

Bevolkingsonderzoek PFAS bij omwonenden van de 3M site in Zwijndrecht

TECHNISCH-WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van en in samenwerking met het
Agentschap Zorg en Gezondheid

Uitvoerders: VITO en PIH

ONDERZOEKSTEAM

Deze studie is multidisciplinair en werd uitgevoerd door VITO en PIH, deels vanuit hun rol als PartnerOrganisatie MilieuGezondheidsZorg in opdracht van het Agentschap Zorg en Gezondheid (AZG), van de Vlaamse overheid

- PIH: verantwoordelijk voor rekrutering van deelnemers, uitvoering van het veldwerk, interpretatie en communicatie (Elly Den Hond, Annelies De Decker, Vera Nelen, Ilona Gabaret, Carmen Franken, Guy Thys, Iris Maldoy, Karlien Willems, Lynde De Prins)
- VITO: verantwoordelijk voor datamanagement, data-analyse, rapportering en interpretatie (Ann Colles, Katleen De Brouwere, Eva Govarts, Hanny Willems, Laura Rodriguez) en verantwoordelijk voor PFAS metingen in serum en biobank (Stefan Voorspoels, Griet Jacobs, Daniëlla Ooms, Rosette Van Den Heuvel, Diane Bertels, Samara Fernandez De Souza, Aga Mikolajczuk, Nady Hufkens, Mario Schroeven, Masha Van Deun, Leen Smets, Jan Jordens)
- Agentschap Zorg en Gezondheid, Team Milieugezondheidszorg: verantwoordelijk voor financiering, sturing en coördinatie: Bart Bautmans, Hilde Van De Maele, Liesbet Van Rooy: begeleiding van de studie

Met speciale dank aan alle deelnemers; de gemeenten Zwijndrecht, Beveren, Antwerpen, de Eerste LijnsZone Waasland Noord-Oost, Logo Waasland, Logo Antwerpen en de externe experts: Prof. G. Schoeters (VITO, Universiteit Antwerpen), Prof. J. Tytgat (Katholieke Universiteit Leuven), Prof. J. De Boer (Vrije Universiteit Amsterdam), Fred Woudenberg (GGD, Amsterdam).

SAMENVATTING

Zie publiekssamenvatting op volgende website:

<https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/zwijndrecht/pfos-vervuiling-bloedstalen>

INHOUDSTAFEL

ONDERZOEKSTEAM	2
1 INLEIDING EN DOEL VAN DE STUDIE	8
2 METHODE	10
2.1 REKRUTERING EN VELDWERK	10
2.1.1 DOELGROEP	10
2.1.2 DOELSTELLING REKRUTERING	11
2.1.3 METHODE REKRUTERING	11
2.1.4 ONDERZOEKSPROTOCOL	12
2.2 METINGEN EN BEVRAGINGEN	13
2.2.1 BIOMERKERS VAN BLOOTSTELLING	13
2.2.2 VRAGENLIJSTEN	15
2.2.3 ANDERE GEGEVENS	19
2.3 STATISTISCHE ANALYSES	19
2.3.1 BESCHRIJVENDE STATISTIEK VAN DE ONDERZOEKSGROEP	19
2.3.2 BESCHRIJVENDE STATISTIEK VAN DE PFAS-RESULTATEN	19
2.3.3 REGRESSIE-ANALYSES	20
3 RESULTATEN	22
3.1 BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOEKSPOPULATIE	22
3.1.1 RESPONS	22
3.1.2 KARAKTERISTIEKEN VAN DE ONDERZOEKSGROEP	22
3.2 BLOOTSTELLINGSMERKERS: GEHALTES PFAS IN SERUM	33
3.2.1 OVERZICHT VAN DE PFAS-SERUMGEHALTEN IN DE ONDERZOEKSGROEP	33
3.2.2 VERGELIJKING MET GEZONDHEIDSKUNDIGE TOETSINGSWAARDEN	58
3.2.3 VERGELIJKING MET ANDERE STUDIES	64
3.3 BLOOTSTELLINGSMERKERS: WELKE FACTOREN ZIJN GEASSOCIEERD AAN DE PFAS-SERUMWAARDEN?	81
3.3.1 GEOGRAFISCHE FACTOREN	88
3.3.2 INFORMATIE VOOR EVENTUEEL BIJSTUREN VAN DE NO-REGRET MAATREGELEN	92
3.3.3 INFORMATIE OVER CONTACT MET PRODUCTEN	98
3.3.4 ANDERE VARIABELEN	102
3.3.5 PLANNEN VOOR VERDERE STATISTISCHE ANALYSES	103
4 CONCLUSIES, ADVIES VOOR VERDER ONDERZOEK EN AANBEVELINGEN VOOR BELEIDSMATREGELEN	105
4.1 CONCLUSIES	105
4.2 ADVIES VOOR VERDER ONDERZOEK	109

LIJST VAN AFKORTINGEN

ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
AZG	Agentschap Zorg en Gezondheid
BI	Betrouwbaarheidsinterval
BMI	Body mass index
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CHMS	De Canadese Health Measures Survey
CI	Confidentie-interval
CV	Coëfficiënt van variatie
EFSA	Europese Voedselveiligheid Autoriteit
FLEHS	Flemish Environment and Health Studies
GM	Geometrisch gemiddelde
HBM	Humaan-biomonitoringsonderzoek
HBM4EU	Europees biomonitoringsonderzoek HBM4EU
LOQ	Kwantificatielimiet
MRM	Multiple Reaction Monitoring
NHANES	National Health and Nutrition Examination Survey
PFBA	Perfluorbutaanzuur
PFPeA	perfluorpentaanzuur
PFHxA	perfluorhexaanzuur
PFHpA	perfluorheptaanzuur
PFOA	perfluoroctaanzuur
PFNA	perfluornonaanzuur
PFDA	perfluordecaanzuur
PFUnA	perfluorundecaanzuur
PFDoA	perfluordodecaanzuur
PFBS	perfluorbutaansulfonzuur
PFHxS	perfluorhexaansulfonzuur
PFHpS	perfluorheptaansulfonzuur
PFOS	perfluoroctaansulfonzuur
PO MGZ	PartnerOrganisatie Milieugezondheidszorg
PODepi	Point of Departures epidemiologisch
TWI	Toelaatbare wekelijkse inname

1 INLEIDING EN DOEL VAN DE STUDIE

Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) zijn organische verbindingen met fluoratomen gebonden aan een koolstofketen. De meest bekende PFAS zijn perfluorooctaansulfonaat (PFOS) en perfluorooctaanzuur (PFOA). In de buurt van de 3M site in Zwijndrecht is er een historische uitstoot van PFAS door de nabije industriële activiteit. In juni 2021 ontstond er ongerustheid bij de bewoners van Zwijndrecht en omgeving omwille van berichten over verhoogde concentraties PFAS in het leefmilieu (bodem, grondwater, eieren).

Op basis van een eerste preliminaire risico-inschatting - opgemaakt door de PartnerOrganisatie Milieugezondheidszorg (PO MGZ) - werd op 14 juni 2021 door het Agentschap Zorg en Gezondheid (AZG) een set van 'no-regret' maatregelen afgekondigd. Aan bewoners binnen een straal van respectievelijk 1,5 km, 5 km en 10 km rond de 3M site worden preventieve adviezen gegeven over 1) de consumptie van zelf geteelde groenten, eieren en kleinvee; 2) het gebruik van grondwater en compost; en 3) algemene hygiëne maatregelen¹.

Om deze adviezen te onderbouwen en indien nodig bij te sturen, zal op termijn een grootschalig humaan-biomonitoringsonderzoek (HBM) worden uitgevoerd, waarbij humane blootstelling aan PFAS in verband wordt gebracht met enerzijds milieumetingen om de bronnen in kaart te brengen en anderzijds gezondheidsmetingen om de impact van milieublootstelling op de gezondheid in te schatten. Het opzetten en uitvoeren van dit soort onderzoek vraagt tijd (maanden tot jaren vooraleer de eerste groepsresultaten er zijn). Om al sneller een antwoord te bieden op de grote ongerustheid die heerst bij de bevolking, en om een zicht te krijgen over de noodzaak tot bijsturing van de perimeter van de 'no-regret' maatregelen, werd de bevolking de mogelijkheid geboden om in de maanden juli en augustus 2021 op vrijwillige basis een bloedonderzoek te laten uitvoeren. Op vraag van AZG organiseerde de PO-MGZ een bevolkingsonderzoek PFAS voor bewoners vanaf 12 jaar van de gemeente Zwijndrecht, Beveren en Antwerpen, die wonen binnen een straal van 3 km rond de 3M site. Er werd geopteerd voor een straal van 3 km, nl. het dubbele van de zone met de meest strenge 'no regret' maatregelen.

Het doel van deze meetcampagne was meervoudig, nl.

- In eerste instantie kunnen de metingen een antwoord bieden op lokale ongerustheid op groepsniveau. Individuele bewoners uit de 3 km zone kiezen op vrijwillige basis voor een bloedafname. Zij ontvangen het resultaat van hun persoonlijke meetwaarde van PFAS in serum, samen met een preventief advies op maat. De groepsresultaten geven aan de hele gemeenschap een antwoord op de collectieve ongerustheid.
- De nieuwe meetdata laten toe om een meer doorgedreven risico-analyse uit te voeren, met eventuele bijsturing van de 'no regret' maatregelen. De groepsresultaten worden gebruikt om na te gaan of er een geografische gradiënt is in de interne PFAS gehalten bij de mensen om via een (beperkte) vragenlijst de link te leggen met bronnen uit de omgeving. Deze informatie laat toe om de risico-analyse verder te verfijnen en om de perimeter van de huidige 'no-regret' maatregelen bij te sturen en/of om de 'no-regret' maatregelen inhoudelijk aan te passen.
- De gegevens leveren nieuwe informatie aan voor het plannen van een uitgebreid milieu-gezondheidsonderzoek. In een tweede fase wil de Vlaamse overheid een uitgebreid onderzoek opstarten, nl. een HBM-onderzoek, waarbij de link wordt gelegd tussen milieucompartimenten (bronnen), de inwendige dosis van de chemische stoffen en de biologische effecten

¹ [No regret-maatregelen Zwijndrecht | Vlaanderen.be](https://www.vlaanderen.be/no-regret-maatregelen-zwijndrecht)

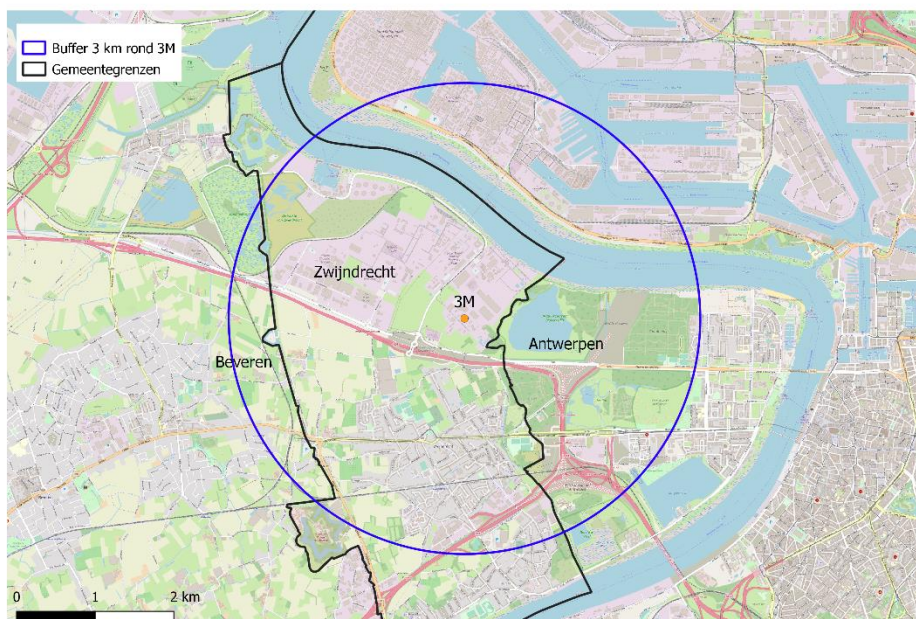
(gezondheidseffecten) van deze milieuvuulende stoffen. De resultaten van de huidige bloedonderzoeken kunnen helpen om het onderzoeksdesign voor de HBM te verfijnen, o.m. met betrekking tot de afbakening van het gebied, de keuze van de onderzoeksgroep, de selectie van de milieumetingen en de selectie van de effectmerkers.

2 METHODE

2.1 REKRUTERING EN VELDWERK

2.1.1 Doelgroep

Het onderzoeksgebied bestaat uit een zone van 3 km vanaf het centrum van het bedrijf 3M (zie Figuur 1). Het onderzoeksgebied omvat de deelgemeente Zwijndrecht (Zwijndrecht) en een deel van de deelgemeentes Burcht (Zwijndrecht), Linkeroever (Antwerpen), en Melsele (Beveren).



Figuur 1 Onderzoeksgebied: zone van 3 km rondom het bedrijf 3M

De doelgroep omvat alle inwoners van het onderzoeksgebied vanaf 12 jaar. Deze leeftijdsgrens werd gekozen omdat analyses bij jongeren en volwassenen meer informatie opleveren: hun bloedwaarden kunnen zowel historische PFAS-blootstelling als recente PFAS- blootstelling weergeven. Daarbij komt dat een persoonlijke gezondheidsdiagnose niet mogelijk is met deze studie. Omdat er dus weinig meerwaarde is om kinderen onder 12 jaar mee te nemen in het onderzoek, en een bloedafname een ingrijpende gebeurtenis kan zijn voor een kind, behoorden kinderen onder 12 jaar niet tot de doelgroep.

In totaal wonen er 12.089 inwoners van 12 jaar of ouder in het onderzoeksgebied; in Tabel 1 wordt het aantal inwoners per deelgemeente weergegeven.

Tabel 1 Inwoners van het onderzoeksgebied boven 12 jaar, per gemeente en per leeftijdscategorie

Deelgemeente (gemeente)	Aantal inwoners + 12 jaar
Linkeroever (Antwerpen)	979
Zwijndrecht en Burcht (Zwijndrecht)	10.820
Melsele (Beveren)	290
Totaal	12.089

2.1.2 Doelstelling rekrutering

De doelstelling was om **800 inwoners** te rekruteren uit het onderzoeksgebied voor deelname aan de studie, waarbij:

- de woonplaatsen **voldoende geografisch gespreid** waren over het onderzoeksgebied, zodat een mogelijke gradiënt in blootstelling tot uiting kan komen in de onderzoeksresultaten;
- de leeftijd **voldoende gespreid** was **over de leeftijdsrange**, zodat verschillen in PFAS blootstelling volgens leeftijd in kaart gebracht kunnen worden; verder is ook gekend dat PFAS zich opstapelen gedurende het leven.

Om de doelstelling van **geografische spreiding** te bereiken kon slechts één persoon per adres deelnemen. Verder werd het onderzoeksgebied opgedeeld in 4 zones:

- één zone **binnen een straal van 1,5 km** van het centrum van 3M, m.n. Noord-Zwijndrecht;
- 3 zones in een straal **tussen 1,5km en 3 km** van het centrum van 3M: in deze perimeter ligt een Zuidelijker deel van Zwijndrecht, een deel van Melsele en een deel van Linkeroever.

Per zone werd een nagestreefd aantal deelnemers bepaald: 50 % van de deelnemers uit de zone in de dichtste perimeter, namelijk Noord-Zwijndrecht; de andere 50% uit Zuid-Zwijndrecht, Linkeroever en Melsele, waarbij een nagestreefd aantal per zone bepaald werd evenredig met het bevolkingsaantal per zone. In Tabel 2 worden de nagestreefde aantallen per zone weergegeven.

Tabel 2 Nagestreefde aantallen per zone en leeftijdsgroep

Zone	Nagestreefde aantallen
Straal <1,5 km	
Noord-Zwijndrecht	400
Straal tussen 1,5 km en 3 km	
Melsele	28
Zuid - Zwijndrecht	313
Linkeroever	59

Om de doelstelling van voldoende **spreiding over de leeftijdsrange** te bereiken, werden de nagestreefde aantallen per zone verder opgesplitst in 3 leeftijdsgroepen, namelijk 12 t.e.m. 20 jaar, 21 t.e.m. 49 jaar en 50 t.e.m. 99 jaar, evenredig met het bewonersaantal per leeftijdsgroep.

Vrouwen die zwanger waren of borstvoeding gaven, kwamen altijd in aanmerking voor deelname; de selectiecriteria waren voor hen niet van toepassing.

2.1.3 Methode rekrutering

Om de doelstelling van de rekrutering te bereiken, konden inwoners van de doelgroep (zie hoofdstuk 2.1.1) zich van 9 juli tot 15 augustus 2021 vrijwillig aanmelden voor het bevolkingsonderzoek via een beveiligde centrale website van de Vlaamse overheid met informatie over de PFAS-problematiek². De inwoners werden via verschillende kanalen op de hoogte gebracht van het bevolkingsonderzoek en de aanmeldingsprocedure, o.m. via de communicatiekanalen van de gemeenten, sociale media, de website van de Vlaamse overheid, de huisartsen, de nationale media, enz. Wie er zelf niet in slaagde

² De link werd tijdens de aanmeldingsperiode vermeld op volgende webpagina <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/zwijndrecht/pfos-vervuiling-bloedstalen>

zich digitaal aan te melden via de website, kon hiervoor hulp krijgen van personeel van de gemeente Zwijndrecht of van de huisarts.

Tijdens de aanmelding werd het adres en de geboortedatum van de deelnemer geregistreerd, alsook of de deelnemer zwanger was of borstvoeding gaf. Wanneer het nagestreefd aantal van de zone en leeftijdsgroep van de deelnemer nog niet bereikt was werden de kandidaten onmiddellijk geselecteerd voor de studie. Het aanmeldingssysteem gaf hen een unieke code, waarmee ze een afspraak konden maken voor het onderzoek (via telefoon of via een online afsprakensysteem). De andere kandidaten werden op een wachtlijst geplaatst. Omdat zwangere vrouwen of vrouwen die borstvoeding geven behoren tot de kwetsbare populatie voor PFAS-blootstelling, werden deze kandidaten vanaf de wachtlijst geselecteerd en via email uitgenodigd voor het onderzoek.

Tijdens de aanmeldingsperiode werd duidelijk dat er niet voor alle zones en leeftijdsgroepen voldoende kandidaten waren. Daarom werden de voorwaarden (zie hoofdstuk 2.1.2) bijgesteld. Zo werden 12-19 jarigen op de wachtlijst, waarvan reeds iemand op hetzelfde adres geselecteerd werd als deelnemer, toch nog geselecteerd omwille van een tekort aan aanmeldingen in deze leeftijdsgroep. Verder werden in de eerste helft van augustus 200 mensen van de wachtlijst geselecteerd voor deelname, omwille van tekorten in andere groepen. De selectie voor de studie werd hen gemeld via e-mail, waarin de unieke code stond om een afspraak te maken voor het onderzoek. Wie geen afspraak maakte na selectie, werd gecontacteerd via e-mail of telefoon om alsnog een afspraak te maken. Uiteindelijk werd er voor elk adres waarvoor er een valide aanmelding was, minstens één iemand geselecteerd voor deelname aan de studie en werden er 838 kandidaat-deelnemers geselecteerd voor het onderzoek.

2.1.4 Onderzoeksprotocol

Geselecteerde deelnemers konden met hun unieke code een afspraak maken voor de bloedafname op één van de tien onderzoeksdagen (15, 22, 26, 27, 29 juli 2021; 10, 17, 19, 23, 24 augustus 2021). De onderzoeksdagen waren voldoende gespreid over de zomerperiode om deelnemers die op vakantie gingen ook de kans te geven om een afspraak te maken. Er werden afsprakmomenten voorzien in de voormiddag, namiddag en avond.

Twee dagen vóór de afspraak, kregen de deelnemers via email praktische instructies voor de onderzoeksdag zelf, de informatiebrochure met toestemmingsformulier, en een link naar de online vragenlijst.

Via het toestemmingsformulier verklaarde de deelnemer zich akkoord met het onderzoeksprotocol, nl. het nemen van een bloedstaal voor de analyse van PFAS; wegen en meten; invullen van een vragenlijst met gegevens over sociale klasse, voeding, woning, hobby's en productgebruik; toestemming om het woonadres te gebruiken voor geografische analyses (o.m. berekenen van afstand tot 3M en tot andere mogelijke PFAS bronnen zoals het brandweeroefenterrein van ISEC en de brandweerpost van Linkeroever); toestemming om de reststalen van het serum gedurende maximaal 1 jaar in de biobank te bewaren, voor eventuele bijkomende milieugezondheidsmetingen.

Voor de uitvoering van de bloedafnames stelde de gemeente Zwijndrecht een lokaal ter beschikking in het Sportcentrum Den Draver te Zwijndrecht. Na aanmelding op de onderzoekslocatie en controle van de identiteit, en het invullen van het toestemmingsformulier en de vragenlijst (indien nog niet online gebeurd), werd de lengte en het gewicht van de deelnemer bepaald en de bloedafname uitgevoerd (in de elleboog; serumstaal). Hiervoor diende de deelnemer niet nuchter te zijn. De bloedafname werd uitgevoerd door ervaren verpleegkundigen, die de vooropgestelde regels nauwkeurig volgden om contaminatie van het staal te vermijden (bv. kledijvoorschriften, enkel

gebruik maken van materiaal dat voorzien werd voor de studie vermits al het gebruikte materiaal vooraf getest was op aanwezigheid PFAS, enz.). De toen geldende voorzorgsmaatregelen voor de COVID-19 pandemie werden tijdens de onderzoeksdagen in acht genomen.

De bloedstalen werden gekoeld getransporteerd naar VITO. Daar werden ze binnen 24 uur na bloedafname gecentrifugeerd en gealiquoteerd, met inachtneming van maatregelen om contaminatie van het staal te vermijden. Alle stalen werden bewaard bij -80°C. Eén serumstaal per persoon was bestemd voor PFAS analyse; de overige serumstalen worden nog gedurende maximum 1 jaar in de biobank bij VITO bewaard.

Het onderzoeksprotocol kreeg een gunstig advies bij het Ethische Comité van de UA.

2.2 METINGEN EN BEVRAGINGEN

2.2.1 Biomerkers van blootstelling

2.2.1.1 Lijst van gemeten PFAS verbindingen

De volgende PFAS verbindingen werden in de serumstalen gemeten:

- Perfluorbutaanzuur PFBA (C4)
- perfluorpentaanzuur PFPeA (C5)
- perfluorhexaanzuur PFHxA (C6)
- perfluorheptaanzuur PFHpA (C7)
- perfluoroctaanzuur PFOA (C8)
- perfluornonaanzuur PFNA (C9)
- perfluordecaanzuur PFDA (C10)
- perfluorundecaanzuur PFUnA (C11)
- perfluordodecaanzuur PFDoA (C12)
- perfluorbutaansulfonzuur PFBS (C4)
- perfluorhexaansulfonzuur PFHxS (C6)
- perfluorheptaansulfonzuur PFHpS (C7)
- perfluoroctaansulfonzuur PFOS (C8)

Van de meeste perfluorverbindingen komt uitsluitend de lineaire vorm voor; van een aantal perfluorverbindingen zoals PFOS, PFOA and PFHxS bestaat het technische mengsel dat ook in de natuur en de mens wordt teruggevonden uit zowel lineaire als vertakte isomeren. Op het moment van aanvang van deze studie waren hiervoor geen geschikte referentiestandaarden voorhanden. Er zijn momenteel ook nog geen duidelijke regelgevingen en internationale afspraken omtrent de rapportage van deze isomeren. In deze studie worden zowel de lineaire als de vertakte vormen (totaal) gekwantificeerd gebruikmakend van de referentiestandaard van de lineaire vorm. Dit is momenteel de gangbare praktijk in de meeste laboratoria die dergelijke data rapporteren.

Deze verbindingen werden enerzijds geselecteerd omdat deze in de reeds uitgevoerde analyses binnen Europees biomonitoringsonderzoek werden gemeten en omdat anderzijds de kwaliteit van deze merkers met de bestaande methodes geborgd kan worden. Binnen het kader van HBM4EU (grootschalig Europees biomonitoringsonderzoek) werden gedurende meerdere jaren ringtesten georganiseerd onder de deelnemende laboratoria. Slechts na 3 succesvolle deelnames werd een geschiktheidscertificaat uitgereikt, waarover VITO beschikt (bijlage 1).

2.2.1.2 Meetmethode

De monsters werden aangeleverd in recipiënten uit polypropyleen. Aangezien de verbindingen persistent zijn dienen geen bewaarmiddelen toegevoegd te worden. De monsters zijn voor min. 10 jaar stabiel bij -80 °C en min. 5 jaar bij -20 °C. De monsters werden gedurende maximaal 6 weken bewaard bij -20 °C voor analyse.

Na ontdooing en homogenisatie werd aan de serumstalen (500 µL) een gekende hoeveelheid isotoop-aangerijkte fluorverbindingen (interne standaarden; IS) toegevoegd: ¹³C₄-PFBA, ¹³C₄-PFPeA, ¹³C₂-PFHxA, ¹³C₄-PFOA, ¹³C₅-PFNA, ¹³C₂-PFDA, ¹³C₂-PFUnA, ¹³C₂-PFDoA, ¹⁸O-PFHxS, ¹³C₄-PFOS. Vervolgens werd methanol toegevoegd voor proteïne-precipitatie en de neerslag werd vervolgens verwijderd. Van het opgewerkte monster werd 10 µL gemeten met een vloeistofchromatograaf gekoppeld aan een massaspectrometer (UPLC-MS/MS, Waters Acquity Xevo TQ-(X)S met electrospray interface). Het systeem was uitgerust met een Waters Acquity UPLC BEH Shield RP18 (1.7 µm, 2.1 x 100 mm kolom) en een Waters Vanguard prekolom (Acquity UPLC BEH C18; 2.1 x 5 mm, 1.7 µm). Analyse werd uitgevoerd met een gradiënt-elutie op basis van water en MeOH met een debiet van 300 µL/min en kolomtemperatuur van 40 °C. Alle metingen gebeurden in Multiple Reaction Monitoring (MRM) uitgevoerd, met ionisatie via electrospray in negatieve modus (ES-).

De gebruikte methode heeft een eerder gevalideerd meetbereik van 0,2 – 30 µg/L PFAS in serum. Voor dit project bleek dit onvoldoende voor sommige monsters en werd de lineariteit en meetbereik uitgebreid tot 480 µg/L. Monsters met een nog hogere concentratie (> 480 µg/L) werden in een andere aangepaste verdunning opnieuw gemeten.

Elke meetreeks bestond uit 20 monsters en werd vergezeld van de nodige kwaliteitscontrole metingen: controlestandaarden (meetstandaarden voor calibratie en integratie standaarden voor evaluatie van de vertakte isomeren) en een controle serum monster. Gedurende de analyses werd een controlekaart met actiegrenzen opgesteld. Ondanks preventief reinigen kunnen na verloop van tijd metingen aan betrouwbaarheid inboeten door versnelde vervuiling van het meetsysteem. Dit wordt opgemerkt aan de hand van de controlemetingen en de controlekaarten. Hierna wordt het systeem bijkomend gereinigd en de nodige kolommen vervangen. Na impact analyse werden de beïnvloede monsters opnieuw gemeten.

2.2.1.3 Methodevalidatie en meetonzekerheid

De gebruikte methode werd eerder gevalideerd en de performantiecriteriën werden bepaald. Daarnaast werd ook succesvol deelgenomen aan de door HBM4EU georganiseerde ringtesten en G-EQUAS66 waardoor de validiteit van de gebruikte methode internationaal werd bevestigd.

Elke chemische analyse is slechts een schatting van de werkelijke waarde. Dit betekent ook dat elke meting gepaard gaat met een meetonzekerheid. Deze wordt geschat aan de hand van een hele reeks experimenten die worden uitgevoerd tijdens de methodevalidatie. Bij chemische analyses van organische verbindingen zoals PFAS in complexe monsters zoals bloed ligt de meetonzekerheid U ($k = 2$) in de grootteorde van 20-50 %.

De meetonzekerheid U wordt gedefinieerd als de halve lengte van een interval waarbinnen de ware waarde wordt verwacht te liggen ivm de gemeten waarde, en dit bij een bepaald betrouwbaarheidsniveau. De prestatiekenmerken die de meetonzekerheid - of tenminste een gedeelte ervan - bepalen zijn de precisie van de analysemethode (voor wat de toevallige afwijking betreft) en de juistheid van de analysemethode (voor wat de systematische afwijking betreft). Door

het in rekening brengen van een dekkingsfactor factor (Eng. coverage factor) wordt de waarschijnlijkheid dat de echte waarde in het interval ligt op 95 % geschat ($k = 2$, dit is ongeveer 95 %). Dit is algemeen aanvaarde dekkingsfactor binnen chemische analyses.

De uitgebreide meetonzekerheid van de methode zoals bepaald tijdens de methodevalidatie varieert van 25 tot 50 % ($k = 2$, confidentie van 95 %), afhankelijk van de PFAS. Dit ligt in de verwachte grootteorde voor dergelijke analyses. De geschatte maximale meetonzekerheid bekomen tijdens methodevalidatie is samengevat in Tabel 3. Uit de controlekaarten is gebleken dat U in praktijk lager uitvalt dan geschat tijdens de validatie.

Tabel 3: Maximale procentuele meetonzekerheid U ($k = 2$)

	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUdA	PFDoA
%	50	50	45	33	49	36	42	50	44
	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS					
%	23	30	31	50					

2.2.1.4 Kwaliteitsborging van de metingen.

De methode werd internationaal gevalideerd door middel van succesvolle deelname aan interlaboratorium testen in het kader van HBM4EU (grootschalig Europees biomonitoringsonderzoek) en G-EQUAS. Slechts na 3 succesvolle deelnames werd binnen het HBM4EU consortium een geschiktheidscertificaat voor bepaling van PFAS in serum uitgereikt, waarover VITO beschikt (bijlage 1).

Op het moment van aanvang van deze studie werd de analytische methode bij VITO al enkele jaren succesvol ingezet voor biomonitoring. Gezien de kwaliteitsborging via het HBM4EU certificaat voor de lopende projecten voldoende was, werd nooit een BELAC accreditatie voor deze methode aangevraagd. Door de urgentie van dit huidige project was het niet mogelijk om nog tijdig een formele BELAC accreditatie te bekomen. De doorlooptijd daarvan bedraagt enkele maanden. De accreditatieaanvraag werd echter onmiddellijk opgestart in het voorjaar van 2021. De BELAC audit vond plaats in juli en in september werd de BELAC ISO 17025 accreditatie voor PFAS in serum formeel toegekend (BELAC accreditation number 045-TEST). De metingen werden echter al opgestart in augustus en vallen hierdoor formeel niet onder de accreditatie. De metingen werden allemaal uitgevoerd conform de methode die later werd geaccrediteerd.

Het VITO lab beschikt naast de PFAS methode in serum ook over BELAC ISO 17025 geaccrediteerde PFAS methodes voor vaste stoffen en waters.

Tijdens uitvoering van de analyses werden er heel wat kwaliteitscontroles gemeten. Deze werden telkens getoetst aan de eisen om de kwaliteit zoals behaald tijdens methodevalidatie te kunnen garanderen. Zoals tijdens elke langlopende studie waren ook hier niet alle meetreeksen steeds binnen specificatie en werden enkele reeksen opnieuw gemeten na interventie aan de apparatuur. Alleen data die voldoet aan de vooraf bepaalde kwaliteitseisen werd gerapporteerd. In bijlage 1 zijn meer details over de kwaliteitscontrole weergegeven.

2.2.2 Vragenlijsten

Aan de hand van een korte vragenlijst werd bijkomende informatie verkregen van de deelnemers met als doel de PFAS-metresultaten beter te kunnen interpreteren, de variatie binnen de onderzoeksgroep in kaart te brengen en de determinanten van blootstelling te kunnen onderzoeken.

Er werd informatie gevraagd over demografische kenmerken, persoonlijke kenmerken, consumptie van voeding uit eigen tuin, consumptie van voeding uit het studiegebied, enkele kenmerken van de moestuin en kippenren, mogelijk contact met PFAS bronnen via de opleiding, beroep, hobby of het gebruik van bepaalde producten. Hieronder wordt elke categorie kort toegelicht.

2.2.2.1 Demografische kenmerken

Er werd via de vragenlijst informatie verkregen over de leeftijd en het biologisch geslacht van de deelnemers, alsook over enkele socio-economische factoren zoals de hoogste opleiding binnen het huishouden, hoe gemakkelijk de deelnemers kunnen rondkomen met het gezinsinkomen en de herkomst van de deelnemers.

Een Belgische of een buitenlandse herkomst van de deelnemers werd bepaald op basis van vier criteria, overeenkomstig de bevraging in de Herkomstmonitor en in VRIND³: de huidige nationaliteit van de deelnemer, de nationaliteit van de deelnemer bij geboorte, de nationaliteit van beide ouders bij geboorte. Als één van deze vier criteria een niet-Belgische nationaliteit is, dan wordt de persoon beschouwd als zijnde een persoon met een buitenlandse herkomst. Buitenlandse herkomst kan nog verder worden opgedeeld in EU-landen en niet-EU landen. Hiervoor wordt dezelfde indeling gebruikt als deze vermeld in de Herkomstmonitor 2015 (Tabel 4).

Tabel 4: Overzicht indeling landen van herkomst in EU en niet-EU groep. (bron: Herkomstmonitor 2015⁴)

Landen van herkomst	
België	België
EU	Frankrijk, Duitsland, Italië, Nederland, Luxemburg, Ierland, Verenigd Koninkrijk, Denemarken, Griekenland, Spanje, Portugal, Finland, Zweden, Oostenrijk, Tsjechië, Estland, Cyprus, Letland, Litouwen, Hongarije, Malta, Polen, Slovenië, Slovakije, Bulgarije en Roemenië
Niet-EU	Overige landen

Waarom deze vragen?

Leeftijd: Verschillende PFAS, vooral met langere ketens koolstofatomen, blijven meerdere jaren aanwezig in het lichaam, waardoor ze zich opstapelen met de toenemende leeftijd.

Biologisch geslacht: Sommige PFAS komen in lagere concentraties voor in serum van vrouwen dan in serum van mannen van dezelfde leeftijd. Mogelijke verklaringen zijn een andere lichaamsbouw, een andere hormonale status of een ander metabolisme. Vrouwen kunnen ook PFAS ‘verliezen’ omdat ze via de navelstreng of de moedermelk aan de kinderen worden doorgegeven of via de menstruatie.

Socio-economische factoren: Blootstelling aan PFAS kan sociale verschillen vertonen waarbij bepaalde bevolkingsgroepen met een ander opleidingsniveau, een andere financiële situatie of een andere herkomst een andere blootstelling kennen. Dit is niet rechtstreeks te wijten aan het opleidingsniveau, de financiële toestand of de herkomst, maar wel met onderliggende factoren die hier mee samenhangen (vb. andere voedingsgewoontes, ander productengebruik, enz.).

³ [Monitor Vlaamse Regionale Indicatoren \(VRIND\) - Statistiek Vlaanderen](#)

⁴ <https://www.vlaanderen.be/publicaties/herkomstmonitor-2015-arbeidsmarktpositie-van-personen-met-een-buitenlandse-herkomst-op-basis-van-administratieve-gegevens>

Om de onderzoeksvragen van deze studie te beantwoorden, willen we uitsluiten dat eventuele verschillen in PFAS-serumgehalten niet toevallig te wijten zijn aan socio-demografische verschillen in de onderzoeksgroep.

2.2.2.2 Persoonlijke kenmerken

De vragenlijst peilde ook naar persoonlijke kenmerken, zijnde: de geboortevolgorde van de deelnemers, menstruatiestatus, aantal zwangerschappen, zwanger of borstvoeding gevend in de periode van de bloedafname, lengte van de borstvoedingsperiode van alle zwangerschappen samen.

Waarom deze vragen?

PFAS aanwezig in het lichaam kan aan volgende generaties worden doorgegeven via de navelstreng of via borstvoeding. Het is mogelijk dat een eerste kind meer PFAS door krijgt via de navelstreng en borstvoeding dan de volgende kinderen. Anderzijds kunnen vrouwen die meerdere zwangerschappen hebben gehad of die langer borstvoeding hebben gegeven zelf lagere PFAS-serumgehalten hebben. Ook kunnen vrouwen die al langere tijd in menopauze zijn hogere PFAS-serumgehalten hebben dan vrouwen die nog menstrueren.

Om de onderzoeksvragen van deze studie te beantwoorden, willen we uitsluiten dat eventuele verschillen in PFAS-serumgehalten niet toevallig te wijten zijn aan verschillen in persoonlijke kenmerken in de onderzoeksgroep.

Naar zwangerschap of het geven van borstvoeding in de periode van de bloedafname werd gevraagd omdat deze groep een kwetsbare doelgroep is.

2.2.2.3 Geografische kenmerken

In de vragenlijst werd aan de deelnemers ook gevraagd hoeveel jaren ze reeds wonen in het studiegebied en hoeveel jaren ze reeds wonen op het huidige adres.

Waarom deze vragen?

De verblijftijd in het studiegebied of op een bepaalde locatie (adres) kan mee bepalend zijn voor de blootstelling aan PFAS.

2.2.2.4 Voeding uit eigen tuin en uit het studiegebied

In de vragenlijst werden vragen opgenomen die peilden naar de consumptie van eieren van eigen kippen en van groenten en fruit geteeld in de eigen tuin, alsook van eieren, groenten en fruit gekregen/gekocht van vrienden, burens, familie of lokale telers. Het gaat hier dus niet over voeding die in een winkel werd gekocht.

De vragen over consumptie van eieren (eigen kippen of lokaal) hadden als antwoordmogelijkheden i) nooit, ii) vroeger wel, maar gestopt voor de maatregelen, iii) vroeger wel, maar gestopt omwille van de maatregelen, iv) nog steeds. De vragen over consumptie van groenten en fruit van eigen of lokale teelt bevroegen de consumptiefrequentie van de 3 maanden voorafgaand aan de bloedafname.

Waarom deze vragen?

Doel van deze vragen was om na te gaan of consumptie van lokaal geteelde voeding geassocieerd is met de variatie aan PFAS-serumgehalten in de deelnemersgroep en

om bijkomende informatie te verzamelen voor het eventuele bijstellen van de no regret maatregelen.

2.2.2.5 Kenmerken van de moestuin en de kippen

De vragenlijst bevatte ook vragen over het type moestuin (plantenbakken of volle grond), de grootte van de moestuin, de aanwezigheid van een grondwaterput en het gebruik van grondwater.

Daarnaast werden ook vragen gesteld over de ouderdom van de kippen, de voeding en drinkwater van de kippen, toegang van de kippen tot een composthoop, de voederplaats van de kippen en de grootte en mate van begroeiing van de scharrelruimte.

Waarom deze vragen?

Eén van de doelstellingen van deze studie is informatie verzamelen voor het eventueel verfijnen van de no-regret maatregelen. Deze vragen kunnen mogelijk meer inzichten opleveren in factoren die maken dat consumptie van lokaal geteelde voeding bijdraagt tot de PFAS-blootstelling.

2.2.2.6 Blootstelling via beroep, opleiding of hobby

De deelnemers konden in de vragenlijst ook aangeven of ze via hun beroep, opleiding of hobby mogelijk in contact komen met PFAS (opdeling naar chemie (labo, gebruik bestrijdingsmiddelen, chemische of textielindustrie), smeermiddelen (werken aan auto's, fietsen), metalen (metaalnijverheid, lassen), brandbestrijding (brandweer) en bodem (wegenwerken, bouw, landbouw, natuurbeheer).

Waarom deze vragen?

We willen ook informatie verzamelen over mogelijke PFAS-blootstelling van de deelnemers via beroep/opleiding zodat we kunnen nagaan of eventuele effecten van geografische variabelen en eten van lokaal geteelde producten relevant blijven als we andere blootstellingswegen (via beroep/opleiding) in rekening brengen.

2.2.2.7 Gebruik van producten

De vragenlijst bevatte ook vragen over de gebruiksfrequentie van producten die PFAS kunnen bevatten zoals: i) spuitbussen of sprays voor het waterdicht maken van tapijten, kleding of schoenen, ii) verf, vernis, lak, beitsmiddel, iii) boenmiddel voor meubels of parket, iv) boen- of smeermiddel voor hobby (paardenzadel, fiets), v) dichtingsproducten, vi) kookpotten of bakvormen met anti-aanbaklaag, vii) voeding uit verpakkingen met water- en vetafstotende laag, viii) waterafstotende kledij, ix) zonnemelk, bodylotion, handcrème – mascara of nagellak.

Waarom deze vragen?

Omwille van hun unieke eigenschappen worden PFAS gebruikt in zeer veel toepassingen en producten waarmee consumenten in contact kunnen komen. De informatie die we met deze vragen bekomen, kan enerzijds inzichten opleveren over bijkomende tips om blootstelling aan PFAS te verminderen. Anderzijds biedt deze informatie ook de mogelijkheid om te onderzoeken of eventuele effecten van geografische variabelen en eten van lokaal geteelde producten relevant blijven als we andere blootstellingswegen (via gebruik van producten) in rekening brengen.

2.2.3 Andere gegevens

De **body mass index of BMI** werd berekend uit de gemeten lengte en gewicht van de deelnemer ($BMI = \text{gewicht (kg)} / (\text{lengte (m)} * \text{lengte (m)})$). BMI werd onderverdeeld in klassen (ondergewicht, gezond gewicht, overgewicht en obesitas) op basis van de groeicurven voor jongens en meisjes tot en met 20 jaar⁵ en op basis van de grenswaarden voor volwassenen (ondergewicht: BMI < 18,5; gezond gewicht: BMI tussen 18,5 en 25; overgewicht: BMI tussen 25 en 30; obesitas: BMI > 30)⁶.

Geografische kenmerken: de positie van het woonadres van de deelnemers in geografische zones van het studiegebied, de afstand (in vogelvlucht) van het woonadres tot de 3M-site en tot de dichtstbijzijnde mogelijke PFAS-bron werden bepaald aan de hand van geografische software (ArcMAP). Als mogelijke PFAS-bronnen werden de 3M-site, de brandweeroefenterreinen, brandweerlocaties en de INDAVER-site (verwerking PFAS-houdend afval) op kaart uitgezet.

2.3 STATISTISCHE ANALYSES

2.3.1 Beschrijvende statistiek van de onderzoeksgroep

Voor continue variabelen werd de mediaan met de P5-P95 range gegeven, voor binaire of categorische variabelen werd de frequentieverdeling over de categorieën gegeven aan de hand van aantal deelnemers en percentage deelnemers.

2.3.2 Beschrijvende statistiek van de PFAS-resultaten

De kwantificatielimiet (LOQ) die door het laboratorium werd doorgegeven, werd gebruikt als limiet om waarden te rapporteren. Voor meetwaarden onder de LOQ werden waarden berekend via random imputaties indien minstens 30% van de meetwaarden boven LOQ lagen (overeenkomstig de methode gehanteerd in HBM4EU). Eerst werd een truncated lognormale distributie door de geobserveerde waarden (namelijk de waarden boven de limiet) gefit. Dit resulteerde in de schatting van het gemiddelde en de standaarddeviatie van de lognormale verdeling van alle metingen (onder en boven de limiet). Voor de metingen onder de limiet werden vervolgens willekeurig waarden geïmputeerd, getrokken tussen 0 en de limiet uit de lognormale verdeling met het geschatte gemiddelde en standaarddeviatie. Voor de descriptieve statistieken en verdere statistische verwerking (regressiemodellen) werd voor blootstellingsmerkers met minder dan 60% van de meetwaarden boven de LOQ een categorisch variabele aangemaakt.

Voor de continue blootstellingsmerkers worden volgende gegevens gerapporteerd: steekproefgrootte of totaal aantal deelnemers (n), percentage deelnemers met meetwaarden boven de kwantificatielimiet (LOQ), geometrisch gemiddelde met 95% betrouwbaarheidsinterval (BI), percentielen (P5, P10, P25, P50, P75, P90, P95). Het geometrisch gemiddelde wordt verkregen na terugtransformatie van de gemiddelden van de natuurlijke logaritmische getransformeerde data. Voor elk van deze statistieken wordt ook het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven. Voor de percentielen werd gekozen voor distributie-vrije (m.a.w. niet-parametrische) betrouwbaarheidsintervallen. Voor de categorische variabelen wordt de steekproefgrootte en het percentage deelnemers in de relevante percentielen gerapporteerd.

⁵ www.vub.be/groeicurven/groeicurven.html

⁶ <https://www.gezondleven.be/themas/voeding/obesitas-en-overgewicht/body-mass-index-bmi>

De resultaten werden weergegeven voor alle beschouwde PFAS-componenten afzonderlijk en voor de som-parameter waarvoor de EFSA-toetsingswaarde van toepassing is (som van PFOA+PFNA+PFHxS+PFOS) en werden opgesplitst (gestratificeerd) per leeftijdscategorie, per geslacht en hoogste opleidingsniveau van het huishouden.

Indien er minder dan 20 deelnemers in een stratificatieniveau zijn, werden de percentielen niet gerapporteerd en werd enkel het geometrisch gemiddelde en het betrouwbaarheidsinterval gegeven. Indien een percentiel onder de LOQ ligt, staat in de tabel '<LOQ' voor dit percentiel en werd ook geen betrouwbaarheidsinterval gegeven. Voor percentielen boven de LOQ met de ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval onder de LOQ, werd voor deze ondergrens '<LOQ' weergegeven.

Voor iedere PFAS-component waarvoor een toetsingswaarde in serum beschikbaar is, werd de proportie deelnemers boven/onder de toetsingswaarde berekend. Voor de vergelijking van de somparameter met de EFSA-toetsingswaarde werd er voor elke PFAS-component die deel uitmaakt van de som naast de variabele met de geïmputeerde waarden voor observaties <LOQ ook een variabele aangemaakt waarbij de observaties <LOQ op nul werden gezet (lower bound) en een variabele waarbij de observaties <LOQ op de LOQ werden gezet (upper bound). Door ook deze variabelen te vergelijken met de toetsingswaarden wordt inzicht verworven in het minimaal en maximaal aandeel deelnemers met meetwaarden boven de toetsingswaarden.

2.3.3 Regressie-analyses

Om determinanten van blootstelling te identificeren die een significante associatie vertonen met de gemeten PFAS-gehalten in serum werden meervoudige regressie analyses uitgevoerd. Meervoudige regressie technieken bieden de mogelijkheid om het effect van één onafhankelijke variabele op een afhankelijke variabele Y (=PFAS-componenten) te bestuderen, terwijl men de andere variabelen gefixeerd (constant) houdt. De algemene vergelijking voor de meervoudige regressie luidt:

$$E(Y_x) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad \text{voor lineaire regressie}$$

$$\log(p(\text{score} \leq j)/(1 - p(\text{score} \leq j))) = \alpha_j - \beta x \quad \text{voor ordinale regressie}$$

$$\log(p/(1 - p)) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad \text{voor logistische regressie}$$

β_1 geeft het effect van X_1 op Y (op p indien logistische regressie), na correctie voor X_2 en X_3 .

Om tot robuuste conclusies te kunnen komen, gebaseerd op betrouwbare meetgegevens, werden meervoudige lineaire regressiemodellen opgebouwd voor alle continue PFAS-componenten met minstens 60% meetwaarden boven de LOQ. Bij minder dan 60% meetwaarden boven de LOQ werd de PFAS-component categorisch gemaakt en werd een meervoudige (ordinale) logistische regressie uitgevoerd. Indien minder dan 10% meetwaarden boven de LOQ liggen, werden enkel enkelvoudige regressies uitgevoerd. De continue blootstellingmerkers werden volgens de natuurlijke logaritmische functie getransformeerd. Deze getransformeerde gegevens worden in de regressie modellen als response variabelen (Y) gebruikt. De reden hiervoor is dat de oorspronkelijke gegevens vaak niet normaal verdeeld zijn en dit waarschijnlijk ook zal zorgen voor een niet-normale verdeling van de residuen van het model (wat een assumptie is van een lineaire regressie).

Voor de afhankelijke variabelen (X) maken we hier een onderscheid tussen

- **vaste covariaten:** dit zijn onveranderlijke variabelen die een gekende invloed hebben op inwendige PFAS-gehalten, zoals leeftijd en geslacht van de deelnemers. Deze worden steeds in het regressiemodel opgenomen, ongeacht het significantieniveau.

- **covariaten van variabiliteit:** dit zijn kenmerken van de studiepopulatie die niet lokaal gebonden zijn, die informatie bevatten over de variatie in de studiepopulatie wat de associatie tussen de PFAS-gehalten en de te onderzoeken determinanten kan verstoren (vb. BMI, socio-economische positie (SEP)). Deze worden in het model weerhouden bij $p < 0,05$.
- **determinanten van blootstelling:** dit zijn covariaten die nodig zijn om de onderzoeksvragen met betrekking tot invloed op de PFAS-gehalten in serum te beantwoorden. Deze worden ook enkel in het model weerhouden bij $p < 0,05$.

Indien er geen lineaire relatie was tussen een continue covariaat en de PFAS-componenten, werden de continue covariaten/determinanten categorisch gemaakt op basis van courant gebruikte indelingen (bijv. voor BMI: ondergewicht/gezond gewicht/overgewicht) of op basis van de distributie van de data (bijv. leeftijd: indeling in tertielen op basis van de data in de steekproef).

Er werd ook getest op multicollineariteit of een te sterke samenhang tussen de covariaten. Hiervoor werden tussen de covariaten en determinanten onderling correlatiecoëfficiënten berekend. Variabelen die sterk gecorreleerd zijn ($r \geq 0,80$) werden niet samen in hetzelfde meervoudige regressiemodel opgenomen. Bijkomend werd de variance inflation factor (VIF) bepaald als maat voor collineariteit. Een VIF gelijk aan 1 betekent dat er geen correlatie is tussen een variabele en de andere variabelen in het model. Is VIF tussen 1 en 5 dan kan er sprake zijn van matige correlaties, groter dan 5 is er sprake van ernstige collineariteit en kunnen de resultaten onbetrouwbaar zijn.

Volgend stappenplan wordt toegepast voor de opbouw van de meervoudige modellen:

- **Stap 1 enkelvoudige analyses:** Voor alle covariaten en determinanten van blootstelling werden enkelvoudige regressies gelopen, waarbij telkens maar één onafhankelijke variabele getest wordt. Covariaten van variabiliteit en determinanten van blootstelling werden in een meervoudig regressiemodel opgenomen indien bij de enkelvoudige regressie $p < 0,20$ en waarbij de verandering in PFAS-gehalten in lijn is met de verwachtingen. De enkelvoudige analyses werden uitgevoerd voor de hele groep samen en voor mannen en vrouwen apart.
- **Stap 2 basismodel:** Er werd voor elke PFAS-component een basismodel opgesteld met daarin de vaste covariaten en de significante covariaten van variabiliteit (met uitzondering van de SEP-variabelen). Hieraan werden de geografische variabelen toegevoegd waarvan $p < 0,05$ in het meervoudige model. Dit werd beschouwd als het basismodel.
- **Stap 3 determinantenmodel:** Per groep van determinanten van blootstelling werden de determinanten van blootstelling van de betreffende groep telkens één voor één aan het basismodel toegevoegd. De determinanten van blootstelling werden in het model weerhouden indien $p < 0,05$. Daarna werden ook de socio-economische variabelen aan het model toegevoegd om na te gaan of deze nog bijkomende variatie in de PFAS-serumwaarden konden verklaren. Socio-economische variabelen hebben op zich geen invloed op de PFAS-gehalten, maar weerspiegelen een geheel van levensstijlfactoren en gedragsvariabelen, die ook determinanten voor de onderzoeksvragen kunnen omvatten. Om die reden worden de deze variabelen pas als laatste toegevoegd.
- **Stap 4 finaal model:** als laatste stap werd een finaal model gemaakt met alle significante determinanten ($p < 0,05$) samen in het model. Dit model bevat dan de determinanten die het meest bijdragen tot het verklaren van de waargenomen variantie in PFAS-serumwaarden in de onderzoeksgroep. Determinanten die niet weerhouden werden met $p < 0,05$ mogen niet als onbelangrijk beschouwd worden. Deze kunnen ook bijdragen tot de spreiding aan PFAS-gehalten, maar in minder sterke mate dan de determinanten die wel weerhouden werden. De verklarende capaciteit van het finale model wordt weergegeven met de R^2 -waarde.

3 RESULTATEN

3.1 BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOEKSPOPULATIE

3.1.1 Respons

Van de 948 kandidaat-deelnemers die zich aanmeldden, werden in totaal 838 personen geselecteerd voor het onderzoek (onmiddellijk bij aanmelding, of later via email na aanspreken van de wachtlijst). Meer specifiek werd er voor elk adres waarvoor er een valide aanmelding was, minstens één iemand geselecteerd voor deelname aan de studie. Van de 838 geselecteerden maakten 34 personen geen afspraak, ondanks extra contact name via email of telefoon, en 804 deelnemers wel. De voornaamste redenen waren: 'geen interesse meer' en 'niet beschikbaar op de geplande onderzoeksmomenten'. Van de 804 deelnemers die effectief een afspraak maakten, annuleerden 2 deelnemers hun afspraak zonder een nieuwe afspraak in te boeken, en kwamen 6 deelnemers niet opdagen. Dit resulteert in een totale studiegroep van 796 deelnemers. Omwille van de noodzaak tot bijstelling van de voorwaarden tijdens de aanmeldingsperiode (zie hoofdstuk 2.1.3), zijn de werkelijke aantallen per zone verschillend van de nagestreefde aantallen per zone (zie Tabel 5).

Tabel 5 Nagestreefde ten opzichte van werkelijke aantallen per zone en leeftijdsgroep

Zone	Nagestreefde aantallen	Werkelijke aantallen
	Straal <1,5 km	
Noord-Zwijndrecht	400	224
	Straal tussen 1,5 km en 3 km	
Melsele	28	25
Zuid - Zwijndrecht	313	506
Linkeroever	59	41

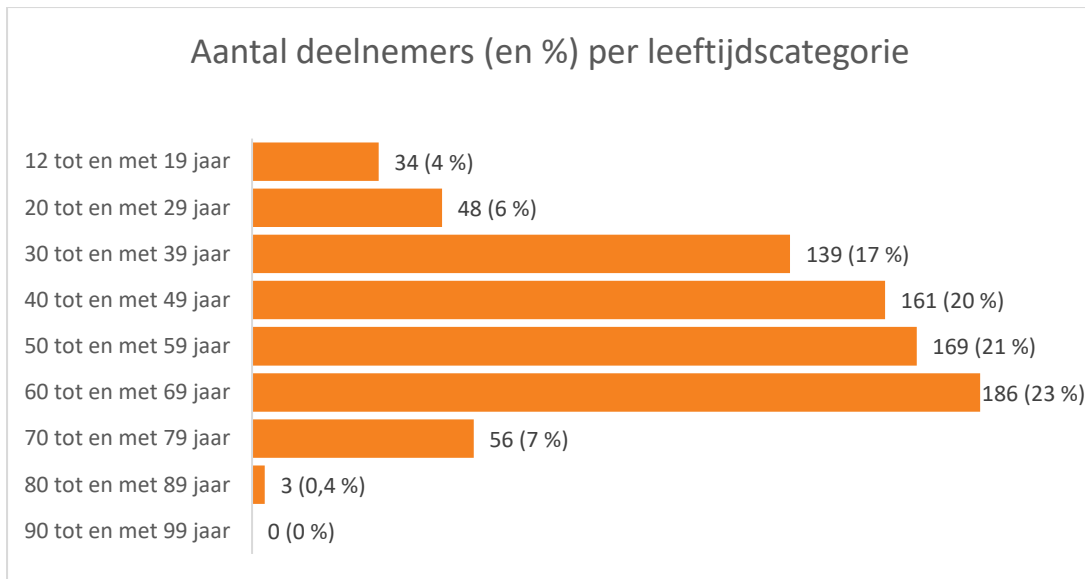
3.1.2 Karakteristieken van de onderzoeksgroep

De gegevens verzameld met de vragenlijsten laten toe om de kenmerken van de onderzoeksgroep in kaart te brengen. De onderzoeksgroep bestaat in totaal uit **796 deelnemers**. Een volledig overzicht van deze kenmerken is te vinden in bijlage 2.

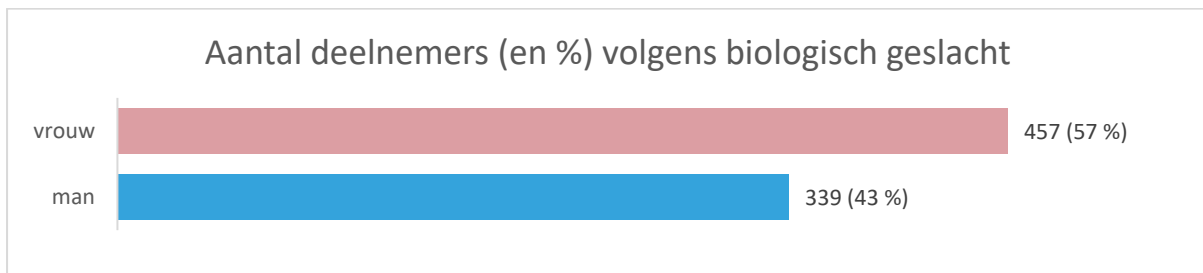
Demografische kenmerken

De onderzoeksgroep bestaat vooral uit een middelbare en oudere leeftijd (Figuur 2). De meerderheid van de deelnemers (64%) behoort tot de leeftijdsgroep 40-69 jaar. De laagste deelnemersaantallen komen voor in de groepen 80+, 12-19 jaar, 20-29 jaar en 70-79 jaar. De onderzoeksgroep omvat iets meer vrouwen (57%) dan mannen (43%) (Figuur 3).

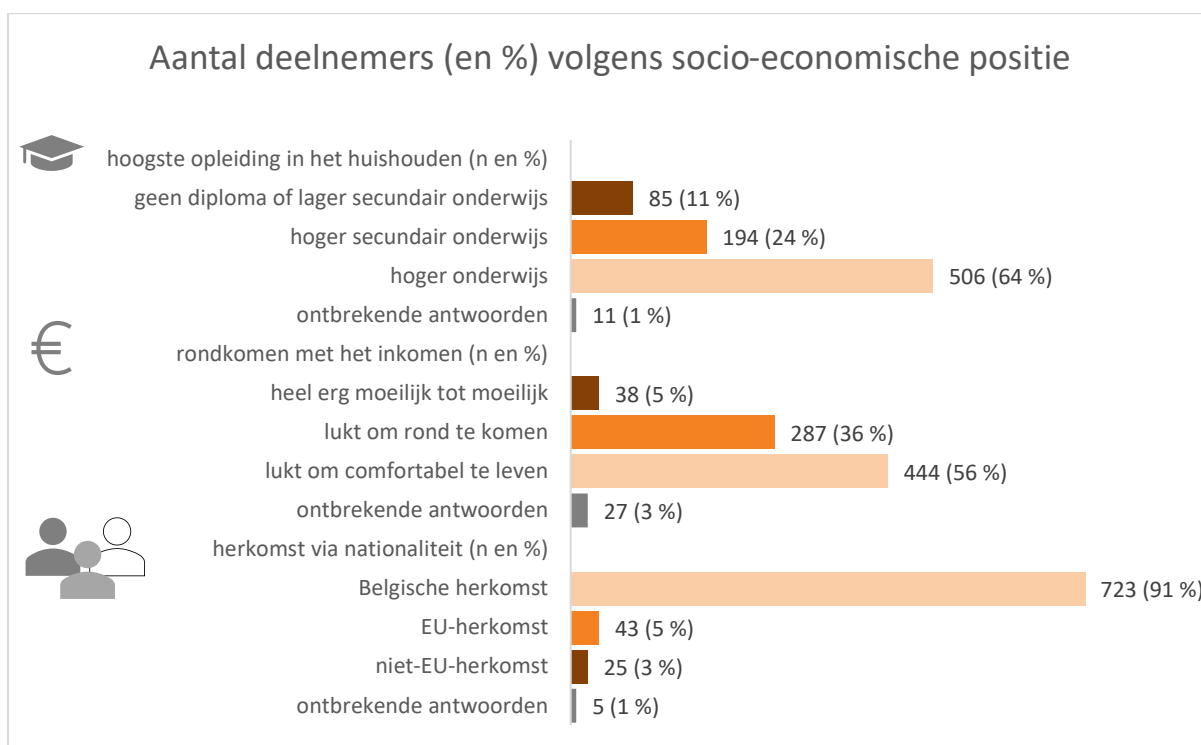
De meerderheid van de deelnemers heeft een gezinssituatie met als hoogste opleiding een diploma van hoger onderwijs of universiteit (64%), kan comfortabel leven met het beschikbare inkomen (56%) en is van Belgische herkomst (91%) (Figuur 4). De sociaal kwetsbare groepen zijn minder goed vertegenwoordigd in de onderzoeksgroep.



Figuur 2: Aantal deelnemers (en %) per leeftijdscategorie.



Figuur 3: Aantal deelnemers (en %) volgens biologisch geslacht.



Figuur 4: Aantal deelnemers (en %) volgens drie factoren van socio-economische positie: hoogste opleiding in het huishouden, rondkomen met het inkomen en herkomst via geboortenationaliteit.

Enkele demografische kenmerken zoals leeftjidsverdeling, verdeling over mannen en vrouwen en enkele socio-economische kenmerken zijn tevens beschikbaar op gemeenteniveau. Door voor deze kenmerken de verdeling in de onderzoeksgroep te vergelijken met de verdeling op gemeenteniveau, verkrijgen we informatie over de representativiteit van de onderzoeksgroep. Hierbij dient wel worden opgemerkt dat deze studie niet tot doel had om een onderzoeksgroep die representatief is voor de bevolking te rekruteren. Omdat de meerderheid van de deelnemers afkomstig is uit de gemeente Zwijndrecht, wordt in Tabel 6 voor enkele demografische kenmerken een vergelijking gemaakt tussen de onderzoeksgroep en de cijfers voor de gemeente Zwijndrecht. Hierbij kunnen we vaststellen dat:

- Er in de onderzoeksgroep een oververtegenwoordiging is van de leeftijdsgroep 40-59 jaar en van 60-79 jaar, gepaard met een ondervertegenwoordiging van de leeftijdsgroep 0-19 jaar en 80+ in vergelijking met de leeftjidsverdeling van de inwoners in de gemeente Zwijndrecht.
- Er in de onderzoeksgroep een oververtegenwoordiging is van mensen die comfortabel rondkomen met het inkomen en een ondervertegenwoordiging van mensen die zeer moeilijk en moeilijk rondkomen met het beschikbare gezinsinkomen, vergeleken met de situatie in de gemeente Zwijndrecht.
- Er in de onderzoeksgroep een ondervertegenwoordiging is van mensen met buitenlandse herkomst, vergeleken met de verdeling in de gemeente Zwijndrecht.

Tabel 6: Vergelijking van de verdeling in de onderzoeksgroep met de verdeling in de gemeente Zwijndrecht voor enkele demografische kenmerken.

	Onderzoeksgroep	Gemeente Zwijndrecht (cijfers 2020) ¹
leeftijd		(Cijfers 2020) ¹
12-19 jaar	34 (4 %)*	22,0 % (0-19 jaar)
20-39 jaar	187 (24 %)	22,8 %
40-59 jaar	330 (42 %)	26,7%
60-79 jaar	242 (30 %)	22,3%
80 jaar en ouder	3 (0,4 %)	6,2 %
Geslacht		(Cijfers 2021) ²
man	339 (43 %)	49 %
vrouw	457 (57 %)	51 %
rondkomen met het inkomen (n en %)		(Cijfers 2020) ¹
heel erg moeilijk tot moeilijk	38 (5 %)	13 %
lukt om rond te komen	287 (36 %)	38 %
lukt om comfortabel te leven	444 (56 %)	49 %
<i>ontbrekende antwoorden</i>	27 (3 %)	
herkomst via nationaliteit (n en %)		(Cijfers 2020) ¹
Belgische herkomst	723 (91 %)	75,1 %
buitenlandse herkomst	68 (9 %)	24,9 %
<i>ontbrekende antwoorden</i>	5 (0,6 %)	

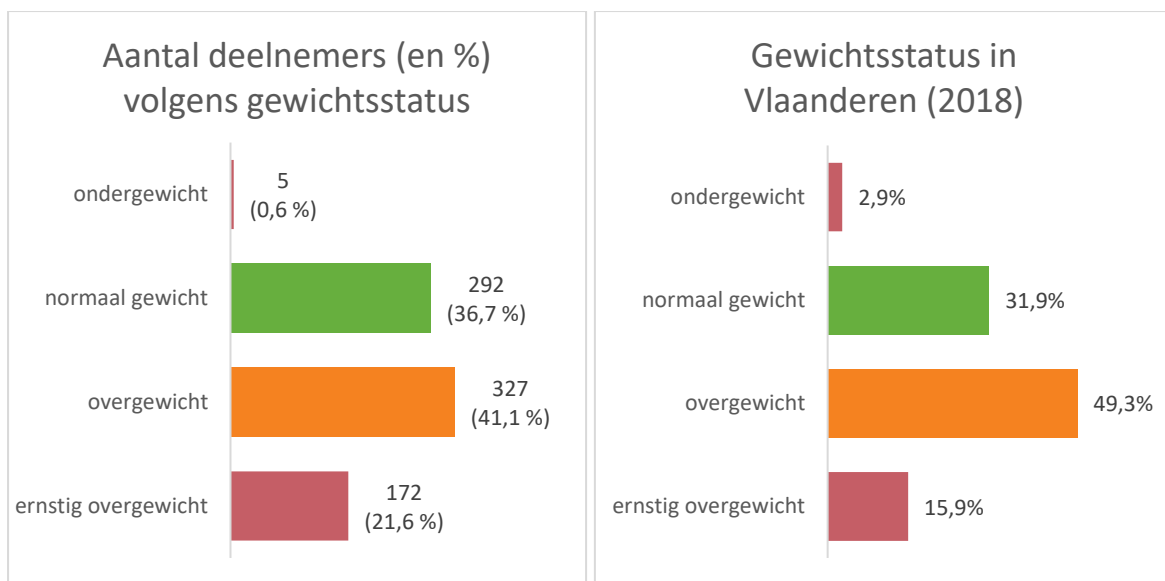
¹ Bron: Gemeente-Stadsmonitor. Jouw gemeentescan. Zwijndrecht. 2 juli 2021.; ² Bron: Statbel <https://statbel.fgov.be/nl/themas/bevolking/structuur-van-de-bevolking#figures>; * leeftijdsgroep 12-19 jaar niet vergelijkbaar met de beschikbare gemeentelijke cijfers in de gemeentemonitor.

Persoonlijke kenmerken

De meerderheid van de deelnemers kampt met overgewicht (63%) (Figuur 5), bij 22% is dit ernstig overgewicht of obesitas. Dit percentage ligt iets hoger dan in Vlaanderen waar volgens de Nationale Gezondheidsenquête van 2018 bijna 16% kampt met ernstig overgewicht. Anderzijds zijn er in deze onderzoeksgroep ook iets meer deelnemers met een normale gewichtsstatus (37%) dan gemiddeld in Vlaanderen (32%). Hierbij dient wel te worden vermeld dat de BMI-cijfers in de onderzoeksgroep afkomstig zijn van de gemeten lengte en gewicht (met kleding) van de deelnemers en de BMI-cijfers voor Vlaanderen afkomstig zijn van bevroegde lengte en gewicht.

43,5% van de deelnemers is zelf eerste kind van de biologische ouders.

Zwangere vrouwen en vrouwen die borstvoeding geven worden beschouwd als kwetsbare groepen voor blootstelling aan PFAS en kregen voorrang om zich in te schrijven voor het bloedonderzoek. Van alle vrouwelijke deelnemers was 2% zwanger op het moment van de bloedafname en gaf 4% borstvoeding. Van de vrouwelijke deelnemers heeft 48% nog steeds een menstruele cyclus, 46% is in menopauze en 5% heeft nog geen menstruatie of heeft tijdelijk geen menstruatie door zwangerschap of borstvoeding (zie bijlage 2).

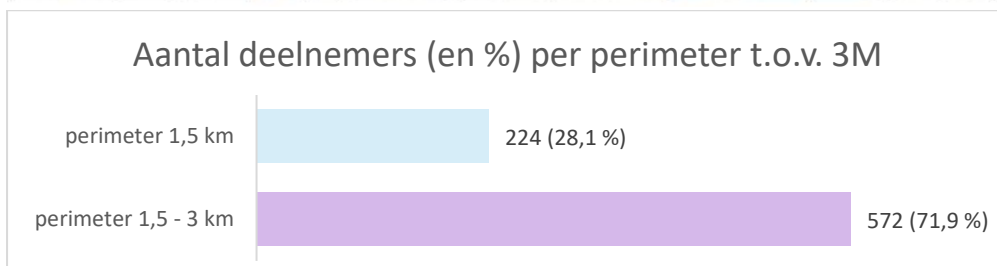
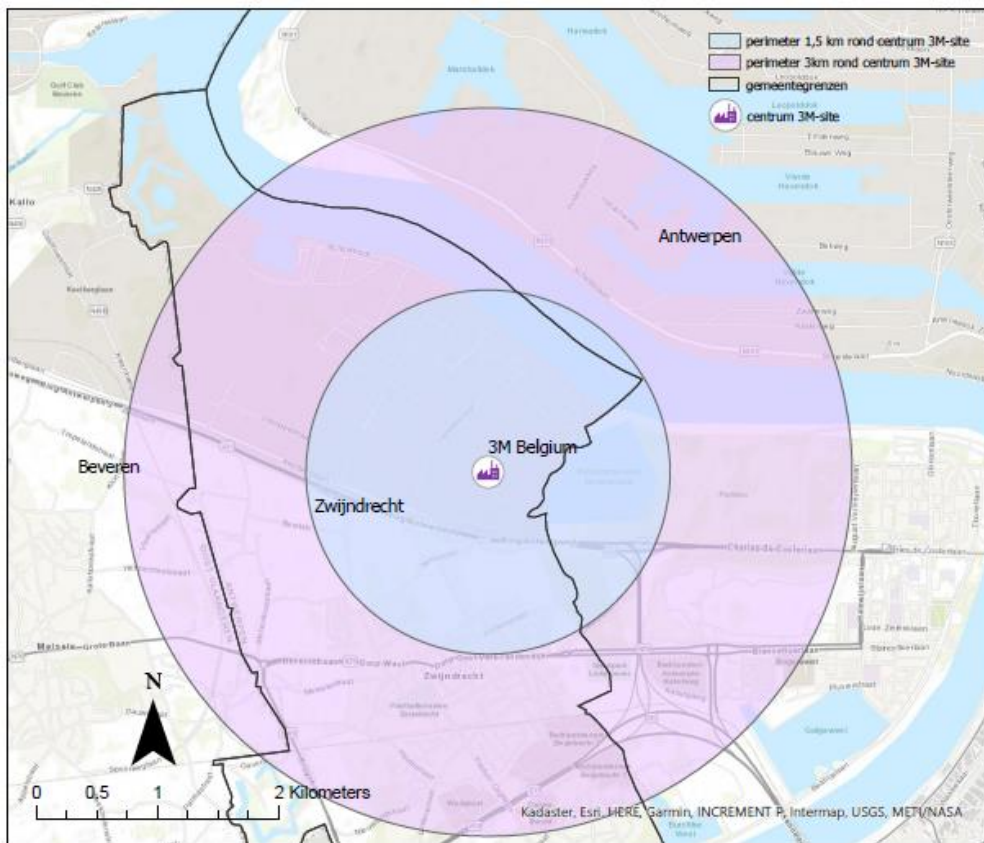


Figuur 5: Aantal deelnemers (en %) volgens gewichtstatus op basis van de Body Mass Index (BMI), vergeleken met de situatie in Vlaanderen in 2018 (bron: Nationale Gezondheidsenquête, WIV 2018⁷).

Geografische kenmerken

Wat betreft afstand van de woning van de deelnemers tot het centrum van de 3M-site bedraagt de mediaan 1,8 km (zie bijlage 2). Ongeveer een derde van de deelnemers (28%) woont binnen de perimeter van 1,5 km rond het centrum van de 3M-site (Figuur 6). Tussen 1,5 km en 3 km woont de meerderheid van de deelnemers in Zwijndrecht (64%) en kleinere aantallen deelnemers in Beveren-Melsele (3%) en in Antwerpen Linkeroever (5%). Alle deelnemers wonen ten zuiden van 3M, met 37% ten zuidoosten en 63% ten zuidwesten van 3M (zie bijlage 2). Ten noorden van 3M ligt er geen woongebied binnen de vooropgestelde perimeter.

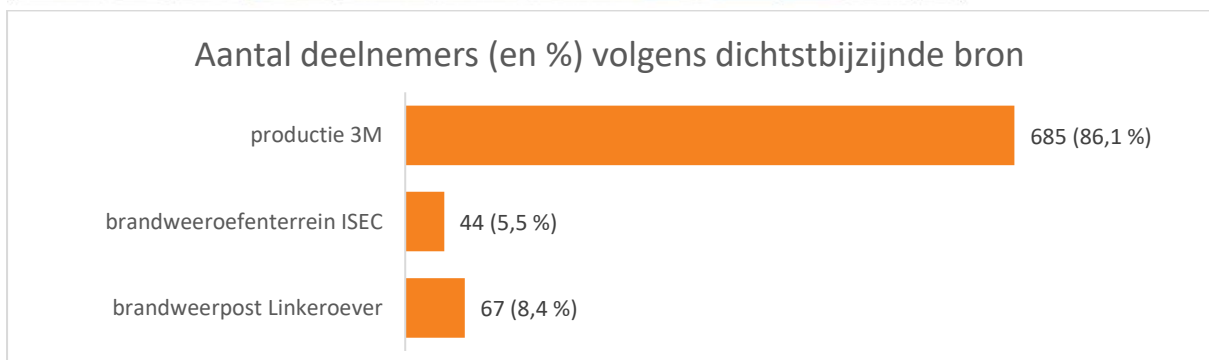
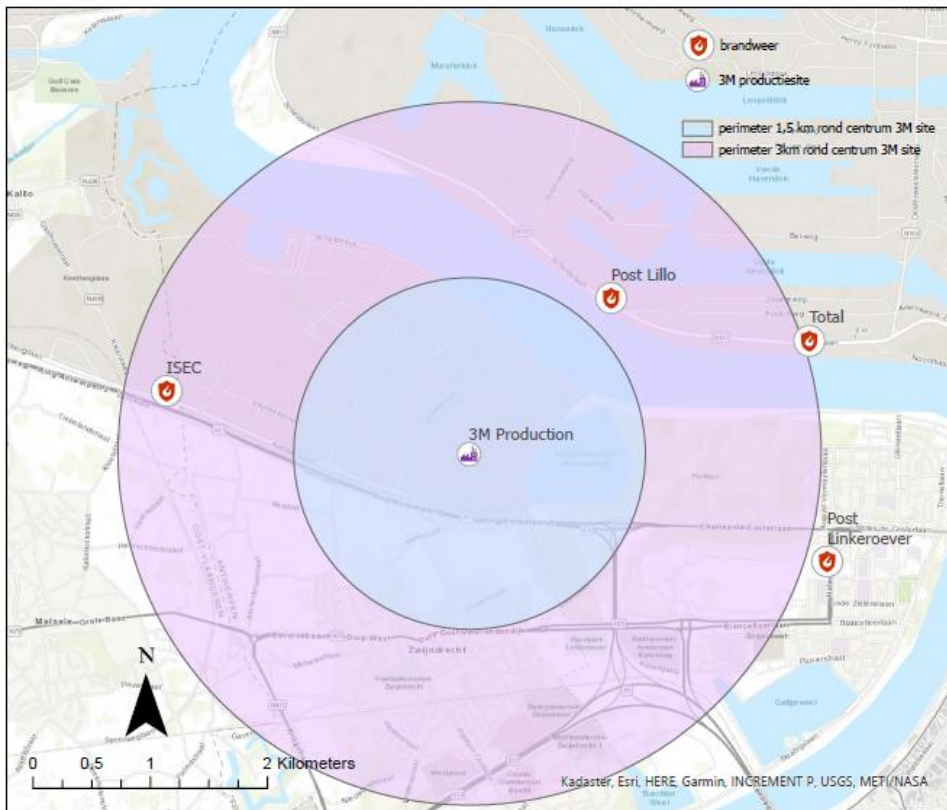
⁷ [Gezondheidsenquête - Rapporten \(wiv-isp.be\)](http://Gezondheidsenquête - Rapporten (wiv-isp.be))



Figuur 6: Geografische weergave van de perimeter 1,5 km en de perimeter 1,5 – 3 km rond de 3M site, met aantal (en %) deelnemers per perimeter.

Voor de meeste deelnemers is de productiesite van 3M de dichtstbijzijnde PFAS-bron (86%) (Figuur 7). Voor een beperkt aantal deelnemers is de dichtstbijzijnde mogelijke PFAS-bron het brandweeroefenterrein van ISEC (6%) of de brandweerpost van Linkeroever (8%). Op de locaties van de brandweerposten zelf wordt niet noodzakelijk ook blusschuim gebruikt.

De helft van de deelnemers woont reeds 30 jaar of meer in het studiegebied, 7% van de deelnemers woont minder dan 5 jaar in het studiegebied (zie bijlage 2).

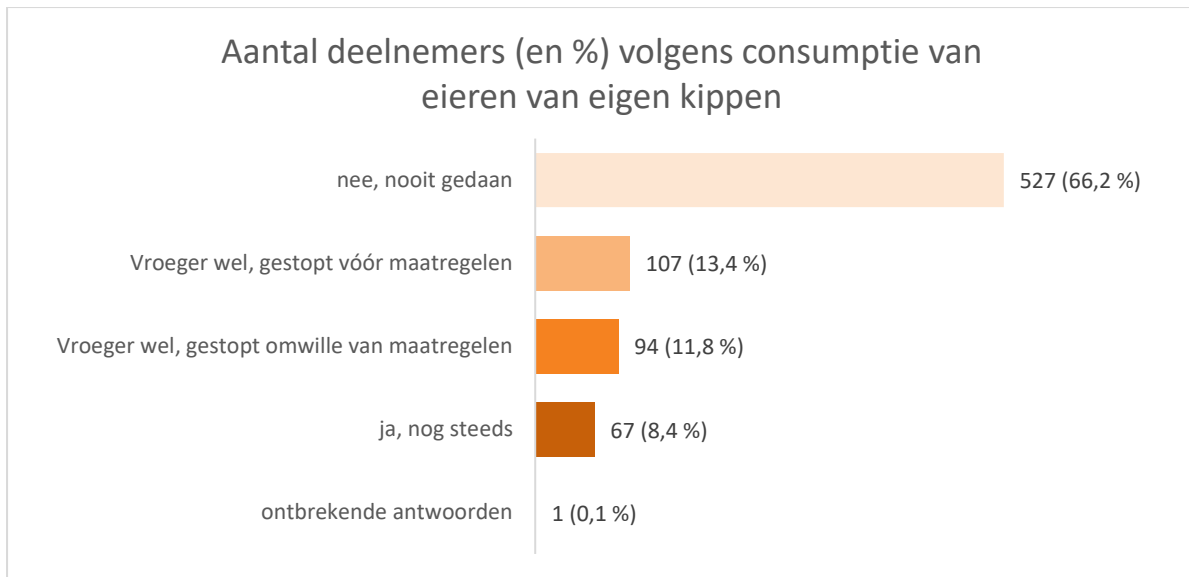


Figuur 7: Geografische voorstelling van mogelijke PFAS-bronnen in de buurt van het studiegebied met aanduiding van het aantal deelnemers (en %) volgens de dichtstbijzijnde bron t.o.v. het woonadres van de deelnemers.

Consumptie van lokaal geteelde voeding

→ Voeding van eigen teelt

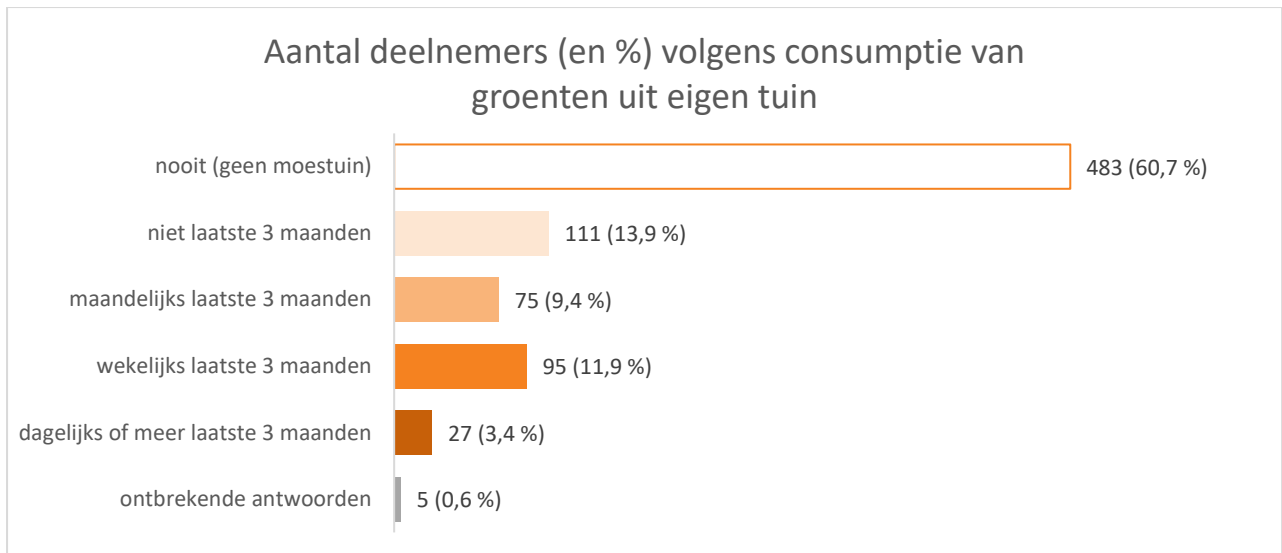
De meerderheid van de deelnemers heeft nooit **eieren van eigen kippen** gegeten (66%). Een minderheid eet nog steeds eieren van eigen kippen (8%), 13% was reeds gestopt met eten van eieren van eigen kippen voor afkondiging van de no-regret maatregelen en 12% is gestopt omwille van de no-regret maatregelen.



Figuur 8: Aantal deelnemers (en %) volgens consumptie van eieren van eigen kippen.

Ongeveer twee derde van de deelnemers (61%) heeft geen **moestuin**. De deelnemers met een moestuin telen meestal in volle grond (30%) en in mindere mate in plantenvakken (9%).

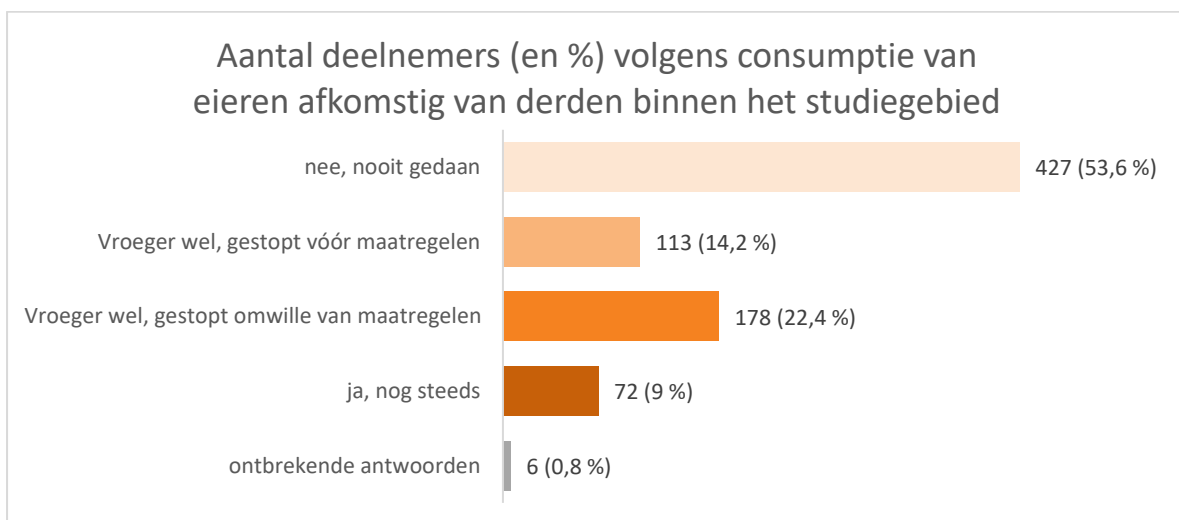
Consumptie van **groenten uit eigen tuin** werd bevestigd voor de afgelopen 3 maanden voor de bloedafname. Door de combinatie te maken met de deelnemers die geen moestuin bezitten, konden ook deelnemers geïdentificeerd worden die nooit groenten uit eigen tuin eten. Wekelijks of dagelijks geconsumeerde producten uit eigen tuin tijdens die drie maanden waren klein fruit (13%, zoals aardbeien of bessen), boomgaardfruit (5%, zoals appels, peren, kersen), aardappelen (7%), sla (9%) en andere bladgroenten (7,5%), tomaten (10%), komkommers (6%) en andere vruchtgewassen (7%), bolgewassen (5%; zoals prei of ui), stengelgewassen (2,5%; zoals selder), knolgewassen (4%; zoals wortelen en radijzen) en peulvruchten (4%; zoals prinsessenbonen, snijbonen of tuinbonen). Er werd niet gevraagd naar consumptie van verse producten uit de tuin of ingevroren producten uit de tuin. De percentages van deelnemers die deze producten uit eigen tuin eten zijn laag en zijn hoogstwaarschijnlijk een onderschatting. Dit is enerzijds te wijten aan het koude voorjaar waardoor groenten en fruit een achterstand in de groei kenden en anderzijds omdat er enkel gevraagd werd naar consumptie van de voorbije 3 maanden en alle deelnemers in hetzelfde seizoen bevestigd werden. Het navolgen van de no-regret maatregelen kan een bijkomende reden zijn dat er minder uit eigen tuin werd geconsumeerd. Er is echter wel voldoende variatie in de antwoorden om deze gegevens verder op te nemen in de statistische verwerking. Bij de interpretatie van de resultaten moet dan wel rekening worden gehouden dat consumptie van voeding uit eigen tuin een onderschatting is van de werkelijkheid.



Figuur 9: Aantal deelnemers (en %) volgens consumptiefrequentie van groenten uit eigen tuin 3 maanden voorafgaand aan de bloedafname.

➔ Voeding geteeld door anderen binnen het studiegebied

Er werd ook gevraagd naar consumptie van voeding geteeld door derden in het studiegebied. Hiermee wordt bedoeld voeding gekregen van burens, familie of vrienden of aangekocht bij lokale telers (geen winkels). Op de vraag of eieren afkomstig van derden in het studiegebied geconsumeerd worden, antwoordde 54% van de deelnemers dat ze dit nooit gedaan hebben. Ongeveer een derde van de deelnemers at vroeger wel eieren afkomstig van derden uit het studiegebied, maar 14% was hiermee gestopt voor de no-regret maatregelen en 22% was gestopt omwille van de no-regret maatregelen. Slechts 9% van de deelnemers eet nog steeds eieren afkomstig van derden binnen het studiegebied.



Figuur 10: Aantal deelnemers (en %) volgens consumptie van eieren afkomstig van derden binnen het studiegebied (gekregen van burens, vrienden of familie of gekocht bij particulieren of lokale telers, niet uit de winkel).

De vragen over consumptie van groenten en fruit afkomstig van derden binnen het studiegebied werd ook gesteld voor de periode van 3 maanden voorafgaand aan de bloedafname. Bijna 40% van de deelnemers gaf aan de laatste 3 maanden voor de bloedafname groenten of fruit gegeten te hebben dat werd geteeld door anderen binnen het studiegebied. Wekelijkse of dagelijkse consumptie van deze producten gedurende de laatste 3 maanden werd aangegeven voor klein fruit (17%), boomgaard fruit (9%), aardappelen (11%), sla (5%), andere bladgroenten (3%), kolen (3%), tomaten (6%), komkommers (4%), andere vruchtgroenten (4%), bolgewassen (5%), knolgewassen (4%) en peulvruchten (4%). Ook hier zijn de percentages deelnemers die deze producten consumeren waarschijnlijk een onderschatting van de werkelijkheid, omwille van dezelfde redenen als voor zelfgeteelde groenten en fruit. De bruikbaarheid voor verdere statistische verwerking ligt hier iets lager omdat we geen groep kunnen onderscheiden die nooit lokaal geteelde groenten en fruit at.

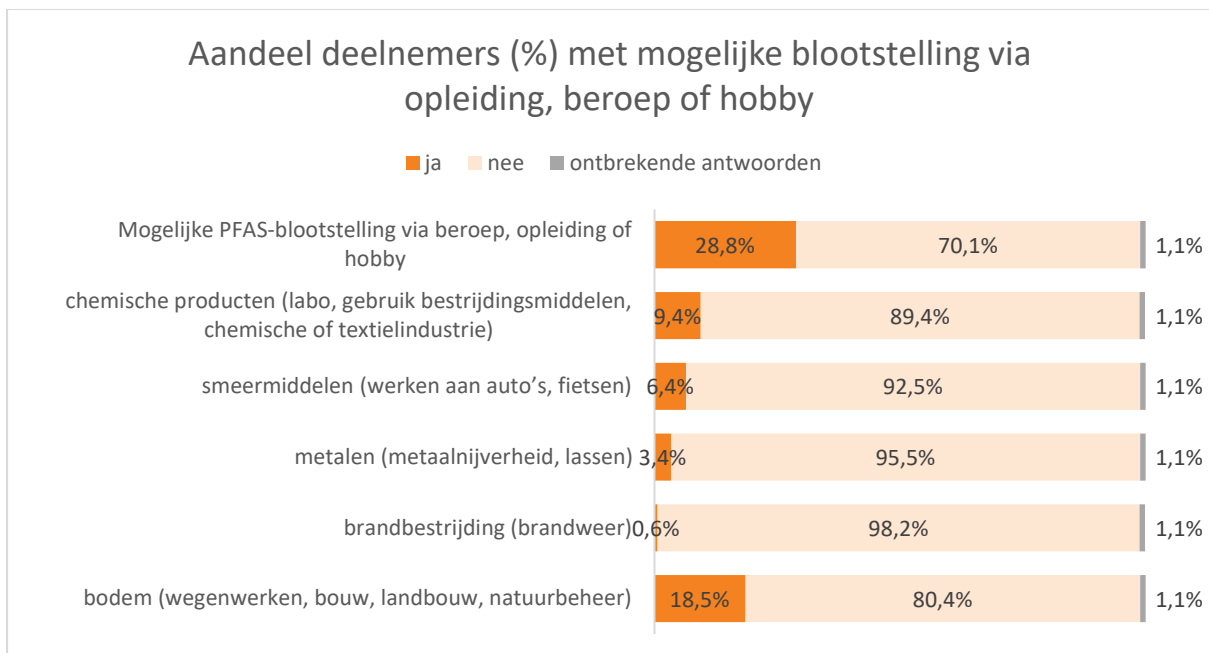
→ **Combinatie lokaal geteelde voeding**

Er werd aan de deelnemers ook gevraagd hoe vaak de geconsumeerde eieren de voorbije 3 maanden afkomstig waren van binnen het studiegebied (hetzij van eigen kippen, hetzij van anderen binnen het studiegebied). Voor 16% van de deelnemers waren de eieren altijd afkomstig van binnen het studiegebied, 59% van de deelnemers aten de voorbije 3 maanden geen eieren afkomstig van binnen het studiegebied.

De antwoorden op de vragen betreffende consumptie van groenten en fruit uit eigen tuin en geteeld door anderen binnen het studiegebied werd samengevoegd, waarbij voor iedere deelnemer de hoogste consumptiefrequentie voor één van beide werd overgenomen. De percentages voor de verschillende consumptiefrequenties zijn terug te vinden in bijlage 2 en zijn vergelijkbaar met de percentages gerapporteerd voor groeten en fruit uit eigen tuin en afkomstig van anderen binnen het studiegebied.

Blootstelling via beroep, opleiding of hobby

Bij 29% van de deelnemers is er mogelijke blootstelling aan PFAS via het beroep, de opleiding of de hobby. De deelnemers hadden de mogelijkheid om één of meerdere types van blootstelling aan te duiden. 9% van de deelnemers gaf aan regelmatig contact te hebben met chemische stoffen (vb. in een laboratorium, gebruik van bestrijdingsmiddelen, in de chemische industrie of in de textielindustrie), 6% met smeermiddelen (vb. bij werken aan fietsen of auto's), 3% met metalen (vb. in metaalnijverheid, lassen), 0,6% met brandbestrijding en 18,5% via bodemdeeltjes (vb. wegenwerken, bouwwerf, landbouw, natuurbeheer).



Figuur 11: Aandeel deelnemers met mogelijke blootstelling aan PFAS via opleiding, beroep of hobby, totaal en per type (chemische producten, smeermiddelen, metalen, brandbestrijding, bodem).

Blootstelling via gebruik van producten

Producten die PFAS kunnen bevatten en waarvan de deelnemers aangaven ze wekelijks of meerdere keren per week te gebruiken zijn kookpotten met antiaanbaklaag (21% wekelijks, 38% meerdere keren per week), voeding uit verpakkingen met water- en/of vetafstotende laag (17% wekelijks of meer), waterafstotende kledij (11% wekelijks en 8% meerdere keren per week), crèmes (zonnemelk, body lotion, handcrème; 14% wekelijks en 32% meerdere keren per week) en mascara of nagellak (6% wekelijks en 19% meerdere keren per week). Andere producten worden slechts af en toe tot wekelijks gebruikt, zoals spuitbussen voor het waterdicht maken van kledij of schoenen (31%), verf, vernis, lak of beitsmiddel (39%), boenmiddel voor meubels of parket (16,5%), boen- of smeermiddel voor hobby zoals paardenzadels of fietskettingen (13%) en dichtingsproducten zoals voegkitten (22%).

WAAR KOMEN ZE VANDAAN?

PFAS WORDEN GEBRUIKT OM VERSCHILLENDE MATERIALEN WATERAFSTOTEND, VETAFSTOTEND OF VUILAFSTOTEND TE MAKEN. DAAROM WORDEN ZE GEBRUIKT IN INDUSTRIËLE TOEPASSINGEN EN CONSUMENTENPRODUCTEN WAAR WE DAGELIJKS MEE IN AANRAKING KUNNEN KOMEN.

JE VINDT PFAS TERUG IN ONDER ANDERE: ANTI-KLEEFPANNEN, KARTONNEN DRINKBEKERS, PIZZADOZEN, SPRAYS OM SCHOENEN WATERAFSTOTEND TE MAKEN, OUTDOOR REGENJASSEN EN TENTEN, PARAPLU'S, VUILAFSTOTENDE COATINGS VOOR TAPIJTEN, ZETELS EN TEXTIEL, BRANDBLUSAPPARATEN, SCHOONMAAKMIDDELEN, COSMETICA, MOBIËLE TELEFOONS, ENZ...

Kenmerken van de tuin

In de vragenlijst geeft 11% van de deelnemers aan in het bezit te zijn van een grondwaterput. Deze is minder dan 10 m diep bij 8% van de deelnemers en 10 m diep of dieper bij 3% van de deelnemers. Alle deelnemers met een grondwaterput maken ook actueel gebruik van het grondwater (11%). Bij 10% van de deelnemers is er contact met putwater via de vaat of poetsen, via gebruik voor persoonlijke hygiëne en via besproeien van de tuin. Bij 1% van de deelnemers wordt het putwater gebruikt als drinkwater of voor het bereiden van koffie, thee of maaltijden.

De meerderheid van de deelnemers heeft geen eigen kippen (80%). De vragenlijst peilde ook naar enkele kenmerken van de kippen. De deelnemers hebben nog niet zo lang kippen: 13% van de deelnemers heeft kippen sinds 5 jaar of minder, 3% heeft kippen tussen 5 en 10 jaar en slechts 3% heeft al meer dan 10 jaar kippen. De leeftijd van de kippen is dan ook redelijk jong: bij 8% van de deelnemers zijn de kippen 2 jaar oud of jonger, eveneens bij 8% zijn de kippen tussen 2 en 4 jaar oud en bij 2% van de deelnemers zijn de kippen ouder dan 4 jaar. De kippen krijgen overwegend aangekochte voeding in combinatie met etensresten of groenten- en tuinafval (16,5%). De kippen worden vooral gevoederd buiten op de bodem (9%), wat contact met bodemdeeltjes in de hand werkt, gevolgd door buiten voederen in een voederbak (7%). Bij een minderheid van de deelnemers (3%) worden de kippen binnen gevoederd. De kippen krijgen meestal leidingwater als drinkwater (11%) en bij sommige deelnemers regenwater of grondwater (7%).

De scharrelruimte is bij 10% van de deelnemers beperkt tot 20 m² of minder. Slechts bij 4% van de deelnemers is de scharrelruimte groter dan 80 m². De scharrelruimte is meestal ook weinig begroeid, bij 12% van de deelnemers is de scharrelruimte ¼ of minder begroeid, waardoor de kippen ook meer in contact komen met bodemdeeltjes. Slechts bij 3% van de deelnemers was de scharrelruimte meer dan ¾^{de} begroeid.

3.2 BLOOTSTELLINGSMERKERS: GEHALTES PFAS IN SERUM

3.2.1 Overzicht van de PFAS-serumgehalten in de onderzoeksgroep

Voor de verschillende PFAS-componenten die in het serum van de deelnemers werden gemeten, worden volgende gegevens gerapporteerd: de steekproefgrootte of totaal aantal deelnemers (n), percentage deelnemers met meetwaarden boven de kwantificatielimiet (LOQ), geometrisch gemiddelde met 95% confidentie-interval (CI), percentielen (P5, P10, P25, P50, P75, P90, P95). Een percentiel is de waarde waaronder x% van de deelnemers valt. Bijvoorbeeld: 25% van de deelnemers heeft een waarde lager of gelijk aan de P25. Bij perfluorcomponenten met minder dan 60% van de deelnemers met waarden boven de kwantificatielimiet worden enkel de beschikbare percentielen gegeven en niet het geometrisch gemiddelde.

Perfluorcomponenten kunnen voorkomen in een lineaire vorm (één lange keten) of in vertakte vorm. Voor de perfluorcomponenten perfluorocetaanzuur (PFOA), perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) en perfluorocetaan-sulfonzuur (PFOS) worden zowel de lineaire vormen gerapporteerd als de combinatie van lineaire + vertakte vormen. Voor de overige gemeten perfluorcomponenten kon het onderscheid tussen lineaire en vertakte vormen niet gemaakt worden.

Wat is het verschil tussen lineaire en vertakte vormen van PFAS?

Bronnen: Vroeger werden PFAS vooral geproduceerd via electrochemische fluorinatie, wat resulteerde in 70-80% van de gewenste lineaire vormen voor PFOS, 80-85% voor PFOA en 95% voor PFHxS. De rest bestond uit vertakte vormen van PFOS, PFOA en PFHxS. Later werd deze techniek vervangen door telomerisatie, wat zorgde voor 100% van de gewenste lineaire vormen. Ook PFOS-precursoren, zoals perfluorooctaansulfonamides (PFOSA) degraderen tot vertakte PFOS-vormen.

Voorkomen in de mens: In humaan serum zou een sterkere opstapeling van vertakte vormen optreden dan van de lineaire vormen. Bij vergelijking van serumgehalten tussen verschillende landen worden er geografische verschillen waargenomen in lineair/vertakte profielen. Deze kunnen te wijten zijn aan verschillen in productieprocessen tussen landen of aan verschillen in eetgewoontes, maar bijkomende onderzoek is hiervoor nodig.

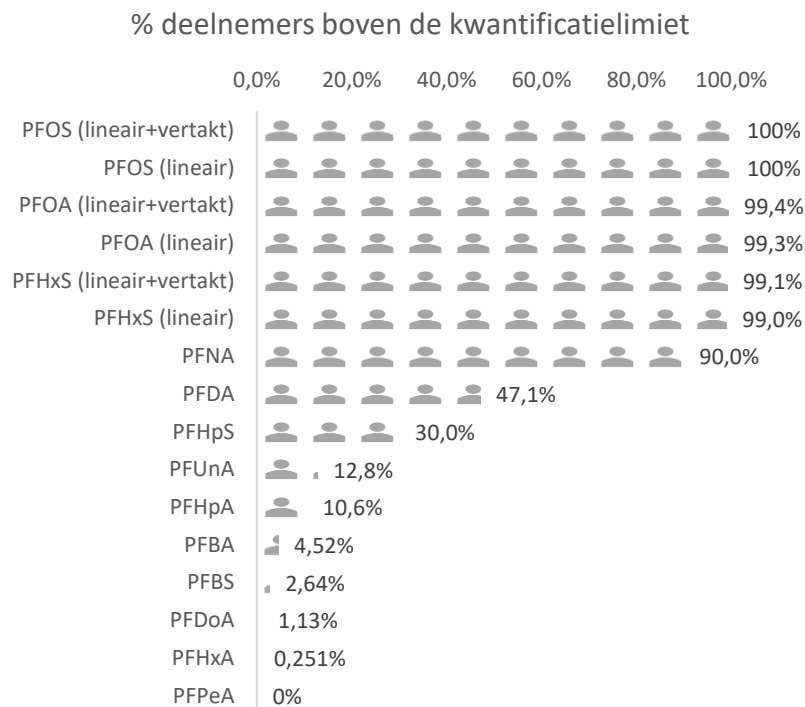
Impact op gezondheid: De vertakte vormen kunnen gemakkelijker doorheen de placenta dan de lineaire vormen en zo het ongebooren kind bereiken. Recent wordt er ook onderzoek gedaan naar verschillen in gezondheidseffecten van lineaire en vertakte PFAS. Deze studies wijzen uit dat de aard van de functionele groep (een zuur zoals in PFOA of een sulfonzuur zoals in PFOS) en het type vertakking een rol kunnen spelen in de waargenomen gezondheidseffecten. Bijkomend onderzoek is nodig om uit te klaren in welke mate de aan- of afwezigheid van vertakkingen in de PFAS-structuren een rol spelen in de gezondheidseffecten.

Bron: Schulz et al. (2020)

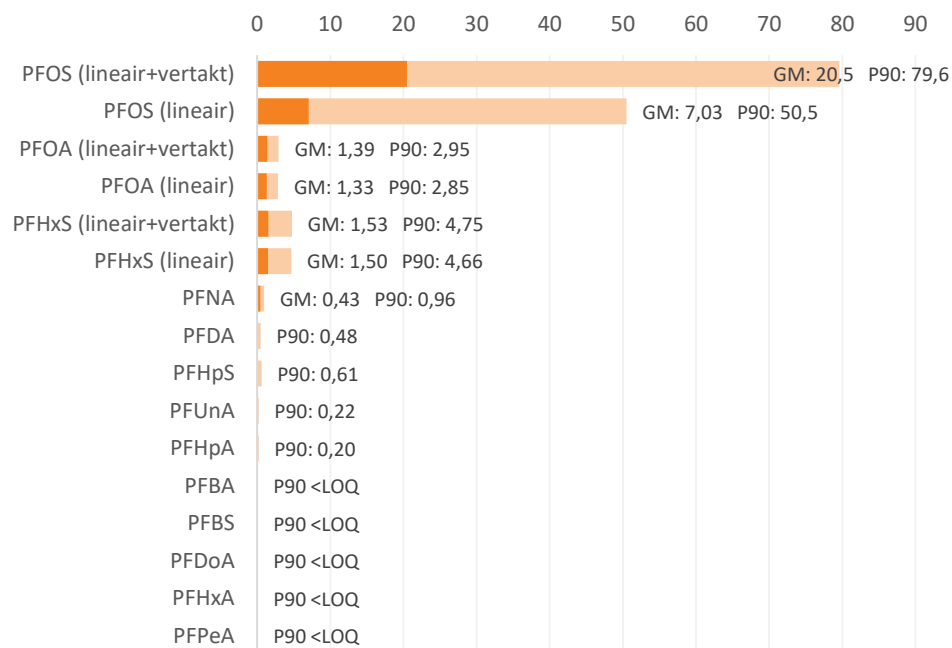
Tabel 7 geeft een overzicht van de spreiding in PFAS-gehalten in de volledige onderzoeksgroep. De coëfficiënt van variatie (CV) geeft informatie over de waargenomen variatie aan PFAS-concentraties in de onderzoeksgroep en kan berekend worden voor alle PFAS-componenten waarvoor een geometrisch gemiddelde beschikbaar was. De CV-resultaten geven aan dat in deze onderzoeksgroep de spreiding het grootst is voor lineair PFOS (CV=339%) en het kleinst voor PFNA (CV= 66%). Figuur 12 (linkse figuur) visualiseert het percentage deelnemers met meetwaarden boven de kwantificatielimiet voor de verschillende PFAS die in het serum van de deelnemers gemeten werden.

- **Vaak waargenomen:** De meest voorkomende PFAS zijn PFOS, PFHxS, PFOA en perfluornonaanzuur (PFNA). Enkel PFOS kon in alle deelnemers boven de kwantificatielimiet worden waargenomen, zowel de lineaire vorm als de lineair + vertakte vormen. Op enkele uitzonderingen na, konden ook bij bijna alle deelnemers (bij 99%) gehalten aan PFOA en PFHxS boven de kwantificatielimiet worden waargenomen. Bij 90% van de deelnemers werden PFNA-gehalten waargenomen boven de kwantificatielimiet.
- **Matig waargenomen:** Matig aanwezig waren PFDA (bij 47% van de deelnemers) en PFHpS (30% van de deelnemers).
- **Weinig waargenomen:** Bij een beperkt aantal deelnemers werden kwantificeerbare gehalten aangetroffen van PFUnA (12,8%), PFHpA (10,5%), PFBS (2,6%), PFBA (2,5%), PFDaA (1,1%) en PFHxA (0,3%).
- **Niet waargenomen:** PFPeA was bij geen enkele deelnemer uit de onderzoeksgroep kwantificeerbaar.

Het geometrisch gemiddelde en het 90^{ste} percentiel (10% van de deelnemers heeft een hogere waarde) zijn ook visueel weergegeven in Figuur 12 (rechtse figuur). De blootstelling wordt vooral gedomineerd door PFOS, waarbij er ook een aanzienlijke bijdrage is van vertakte PFOS-vormen.



Geometrisch gemiddelde (donker oranje) en P90 (licht oranje) in $\mu\text{g/L}$ voor de onderzoeksgroep rond 3M in Zwijndrecht, n=796, 12-89j



Figuur 12: Percentage deelnemers met meetwaarden boven de kwantificatielimiet (links) en concentraties in $\mu\text{g/L}$ (rechts, geometrisch gemiddelde (GM) en 90^{ste} percentiel (P90)) voor de verschillende gemeten PFAS in serum van 796 deelnemers (12-89 jaar) binnen 3 km rond 3M in Zwijndrecht.

In Tabel 8 tot en met Tabel 23 is de beschrijvende statistiek weergegeven voor elke van de gemeten perfluorcomponenten apart. De tabellen bevatten de spreiding van de meetwaarden voor de totale groep, alsook per biologisch geslacht, per leeftijdsgroep en volgens de hoogste opleiding in het huishouden.

Uit de resultaten voor PFOS, PFHxS, PFOA, PFNA, PFHpS en PFDA blijkt dat

- Mannen gemiddeld hogere waarden hebben dan vrouwen
- Er hogere gehalten worden waargenomen bij hogere leeftijd
- Deelnemers uit een huishouden waar het hoogste diploma bestaat uit een diploma lager secundair onderwijs of geen diploma gemiddeld hogere gehalten hebben dan deelnemers waarbij het hoogste diploma van het huishouden hoger secundair onderwijs of hoger onderwijs of universiteit is.

Om na te gaan of deze bevinding robuust zijn, worden deze verder bestudeerd met statistische methodes (zie volgend hoofdstuk).

Tabel 7: Overzicht van de PFAS-gehalten in serum bij de totale onderzoeksgroep. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimiet, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval, CV: coëfficiënt van variatie

Biomerker	N	%>LOQ	CV	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
perfluorbutaanzuur (PFBA) in serum (µg/L)	796	4,52 %			<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,223)
perfluorpentaanzuur (PFPeA) in serum (µg/L)	796	0 %		-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
perfluorhexaanzuur (PFHxA) in serum (µg/L)	796	0,25 %		-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
perfluorheptaanzuur (PFHpA) in serum (µg/L)	796	10,6 %		-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,2 (<LOQ-0,28)	0,53 (0,35-0,94)
lineair perfluoroctaanzuur (PFOA) in serum (µg/L)	796	99,3 %	261%	1,33 (1,27-1,39)	0,42 (0,38-0,49)	0,58 (0,53-0,61)	0,90 (0,83-0,95)	1,39 (1,31-1,46)	2 (1,89-2,10)	2,85 (2,72-3,08)	3,54 (3,33-3,81)
lineair + vertakt perfluoroctaanzuur (PFOA) in serum (µg/L)	796	99,4 %	254%	1,39 (1,33-1,46)	0,45 (0,39-0,52)	0,61 (0,57-0,65)	0,95 (0,90-1,03)	1,44 (1,36-1,51)	2,05 (1,97-2,18)	2,95 (2,75-3,22)	3,63 (3,42-3,93)
perfluornonaanzuur (PFNA) in serum (µg/L)	796	90,0 %	66%	0,43 (0,41-0,45)	<LOQ -	<LOQ (<LOQ-0,21)	0,29 (0,27-0,31)	0,43 (0,40-0,45)	0,64 (0,61-0,69)	0,96 (0,89-1,05)	1,16 (1,10-1,27)
perfluordecaanzuur (PFDA) in serum (µg/L)	796	47,1 %		-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,20)	0,30 (0,27-0,32)	0,48 (0,43-0,54)	0,61 (0,58-0,66)
perfluorundecaanzuur (PFUnA) in serum (µg/L)	796	12,8 %		-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,22 (0,20-0,24)	0,26 (0,25-0,28)
perfluordodecaanzuur (PFDoA) in serum (µg/L)	796	1,13 %		-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
perfluorbutaansulfonzuur (PFBS) in serum (µg/L)	796	2,64 %		-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
lineair perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) in serum (µg/L)	796	99,0 %	261%	1,50 (1,40-1,61)	0,33 (0,29-0,37)	0,44 (0,39-0,49)	0,77 (0,71-0,83)	1,46 (1,33-1,57)	2,64 (2,42-2,95)	4,66 (4,08-5,36)	7,57 (6,17-9,52)
	796	99,1 %	259%	1,53	0,34	0,46	0,79	1,47	2,68	4,75	7,73

Biomerker	N	%>LOQ	CV	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
lineair + vertakt perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) in serum (µg/L)				(1,43-1,64)	(0,30-0,38)	(0,41-0,50)	(0,73-0,85)	(1,36-1,58)	(2,44-2,95)	(4,06-5,50)	(6,17-9,53)
perfluorheptaansulfonzuur (PFHpS) in serum (µg/L)	796	30,0 %		-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,24 (0,21-0,28)	0,61 (0,52-0,73)	1,03 (0,84-1,39)
lineair perfluoroctaansulfonzuur (PFOS) in serum (µg/L)	796	100 %	339%	7,03 (6,36-7,77)	1,22 (1,01-1,35)	1,57 (1,49-1,72)	2,59 (2,36-2,88)	5,40 (4,86-6,26)	15,2 (13,0-18,2)	50,5 (41,9-63,2)	87,8 (74,3-120)
lineair + vertakt perfluoroctaansulfonzuur (PFOS) in serum (µg/L)	796	100 %	226%	20,5 (19,9-23,3)	3,76 (3,10-4,43)	5,56 (4,75-6,12)	10,2 (9,48-11,3)	20,4 (18,5-22,1)	43,5 (39,0-47,2)	79,6 (68,9-95,2)	139 (108-185)
Som lineair PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS in serum (µg/L, geïmputeerd)	796		298%	11,5 (10,6-12,4)	2,54 (2,24-2,68)	3,20 (2,81-3,63)	5,02 (4,69-5,49)	9,41 (8,63-10,1)	20,4 (18,0-24,9)	58,1 (48,6-71,9)	96,2 (82,8-135)
Som lineair + vertakt PFOA, PFHxS en PFOS en lineair PFNA in serum (µg/L, geïmputeerd)	796		215%	26,3 (24,3-28,5)	5,91 (5,01-6,65)	7,98 (7,22-8,61)	13,6 (12,6-14,6)	24,0 (22,2-26,2)	48,8 (44,0-53,3)	85,5 (74,5-102)	152 (118-202)

Tabel 8: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluorbutaan zuur (PFBA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het gezin. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluorbutaan zuur (PFBA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ =0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	4,52 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,223)
Geslacht										
man	339	6,19 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,221 (<LOQ-0,390)
vrouw	457	3,28 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,210)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	2,94 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	2,30 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Tussen 50 en 89 jaar	414	6,52 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,23 (<LOQ-0,381)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	3,53 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,734)
hoger secundair onderwijs	194	6,70%	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,28 (<LOQ-0,255) (<LOQ-0,462)
hoger onderwijs of universiteit	506	3,75 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,210)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 9: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluorpentaanzuur (PFPeA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het gezin. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluorpentaanzuur (PFPeA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ =0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Geslacht										
man	339	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
vrouw	457	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	0 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Tussen 50 en 89 jaar	414	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
hoger secundair onderwijs	194	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
hoger onderwijs of universiteit	506	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 10: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluorhexaanzuur (PFHxA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het gezin. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimiet, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluorhexaanzuur (PFHxA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Total	796	0,25 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Geslacht										
man	339	0,29 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
vrouw	457	0,22 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	0 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	0,29 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Tussen 50 en 89 jaar	414	0,24 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	1,18 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
hoger secundair onderwijs	194	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
hoger onderwijs of universiteit	506	0,2 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 11: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluorheptaanzuur (PFHpA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het gezin. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluorheptaanzuur (PFHpA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	10,55 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,2 (<LOQ-0,28)	0,53 (0,35-0,94)
Geslacht										
man	339	12,09 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,28 (<LOQ-0,49)	0,59 (0,48-1,19)
vrouw	457	9,41 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,22)	0,33 (0,25-0,95)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	17,65 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,53)	0,53	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	7,18 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,2)	0,31 (<LOQ-0,92)
Tussen 50 en 89 jaar	414	12,8 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,23 (<LOQ-0,37)	0,58 (0,37-1,08)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	18,82 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,25)	0,35 (0,22-0,85)	0,69 (0,37-1,18)
hoger secundair onderwijs	194	9,79 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,28)	0,33 (0,21-1,54)
hoger onderwijs of universiteit	506	9,68 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,29)	0,53 (0,33-1,19)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 12: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van lineair perfluorooctaanuur (PFOA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het gezin. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

lineair perfluorooctaanuur (PFOA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	99,25 %	1,33 (1,27-1,39)	0,42 (0,38-0,49)	0,58 (0,53-0,61)	0,90 (0,83-0,95)	1,39 (1,31-1,46)	2,00 (1,89-2,10)	2,85 (2,72-3,08)	3,54 (3,33-3,81)
Geslacht										
man	339	99,71 %	1,53 (1,42-1,65)	0,57 (0,43-0,61)	0,66 (0,60-0,76)	1,07 (0,95-1,16)	1,53 (1,44-1,65)	2,14 (1,98-2,36)	3,25 (2,93-3,50)	3,76 (3,47-4,64)
vrouw	457	98,91 %	1,19 (1,12-1,27)	0,37 (0,32-0,43)	0,52 (0,44-0,57)	0,80 (0,73-0,87)	1,25 (1,15-1,36)	1,86 (1,73-2,04)	2,53 (2,32-2,82)	3,22 (2,84-3,72)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	100 %	1 (0,85-1,17)	(a)	0,55 (0,38-0,72)	0,75 (0,55-0,93)	1,03 (0,90-1,2)	1,34 (1,10-1,68)	1,68 (1,48-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	98,85 %	0,99 (0,91-1,07)	0,33 (0,25-0,38)	0,43 (0,38-0,5)	0,68 (0,61-0,73)	1,04 (0,97-1,11)	1,48 (1,35-1,57)	1,92 (1,76-2,15)	2,41 (2,13-2,99)
Tussen 50 en 89 jaar	414	99,52 %	1,73 (1,63-1,84)	0,64 (0,58-0,74)	0,83 (0,74-0,94)	1,26 (1,18-1,39)	1,76 (1,67-1,88)	2,38 (2,24-2,71)	3,36 (3,08-3,65)	4,01 (3,65-4,80)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	100 %	1,64 (1,43-1,87)	0,52 (0,37-0,68)	0,69 (0,50-0,89)	1,14 (0,87-1,30)	1,76 (1,54-2,00)	2,22 (2,05-3,05)	3,68 (2,98-4,87)	4,67 (3,70-5,41)
hoger secundair onderwijs	194	98,97 %	1,31 (1,18-1,46)	0,42 (0,32-0,53)	0,58 (0,45-0,62)	0,83 (0,69-0,99)	1,35 (1,21-1,50)	2,00 (1,76-2,18)	2,84 (2,48-3,46)	3,59 (3,02-4,93)
hoger onderwijs of universiteit	506	99,21 %	1,26 (1,19-1,33)	0,42 (0,34-0,48)	0,57 (0,50-0,61)	0,89 (0,79-0,94)	1,33 (1,23-1,42)	1,83 (1,75-2,00)	2,73 (2,45-2,93)	3,26 (2,97-3,60)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 13: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van lineair+ vertakt perfluorooctaanuur (PFOA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het gezin. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimiet, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

lineair + vertakt perfluorooctaanuur (PFOA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Total	796	99,37 %	1,39 (1,33-1,46)	0,45 (0,39-0,52)	0,61 (0,57-0,65)	0,95 (0,90-1,03)	1,44 (1,36-1,51)	2,05 (1,97-2,18)	2,95 (2,75-3,22)	3,63 (3,42-3,93)
Geslacht										
man	339	99,71 %	1,60 (1,49-1,72)	0,59 (0,43-0,66)	0,70 (0,64-0,82)	1,13 (1,02-1,21)	1,59 (1,48-1,72)	2,21 (2,06-2,49)	3,40 (2,99-3,60)	3,93 (3,59-4,65)
vrouw	457	99,12 %	1,25 (1,18-1,33)	0,38 (0,33-0,46)	0,55 (0,46-0,60)	0,87 (0,76-0,93)	1,32 (1,21-1,42)	1,92 (1,79-2,09)	2,69 (2,42-2,90)	3,37 (2,99-3,79)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	100 %	1,14 (0,97-1,34)	(a)	0,58 (0,40-0,81)	0,91 (0,58-1,09)	1,13 (1,05-1,40)	1,52 (1,33-1,78)	1,78 (1,71-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	99,14 %	1,04 (0,96-1,13)	0,34 (0,27-0,41)	0,45 (0,39-0,53)	0,70 (0,63-0,76)	1,10 (1,02-1,18)	1,52 (1,42-1,67)	2,00 (1,80-2,19)	2,42 (2,16-3,10)
Tussen 50 en 89 jaar	414	99,52 %	1,80 (1,70-1,92)	0,69 (0,60-0,78)	0,87 (0,78-1,02)	1,31 (1,21-1,42)	1,83 (1,72-1,93)	2,51 (2,33-2,73)	3,45 (3,24-3,75)	4,09 (3,75-4,90)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	100 %	1,72 (1,51-1,96)	0,59 (0,40-0,71)	0,71 (0,51-0,93)	1,18 (0,92-1,38)	1,84 (1,57-2,05)	2,55 (2,17-3,22)	3,72 (3,12-4,99)	4,81 (3,74-5,69)
hoger secundair onderwijs	194	98,97 %	1,37 (1,24-1,52)	0,43 (0,33-0,57)	0,60 (0,45-0,64)	0,89 (0,78-1,06)	1,42 (1,26-1,57)	2,11 (1,81-2,23)	2,97 (2,59-3,51)	3,63 (3,15-4,95)
hoger onderwijs of universiteit	506	99,41 %	1,32 (1,25-1,39)	0,43 (0,37-0,52)	0,60 (0,53-0,66)	0,93 (0,87-1,00)	1,36 (1,31-1,48)	1,92 (1,80-2,06)	2,80 (2,50-3,00)	3,42 (3,12-3,64)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 14: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluoronaanzuur (PFNA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het gezin. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluoronaanzuur (PFNA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	89,95 %	0,43 (0,41-0,45)	<LOQ -	<LOQ (<LOQ-0,21)	0,29 (0,27-0,31)	0,43 (0,40-0,45)	0,64 (0,61-0,69)	0,96 (0,89-1,05)	1,16 (1,10-1,27)
Geslacht										
man	339	94,4 %	0,46 (0,43-0,49)	<LOQ (<LOQ-0,21)	0,23 (0,21-0,26)	0,32 (0,30-0,35)	0,46 (0,42-0,49)	0,69 (0,64-0,75)	0,92 (0,87-1,03)	1,12 (1,03-1,32)
vrouw	457	86,65 %	0,41 (0,39-0,43)	<LOQ -	<LOQ -	0,25 (0,24-0,28)	0,39 (0,37-0,43)	0,60 (0,56-0,65)	0,98 (0,86-1,11)	1,22 (1,13-1,41)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	85,29 %	0,32 (0,26-0,38)	(a)	<LOQ (<LOQ-0,22)	0,25 (<LOQ-0,3)	0,34 (0,267-0,38)	0,42 (0,37-0,53)	0,53 (0,43-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	82,18 %	0,32 (0,30-0,34)	<LOQ -	<LOQ -	0,22 (0,20-0,24)	0,32 (0,30-0,34)	0,44 (0,41-0,48)	0,61 (0,56-0,68)	0,70 (0,67-0,88)
Tussen 50 en 89 jaar	414	96,86 %	0,57 (0,53-0,60)	0,23 (<LOQ-0,25)	0,29 (0,25-0,31)	0,40 (0,37-0,43)	0,56 (0,53-0,60)	0,82 (0,76-0,89)	1,13 (1,06-1,22)	1,33 (1,22-1,43)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	94,12 %	0,52 (0,46-0,58)	<LOQ (<LOQ-0,27)	0,27 (<LOQ-0,32)	0,38 (0,31-0,43)	0,53 (0,46-0,59)	0,72 (0,62-0,83)	0,99 (0,82-1,27)	1,25 (1,02-2,32)
hoger secundair onderwijs	194	88,66 %	0,42 (0,39-0,46)	<LOQ -	<LOQ (<LOQ-0,23)	0,29 (0,25-0,33)	0,43 (0,38-0,47)	0,63 (0,54-0,72)	0,94 (0,86-1,21)	1,23 (1,02-1,41)
hoger onderwijs of universiteit	506	89,53 %	0,41 (0,40-0,44)	<LOQ -	<LOQ (<LOQ-0,21)	0,27 (0,25-0,29)	0,40 (0,37-0,43)	0,62 (0,58-0,68)	0,95 (0,86-1,06)	1,14 (1,09-1,28)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 15: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluordecaanzuur (PFDA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het gezin. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluordecaanzuur (PFDA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	47,11 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,30 (0,27-0,32)	0,48 (0,43-0,54)	0,61 (0,58-0,66)
Geslacht										
man	339	46,02 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,29 (0,27-0,33)	0,47 (0,39-0,58)	0,61 (0,55-0,75)
vrouw	457	47,92 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,30 (0,27-0,34)	0,47 (0,42-0,56)	0,60 (0,56-0,67)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	35,29 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,22 (<LOQ-0,2)	0,29 (<LOQ-0,29)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	32,47 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,22 (0,20-0,24)	0,37 (0,31-0,42)	0,45 (0,40-0,56)
Tussen 50 en 89 jaar	414	60,39 %	0,23 (0,21-0,24)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,23 (0,21-0,25)	0,36 (0,33-0,39)	0,58 (0,52-0,61)	0,67 (0,61-0,76)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	49,41 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,31 (<LOQ-0,23)	0,57 (0,41-0,67)	0,64 (0,58-0,87)
hoger secundair onderwijs	194	40,21 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,25 (0,22-0,30)	0,49 (0,36-0,59)	0,61 (0,56-0,76)
hoger onderwijs of universiteit	506	48,62 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,31 (<LOQ-0,21)	0,45 (0,41-0,53)	0,60 (0,54-0,68)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 16: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluorundecaanzuur (PFUnA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluorundecaanzuur (PFUnA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Total	796	12,81 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,22 (0,20-0,24)	0,26 (0,25-0,28)
Geslacht										
man	339	10,32 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,20 (<LOQ-0,23)	0,25 (0,23-0,29)
vrouw	457	14,66 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,23 (0,21-0,25)	0,27 (0,25-0,30)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	5,88 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	5,17 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,25)
Tussen 50 en 89 jaar	414	19,81 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,25 (0,23-0,27)	0,29 (0,27-0,33)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	12,94 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,22 (<LOQ-0,30)	0,29 (0,22-0,41)
hoger secundair onderwijs	194	9,79 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,25)	0,25 (0,23-0,30)
hoger onderwijs of universiteit	506	14,03 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,23 (0,20-0,25)	0,26 (0,25-0,30)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 17: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluorodecaanzuur (PFDoA) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluorodecaanzuur (PFDoA) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	1,13 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Geslacht										
man	339	1,47 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
vrouw	457	0,88 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	5,88 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	0,57 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Tussen 50 en 89 jaar	414	1,21 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	0 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
hoger secundair onderwijs	194	1,03 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
hoger onderwijs of universiteit	506	1,38 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 18: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluorbutaansulfonzuur (PFBS) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimiet, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidence-interval

perfluorbutaansulfonzuur (PFBS) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	2,64 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Geslacht										
man	339	2,06 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
vrouw	457	3,06 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	0 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	1,15 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Tussen 50 en 89 jaar	414	4,11 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,2)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	3,53 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,41)
hoger secundair onderwijs	194	2,06 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
hoger onderwijs of universiteit	506	2,77 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 19: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van lineair perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

lineair perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	98,99 %	1,50 (1,40-1,61)	0,33 (0,29-0,37)	0,44 (0,39-0,49)	0,77 (0,71-0,83)	1,46 (1,33-1,57)	2,64 (2,42-2,95)	4,66 (4,08-5,36)	7,57 (6,17-9,52)
Geslacht										
man	339	99,12 %	2,06 (1,86-2,28)	0,54 (0,39-0,64)	0,78 (0,63-0,88)	1,18 (1,03-1,23)	2,00 (1,81-2,16)	3,40 (3,07-3,68)	5,77 (4,95-8,07)	9,11 (7,27-20,39)
vrouw	457	98,91 %	1,18 (1,08-1,30)	0,30 (0,25-0,32)	0,38 (0,33-0,41)	0,59 (0,53-0,66)	1,09 (0,96-1,19)	2,20 (1,94-2,42)	3,75 (3,31-4,53)	5,49 (4,61-8,67)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	100 %	0,9 (0,70-1,16)	(a)	0,33 (0,22-0,43)	0,58 (0,33-0,76)	0,88 (0,67-1,28)	1,64 (1,01-2,19)	2,19 (1,82-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	98,85 %	0,97 (0,88-1,07)	0,29 (0,24-0,32)	0,37 (0,32-0,41)	0,54 (0,48-0,59)	0,90 (0,81-0,99)	1,61 (1,40-1,85)	2,88 (2,51-3,53)	4,06 (3,47-5,65)
Tussen 50 en 89 jaar	414	99,03 %	2,25 (2,03-2,48)	0,58 (0,38-0,71)	0,80 (0,71-0,93)	1,29 (1,16-1,46)	2,17 (2,00-2,32)	3,52 (3,29-3,79)	6,48 (5,22-8,32)	9,82 (8,33-17,86)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	98,82 %	2,17 (1,72-2,74)	0,39 (<LOQ-0,68)	0,68 (0,28-0,92)	1,26 (0,90-1,46)	2,12 (1,74-2,63)	3,61 (2,80-4,86)	7,14 (4,75-17,74)	13,89 (7,16-68,98)
hoger secundair onderwijs	194	98,97 %	1,70 (1,45-1,98)	0,42 (0,29-0,49)	0,54 (0,46-0,66)	0,87 (0,73-0,96)	1,48 (1,28-1,72)	2,58 (2,29-3,69)	6,57 (4,68-8,90)	9,72 (7,95-37,40)
hoger onderwijs of universiteit	506	99,01 %	1,31 (1,21-1,42)	0,31 (0,26-0,34)	0,40 (0,35-0,45)	0,67 (0,60-0,75)	1,29 (1,17-1,47)	2,41 (2,21-2,66)	3,78 (3,45-4,40)	5,19 (4,51-6,74)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 20: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van lineair+vertakt perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimiet, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

lineair + vertakt perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	99,12 %	1,53 (1,43-1,64)	0,34 (0,30-0,38)	0,46 (0,41-0,5)	0,79 (0,73-0,85)	1,47 (1,36-1,58)	2,68 (2,44-2,95)	4,75 (4,06-5,50)	7,73 (6,17-9,53)
Geslacht										
man	339	99,41 %	2,10 (1,90-2,32)	0,61 (0,41-0,68)	0,80 (0,66-0,89)	1,18 (1,05-1,26)	2,02 (1,81-2,17)	3,44 (3,10-3,72)	5,78 (4,96-8,09)	9,18 (7,62-20,40)
vrouw	457	98,91 %	1,21 (1,10-1,32)	0,31 (0,27-0,33)	0,39 (0,33-0,42)	0,60 (0,54-0,68)	1,12 (0,99-1,23)	2,21 (1,98-2,42)	3,78 (3,32-4,67)	5,56 (4,70-8,73)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	100 %	0,92 (0,72-1,19)	(a)	0,34 (0,22-0,45)	0,61 (0,34-0,77)	0,88 (0,71-1,4)	1,65 (1,01-2,22)	2,22 (1,82-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	98,85 %	1,00 (0,90-1,11)	0,30 (0,25-0,32)	0,39 (0,32-0,42)	0,55 (0,49-0,61)	0,92 (0,81-1,00)	1,63 (1,42-1,86)	2,88 (2,53-3,59)	4,06 (3,51-5,73)
Tussen 50 en 89 jaar	414	99,28 %	2,29 (2,08-2,53)	0,60 (0,41-0,74)	0,83 (0,74-0,97)	1,32 (1,19-1,47)	2,19 (2,04-2,36)	3,59 (3,31-3,85)	6,51 (5,33-8,32)	10,03 (8,33-17,9)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	100 %	2,23 (1,78-2,79)	0,42 (0,23-0,68)	0,68 (0,29-0,94)	1,26 (0,90-1,46)	2,14 (1,74-2,68)	3,61 (2,86-4,91)	7,42 (4,81-17,76)	13,90 (7,58-69,40)
hoger secundair onderwijs	194	98,97 %	1,74 (1,49-2,02)	0,42 (0,30-0,50)	0,56 (0,46-0,68)	0,87 (0,75-0,99)	1,49 (1,31-1,75)	2,62 (2,29-3,72)	6,58 (4,76-9,06)	10,35 (8,03-37,63)
hoger onderwijs of universiteit	506	99,01 %	1,33 (1,23-1,45)	0,32 (0,27-0,37)	0,42 (0,38-0,47)	0,71 (0,61-0,79)	1,34 (1,20-1,50)	2,41 (2,24-2,69)	3,80 (3,51-4,47)	5,24 (4,57-6,93)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 21: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van perfluorheptaansulfonzuur (PFHpS) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

perfluorheptaansulfonzuur (PFHpS) in serum (µg/L)	N	%>LOQ = 0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	30,03 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,24 (0,21-0,28)	0,61 (0,52-0,73)	1,03 (0,84-1,39)
Geslacht										
man	339	38,94 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,32 (0,27-0,40)	0,69 (0,56-0,87)	1,09 (0,85-2,31)
vrouw	457	23,41 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,23)	0,52 (0,39-0,70)	0,91 (0,71-1,23)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	14,71 %	-	(a)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ (<LOQ-0,43)	0,43	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	17,53 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,33 (0,24-0,45)	0,54 (0,42-0,85)
Tussen 50 en 89 jaar	414	41,79 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,38 (0,31-0,44)	0,83 (0,68-1,03)	1,26 (1,03-2,34)
Hoogste opleiding in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	38,82 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,41 (0,29-0,55)	0,84 (0,53-1,07)	1,03 (0,91-13,25)
hoger secundair onderwijs	194	34,02 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,29 (0,22-0,40)	0,88 (0,61-1,30)	1,55 (1,05-4,78)
hoger onderwijs of universiteit	506	25,89 %	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,20 (<LOQ-0,23)	0,48 (0,38-0,60)	0,75 (0,63-0,87)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden.

Tabel 22: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van lineair perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

lineair perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) in serum (µg/L)	N	%>LOQ =0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	100 %	7,03 (6,36-7,77)	1,22 (1,01-1,35)	1,57 (1,49-1,72)	2,59 (2,36-2,88)	5,40 (4,86-6,26)	15,2 (13,0-18,2)	50,5 (41,9-63,2)	87,8 (74,3-120)
Geslacht										
man	339	100 %	8,00 (6,96-9,21)	1,43 (1,24-1,60)	1,79 (1,56-2,21)	3,16 (2,81-3,53)	6,34 (5,38-7,20)	16,9 (13,4-21,3)	51,3 (40,0-69,7)	88,7 (66,3-161)
vrouw	457	100 %	6,36 (5,53-7,32)	1,04 (0,82-1,25)	1,49 (1,27-1,6)	2,28 (2,05-2,51)	4,63 (4,20-5,48)	13,6 (10,7-17,1)	50,0 (35,4-72,0)	85,3 (73,6-125)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	100 %	9,87 (5,81-16,78)	(a)	1,19 (0,990-1,74)	2,69 (1,19-6,15)	8,84 (3,06-35,9)	41,8 (24,4-64,8)	65,4 (50,0-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	100 %	4,81 (4,18-5,53)	0,960 (0,76-1,19)	1,35 (1,13-1,54)	1,87 (1,75-2,08)	3,54 (3,12-4,03)	9,03 (7,25-12,9)	32,2 (25,3-50,8)	66,1 (47,1-95,1)
Tussen 50 en 89 jaar	414	100 %	9,30 (8,25-10,49)	1,68 (1,35-2,07)	2,30 (2,07-2,68)	3,77 (3,38-4,20)	7,23 (6,38-8,66)	18,6 (16,0-23,1)	60,4 (47,2-76,7)	113 (76,8-184)
Hoogste diploma in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	100 %	10,1 (7,24-14,0)	1,00 (0,380-1,65)	1,80 (0,920-3,03)	3,60 (2,90-4,37)	8,58 (6,16-13,0)	25,8 (16,1-54,1)	71,9 (51,4-156)	105 (72,0-1042)
hoger secundair onderwijs	194	100 %	7,39 (6,05-9,03)	1,32 (1,00-1,53)	1,58 (1,37-1,77)	2,72 (2,19-3,29)	5,21 (4,38-6,80)	14,8 (12,3-23,2)	75,3 (32,4-124)	140 (102-264)
hoger onderwijs of universiteit	506	100 %	6,30 (5,58-7,10)	1,20 (0,950-1,35)	1,57 (1,39-1,73)	2,43 (2,25-2,69)	5,15 (4,42-5,94)	12,8 (10,5-16,1)	41,1 (32,0-50,6)	65,4 (54,0-78,7)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden. NA: niet beschikbaar

Tabel 23: Beschrijvende statistiek voor serumgehalten van lineair+vertakt perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, LOQ= kwantificatielimit, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

lineair + vertakt perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) in serum (µg/L)	N	%>LOQ =0,2 µg/L	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	100 %	21,5 (19,9-23,3)	3,76 (3,10-4,43)	5,56 (4,75-6,12)	10,2 (9,48-11,3)	20,4 (18,5-22,1)	43,5 (39,0-47,2)	79,6 (68,9-95,2)	139 (108-185)
Geslacht										
man	339	100 %	23,6 (20,9-26,6)	4,77 (3,59-5,58)	6,42 (5,48-8,00)	11,8 (10,4-13,8)	22,1 (19,4-25,8)	44,3 (39,9-49,6)	82,1 (65,5-109)	154 (105-201)
vrouw	457	100 %	20,1 (18,2-22,2)	3,29 (2,59-3,93)	4,74 (3,99-5,82)	9,42 (8,77-10,4)	18,8 (17,1-21,5)	42,2 (36,7-50,7)	78,4 (64,8-97,6)	134 (98,1-176)
Leeftijd										
Tussen 12 en 19 jaar	34	100 %	17,0 (11,0-26,1)	(a)	2,64 (1,13-4,61)	7,62 (2,66-15,2)	18,6 (10,8-42,9)	45,0 (35,6-64,8)	65,4 (51,2-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	100 %	15,6 (13,9-17,6)	3,08 (2,35-3,68)	4,36 (3,57-5,01)	7,86 (6,56-9,17)	14,5 (12,7-17,2)	29,7 (25,8-36,2)	57,6 (47,1-74,4)	94,3 (73,1-140)
Tussen 50 en 89 jaar	414	100 %	28,5 (25,8-31,5)	5,83 (4,53-7,08)	8,99 (7,08-9,67)	14,2 (12,1-15,8)	27,7 (23,6-32,4)	52,7 (47,3-57,2)	99,7 (82,4-136)	174 (136-241)
Hoogste diploma in het huishouden										
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	100 %	28,8 (22,7-36,6)	4,99 (1,83-7,31)	7,67 (3,95-11,1)	14,1 (11,0-17,9)	30,3 (20,1-42,7)	53,3 (45,2-69,6)	95,3 (69,5-199)	156 (95,3-1263)
hoger secundair onderwijs	194	100 %	24,3 (20,7-28,5)	4,64 (2,78-5,56)	5,93 (4,75-7,72)	10,4 (9,31-13,0)	21,2 (18,8-27,6)	47,4 (38,8-57,6)	119 (64,8-191)	198 (157-404)
hoger onderwijs of universiteit	506	100 %	19,1 (17,3-21,1)	3,60 (2,86-4,26)	4,89 (4,34-5,83)	9,76 (8,87-10,9)	18,4 (17,1-20,8)	37,8 (35,1-43,9)	66,5 (60,1-79,7)	97,3 (82,8-137)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden. NA: niet beschikbaar

Tabel 24: Beschrijvende statistiek voor de som van lineair perfluorooctaanzuur (PFOA), perfluornonaanzuur (PFNA), perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) en perfluorooctaan-sulfonzuur (PFOS) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

Som lineair PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS in serum (µg/L, geïmputeerd)	N	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	11,5 (10,6-12,4)	2,54 (2,24-2,68)	3,20 (2,81-3,63)	5,02 (4,69-5,49)	9,41 (8,63-10,1)	20,4 (18,0-24,9)	58,1 (48,6-71,9)	96,2 (82,8-135)
Geslacht									
man	339	13,5 (11,9-15,2)	3,31 (2,72-3,65)	4,13 (3,63-4,65)	6,27 (5,44-6,90)	10,7 (9,63-12,3)	24,6 (19,3-28,2)	57,9 (45,2-80,7)	121 (75,7-204)
vrouw	457	10,2 (9,03-11,5)	2,19 (1,92-2,42)	2,72 (2,50-2,90)	4,30 (3,96-4,83)	8,27 (7,32-9,31)	18,0 (15,4-23,3)	58,1 (40,7-80,2)	91,6 (81,1-130)
Leeftijd									
Tussen 12 en 19 jaar	34	13,5 (8,58-21,1)	(a)	2,65 (1,82-2,91)	4,60 (2,65-8,00)	11,2 (5,44-39,8)	44,2 (26,3-69,1)	69,7 (53,5-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	7,92 (7,03-8,94)	2,10 (1,85-2,41)	2,60 (2,39-2,81)	3,75 (3,56-4,02)	6,17 (5,49-6,87)	13,0 (10,7-16,4)	38,8 (28,9-55,3)	70,4 (52,1-115)
Tussen 50 en 89 jaar	414	15,3 (13,9-17,0)	4,03 (3,22-4,40)	4,97 (4,40-5,43)	7,32 (6,61-8,03)	12,3 (11,0-13,7)	26,1 (22,5-29,6)	73,2 (57,4-90,0)	133 (90,3-221)
Hoogste opleiding in het huishouden									
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	16,4 (12,6-21,5)	2,36 (1,82-4,20)	4,29 (2,06-5,60)	6,64 (5,52-9,19)	13,6 (10,3-19,3)	33,2 (24,5-58,1)	80,0 (55,2-220)	120 (80,9-1107)
hoger secundair onderwijs	194	12,1 (10,1-14,4)	2,59 (2,07-3,09)	3,26 (2,67-3,67)	4,97 (4,37-5,88)	9,25 (7,73-10,8)	20,1 (16,3-29,5)	87,9 (49,1-136)	178 (121-318)
hoger onderwijs of universiteit	506	10,3 (9,30-11,4)	2,51 (2,12-2,70)	2,98 (2,74-3,63)	4,80 (4,30-5,23)	8,73 (8,05-9,73)	17,8 (15,9-22,2)	45,0 (36,2-57,9)	71,6 (58,2-90,0)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden. NA: niet beschikbaar.

Tabel 25: Beschrijvende statistiek voor de som van lineair perfluornonaanzuur (PFNA) en lineair + vertakt perfluorocetaanzuur (PFOA), perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) en perfluorocetaanulfonzuur (PFOS) in het studiegebied Zwijndrecht (3 km rond 3M), gestratificeerd naar geslacht, leeftijd en hoogste opleiding in het huishouden. N= aantal deelnemers, GM= geometrisch gemiddelde, P= percentielen, 95%CI= 95% confidentie-interval

Som lineair + vertakt PFOA, PFHxS en PFOS en lineair PFNA in serum (µg/L, geïmputeerd)	N	GM (95%CI)	P05 (95%CI)	P10 (95%CI)	P25 (95%CI)	P50 (95%CI)	P75 (95%CI)	P90 (95%CI)	P95 (95%CI)
Totale groep	796	26,3 (24,3-28,5)	5,91 (5,01-6,65)	7,98 (7,22-8,61)	13,6 (12,6-14,6)	24,0 (22,2-26,2)	48,8 (44,0-53,3)	85,5 (74,5-102)	152 (118-202)
Geslacht									
man	339	29,4 (26,6-32,5)	7,39 (6,34-8,22)	9,86 (8,00-11,3)	15,7 (13,9-17,5)	27,3 (23,5-30,4)	49,8 (45,1-55,5)	88,5 (72,0-121)	176 (117-258)
vrouw	457	24,3 (22,0-26,8)	5,02 (4,11-5,92)	6,99 (6,09-8,15)	12,3 (10,6-13,5)	22,0 (20,1-24,7)	47,9 (39,9-54,4)	82,7 (71,4-102,6)	149 (108-182)
Leeftijd									
Tussen 12 en 19 jaar	34	20,7 (14,3-30,0)	(a)	3,90 (2,20-7,13)	9,41 (3,98-16,7)	20,8 (13,8-46,4)	47,9 (38,0-69,5)	70,1 (54,9-NA)	(a)
Tussen 20 en 49 jaar	348	19,1 (17,3-21,1)	4,85 (3,70-5,51)	6,56 (5,46-7,23)	10,1 (8,86-11,1)	17,6 (15,3-19,7)	32,6 (28,5-39,1)	61,0 (50,1-79,6)	99,1 (78,6-166)
Tussen 50 en 89 jaar	414	34,8 (31,5-38,5)	8,82 (7,35-10,3)	12,2 (10,3-13,5)	18,3 (16,0-20,5)	32,8 (28,9-36,8)	57,9 (54,0-63,9)	108 (91,3-150)	187 (150-300)
Hoogste opleiding in het huishouden									
geen diploma of lager secundair onderwijs	85	34,8 (27,9-43,4)	8,08 (3,16-11,7)	11,7 (5,95-14,3)	18,6 (14,0-22,2)	34,4 (25,6-46,7)	60,8 (51,9-73,4)	102 (72,1-263)	166 (103-1328)
hoger secundair onderwijs	194	29,1 (24,8-34,1)	7,09 (4,58-8,07)	8,62 (7,36-10,0)	14,6 (11,1-16,6)	25,4 (21,7-30,6)	53,0 (42,8-62,4)	142 (73,6-207)	220 (175-484)
hoger onderwijs of universiteit	506	23,6 (21,8-25,5)	5,65 (4,77-6,42)	7,31 (6,59-8,18)	12,9 (11,7-13,8)	22,6 (20,4-24,7)	42,6 (39,1-48,7)	73,8 (64,1-86,5)	102 (90,7-144)

(a) P5 en P95 niet weergegeven voor deze groep omdat de groep bestaat uit 34 personen en er minstens 60 personen in een groep moeten zijn om een P5 en P95 te mogen vermelden. NA: niet beschikbaar.

3.2.2 Vergelijking met gezondheidkundige toetsingswaarden

3.2.2.1 Vergelijking

Voor een aantal van de PFAS-componenten werden door internationale instanties gezondheidkundige richtwaarde of toetsingswaarden voor gehalten in serum afgeleid. Binnen Europa werden toetsingswaarden voor PFAS in serum afgeleid door de Duitse Humane Biomonitoring (HBM) Commissie (Hölzer et al., 2021; Schümann et al., 2021) en door de Europese Voedselveiligheid Autoriteit (EFSA, 2020). Tabel 26 geeft een overzicht van deze toetsingswaarden, de gezondheidseffecten waarop de afleidingen van deze waarden werden gebaseerd en de betekenis voor de volksgezondheid. Meer details over de onderbouwing en de betekenis van deze toetsingswaarden zijn terug te vinden in bijlage 3.

Tabel 26: Overzicht van de gebruikte gezondheidkundige toetsingswaarden in Europa voor PFAS in serum.

Gezondheidkundige toetsingswaarden	Gezondheidseffecten waarop de waarde gebaseerd is:	Betekenis:
HBM-I waarde Duitse HBM-commissie Algemene bevolking <ul style="list-style-type: none"> - PFOS: 5 µg/l serum - PFOA: 2 µg/l serum 	<ul style="list-style-type: none"> - tijd tot zwangerschap, - zwangerschapsvergiftiging, - geboortegewicht, - vetmetabolisme, - immuunrespons na vaccinatie, - hormonale ontwikkeling, - leeftijd puberteit/menarche, - start menopauze, - schildkliermetabolisme 	Onder deze waarde is er geen verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten
HBM-II waarde Duitse HBM-commissie Vrouwen van vruchtbare leeftijd <ul style="list-style-type: none"> - PFOS: 10 µg/l serum - PFOA: 5 µg/l serum De rest van de bevolking <ul style="list-style-type: none"> - PFOS: 20 µg/l serum - PFOA: 10 µg/l serum 	<ul style="list-style-type: none"> - lager geboortegewicht en ontwikkelingstoxiciteit, - verminderde vruchtbaarheid, - verminderde antilichaamrespons, - verhoogde cholesterol (LDL en totaal), - type II diabetes 	Tussen HBM-I en HBM-II waarde: Bij deze PFAS-waarden is een verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten niet uit te sluiten Boven HBM-II: Bij deze PFAS-waarden is er een verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten op lange termijn mogelijk
EFSA toetsingswaarde serum Algemene bevolking <ul style="list-style-type: none"> - som PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS: 6,9 µg/l serum 	<ul style="list-style-type: none"> - verminderde immuunrespons na vaccinatie bij nakomelingen 	Onder deze waarde wordt volgens de huidige kennis geen gezondheidsschade verwacht. De waarde beschermt ook tegen andere schadelijke gezondheidseffecten dan de hiernaast opgesomde.

De Duitse Humane Biomonitoring Commissie definieerde **HBM-I en HBM-II waarden** voor PFOS en PFOA afzonderlijk. De HBM-I waarde bedraagt 5 µg/l voor PFOS en 2 µg/l voor PFOA. Voor de HBM-II waarde werden aparte waarden afgeleid voor vrouwen van vruchtbare leeftijd en voor de rest van de bevolking. De vruchtbare periode bij vrouwen wordt beschouwd als de periode vanaf het begin van de puberteit tot de start van de menopauze, dus tussen 12 en 51 jaar. De HBM-II waarden bedragen 10 µg/l voor PFOS en 5 µg/l voor PFOA voor vrouwen van vruchtbare leeftijd en 20 µg/l voor PFOS en 10 µg/l voor PFOA voor de rest van de bevolking.

Het is niet geheel duidelijk of de toetsingswaarden zijn afgeleid voor de lineaire vormen van PFOS en PFOA of voor de combinatie van de lineaire en vertakte vormen. Uit voorzorg worden in de individuele communicatie naar de deelnemers de resultaten van de lineaire + vertakte vormen getoetst aan de HBM-I en -II waarden. Deze aanpak werd bevestigd door verschillende Vlaamse en internationale experts.

Voor andere PFAS verbindingen, noch voor somparameters van andere PFAS verbindingen behalve PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS, zijn gezondheidkundige richtwaarden voor PFAS in serum beschikbaar.

Waarnemingen in onze onderzoeksgroep:

Tabel 27 geeft het percentage deelnemers weer met serumwaarden voor de **lineaire + vertakte vormen** van PFOS en PFOA onder de HBM-I waarden, tussen de HBM-I en -II waarde en boven de HBM-II waarde. Deze zijn weergegeven voor de gehele onderzoeksgroep en opgesplitst voor vrouwen van vruchtbare leeftijd (12-51 jaar) en de groep mannen en vrouwen ouder dan 51 jaar.

Tabel 28 geeft deze percentages voor de combinatie van **lineaire vormen** van PFOS en PFOA.

- **Lineair vs. lineair + vertakt:** Voor PFOS maakt het een groot verschil of enkel de lineaire PFOS-componenten worden beschouwd, dan wel de som van de lineaire en vertakte PFOS-vormen. Als enkel de lineaire vormen worden beschouwd, heeft 47,2% van de deelnemers een PFOS-serumwaarde onder de HBM-I waarde. Als ook de vertakte PFOS-vormen mee in rekening worden gebracht, heeft slechts 9,0% van de deelnemers een PFOS-serumwaarde onder de HBM-I waarde. Het percentage deelnemers met een waarde boven de HBM-II waarde stijgt van 23,1% voor enkel lineair PFOS naar 58,7% voor lineair + vertakt PFOS. Voor PFOA zijn de verschillen tussen enkel de lineaire vorm en de som van lineair en vertakte vormen minimaal.
- **PFOS vs. PFOA:** Overschrijding van de HBM-II waarden wordt voornamelijk waargenomen voor PFOS (23,1% voor lineair PFOS, 58,7% voor lineair+vertakt PFOS). Voor PFOA heeft slechts een kleine minderheid een serumwaarde boven de HBM-II waarde (0,6% zowel voor lineair alleen, als voor de som van lineair en vertakte vormen). Ook voor de overschrijding van de HBM-I waarde is PFOS dominant (29,6% voor lineair PFOS en 32,3% voor lineair + vertakt PFOS), maar is er toch ook een aanzienlijk aandeel deelnemers met overschrijdingen voor PFOA (23,9% voor lineair PFOA en 25,6% voor lineair + vertakt PFOA). Voor lineair PFOS ligt het geometrisch gemiddelde (7,03 µg/L) van de volledige groep 1,4 keer hoger dan de HBM-I waarde (5 µg/L), maar de P95 (87,8 µg/L) ligt 17,5 keer hoger dan de HBM-I waarde. Voor lineair PFOA ligt het geometrisch gemiddelde van de volledige groep (1,33 µg/L) 1,5 keer lager dan de HBM-I waarde (2 µg/L) en de P95 (3,54 µg/L) ligt 1,7 keer hoger. De situatie is dus ernstiger voor PFOS dan voor PFOA.
- **Vrouwen van vruchtbare leeftijd vs. de rest van de bevolking:** Voor vrouwen van vruchtbare leeftijd is de HBM-II waarde voor PFOS en PFOA in serum lager dan voor de rest van de bevolking. Het aandeel deelnemers met PFOS-serumwaarden boven de HBM-II waarde ligt dan ook hoger in de groep vrouwen tussen 12 en 51 jaar (64,8% voor lineair + vertakt PFOS) dan in de groep mannen en vrouwen ouder dan 51 jaar (55,9% voor lineair + vertakt PFOS). Voor PFOA zijn er weinig deelnemers met serumwaarden boven de HBM-II waarde en zijn de verschillen tussen beide groepen zeer klein (0,4% bij vrouwen tussen 12 en 51 jaar vs. 0,7% bij mannen en vrouwen ouder dan 51 jaar).

Tabel 27: Percentage deelnemers boven de gezondheidkundige toetsingswaarden HBM-I en HBM-II voor lineair + vertakt PFOS en PFOA in serum, afgeleid door de Duitse Humane Biomonitoring Commissie.

CONCENTRATIE	Gezondheidsrisico	Acties	lineair + vertakt PFOS (% deelnemers)			lineair + vertakt PFOA (% deelnemers)		
			vrouwen		vrouwen 12-51j	vrouwen 51+ en alle		vrouwen 12-51j
			allen	51+ en alle mannen		allen	mannen	
↑	verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten op lange termijn mogelijk	- opvolging - blootstelling onmiddellijk stoppen	58,7%	55,9%	64,8%	0,6%	0,7%	0,4%
	HBM-II waarde		20 µg/L	10 µg/L		10 µg/L	5 µg/L	
	verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten niet uit te sluiten	- bronnen identificeren - blootstelling verminderen	32,3%	38,3%	19,2%	25,6%	34,2%	6,8%
	HBM-I waarde		5 µg/L	5 µg/L	5 µg/L	2 µg/L	2 µg/L	2 µg/L
	geen verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten	geen actie nodig	9,0%	5,9%	16,0%	73,7%	65,0%	92,8%

Tabel 28: Percentage deelnemers boven de gezondheidkundige toetsingswaarden HBM-I en HBM-II voor lineair PFOS en PFOA in serum, afgeleid door de Duitse Humane Biomonitoring Commissie.

CONCENTRATIE	Gezondheidsrisico	Acties	lineair PFOS (% deelnemers)			lineair PFOA (% deelnemers)		
			mannen en vrouwen		vrouwen 12-51j	mannen en vrouwen		vrouwen 12-51j
			allen	51+ vrouwen		allen	51+ vrouwen	
↑	verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten op lange termijn mogelijk	- opvolging - blootstelling onmiddellijk stoppen	23,1%	22,2%	25,2%	0,6%	0,7%	0,4%
	HBM-II waarde		20 µg/L	10 µg/L		10 µg/L	5 µg/L	
	verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten niet uit te sluiten	- bronnen identificeren - blootstelling verminderen	29,6%	36,8%	14,0%	23,9%	32,2%	5,6%
	HBM-I waarde		5 µg/L	5 µg/L	5 µg/L	2 µg/L	2 µg/L	2 µg/L
	geen verhoogde kans op nadelige gezondheidseffecten	geen actie nodig	47,2%	41,0%	60,8%	75,5%	67,0%	94,0%

Meer en meer groeit bij wetenschappers en beleidsmakers de overtuiging dat PFAS moet worden aangepakt als groep en niet enkel via de afzonderlijke componenten. In dit kader definieerde de Europese Voedingsveiligheid Autoriteit EFSA een toelaatbare wekelijkse inname (TWI) voor de **som van 4 PFAS-componenten** (PFNA + PFOA + PFHxS + PFOS), die werd omgerekend naar een toetsingswaarde van 6,9 µg/l in serum.

Waarnemingen in onze onderzoeksgroep:

Tabel 29 geeft het percentage deelnemers weer met serumwaarden voor de som van PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS boven en onder de EFSA-toetsingswaarde.

- **Lineair vs. lineair + vertakt:** Ook hier nemen we grote verschillen waar tussen de som van enkel de lineaire vormen van PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS en de som van PFNA en de lineaire en vertakte vormen van PFOA, PFHxS en PFOS. Indien ook de vertakte vormen van PFOA, PFHxS en PFOS in rekening worden gebracht heeft 93% van de deelnemers een waarde voor de som van deze 4 PFAS boven de EFSA-toetsingswaarde, tegenover 62% indien enkel de lineaire vormen in rekening worden gebracht.
- **Invloed van meetwaarden onder de kwantificatielimiet:** Meetwaarden onder de LOQ werden ofwel vervangen door de waarde nul (lower bound), ofwel door een berekende waarde op basis van de verdeling in de groep (geïmputeerd), ofwel vervangen door de LOQ zelf (upper bound). Dit geeft ons een idee van het meest gunstige scenario (lower bound) tot aan het 'worst case' scenario (upper bound). Vergelijking van de drie scenario's leert ons dat er weinig verschil waarneembaar is in de percentages deelnemers boven de EFSA-waarde. Voor de som van de 4 PFAS met inbegrip van zowel lineaire als vertakte vormen bedragen deze percentages 92,5% voor het lower bound scenario, 92,7% voor het scenario met geïmputeerde waarden en eveneens 92,7% voor het upper bound scenario. De meetwaarden onder de LOQ hebben dus weinig invloed op de som van deze vier PFAS-componenten.

Tabel 29: Percentage deelnemers boven de gezondheidkundige toetsingswaarde voor de som van PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS in serum, afgeleid door de Europese Voedselveiligheid Autoriteit (EFSA, 2020). Lower bound: meetwaarden onder de kwantificatielimiet (LOQ) gelijk gesteld aan 0 µg/L, geïmputeerd: meetwaarden onder de LOQ werden door imputatietechnieken ingeschat op basis van de verdeling in de onderzoeksgroep, upper bound: meetwaarden onder de LOQ werden gelijk gesteld aan de LOQ.

↑ CONCENTRATIE	Gezondheids-risico	som lineair + vertakt PFOA+PFNA+ PFOS+PFHxS allen (lower bound)	som lineair + vertekt PFOA+PFNA+ PFOS+PFHxS allen (geïmputeerd)	som lineair + vertakt PFOA+PFNA+ PFOS+PFHxS allen (upper bound)
	kan niet worden uitgesloten	92,5%	92,7%	92,7%
	EFSA-waarde	6,9 µg/L	6,9 µg/L	6,9 µg/L
	geen, volgens de huidige kennis	7,5%	7,3%	7,3%

↑ CONCENTRATIE	Gezondheids-risico	som lineair PFOA+PFNA+ PFOS+PFHxS allen (lower bound)	som lineair PFOA+PFNA+ PFOS+PFHxS allen (geïmputeerd)	som lineair PFOA+PFNA+ PFOS+PFHxS allen (upper bound)
	kan niet worden uitgesloten	62,1%	62,2%	62,2%
	EFSA-waarde	6,9 µg/L	6,9 µg/L	6,9 µg/L
	geen, volgens de huidige kennis	37,9%	37,8%	37,8%

3.2.2.2 Interpretatie en adviezen

De Duitse HBM Commissie schrijft dat de Point of Departures (POD_{epi}) waarop de HBM-I en -II waarden voor PFOA en PFOS gebaseerd zijn, hun oorsprong hebben in relatief kleine veranderingen van meerdere meetwaarden, hun afwijkingen binnen een normaal referentiebereik liggen (vb. de stijging in Total Cholesterol, LDL-cholesterol of Triglyceriden in serum bij toenemende PFOS of PFOA concentraties leidt tot concentraties die binnen een normaal referentiebereik voor deze merkers liggen) of het is voor sommige POD_{epi} onduidelijk of een verandering voor een bepaalde biologische merker gepaard gaat met nadelige gezondheidseffecten. **Dergelijke numerieke effecten kunnen volgens de Duitse HBM Commissie niet worden geïnterpreteerd als een klinisch manifeste ziekte, en kunnen evenmin gebruikt om risico op ziekte voor een individu te kaderen.**

Een gelijkaardig verhaal voor de EFSA toetsingswaarde: vermits deze waarde gebaseerd is op associaties tussen 4 PFAS verbindingen en *antilichamen* tegen difterie, tetanus en haemophilus type b kan dit ook niet zonder meer vertaald worden naar een klinisch effect. Niveaus van antilichamen dienen beschouwd te worden als een vroeg biologisch effect voor het mogelijk optreden van infecties. De EFSA toetsingswaarde is van toepassing op de algemene bevolking en biedt ook bescherming tegen andere gezondheidseffecten dan een verminderde vaccinatierespons bij nakomelingen. **De EFSA-waarde is enkel van toepassing op populatieniveau en is bedoeld als alarmbel voor de (Europese) beleidsmakers om acties tot blootstellingsvermindering te initiëren. Deze waarde is dus niet bedoeld voor toetsen van individuele meetresultaten.**

De EFSA toetsingswaarde en de HBM-I waarde dienen dus hoofdzakelijk gebruikt te worden als een 'signaalwaarde'. De HBM-II waarde dient wel om gegevens te identificeren waar reden is tot bezorgdheid omdat gezondheidsschade kan optreden, en zeker voor individuen die reeds andere onderliggende aandoeningen hebben waardoor ze extra gevoelig zijn. Evenwel dient gekaderd te worden dat de schade niet per definitie aanwezig is/zal optreden, maar dat verder opvolging nodig is.

EFSA en de Duitse HBM Commissie geven aan de Gezondheidskundige toetsingswaarden in serum niet kunnen gehanteerd worden om risico's op individueel niveau in te schatten, maar moeten toegepast worden op groepsniveau.

Met andere woorden, de bovenstaande vergelijking van de PFAS niveaus van de deelnemers geeft ons een antwoord op groepsniveau: gezien het ruim aantal overschrijdingen van de HBM-II waarde in de onderzochte populatie kunnen we, op basis van kennis uit andere epidemiologische studies, verwachten dat de PFAS blootstelling een *risico* voor de gezondheid voor sommige individuen onder de bevolking in Zwijndrecht met zich meebrengt.

De vergelijking geeft ons echter geen antwoord of de bewoners effectief gezondheidsschade zullen ondervinden ten gevolge van de PFAS niveaus in hun bloed, en stelt ons niet in de mogelijkheid om het risico voor een individu (zelfs al hebben we voor dit individu PFAS metingen uitgevoerd) in te schatten. Evenmin kunnen we op basis van de resultaten causaliteit aantonen tussen PFAS in serum en mogelijke ziektes. Het ontstaan van ziektes is immers multifactorieel, waarbij verschillende risicofactoren een rol spelen. PFAS vormt één van de verschillende risicofactoren op het voorkomen van hoger genoemde ziektes en aandoeningen.

De richtwaarden of toetsingswaarden kunnen gebruikt worden als 'alarmbel' om de blootstelling te verminderen, omdat het risico op het voorkomen van ziektes of aandoeningen ten gevolge van PFAS blootstelling niet uit te sluiten is. Op basis van de huidige kennis is het evenwel niet mogelijk een uitspraak te doen of de mate waarin de serum concentraties de toetsingswaarde overschrijden (lichte overschrijdingen versus sterke overschrijdingen) in relatie staat tot een hoger risico of hogere ernst op voorkomen van ziektes. Hiervoor ontbreken momenteel dosis-effect relaties in de relevante concentratieniveaus. Verder onderzoek (inclusief het meten van effect merkers) is hiervoor nodig.

Adviezen en acties voor deze onderzoeksgroep

Deelnemers onder de HBM-I-waarde krijgen een infofiche over PFAS met informatie over bronnen, hoe mensen worden blootgesteld, wat er gekend is over effecten op de gezondheid en tips om blootstelling aan PFAS te verminderen.

Deelnemers tussen de HBM-I-waarde en de HBM-II-waarde krijgen naast deze infofiche ook een checklist waarin ze mogelijke bronnen die voor hen van toepassing zijn kunnen aanvinken. Dit geeft een zicht op de individuele punten die voor hen persoonlijk mogelijkheden bieden om blootstelling aan PFAS te beperken.

Deelnemers boven de HBM-II-waarde krijgen eveneens een infofiche over PFAS en de checklist voor individuele broncontrole. Deze deelnemers kunnen een consultatie met een milieu-arts of een Medisch Milieukundige aanvragen. Afhankelijk van de individuele situatie (bvb. zwangerschap of aanwezigheid van risicofactoren zoals overgewicht, roken, suikerziekte of hoge bloeddruk) kan opvolging door de huisarts aangewezen zijn.

3.2.3 Vergelijking met andere studies

In bijlage 4 worden de resultaten van deze studie uitgezet ten opzichte van resultaten van Vlaamse en internationale studies voor PFOS, PFHxS, PFOA en PFNA. De voornaamste bevindingen worden hieronder weergegeven.

Aandachtspunt!

Vergelijkingen moeten voorzichtig gebeuren omdat het studieopzet en de analytische meetmethodes gebruikt in de verschillende studies mogelijk niet direct vergelijkbare resultaten geven.

3.2.3.1 Vergelijking met Vlaanderen

In Vlaanderen organiseert het Steunpunt Milieu en Gezondheid⁸ sinds 2002 humane biomonitoring (HBM) -studies waarbij milieuvervuilende stoffen en hun mogelijke gezondheidseffecten gemeten worden in de mens (urine, bloed of haar). Er werden reeds vier cycli van deze *Flemish Environment and Health Studies* (FLEHS) georganiseerd: FLEHS I (2002-2006), FLEHS II (2007-2011), FLEHS III (2012-2015) en FLEHS IV (2016-2020). Hierbij werden urine, bloed en haar verzameld van vier leeftijdsgroepen: pasgeborenen (navelstrengbloed), jongeren van 14-15 jaar, volwassenen van 20-40 jaar en volwassenen van 50-65 jaar. Naast metingen in een representatieve steekproef voor Vlaanderen (Vlaamse referentiewaarden) werden ook studies uitgevoerd in gebieden met een specifieke milieudruk of hotspots, namelijk in de regio Menen, Genk-Zuid en de Gentse kanaalzone.

De meest recente gegevens over PFAS-gehalten in serum van de Vlaamse bevolking zijn beschikbaar in de FLEHS IV studie, of de 4^{de} cyclus van het Vlaams Humane-Biomonitoringsprogramma uitgevoerd door het Steunpunt Milieu en Gezondheid. In FLEHS IV zijn referentiewaarden beschikbaar voor 12 PFAS-verbindingen gemeten in serum van 410 jongeren van 14-15 jaar oud, gerekruteerd in 2017-2018 als een representatieve onderzoeksgroep voor Vlaanderen.

Omdat verschillende PFAS persistent zijn en zich kunnen opstapelen bij toenemende leeftijd, worden voor de vergelijking met FLEHS IV enkel de resultaten van de leeftijdsgroep 12-19 jaar uit de onderzoeksgroep rond 3M in Zwijndrecht in beschouwing genomen. Deze groep bestaat echter slechts uit 34 deelnemers, waardoor er voorzichtig moet worden omgesprongen met het trekken van conclusies.

Vergelijkbaarheid

In beide onderzoeksgroepen werden de metingen uitgevoerd door hetzelfde laboratorium en met dezelfde kwantificatielimiten, wat de vergelijkbaarheid van de resultaten bevordert. Daarentegen bevat de groep 12-19-jarigen rond 3M in Zwijndrecht een beperkt aantal deelnemers (34) en is de leeftijdsspreiding groter dan bij de 14-15 jarige jongeren in de Vlaamse referentiegroep, wat minder gunstig is voor de vergelijkingsmogelijkheden. Ook is er een tijdsperiode van 3 jaar tussen deze studie (2021) en de FLEHS IV studie (2017-2018) wat gezien de dalende tijdstrends voor sommige PFAS zoals PFOS en PFOA ook minder gunstig is voor het vergelijken van beide studies.

⁸ <https://www.milieu-en-gezondheid.be/>

→ **Zijn dezelfde PFAS aanwezig in serum van omwonenden van de 3M-vestiging in Zwijndrecht als in de algemene Vlaamse bevolking?**

Bij het vergelijken van het aandeel deelnemers met meetwaarden boven de kwantificatielimiet (LOQ) is duidelijk dat er PFAS-componenten zijn (Figuur 13):

- die **in beide groepen gelijkaardig waarneembaar** zijn: PFOS en PFOA worden zowel in de Vlaamse referentiegroep als in de onderzoeksgroep 12-19 jarigen rond 3M in Zwijndrecht bij alle deelnemers waargenomen. Ook voor PFHxS, PFNA, PFDA en PUnA zijn de percentages deelnemers met meetwaarden boven de LOQ voor beide groepen vergelijkbaar.
- die **in beide groepen niet waarneembaar** zijn: PFBS en PFPeA worden in beide groepen bij geen enkele deelnemer waargenomen in gehalten boven de LOQ.
- die **meer voorkomen bij de 12-19 jarigen rond 3M in Zwijndrecht**: In de groep 12-19 jarigen rond 3M in Zwijndrecht zijn er meer deelnemers met gehalten aan PFHpA, PFHpS en PFDoA boven de kwantificatielimiet (18% voor PFHpA, 15% voor PFHpS en 6% voor PFDoA) dan in de Vlaamse referentiegroep (1% voor PFHpA, 2% voor PFHpS en 1% voor PFDoA).
- die **meer voorkomen in de Vlaamse referentiegroep**: PFHxA kon in de Vlaamse referentiegroep bij 5% van de deelnemers worden waargenomen en kon niet in gehalten boven de LOQ worden waargenomen in de groep 12-19 jarigen rond de 3M-site in Zwijndrecht.

→ **Hoe verhouden de PFAS-serumgehalten in deze studie zich tot de PFAS-referentiewaarden in Vlaanderen?**

In Vlaanderen worden perfluorcomponenten reeds gemeten in serum van de bevolking sinds de 2^{de} cyclus van het Vlaams Humane-Biomonitoringsprogramma (2007-2011). Zo zijn er voor PFOS en PFOA in serum Vlaamse gegevens beschikbaar voor jongeren van 14-15 jaar (regio Menen in 2010-2011 en Vlaamse referentiegroep 2016-2020), volwassenen van 20-40 jaar (Vlaamse referentiegroep 2008-2009) en volwassenen van 50-65 jaar (Vlaamse referentiegroep 2014).

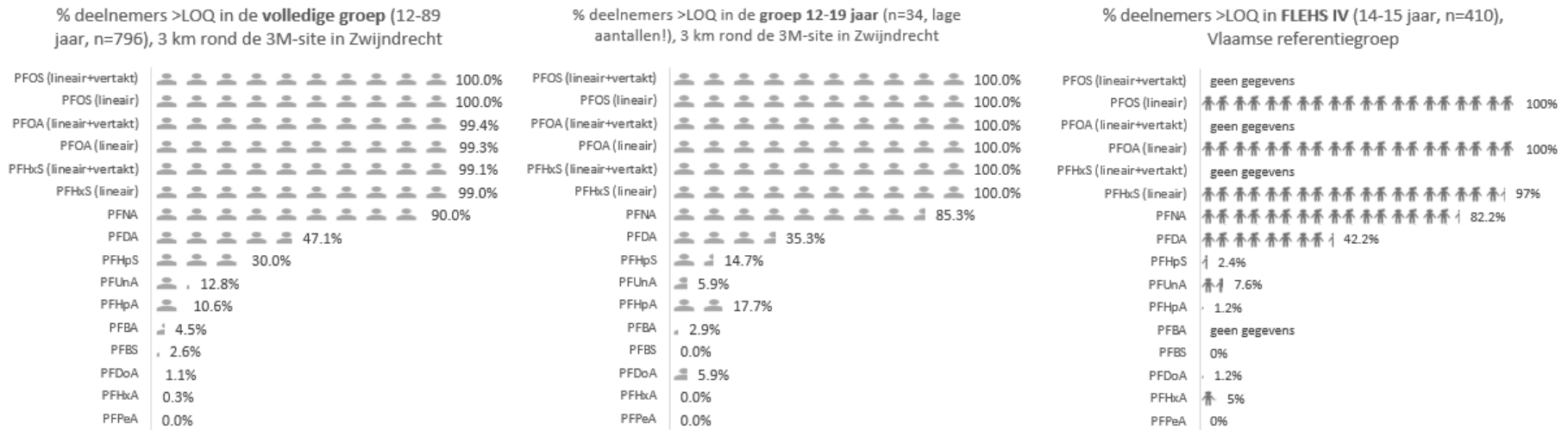
Vergelijkbaarheid

De meetmethodes en kwantificatielimiten (LOQ) zijn over de loop van de tijd veranderd en verbeterd. Dit maakt het moeilijker om de resultaten van deze studies met elkaar te vergelijken. Ook de leeftijdsgroepen zijn niet altijd dezelfde. Bovendien werden sommige PFAS reeds opgenomen in regelgeving die gebruik en productie ervan beperkt. Dit zorgt voor een dalende trend voor deze PFAS in de tijd (zie ook Schoeters et al., 2017). Een groot tijdsverschil tussen de studies maakt vergelijken ook moeilijk.

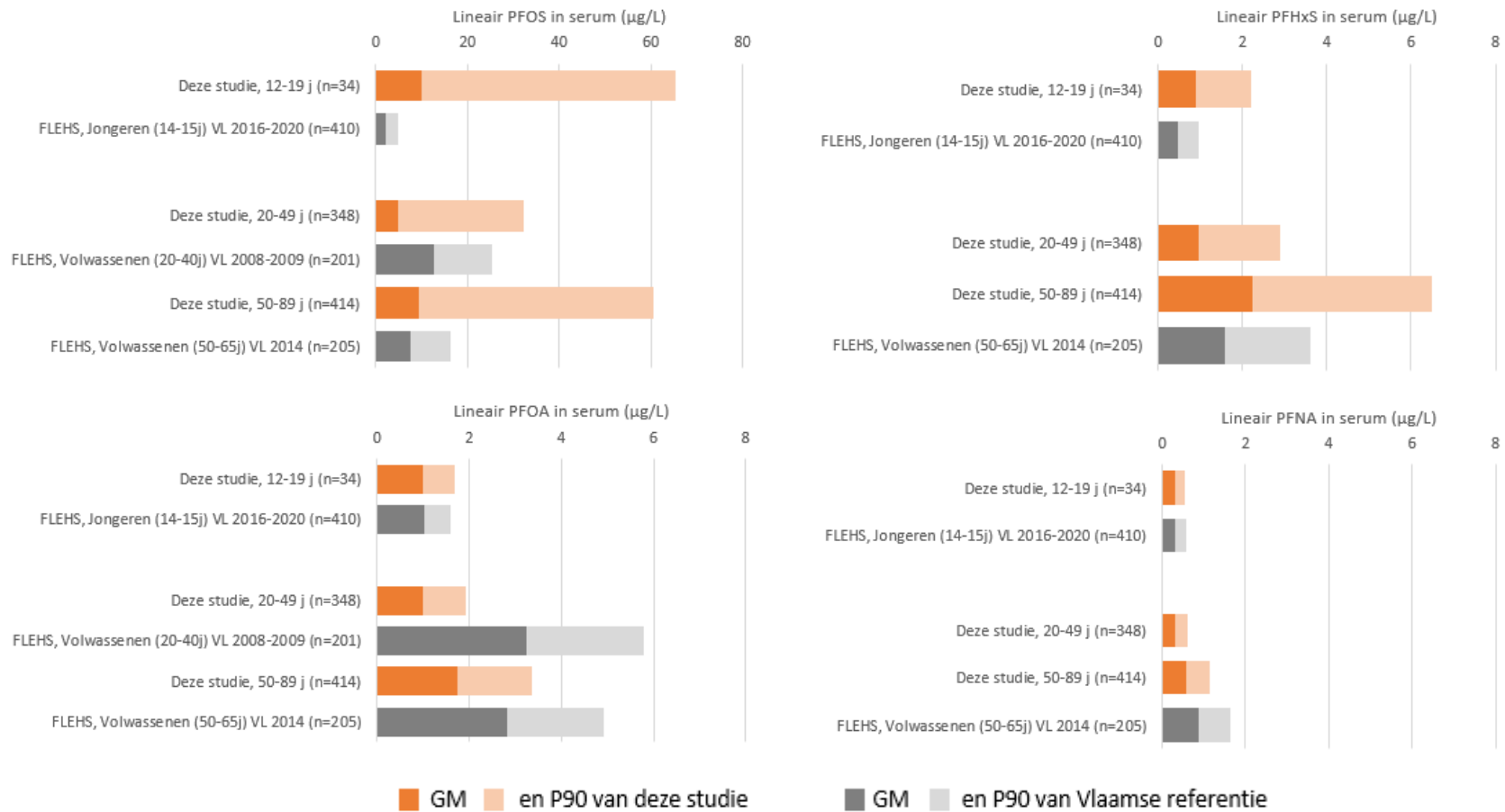
De lineaire PFOA serumwaarden in deze studie zijn gelijkaardig aan de niveaus in de Vlaamse HBM-studies (Figuur 14). De lineaire PFOA-serumwaarden bij de groep 12-19 jarigen uit deze studie (GM: 1,00 µg/L en P90: 1,68 µg/L) zijn van vergelijkbaar niveau als deze in de referentiegroep 14-15 jarigen van FLEHS IV (2018, GM: 1,03 µg/L en P90: 1,60 µg/L). Voor de groep 20-49 jarigen en de groep 50-89 jarigen uit deze studie zijn de lineaire PFOA-serumwaarden iets lager dan de referentiegroep 20-40 jarige volwassenen van FLEHS II (2008-2009) en dan de referentiegroep 50-65 jarige volwassenen van FLEHS III (2014), wat in de lijn ligt van de verwachtingen gezien de dalende tijdstrend voor PFOA in het leefmilieu en in de mens (Schoeters et al., 2017).

Voor PFNA worden dezelfde trends waargenomen: vergelijkbare niveaus tussen de 12-19 jarigen uit deze studie en de 14-15 jarige referentiejongeren uit FLEHS IV en lagere niveaus voor de 20-49 jarigen en 50-89 jarigen uit deze groep vergeleken met de FLEHS II volwassenen (20-40 jaar, 2008-2009) en de FLEHS III volwassenen (50-65 jaar, 2014).

De niveaus voor lineair PFOS in serum liggen in deze studie duidelijk hoger dan in de Vlaamse HBM-studies. Voor de groep 12-19 jarigen in deze studie ligt het geometrisch gemiddelde (GM) 4,5 keer hoger en het 90^{ste} percentiel (P90) 13 keer hoger dan het GM en P90 van de 14-15 jarige referentiejongeren uit FLEHS IV (2018). Voor de groep 20-49 jarigen uit deze studie ligt het GM lager en is de P90 vergelijkbaar met deze van de 20-40 jarige referentievouwwassenen uit FLEHS II (2008-2009), maar er is een tijdsverschil van 13 jaar tussen beide studies en PFOS kent een dalende trend in de tijd. Bij de groep 50-89 jarigen uit deze studie is het GM eveneens vergelijkbaar met het GM van de 50-65 jarigen uit FLEHS III (2014), maar ligt de P90 3,5 keer hoger, ondanks de dalende tijdstrend van PFOS. Er kan dan wel gesteld worden dat de lichaamsbelasting aan lineair PFOS in deze studiepopulatie hoger ligt dan in algemeen Vlaanderen.



Figuur 13: Percentage deelnemers boven de kwantificatielimiet (LOQ) voor de verschillende gemeten PFAS-componenten in de onderzoeksgroep binnen 3 km rond de 3M-site in Zwijndrecht (2021) voor de volledige groep (links) en de groep 12-19 jarigen (midden) en in de Vlaamse referentiegroep van FLEHS IV (2018, rechts).

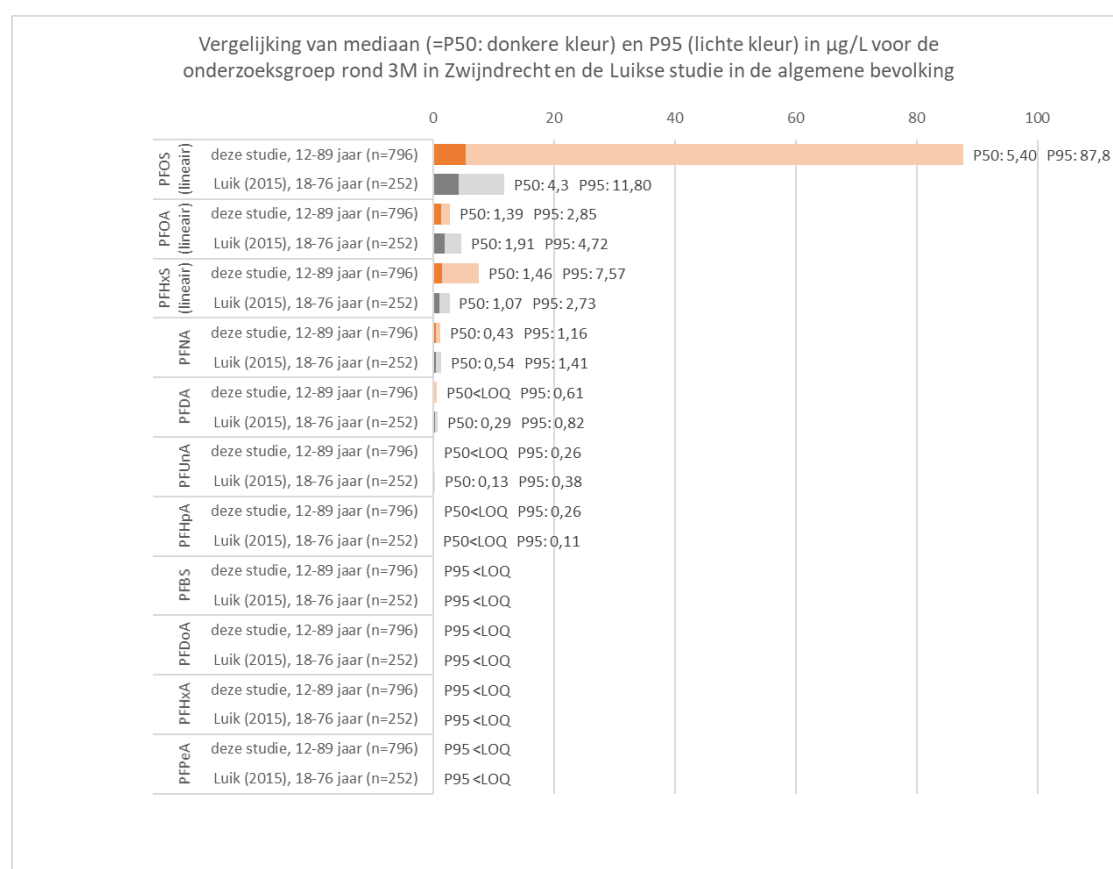


Figuur 14: Vergelijking van geometrisch gemiddelde (GM) en 90^{ste} percentiel (P90) van deze studie met andere Vlaamse studies (bron: Steunpunt Milieu en Gezondheid) voor PFOS, PFHxS, PFOA en PFNA.

3.2.3.2 Vergelijking met Waalse studie

Bijkomend aan de vergelijking met de Vlaamse data, is ook de vergelijking met de studie van Pirard et al., (2020) zinvol. Pirard et al. (2020) heeft in 2015 11 PFAS verbindingen gemeten in serum van 242 volwassen woonachtig in de provincie Luik. Er is een homogene verdeling van deelnemers over de verschillende leeftijdscategorieën (18-29j, 30-39j, 40-49j, 50-59j > 60j); deelnemers uit landelijke en stedelijke gebieden zijn vertegenwoordigd in de onderzoeksgroep.

Uit de vergelijking van resultaten van deze studie met de studie uit Luik blijkt dat de mediane waarden voor PFOS en PFHxS vrij gelijkaardig zijn, maar de P90 waarden liggen veel hoger in deze studie. PFNA en PFOA waarden zijn vrij gelijk, zowel wat betreft de mediane als de P90 waarden (zie Figuur 15).



Figuur 15: Vergelijking van de PFAS-serumgehalten (µg/L) in deze studie met de resultaten uit een Luikse studie bij de algemene bevolking (Pirard et al., 2020) op basis van mediaan (P50) en 95^{ste} percentiel (P95) waarden.

3.2.3.3 Vergelijking met ander hotspotstudies

Ook in andere landen, binnen en buiten Europa, werden HBM studies uitgevoerd in PFAS verontreinigde gebieden. Merk hierbij op dat de bron van PFAS verontreiniging divers kan zijn: sommige hotspots zijn gelegen nabij chemische industrieën waarin PFAS verbindingen geproduceerd of gebruikt werden, in andere hotspots is de contaminatie te wijten aan het gebruik van brandblus schuimen, of het gebruik van bodem verbeterende middelen die gecontamineerd waren met industrieel slib.

Volgende studies komen aan bod:

- **Ronneby cohorte (Zweden)** (Xu et al., 2021): In 2013 werd ontdekt dat het drinkwater waarop 1/3 van de populatie van Ronneby aangesloten is, sterk vervuild was met PFAS, ten gevolge van het gebruik van brandblus schuimen op een nabijgelegen militaire luchthaven. In 2015-2016 werd een HBM programma opgezet waarin PFAS in serum gemeten werd bij 3297 inwoners van Ronneby (0- 92 jaar) en 226 personen uit een referentiegroep. Bij alle deelnemers werd PFOS, PFOA en PFHxS gemeten, en op een subset (n = 906) werd ook PFHpA, PFNA en PFDA gemeten.
- **Het C8 Health project** (US -Ohio en West Virginia) (Frisbee et al., 2009) : er werd een grootschalige HBM campagne opgezet in 6 regio's waarvan het drinkwater verontreinigd was ten gevolge van activiteiten van de Dupont fabriek in Ohio. Serum stalen van bijna 69 000 bewoners (leeftijd van < 12 jaar tot > 60 jaar) werden verzameld en geanalyseerd in 2005-2006. Er werden 10 PFAS verbindingen geanalyseerd in alle stalen: PFPeA, PFHxA, PFHxS, PFHpA, PFOA, PFOS, PFNA, PFDA, PFUnA en FPDaA).
- **De Dordrecht studie (Nederland)** (RIVM, 2017): Het RIVM heeft in 2016 PFOA gemeten in serumstalen van 382 bewoners (> 18 jaar) van twee zones rondom de DuPont/Chemours fabriek te Dordrecht.
- **De Veneto Study** (Italië) ((Ingelido et al., 2018). Tijdens een onderzoeksproject werd ontdekt dat water in de Po (N-Italië) sterk verontreinigd was met PFOA. Nadien werd ook ontdekt dat sommige sectoren van de rivier basin Brenta, alsook grondwater, oppervlaktewater en drinkwater verontreinigd was, vermoedelijk ten gevolge van industriële emissies van een chemische fabriek in die buurt die sinds 1968 PFAS produceerde. Om een antwoord te geven op de impact van deze verontreiniging voor de mens, werd in 2015-2016 een HBM campagne opgezet, waarin bloedstalen bij 507 deelnemers genomen werden (m/v tussen 20 en 51 jaar), waarvan de helft uit verontreinigd gebied en de helft uit een referentiegebied. Er werden 12 PFAS verbindingen geanalyseerd: PFBA PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUdA, PFDoA, PFBS, PFHxS en PFOS.
- **Altötting hotspot** (Duitsland) (Baden-Württemberg LandesGesundheitsAmbt, 2018a). Een industrieel bedrijf in Gendorf gebruikte PFOA voor de productie van fluorpolymeren, wat resulteerde in een uitgebreide vervuiling van het milieu en een belasting voor mensen in delen van het Altötting-district. Om een antwoord te geven op de impact van deze verontreiniging voor de mens, werd in 2015-2016 een HBM campagne opgezet, waarin bloedstalen bij 507 deelnemers (7-85 j) genomen werden en geanalyseerd op 2 componenten (PFOA en ADONA).
- **Rastatt hotspot** (Duitsland) (Baden-Württemberg LandesGesundheitsAmbt, 2018b). In de omgeving van Rastatt en het stadsdeel Baden-Baden werd tot 2008 PFC verontreinigde compost werd aangebracht op het land. Deze zorgde voor een PFAS belasting van bodem, grond en bijgevolg drinkwater. Op vraag van een burgerinitiatief werden in 2015-2016 een bloedonderzoek uitgevoerd bij 348 bewoners (30-60 jaar) van de getroffen streek. De volgende componenten werden gemeten: PFOS, PFOA, FPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDoA PFBS, PFHxS en PFHpS.
- **Arnsberg hotspot studies** (Hölzer et al., 2008). In 2007 werd ontdekt dat verontreiniging van landbouwgrond opgetreden was door het wijdverbreide gebruik van bodemverbeteraar, die was

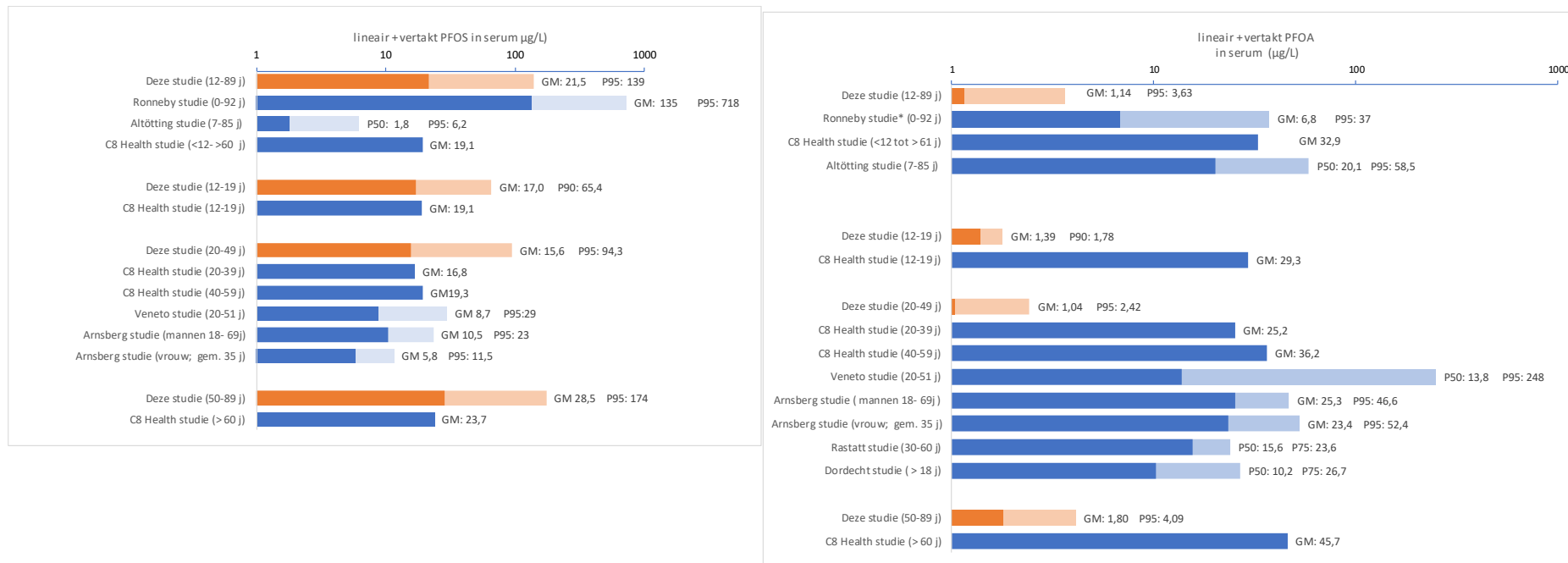
vermengd met industriële slib. In totaal werd 53.000 ton van het mengsel toegepast op > 1.300 gebieden in Noord Rijn-Wesfalen. Dit leidde tot een grootschalige verontreiniging van het drinkwater in deze streek (40 000 bewoners werden blootgesteld aan PFAS gecontamineerd drinkwater). In 621 serum stalen (kinderen, mannen en vrouwen) inclusief bewoner uit verontreinigd gebied en achtergrondgebied) werd PFOA, PFOS, PFBS, PFHxA, PFHxS en PFPA gemeten.

In bijlage 4 worden de resultaten van deze studie uitgezet ten opzichte van resultaten van Vlaamse en internationale studies voor PFAS, inclusief de vergelijking met de hotspots. De vergelijking voor PFOS, PFOA en PFNA en PFHxS worden weergegeven in Figuur 16 en Figuur 17.

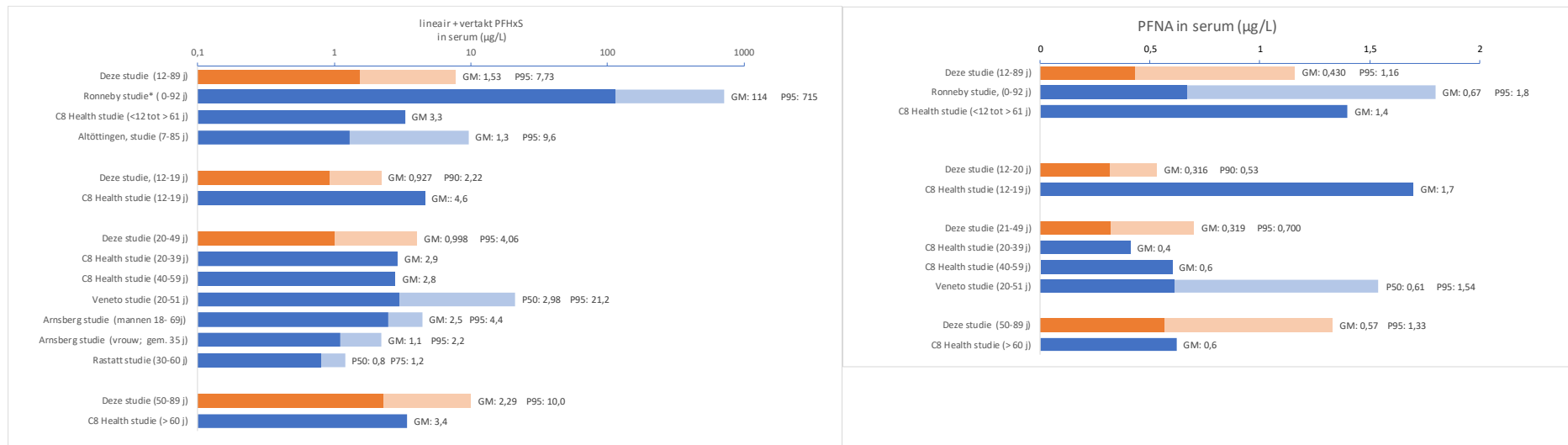
Vergelijking van PFAS serum gehalten van deze studie met deze andere hotspots levert ons de volgende inzichten:

- De niveaus van PFAS in serumstalen verschillen sterk van hotspot tot hotspot.
- Daar waar in andere hotspots PFOA vaak de dominante PFAS component is in serum, is dit niet het geval in deze studie. In dit opzicht is het profiel in deze studie vrij gelijkaardig als dat van de Ronneby cohorte, waar ook PFOS en niet PFOA dominant is in de serumstalen. In Ronneby cohorte is naast PFOS ook PFHxS dominant (zeer hoge PFHxS concentraties). In deze studie is PFHxS ook een belangrijke component, maar de dominantie is minder sterk dan in de Ronneby cohorte.
- De GM concentraties **PFOS** in deze studie zijn vrij vergelijkbaar met deze van de C8 Health studie, maar hoger dan in andere hotspots (Veneto, Alltötting, Arnsberg). De PFOS gehalten in serum in de Ronneby cohorte liggen 7 x hoger dan in Zwijndrecht (zowel wat betreft GM en P95 waarden).
- De PFOA gehalten in deze studie liggen lager dan in de meeste andere PFAS hotspots.
- De PHxS concentraties in serumstalen in deze studie zijn vrij vergelijkbaar met deze in andere hotspots (Veneto, Alltötting, Arnsberg). De PFHxS gehalten in Zwijndrecht zijn lager dan in de C8 cohorte. De PFHxS concentraties in de Ronneby cohorte liggen veel hoger (> factor 50) dan in deze studie (zowel wat betreft GM en P95 waarden).
- Andere componenten (PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFHpS) komen in deze studie in lagere tot vergelijkbare concentraties voor als van serumstalen uit andere hotspots. Deze niveaus zijn ook in andere hotspots soms verhoogd ten opzichte van achtergrondconcentraties, maar niet veel minder mate dan voor PFOS, PFHxS en PFOA.
- Contaminatie van drinkwater was in de meeste hotspots de voornaamste blootstellingroute, terwijl dit waarschijnlijk niet het geval is in Zwijndrecht (cf. controles PFAS in drinkwater, en zie verder in hoofdstuk 3.3).
- De spreiding in concentraties PFOS en PFHxS binnen deze studie varieert van vrij gelijkaardig tot vrij groot in vergelijking met andere cohortes. Bijvoorbeeld, de ratio GM/P95 voor PFOS en PFHxS bedraagt zowel in deze studie als in de Ronneby cohorte ongeveer factor 5-7. De auteurs van de C8 cohorte publiceerden geen percentielen in hun studie, maar op basis van hun gerapporteerde standaard deviatie op de gemiddelde waarden, werd de variatie coëfficiënt geschat. Deze waren

lager in de C8 cohorde (56% voor PFOS, 129 % voor PFHxS, 161 % voor PFOA en 68 % voor PFNA) dan voor deze studie. Verschillen in spreidingen binnen cohortes kunnen mogelijks te wijten zijn aan heterogenere verontreiniging, blootstellingsbronnen en karakteristieken van de populatie.



Figuur 16: Vergelijking van geometrisch gemiddelde (GM) en 95^{ste} percentiel (P95) van deze studie met buitenlandse PFAS hotspot studies voor lineair + vertakt PFOS (links) en lineair+ vertakte PFOA (rechts); gegevens op logaritmische schaal weergegeven. Indien geen GM of P95 gegevens gevonden werden, zijn andere centrum getallen (P50) of percentielen (P75 of P90) weergegeven); *in de Ronneby studie werden enkel lineaire PFOA verbindingen gemeten (omwille van de kleine verschillen tussen lineaire en totale PFOA gehalten in andere studies werd geen aparte grafiek gemaakt voor lineair PFOA). Voor studies waar niet kon achterhaald worden of de PFOS en/of PFOA metingen betrekking hadden op enkele lineaire vormen, dan wel de som van lineaire en vertakte vormen, werd aangenomen dat de metingen zowel lineaire als vertakte verbindingen omvatten.



Figuur 17: Vergelijking van geometrisch gemiddelde (GM) en 95^{ste} percentiel (P95) van deze studie met buitenlandse PFAS hotspot studies voor lineair + vertakt PFHxS (links; gegeven op logaritmische schaal) en PFNA (rechts). Voor studies waar niet kon achterhaald worden of de PFHxS metingen betrekking hadden op enkel de lineaire vorm, dan wel de som van lineaire en vertakte vormen, werd aangenomen dat de metingen zowel lineaire als vertakte verbindingen omvatten.

3.2.3.4 Vergelijking met algemene bevolking uit andere studies

Ook in andere landen, binnen en buiten Europa, worden HBM studies uitgevoerd bij een representatieve steekproef van de algemene bevolking om referentiewaarden te bepalen. Voor de vergelijking met de resultaten in deze studie beperken we ons tot referentiestudies in andere Westerse landen, omdat verschillen in voedingsgewoontes en in wetgeving een rol kunnen spelen in de blootstelling aan PFAS.

Volgende studies komen aan bod:

- **Frankrijk (ESTEBAN):**(Santé Publique France, 2019) In de ESTEBAN studie (Etude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et de la Nutrition) wordt de blootstelling van de Franse bevolking aan milieuvervuilende stoffen opgevolgd. In een deelgroep van 249 kinderen tussen 6 en 17 jaar en 744 volwassenen tussen 18 en 74 jaar die in de periode april 2014 tot maart 2016 aan de studie deelnamen werden in serum 17 PFAS gemeten (Santé Publique France, 2019).
- **Duitsland (GerES V):** Sinds midden jaren '80 organiseert Duitsland de German Environmental Survey (GerES). In de vijfde cyclus (2014-2017) werden PFAS gemeten in bloedplasma van 2294 kinderen tussen 3 en 17 jaar van 167 verschillende locaties in Duitsland (Duffek et al., 2020).
- **Verenigde Staten van Amerika (NHANES)⁹:** In de VS organiseert het Centers for Disease Control and Prevention (CDC) de National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) om de gezondheid en de nutritionele status van kinderen en volwassenen op te volgen en zo representatieve gegevens te verzamelen voor de algemene Amerikaanse bevolking. Deze studies werden opgestart in de jaren '60 en werden op regelmatige basis herhaald. De meest recente gegevens van PFAS zijn beschikbaar voor de cyclus 2017-2018, waar 16 PFAS gemeten werden in serum van 1929 deelnemers van 12 jaar en ouder van 30 verschillende locaties, die één derde uitmaken van de volledige onderzoeksgroep.
- **Canada (Canadese Health Measures Survey, cyclus 5):** De Canadese Health Measures Survey (CHMS) werd gestart in 2007 door Statistics Canada, Health Canada en Public Health Agency van Canada. In de 5de cyclus van deze nationale studie werd tussen januari 2016 en december 2017 biologische monsters afgenomen bij 5800 Canadezen tussen 3 en 79 jaar oud, verspreid over 16 plaatsen in Canada. Bij 1583 van deze deelnemers werden negen PFAS gemeten in bloedplasma (Health Canada, 2019).

Vergelijkbaarheid

In ESTEBAN en NHANES werden de PFAS gemeten in serum, net zoals in de huidige studie binnen 3 km rond 3M. In GerES en de Canadese CHMS werden de PFAS gemeten in bloedplasma, wat een andere samenstelling heeft dan serum. Echter, volgens Ehresman et al., 2007 is er voor PFOS, PFOA en PFHxS een 1:1 verhouding in plasma en serum, wat betekent dat beide vergelijkbaar zijn voor deze PFAS-componenten.

Monsternamen, verwerking en analyse kunnen ook verschillen vertonen en er zijn ook verschillen in de behaalde kwantificatielimiets.

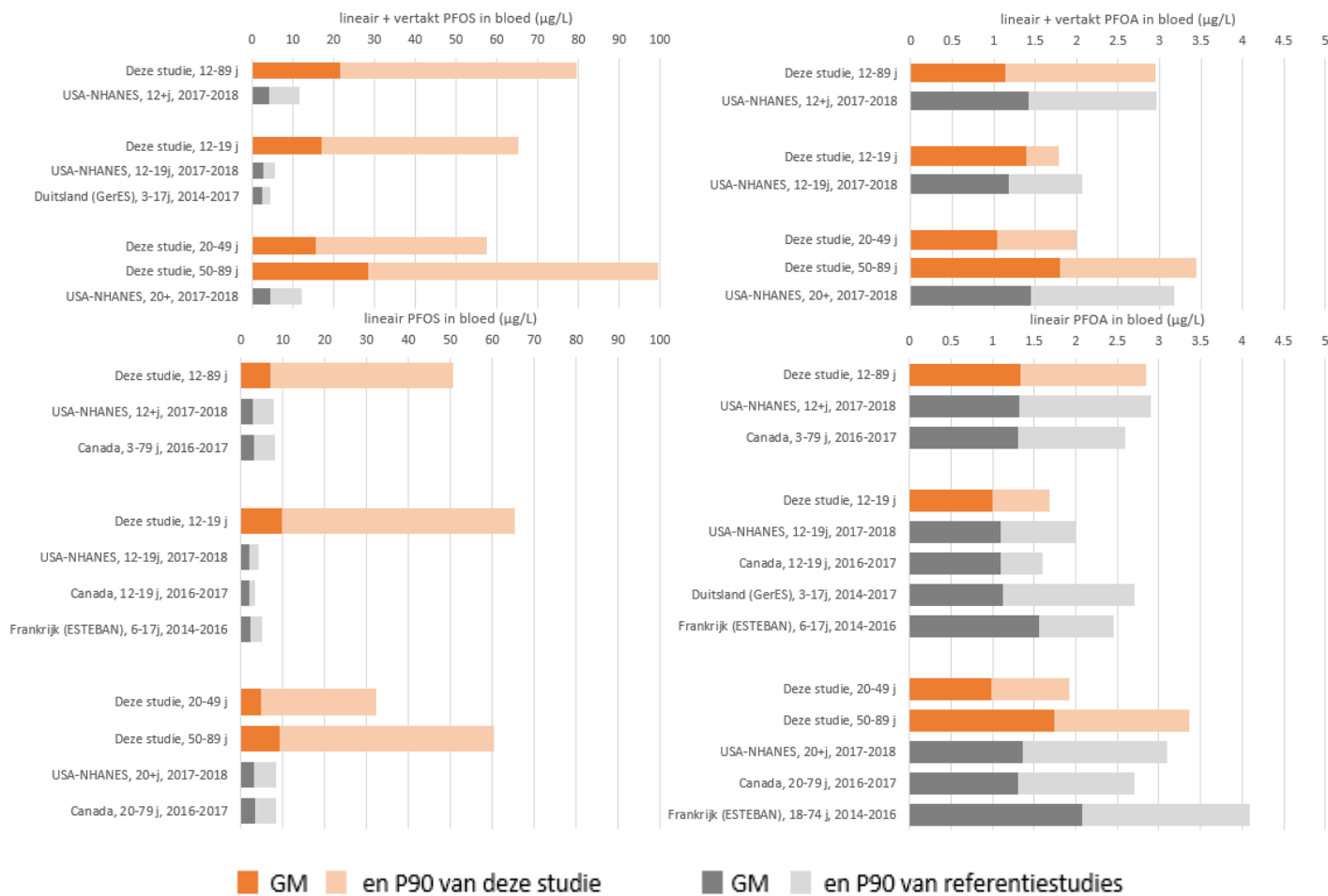
Daarnaast kunnen er ook verschillen zijn in levensgewoontes, voeding en wetgeving, vooral in de VS en Canada.

Hierdoor dienen vergelijkingen met de nodige voorzichtigheid te gebeuren.

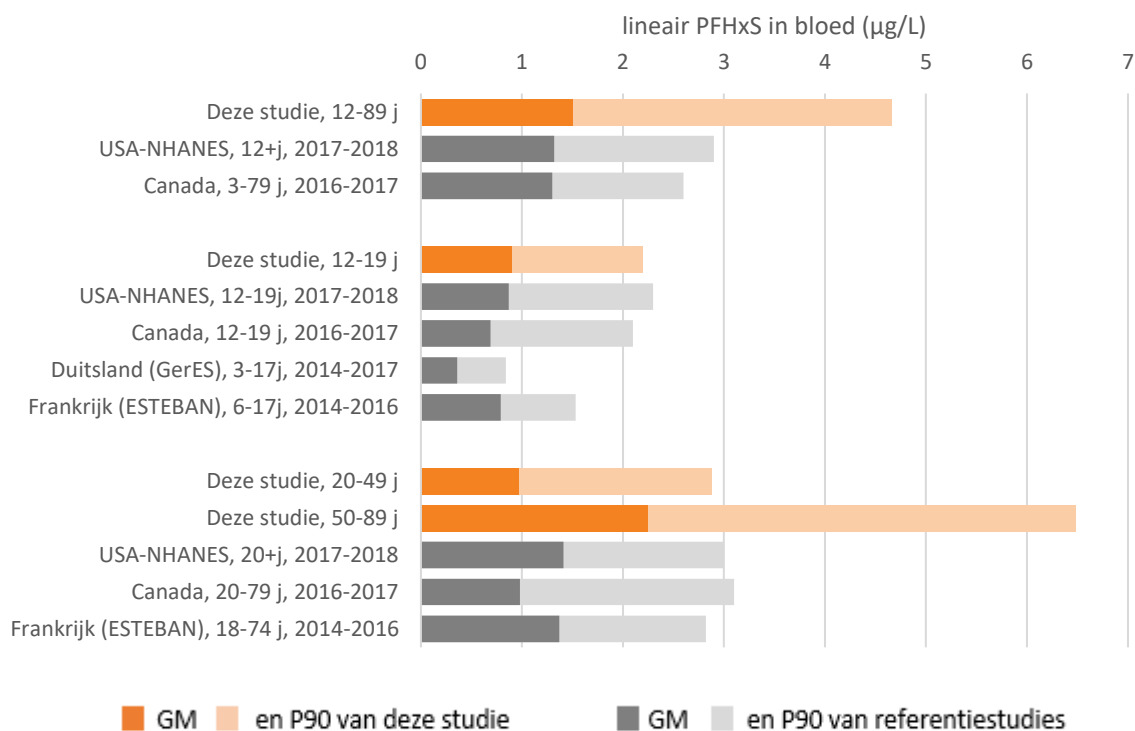
⁹ <https://wwwn.cdc.gov/nchs/nhanes/Default.aspx>

Vergeleken met de referentiewaarden gerapporteerd voor de algemene bevolking in buitenlandse studies liggen in deze studie rond de 3M site in Zwijndrecht de gehalten aan PFOS duidelijk hoger (Figuur 18). Zowel voor de lineaire PFOS als voor de combinatie van lineair + vertakt PFOS liggen het geometrisch gemiddelde en de P90 in alle leeftijdsgroepen hoger dan in algemene bevolking in de buitenlandse studies. Voor PFOA zien we echter dat de resultaten van deze studie zowel voor de lineaire vorm als voor de combinatie van lineair en vertakt PFOA in dezelfde grootteorde liggen als de waarden gerapporteerd voor de algemene bevolking in de buitenlandse studies (Figuur 18). Een gelijkaardig besluit kan getrokken worden voor PFNA. Ook voor PFNA zijn de resultaten van deze studie in dezelfde grootteorde als deze in de beschouwde buitenlandse studies (Figuur 20). Voor de leeftijdsgroep 12-19 jaar in onze studie ligt de P90 zelf iets lager dan vergelijkbare leeftijdsgroepen in de algemene bevolking van de buitenlandse studies.

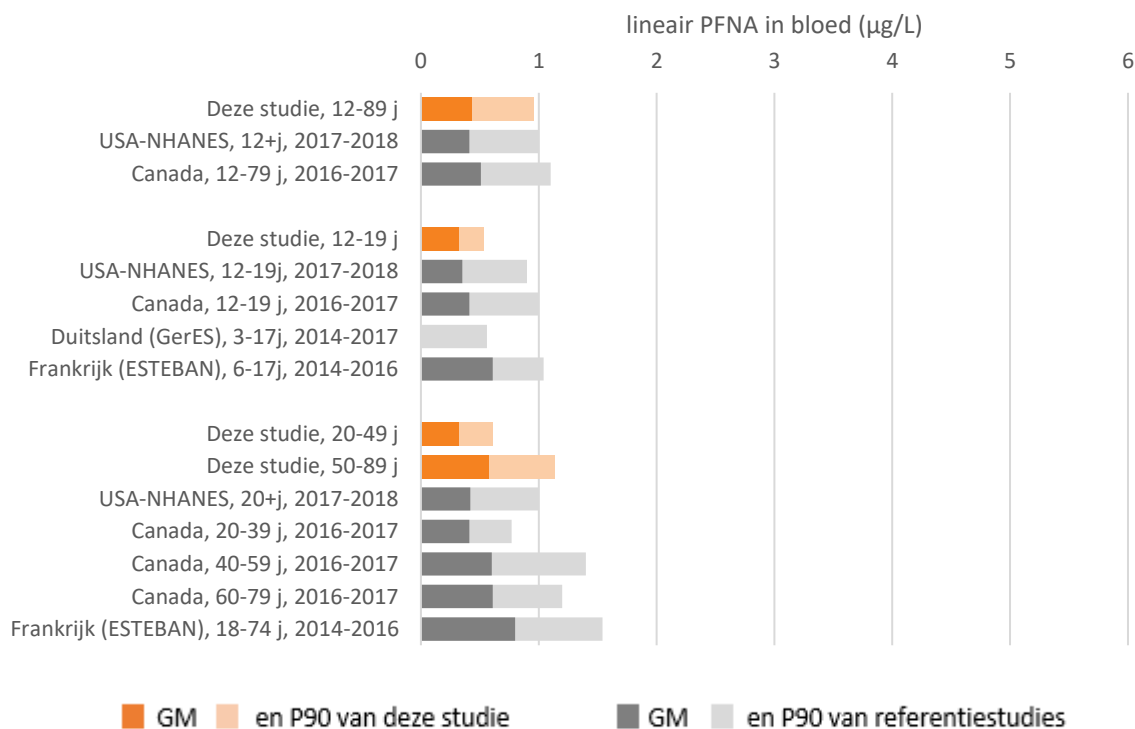
Voor PFHxS ligt de P90 van de totale onderzoeksgroep rond 3M in Zwijndrecht hoger dan de gerapporteerde P90-waarden in de buitenlandse studies (Figuur 19). Het geometrisch gemiddelde lijkt wel in dezelfde grootteorde te liggen. Ook voor de leeftijdsgroepen 12-19 jaar en 20-49 jaar in deze onderzoeksgroep zijn de resultaten van dezelfde grootteorde als in de algemene bevolking van de buitenlandse studies. Het is vooral de leeftijdsgroep 50-89 jaar in deze onderzoeksgroep waar de P90 ongeveer 2 keer hoger ligt dan de P90 in de beschouwde buitenlandse studies.



Figuur 18: Vergelijking van geometrisch gemiddelde (GM) en 90^{ste} percentiel (P90) van deze studie met buitenlandse referentiestudies in de algemene bevolking voor lineair + vertakt PFOS (boven links) en PFOA (boven rechts) en voor lineair PFOS (onder links) en PFOA (onder rechts).



Figuur 19: Vergelijking van geometrisch gemiddelde (GM) en 90^{ste} percentiel (P90) van deze studie met buitenlandse referentiestudies in de algemene bevolking voor PFHxS.



Figuur 20: Vergelijking van geometrisch gemiddelde (GM) en 90^{ste} percentiel (P90) van deze studie met buitenlandse referentiestudies in de algemene bevolking voor PFNA.

3.2.3.5 Vergelijking met beroepsblootstelling

PFOS gehalten in werknemers actief op PFAS productiesites werden gerapporteerd in de studies van Olsen et al. (2003) en Olsen and Zobel (2007). Voor drie PFAS productiesites van 3M zijn gegevens m.b.t. PFAS gehalten in serum van werknemers gemeten in het kader van een vrijwillig medisch opvolgingsprogramma, waaraan ongeveer 60 % van werknemers die in aanmerking kwam voor de studie deelnamen:

- Zwijndrecht (België); PFOA en PFOS in serum gemeten in 2000
- Minnesota; Coltage Grove (US) PFOA en PFOS in serum gemeten in 2000
- Alabama; Decatur (US) PFOA en PFOS in serum gemeten in 2000

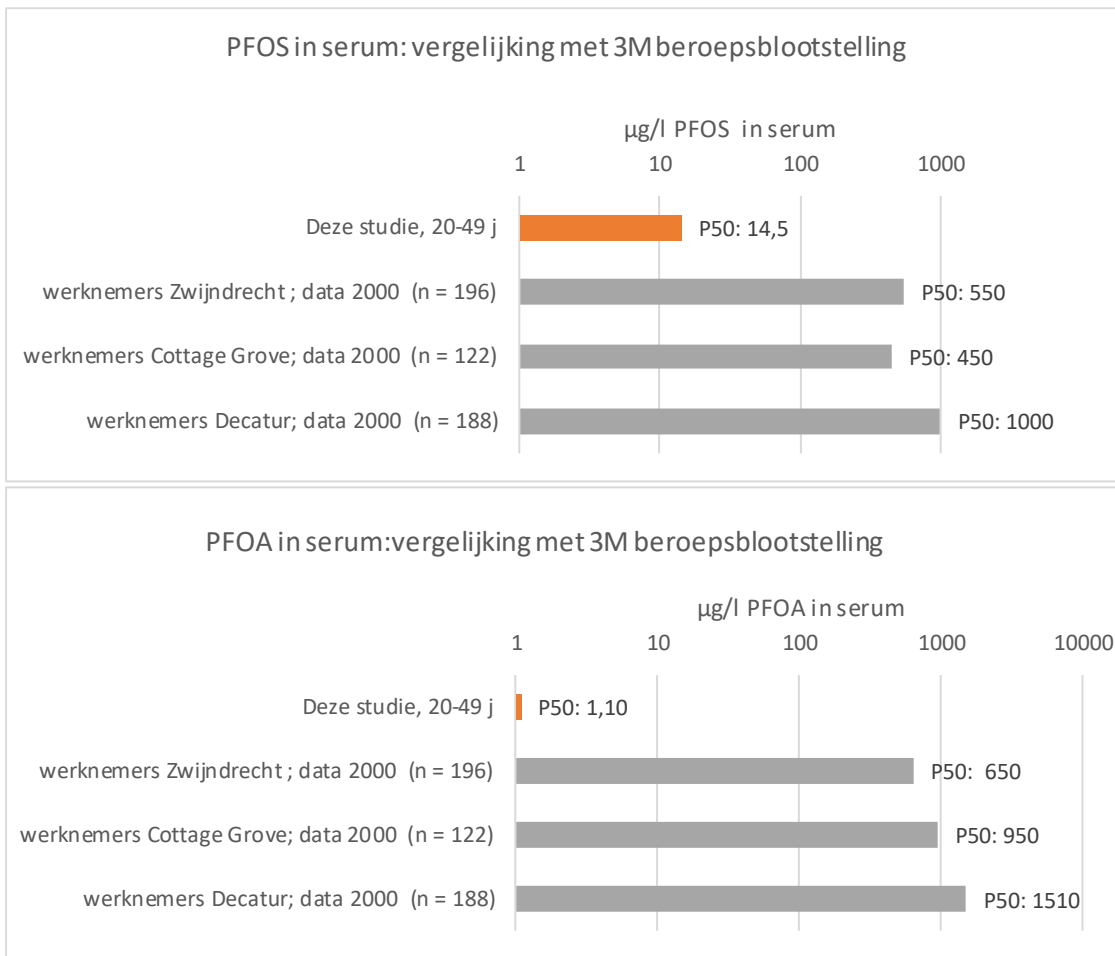
De kenmerken van deze werknemers uit deze 3 productiesites verschillen van elkaar m.b.t. leeftijd, BMI en verschillen in levensstijlfactoren tussen deze regio's. Gemiddelde leeftijd van de onderzochte werknemers in Zwijndrecht was 37 jaar.

Vermits in de paper van Olsen et al., 2007 geen geometrische gemiddelden, P90 of P95 percentielen werden gerapporteerd, wordt in Figuur 21 de mediane waardes van deze studie vergeleken met de mediane waardes van PFOS en PFOA bij de werknemers. De variatiecoëfficiënt (CV) van PFOA en FPOS in serum van de huidige studie (resp. 231 % en 254 %) is hoger dan de CV van de 3M werknemers in Zwijndrecht (resp. 102 % en 104 %).

De vergelijking van de PFOA en FPOS serum gehalten van de groep 20-49 jaar van deze studie met beroepsblootstelling toont aan dat omwonenden lagere gehalten PFOA en FPOS in serum hebben dan werknemers bij 3M die via hun beroep aan deze stoffen worden blootgesteld (Figuur 21). De groep van 20-49 jarigen uit deze studie werd gekozen als vergelijkspunt omdat deze groep wat betreft leeftijd het meest vergelijkbaar is met de leeftijd van de werknemers in de beroepsblootstellingstudies

De volgende aspecten dienen wel in rekening gehouden te worden bij de vergelijking met de deze studie:

- De gegevens uit deze werknemer studie dateren reeds van 2000 (vóór uitfasering van PFOS en PFOA productie). Gezien de uitfasering van PFOS en PFOA tussen 2000 en 2002 verwachten we dat de gehalten in serum ondertussen gedaald zullen zijn, maar nog steeds sterk verhoogd gezien de lange halfwaardetijd van deze stoffen.
- De studie van Olsen et al. (2007) rapporteert niet of de gegevens enkel lineaire dan wel lineaire + vertakte PFOS concentraties zijn. Net zoals voor vergelijking met hotspotstudies (zie hoger) nemen we in dat geval aan dat de gegevens totale PFOA of PFOS reflecteren.



Figuur 21: Vergelijking van PFOS en PFOA concentraties (P50) in serum van werknemers 3M (data uit 2000, bron) versus actuele PFOA en PFOS concentraties in serum gehalten van omwonenden (deze studie) van deze studie. (merk op resultaten zijn uitgedrukt op logaritmische schaal). Voor deze studie worden telkens de som van lineaire + vertakte vormen van PFOA en PFOS weergegeven.

3.3 BLOOTSTELLINGSMERKERS: WELKE FACTOREN ZIJN GEASSOCIEERD AAN DE PFAS-SERUMWAARDEN?

In dit hoofdstuk beschrijven we de resultaten van de statistische regressiemodellen die werden uitgevoerd op de volledige groep van 796 deelnemers. De voorwaarden waaraan deze modellen moeten voldoen, werden nagekeken. Omdat voor de variabelen 'afstand van het woonadres van de deelnemers tot de 3M-site' en de variabele 'afstand van het woonadres van de deelnemers tot de dichtstbijzijnde bron' de voorwaarde van lineariteit niet werd voldaan, werden deze variabelen categorisch in de lineaire modellen opgenomen (met categorieën: <1,5 km, 1,5-2 km en 2-3 km). De PFAS-componenten lineair +vertakt PFOA, PFNA, lineair + vertakt PFHxS, lineair + vertakt PFOS en lineair PFOS werden bij voldoende deelnemers gedetecteerd om lineaire regressiemodellen te gebruiken. Voor PFOA en PFHxS werd gekozen om enkel modellen op te bouwen voor de lineair + vertakte variant omdat deze gehalten weinig verschillen van enkel de lineaire varianten. Voor PFOS was het verschil tussen de lineaire PFOS variant en de combinatie lineair+vertakt groter, waardoor er voor beide varianten een model werd opgebouwd.

Met deze resultaten willen we nagaan of we aan de hand van deze gegevens **een geografische gradiënt** kunnen waarnemen in de PFAS-serumgehalten, of deze informatie toelaat om **de no-regret maatregelen eventueel bij te sturen** en of we met deze informatie **richting kunnen geven aan verdere analyses en vervolgonderzoek**.

Opgelet!

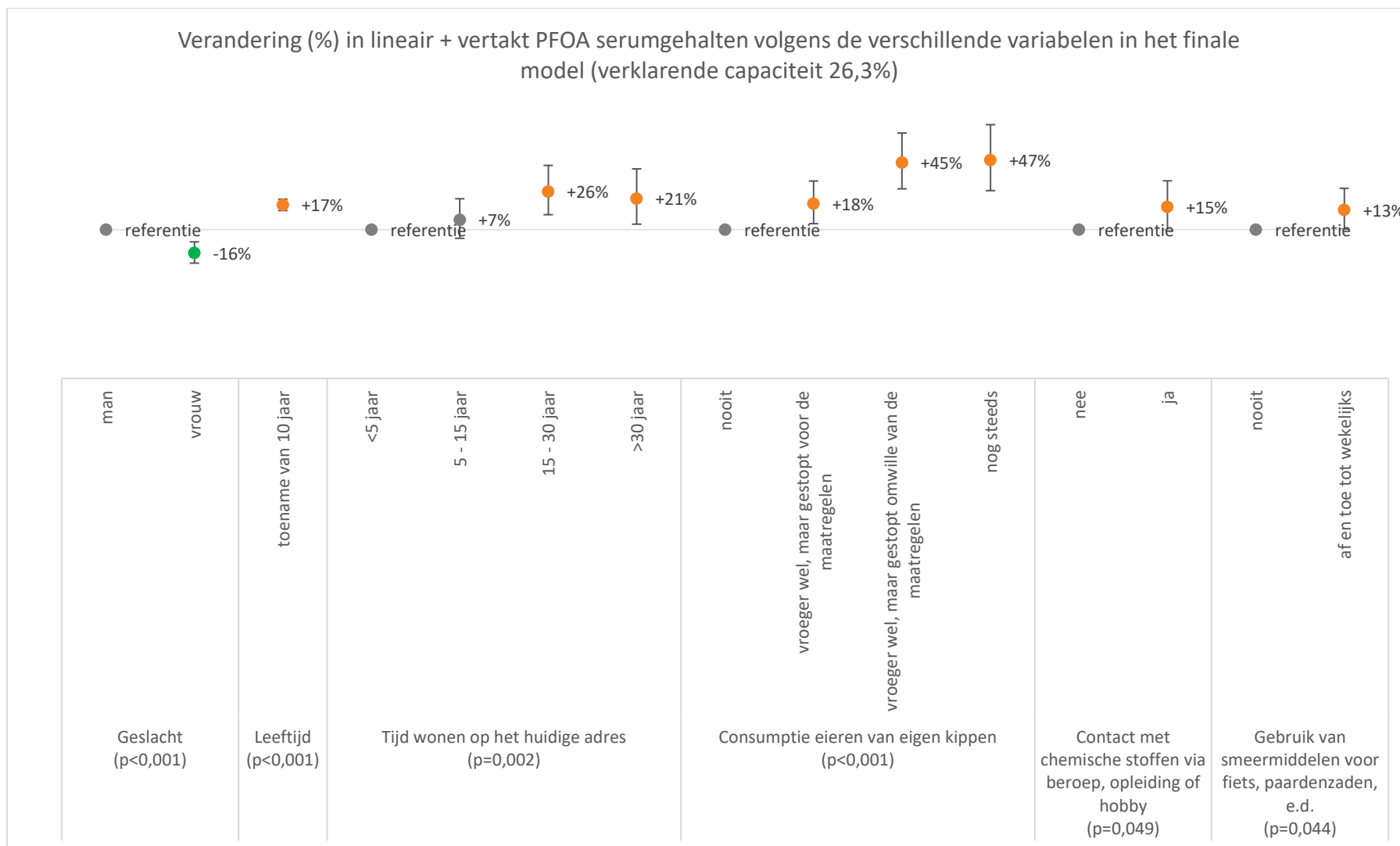
Deze studie werd opgezet als een bevolkingsscreening waarbij iedereen vanaf 12 jaar oud en wonend binnen het studiegebied zich vrijwillig kon aanmelden. In deze studie werd geen gecontroleerde studieopzet gehanteerd om specifieke onderzoeksvragen te beantwoorden. De resultaten in dit hoofdstuk zijn dan ook vooral te beschouwen als eerste indicaties die verder moeten onderzocht worden om definitieve besluiten te kunnen trekken.

Er werden finale modellen opgesteld met de bedoeling die variabelen te identificeren die samen het grootste aandeel in de variantie in PFAS-serumgehalten van de onderzoeksgroep kunnen verklaren. In deze modellen worden dus enkel de sterkste variabelen weerhouden. Dit wil niet noodzakelijk zeggen dat variabelen die niet weerhouden werden, niet relevant zouden zijn. Deze kunnen ook relevant zijn voor blootstelling aan PFAS, maar leveren niet de grootste bijdrage aan de waargenomen variantie aan PFAS-serumgehalten in deze onderzoeksgroep.

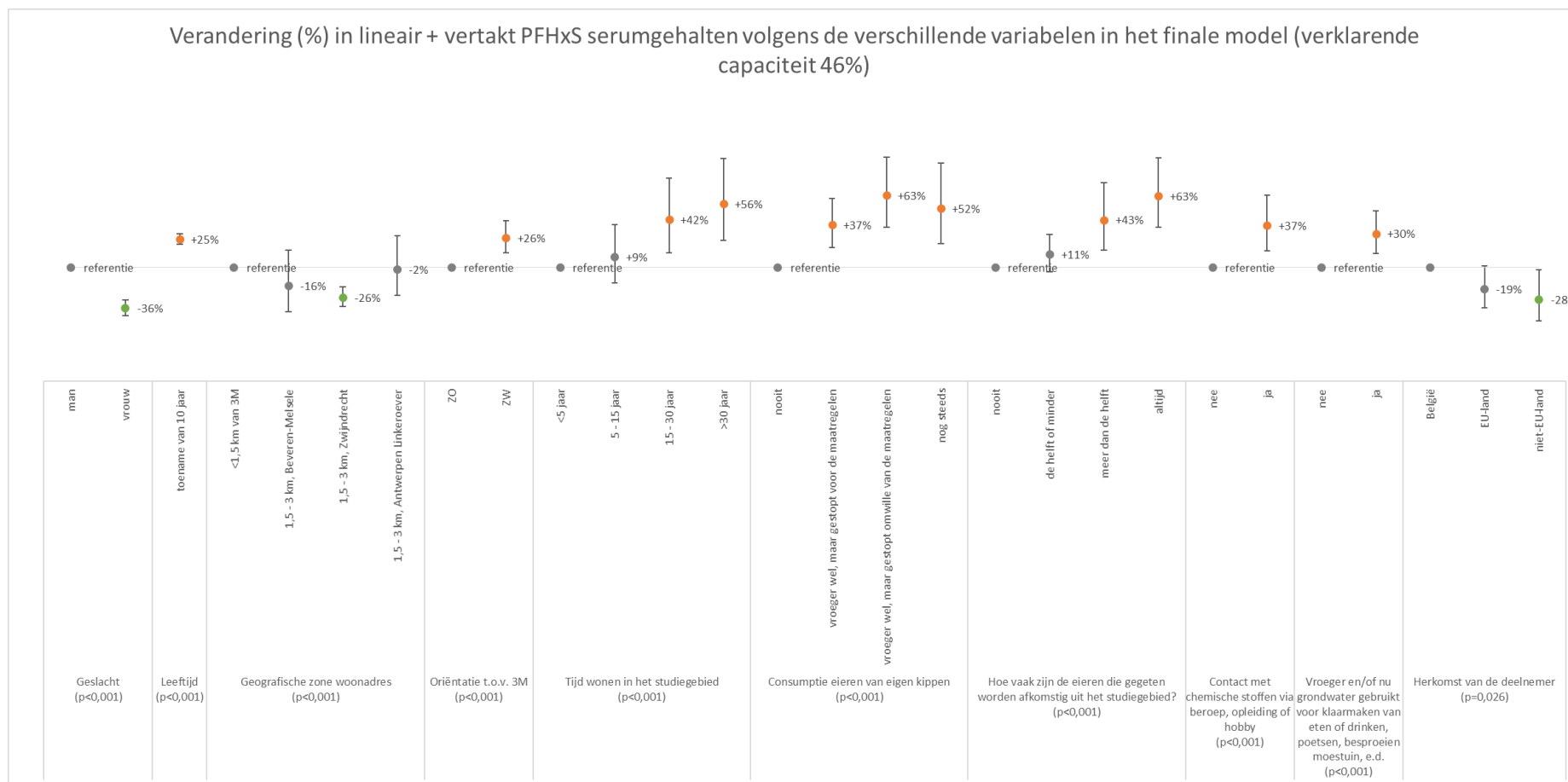
Tabel 30: Overzicht van de variabelen in het finale model met de grootste verklarende capaciteit per PFAS-component.

PFAS-component	Variabelen in het finale model met grootste verklarende capaciteit
Lineair + vertakt PFOA	Geslacht, leeftijd, tijd wonen op het huidige adres, consumptie van eieren van eigen kippen, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, gebruik van smeermiddelen voor fiets, paardenzadel, e.d. Verklarende capaciteit: 26,3% van de waargenomen variantie
PFNA	Geslacht, leeftijd, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, gebruik van smeermiddelen voor fiets, paardenzadel, e.d. Verklarende capaciteit: 36,5% van de waargenomen variantie
Lineair + vertakt PFHxS	Geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, ooit grondwater gebruikt, herkomst van de deelnemers Verklarende capaciteit: 46% van de waargenomen variantie
Lineair + vertakt PFOS	Geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, ooit grondwater gebruikt, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby Verklarende capaciteit: 38,2% van de waargenomen variantie
Lineair PFOS	Geslacht, leeftijd, BMI, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, ooit grondwater gebruikt, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby herkomst van de deelnemers Verklarende capaciteit: 55,0% van de waargenomen variantie

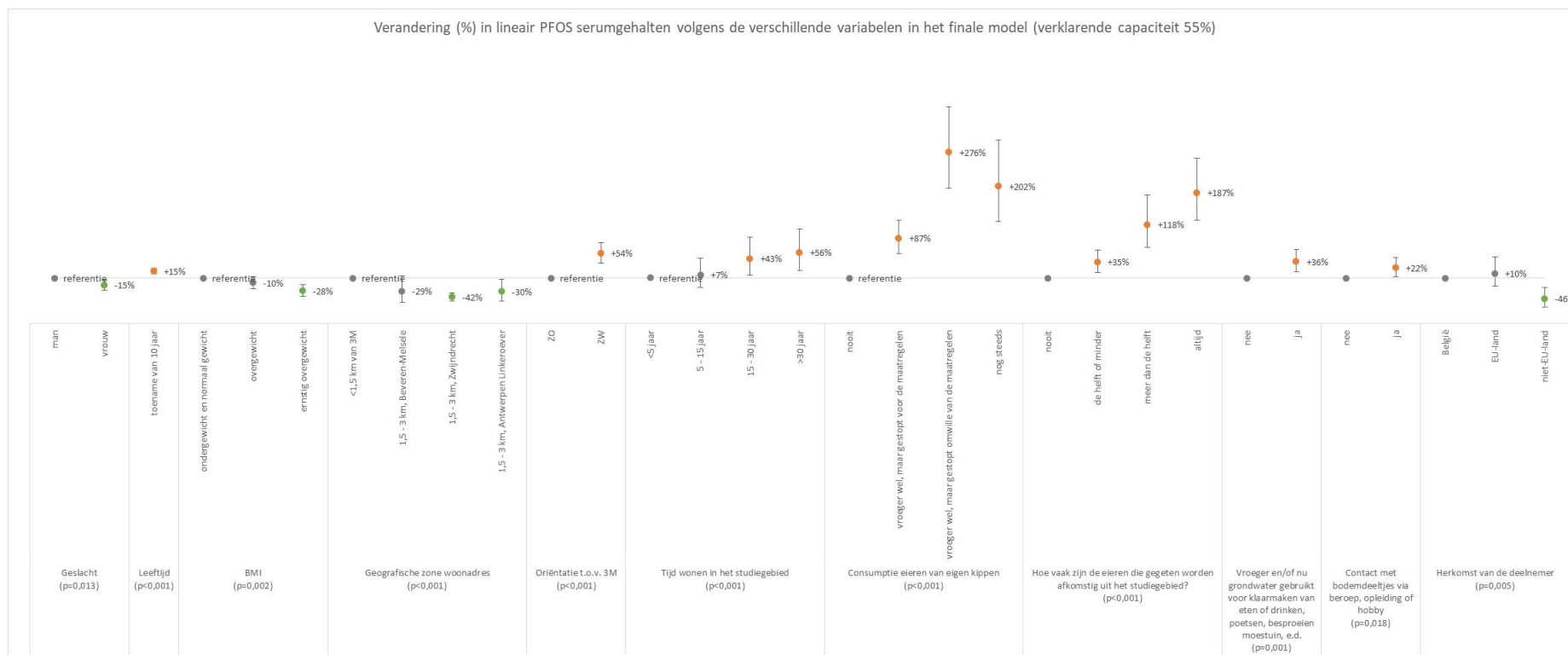
De finale modellen met een selectie variabelen die bijdragen tot de grootste verklarende capaciteit van de totale modellen van de waargenomen variantie in PFAS-serumgehalten zijn weergegeven in Figuur 22 tot en met Figuur 26. De variantie in deze modellen is het grootst voor lineair PFOS (55%), gevolgd door lineair + vertakt PFHxS (46%), lineair + vertakt PFOS (38,2%), PFNA (36,5%) en het kleinst voor lineair + vertakt PFOA (26,3%).



Figuur 22: Finaal model voor lineair + vertakt PFOA in serum van 796 deelnemers binnen 3 km rond de 3M-vestiging in Zwijndrecht met selectie van variabelen die bijdragen tot de grootste verklarende capaciteit van het totale model.



Figuur 24: Finaal model voor lineair + vertakt PFHxS in serum van 796 deelnemers binnen 3 km rond de 3M-vestiging in Zwijndrecht met selectie van variabelen die bijdragen tot de grootste verklarende capaciteit van het totale model.



Figuur 26: Finaal model voor lineair PFOS in serum van 796 deelnemers binnen 3 km rond de 3M-vestiging in Zwijndrecht met selectie van variabelen die bijdragen tot de grootste verklarende capaciteit van het totale model.

3.3.1 Geografische factoren

De hypothesen die hier getest werden, zijn:

- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens afstand van het woonadres tot de 3M-vestiging?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens de oriëntatie van het woonadres ten opzichte van de 3M-vestiging?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens afstand tot de dichtstbijzijnde mogelijke PFAS-bron
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens de tijd wonen in het studiegebied?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens de tijd wonen op het huidige adres?

Om deze hypothesen te onderzoeken, werd het effect van de geografische variabelen op de PFAS-serumgehalten bepaald na rekening te houden met alle anderen relevante variabelen in het model (zie Tabel 30, Figuur 22 tot en met Figuur 26). De resultaten geven het effect op de PFAS-gehalten (% toename of afname) met het 95% confidentie-interval (CI).

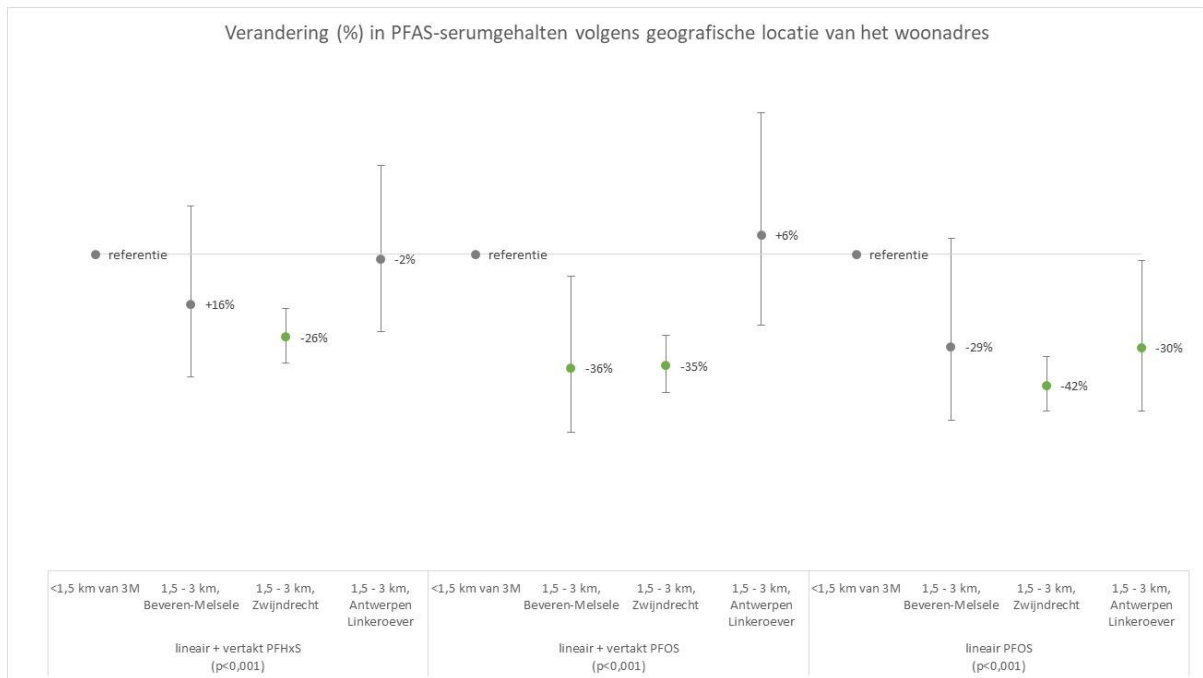
Hoewel het studiegebied niet zo heel groot is (straal van 3 km), observeren we toch geografische verschillen in PFAS-serumgehalten op basis van het woonadres van de deelnemers.

➔ **Afstand tot de 3M-site alleen lijkt niet alle geografische variatie in de PFAS-gehalten te vatten, ook windrichting t.o.v. de 3M-site lijkt belangrijk te zijn**

We rapporteren de resultaten voor lineair + vertakt PFOS en lineair PFOS omdat deze component de grootste blootstelling aan PFAS uitmaakt.

Afstand tot 3M (ingedeeld in 4 zones: Zwijndrecht 0 – 1,5 km; 1,5 – 3 km Beveren-Melsele, 1,5- 3 km Linkeroever, 1,5 – 3 km Zwijndrecht)

We observeren dat deelnemers in de **zone 1,5-3 km deelgebied Zwijndrecht** (n=506) significant lagere serumgehalten hebben van lineair + vertakt PFOS (gemiddeld -35%, 95% CI: -44%; -26%) en lineair PFOS (gemiddeld -42%, 95% CI: -50%; -33%) dan de deelnemers in de zone 0 – 1,5 km (n=224) (Figuur 27). Een gelijkaardig resultaat werd tevens bekomen voor lineair + vertakt PFHxS. Vergeleken met de deelnemers in de zone <1,5 km van 3M, observeren we bij deelnemers in de **zone 1,5-3 km deelgebied Antwerpen-Linkeroever** (n=41) lagere serumgehalten van lineair PFOS (gemiddeld -30%, 95% CI: -49%; -2%) en bij deelnemers in de **zone 1,5-3 km deelgebied Beveren-Melsele** (n=25) lagere serumgehalten aan lineair + vertakt PFOS (gemiddeld -36%, 95% CI: -56%; -7%). Voor de serumgehalten van lineair + vertakt PFOA was er een trend tot hogere serumwaarden te zijn in de zone 1,5 – 3 km deelgebied Melsele dan in de zone <1,5 km, maar dit was niet meer significant indien consumptie van eieren van eigen kippen in rekening werd gebracht. Van de 24 deelnemers in deelgebied Melsele at 40% inderdaad nog steeds lokale eieren en was 20% recent gestopt met eten van lokale eieren omwille van de maatregelen. Voor de serumgehalten van PFNA was deze variabele niet meer significant indien ook rekening werd gehouden met de oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M.



Figuur 27: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens de geografische locatie van het woonadres van de deelnemers, met deelnemers die wonen binnen 1,5 km van de 3M-site als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **lineair + vertakt PFHxS:** geslacht, leeftijd, oriëntatie t.o.v. 3M, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak de eieren afkomstig zijn uit het studiegebied, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, vroeger en/of nu gebruik van grondwater en herkomst van de deelnemers; **lineair + vertakt PFOS:** geslacht, leeftijd, oriëntatie t.o.v. 3M en tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak de eieren afkomstig zijn uit het studiegebied, vroeger en/of nu gebruik van grondwater en contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby; **lineair PFOS:** geslacht, leeftijd, BMI, oriëntatie t.o.v. 3M, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak de eieren afkomstig zijn uit het studiegebied, vroeger en/of nu gebruik van grondwater, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby en herkomst van de deelnemers.

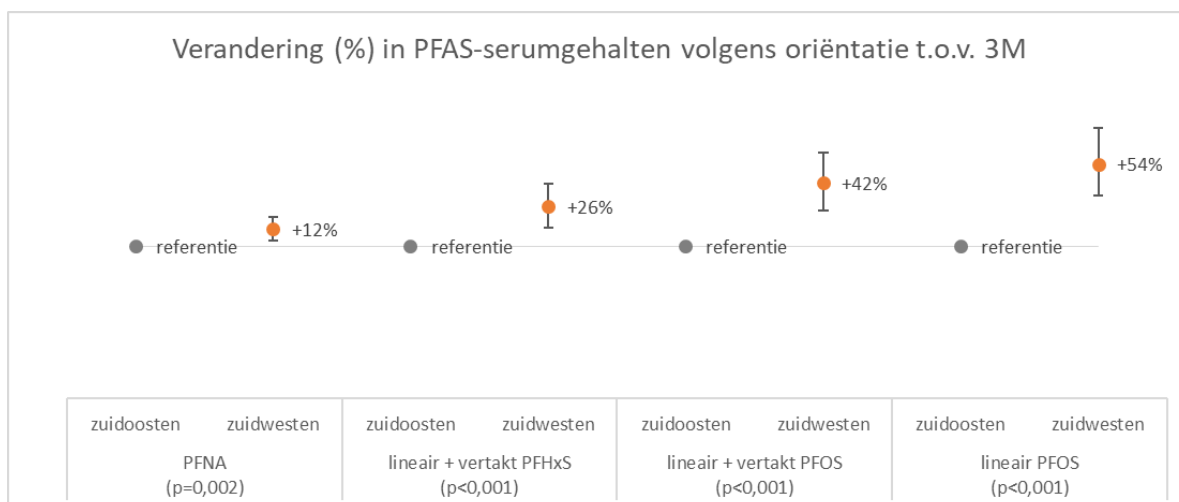
Oriëntatie t.o.v. 3M

Als we de deelnemers groeperen volgens oriëntatie van het woonadres t.o.v. de 3M-site, dan observeren we dat deelnemers die ten zuidwesten van 3M wonen (n=498) gemiddeld hogere serumgehalten hebben van lineair + vertakt PFOS (+42%, 95% CI: +24%; +62%) en lineair PFOS (+54%, 95% CI: +34%; +78%) dan deelnemers die ten zuidoosten wonen (n=298) (Figuur 28). Een gelijkaardige trend wordt ook geobserveerd voor PFNA en voor lineair + vertakt PFHxS.

Het transport van PFAS via de lucht uit het NO (2^{de} dominante windrichting) kan mogelijks een historische factor geweest zijn (historische depositie die zijn sporen heeft nagelaten op de bodems en oppervlaktes) die nog steeds voor blootstelling van de bevolking kan zorgen. Deze hypothese dient verder onderzocht te worden.

Aanbevelingen

Een uitbreiding van toekomstige onderzoeksgebieden in zuidwestelijke richting lijkt aangewezen.



*Figuur 28: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens de oriëntatie van het woonadres van de deelnemers ten opzichte van de 3M vestiging, met deelnemers die wonen in het zuidoosten als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **PFNA**: geslacht, leeftijd, consumptie van eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, gebruik van smeermiddelen voor fiets, paardenzadel, **lineair + vertakt PFHxS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak de eieren afkomstig zijn uit het studiegebied, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, vroeger en/of nu gebruik van grondwater en herkomst van de deelnemers; **lineair + vertakt PFOS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak de eieren afkomstig zijn uit het studiegebied, vroeger en/of nu gebruik van grondwater en contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby; **lineair PFOS**: geslacht, leeftijd, BMI, geografische locatie van het woonadres, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak de eieren afkomstig zijn uit het studiegebied, vroeger en/of nu gebruik van grondwater, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby en herkomst van de deelnemers.*

➔ Aanwezigheid van brandweeroefenterreinen kunnen mogelijk bijdragen aan de blootstelling van omwonenden, maar meer gericht onderzoek is nodig

We berekenden voor alle deelnemers de mogelijke PFAS-bron die het dichtst bij hun woonadres is gelegen. Voor de meerderheid van de deelnemers, zowel in de zone <1,5 km als in de zone 1,5 – 3 km, was dit de 3M-site (n=685). Voor 44 deelnemers was het brandweeroefenterrein op de ISEC-site de dichtstbijzijnde bron. Eerste verkennende analyses wijzen op een mogelijke relevantie van nabijheid van brandweeroefenterreinen voor de PFAS-gehalten in serum van de omwonende deelnemers. Er was echter teveel samenhang tussen de dichtstbijzijnde bron en de geografische zone van het woonadres, waardoor beide niet samen in hetzelfde model konden gestopt worden. Er werd dan gekozen voor de geografische zone van het woonadres omdat deze de sterkste significantie en de meeste verklarende capaciteit had. Op basis van deze resultaten kunnen nog geen conclusies getrokken worden in verband met de nabijheid van brandweeroefenterreinen. Meer gericht verder onderzoek is hier aangewezen.

Aanbeveling

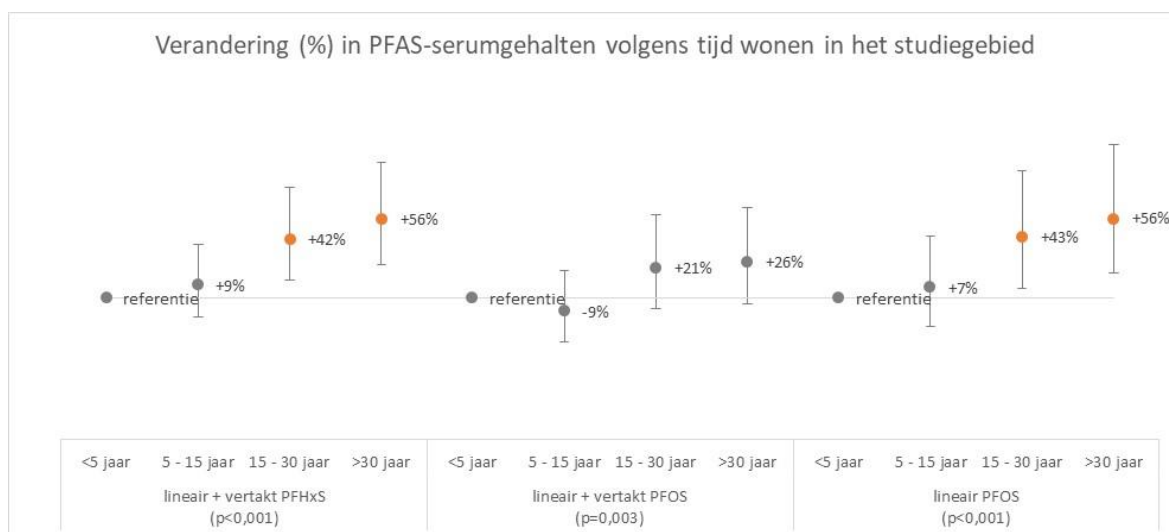
Er lijken indicaties te zijn dat het brandweeroefenterreinen voor omwonenden een bijkomende bron is van PFAS-blootstelling. Verdiepende analyses zouden hier meer duidelijkheid over kunnen geven.

➔ PFAS-blootstelling in de regio wordt doorheen de jaren opgestapeld

Naast de locatie van het woonadres observeren we ook associaties met de tijdsperiode gedurende welke de deelnemers in het studiegebied wonen of op het huidige adres wonen.

Als voorbeeld worden de resultaten van lineair PFOS in detail besproken (Figuur 29).

Deelnemers die reeds **langer dan 30 jaar in het studiegebied wonen** hebben gemiddeld 56% (95% CI: +18%; +108%) hogere serumgehalten van lineair PFOS dan deelnemers die minder dan 5 jaar in het studiegebied wonen. Ook deelnemers die **15 – 30 jaar in het studiegebied wonen** hebben significant hogere serumgehalten van lineair PFOS (+43%, 95% CI: +7%; +91%) dan deelnemers die minder dan 5 jaar in het studiegebied wonen (Figuur 29). Voor lineair + vertakt PFOS worden gelijkaardige resultaten geobserveerd, maar dan met de laagste serumgehalten in de groep die 5 – 15 jaar in het studiegebied woont. Ook voor lineair + vertakt PFHxS worden gemiddeld hogere serumgehalten geobserveerd voor deelnemers die 15-30 jaar of meer dan 30 jaar in het studiegebied wonen dan voor deelnemers die minder dan 5 jaar in het studiegebied wonen. Voor lineair + vertakt PFOA-gehalten in serum werd dezelfde trend waargenomen, maar had de tijd wonen op het huidige adres een grotere verklarende capaciteit dan de tijd wonen in het studiegebied (Figuur 22).



Figuur 29: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens de tijd wonen in het studiegebied, met deelnemers die minder dan 5 jaar in het studiegebied wonen als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **lineair + vertakt PFHxS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, ooit grondwater gebruikt, herkomst van de deelnemers; **lineair + vertakt PFOS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, ooit grondwater gebruikt, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby; **lineair PFOS**: geslacht, leeftijd, BMI, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, ooit grondwater gebruikt, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby herkomst van de deelnemers

3.3.2 Informatie voor eventueel bijsturen van de no-regret maatregelen

3.3.2.1 Gegevens over eieren

De hypothesen die hier getest werden, zijn:

- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het eten van eieren van eigen kippen?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het eten van eieren gekregen van of gekocht bij burens, vrienden, familie of lokale telers uit het studiegebied?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens hoe vaak de gegeten eieren afkomstig zijn uit het studiegebied?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het aantal eieren afkomstig uit het studiegebied dat wekelijks gegeten worden?

Om deze hypothesen te onderzoeken, werd het effect van deze variabelen op de PFAS-serumgehalten bepaald na rekening te houden met alle andere relevante variabelen in het model (zie Tabel 30, Figuur 22 tot en met Figuur 26). De resultaten geven het effect op de PFAS-gehalten (% toename of afname) met het 95% confidentie-interval (CI).

➔ De resultaten ondersteunen het afraden van het eten van eieren afkomstig van particulieren uit het studiegebied

De resultaten wijzen uit dat consumptie van eieren afkomstig uit het studiegebied geassocieerd is met hogere serumgehalten aan lineair+vertakt PFOA (Figuur 22), PFNA (Figuur 23), lineair + vertakt PFHxS (Figuur 24), lineair + vertakt PFOS (Figuur 25) en lineair PFOS (Figuur 26). Het gaat hier dan zowel over eieren van eigen kippen, als over eieren gekregen van of gekocht bij vrienden, burens, familie of lokale telers (geen eieren gekocht in de winkel). Het effect van eten van eieren uit het studiegebied lijkt het sterkst te zijn voor lineair PFOS. De effecten zijn ook groter voor consumptie van eieren van eigen kippen dan van eieren afkomstig van anderen uit het studiegebied. Daarnaast wijzen de resultaten ook op het belang van hoe vaak de gegeten eieren afkomstig zijn uit het studiegebied en het aantal eieren uit het studiegebied dat gemiddeld per week gegeten werd. De grootste verklarende capaciteit voor de waargenomen PFAS-serumgehalten werd bekomen door de combinatie van eten van eieren van eigen kippen en hoe vaak de gegeten eieren afkomstig zijn uit het studiegebied.

Als we lineair PFOS als voorbeeld nemen, dan observeren we dat deelnemers die nog steeds eieren van eigen kippen eten (n=67) gemiddeld 202% (95% CI: +125%; +304%) hogere serumgehalten van lineair PFOS hebben dan deelnemers die nooit eieren van eigen kippen eten (n=527) (Figuur 30). Een gelijkaardige trend wordt waargenomen voor eieren die werden gekregen van of gekocht bij anderen uit het studiegebied.

Voor deelnemers waarbij de gegeten eieren de voorbije 3 maanden altijd afkomstig waren uit het studiegebied (n=126) werden gemiddeld 187% (95% CI: +128%; +268%) hogere serumgehalten van lineair PFOS waargenomen t.o.v. deelnemers die de voorbije 3 maanden geen lokale eieren aten (n=470) (Figuur 31). Ook voor het wekelijks aantal gegeten eieren uit het studiegebied observeren we hogere PFAS-serumgehalten indien er meer lokale eieren gegeten werden.

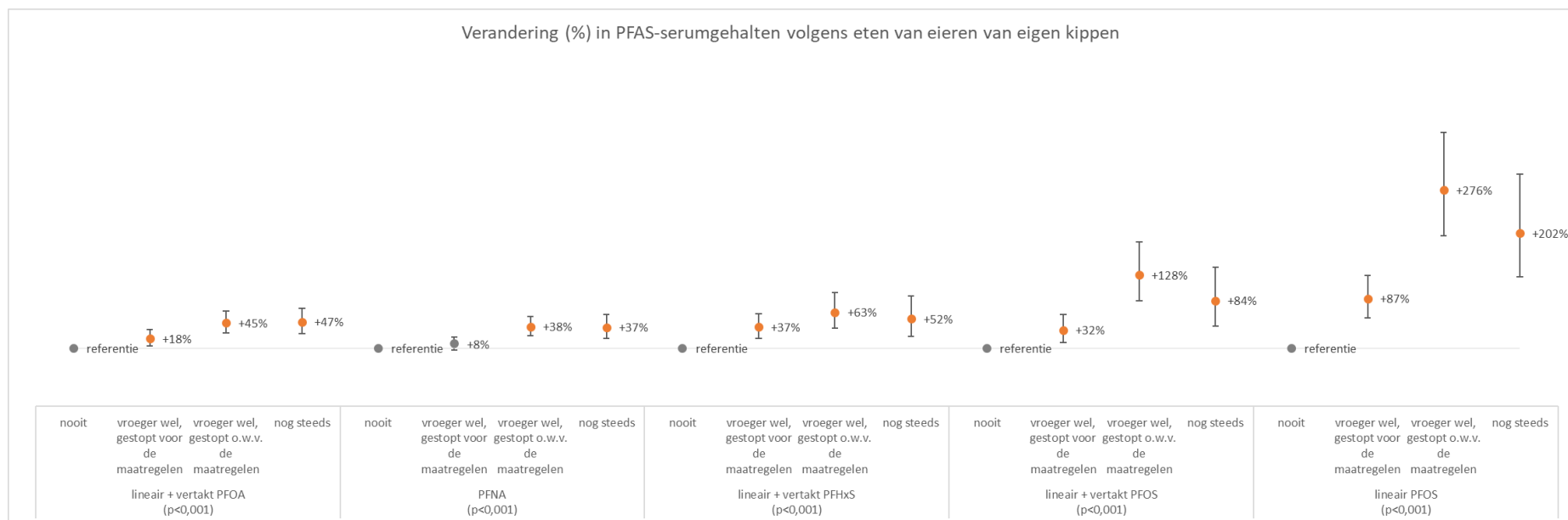
Voor lineair + vertakt PFOA, PFNA, lineair + vertakt PFHxS en lineair + vertakt PFOS observeren we gelijkaardige trends als voor lineair PFOS.

Dat een maatregel over het beperken of afraden van consumptie van lokale eieren een gunstige invloed kan hebben op de PFAS-serumgehalten wordt ook ondersteund door de observatie dat deelnemers die reeds voor het afkondigen van de no-regret maatregelen gestopt waren met eten van lokale eieren lagere PFAS-serumgehalten hebben dan deelnemers die pas gestopt zijn omwille van de maatregelen of nog steeds lokale eieren eten.

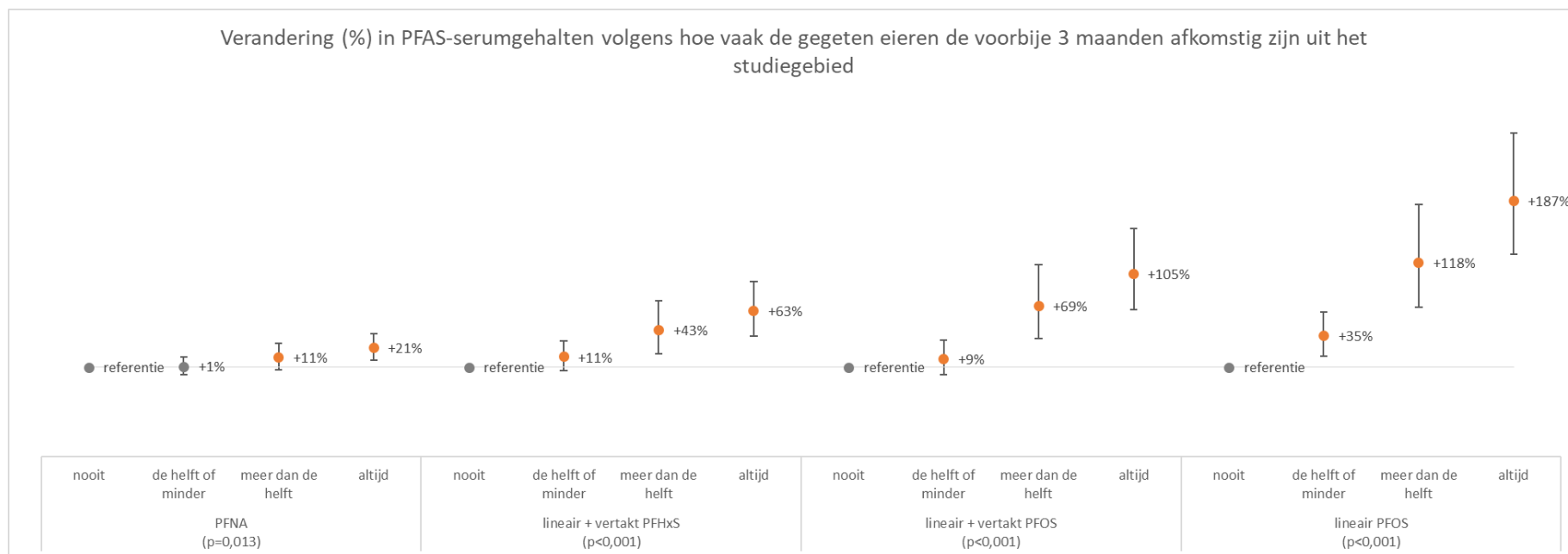
Aanbevelingen

Op basis van deze resultaten lijkt het zeker aan te raden om consumptie van eieren van eigen kippen of van andere particulieren in het studiegebied af te raden om zo verdere toename van PFAS-gehalten in serum te voorkomen.

Verder onderzoek naar de eventuele rol van kenmerken van de kippenren, voeding en drinkwater van de kippen in de PFAS-blootstelling kan eventueel bijkomende inzichten opleveren die op termijn kunnen toelaten deze maatregel verder te verfijnen door adviezen te geven over de inrichting van de kippenren waarbij opname van PFAS door de kippen kan verminderd worden. Hiervoor werden reeds enkele gegevens verkregen via de vragenlijst in deze studie, die in de komende periode statistisch kunnen geïnterpreteerd worden. Daarnaast zouden bevestigende metingen van bodem van de kippenren, eieren, voeding en drinkwater van de kippen ook een meerwaarde zijn.



Figuur 30: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens consumptie van eieren van eigen kippen, met deelnemers die nooit eieren van eigen kippen eten als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **lineair + vertakt PFOA: geslacht, leeftijd, tijd wonen op het huidige adres, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, gebruik van smeermiddelen voor fiets, paardenzadel; **PFNA**: geslacht, leeftijd, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, gebruik van smeermiddelen voor fiets, paardenzadel; **lineair + vertakt PFHxS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, ooit grondwater gebruikt, herkomst van de deelnemers; **lineair + vertakt PFOS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen in het studiegebied, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, ooit grondwater gebruikt, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby; **lineair PFOS**: geslacht, leeftijd, BMI, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, ooit grondwater gebruikt, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby herkomst van de deelnemers.**



*Figuur 31: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens hoe vaak de gegeten eieren tijdens de 3 maanden voorafgaand aan de bloedafname afkomstig zijn uit het studiegebied, met deelnemers die nooit eieren uit het studiegebied eten als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **PFNA**: geslacht, leeftijd, windrichting van het woonadres t.o.v. 3M, consumptie eieren van eigen kippen, gebruik van smeermiddelen voor fiets, paardenzadel; **lineair + vertakt PFHxS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, ooit grondwater gebruikt, herkomst van de deelnemers; **lineair + vertakt PFOS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, ooit grondwater gebruikt, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby; **lineair PFOS**: geslacht, leeftijd, BMI, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, ooit grondwater gebruikt, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby herkomst van de deelnemers.*

3.3.2.2 Gegevens over fruit en groenten

De hypothesen die hier getest werden, zijn:

- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het eten van fruit uit eigen tuin?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het eten van groenten uit eigen tuin?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het eten van fruit gekregen van of gekocht bij burens, vrienden, familie of lokale telers uit het studiegebied?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het eten van groenten gekregen van of gekocht bij burens, vrienden, familie of lokale telers uit het studiegebied?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens type moestuin?

Om deze hypothesen te onderzoeken, werd het effect van deze variabelen op de PFAS-serumgehalten bepaald na rekening te houden met alle andere relevante variabelen in het model (zie Tabel 30, Figuur 22 tot en met Figuur 26).

Allereerst dient te worden gezegd dat de vragenlijstgegevens over consumptie van groenten en fruit uit eigen tuin of gekregen van / gekocht bij burens, vrienden, familie of lokale telers in het studiegebied bevroegd werden over een periode van 3 maanden voorafgaand aan de bloedafname (die plaats vond in de periode begin juli - midden augustus). Omwille van een minder goed voorjaar waren er ook minder groenten en fruit beschikbaar dan normaal. De antwoorden kunnen dan een onderschatting zijn van de gemiddelde jaarlijkse consumptie van lokale groenten en fruit. Verschillende deelnemers gaven in de opmerkingen namelijk aan dat ze gewoonlijk meer lokale groenten of fruit eten, maar dat het aanbod op dat moment nog erg beperkt was. Voor groenten en fruit uit eigen tuin kon ook een groep geïdentificeerd worden die geen moestuin heeft en bijgevolg nooit groenten en fruit uit eigen tuin eet. Deze differentiatie maakt de statistische analyses van consumptie uit eigen tuin sterker dan deze voor de consumptie van groenten en fruit afkomstig van anderen uit het studiegebied.

➔ **Deze resultaten lijken het advies om zelfgeteelde groenten en fruit in het studiegebied met mate te consumeren te ondersteunen, maar verder onderzoek is nog nodig**

Eerste verkenning van de resultaten lijkt te wijzen op hogere PFAS-serumgehalten bij een toenemende consumptiefrequentie van zelf geteelde of lokaal geteelde groenten en fruit. Ook het type moestuin (in plantenbakken of in volle grond) lijkt dan van belang te zijn. Indien echter consumptie van eieren van eigen kippen of uit het studiegebied mee in rekening wordt gebracht, zijn de associaties met eten van groenten en fruit niet meer significant. Dit zou kunnen wijzen op een overheersende bijdrage van consumptie van lokale eieren aan de PFAS-serumgehalten of het kan ook betekenen dat deelnemers die groenten en fruit uit eigen tuin eten veelal ook eieren van eigen kippen eten. Om dit uit te sluiten, zal de statistische analyse nog herhaald worden waarbij enkel de deelnemers die geen lokale eieren eten in de analyse worden opgenomen. Dit zal toelaten om beter gefundeerde uitspraken te doen over de mogelijke bijdrage van consumptie van lokaal geteelde groenten en fruit tot de waargenomen PFAS-serumgehalten.

Aanbeveling

De resultaten spreken de aanbeveling om zelfgeteelde groenten en fruit met mate te consumeren niet tegen, maar verdere statistische analyses zijn nodig. Afwisseling met

groenten en fruit die gekocht zijn in de supermarkt kan de toename van PFAS-gehalten in bloed beperken.

Er is verdiepend onderzoek nodig naar de mogelijke bijdrage van zelfgeteelde of lokaal geteelde groenten aan de PFAS-blootstelling. Dit kan enerzijds door verdere statistische analyses op een groep deelnemers die geen lokale eieren eet. Anderzijds kunnen metingen van PFAS-gehalten in groenten en fruit uit particuliere tuinen ook meer informatie aandragen. Deze gegevens worden momenteel verzameld in andere onderzoeksprojecten in het studiegebied.

Verdere statistische analyses op de groep deelnemers die geen lokale eieren eet en metingen in groenten geteeld in verschillende types moestuin (plantenbakken en volle grond) kunnen ook bijkomende informatie opleveren voor een eventuele verfijning van het advies over eigen geteelde groenten naar type moestuin.

3.3.2.3 Gegevens over grondwater

De hypothesen die hier getest werden, zijn:

- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het bezit van een grondwaterput?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens de diepte van de grondwaterput?
- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens het gebruik van het grondwater?

Om deze hypothesen te onderzoeken, werd het effect van deze variabelen op de PFAS-serumgehalten bepaald na rekening te houden met alle andere relevante variabelen in het model (zie Tabel 30, Figuur 22 tot en met Figuur 26). De resultaten geven het effect op de PFAS-gehalten (% toename of afname) met het 95% confidentie-interval (CI).

➔ Deze resultaten kunnen het advies om geen grondwater te gebruiken als drinkwater ondersteunen

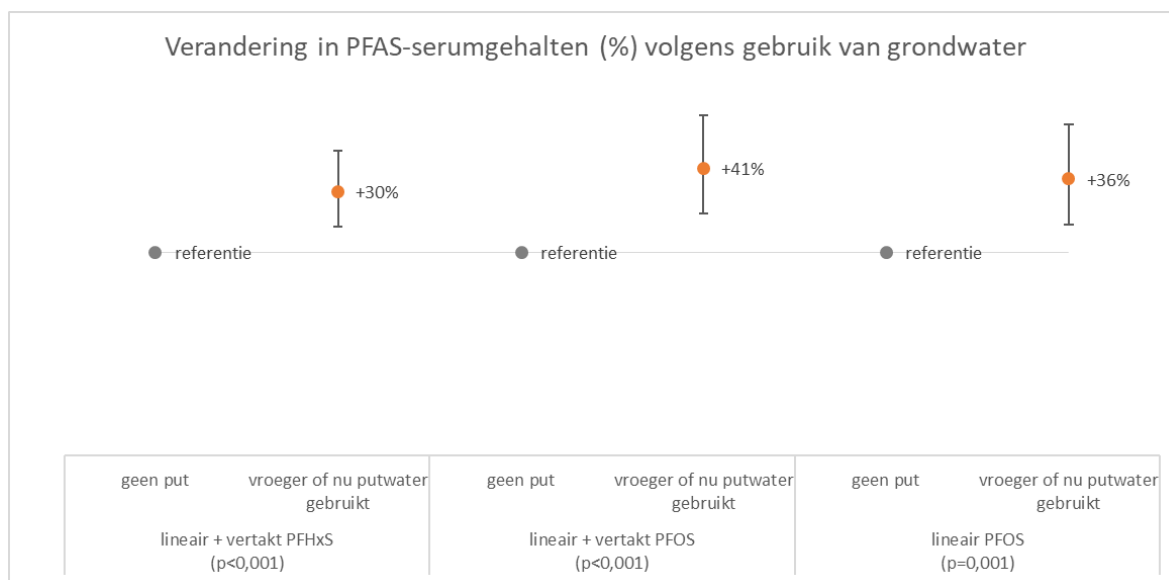
Vroeger en/of huidige gebruik van grondwater kon meer verklaring bieden voor de waargenomen PFAS-serumgehalten (lineair + vertakt PFHxS, lineair + vertakt PFOS en lineair PFOS) dan enkel huidig gebruik van grondwater of het bezit van een grondwaterput. De serumgehalten van lineair PFOS lagen gemiddeld 36% hoger (95% CI: +14%; +63%, Figuur 32) bij deelnemers die aangaven vroeger of momenteel grondwater te gebruiken voor voeding, drinken, besproeien van de moestuin, poetsen of persoonlijke hygiëne (n=128) dan bij deelnemers die geen grondwaterput hebben (n=664). Voor lineair + vertakt PFHxS en lineair + vertakt PFOS werden gelijkaardige resultaten waargenomen, eveneens na rekening te houden met de andere relevante variabelen in het model.

➔ Deze resultaten lijken te wijzen op een eventuele bijstelling van het advies i.v.m. ondiepe putten naar een uitbreiding met diepe putten, maar hier is verder onderzoek nodig

Eerste verkenning van de resultaten lijkt te wijzen op hogere serumgehalten aan lineair + vertakt PFHxS, lineair + vertakt PFOS en lineair PFOS bij deelnemers met een grondwaterput van 10m diep of dieper. Na het in rekening brengen van andere relevante variabelen (Tabel 30) is de associatie met diepte van de grondwaterput echter niet meer significant. Het lijkt wel aangewezen om meer informatie te verzamelen over PFAS-gehalten in grondwaterputten van verschillende diepte.

Aanbeveling

De maatregel om geen grondwater te gebruiken als drinkwater kan best worden aangehouden. Deze eerste resultaten wijzen ook op een mogelijk belang van ander gebruik van grondwater, bijvoorbeeld als irrigatiewater voor de moestuin, als mogelijke blootstelling aan PFAS. Het lijkt aangewezen om grondwater eerst te laten testen op PFAS alvorens het te gebruiken op gewassen of andere producten die bedoeld zijn voor consumptie door de mens.



*Figuur 32: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens vroeger en/of nu gebruik van grondwater (voor klaarmaken van eten of drinken, voor poetsen, besproeien van de moestuin, persoonlijke hygiëne, enz), met deelnemers die geen grondwaterput hebben als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **lineair + vertakt PFHxS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby, herkomst van de deelnemers; **lineair + vertakt PFOS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby; **lineair PFOS**: geslacht, leeftijd, BMI, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby herkomst van de deelnemers.*

3.3.3 Informatie over contact met producten

De hypothesen die hier getest werden, zijn:

- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens contact met PFAS via beroep, opleiding of hobby, met opdeling in chemie (labo, gebruik bestrijdingsmiddelen, chemische of textielindustrie), smeermiddelen (werken aan auto's, fietsen), metalen (metaalnijverheid, lassen), brandbestrijding (brandweer) en bodem (wegenwerken, bouw, landbouw, natuurbeheer)?

- Is er een verschil in PFAS-serumgehalten volgens gebruiksfrequentie van producten die mogelijk PFAS kunnen bevatten?

Om deze hypothesen te onderzoeken, werd het effect van deze variabelen op de PFAS-serumgehalten bepaald na rekening te houden met alle andere relevante variabelen in het model (zie Tabel 30, Figuur 22 tot en met Figuur 26). De resultaten geven het effect op de PFAS-gehalten (% toename of afname) met het 95% confidentie-interval (CI).

→ **Er zijn aanwijzingen dat contact met chemische stoffen of met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby bijdragen aan de PFAS-serumgehalten**

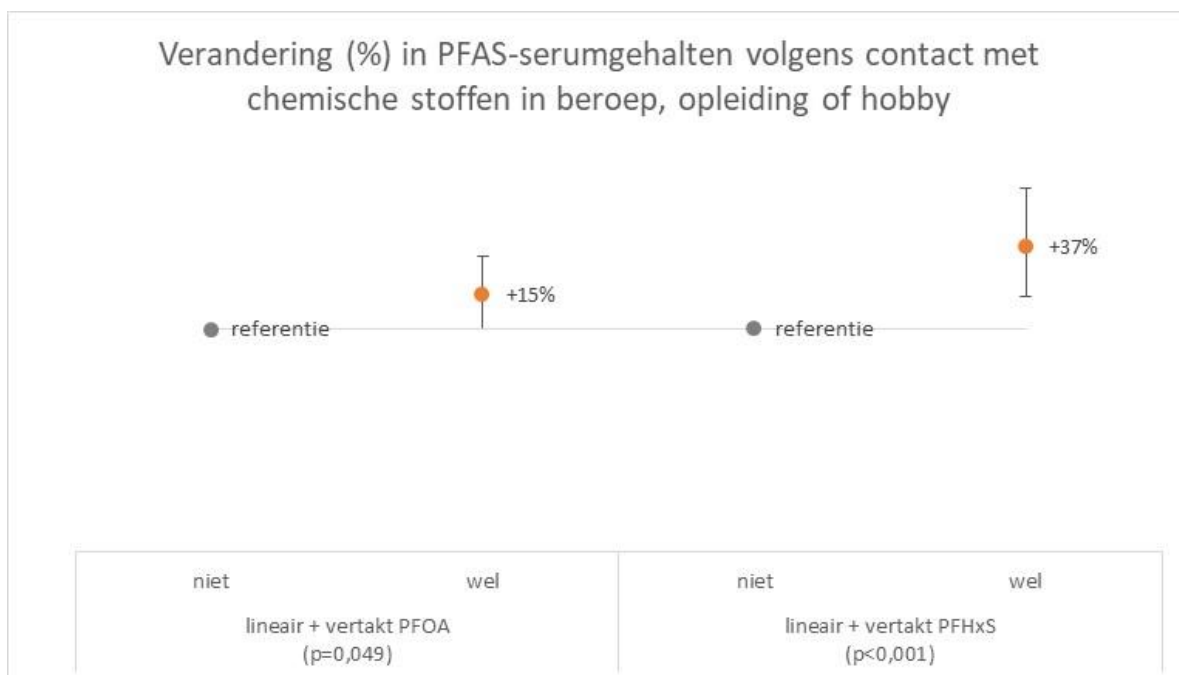
We observeren gemiddeld 15% (95% CI: +0,1%; +33%) hogere serumgehalten voor lineair + vertakt PFOA en 37% (95% CI: +15%; +64%) hogere serumgehalten voor lineair + vertakt PFHxS bij deelnemers die aangaven via beroep, opleiding of hobby in contact te komen met **chemische stoffen** (vb. in laboratorium, bestrijdingsmiddelen, chemische of textielindustrie) (n=75) dan bij deelnemers die niet aangaven hiermee in contact te komen (n=712) (Figuur 33).

We observeren ook gemiddeld 24 % (95% CI: +6%; +45%) hogere lineair + vertakte PFOS gehalten en 22% (95% CI: +4%; +45%) hogere lineaire PFOS-gehalten (Figuur 34) in serum van deelnemers die aangaven via beroep, opleiding of hobby in contact te komen met **bodemdeeltjes** (vb. wegenwerken, bouw, landbouw, natuurbeheer) (n=147) dan bij deelnemers die dit niet aangaven (n=640). Er werd een gelijkaardige trend waargenomen voor PFNA en lineair + vertakt PFHxS, maar deze was niet sterk genoeg om ook te worden opgenomen in het finale model voor deze componenten.

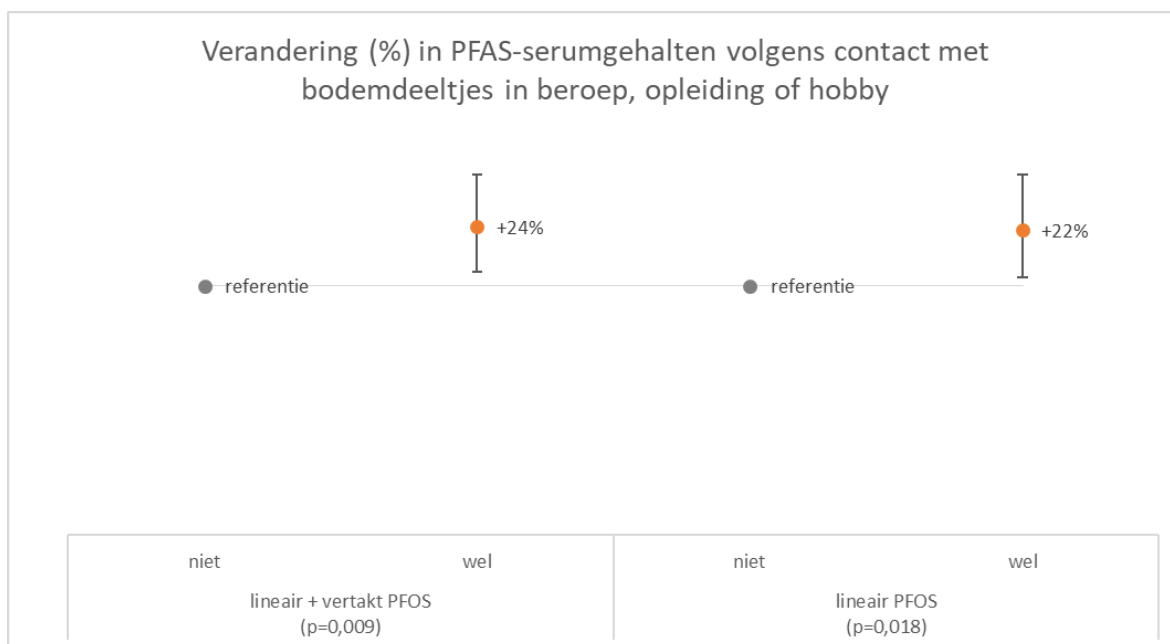
Aanbeveling

Eventueel kan er voor de verschillende arbeids- en opleidingssectoren bekeken worden welke beschermende middelen voor personeel en studenten kunnen gestimuleerd worden om contact met mogelijk PFAS-houdende materialen te beperken. Dit is een algemeen advies die ook van toepassing is buiten PFAS hotspots.

Meer specifiek voor milieugerelateerde blootstelling via hobby of beroep (nvl. via contact met bodemdeeltjes) zijn voorzorgs- en hygiënemaatregelen om blootstelling via deze weg te beperken aangewezen.



*Figuur 33: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby (vb. laboratorium, bestrijdingsmiddelen, chemische of textielindustrie), met deelnemers die dit niet hebben aangegeven als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **lineair + vertakt PFOA**: geslacht, leeftijd, tijd wonen op het huidige adres, consumptie van eieren van eigen kippen, gebruik van smeermiddelen voor fiets, paardenzadel, e.d.; **lineair + vertakt PFHxS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, vroeger en/of nu grondwater gebruikt, herkomst van de deelnemers.*



*Figuur 34: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens contact met bodemdeeltjes via beroep, opleiding of hobby (vb. wegenwerken, bouw, landbouw, natuurbeheer), met deelnemers die dit niet hebben aangegeven als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **lineair + vertakt PFOS**: geslacht, leeftijd, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, ooit grondwater gebruikt; **lineair PFOS**: geslacht, leeftijd, BMI, geografische locatie van het woonadres, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, tijd wonen op in het studiegebied, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied, ooit grondwater gebruikt, herkomst van de deelnemers.*

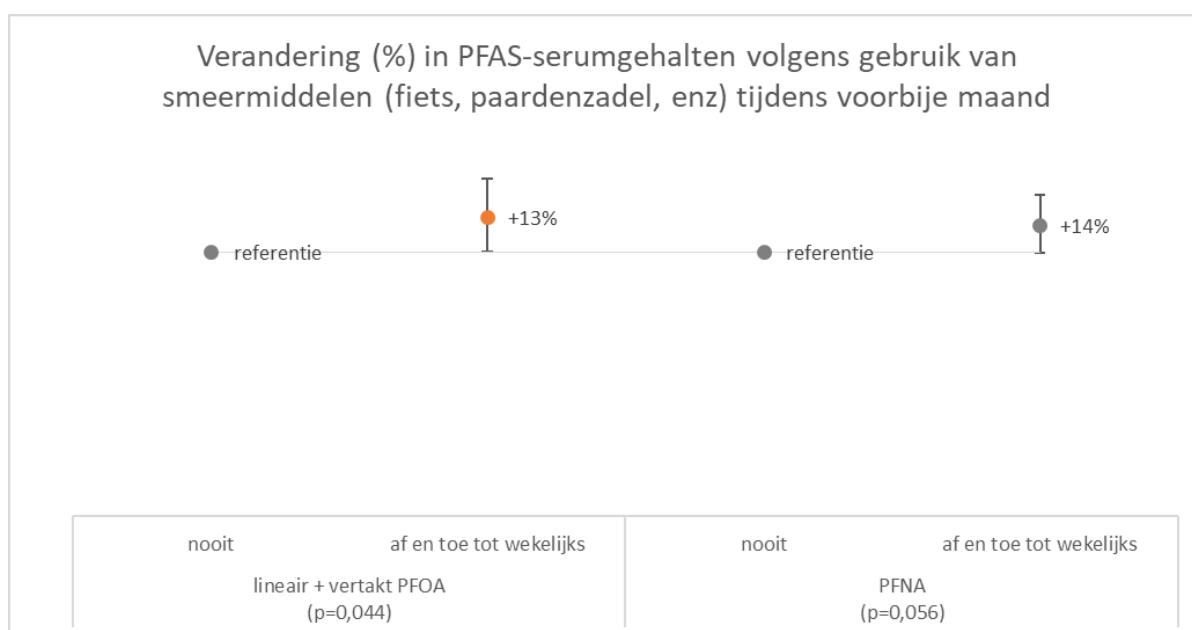
➔ **Er zijn aanwijzingen dat contact met producten die PFAS kunnen bevatten geassocieerd is met hogere PFAS-serumwaarden**

In de enkelvoudige regressie-analyses werden significant hogere PFAS-serumgehalten geobserveerd voor deelnemers die een maand voor de bloedafname regelmatig (af en toe tot wekelijks) gebruik maakten van sprays om kleding of schoenen waterdicht te maken, verf, vernis, lak of beitsmiddel, boenmiddel voor meubels of parket, boen- of smeermiddelen voor hobby (zoals paardenzadel of fiets) en dichtingsproducten. Na toevoeging van andere variabelen die relevant zijn om de waargenomen PFAS-serumgehalten te verklaren (zie Tabel 30) werden significante resultaten waargenomen voor gebruik van smeermiddelen voor hobby (vb. smeren van fietsonderdelen of boenen van paardenzadel). Deelnemers die aangaven een maand voor de bloedafname af en toe tot wekelijks boen- of smeermiddelen te gebruiken voor bijvoorbeeld het smeren van fietsonderdelen of het boenen van paardenzadels (n=106) hebben gemiddeld 13% (95% CI: +0,3%; +28%) hogere lineair + vertakt PFOA gehalten en 10% (95% CI: -0,3%; +22%) hogere PFNA-gehalten (Figuur 35) in het serum dan deelnemers die deze producten de voorbij maand niet gebruikten (n=688). Er was een gelijkaardige trend voor lineair + vertakt PFHxS en lineair PFOS, maar deze was niet significant.

Aanbeveling

Er kunnen op gemakkelijk toegankelijke plaatsen voor een breed publiek tips gedeeld worden voor een veilig gebruik van verschillende soorten producten die mogelijk PFAS kunnen bevatten, zoals:

- Dragen van handschoenen bij gebruik van boen- of smeermiddelen of bij het werken in de tuin om huidcontact te beperken
- Sprays, boen- en smeermiddelen zoveel mogelijk buitenshuis te gebruiken en indien gebruik binnenshuis noodzakelijk is, tijdens en na de toepassing de ruimtes voldoende te verluchten door het openen van ramen of het activeren van een ventilatiesysteem
- Was regelmatig de handen
- Draag werkkledij niet binnenshuis



*Figuur 35: Verandering (in %) in PFAS-serumgehalten bij deelnemers uit een zone van 3 km rond 3M volgens gebruik van smeermiddelen (vb. voor fiets, paardenzadel) tijdens een maand voorafgaand aan de bloedafname, met deelnemers die dit niet hebben aangegeven als referentiegroep. Andere variabelen in de finale modellen: **lineair + vertakt PFOA**: geslacht, leeftijd, tijd wonen op het huidige adres, consumptie van eieren van eigen kippen, contact met chemische stoffen via beroep, opleiding of hobby; **PFNA**: geslacht, leeftijd, oriëntatie van het woonadres t.o.v. 3M, consumptie eieren van eigen kippen, hoe vaak zijn de gegeten eieren afkomstig uit het studiegebied.*

3.3.4 Andere variabelen

We observeren in deze finale modellen ook toenemende PFAS-serumgehalten bij toenemende leeftijd. Een toename van de leeftijd met 10 jaar is in deze finale modellen geassocieerd met gemiddeld 17% toename (95% CI: +13%; +21%, Figuur 22) in lineair + vertakt PFOA, 22% toename (95% CI: +19%; +25%, Figuur 23) in PFNA, 25% toename (95% CI: +20%; +30%, Figuur 24) in lineair + vertakt PFHxS, 17% toename (95% CI: 12%; 22%, Figuur 25) in lineair + vertakt PFOS en 15% toename (95% CI: 10%; 21%, Figuur 26) in lineair PFOS.

Er zijn in de finale modellen ook significante verschillen volgens biologisch geslacht, waarbij vrouwen gemiddeld lagere serumgehalten hebben aan lineair + vertakt PFOA (-16%, 95% CI: -23%; -8%, Figuur

22), aan lineair + vertakt PFHxS (-36%, 95% CI: -42%; -29%, Figuur 24) en aan lineair PFOS (-15%, 95% CI: -26%; -4%, Figuur 26). Via het navelstrengbloed tijdens de zwangerschap en via borstvoeding na de bevalling kunnen vrouwen een gedeelte van hun lichaamsbelasting aan PFAS doorgeven aan hun kinderen. Ook via de menstruatie kan een deel van de PFAS in hun lichaam samen met het bloedverlies worden uitgescheiden. Tijdens het verdere verloop van deze studie kunnen er aparte regressiemodellen gemaakt worden voor vrouwen en voor mannen, waarbij we voor vrouwen rekening kunnen houden met het aantal zwangerschappen, de periode gedurende welke borstvoeding werd gegeven en de menstruele status (vb. in menopauze of nog steeds menstrueren). Deze aparte modellen voor vrouwen en voor mannen kunnen de mogelijkheid bieden na te gaan of er andere variabelen belangrijk zijn om de variantie in PFAS-blootstelling in beide groepen te verklaren.

BMI vertoonde enkel een significante associatie met de serumgehalten van lineair PFOS. Deelnemers met ernstig overgewicht hadden gemiddeld 28% lagere lineair PFOS gehalten (95% CI: -40%; -14%) dan deelnemers met een normaal gewicht of ondergewicht (Figuur 26).

Van de socio-economische variabelen was het enkel herkomst van de deelnemers die bijkomend aan alle andere relevante variabelen in het model nog significant kon bijdragen aan het verklaren van de waargenomen serumgehalten van lineair + vertakt PFHxS (Figuur 24) en lineair PFOS (Figuur 26), waarbij deelnemers met een herkomst uit een niet-EU-land gemiddeld lagere gehalten hadden dan deelnemers met een Belgische herkomst. De waargenomen sociale verschillen volgens hoogste opleiding in het huishouden in de tabellen met de beschrijvende statistieken (= ruwe resultaten) bleken niet meer significant in de modellen. Dat betekent dat er in de modellen andere variabelen aanwezig zijn (zoals voeding, beroepsblootstelling of gebruik van producten) die de verschillen volgens hoogste opleiding van het gezin kunnen invullen of verklaren.

3.3.5 Plannen voor verdere statistische analyses

Nog niet alle statistische analyses konden in deze tijdsperiode worden uitgevoerd. Tijdens de komende maanden zal nog verder gewerkt worden aan de statistische analyse en interpretatie van de gegevens. Volgende onderzoeken op basis van de reeds beschikbare gegevens in deze studie staan nog op de planning:

- **Opstellen van meervoudige ordinale logistische modellen voor PFDA en PFHpS en meervoudige logistische modellen voor PFUnA en PFHpA**

Dit zijn PFAS-componenten die bij minder dan de helft van de deelnemers werden vastgesteld. Hiervoor zijn andere statistische technieken nodig. De enkelvoudige regressiemodellen werden reeds uitgevoerd voor deze PFAS-componenten. De komende maanden zullen op basis van die enkelvoudige modellen ook voor deze componenten meervoudige modellen worden opgesteld waarbij het effect van de verschillende variabelen samen op deze PFAS-componenten wordt bekeken. Zo kunnen we bekijken of voor deze PFAS-componenten dezelfde of andere variabelen van belang zijn om de spreiding in de onderzoeksgroep te verklaren.

- **Opstellen van een meervoudige regressiemodel voor het percentage lineair PFOS**

Voor PFOS stellen we vast dat er een relevante bijdrage is van vertakte PFAS-vormen in deze onderzoeksgroep. De verhouding lineaire/vertakte vormen vertoont ook verschillen tussen de deelnemers. Verdere statistische analyses kunnen meer duidelijkheid geven over welke factoren mogelijk een rol kunnen spelen bij het voorkomen van meer vertakte PFOS-vormen. Ook hier werden de enkelvoudige regressiemodellen reeds uitgevoerd en moet er de komende weken gewerkt worden aan het opstellen van het meervoudige regressiemodel.

- ***Verdiepende statistische analyses met de variabelen over consumptie van lokale groenten en fruit***

We willen de associaties tussen PFAS-serumgehalten en variabelen i.v.m. consumptie van zelf geteelde en lokaal geteelde groenten en fruit, inclusief aparte groentengroepen (bladgroenten, knolgewassen, enz.), onderzoeken op de groep deelnemers die geen lokale eieren eet. Deze analyses kunnen meer inzichten geven over de eventuele verfijning van de maatregelen i.v.m. consumptie van lokaal geteelde groenten.

- ***Opbouwen van aparte modellen voor mannen en voor vrouwen***

We stellen vast in onze analyses dat vrouwen voor sommige PFAS-componenten lagere serumgehalten hebben dan mannen. Dit werd ook reeds beschreven in andere studies in de wetenschappelijke literatuur. Daarom willen we nagaan of er andere aandachtspunten zijn voor mannen en voor vrouwen in verband met de waargenomen PFAS-serumgehalten.

4 CONCLUSIES, ADVIES VOOR VERDER ONDERZOEK EN AANBEVELINGEN VOOR BELEIDSMATREGELEN

4.1 CONCLUSIES

In deze studie werden PFAS gehalten in serum gemeten. PFAS serum niveaus geven een integraal beeld van de blootstelling van de bestudeerde onderzoeksgroep.

Deze studie is uitgevoerd op een groot aantal deelnemers (n=796; > 12 jaar) wonende binnen een straal van 3km rond de 3M site. De samenstelling van de onderzoeksgroep is niet representatief voor de totale bevolking in het studiegebied vermits in de onderzoeksgroep ouderen en hoog opgeleide bewoners oververtegenwoordigd zijn. Gezien de omvang van de studie zijn de resultaten wel robuust en kunnen we volgende conclusies te trekken:

Alle onderzochte deelnemers wonende binnen een straal van 3 km rond 3M hebben kwantificeerbare niveaus PFOS (100 %) in hun serum. In bijna alle serumstalen kon PFOA (99%), PFHxS (99%) en PFNA (90%) waargenomen worden. In minder dan de helft van de stalen kon PFDA (47%) en PFHpS (30%) gekwantificeerd worden. Een aantal verbindingen werden waargenomen in de minderheid van de populatie, nl. PFUnA (12,8%), PFHpA (10,5%), PFBS (2,6%), PFBA (2,5%), PFDoA (1,1%) en PFHxA (0,3%). PFPeA werd bij geen enkele deelnemer uit de onderzoeksgroep gedetecteerd.

Voor de jongere deelnemers uit deze studie (12-19 jaar) is een vergelijking mogelijk met de recente gegevens (2016-2020) van de Vlaamse referentiewaarden voor alle gemeten PFAS verbindingen. In serumstalen van de groep 12-19 jarigen in deze studie werden PFHpA, PFHpS en PFDoA frequenter gedetecteerd dan in serumstalen van de Vlaamse referentiegroep jongeren (PFHpA: 18 % vs. 1%; PFHpS: 15% vs. 2 %; PFDoA: 2% vs. 1%). Deze resultaten tonen aan dat het PFAS profiel in serum rond 3M mogelijk verschillend is van het profiel in Vlaanderen. Resultaten zijn onzeker omwille van kleine aantallen, maar verdienen wel verder onderzoek.

Bij deze populatie (wonende < 3 km t.o.v. 3M) liggen voor sommige PFAS-verbindingen de gehalten in serum duidelijk hoger dan de niveaus die in recente studies werden gerapporteerd voor de gemiddelde Vlaamse bevolking, alsook in vergelijking met recente waarden uit andere regio's (Wallonië) en andere Europese landen ('referentiepopulaties').

Voornamelijk de serum concentratie PFOS ligt duidelijk hoger in deze populatie dan gemiddeld in referentiepopulaties. Op de tweede plaats liggen de concentraties PFHxS hoger dan in de referentiepopulaties.

Dit suggereert dat de milieuverontreiniging (cfr. recente metingen in bodem, eieren, groenten, grondwater in de buurt van 3M) die aanwezig is in de omgeving van 3M heeft geleid tot een verhoogde interne PFAS belasting bij mensen wonende in deze omgeving (wonende < 3 km t.o.v. 3M).

PFOS werd in het verleden in de 3M fabriek geproduceerd. De invloed van 3M, en de dominantie van PFOS t.o.v. andere PFAS verbindingen in deze hotspot werd eerder geobserveerd in stalen van bodem, eieren en lucht in dit studiegebied. De dominantie van PFOS wordt ook weerspiegeld in de serumstalen.

Uit toxicologische en epidemiologische studies blijkt dat blootstelling aan sommige PFAS verbindingen het risico verhoogt op leverschade, verhoogde cholesterol, verstoring van de schildklier, lager geboortegewicht en verminderde vaccinatierespons bij nakomelingen. Het Amerikaanse CDC-ATSDR heeft dit onlangs in 2021 nog eens samengevat in een zeer uitgebreide toxicologisch rapport (ATSDR,

2021). EFSA en de Duitse Commissie voor humane biomonitoring hebben op basis van dergelijke studies richtwaardes voor PFAS in serum afgeleid.

Bij de overgrote meerderheid (of 92,7 %) van de deelnemers ligt de som van PFOA, PFNA, PFOS en PFHxS boven de EFSA richtwaarde van 6,9 ng/L. Ook in referentiepopulaties overschrijdt de blootstelling in sommige delen in Europa de EFSA TWI.

Voor PFOS heeft slechts 1 op 10 deelnemers een serum gehalte dat lager ligt dan de HBM-I waarde van Duitse Commissie voor Humane biomonitoring (5 µg/l voor de algemene bevolking). Iets meer dan de helft van de onderzochte populatie heeft PFOS serum gehalten hoger dan de HBM-II waarde (20 µg/l voor de algemene bevolking; 10 µg/l voor vrouwen in vruchtbare leeftijd). De resultaten tonen dus aan dat de blootstelling aan PFOS bij de bevolking in de buurt van 3M vanuit gezondheidskundig standpunt te hoog ligt, en er dringend maatregelen nodig zijn om de blootstelling terug te dringen. **Deze overschrijdingen dienen gebruikt te worden als ‘alarmbel’ om de bronnen in kaart te brengen en de blootstelling te verminderen, omdat nadelige gezondheidseffecten op lange termijn niet uit te sluiten zijn en deze blootstelling aan PFOS een bijkomende risicofactor vormt op het voorkomen van ziektes of aandoeningen.**

Gezien het ruim aantal overschrijdingen van de HBM-II waarde voor PFOS in de onderzochte populatie kunnen we verwachten dat de PFAS blootstelling een *risico* voor de gezondheid van de bevolking in het studiegebied met zich meebrengt. Het risico is gebaseerd op het voorkomen van negatieve effecten op **vroege biologische signalen**, op basis van kennis uit andere epidemiologische studies. Het risico kan **niet geïnterpreteerd worden als het risico op voorkomen van klinisch manifeste ziektes.**

Op basis van de huidige kennis i.v.m. PFAS gerelateerde gezondheidseffecten is het niet mogelijk om het gezondheidsrisico voor een individu op basis van zijn PFAS serumgehalte in te schatten. Evenmin kunnen we op basis van de resultaten in deze onderzoeksgroep causaliteit aantonen tussen PFAS in serum en mogelijke ziektes. Het ontstaan van ziektes is immers multifactorieel, waarbij verschillende risicofactoren een rol spelen. PFAS vormt één van de verschillende risicofactoren op het voorkomen van hoger genoemde aandoeningen.

Er zijn zeer grote variaties in PFAS gehalten in serumstalen bij de onderzochte populatie, en deze spreiding tussen lage en hoge waardes is het meest uitgesproken voor PFOS.

De variatie van PFOS niveaus in serum kan voor een groot deel verklaard worden aan de hand van 4 groepen van factoren: 1) biologische factoren (voornamelijk leeftijd en geslacht), 2) consumptiepatronen en contact m.b.t de lokale milieuverontreiniging (via eieren, groenten, bodem, grondwater) 3) geografische factoren, nl. ligging binnen het studiegebied en tijd woonachtig in het gebied, en 4) contact met PFAS houdende producten.

In onderstaande paragrafen wordt de invloed van deze factoren besproken voor lineair PFOS. Deze keuze is gemaakt omwille van 1) de dominantie van PFOS in de vervuiling, 2) het groot aantal overschrijdingen t.o.v. de gezondheidskundige richtwaarde waargenomen voor PFOS, en 3) de verklarende capaciteit van het statistisch model (nl. 55%) is het grootst voor lineair PFOS. De conclusies m.b.t. determinanten van blootstelling zijn dezelfde voor de som van lineaire + vertakte PFOS, en grotendeels ook voor PFHxS. Sommige van deze determinanten voor PFOS zijn ook determinanten voor PFOA en PFNA.

Biologische factoren

We observeren dat in deze populatie **mannen gemiddeld hogere PFOS waarden hebben dan vrouwen**. Dit kan verklaard worden door excretie via menstruatie en zwangerschap.

We zien ook zijn een heel duidelijk relatie met leeftijd, nl. per toename van 10 jaar, observeren we stijging van PFOA, PFOS, PFHxS en FPNA concentratie met 15-25%. **Dit betekent dat oudere mensen meer PFAS in hun lichaam hebben opgestapeld**. Enerzijds is dit te verklaren door de persistentie van de PFAS verbindingen (lange halfwaarde tijd), en vermoedelijk ook omdat oudere mensen meer historisch zijn blootgesteld. Dit benadrukt hoe belangrijk het is om te zorgen dat er maatregelen komen om de omgeving te verbeteren, zodat de toekomstige generatie minder wordt blootgesteld.

Consumptiepatronen en contact met de verontreiniging in het leefmilieu

De consumptie van eieren van eigen kippen komt zeer sterk naar voor als verklarende factor van de variatie in PFOS serum gehalten. Van alle onderzochte factoren is dit de factor die de grootste rol blijkt te hebben in de variatie van PFOS niveaus in serum. Deelnemers die eieren van eigen kippen eten (momenteel of tot net voor de 'no regret' maatregelen) hebben gemiddeld veel hogere PFOS waardes dan deelnemers die nooit eieren van eigen kippen eten (momenteel versus nooit: +202 %; tot net voor de no regret maatregelen versus nooit: +278%). Hoe vaker de gegeten eieren uit het studiegebied komen, hoe hoger de PFOS serum gehalten ('altijd': +178 % t.o.v. nooit).

Het afraden van eten van eieren van eigen kippen en lokale eieren in Zwijndrecht en omgeving blijft sterk aangewezen.

Met betrekking tot de consumptie van lokale groenten en fruit zijn de conclusies voorlopig nog minder robuust. De analyses wijzen in de richting dat mensen die lokale groenten en fruit consumeren hogere PFAS gehalten hebben dan mensen die geen lokale groenten en fruit consumeren, maar dit effect is mogelijk te verklaren doordat deelnemers die groenten en fruit uit eigen tuin eten veelal ook eieren van eigen kippen eten. Hoogstwaarschijnlijk weegt de rol van consumptie van lokale groenten en fruit minder door dan die van lokale eieren, maar om een goed onderbouwde uitspraak te kunnen doen en de adviezen m.b.t. consumptie van lokaal geteelde groenten en fruit bij te stellen dienen bijkomende statistische analyses op een subset van data te gebeuren.

Mensen die grondwater gebruiken voor allerlei doeleinden zoals besproeien van de moestuin, poetsen of voedselbereiding, hebben verhoogde PFOS serum gehalten ten opzichte van mensen die geen grondwater gebruiken (+36 %). Afraden van gebruik van grondwater in dit gebied is dan ook aangewezen.

Mensen die van hun beroep, hobby of opleiding in contact komen met bodemdeeltjes en opwaaiend stof (bvb. wegenwerken, bouw, landbouw, natuurbeheer) blijken ook hogere PFOS serum gehalten (+22%) te hebben ten opzichte van mensen waarvoor bodemcontact waarschijnlijk minder voorkomt.

Maatregelen om contact met bodemdeeltjes en opwaaiend stof zoveel mogelijk te vermijden zijn daarom aangewezen.

Geografische ligging binnen het studiegebieden

Hierin spelen meerdere factoren een rol: zowel de afstand tot als oriëntatie ten opzicht van 3M, de aanwezigheid van mogelijke andere bronnen, en de periode dat mensen in het studiegebied wonen zijn factoren die een rol spelen in de PFOS serum niveaus.

Deelnemers uit de zone 1,5-3 km deelgebied Zwijndrecht hebben lagere serumgehalten PFOS (-38%) dan de deelnemers uit de zone 0 – 1,5 km. Deelnemers wonende ten zuidwesten van 3M hebben gemiddeld hogere serumgehalten PFOS (+54%) dan deelnemers die ten zuidoosten wonen. Het transport van PFAS via de lucht uit het NO (2^{de} dominante windrichting) kan mogelijk een historische factor geweest zijn (historische depositie die zijn sporen heeft nagelaten op de bodems en oppervlaktes) die nog steeds voor blootstelling van de bevolking kan zorgen. Deze hypothese dient verder onderzocht te worden.

Er is een geografische gradiënt in functie van de afstand tot 3M. Voor de meeste deelnemers was de mogelijke dichtstbijzijnde bron 3M. Daarnaast blijken uit de geografische analyses ook indicaties te zijn dat het brandweeroefenterreinen voor omwonenden een bijkomende bron is van PFAS-blootstelling. Verdiepende analyses zouden hier meer duidelijkheid over kunnen geven.

Het studiegebied is beperkt tot 3 km afstand t.o.v. 3M. Uit de wijdere omgeving zijn geen serum gegevens beschikbaar. Op basis van de geografische trend binnen het 3 km studiegebied vermoeden we dat de verontreiniging en verhoogde PFOS waarden in bloed zich uitstrekken tot verder dan 3 km. Een uitbreiding van toekomstige onderzoeksgebieden tot op grotere afstand, en zeker in zuidwestelijke richting lijkt aangewezen. Ook de uitbreiding van enkele blootstelling beperkende maatregelen op een afstand groter dan 5 km van de 3M-site dient geëvalueerd te worden. Hiervoor is bijkomend onderzoek nodig (in serumstalen en/of milieustalen).

Mensen die reeds lang in het studiegebied wonen hebben gemiddeld hogere PFOS serumgehalten dan deelnemers die pas (<5 jaar) in het studiegebied wonen (> 30 jaar: + 56 %; tussen 15 en 30 jaar: +43%).

Contact met PFAS houdende producten

Een deel van de variatie in PFAS-serumgehalten kon verklaard worden door gebruik van PFAS houdende producten van smeermiddelen voor hobby (vb. smeren van fietsonderdelen of boenen van paardenzadel). Dit is niet gerelateerd met lokale milieuverontreiniging, maar sensibilisering om blootstelling via dergelijke producten te vermijden is aan te raden.

Bovenstaande conclusies dienen geïnterpreteerd te worden binnen de afbakening en de methode gekozen voor de studie. Zo zijn determinanten van blootstelling grotendeels gebaseerd zijn op semi-kwantitatieve gegevens die verzameld zijn aan de hand van vragenlijsten bij de deelnemers, en niet aan de hand van gepaarde milieumetingen bij stalen genomen op het woonadres van de deelnemers. Bijgevolg kon de invloed van bepaalde milieucompartimenten (lucht, opwaaiend stof, binnenhuiscontaminatie, afgezet depositiestof en opwaaiden stof) niet kon worden onderzocht in deze studie, en zijn er dus geen conclusies m.b.t. deze routes mogelijk zijn.

Conclusies m.b.t determinanten van blootstelling zijn dan ook vooral te beschouwen als eerste indicaties die verder moeten onderzocht worden om definitieve besluiten te kunnen trekken.

4.2 ADVIES VOOR VERDER ONDERZOEK

Gezien de dominante rol van consumptie van lokale eieren, is het aangewezen om de impact van de omgeving van de kippen op PFAS niveaus in de eieren beter in kaart te brengen (rol van type drinkwater, bodem, depositiestof, type voeding, begroeiing en inrichting van de kippenren, enz.). Ook al komt de consumptie van lokale eieren sterk naar voor als determinant van blootstelling, er zijn grote verschillen in PFAS serum niveaus tussen verschillende deelnemers die lokale eieren eten en men ziet ook grote verschillen in PFAS niveaus in kippeneieren gemeten in het studiegebied. Een gecontroleerd studie-opzet is aangewezen om kennis te verzamelen m.b.t. hogergenoemde determinanten van PFAS concentraties in eieren. Op die manier zou het op termijn mogelijk zijn om onderbouwde aanbevelingen te geven op welke manier men in PFAS verontreinigde gebieden toch op een veilige manier eieren van eigen kippen kan eten. Op die manier zou men de 'no regret' maatregelen op termijn kunnen bijstellen.

Met betrekking tot consumptie van lokale groenten en fruit, is het aangewezen om verdere analyses uit te voeren op deze dataset om invloed van consumptie van lokale groenten en fruit te onderscheiden van het effect van consumptie van lokale eieren. Studies die inzicht kunnen geven m.b.t. veilige teeltadviezen zijn ook aanbevolen (o.a. types groenten en fruit, gebruik van plantenbakken versus volle grond, type irrigatiewater voor planten, enz.).

Verder onderzoek is nodig om de impact van luchtverontreiniging, opwaaiend stof, afgezet depositiestof en opwaaiend stof op de humane blootstelling in kaart te brengen. Hierbij dient opwaaiend stof uit alle verontreinigingsbronnen in het studiegebied in beschouwing worden genomen (3M bedrijfsterrein, brandweeroefenterreinen en Oosterweel werken).

Bovenstaande aspecten (metingen in lokale eieren, groenten, lucht, bodem, depositiestof, enz.) worden best bestudeerd in een grootschalige humane biomonitoringsstudie met als opzet het verzamelen van gepaarde serum- en milieumetingen van stalen genomen op het woonadres van de deelnemers. Op die manier kan de link gelegd worden tussen milieucompartimenten (bronnen), de inwendige dosis van de chemische stoffen en de biologische effecten (gezondheidseffecten) van deze milieuvervuilende stoffen. Dergelijk studieopzet zou ons toelaten om de bijdrage en de rol van verschillende blootstellingroutes beter te begrijpen, en zodoende om alle nodige maatregelen te kunnen nemen om de blootstelling te verlagen. Gezien de vermoedelijke omvang van de PFAS verontreiniging verder reikt dan het huidig studiegebied, is het sterk aangewezen om dergelijk onderzoek te voeren op een uitgebreid studiegebied. De uitbreiding in ZW richting is aangewezen.

Dit advies tot een intensievere studie die omgevingsmetingen koppelt aan biomerkers van blootstelling en effect, of zelfs tracht te koppelen met een gezondheidsdatabank, is temeer van belang gezien het persistente karakter van de PFAS-verbindingen. Deze stoffen zijn niet eenvoudig uit onze leefomgeving te verwijderen, en hebben een lange halfwaardetijd. Deze inzichten zouden ook kennis genereren die toepasbaar is in andere met PFAS-belaste gebieden in Vlaanderen en Europa. Deze kennis is essentieel om handelingsgericht te kunnen ingrijpen.

Tenslotte dient het spectrum van onderzochte PFAS verbindingen in het studiegebied uitgebreid te worden. Enerzijds zijn bijkomende analyses i.v.m. determinanten van blootstelling op de huidige datasets voor PFUnA, PFHpA, PFBS, PFBA, PFDoA en PFHxA aangewezen. Hoewel uit de serum profielen blijkt dat deze verbindingen niet dominant zijn in de PFAS vervuiling in het studiegebied, is verder onderzoek nodig omdat er nog minder gekend is over gezondheidseffecten van deze stoffen, en omdat sommige van deze stoffen nog mogelijks een actieve emissiebron hebben in de omgeving.

In deze context is het ook aan te raden om PFAS blootstelling bij jonge leeftijdsgroepen te onderzoeken, omdat er bij deze groepen minder ruis is van historische blootstelling, en er meer gepaste maatregelen genomen kunnen worden om de huidige problemen aan te pakken.

De vergelijking van de concentraties lineair PFOS t.o.v. concentraties lineaire + vertakte PFOS toont aan dat een vrij groot aandeel bestaat uit vertakte PFOS verbindingen. Verder onderzoek kan uitwijzen of de verhouding lineair versus vertakte verbinding in relatie kan gebracht worden met bepaalde factoren (biologische factoren, oriëntatie en afstand tot bronnen, lokale voeding, gebruik van PFAS houdende producten, enz.).

In een verdere fase is het aangewezen om serumstalen te onderzoeken op bijkomende PFAS verbindingen. Immers, de meeste aandacht gaat momenteel naar de PFOS verontreiniging, maar er zijn meer dan 1000 PFAS verbindingen in gebruik en mogelijks aanwezig in het milieu. Hoewel voor veel PFAS verbindingen er nog te weinig wetenschappelijk inzichten zijn die een gezondheidkundige doorvertaling van de blootstelling toelaten, is het aangewezen om ook aandacht te hebben voor deze andere PFAS verbindingen omwille van hun persistent en mobiel karakter.

Het is momenteel analytisch niet mogelijk om alle PFAS verbindingen in serum te meten, maar een uitbreiding tot een bredere set PFAS verbindingen is wel mogelijk. De componenten die geïdentificeerd worden in de suspect en target screening op depositiestalen uit de omgeving komen best in aanmerking, in combinatie met kennis van welke PFAS componenten momenteel nog geproduceerd worden op de 3M site, en momenteel nog gebruikt worden in toepassingen met mogelijke verspreiding naar het milieu (bvb. brandblusschuim).

Wat betreft de impact van PFAS verontreiniging op de gezondheid, is er een hiaat in de kennis om blootstelling-effect relaties te kunnen inschatten. Het meten van effectmerkers in een doordacht opgezette humane biomonitoringsstudie zou kunnen bijdragen aan deze kennis.

4.3 ADVIES VOOR BELEIDSMATREGELEN

De resultaten van deze studie tonen aan dat de blootstelling aan PFAS bij de bevolking in de buurt van 3M vanuit gezondheidkundig standpunt te hoog ligt, en er dringend maatregelen nodig zijn om de blootstelling te verminderen.

Maatregelen nemen om blootstelling te reduceren is momenteel de enige manier om de risico's voor de gezondheid te verlagen. Er is momenteel geen medische behandeling mogelijk om PFAS versneld uit te scheiden, bijgevolg is de blootstelling reduceren de hoofdboodschap. In elk geval verdient het de aanbeveling dat er geen nieuwe PFAS meer bijkomt in de omgeving, wat dus een bronaanpak inhoudt. Gezondheidkundig worden de signaalwaarden nu reeds overschreden.

In bovenstaande tekst staan een aantal handelingsadviezen die aangeraden worden voor bewoners van het studiegebied om hun blootstelling te verlagen. Deze zijn grotendeels in lijn met de bestaande no-regret maatregelen voor het studiegebied. Bijstelling van de bestaande no-regret maatregelen dient in overweging genomen te worden. Hierbij moet in eerste plaats aandacht zijn voor de maatregelen die de grootste reductie in blootstelling teweeg kunnen brengen (maatregelen m.b.t. consumptie lokale eieren), maar ook alle andere relevante bronnen verdienen de nodige aandacht, omdat de blootstelling zoveel mogelijk moet teruggedrongen worden. Elke te vermijden blootstelling wordt best vermeden.

Hierbij dienen naast de resultaten van deze studie ook de resultaten van lopende studies m.b.t. PFAS gehaltes in eieren, groenten, bodem en lucht in overweging genomen te worden. Zoals beschreven in 4.2 is verder onderzoek aangewezen om bepaalde maatregelen te verfijnen, maar gezien de huidige situatie kan men zeker niet wachten met het nemen van maatregelen tot deze onderzoeken uitgevoerd zijn.

Het geven van handelingsadviezen aan getroffen bewoners in PFAS verontreinigd gebied vormt één deel van beleidsmaatregelen. Echter, het nemen van maatregelen door de overheid en de industrie om de verontreiniging in het leefmilieu terug te dringen zijn ook heel belangrijk. Immers, de getroffen bewoners zijn onvrijwillig blootgesteld aan PFAS verontreiniging, en dienen dus maximaal ondersteund te worden door de overheid en industrie om hun blootstelling te kunnen verlagen. We bevelen aan om een proces voor beleidsvertaling op te starten, en een participatief traject uit te stippelen om de bevolking milieugezondheidskundig op te volgen en keuzes en prioriteiten te maken om de blootstelling te reduceren. Dit gebeurt bij voorkeur in samenspraak met de getroffen lokale bevolking, de industriële partners en de gezondheidswerkers. Het opvolgen van PFAS serum gehaltes in tijd is één van de mogelijke acties. Op die manier kan de impact van de maatregelen opgevolgd worden. Gezien de persistentie en lange halfwaardetijd van PFAS heeft een opvolging binnen een kort tijdbestek weinig zin, maar dient de opvolging gestart te worden vanaf een periode dat men een daling in PFAS serumconcentraties kan verwachten. De halfwaardetijd van PFOS kan richtinggevend zijn om de periode te bepalen.

Tenslotte kunnen de boodschappen en adviezen die van toepassing zijn voor dit PFAS verontreinigd studiegebied, in overweging genomen worden voor andere PFAS verontreinigde gebieden in Vlaanderen.

5 BIJLAGES

Bijlage 1: Kwaliteitsborging van de PFAS metingen in serum

Bijlage 2: Overzicht van de kenmerken van deze onderzoeksgroep

Bijlage 3: Onderbouwing en betekenis van de gezondheidkundige richtwaarden of toetsingswaarden van EFSA en de Duitse Commissie voor humane biomonitoring

Bijlage 4: Vergelijking van de PFAS serum concentraties van deze studies met andere Vlaamse, Waalse, internationale studies voor de algemene bevolking, en vergelijking met andere PFAS hotspots

BIBLIOGRAFIE

- ATSDR, 2021. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atsdr 24.
- Baden-Württemberg LandesgesundheitsAmt, 2018a. Human-Biomonitoring von perfluorierten Substanzen in Teilen des Landkreises Altötting - Abschlussbericht.
- Baden-Württemberg LandesgesundheitsAmt, 2018b. Ergebnisse der PFC Blutkontrolluntersuchung im Landkreis Rastatt 2018.
- Duffek, A., Conrad, A., Kolossa-Gehring, M., Lange, R., Rucic, E., Schulte, C., Wellnitz, J., 2020. Per- and polyfluoroalkyl substances in blood plasma – Results of the German Environmental Survey for children and adolescents 2014–2017 (GerES V). *Int. J. Hyg. Environ. Health* 228. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113549>
- EFSA, 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA J*, 18, 391. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- 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. *Environ. Health Perspect.* 117, 1873–1882. <https://doi.org/10.1289/ehp.0800379>
- Health Canada, 2019. Fifth Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada.
- Hölzer, J., Lilienthal, H., Schümann, M., 2021. Human Biomonitoring (HBM)-I values for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) - Description, derivation and discussion. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 121. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104862>
- Hölzer, J., Midasch, O., Rauchfuss, K., Kraft, M., Reupert, R., Angerer, J., Kleeschulte, P., Marschall, N., Wilhelm, M., 2008. Biomonitoring of perfluorinated compounds in children and adults exposed to perfluorooctanoate-contaminated drinking water. *Environ. Health Perspect.* 116, 651–657. <https://doi.org/10.1289/ehp.11064>
- 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. *Environ. Int.* 110, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.026>
- Olsen, G.W., Burris, J.M., Burlew, M.M., Mandel, J.H., 2003. Epidemiologic assessment of worker serum perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) concentrations and medical surveillance examinations. *J. Occup. Environ. Med.* 45, 260–270. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000052958.59271.10>
- Olsen, G.W., Zobel, L.R., 2007. Assessment of lipid, hepatic, and thyroid parameters with serum perfluorooctanoate (PFOA) concentrations in fluorochemical production workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 81, 231–246. <https://doi.org/10.1007/s00420-007-0213-0>
- Pirard, C., Dufour, P., Charlier, C., 2020. Background contamination of perfluoroalkyl substances in a Belgian general population. *Toxicol. Lett.* 333, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.07.015>
- RIVM, 2017. PFOA-metingen in bloed. Metingen in serum bij omwonenden van DuPont/Chemours te Dordrecht. RIVM Rapport 2017-0077.

- Santé Publique France, 2019. étude et enquêtes imprégnation de la population Française par les composés perfluorés. Programme national de biosurveillance Esteban 2014-2016.
- Schulz, K., Silva, M.R., Klaper, R., 2020. Distribution and effects of branched versus linear isomers of PFOA, PFOS, and PFHxS: A review of recent literature. *Sci. Total Environ.* 733, 139186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139186>
- Schümann, M., Lilienthal, H., Hölzer, J., 2021. Human biomonitoring (HBM)-II values for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) - Description, derivation and discussion. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 121. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104868>
- 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. *Environ. Int.* 147. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106333>