3		Industrie	Textiel
41.6.3°a)	Textiel	Industrie	Textiel
41.6.3°b)		Industrie	Textiel
41.6.3		Industrie	Textiel
41.9.3°a)	Papier en karton - Productie van viscose voor vezels, filamentgaren, film, sponsen, kustdarmen, alsook installaties voor het produceren en bewerken van celstof	Industrie	Papier/karton
41.9.3°b)		Industrie	Papier/karton
41.9.3		Industrie	Papier/karton
41.7.	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Tapijtproductie	Industrie	Textiel
41.10.	Textiel	Industrie	Textiel
41.11.	Papier en karton - Inrichtingen voor het produceren en bewerken van celstof	Industrie	Papier/karton
42.2.1.	(Jacht)havens en scheepswerven - Scheepswerf	Industrie	Transportmiddelen
42.2.2.		Industrie	Transportmiddelen

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
42.4.2°a)	Transport - Transportmiddelenfabriek	Industrie	Transportmiddelen
42.4.2°b)		Industrie	Transportmiddelen
42.1.		Industrie	Transportmiddelen
42.2	(Jacht)havens en scheepswerven - Scheepswerf	Industrie	Transportmiddelen
42.3.	Transport - Transportmiddelenfabriek	Industrie	Transportmiddelen
42.5.		Industrie	Transportmiddelen
44.2.2°a)	Niet-eetbare vetstoffen	Industrie	Niet-eetbare vetstoffen
44.2.2°b)		Industrie	Niet-eetbare vetstoffen
44.2.3°a)		Industrie	Niet-eetbare vetstoffen
44.2.3°b)		Industrie	Niet-eetbare vetstoffen
44.2.3		Industrie	Niet-eetbare vetstoffen
46.2.a	Wasserijen	Industrie	Wasserijen/droogkuis
46.3°a)	Wasserijen en droogkuis - Wasserijen	Industrie	Wasserijen/droogkuis
46.2°b)_20201103		Industrie	Wasserijen/droogkuis
46.2°b)		Industrie	Wasserijen/droogkuis
46.3°b)		Industrie	Wasserijen/droogkuis
46.3		Industrie	Wasserijen/droogkuis
48.1.1.1.a	Opslag van gevaarlijke goederen (zeehavens)	Industrie	Opslag gevaarlijke goederen
48.1.1.1.b		Industrie	Opslag gevaarlijke goederen
48.1.1.1		Industrie	Opslag gevaarlijke goederen
48.1.1.2		Industrie	Opslag gevaarlijke goederen
52.1.1.2	Lozingen in grondwater	Afval/grond	Lozing in grondwater
52.1.2		Afval/grond	Lozing in grondwater
52.2.2°		Afval/grond	Lozing in grondwater
52.2.3°		Afval/grond	Lozing in grondwater
57.1.1°_20201103	Vliegvelden - Vliegvelden (burgerluchtvaart/militair)	Brand	Vliegvelden
57.1.1°		Brand	Vliegvelden
57.1.2°		Brand	Vliegvelden
59.1.1.1	Drukkerijen en grafische industrie	Industrie	Drukwerk
59.2.1.1°_20201103	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Oppervlaktebehandeling	Industrie	Verven/coatings
59.2.1.1°		Industrie	Verven/coatings
59.2.1.2°		Industrie	Verven/coatings
59.4.1°	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Coating	Industrie	Verven/coatings
59.5.1.1°_20201103		Industrie	Verven/coatings
59.5.1.1°		Industrie	Verven/coatings
59.5.1.2°		Industrie	Verven/coatings
59.6.1°		Industrie	Verven/coatings
59.7.1°_20201103		Industrie	Verven/coatings

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
59.7.1°		Industrie	Verven/coatings
59.9.1°		Industrie	Verven/coatings
59.10.1°		Industrie	Verven/coatings
59.11.1°	Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten) - Schoenen	Industrie	Textiel
59.12.1°	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Coating	Industrie	Verven/coatings
59.13.1°_20201103		Industrie	Verven/coatings
59.13.1°		Industrie	Verven/coatings
59.14.1°_20201103		Industrie	Verven/coatings
59.14.1°		Industrie	Verven/coatings
59.15.1°	Productie en behandeling van kunststof met fluor (o.a. Teflon) en fluorrubbers (PFAS als neven verontreiniging in polymeren) - ook als hulpstof en in extrusieproces - Rubbers	Industrie	Elastomeren
59.16.1°	Plant aardige oliën en dierlijke vetten	Industrie	Eetbare vetstoffen
59.2.2.1	Oppervlaktereiniging	Industrie	Oppervlaktereiniging
59.2.2.2°		Industrie	Oppervlaktereiniging
59.5.2.1.1	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Coating	Industrie	Verven/coatings
59.5.2.1.2		Industrie	Verven/coatings
59.5.2.1°_20201103		Industrie	Verven/coatings
59.5.2.1°		Industrie	Verven/coatings
59.5.2.2.1		Industrie	Verven/coatings
59.5.2.2.2		Industrie	Verven/coatings
59.5.2.2°		Industrie	Verven/coatings
59.5.2.3.1		Industrie	Verven/coatings
59.5.2.3.2		Industrie	Verven/coatings
59.5.2		Industrie	Verven/coatings
59.7.2°		Industrie	Verven/coatings
59.10.2°		Industrie	Verven/coatings
59.13.2°		Industrie	Verven/coatings
59.14.2°		Industrie	Verven/coatings
59.1.3.1.1	Drukkerijen en grafische industrie	Industrie	Drukwerk
59.1.3.1.2		Industrie	Drukwerk
59.3.	Aanbrengen van bedekkingsmiddelen - Coating	Industrie	Verven/coatings
60.2°	Grondverwerking, verzet en storten van gronden - Grond	Afval/grond	Grondverzet/-verwerking
61.2.2°_20201103		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking

VLAREM-rubriek	Korte beschrijving	Typegebiedgroep	Typegebied
61.2.2°		Afval/grond	Grondverzet/-verwerking

BIJLAGE 2: LITERATUURSTUDIE M.B.T. PFAS-HBM-GEGEVENS BIJ OMWONENDEN VAN PFAS-TYPEGEBIEDEN

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van het humaan biomonitoring (HBM) -onderzoek naar PFAS-verontreiniging gelinkt aan verschillende activiteiten/sectoren. Dit overzicht richt zich vooral op Vlaanderen en België en vervolgens op Europa of andere mogelijks relevante regio's. Dit overzicht biedt een indicatie van waar verhoogde PFAS-serumconcentraties te verwachten zijn bij omwonenden van soortgelijke activiteiten/sectoren in Vlaanderen, en kan de keuze voor een PFAS HBM-meetcampagne ondersteunen.

Milieumetingen in de omgeving van PFAS-productiesites, de downstream verwerkende industrie (bijv. textielindustrie) en andere gekende PFAS-verontreinigde gebieden (bijv. brandweeroefenterreinen) spelen doorgaans een cruciale rol bij het opstarten en vormgeven van HBM-studies. In hoofdstuk 3.3.1 *'Inventarisatie en karakterisatie op basis van gegevens PFAS in omgeving in Vlaanderen'* wordt een overzicht gegeven van PFAS-verdachte activiteiten met een (zeer) grote geschatte kans op PFAS-bodem- en/of grondwaterverontreiniging. Het is belangrijk op te merken dat de bronnen van PFAS-verontreiniging zeer divers kunnen zijn. Sommige verontreinigde gebieden bevinden zich in de nabijheid van chemische industrieën waar PFAS-verbindingen werden/worden geproduceerd of gebruikt, terwijl in andere gevallen de vervuiling eerder te wijten is aan het gebruik van PFAS-bevattende producten in blusschuimen, textiel, papier of bodemverbeteraars.

Om een overzicht te verkrijgen van het beschikbare HBM-onderzoek naar PFAS-verontreinigde gebieden rondom specifieke activiteiten en sectoren, hebben we ons in de zoekstrategie³⁴ eerst gericht op Vlaamse en Belgische data. Vervolgens hebben we dit uitgebreid naar Europese, en indien nodig, Amerikaanse studies, vermits de context en types van PFAS mogelijks afwijken van de Vlaamse situatie. Naast de wetenschappelijke literatuurstudie werd ook een bevraging gedaan aan collega's uit het HBM4EU PFAS-hotspot netwerk betreffende nieuwe of lopende studies (die nog niet gepubliceerd zijn).

Deze zoekstrategie leverde een overzicht op van HBM-gegevens bij de algemene bevolking en bij omwonenden van verontreinigde gebieden, evenals HBM-studies met betrekking tot beroepsblootstelling. HBM-gegevens uit de referentiepopulatie van de algemene bevolking (niet specifiek woonachtig in PFAS-verontreinigde gebieden) en beroepsblootstelling zijn niet meegenomen in dit overzicht, omdat we ons in deze analyse specifiek richten op omwonenden van PFAS-verontreinigde gebieden gelinkt aan bepaalde sectoren en activiteiten. Werknemers van sectoren waarin PFAS wordt geproduceerd of gebruikt, kunnen ook (sterk) verhoogde PFAS-serumwaarden hebben, maar deze zijn niet representatief voor de omwonenden gezien werknemers totaal verschillende blootstellingsprofielen (processen, beschermingsmateriaal, etc.) hebben dan omwonenden. *Tabellen 1 t.e.m. 11* geven per sector of activiteit een overzicht van de relevante HBM-

³⁴ Scopus, oktober 2024 – zoektermen “((PFAS) OR (PFOS)) AND (human AND biomonitoring) AND (serum OR blood OR urine OR breastmilk)”, 170 hits

studies, inclusief informatie over de steekproefgrootte, het jaar van de staalname, gemeten PFAS-concentraties in bloed en, indien beschikbaar, de belangrijkste blootstellingsroutes.

Het is belangrijk om te vermelden dat er een tendens kan bestaan om studies met statistisch significante verhogingen in PFAS-waarden vaker te publiceren (*publication bias*). Toch tonen bestaande HBM-studies consistent aan dat omwonenden van bepaalde types PFAS-verontreinigde gebieden significant hogere PFAS-concentraties in hun bloed hebben in vergelijking met referentiepopulaties.

Daarnaast is het ook belangrijk om te vermelden conclusies uit bestaande studies (voor bepaalde typegebieden) naar vergelijkbare typegebieden voorzichtig moeten gebeuren omdat de studieopzet en de analytische meetmethodes gebruik in de verschillende studies mogelijk niet direct vergelijkbare resultaten geven, en de lokale contexten soms moeilijk vergelijkbaar zijn. Bijgevolg, de resultaten uit bestaande studies dienen als indicatie geïnterpreteerd te worden.

Volgende PFAS-gerelateerde activiteiten of sectoren worden in onderstaand overzicht besproken:

1. De PFAS-producerende industrie
2. De PFAS-verwerkende industrie
 - 2.1. Textielindustrie (inclusief leer, tapijt en meubelen)
 - 2.2. Metaalindustrie
 - 2.3. Papier- en kartonindustrie
3. Brandweeractiviteiten: brandweeroefenterreinen en branden
 - 3.1. Militaire oefenplaatsen en luchthavens
 - 3.2. Civiele luchthavens
 - 3.3. Brandweer en industriële oefenplaatsen
 - 3.4. Andere
4. Afvalverwerking
 - 4.1. Afvalverbrandingsinstallaties
 - 4.2. Stortplaatsen
 - 4.3. Rioolwaterzuiveringsinstallaties
 - 4.4. Recycling
5. Andere activiteiten/sectoren

1. PFAS-producerende industrie

De historische productie van PFAS in Europa en de VS heeft geleid tot aanzienlijke milieuverontreiniging rondom productielocaties. Diverse HBM-studies hebben aangetoond dat omwonenden van PFAS-productiesites significant hogere PFAS-serumwaarden hebben in vergelijking met referentiepopulaties (*Tabel 16*).

Tot 2015 vormde DuPont een van de voornaamste producenten van perfluorooctaanzuur (PFOA, ook gekend als C8), een surfactant dat gebruikt wordt bij de productie van fluoropolymeren zoals Teflon of gefluoreerd ethyleen-propyleen (FEP). In 2005-2006 werd een grootschalige HBM-meetcampagne³⁵ opgezet in 6 regio's waar het drinkwater verontreinigd was door activiteiten van de DuPont/Chemours fabrieken in West Virginia, Verenigde Staten (C8 Health Project) (Frisbee et al., 2009). Serumstalen van bijna 69 000 deelnemers (M/V, alle leeftijden) werden verzameld en geanalyseerd en toonden sterk verhoogde **PFOA-waarden (6 tot 8-voudig)** (geometrisch gemiddelde (GM) (SD): 32,9 (240,8) (ng/mL) t.o.v. nationale referentiepopulatie (NHANES-studies GM 1999-2000: 5,2 ng/mL en 2003-2004: 3,9 ng/mL). Eveneens werden iets verhoogde waarden gedetecteerd voor PFHxS (GM: 3,3 ng/mL) en PFNA (GM: 1,4) i.v.m. de referentiepopulatie, terwijl gelijkaardige concentraties werden gevonden voor PFOS (GM: 19,2 ng/mL).

Sinds 1960 vervuult de Chemours (voormalig DuPont) -fabriek de omgeving in Dordrecht met PFAS. Tot 2012 werd PFOA, en vervolgens GenX, geproduceerd voor het productieproces van fluoropolymeren zoals Teflon. Naar aanleiding van voorgaande studie werd in 2016 door het RIVM een bloedonderzoek uitgevoerd bij 382 inwoners (M/V, >18 jaar) in twee zones rondom de DuPont/Chemours-fabriek in Dordrecht; (i) de binnencontour waar mensen waarschijnlijk gedurende langere tijd en in hogere mate zijn blootgesteld en (ii) de buitencontour verder weg van de fabriek, waar mensen waarschijnlijk zijn blootgesteld aan kleinere hoeveelheden. Daarnaast was de PFOA-uitstoot van de fabriek relatief hoog van 1970-2002 ten opzichte van 2003-2012 waarna de uitstoot stopte. De resultaten van omwonenden werden vergeleken met deze van deelnemers uit een controlegroep uit Wittenstein (N=56) en kortwonenden (na daling in uitstoot in 2003) (N=76) (Van Poll et al., 2017). Hier vond men bij bewoners die lang en dicht bij de fabriek woonden significant hogere PFOA-serumwaarden (N=41; mediaan (max): 10,2 (147,4) ng/mL) dan bewoners die verder weg (N=186; 3,4 (24,1) ng/mL) of minder lang in de omgeving woonden (N=76; 2,8 (45,7) ng/mL) alsook t.o.v. de controle (N=56, mediaan (max): 3,4 (14,1) ng/mL).

Van 1968 tot 2003 werd PFOA geproduceerd in het Gendorf Chemical Park in Zuid-Duitsland, aanvankelijk door Hoechst en vanaf 1999 door 3M Dyneon waar het tot 2008 eveneens als emulgator bij de productie van fluoropolymeren gebruikt werd. Naast de PFAS-producent 3M zijn er eveneens PFAS-verwerkende bedrijven aanwezig op het bedrijventerrein (sectie 2.1).

In 2006 werd hier de omvang van de verontreiniging duidelijk na detectie van hoge PFOA-concentraties in grond- en uiteindelijk drinkwater (o.a. drinkwatervoorziening Altötting district).

Er werden twee meetcampagnes (2009 en 2015) opgezet in biobanked plasmastalen van bloeddonoren (N=396, M/V, 18-67 jaar) wonende (i) rond de voormalige PFOA-productiesite in Gendorf Chemical Park, (ii) 80 km van de site, met veronderstelde blootstelling via gecontamineerd drinkwater en (iii) in een controlegebied in München (Fromme et al., 2017). De gemeten **PFOA-serumwaarden lagen tot 10 keer hoger** in bloedstalen verzameld van omwonenden van de productiesite (N₂₀₀₉=60; mediaan (95^e percentiel (P95)) 15,6 (170,9) ng/mL / N₂₀₁₅=26; 20,2 (85,8)

³⁵ De verschillende deelstudies in deze regio's worden in dit overzicht niet verder besproken gezien de eerder beperkte relevantie met de Vlaamse context.

ng/mL) t.o.v. de referentiegroep ($N_{2009}=42$; 1,1 (3,1) ng/mL / $N_{2015}=158$; 1,1 (2,4) ng/mL), eveneens waren ze (in mindere mate) verhoogd bij bloeddonoren in de regio 80 km van voormalige site met vermoedelijk blootstelling via gecontamineerd water ($N_{2009}=60$; 4,7 (10,7) ng/mL / $N_{2015}=50$; 2,0 (8,5) ng/mL).

In 2015-2016 werd eveneens een HBM-studie opgezet in het Altötting district na vaststelling van de verontreiniging van de drinkwatervoorzieningen. Serumstalen van 906 deelnemers (M/V, 7-85 jaar) werden geanalyseerd en men vond **18-voudig hogere PFOA-concentraties** bij inwoners blootgesteld via het drinken van kraanwater (mediaan (P95): 20,1 (58,5) ng/mL) t.o.v. een controlegroep uit München (1,1 (2,4) ng/mL) (Fromme et al., 2018). Bijkomend vond men in deze groep een correlatie van de PFOA-serumconcentratie en de hoeveelheid drinkwater die thuis gedronken werd. Zo werden significant hogere gemiddelde PFOA-bloedwaarden gemeten bij de 846 personen die aangaven dat ze kraanwater als drinkwater gebruikten (25,3 ng/mL) dan bij de 59 personen die dat niet deden (15,0 ng/mL). Voor PFOS werd er nauwelijks een verschil gedetecteerd tussen de groepen.

In 2022 werd een vervolgstudie uitgevoerd bij dezelfde deelnemers ($N=764$) om het effect van zuivering van het drinkwater na te gaan (Lahne et al., 2024). Analyses werden apart uitgevoerd voor de algemene populatie ($N=559$, M/V, 12-87 jaar), vrouwen van vruchtbare leeftijd ($N=120$, V, 15-49 jaar) en kinderen ($N=30$, M/V, 4-11 jaar). De mediane (P95) PFOA-serumconcentraties in deze groepen daalden met respectievelijk 56,9% (23,2 (66,4) naar 10,0 (30,5) ng/mL), 59,8% (10,8 (37,8) naar 4,3 (18,1) ng/mL) en 73,4% (20,7 (48,8) naar 5,5 (14,2) ng/mL) na een halfwaardetijd van 4 jaar, hetgeen de zuivering van het drinkwater bevestigt.

In Trissino, Italië ontdekte men in 2013 wijdverspreide PFOA-verontreiniging van bodem en grond- en drinkwater door industriële emissies van de Miteni PFAS-productiesite. In 2015 werd hier een HBM-onderzoek opgestart met bloedstalen van 507 deelnemers (M/V, 20-51 jaar) waarvan 250 uit een referentiegebied (Ingelido et al., 2018). Significant hogere **PFOA-serumwaarden (8-voudig)** werden gedetecteerd bij personen blootgesteld aan verontreinigd drinkwater (mediaan (P95) 13,77 (247,94) ng/mL) t.o.v. de referentiepopulatie met achtergrondblootstelling (1,64 (3,92) ng/mL).

Bijkomend werd een subgroep van 122 landbouwers (M/V, 20-51 jaar) geïnccludeerd die in verontreinigde plattelandsgebieden woonden en die werden beschouwd als personen met een hoger risico op overmatige PFAS-blootstelling omdat ze eigen vee en groenten produceren en consumeren (Ingelido et al., 2020). Deze verwachte verhoogde blootstelling werd bevestigd door sterk verhoogde PFOA-serumwaarden (40 (500) ng/mL) t.o.v. de referentiepopulatie, maar ook omwonenden. De serumconcentraties van de meeste geanalyseerde PFAS in landbouwers lag hoger dan die gemeten bij omwonenden en consistent hoger dan die gemeten bij de referentiepopulatie. Deze resultaten tonen dat naast consumptie van verontreinigd openbaar drinkwater andere bronnen (privé bronwater en lokale voedselconsumptie) ook een belangrijke bron van blootstelling kunnen vormen.

In een grootschalig vervolgonderzoek in dezelfde regio werden PFAS-serumwaarden bij jongeren en jongvolwassenen tussen 14-39 jaar bepaald ($N=18\ 122$, M/V) (Pitter et al., 2020). Hier vond men de hoogste serumwaarden (mediaan (P95)) voor PFOA (44,4 (189,7) ng/mL), gevolgd door PFOS (3,9 (10,7)) en PFHxS (3,9 (18,1)). De mediane **PFOA-serumwaarde lag 27 keer hoger** dan deze van de controlegroep van de voorgaande HBM-studie in de Veneto-regio. Een tweede rekrutering startte in 2020 en in februari 2022 waren er 58 220 deelnemers gerekruteerd. De voorlopige bevindingen (conference abstract) vertonen nog steeds sterk verhoogde PFOA-serumwaarden (mediaan 36,8 ng/mL), gevolgd door PFOS (3,8 ng/mL) en PFHxS (3,7 ng/mL) (Canova et al., 2022).

Uit een Vlaamse HBM-meetcampagne in 2021 ('fase 1 studie') blijkt dat mensen die binnen een straal van 3 km van de 3M-fabriek in Zwijndrecht wonen (N=796, M/V, 12-89 jaar) voor sommige PFAS-verbindingen, vooral **PFOS_{tot}**³⁶, verhoogde serumwaarden (GM (P95)) 22,3 (145) ng PFOS_{tot}/mL hebben in vergelijking met referentiewaarden van de algemene bevolking uit andere studies (algemene Amerikaanse bevolking (NHANES; N=1929, M/V, >12 jaar): 4,25 (14,6) ng PFOS_{tot}/mL; referentiegroep Ronneby Cohort Zweden (N=219, M/V, 0-92 jaar): 3,9 (11) PFOS_{tot}/mL) (Consortium VITO en PIH, 2021). Let wel, vergelijkingen met andere studies (ter vergelijking met een referentiesituatie) moeten voorzichtig gebeuren omdat de studieopzet en de analytische meetmethodes gebruik in de verschillende studies mogelijk niet direct vergelijkbare resultaten geven en dient dus eerder als indicatie dan als referentie dienen. De resultaten van het grootschalig bloedonderzoek (N=±9 000) in een straal van 5 km rondom de 3M-fabriek bevestigen opnieuw verhoogde PFAS serum waarden bij mensen woonachtig in de regio rond 3M. .

Bij de jongerenstudie in de regio rond 3M (5 km) in Zwijndrecht (N=301, M/V, 12-17 jaar) zien ze bij de omwonende jongeren ook hogere (**1,5-voudig**) serumwaarden van **PFOS_{lin}** (GM (P95): 3,25 (30) ng/mL), dan bij de Vlaamse referentiegroep (FLEHS IV, N=410, M/V, 14-15 jaar; 2,16 (7,3) ng/mL) (UAntwerpen, VITO, PIH, UHasselt en VUB, 2023).

Hoewel er in de 3M-studies rond Zwijndrecht geen controlegroep(en) meegenomen zijn, kon men op basis van vergelijking met algemene HBM-referentiepopulaties concluderen dat de PFOS-serumniveaus verhoogd waren t.o.v. de algemene bevolking.

De Franse industriële site van Pierre-Bénite, gelegen in de zogenaamde "Chemical Valley" in Lyon bestaat uit vestigingen van verschillende chemische fabrikanten, waaronder Arkema en Daikin Chemicals, die beide betrokken zijn bij PFAS-productie. In 2022 onthulde een rapport van de Franse Algemene Inspectiedienst voor Milieu en Duurzame Ontwikkeling dat er sinds 2011 jaarlijks 3,5 ton PFAS in de Rhône werd geloosd. Dit leidde tot sterk verhoogde PFAS-niveaus in water-, lucht-, bodem-, drinkwater- en kippenierenstalen in de omgeving van de industriële site (Auvergne-Rhône-Alpes, 2023). In 2021 werden, in het kader van een mediaonderzoek door "Envoyé Spécial" in samenwerking met het programma "Vert de Rage" (France 5)³⁷, PFAS gedetecteerd in moedermelkstalen van 13 moeders uit de omgeving. Het onderzoek meldde dat de gemiddelde PFAS-concentratie in moedermelk van vrouwen uit de regio van de industriële site in Lyon twee keer zo hoog was als die van Nederlandse vrouwen en drie keer zo hoog als die van Amerikaanse vrouwen. Er werden echter geen specifieke (individuele) meetwaardes gerapporteerd, noch werd vermeld welke specifieke PFAS-verbindingen verhoogd waren. Deze data moet dus met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Een grotere steekproef, een controlegroep en een analyse van mogelijke beïnvloedende factoren zijn essentieel om robuustere conclusies te trekken.

De gerapporteerde studies tonen aan dat mensen die in de omgeving van (voormalige) PFAS-productiesites wonen, een (sterk) verhoogde concentratie aan PFAS in hun serum hebben. De samenstelling van de gedetecteerde PFAS (fingerprints) en de PFAS-serumniveaus verschillen echter aanzienlijk tussen de verschillende productiesites.

³⁶ PFOS_{tot} = PFOS totaal : som van lineaire en vertakte PFOS-verbindingen

³⁷[VIDEO. Perfluorés : des analyses révèlent un taux anormal de ces "polluants éternels" dans le lait maternel des femmes vivant autour du site industriel Arkema, près de Lyon](#)

Tabel 16: Overzicht HBM-studies verontreinigde gebieden gelinkt aan PFAS-producerende industrie

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Voornaamste blootstellingsroute	Link
3M Zwijndrecht	België	2021	Omwonenden – productiesite straal 3km, M/V, N=796, 12-89 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> PFOS (linear+vertakt): 22,3 (145) / 100% PFOS (linear): 7,03 (87,8) / 100% PFOA (linear+vertakt): 1,39 (3,63) / 99,4% PFOA (linear): 1,33 (3,54) / 99,3% PFHxS (linear+vertakt): 1,53 (1,64) / 99,1% PFHxS (linear): 1,50 (7,57) / 99,0% PFHxS (linear+vertakt): 1,53 (7,73) / 99,1% PFNA: 0,43 (1,16) / 90,0%	Consumptie van lokale voeding (voornamelijk eieren); contact met bodem, stof en grondwater	Bevolkingsonderzoek PFAS Zwijndrecht - Wetenschappelijk rapport - update 240222_vzdk8c.pdf
3M Zwijndrecht jongerenstudie	België	2021-2023	Omwonenden – productiesite straal 5km, M/V, N=301, 12-17 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> PFOS (linear+vertakt): 8,35 (43) / 100% PFOS (linear): 3,25 (30) / 100% PFOA (linear+vertakt): 1,14 (2,1) / 100% PFOA (linear): 1,10 (2,00) / 100% PFHxS (linear+vertakt): 0,61 (2,10) / 100%	Via de lucht, oppervlaktewater, grondwater, vervuilde bodem Voornaamste inname via voeding	Jongerenstudie HBM – omgeving 3M



				PFHxS (linear): 0,58 (2,0) / 100% PFNA: 0,25 (0,53) / 99,0% Overige PFAS zie tabel 11		
Grootschalig bloedonderzoek	België	2023-2024	Omwonenden – productiesite straal 5km, N=8093 deelnemers 12-89 jaar; 475 deelnemers < 12 jaar	serum (ng/mL) <i>voor groep 12-89 jaar:</i> <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> PFOS (linear+vertakt): 5,28 (28,5) / 100% PFOS (linear): 3,52 (23,4) / 100% PFOA (linear+vertakt): 1,53 (3,6) / 100% PFOA (linear): 1,53 (3,6) / 100% PFHxS (linear+vertakt): 1,13 (4,29) / 100% PFHxS (linear): 1,13 (4,29) / 100% PFNA: 0,39 (1,10) / 97%		https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/pfas-bloedonderzoeken-algemeen/groepsresultaten-van-het-bloedonderzoek
Gendorf Chemical Park	Duitsland	2009 en 2015	Omwonenden (site A) – Gendorf Chemical Park (3M/Dyneon), M/V, N ₂₀₀₉ =60 en N ₂₀₁₅ =26, 18-67 jaar	In plasma (ng/mL) <i>Mediaan (P95) / %>LOQ</i> <u>2009 (N=60)</u> PFOS: 6,0 (17,3) / 100% PFOA: 15,6 (170,9) / 100% PFHxS: 0,4 (1,3) / 88,3% PFNA: 0,8 (2,9) / 93,3% PFDA: 0,5 (2,9) / 73,3% PFDoDA: <LOQ (<LOQ) / 5%	Drinkwater	ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany - ScienceDirect



				<u>2015 (N=26)</u> PFOS: 2,4 (13,5) / 100% PFOA: 20,2 (85,8) / 100% PFHxS: 0,4 (0,9) / 76,9% PFNA: 0,5 (3,0) / 61,5% PFDA: <LOQ (3,1) / 30,8% PFDoDA: <LOQ (<LOQ) / 7,7%		
Altötting hotspot	Duitsland	2015-2016	Omwonenden – Gendorf Chemical Park (3M/Dyneon), M/V, N=906, 7-85 jaar	In serum (ng/mL) Mediaan (P95) / %>LOQ PFOA: 20,06 (58,46) / 100% PFOS: 1,78 (6,21) / 98,6% PFHxS: 0,5 (1,3) / 83,2%	Drinkwater, vis uit gecontamineerde rivieren/meren	Bayerisches Landesamt für
Follow-up study Altötting hotspot (na halfwaardetijd)	Duitsland	2022	Follow up – Gendorf Chemical Park (3M/Dyneon), M/V, N=764, 4-87 jaar	In serum (µg/L) Mediaan (P95) / %>LOQ <u>Algemene populatie (12-87 jaar, N=559)</u> PFOS ₂₀₁₈ : 1,95 (7,47) / 98,9% PFOS ₂₀₂₂ : 1,63 (5,20) / 100% PFOA ₂₀₁₈ : 23,18 (66,38) / 100% PFOA ₂₀₂₂ : 10,0 (30,49) / 100% PFHxS ₂₀₁₈ : 0,57 (1,41) / 88% PFHxS ₂₀₂₂ : 0,48 (1,1) / 82,8% <u>Vrouwen van reproductieve leeftijd (15-49 jaar, N=120)</u> PFOS ₂₀₁₈ : 1,24 (5,31) / 98,3% PFOS ₂₀₂₂ : 1,07 (4,33) / 100% PFOA ₂₀₁₈ : 10,76 (37,74) / 100%	Drinkwater	Human biomonitoring follow-up study on PFOA contamination and investigation of possible influencing factors on PFOA exposure in a German population originally exposed to emissions from a fluoropolymer production plant - ScienceDirect



				PFOA ₂₀₂₂ : 4,33 (18,09) / 100% PFHxS ₂₀₁₈ : 0,26 (0,60) / 52,5% PFHxS ₂₀₂₂ : <LOD (0,47) / 36,7% <u>Kinderen (4-11 jaar, N=30)</u> PFOS ₂₀₁₈ : 1,34 (3,52) / 96,7% PFOS ₂₀₂₂ : 0,72 (2,03) / 100% PFOA ₂₀₁₈ : 20,71 (48,84) / 100% PFOA ₂₀₂₂ : 5,5 (14,17) / 100% PFHxS ₂₀₁₈ : 0,37 (0,89) / 80% PFHxS ₂₀₂₂ : <LOD (0,50) / 40%		
Veneto hotspot	Trissino, Italië	2015-2016	Omwonenden – Miteni, M/V, N=257, 20-51 jaar	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (P95) / %>LOQ</i> PFOA: 13,77 (247,94) / 100% PFNA: 0,61 (1,54) / 94,2% PFDA: 0,33 (0,86) / 88% PFHxS: 2,98 (21,2) / 91,1% PFOS: 8,69 (29,42) / 100%	Drinkwater	Biomonitoring of perfluorinated compounds in adults exposed to contaminated drinking water in the Veneto Region, Italy - ScienceDirect
Veneto hotspot	Trissino, Italië	2015-2016	Omwonenden (landbouwers) – Miteni, M/V, N=122, 20-51 jaar	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (P95) / %>LOQ</i> PFOA: 40 (500) / >90% PFNA: 0,56 (1,5) / >90% PFDA: 0,43 (1,3) / >90% PFHxS: 4,5 (49) / >90% PFOS: 12 (46) / >90%	Drinkwater, consumptie lokale voedingsbronnen	Serum concentrations of perfluorinated alkyl substances in farmers living in areas affected by water contamination in the Veneto Region (Northern Italy) - ScienceDirect
Veneto hotspot	Trissino, Italië	2017-2019	Omwonenden – Miteni, M/V,	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (P95) / %>LOQ</i>	Drinkwater	Serum Levels of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Adolescents and Young Adults Exposed to Contaminated



			N=18 345, 14-39 jaar	PFOA: 44,4 (189,7) / 99,9% PFNA: 0,5 (1,0) / 51,3% PFHxS: 3,9 (18,1) / 98,1% PFOS: 3,9 (10,7) / 99,8%		Drinking Water in the Veneto Region, Italy: A Cross-Sectional Study Based on a Health Surveillance Program Environmental Health Perspectives Vol. 128, No. 2
C8 cohort	VS, Parkersburg, West Virginia	2005-2006	Omwonenden – Chemcours/DuPont (Washington Works site), M/V, N=66 899, alle leeftijden	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (SD) / >%LOQ</i> PFHxA: 1,1 (1,3) / 53,2% PFHS: 3,3 (10) / 97,7% PFHpA: 1,0 (1,2) / 37,5% PFOA: 32,9 (240,8) / 99,9% PFOS: 19,2 (15,6) / 99,6% PFNA: 1,4 (0,9) / 97,7% PFDA: 0,4 (0,5) / 46,3%	Drinkwater	The C8 Health Project: Design, Methods, and Participants Environmental Health Perspectives Vol. 117, No. 12
GenX Exposure Study (private well users)	VS, North Carolina	2019	Omwonenden Chemours/DuPont (Fayetteville Works site) – M/V, N=153, 9-85 jaar (84 private wells)	In serum (ng/L) <i>Mediaan (max) / %>LOQ</i> PFOS: 9,3 (72,3) / 99% PFOA: 2,7 (17,2) / 97% PFHxS: 3,1 (23,5) / 100% PFNA: 0,9 (4,4) / 99% PFDA: 0,51 (4,0) / 92%	Drinkwater uit privé put	Per- and polyfluoroalkyl ether acids in well water and blood serum from private well users residing by a fluorochemical facility near Fayetteville, North Carolina Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology
Little Hocking, Ohio Water Service Area	VS, Ohio, West Virginia	2004-2005	Omwonenden – Chemours/DuPont (Washington Works site), M/V, N=312, alle leeftijden	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (P75) / %>LOQ n.d.</i> PFOA: 329 (537)	Drinkwater, lokaal geteelde groenten	Community Exposure to Perfluorooctanoate: Relationships Between Serum Concentrations and Exposure Sources - PMC



2. PFAS-verwerkende industrie

a. Textielindustrie (inclusief leer, meubels en tapijten)

De beschikbare HBM-studies naar PFAS-vervuiling gelinkt aan de textielindustrie zijn zeer beperkt (Tabel 17) hoewel de textielsector een van de grootste PFAS-gebruikers vormt (Doyle et al., 2024).

De Venetoregio in Italië staat bekend om zijn “industriële clusters” waar meerdere bedrijven die hetzelfde product produceren in het hetzelfde gebied gevestigd zijn. Hoewel de PFAS-verontreiniging vooral gelinkt wordt aan de Mitenifabriek die fluorochemicaliën produceerde (zie voorgaande sectie), kunnen ook honderden kleinere textiel- en leerbedrijven een mogelijke bron van verontreiniging zijn (Goldenman et al., 2019).

Beperkte bloedmetingen (N=15) uitgevoerd door Climaxi tonen zeer sterk verhoogde PFAS-waardes bij een aantal inwoners van Ronse (mediaan 76 ng PFOS + PFOA/mL) woonachtig in de vermoedelijke invloedszone van de textielnijverheid (inclusief tapijtindustrie). Voorgaand werden hier verhoogde PFAS-waarden gemeten in lucht, bodem en water, en dit vooral rond de Molenbeek en de daar gevestigde textielnijverheid (Climaxi, n.d.). De steekproefgrootte in deze en volgende Climaxi-metingen zijn relatief klein, missen een controlegroep en er is geen info over het profiel van de deelnemers (bvb. leeftijd, geslacht, eventuele beroepsblootstelling). Het gebrek aan een referentiegroep maakt het moeilijk om onderbouwde uitspraken te doen over de significantie van de gemeten concentraties in vergelijking met de algemene bevolking. Desondanks geven deze en volgende Climaxi-metingen een indicatie van mogelijke PFAS-verontreinigde gebieden die verder HBM-onderzoek kunnen motiveren.

PFAS wordt niet enkel gebruikt bij het water- en vuilafstotend maken van textiel, maar ook van leer en schoenen. In 2017 ontdekte men PFAS-vervuiling (vooral PFOA en PFOS) van grondwater in de regio's van Belmont en Rockfort, Michigan, Verenigde Staten. De vermoedelijke PFAS-verontreinigingsbron is een historische stortplaats dat afval van een voormalige leerlooierij bevat en wordt verder in de tekst besproken (*sectie 4.2 Stortplaatsen*).

In China werd een HBM-studie uitgevoerd bij inwoners van Wenzhou City, ook wel de ‘Footwear Capital’ van China genaamd, hier werden PFOS en PFOA gemeten in serumstalen van (i) werknemers van een leerfabriek (N=50; mediaan (max): 15,23 (31,66) ng PFOS/mL en 3,49 (117,77) ng PFOA/mL), (ii) onvruchtbare mannelijke inwoners (N=15; 10,81 (32,04) ng PFOS/mL en 2,6 (7,59) ng PFOA/mL) alsook in (iii) navelstrengbloedstalen (N=55; 4,88 (63,06) ng PFOS/mL en 5,35 (18,13) ng PFOA/mL) (W. Zhang et al., 2011). Er werd geen vergelijking gemaakt met een controlegroep.

Tabel 17: overzicht HBM-studies rond verontreinigde gebieden gelinkt aan PFAS-verwerkende industrie; textielindustrie

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Link
Climaxi onderzoek	België	2023	Omwonenden – lozingen textielindustrie, Ronse (N=15)	In serum (ng/mL) <i>Mediaan</i> PFOA+PFOS: 76	Minister Demir en het Departement Zorg Vlaanderen negeren het PFAS-bloedonderzoek Climaxi
Wenzhou ('Footwear Capital')	China	2008-2009	Omwonenden – schoen- en leer- gerelateerde industrie, N=50 werknemers (19-47	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (max) / %>LOQ</i> <u>Workers (N=50)</u>	Perfluorinated chemicals in blood of residents in Wenzhou, China - ScienceDirect

			jaar), navelstreng bloedstalen (moeders jaar) en onvruchtbare mannen (24-42 jaar)	N=55 20-37 jaar N=15	PFOS: 15,23 (31,66) / 98% PFOA: 3,49 (117,77) / 96% PFHxS: 0,43 (1,41) / 54% <u>Navelstrengbloed (N=55)</u> PFOS: 4,88 (63,06) / 98,2% PFOA: 5,35 (18,13) / 94,5% PFHxS: 0,03 (12,24) / 58,2% <u>Infertile men (N=15)</u> PFOS: 10,81 (32,04) / 100% PFOA: 2,6 (7,59) / 86,7% PFHxS: 0,03 (1,02) / 46,7%	
--	--	--	---	-----------------------------------	--	--

b. Papier- en kartonindustrie

We vinden momenteel geen HBM-data in PFAS-verontreinigde gebieden bij de algemene bevolking terug gelinkt aan de papier- en kartonindustrie alhoewel het als de voornaamste bron van PFAS-vervuiling in bodemwater van een Noors meer (Tyrifjorden) wordt gedefinieerd (Langberg et al., 2021), en ook in de Vlaamse milieudata (zie ander onderdeel van deze studie) blijkt er PFAS-milieuverontreiniging aanwezig te zijn in de buurt van papier- en kartonindustrie.

3. Brandweeractiviteiten: brandweeroefenterreinen en brandincidenten

PFAS-houdende blusschuimen van klasse B (bijv. AFFF) worden sinds de jaren '70 ingezet bij het blussen van branden op locaties waar grote hoeveelheden brandbare vloeibare koolwaterstoffen aanwezig zijn (bijv. luchthavens, raffinaderijen, opslagfaciliteiten voor bulkchemicaliën, etc.). Deze brandblusschuimen worden ook gebruikt tijdens brandblustrainingen op dergelijke locaties en op brandweeroefenterreinen, en kan vrijkomen bij het testen en het gebruik van automatische blusinstallaties (sprinklers).

Er is een grote spreiding in HBM-waardes tussen de verschillende studies uitgevoerd rondom gebieden verontreinigd door brandweeractiviteiten. Dit is niet verwonderlijk vermits PFAS-blootstelling afhangt van factoren zoals de nabijheid van de verontreinigingsbron en de mate en duur van gebruik van brandblusschuimen, en de blootstellingsroutes en duur van blootstelling. PFAS-verontreiniging van het milieu door brandblusschuimen kan immers op verschillende manieren plaatsvinden, afhankelijk van de lokale omstandigheden en de complexe interacties binnen ecosystemen. Bijkomend zijn er verschillende blootstellingsroutes voor PFAS, waaronder consumptie van verontreinigd drinkwater, inademing van stofdeeltjes die PFAS bevatten en inname van verontreinigd voedsel. Deze blootstellingsroutes kunnen variëren naargelang de locatie en de specifieke omstandigheden (geldt ook voor andere sectoren en activiteiten).

a. Militaire oefenplaatsen en luchthavens

Verschiedende HBM-studies in Europese PFAS-verontreinigde gebieden tonen (sterk) verhoogde PFAS-serumwaarden bij omwonenden van militaire oefenplaatsen en luchthavens waar brandblusschuimen veelvuldig gebruikt werden (*Tabel 18*).

In Uppsala, Zweden werd in 2012 PFAS-vervuiling van het drinkwater ontdekt, hier werd de nabijgelegen militaire luchthaven (waar van 1985 tot 2003 AFFFs met PFAS gebruikt werden) als

voornaam vervuiliingsbron beschouwd. Verschillende HBM-campagnes werden uitgevoerd op serumstalen verzameld van (i) moeders en hun eerstgeboren kind in het kader van de POPUP-studie (Persistent Organic Pollutants in Uppsala Primiparas) en (ii) ouderen in het PIVUS-cohort (Prospective Investigation of the Vasculature in Uppsala Seniors).

PFAS-concentraties werden geanalyseerd in bloedstalen verzameld van 297 vrouwen (V, 21-41 jaar) in 1996-1999 en 2008-2011, dus verzameld voor de ontdekking van de PFAS-vervuiling (Gyllenhammar et al., 2015). De gemiddelde **PFOA- en PFOS-serumconcentraties** lagen respectievelijk **43% en 65% lager in 2008-2011 t.o.v. 1996-1999**. Dit terwijl de niveaus van PFNA, PFDA, PFUnDA, PFBS en PFHxS significant verhoogd waren, met de **grootste stijging voor PFHxS (135%)** en de laagste voor PFNA (27%). Voor beide periodes vond men significant verhoogde concentraties van PFBS in het serum van vrouwen die in gebieden woonden die voor $\geq 90\%$ werden voorzien van drinkwater uit PFAS-verontreinigde bronnen t.o.v. niet getroffen gebieden (respectievelijke mediaan (max) 0,019 (0,21) en 0,027 (0,80) ng/mL en PFHxS (1,8 (9,5) en 3,7 (34) ng/mL). Twee andere studies, binnen hetzelfde cohort in 2-tot-4-maanden oude kinderen (N=101, M/V) (Gyllenhammar et al., 2018) en in 4-, 8- en 12-jarigen (respectievelijk N=57, 55 en 119) (Gyllenhammar et al., 2019) toonden een significante bijdrage van pre- en postnatale blootstelling aan de PFAS-serumconcentraties gemeten in deze kinderen. Blootstelling van de moeder aan PFAS via drinkwater vormt hier een belangrijke indirecte prenatale blootstellingsbron en in het latere leven van het kind blijft PFAS-vervuild drinkwater een belangrijke determinant van PFAS-concentraties in het bloed van de kinderen.

Bijkomend werden PFAS-concentraties geanalyseerd in bloedstalen verzameld binnen het PIVUS-cohort (N=579, M/V, 70-80 jaar) in 2001-2004, 2006-2009 en 2011-2014, dus zowel voor als na de ontdekking van de PFAS-verontreiniging (Stubleski et al., 2016). Ook hier lagen de gemiddelde **PFOS-serumconcentraties significant lager (44%) in 2014** (GM (max): 7,8 (65) ng PFOS/mL) in vergelijking met 2001 (13,1 (103) ng PFOS/mL), terwijl de niveaus van **PFHxS significant verhoogd (34%)** waren (2014: 3,9 (77) ng PFHxS/mL; 2001: 2,5 (31) ng PFHxS/mL) vooral in gebieden met een hoog percentage PFAS-vervuild drinkwater.

Ook in Zweden, ontdekte men in 2013 dat 1/3^e van de inwoners van Ronneby jarenlang PFAS-verontreinigd drinkwater hadden verbruikt uit de Bredåkradelta, hetgeen eveneens gelinkt werd aan het gebruik van brandblusschuimen op een nabijgelegen militaire luchthaven. Daaropvolgend werd in 2014 een HBM-studie opgezet bij 3293 inwoners (M/V, 0-92 jaar) (Xu et al., 2021). De serumconcentraties van **PFHxS en PFOS** waren sterk verhoogd (GM (P95): 114 (715) ng PFHxS/mL (**135-voudig**) en 135 (718) ng PFOS/mL (**35-voudig**)) en deze van **PFOA** verhoogd (GM (P95): 6,8 (37) ng PFOA/mL (**4,5-voudig**)) t.o.v. de controlegroep (N=219, M/V, 5-59 jaar); 0,84 (3,5) ng PFHxS/mL; 3,9 (11) ng PFOS/mL; 1,5 (3,4) ng PFOA/mL).

In deze regio werd eveneens een pilootstudie bij schoolkinderen uitgevoerd, waarbij een vergelijking werd gemaakt tussen degene die het verontreinigde water al dan niet hadden gedronken. De blootgestelde kinderen bleken 20-tot-50 keer hogere serumniveaus van verschillende PFAS-stoffen te hebben, namelijk PFOS, PFOA en PFHxS (Jakobsson et al., 2014).

Een recente HBM-studie in Zuid-Duitsland analyseerde bloedstalen van het Bavarian Red Cross Blood Donation Service voor de aanwezigheid van PFAS (Hron et al., 2024). Er werden stalen verzameld vanuit drie regio's in Zuid-Duitsland met gekende PFAS-verontreiniging (te wijten aan het vroegere gebruik van brandblusschuimen op lokale militaire luchthavens) en drie gepaarde controlegebieden. Voor de drie paren werd de hoogste concentratie gevonden voor **PFOS** (mediaan (P95) regio A: 1,3 (4,0) ng/mL, regio B: 1,5 (11,2) ng/mL en regio C: 1,4 (3,6) ng/mL), gevolgd door **PFOA** (regio A: 0,8 (1,6) ng/mL, regio B: 0,9 (2,1) ng/mL en regio C: 0,9 (1,6) ng/mL) en **PFHxS** (regio A: 0,5 (1,4) ng/mL,

regio B: 0,5 (1,4) ng/mL en regio C: 1,3 (4,1) ng/mL). Er waren slechts kleine, niet-significante verschillen in bloedwaarden tussen de studie- en controle-regio's en de waarden lagen onder de vastgestelde gezondheidsgrenzen (HBM-waarden van 2 en 5 ng/mL voor respectievelijk PFOA en PFOS).

Voor deze sector zijn de resultaten zeer sterk uiteenlopend: in Ronneby werden de hoogste PFAS-niveaus gemeten, met serumconcentraties van PFHxS en PFOS die respectievelijk 135 en 35 keer hoger waren dan de controlegroep. Daar waar een recente studie in Zuid-Duitsland geen significante verhogingen van PFAS-waarden vindt. Zoals hierboven aangehaald kan de nabijheid van de verontreinigingsbron en de mate en duur van gebruik van brandblusschuimen, alsook de blootstellingsroutes en duur van blootstelling deze grote spreiding in HBM-waarden verklaren.

Tabel 18: Overzicht HBM-studies rond verontreinigde gebieden gelinkt aan brandweeractiviteiten; militaire oefenplaatsen en luchthavens

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Voornaamste blootstellingsroute	Link
Ronneby biomarker cohort	Zweden	2014-2015	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=3293, 0-92 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> PFOS: 135 (718) / 100% PFOA: 6,8 (37) / 100% PFHxS: 114 (715) / 100% Som 3 PFAS: 262 (1465) / 100% <u>Subset (N=901)</u> PFHpA: 0,11 (0,8) / 56% PFNA: 0,67 (1,8) / 99,7% PFDA: 0,24 (0,8) / 89%	Drinkwaternet waarop 1/3e van de populatie van Ronneby is aangesloten	Serum perfluoroalkyl substances in residents following long-term drinking water contamination from firefighting foam in Ronneby, Sweden - ScienceDirect
POPUP cohort (Persistent Organic Pollutants in Uppsala Primiparas)	Zweden	1996-1999 en 2008-2011	Omwonenden – brandblusschuim, V, N=297, 21-41 jaar	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (P95) / %>LOQ</i> <u>1996-1999</u> PFOA: 2,6 (6,7) / 100% PFNA: 0,37 (1,4) / 100% PFDA: 0,19 (0,72) / 95% PFHxS: 1,8 (9,5) / 100% PFOS: 18 (46) / 100% <u>2008-2011</u> PFOA: 1,5 (13) / 100% PFNA: 0,46 (2,2) / 100% PFDA: 0,26 (1,1) / 98% PFHxS: 3,7 (34) / 100%	Drinkwater	Influence of contaminated drinking water on perfluoroalkyl acid levels in human serum – A case study from Uppsala, Sweden - ScienceDirect



				PFOS: 6,6 (20) / 100%		
POPUP cohort (Persistent Organic Pollutants in Uppsala Primiparas)	Zweden	1996-1999	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=101 moeder 22-41 jaar, N=107 kind 11-18 weken	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (max) / %>LOQ</i> <u>Kind</u> PFOA: 7,2 (20) / 100% PFNA: 0,34 (1,5) / 100% PFDA: 0,11 (0,47) / 86% PFHxS: 2,0 (21) / 100% PFOS: 13 (44) / 100% <u>Moeder</u> PFOA: 2,7 (6,7) / 100% PFNA: 0,37 (1,4) / 100% PFDA: 0,17 (0,72) / 94% PFHxS: 1,8 (9,5) / 100% PFOS: 18 (61) / 100%	Drinkwater	Perfluoroalkyl Acids (PFAAs) in Serum from 2–4-Month-Old Infants: Influence of Maternal Serum Concentration, Gestational Age, Breast-Feeding, and Contaminated Drinking Water Environmental Science & Technology
POPUP cohort (Persistent Organic Pollutants in Uppsala Primiparas)	Zweden	1996-1999 en 2000-2011	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=57 4 jaar (3,3-5,1 jaar), N=55 8 jaar (7,3-9,6 jaar), N=119 12 jaar (11,1-13,2 jaar)	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (max) / %>LOQ</i> <u>4-jarige kinderen (N=57)</u> PFOA: 2,5 (8,3) / 100% PFNA: 0,67 (5,5) / 100% PFDA: 0,25 (0,54) / 98% PFBS: 0,02 (0,11) / 65% PFHxS: 5,0 (37) / 100% PFOS: 3,8 (11) / 100% <u>8-jarige kinderen (N=55)</u> PFOA: 2,0 (4,0) / 98%	Drinkwater	Perfluoroalkyl Acids (PFAAs) in Children's Serum and Contribution from PFAA-Contaminated Drinking Water Environmental Science & Technology



				PFNA: 0,69 (2,1) / 100% PFDA: 0,29 (0,67) / 96% PFBS: <LOQ (0,09) / 44% PFHxS: 1,6 (30) / 100% PFOS: 4,9 (23) / 100% <u>12-jarige kinderen (N=119)</u> PFOA: 2,0 (4,0) / 100% PFNA: 0,59 (3,9) / 99% PFDA: 0,23 (0,52) / 99% PFBS: 0,02 (0,23) / 60% PFHxS: 1,6 (26) / 100% PFOS: 5,3 (14) / 100%		
PIVUS cohort (Prospective Investigation of the Vasculature in Uppsala Seniors)	Zweden	2001-2004, 2006-2009 en 2011-2014	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=579, 70-80 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (max)</i> <u>2001-2004</u> PFHxS: 2,5 (31) PFOS: 13,1 (103) PFOA: 3,4 (14) PFNA: 0,72 (4,8) PFDA: 0,32 (1,3) <u>2006-2009</u> PFHxS: 4,0 (54) PFOS: 12,9 (181) PFOA: 3,9 (20) PFNA: 1,1 (5,9) PFDA: 0,46 (3,9)	Drinkwater	Changes in serum levels of perfluoroalkyl substances during a 10-year follow-up period in a large population-based cohort



				<u>2011-2014</u> PFHxS: 3,9 (77) PFOS: 7,8 (65) PFOA: 2,5 (15) PFNA: 0,89 (6,9) PFDA: 0,34 (2,0)		
Red Cross Blood Donation Service Bavaria	Duitsland	2020-2021	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=969, 18->60 jaar	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (P95) / %>LOQ</i> <u>Studie regio A</u> PFOS: 1,3 (4,0) / 100% PFOA: 0,8 (1,6) / 99,4% PFHxS: 0,5 (1,4) / 93,1% PFNA: 0,3 (0,5) / 51,9 % <u>Studie regio B</u> PFOS: 1,5 (11,2) / 96,9% PFOA: 0,9 (2,1) / 96,9% PFHxS: 0,5 (1,4) / 78,1% PFNA: 0,3 (0,6) / 56,3 % <u>Studie regio C</u> PFOS: 1,4 (3,6) / 100% PFOA: 0,9 (1,6) / 99,4% PFHxS: 1,3 (4,1) / 97,0% PFNA: 0,3 (0,8) / 72,2 %	Drinkwater	Monitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human blood samples collected in three regions with known PFAS releases in the environment and three control regions in South Germany Archives of Toxicology
Pease Air Force Base in New Hampshire	VS, New Hampshire	2015	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=1578, alle leeftijden	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> PFOS: 8,59 (27,40) / 99,8%	Drinkwater	Per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS) exposure assessment in a community exposed to contaminated drinking water, New Hampshire, 2015 - ScienceDirect



				PFOA: 3,02 (8,65) / 99,2% PFHxS: 4,12 (20,0) / 94,2% PFNA: 0,73 (1,96) / 85,2%		
Air Force Base in Colorado (PFAS-AWARE study)	VS, Colorado	2018	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=213, 19-93 jaar	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (P90) / %>LOQ</i> PFHxS: 14,8 (49,7) / 99,5% PFOS: 9,7 (28,1) / 99,5% PFOA: 3,0 (7,4) / 99,5% PFNA: 0,4 (0,8) / 99,5% PFHpS: 0,2 (0,6) / 82,6%	Drinkwater	Sociodemographic and behavioral determinants of serum concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances in a community highly exposed to aqueous film-forming foam contaminants in drinking water
Montgomery hotspot, Pennsylvania	VS, Pennsylvania	2018	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=235, 3->65 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde / %>LOQ</i> PFOS: 3,13 / 100% PFOA: 10,24 / 98,7% PFHxS: 6,64 / 99,1% PFNA: 0,74 / 78,7%	Drinkwater	Demographic and exposure characteristics as predictors of serum per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) levels – A community-level biomonitoring project in Pennsylvania - ScienceDirect
ATSDR – house dust	VS	2019-2020	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=202, ≥3 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (max) / %>LOQ</i> PFHxS: 11,1 (395) / 100% PFOA: 2,7 (54,8) / 100% PFOS: 10,1 (408) / 100% PFNA: 0,4 (7,9) / 95,5%	Stof binnenshuis	Linking exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in house dust and biomonitoring data in eight impacted communities - ScienceDirect



b. Civiele luchthavens

Rondom civiele luchthavens zijn er enkele PFAS-verontreinigde gebieden gekend zoals de Jersey Airport Case³⁸ in de Kanaaleilanden en het incident met blusschuim in 2008 op Schiphol³⁹, maar hier werd nog geen HBM-onderzoek gevoerd.

Bij een beperkt aantal inwoners rondom de luchthaven van Oostende (Raversijde) werden bloedmetingen (N=39) uitgevoerd door Climaxi dewelke PFAS-waardes tonen (mediaan 8,8 ng PFOS + PFOA)/mL die rond de Europese EFSA-norm van 6,9 PFAS/mL bloed liggen (Tabel 19) (Climaxi, n.d.).

Tabel 19: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan brandweeractiviteiten; civiele luchthaven

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Link
Climaxi onderzoek	België	2023	Omwonenden – luchthaven Oostende (Raversijde, N=39)	In serum (ng/mL) <i>Mediaan</i> <i>Raversijde</i> PFOA+PFOS: 8,8	Minister Demir en het Departement Zorg Vlaanderen negeren het PFAS-bloedonderzoek Climaxi

c. Brandweer en industriële oefenplaatsen

In 2020 werden in de Deense stad Korsør verhoogde PFOS- en PFHxS-concentraties gemeten in de omgeving rondom een zuiveringsinstallatie hetgeen later gelinkt werd aan de nabijgelegen brandweerschool en hun gebruik van PFOS-houdend blusschuim (Larsen, n.d.). Uitgebreide milieumetingen op grond-, gras-, groente-, vlees-, vis- en watermonsters in en rond Korsør toonden een verhoogde aanwezigheid van PFOS, voornamelijk in het vlees van grazende kalveren. In een daaropvolgende HBM-studie, bij leden van de lokale “Korsør kogræsser og naturplejeforening” (cow grazer’s association) (N=187, M/V, 18-70 jaar), werden PFAS-concentraties in bloed gemeten. Respectievelijk 63% en 64% van de deelnemers had **verhoogde PFOS-** (GM (max): 43 (553) ng/mL) en **PFHxS-niveaus** (3,1 (38) ng/mL)⁴⁰ in vergelijking met een Deense referentiepopulatie (Tabel 20).

³⁸ [Jersey 'forever chemicals' contaminated private water supply](#)

³⁹ [Nog altijd te veel pfos in water bij Schiphol na incident met schuimblusmiddel in 2008 | Het Parool](#)

⁴⁰ PFAS-serumwaarden, zie presentatie PFAS hotspots workshop HBM-4EU: [Setting up a network of experts for developing a guidance document on how to deal with human biomonitoring in PFAS hotspots](#)

Tabel 20: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan brandweeractiviteiten; brandweer en industriële oefenplaatsen

HBM-studie	Land	Jaar staal- name	Studie- populatie	PFAS-waarden	Voornaamste blootstellings- route	Link
Korsør cow grazer associatie	Zweden	2020	Omwonenden – brandblusschuim, M/V, N=187, 18-70 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geom. gem. (max)</i> PFOS: 43 (553) PFHxS: 3,1 (38) PFOA: 1,0 (4,9) PFNA: 0,5 (2,4) PFDA: 0,2 (1,2)	Eten van besmet vlees (grazende kalveren)	http://www.slagelse.dk/PFOSkorsor Setting up a network of experts for developing a guidance document on how to deal with human biomonitoring in PFAS hotspots

d. Andere

Bijkomende risicolocaties voor mogelijke bodemverontreiniging door brandweeractiviteiten omvatten o.a. locaties waar branden werden geblust (waaronder industriële sites) en waar brandweerwagens worden gewassen. Maar voor deze activiteiten zijn momenteel geen HBM-gegevens bij omwonenden beschikbaar.

4. Afvalverwerking

Het gebruik van PFAS en PFAS-houdende producten impliceert ook dat PFAS aanwezig kunnen zijn in een aantal afvalstromen. Zo wordt de aanwezigheid van PFAS verwacht in het afval van o.a. de textiel-, leer- en tapijtindustrie, papier en kartonindustrie, afvalwater en slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Hierdoor is PFAS-verontreiniging mogelijk op plaatsen waar afval wordt verzameld, verwerkt of gerecycleerd. Aangezien er vooral veel PFAS aanwezig zijn in textiel en papier kunnen locaties waar deze gerecycleerd, gestort of verbrand worden potentiële bronlocaties zijn. De kans op bodem- en grondwaterverontreiniging hangt sterk af van het type afval, de hoeveelheid en de omstandigheden op de site.

a. Afvalverbrandingsinstallaties

We vinden momenteel geen grootschalige HBM-studies terug bij de algemene bevolking in PFAS-verontreinigde gebieden gelinkt aan afvalverbrandingsinstallaties.

In 2024 vertoonden milieumetingen in grondwater en landbouwgrond sterk verhoogde PFAS-waarden in Stabroek. Daaropvolgend werd door Climaxi een beperkt aantal bloedmetingen (N=14) uitgevoerd bij inwoners van Stabroek, dewelke PFAS-waarden (mediaan 7,1 ng PFOS + PFOA)/mL tonen die rond de Europese EFSA-norm van 6,9 ng PFAS/mL bloed liggen (Climaxi, n.d.). Vanwaar de vervuiling juist komt is niet helemaal duidelijk. De verbrandingsoven van Indaver in Stabroek is een mogelijke bron, maar ook mogelijks andere PFAS bronnen kunnen niet uitgesloten worden.

Tabel 21: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan afvalverwerking; afvalverbrandingsinstallaties

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Link
Climaxi onderzoek	België	2023	Omwonenden afvalverwerking, Stabroek (N=14); –	In serum (ng/mL) <i>Mediaan</i> PFOA+PFOS: 7,1	Minister Demir en het Departement Zorg Vlaanderen negeren het PFAS-bloedonderzoek Climaxi

b. Stortplaatsen

In Michigan loopt momenteel de longitudinale Michigan PFAS Exposure and Health Study (MiPEHS), waarvan de derde en laatste fase in 2025 start. Deze studie onderzoekt de PFAS-blootstelling van inwoners via drinkwater in de studiegebieden Belmont/Rockford en Parchment/Cooper Township (MDHHS, 2023). In deze twee studiegebieden worden de (historische) stortplaats van respectievelijk een leerlooierij en papierfabriek als voornaamste PFAS-verontreinigingsbronnen beschouwd. De voorlopige resultaten van de eerste fase van het onderzoek (2020-2021) tonen hogere PFAS-serumwaarden (PFOA, PFOS, PFHxS en PFHpS) bij inwoners van Parchment⁴¹ (N=273, M/V, alle leeftijden) dan in de andere studieregio's (Belmont/Rockford (N=505, M/V, alle leeftijden) en Cooper Township (N=154, M/V, alle leeftijden)). Zo was de GM (P95) **PFOA-serumconcentratie** 1,45 (13,93) en 2,03 (11,52) ng/mL bij inwoners met privéputten in respectievelijk het Belmont/Rockford- en het Cooper Township-studiegebied, vergeleken met 17,64 (101,78) ng/mL bij inwoners van Parchment (10-voudig).

De PFOA- en PFOS-serumwaarden bij de MiPEHS-deelnemers (alle regio's samen en >12jaar, N=932, M/V; 3,19 (65,76) ng PFOA/mL en 9,11 (88,62) ng PFOS/mL) lag meer dan twee keer zo hoog in vergelijking met de algemene Amerikaanse bevolking (NHANES; 1,42 ng PFOA/mL en 4,25 ng PFOS/mL). Voor PFHxS waren de serumconcentraties in MiPEHS-deelnemers eveneens verhoogd (1,46 (14,15) ng/mL) in vergelijking met de referentiepopulatie (1,08 ng/mL). Voor andere PFAS waren de gemeten concentraties slechts licht verschillend van de algemene Amerikaanse bevolking. De resultaten suggereren dat de PFAS-serumconcentraties verschillen tussen de verschillende studiegebieden, elk met hun eigen specifieke milieuverontreiniging. Zo lagen de gemiddelde waarden van het Parchment-studiegebied voor sommige PFAS hoger dan andere studiegebieden. Dit is mogelijks deels te verklaren door de homogene blootstelling door het drinken uit éénzelfde gemeentelijke waterbron daar waar privéputten vaak variërende verontreinigingsniveaus kennen.

Beperkte bloedmetingen werden door Climaxi uitgevoerd rondom een stortplaats in Kortemark (opslag PFAS-houdend afval en PFAS-vervuilde gronden) (N=20, mediaan 10 ng PFOS+PFOA/mL) en een oude stortplaats in Kruisem-Waregem (in jaren 80 voor huishoudelijk, bouw- en industrieel afval) (N=43, mediaan 17 ng PFOS+PFOA/mL) (Climaxi, n.d.). Zoals eerder aangehaald, ontbreken vergelijkbare metingen in een controlegroep. Desondanks wijzen de resultaten (vooral in Kruisem-Waregem) op een verhoging van de gemeten PFAS-concentraties. Verder onderzoek kan een mogelijkheid zijn om deze resultaten (alsook voorgaande Climaxi-bevindingen) al dan niet te bevestigen.

⁴¹ Ook wel "The Paper City" genoemd naar de oude papierfabriek die er ooit stond.

Tabel 22: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan afvalverwerking; stortplaatsen

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Voornaamste blootstellings-route	Link
Climaxi onderzoek	België	2023	Omwonenden – stortplaats, Kortemark (N=20), Kruisem-Waregem (N=43)	In serum (ng/mL) <i>Mediaan</i> <u>Kortemark</u> PFOA+PFOS: 10 <u>Kruisem-Waregem</u> PFOA+PFOS: 17	n.d.	Minister Demir en het Departement Zorg Vlaanderen negeren het PFAS-bloedonderzoek Climaxi
MiPEHS (Belmont/Rockford) – fase 1	Michigan, VS	2020-2021	Omwonenden – stortplaats leerlooierij (Belmont/Rockford), M/V, N=505, alle leeftijden	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> PFHpS: 0,22 (3,88) / 92,7% PFNA: 0,34 (1,15) / 98,6% PFHxS: 1,20 (22,57) / 99% PFOA: 1,45 (13,93) / 99,8% PFOS: 6,12 (37,98) / 100%	Drinkwater	MiPEHS Technical Appendix to Phase 1 Summary Report
MiPHES (Parchment/Cooper Township) – fase 1	Michigan, VS	2020-2021	Omwonenden – stortplaats afval papierfabriek, M/V, N=273 (City of Parchment), N=154 (Cooper Township), alle leeftijden	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> <u>City of Parchment (N=273)</u> PFHpS: 0,95 (4,87) / 98,2% PFNA: 0,39 (1,31) / 99,3% PFHxS: 2,36 (11,81) / 99,6% PFOA: 17,64 (101,78) / 100% PFOS: 23,52 (101,1) / 100% <u>Cooper Township (N=154)</u> PFHpS: 0,22 (0,74) / 94,2%	Drinkwater	MiPEHS Technical Appendix to Phase 1 Summary Report



				PFNA: 0,29 (1,05) / 98,1% PFHxS: 1,37 (7,34) / 98,7% PFOA: 2,03 (11,52) / 100% PFOS: 6,26 (17,21) / 100%		
--	--	--	--	---	--	--



c. Metaalversnipperaars (shredders)

We vonden één Waalse HBM-studie terug met betrekking tot de afvalverwerking van metalen (Tabel 23). Deze studie meet PFAS in het bloed van jongeren (N=121, M/V, 12-19 jaar) die in de buurt van een shredder (metaalversnipperij) wonen (BIOBRO-project (BIOBRO, 2024)). Deze studie toont significant verhoogde **(1,5-voudige) PFOS-serumwaarden** bij tieners die in de buurt van een shredder wonen (GM (P95) 2,71 (10,7) ng/mL) t.o.v. andere Waalse tieners (1,75 (6,8) ng/mL). Voor PFOA en PFNA werden vergelijkbare serumconcentraties in beide groepen gevonden. Voorlopig is dit de enige HBM-studie uitgevoerd rondom shredders, alhoewel autoshredderresidu als potentieel PFAS-houdend industrieel afval geïdentificeerd werd (Bulson et al., 2023).

Tabel 23: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan PFAS-verwerkende industrie; metaalindustrie

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Link
BIOBRO	België	2022	Omwonenden – shredder, M/V, N=116, 12-19 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> PFOA: 1,14 (1,82) / 100% PFNA: 0,27 (0,62) / 93,1% PFDA: 0,11 (0,33) / 58,6% PFHxS: 0,51 (1,13) / 99,1% PFOS: 2,71 (10,7) / 100%	BIOBRO-rapport_20240419.pdf

d. Rioolwaterzuiveringsinstallaties

Verschillende omgevingsstudies tonen de aanwezigheid van PFAS in het afvalwater van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) en dit zowel in (voormalige) PFAS-verontreinigde gebieden als rwzi's met industrieel en/of huishoudelijk afvalwater (Lenka et al., 2021). Zo toonde een Nederlandse meetcampagne naar PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib van acht rwzi's dat PFAS niet effectief verwijderd worden door biologische zuivering (STOWA, 2021). De studie toont dat PFAS, inclusief afbreekbare precursors, in rwzi's worden omgezet in stabiele PFAS, hetgeen leidt tot hogere concentraties PFAS in het effluent. Eveneens werden in 2020 in de Deense stad Korsør verhoogde PFOS-concentraties gemeten in de omgeving rondom een zuiveringsinstallatie gelinkt aan het gebruik van PFOS-houdend blusschuim op een nabijgelegen brandweerschool.

Ondanks deze milieumetingen vonden we geen HBM-gegevens terug bij omwonenden van rwzi's. Specifieke blootstellingsroutes en PFAS-bronnen zijn dan ook moeilijker te bepalen via meetcampagnes rond rwzi's omdat de PFAS-vervuiling afkomstig kan zijn van een mix van huishoudelijk en industrieel afval.

e. Recycling

We vonden één Chinese HBM-studie bij ouderen (N=221, M/V, ≥60 jaar) die in de buurt van e-waste demontageplaatsen wonen (T. Zhang et al., 2019). Deze studie toont significant **verhoogde PFOS-waarden** bij ouderen die in de buurt van de demontageplaatsen wonen (N=171, GM (max): 18 (203) ng/mL) t.o.v. ouderen in een referentiegebied (N=50, GM (max): 10 (73) ng/mL) (Tabel 24). Voor PFHxA, PFHxS, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA en PFTrDA werden eveneens significant hogere PFAS-

serumwaarden gedetecteerd in ouderen nabij de demontageplaatsen in vergelijking met deze in referentiegebieden. Het is echter onduidelijk in hoeverre deze resultaten veralgemeenbaar zijn naar de Vlaamse, of de Europese, context omdat er aanzienlijke verschillen kunnen bestaan in de regulering van e-waste, de gebruikte materialen, omstandigheden van de demontageactiviteiten (deze zijn immers relevant m.b.t. verspreiding naar de leefomgeving) en leefomstandigheden.

Tabel 24: Overzicht HBM-studie rond PFAS-vervuilde gebieden gelinkt aan afvalverwerking; recycling

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Link
E-waste demontage	China	2015	Omwonenden – e-waste demontageplaats, M/V, N=171, ≥60 jaar	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (max) / %>LOQ</i> PFHxA: 0,6 (3,5) / 98% PFHpA: 0,02 (1,2) / 54% PFOA: 3,4 (49) / 100% PFNA: 1,4 (4,2) / 100% PFDA: 1,5 (7) / 100% PFUnDA: 0,8 (5,6) / 99% PFDoDA: 0,1 (0,8) / 92% PFTTrDA: 0,1 (0,8) / 98% PFTeDA: 0,04 (0,2) / 77% PFHxS: 0,9 (13) / 98% PFOS: 18 (203) / 100%	Health Status of Elderly People Living Near E-Waste Recycling Sites: Association of E-Waste Dismantling Activities with Legacy Perfluoroalkyl Substances (PFASs) Environmental Science & Technology Letters

5. Andere activiteiten/sectoren en verontreinigingsbronnen

We vonden geen HBM-gegevens bij omwonenden van andere PFAS-verwerkende industrieën zoals de lak-, inkt- en verfindustrie, fabricage van bedekkingsmiddelen (coatings), fabricage van cosmetica, fabricage van reinigings- en onderhoudsmiddelen, fabricage van hydraulische vloeistoffen en smeermiddelen.

Eveneens werden er geen HBM-studies gevonden rondom PFAS-verontreinigde gebieden gelinkt aan volgende activiteiten/sectoren dewelke gebruik maken van PFAS-houdende producten: elektronische industrie en halfgeleiderindustrie, wasserijen en droogkuisen, transportmiddelenfabrieken (wax, elektronica, textiel, ... in voertuigen), grote scheepswerven (antifoulingmiddel en coatings, AFFF), foto-industrie en drukkerijen en bouwmaterialen (waterdichte coatings, verven en lijmstoffen).

Enkele HBM-studies zijn beschikbaar rondom kust- en zeegebieden en landbouwgebieden mogelijks verontreinigd met PFAS respectievelijk door industriële lozingen, afvoer vanuit het binnenland en accumulatie in het mariene milieu en door het gebruik van PFAS-bevattend slib, bestrijdingsmiddelen of bodemverbeteraars (Tabel 25).

a. Kust- en zeegebied

Verscheidene studies hebben reeds de aanwezigheid van PFAS in verscheidene vissoorten, schaal- en schelpdieren in de Noordzee of verbindingen ervan (bijv. Westerschelde) aangetoond (grotendeels binnen de EU-grenswaarden). Deze vervuiling is grotendeels het gevolg van lozingen via afvalwater

van bedrijven (Bulder, 2024; Departement Omgeving, 2024). Daarnaast zijn PFAS ook aangetroffen in zeeschuim (Larsen, n.d.; Voorpoels et al., 2023), hetgeen leidde tot een Deense meetcampagne in surfers omwille van bezorgdheid voor blootstelling aan PFAS-houdend zeeschuim. De PFAS-serumwaarden (o.a. PFOA en PFOS) werden bepaald in een aantal surfers (N=34) in Jutland (Korsør hotspot), en er bleek geen verhoging van PFAS-waarden in het bloed t.o.v. de referentiepopulatie maar de specifieke PFAS-waarden werden niet gerapporteerd (Kolding, 2023).

In 2024 startte het RIVM in Nederland een verkennende bevraging om de onderzoeksbehoeften van omwonenden en werknemers van Chemours, evenals omwonenden van de Westerschelde, in relatie tot PFAS in kaart te brengen ter onderbouwing van eventueel vervolgonderzoek (zoals een HBM-meetcampagne) (Elberse et al., 2024). Zoals verwacht wordt de PFAS-productiesite van Chemours beschouwd als een duidelijke PFAS-bron, maar ook de omwonenden van de Westerschelde maken zich zorgen om de gevolgen van de PFAS-vervuiling in de Westerschelde en de omgeving. Binnen het lopende (tot 2026) RIVM PFAS-onderzoeksprogramma worden eerder verzamelde bloedmonsters uit de Pienter-3 studie⁴² geanalyseerd op aanwezigheid van PFAS, met mogelijke aanvullingen van recente bloedmonsters van Sanquin en moedermelkmonsters van de COVID Milk/Power Milk-studie, om een eerste beeld te krijgen van de gemiddelde hoeveelheid PFAS in het lichaam van mensen in de regio's rondom Chemours en de Westerschelde (Bulder, 2024). De resultaten zijn er nog niet, maar zullen naar verwachting aangeven of mensen in deze regio's gemiddeld hogere PFAS-bloedwaarden hebben dan elders in Nederland. Indien dit het geval is, wordt vervolgonderzoek, zoals een HBM-meetcampagne, geadviseerd.

b. Landbouw

Sommige gewasbeschermingsmiddelen en biociden bevatten PFAS en kunnen een mogelijke bron van PFAS-vervuiling vormen. Bijkomend worden of werden in het verleden verschillende afvalstromen, zoals slib uit de papier-, voedingsindustrie of waterzuivering, gebruikt als bodemverbeteraar hetgeen heeft geleid tot aanzienlijke PFAS-verontreiniging in sommige gebieden. In Noord Rijn-Westfalen, Duitsland zijn twee voorbeelden van dergelijke PFAS-verontreinigde gebieden te vinden.

In 2007 werd de PFAS-verontreiniging van landbouwgronden in de Moehnevallei, en bijgevolg drinkwater in de regio, ontdekt en dit werd gelinkt aan het gebruik van bodemverbeteraar vermengd met industrieel slib (Arnsberg hotspot). In 691 serumstalen van kinderen, moeders en mannen (bewoners uit verontreinigd en achtergrondgebied) werden PFAS bepaald. Zo lagen de **PFOA-serumwaarden 4,5-tot-8,3 keer hoger** bij bewoners van het getroffen gebied (GM (P95) kinderen (N=90, 5-6 jaar): 22,1 (46,3) ng/mL; moeders (N=164, 23-49 jaar): 23,4 (52,4) ng/mL; mannen (N=101, 18-69 jaar): 25,3 (46,6) ng/mL) in vergelijking met de referentiepopulatie (kinderen (N=80): 4,8 (9,1) ng/mL; moeders (N=153): 2,8 (5,9) ng/mL; mannen (N=103): 5,8 (10,9) ng/mL). De PFHxS-concentraties lagen 1,4, 5,3 en 8 keer hoger bij respectievelijk de mannen (2,5 (4,4) ng/mL), kinderen (1,2 (2,1) ng/mL) en moeders (1,1 (2,2) ng/mL) uit het getroffen gebied in vergelijking met het referentiegebied (2,2 (4,3), 0,8 (2,2) en 0,6 (2,1) ng/mL). Voor PFOS lag de serumwaarde enkel bij moeders significant hoger (1,2-voudig) in het getroffen gebied (5,8 (11,5) ng/mL) t.o.v. het referentiegebied (5,2 (1,5) ng/mL). Na 2 jaar toonde een vervolgonderzoek een merkbare daling in herhaalde bloedmetingen bij 20-25 individuen per groep (kinderen, moeders, mannen). Zo daalden de serum-PFOA-concentraties voor kinderen en moeders met 39% tussen 2006 en 2008 en met 26%

⁴² [PIENTER-onderzoek | RIVM](#)

voor mannen. Mogelijks is de daling ook deels te wijten aan een verminderd verbruik van vis uit lokale bronnen.

Volgend op de Arnsberg-hotspot, vond gelijkaardig onderzoek plaats in Baden-Wuerttemberg, in de Rastatt-hotspot. Hier werd op grote schaal PFAS-verontreiniging vastgesteld van landbouwgronden door het gebruik van PFAS-houdend papierslib als compost tussen 2005 en 2008. In deze getroffen regio werd eveneens een HBM-studie opgestart (M/V, 30-60 jaar) die verhoogde **(9-voudige) PFOA-serumwaarden** aantoonde in omwonenden (N=120; mediaan (max) 15,6 (71,2) ng/mL) (t.o.v. referentie (N=83; 1,7 (4,8) ng/mL)) die vooral blootgesteld werden via drinkwater (Zöllner et al., 2019). Voor de overige PFAS werd er geen verschil gemeten.

Door het gebruik van PFAS-houdende producten in de landbouw kan diffuse bodemverontreiniging niet uitgesloten worden.

Tabel 25: Overzicht HBM-studie rond verontreinigde gebieden gelinkt aan gebruik van PFAS-houdend slib

HBM-studie	Land	Jaar staalname	Studiepopulatie	PFAS-waarden	Voornaamste blootstellingsroute	Link
Arnsberg hotspot	Duitsland	2006	Omwonenden – slib als bodemverbeteraar, M/V, N=355, alle leeftijden	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> <u>Kinderen (5-6 jaar, N=90)</u> PFOA: 22,1 (46,3) / 100% PFHxS: 1,2 (2,1) / 100% PFOS: 4,9 (10,5) / 100% <u>Moeders (23-49 jaar, N=164)</u> PFOA: 23,4 (52,4) / 100% PFHxS: 1,1 (2,2) / 100% PFOS: 5,8 (11,5) / 100% <u>Mannen (18-69 jaar, N=101)</u> PFOA: 25,3 (46,6) / 100% PFHxS: 2,5 (4,4) / 100% PFOS: 10,5 (23,4) / 100%	Drinkwater, consumptie van vis uit gecontamineerde rivieren/meren	Biomonitoring of Perfluorinated Compounds in Children and Adults Exposed to Perfluorooctanoate-Contaminated Drinking Water Environmental Health Perspectives Vol. 116, No. 5
Arnsberg hotspot – follow-up na koolstoffiltratie	Duitsland	2008	Omwonenden - slib als bodemverbeteraar, M/V, N=138	In serum (ng/mL) <i>Geometrisch gemiddelde (P95) / %>LOQ</i> <u>Kinderen (7-8 jaar, N=20)</u> PFOA₂₀₀₆: 23,4 (45,7) / 100% PFOA₂₀₀₈: 13,2 (24,0) / 100% PFHxS₂₀₀₆: 1,3 (7,7) / 100% PFHxS₂₀₀₈: 1,0 (7,0) / 100% PFOS₂₀₀₆: 5,1 (15,0) /100% PFOS₂₀₀₈: 4,1 (12,4) /100%	Drinkwater, consumptie van vis uit gecontamineerde rivieren/meren	Two-year follow-up biomonitoring pilot study of residents' and controls' PFC plasma levels after PFOA reduction in public water system in Arnsberg, Germany - ScienceDirect



				<u>Moeders (27-49 jaar, N=22)</u> PFOA ₂₀₀₆ : 23,6 (53,5) / 100% PFOA ₂₀₀₈ : 13,3 (23,0) / 100% PFHxS ₂₀₀₆ : 0,9 (1,5) / 95,5% PFHxS ₂₀₀₈ : 0,8 (1,6) / 100% PFOS ₂₀₀₆ : 5,7 (12,7) / 100% PFOS ₂₀₀₈ : 4,3 (10,5) / 100% <u>Mannen (32-71 jaar, N=23)</u> PFOA ₂₀₀₆ : 30,3 (49,2) / 100% PFOA ₂₀₀₈ : 21,7 (43,9) / 100% PFHxS ₂₀₀₆ : 2,7 (4,0) / 100% PFHxS ₂₀₀₈ : 2,3 (3,3) / 100% PFOS ₂₀₀₆ : 12,7 (30,2) / 100% PFOS ₂₀₀₈ : 9,3 (23,5) / 100%		
Rastatt hotspot	Duitsland	2018	Omwonenden – compost en bodem-verbeterende middelen, M/V, N=120, 30-60 jaar	In serum (ng/mL) <i>Mediaan (max) / %>LOQ</i> PFHpA: 0,3 (10,3) / 75% PFOA: 15,6 (71,2) / 100% PFHxS: 0,8 (3,9) / 100% PFHpS: 0,1 (0,6) / 60% PFOS: 15,6 (71,2) / 100%	Drinkwater	Bericht PFC-Blutkontrolluntersuchung LKRastatt 2018.pdf



Bibliografie

Auvergne-Rhône-Alpes, D. (2023, December 13). *Focus sur la situation au Sud de Lyon*. DREAL Auvergne-Rhône-Alpes. <https://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/focus-sur-la-situation-au-sud-de-lyon-a23562.html?lang=fr>

BIOBRO. (2024). *BIOBRO project: BIOMONITORING SPÉCIFIQUE VISANT À DÉTERMINER LES NIVEAUX D'IMPRÉGNATION DES RIVERAINS DES SITES DES BROYEURS À MÉTAUX EN WALLONIE* (No. RAP-24-00663). https://environnement.sante.wallonie.be/files/document%20pdf/BIOBRO/BIOBRO-rapport_20240419.pdf

Bulder, A. (2024). *PFAS-onderzoeksprogramma RIVM - inventarisatie beschikbare informatie en afbakening onderzoek* (No. RIVM-briefrapport 2024-0104). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0104.pdf>

Bulson, E. E., Remucal, C. K., & Hicks, A. L. (2023). End-of-life circulation of PFAS in metal recycling streams: A sustainability-focused review. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 106978. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106978>

Canova, C., Pitter, G., Batzella, E., Fletcher, T., & Russo, F. (2022). PFAS exposures in Veneto, Italy: The role of biomonitoring in addressing a serious public health threat. *ISEE Conference Abstracts*, 2022(1). <https://doi.org/10.1289/isee.2022.O-SY-016>

Climaxi. (n.d.). *Minister Demir en het Departement Zorg Vlaanderen negeren het PFAS-bloedonderzoek | Climaxi*. Retrieved December 10, 2024, from <https://www.climaxi.be/nieuws/minister-demir-en-het-departement-zorg-vlaanderen-negeren-het-pfas-bloedonderzoek>

Consortium VITO en PIH. (2021). *Bevolkingsonderzoek PFAS bij omwonenden van de 3M site in...* <https://www.vlaanderen.be/publicaties/bevolkingsonderzoek-pfas-bij-omwonenden-van-de-3m-site-in-zwijndrecht-technisch-wetenschappelijk-rapport>

De Brouwere, K., Colles, A., Knudsen, L. E., Den Hond, E., & Uhl, M. (2022). *Setting up a network of experts for developing a guidance document on how to deal with human biomonitoring in PFAS hotspots* (Version 1). Zenodo. <https://c>

Departement Omgeving. (2024, January 31). *Verder onderzoek naar PFAS in noordzeegarnalen na afwijkende staalname*. Vlaanderen.be. <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/verder-onderzoek-naar-pfas-in-noordzeegarnalen-na-afwijkende-staalname>

Doyle, H., Flexman, K., Keyte, I., Reynolds, K., Tyers, J., Serrano Valverde, B., & Whiting, R. (2024). *An assessment on PFAS in textiles in Europe's circular economy* (No. 70110421; EEA Zero Pollution Framework). European Environmental Agency. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/pfas-in-textiles-in-europes-circular-economy/an-assessment-on-pfas-in-textiles-in-europes-circular-economy/@@download/file>

Eerste Kamer der Staten-Generaal. (2017). *PFOA en DMAC in de productie van Teflon en Lycra bij DuPont (1964—2012)*. *Nota van Bevingingen*. https://www.eerstekamer.nl/overig/20170705/pfoa_en_dmac_in_de_productie_van/meta

Elberse, J., Zonneveld, M., von den Benken, M., Bogers, R., Bergstra, A., van de Weigert, V., Bekker, C., de Zwart, F., Houweling, D., Noorda, J., Wijten, J., & Gooijer, L. (2024, November 14). *Kennisnotitie, Verkenning Chemours en de Westerschelde; advies voor onderzoeken naar PFAS in deze regio's* [Kennisnotitie]. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/KN-2024-0049.pdf>

Frisbee, S. J., Brooks, A. P., Maher, A., Flensburg, P., Arnold, S., Fletcher, T., Steenland, K., Shankar, A., Knox, S. S., Pollard, C., Halverson, J. A., Vieira, V. M., Jin, C., Leyden, K. M., & Ducatman, A. M. (2009). The C8 Health Project: Design, Methods, and Participants. *Environmental Health Perspectives*, 117(12), 1873–1882. <https://doi.org/10.1289/ehp.0800379>

Fromme, H., Roscher, E., Völkel, W., Dietrich, S., Fuchs, V., Wöckner, M., Cursino Hron, L., Fembacher, L., & Schober, W. (2018). *Human-Biomonitoring von perfluorierten Substanzen in Teilen des Landkreises Altötting*.

https://www.lgl.bayern.de/downloads/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/doc/bericht_hbm_altoetting_2018_07_11.pdf

Fromme, H., Wöckner, M., Roscher, E., & Völkel, W. (2017). ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(2), 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.12.014>

Goldenman, G., Fernandes, M., Holland, M., Tugran, T., Nordin, A., Schoumacher, C., & McNeill, A. (2019). *The cost of inaction* (2019:516). Nordic Council of Ministers. <https://doi.org/10.6027/TN2019-516>

Gyllenhammar, I., Benskin, J. P., Sandblom, O., Berger, U., Ahrens, L., Lignell, S., Wiberg, K., & Glynn, A. (2018). Perfluoroalkyl Acids (PFAAs) in Serum from 2–4-Month-Old Infants: Influence of Maternal Serum Concentration, Gestational Age, Breast-Feeding, and Contaminated Drinking Water. *Environmental Science & Technology*, 52(12), 7101–7110. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00770>

Gyllenhammar, I., Benskin, J. P., Sandblom, O., Berger, U., Ahrens, L., Lignell, S., Wiberg, K., & Glynn, A. (2019). Perfluoroalkyl Acids (PFAAs) in Children's Serum and Contribution from PFAA-Contaminated Drinking Water. *Environmental Science & Technology*, 53(19), 11447–11457. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01746>

Gyllenhammar, I., Berger, U., Sundström, M., McCleaf, P., Eurén, K., Eriksson, S., Ahlgren, S., Lignell, S., Aune, M., Kotova, N., & Glynn, A. (2015). Influence of contaminated drinking water on perfluoroalkyl acid levels in human serum – A case study from Uppsala, Sweden. *Environmental Research*, 140, 673–683. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.019>

Hron, L. M. C., Wöckner, M., Fuchs, V., Fembacher, L., Aschenbrenner, B., Herr, C., Schober, W., Heinze, S., & Völkel, W. (2024). Monitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human blood samples collected in three regions with known PFAS releases in the environment and three control regions in South Germany. *Archives of Toxicology*, 98(11), 3727–3738. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03843-x>

Ingelido, A. M., Abballe, A., Gemma, S., Dellatte, E., Iacovella, N., De Angelis, G., Marra, V., Russo, F., Vazzoler, M., Testai, E., & De Felip, E. (2020). Serum concentrations of perfluorinated alkyl substances in farmers living in areas affected by water contamination in the Veneto Region (Northern Italy). *Environment International*, 136, 105435. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105435>

Ingelido, A. M., Abballe, A., Gemma, S., Dellatte, E., Iacovella, N., De Angelis, G., Zampaglioni, F., Marra, V., Miniero, R., Valentini, S., Russo, F., Vazzoler, M., Testai, E., & De Felip, E. (2018). Biomonitoring of perfluorinated compounds in adults exposed to contaminated drinking water in the Veneto Region, Italy. *Environment International*, 110, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.026>

Jakobsson, K., Diab, K. K., & Lindh, C. (2014). *Exponering för perfluorerade ämnen (PFAS) i dricksvatten i Ronneby kommun* (No. Rapport 8:2014). Södra sjukvårdsregionen. <https://sodrasjukvardsregionen.se/download/exponering-for-perfluorerade-amnen-pfas-i-dricksvatten-i-ronneby-kommun/>

Kolding, S. R. L. P. (2023, oktober). *Foreløbige resultater af PFAS-undersøgelse er godt nyt for surfere og badeglade*. Niras. <https://www.niras.dk/projekter/foreloebige-resultater-af-pfas-undersogelse-er-godt-nyt-for-surfere-og-badeglade/>

Lahne, H., Gerstner, D., Völkel, W., Schober, W., Aschenbrenner, B., Herr, C., Heinze, S., & Quartucci, C. (2024). Human biomonitoring follow-up study on PFOA contamination and investigation of possible influencing factors on PFOA exposure in a German population originally exposed to emissions from a fluoropolymer production plant. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 259, 114387. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2024.114387>

Langberg, H. A., Arp, H. P. H., Breedveld, G. D., Slinde, G. A., Høiseter, Å., Grønning, H. M., Jartun, M., Rundberget, T., Jenssen, B. M., & Hale, S. E. (2021). Paper product production identified as the main source of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a Norwegian lake: Source and historic emission tracking. *Environmental Pollution*, 273, 116259. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116259>

Larsen, R. F. (n.d.). *PFOS-forurening i Korsør—Slagelse Kommune*. Hovedsite. Retrieved December 11, 2024, from <https://www.slagelse.dk/da/service-og-selvbetjening/bolig-og-byggeri/vand-og-kloak/spildevand/pfos-forurening-i-korsoer/>

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. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117187>

MDHHS. (2023). *MiPEHS - Technical Appendix to Phase 1 Summary Report*. Michigan Department of Health & Human Services. https://www.michigan.gov/mdhhs/-/media/Project/Websites/mdhhs/Safety-and-Injury-Prevention/Environmental-Health/DEHBio/Documents/MiPEHS-Technical-Appendix-to-Summary-Report_13March2023_FINAL_.pdf?rev=480055a17b0b4fe8a4df65fbbc169d73&hash=D519A6E5854E5E29A23BB54822ADF242

Nilsson, S., Smurthwaite, K., Aylward, L. L., Kay, M., Toms, L.-M., King, L., Marrington, S., Hobson, P., Barnes, C., Rotander, A., Kirk, M. D., Mueller, J. F., & Braeunig, J. (2022). Biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) exposure in firefighters: Study design and lessons learned from stakeholder and participant engagement. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 242, 113966. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.113966>

Pitter, G., Da Re, F., Canova, C., Barbieri, G., Zare Jeddi, M., Daprà, F., Manea, F., Zolin, R., Bettega, A. M., Stopazzolo, G., Vittorini, S., Zambelli, L., Martuzzi, M., Mantoan, D., & Russo, F. (2020). Serum Levels of Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in Adolescents and Young Adults Exposed to Contaminated Drinking Water in the Veneto Region, Italy: A Cross-Sectional Study Based on a Health Surveillance Program. *Environmental Health Perspectives*, 128(2), 027007. <https://doi.org/10.1289/EHP5337>

STOWA. (2021). *PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib—Resultaten van een meetcampagne op acht rwzi's* (No. STOWA 2021-46). <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202021/STOWA%202021-46%20PFAS.pdf>

Stableski, J., Salihovic, S., Lind, L., Lind, P. M., Van Bavel, B., & Kärrman, A. (2016). Changes in serum levels of perfluoroalkyl substances during a 10-year follow-up period in a large population-based cohort. *Environment International*, 95, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.08.002>

Trowbridge, J., Gerona, R. R., Lin, T., Rudel, R. A., Bessonneau, V., Buren, H., & Morello-Frosch, R. (2020). Exposure to Perfluoroalkyl Substances in a Cohort of Women Firefighters and Office Workers in San Francisco. *Environmental Science & Technology*, 54(6), 3363–3374. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05490>

UAntwerpen, VITO, PIH, UHasselt en VUB. (2023). *Jongerenstudie HBM – omgeving 3M* (No. D/2023/3241/152). Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving. https://www.hbm-pfas.be/wp-content/uploads/2023/04/Jongerenstudie_HBM_omgeving3M_resultatenrapport_24april2023.pdf

Van Poll, R., Jansen, E., & Janssen, R. (2017). *PFOA-metingen in bloed*. RIVM. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2017-0077>

Voorpoels, S., De Brouwere, K., Gemoets, J., & Jacobs, G. (2023). *PFAS in zeewater en zeeschuim* (No. 2022/SCT/R/2837). Agentschap Zorg en Gezondheid. https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1676639526/VITO_-_PFAS_in_zeewater_en_zeeschuim_draft_eindrapport_feb_2023_z7jemc.pdf

Xu, Y., Fletcher, T., Pineda, D., Lindh, C. H., Nilsson, C., Glynn, A., Vogs, C., Norström, K., Lilja, K., Jakobsson, K., & Li, Y. (2020). Serum Half-Lives for Short- and Long-Chain Perfluoroalkyl Acids after Ceasing Exposure from Drinking Water Contaminated by Firefighting Foam. *Environmental Health Perspectives*, 128(7), 077004. <https://doi.org/10.1289/EHP6785>

Xu, Y., Nielsen, C., Li, Y., Hammarstrand, S., Andersson, E. M., Li, H., Olsson, D. S., Engström, K., Pineda, D., Lindh, C. H., Fletcher, T., & Jakobsson, K. (2021). Serum perfluoroalkyl substances in residents following long-term

drinking water contamination from firefighting foam in Ronneby, Sweden. *Environment International*, 147, 106333. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106333>

Zhang, T., Zhang, B., Bai, X., Yao, Y., Wang, L., Shu, Y., Kannan, K., Huang, X., & Sun, H. (2019). Health Status of Elderly People Living Near E-Waste Recycling Sites: Association of E-Waste Dismantling Activities with Legacy Perfluoroalkyl Substances (PFASs). *Environmental Science & Technology Letters*, 6(3), 133–140. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.9b00085>

Zhang, W., Lin, Z., Hu, M., Wang, X., Lian, Q., Lin, K., Dong, Q., & Huang, C. (2011). Perfluorinated chemicals in blood of residents in Wenzhou, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(6), 1787–1793. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.04.027>

Zöllner, I., Cibis, K., Brosch, R., & Göen, T. (2019). *Ergebnisse der PFC-Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2018*. Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg. https://www.gesundheitsamt-bw.de/fileadmin/LGA/_DocumentLibraries/SiteCollectionDocuments/03_Fachinformationen/Fachpublikationen/Info_Materialien/Bericht_PFC-BlutkontrolluntersuchungLKRastatt_2018.pdf