



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

PFAS in bloed van de Nederlandse bevolking

PFAS in bloed van de Nederlandse bevolking

RIVM-briefrapport 2025-0094

Colofon

© RIVM 2025

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2025-0094

W. Bil (auteur), RIVM
H.P. McKeon (auteur), RIVM
G. Chen (auteur), RIVM
M.L.S.P. Sam (auteur), RIVM
I.D. Grift (auteur), RIVM
F.R.M. van der Klis (auteur), RIVM
E.R.A. Vos (auteur), RIVM
M. Schipper (auteur), RIVM
L. de Wit-Bos (auteur), RIVM
M. Mengelers (auteur), RIVM
B.G.H. Bokkers (auteur), RIVM
R. Nederlof (auteur), RIVM

Contact:
R. Nederlof
Chemische Voedselveiligheid
PFAS@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Ministeries van Infrastructuur en Waterstaat, Volksgezondheid, Welzijn en Sport, en Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur in het kader van Programma 53 PFAS.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

PFAS in bloed van de Nederlandse bevolking

PFAS is een grote groep van chemische stoffen die door de mens zijn gemaakt. Deze stoffen zitten in veel verschillende producten, zoals antiaanbaklagen, verpakkingsmaterialen voor voedsel en in kleding. Bij het proces om PFAS te maken en het gebruik van producten waar ze in zitten, kan PFAS in de lucht, het water en de bodem terechtkomen. De Nederlandse bevolking krijgt ze op verschillende manieren binnen, via voedsel en drinkwater maar ook op andere manieren zoals via inademing en via de huid.

Uit onderzoek van het RIVM blijkt dat mensen in Nederland meerdere PFAS in hun bloed hebben. Er is gekeken naar 28 PFAS in bloed dat in 2016 en 2017 is verzameld. In bijna alle bloedmonsters zijn minimaal zeven verschillende PFAS gevonden (PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFHxS, PFHpS en PFOS). In het algemeen zijn de hoeveelheden PFOS het hoogst, gevolgd door PFOA.

Bij bijna de hele bevolking zit er meer PFAS in bloed dan de gezondheidkundige grenswaarde die daarvoor bestaat. Dit bevestigt de resultaten van eerder onderzoek van het RIVM en de Europese Voedselveiligheidsautoriteit (EFSA) dat mensen te veel PFAS binnenkrijgen. Boven de grenswaarde zijn effecten op het immuunsysteem niet uit te sluiten.

Bij kinderen en vrouwen in de vruchtbare leeftijd zijn iets lagere hoeveelheden PFAS gevonden dan bij de rest van de bevolking. Bij inwoners van de regio's Dordrecht en Westerschelde zijn de hoeveelheden van enkele PFAS iets hoger dan in de rest van Nederland. Het RIVM keek met extra aandacht naar deze twee regio's, omdat ze in de buurt liggen van fabrieken waaruit PFAS in de omgeving is terechtgekomen.

Wat de gevonden hoeveelheden in de bloedmonsters precies betekenen voor de gezondheid van de Nederlandse bevolking kan het RIVM nu niet zeggen. Bij een hogere blootstelling aan PFAS zijn ook andere gezondheidseffecten niet uit te sluiten. Bijvoorbeeld effecten op de ontwikkeling van het ongeboren kind, de lever en op cholesterol in bloed. Alleen is niet precies bekend bij welke hoeveelheden en in welke mate deze effecten optreden. Daar is ander onderzoek voor nodig.

Dit is het eerste onderzoek dat een beeld geeft van de hoeveelheid PFAS in bloed van de Nederlandse bevolking. Dit onderzoek is onderdeel van een breder onderzoeksprogramma in opdracht van de ministeries van VWS, IenW en LNV. Het RIVM onderzoekt voor dit programma wat de mogelijkheden zijn om de blootstelling van mensen aan PFAS te verminderen.

Kernwoorden: PFAS, humane biomonitoring, bloedonderzoek, gezondheidkundige grenswaarde, blootstelling

Synopsis

PFAS in the blood of the Dutch population

PFAS are a large group of man-made chemicals. They are found in many different products, such as non-stick coatings, food packaging materials and textiles. PFAS can end up in the air, water and soil, both during production and when people use products containing PFAS. The Dutch general population is exposed to PFAS in various ways, including via food and drinking water, but also through inhalation and absorption through the skin.

Research by RIVM shows that people in the Netherlands have multiple PFAS in their blood. RIVM looked at 28 PFAS in blood collected in 2016 and 2017. Almost all blood samples contained at least seven different kinds of PFAS (PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFHxS, PFHpS and PFOS). In general, PFOS was found in the highest quantities, followed by PFOA.

The PFAS quantities in blood are higher than the health-based guidance value in almost the entire population. This confirms the results of previous research by RIVM and the European Food Safety Authority (EFSA) that people are ingesting too much PFAS. Above the guidance value, potential harm on the immune system cannot be excluded.

Slightly lower amounts of PFAS were found in children and women of reproductive age compared to the rest of the population. Some PFAS were found in slightly higher quantities in inhabitants of the Dordrecht and Westerschelde regions than in the rest of the Netherlands. RIVM paid attention to these two regions in particular because they are near factories that have spread PFAS in the environment.

RIVM cannot yet say how exactly the quantities found in the blood samples will impact the health of the Dutch population. Other adverse health effects cannot be excluded either in the case of higher exposure to PFAS, such as on the development of the unborn child, on the liver, and on cholesterol in the blood. However, it is not yet clear at what levels and to what degree these effects occur. Other research is needed to further clarify this.

This is the first study to characterise the amount of PFAS in the blood of the Dutch population. This study is part of a broader research programme commissioned by the Ministries of Infrastructure and Water Management; Health, Welfare and Sport; and Agriculture, Fisheries, Food Security and Nature. For this programme, RIVM is researching what the possibilities are for reducing people's exposure to PFAS.

Keywords: PFAS, human biomonitoring, blood testing, health-based guidance value, exposure

Inhoudsopgave

1	Inleiding — 9
1.1	Aandacht voor de regio — 9
1.2	Doel van dit rapport — 10
2	Materiaal en methoden — 11
2.1	Omschrijving PIENTER onderzoek — 11
2.2	Deelnemers in aandachtsgebieden en monstersselectie — 11
2.3	PFAS metingen — 12
2.4	Dataverwerking — 13
2.4.1	Analyses van de interne blootstelling op basis van humane biomonitoring — 13
2.4.2	Data onder de LOD of LOQ — 14
2.4.3	Gebruik van wegingsfactoren — 14
2.5	Vergelijking van de gemeten waarden met beschikbare humane biomonitoring grenswaarden — 15
2.5.1	Beschikbare humane biomonitoringgrenswaarden — 15
2.5.2	Bepaling van de cumulatieve PFAS blootstelling en het risico — 16
3	Resultaten — 19
3.1	Populatiekarakteristieken — 19
3.2	Overzicht van PFAS bloedconcentraties in de algehele populatie — 19
3.3	Regio Dordrecht versus de rest van Nederland — 24
3.4	Regio Westerschelde versus de rest van Nederland — 25
3.5	Vergelijking van de gemeten interne PFAS blootstelling met humane biomonitoringgrenswaarden — 27
4	Discussie — 29
5	Conclusies — 33
	Dankwoord — 35
	Literatuur — 37

1 Inleiding

PFAS (per- en polyfluoralkylstoffen) zijn een groep door de mens gemaakte chemicaliën die van nature niet in het milieu voorkomen. De Nederlandse bevolking krijgt op verschillende manieren PFAS binnen. Dit gaat via inname van voedsel en drinkwater (Schepens et al., 2023), maar ook via andere bronnen en blootstellingsroutes, zoals bijvoorbeeld door het inademen van impregneermiddelen of het aanbrengen van cosmetica op de huid (Gluge et al., 2020; Zeilmaker et al., 2016). Alleen al vanuit blootstelling via voedsel en drinkwater blijken Nederlanders te veel PFAS binnen te krijgen (Schepens et al., 2023).

In opdracht van de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), en Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) onderzoekt het RIVM hoe de blootstelling van mensen aan PFAS verminderd kan worden (Bulder et al., 2024; <https://www.rivm.nl/pfas/onderzoeksprogramma>). Onderdeel van dit onderzoeksprogramma is het verkrijgen van een landelijk dekkend beeld van de gecombineerde blootstelling¹ aan PFAS van de Nederlandse bevolking.

Het RIVM gebruikt biomonitoring als onderzoeksmethode om te weten te komen hoeveel PFAS mensen in hun lichaam hebben, door het meten van PFAS-concentraties in lichaamsmaterialen. In 2025 en 2026 voert het RIVM drie onderzoeken uit, waarvan de benodigde monsters afkomstig zijn uit twee bestaande biobanken en worden aangevuld met bloedmonsters uit nieuw uit te voeren onderzoek in 2025 in samenwerking met Sanquin (Bulder et al. 2024). De bestaande biobanken zijn het PIENTER-3 onderzoek van het RIVM (Verberk et al. 2019) met bloedmonsters afgenomen in 2016-2017, en de COVID MILK-POWER MILK studie van het Amsterdam UMC (Juncker et al. 2021) met bloed- en moedermelkmonsters uit 2020-2021. Het huidige rapport bespreekt de resultaten van metingen van PFAS in bloed(serum) monsters afgenomen in het PIENTER-3 onderzoek in 2016-2017.

1.1 Aandacht voor de regio

In verschillende regio's in Nederland bestaan er zorgen over mogelijk verhoogde blootstelling aan PFAS ten opzichte van de algemene bevolking. Voor de regio Dordrecht is al langer bekend dat door (historische) uitstoot van onder andere PFOA² en GenX (HFPO-DA) door de chemische fabriek Chemours de omgeving vervuild is geraakt met PFAS (Boon et al., 2024; Boon & te Biesebeek, 2022; Van Poll et al., 2017). Meer recent werden in de Westerschelde verhoogde concentraties PFAS (o.a. PFOS, PFBS, PFBA, en PFHxA) aangetroffen door de lozing van deze stoffen via het afvalwater door bedrijven, zoals bijvoorbeeld de fabriek van het chemiebedrijf 3M in Zwijndrecht, België (IRAS 2022). Daardoor is bekend dat lokale producten uit deze regio, zoals vlees, vis en schaal- en schelpdieren te hoge PFAS verontreiniging

¹ Gecombineerde blootstelling bestaat uit bij elkaar opgetelde blootstelling aan verschillende chemische stoffen vanuit verschillende bronnen en blootstellingsroutes (oraal, inhalatoir, dermaal).

² Zie Tabel 1 voor de volledige naam en CAS nummers van deze en alle andere PFAS in dit rapport.

kunnen bevatten (Front Office Voedsel- en productveiligheid, 2024; Zwartsen & Boon, 2022).

Onderzoek onder inwoners toonde aan dat omwonenden van Chemours en de Westerschelde behoefte hebben aan onderzoek naar de blootstelling aan PFAS in hun omgeving en de gevolgen daarvan voor hun gezondheid (Elberse et al., 2024). In dit humane biomonitoringsonderzoek is extra aandacht voor de blootstelling in deze regio's. De aandachtsgebieden met betrekking tot blootstelling aan PFAS zijn afgebakend op basis van eerder onderzoek³.

1.2 Doel van dit rapport

Het huidige rapport bespreekt de resultaten van metingen van PFAS in bloed(serum)monsters afgenomen in het PIENTER-3 onderzoek in 2016-2017. Deze resultaten geven inzicht in de PFAS-blootstelling in zowel Nederland als de regio's Dordrecht en Westerschelde.

Dit rapport is een beknopte, Nederlandstalige weergave van het onderzoek zoals dat zal worden gepubliceerd in het wetenschappelijke artikel van Bil, McKeon et al. (in prep.). Het doel van het huidige rapport is driedelig:

1. Het bepalen van een landelijk dekkend beeld van de interne blootstelling⁴ aan PFAS in de algemene Nederlandse bevolking.
2. Bepalen of de interne blootstelling aan PFAS hoger is in de aandachtsgebieden in vergelijking met de rest van Nederland.
3. Het bepalen van een mogelijk risico voor de publieke gezondheid op basis van de interne PFAS blootstelling in de algemene bevolking.

Het doel van de voorliggende rapportage is niet om bronnen van blootstelling te identificeren, maar dat is wel een van de overkoepelende doelen van het PFAS onderzoeksprogramma. De resultaten van de bloed- en moedermelkmonsters uit de COVID MILK-POWER MILK studie uit 2020-2021 en de bloedmonsters van Sanquin uit 2025 zullen een aanvullend beeld schetsen over de recentere blootstelling in respectievelijk lacterende vrouwen uit heel Nederland en volwassenen afkomstig uit zowel de aandachtsgebieden als de rest van Nederland. De resultaten van deze lopende onderzoeken worden op een later moment gepubliceerd.

³ In lijn met Elberse et al. (2024) omvat de regio Dordrecht de gemeenten Alblasterdam, Dordrecht, Hardinxveld-Giessendam, Molenlanden, Papendrecht en Sliedrecht. De regio Westerschelde omvat de gemeenten Borsele, Hulst, Kapelle, Reimerswaal, Sluis, Terneuzen, Veere en Vlissingen.

⁴ Interne blootstelling wordt bepaald d.m.v. het meten van PFAS de hoeveelheid in menselijk lichaamsmateriaal (bijvoorbeeld bloed of moedermelk).

2 Materiaal en methoden

2.1 Omschrijving PIENTER onderzoek

PIENTER is een landelijk onderzoek uitgevoerd door het RIVM in opdracht van het ministerie van VWS met als belangrijkste doel het in kaart brengen van de afweer tegen infectieziekten en evaluatie van het Rijksvaccinatieprogramma. Het PIENTER onderzoek is daarnaast ook geschikt en beschikbaar voor andere onderzoeken. In 2016-2017 is de derde ronde van dit onderzoek uitgevoerd (PIENTER-3) (Verberk et al., 2019). In deze ronde zijn bij een representatieve selectie van de gehele Nederlandse bevolking (0-90 jaar) bij ruim 10.000 deelnemers uit 49 gemeenten (en het Caribisch gebied) onder andere bloed, speeksel en vragenlijsten afgenomen. Hiervan representeren 40 gemeenten de landelijke dekking en 9 gemeenten de gebieden in Nederland met een lage vaccinatiegraad. Enkele gemeenten behorend tot de aandachtsgebieden zijn vertegenwoordigd in deze steekproef: de gemeenten Dordrecht en Vlissingen zitten bij de eerstgenoemde 40 gemeenten, de gemeente Reimerswaal bij de laatstgenoemde (zie figuur 1).

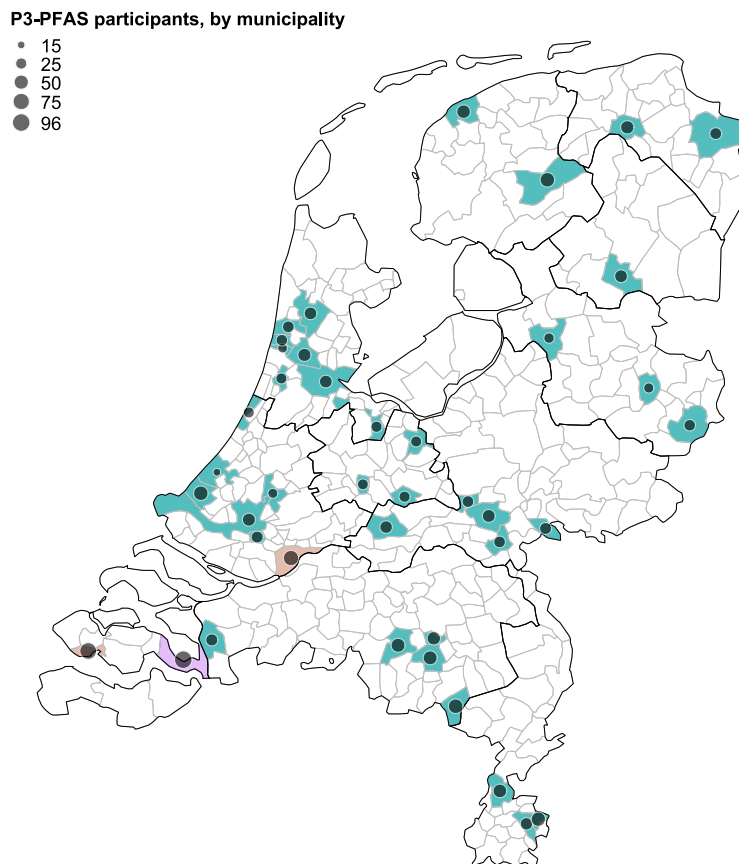
2.2 Deelnemers in aandachtsgebieden en monsteselectie

Een powerberekening is uitgevoerd om te bepalen hoe groot de studiepopulatie zou moeten zijn om aan te kunnen tonen dat een verhoogde PFAS blootstelling in de aandachtsgebieden ten opzichte van de rest van Nederland, statistisch significant is (Bulder et al., 2024). Uit de berekeningen kwam naar voren dat er minstens 62 deelnemers nodig waren uit de regio Dordrecht (vertegenwoordigd door de gemeente Dordrecht) en 179 deelnemers uit de regio Westerschelde (vertegenwoordigd door de gemeenten Vlissingen en Reimerswaal).

Voor de PFAS analyses werd op een getrapte manier een subset van 1500 individuen uit het PIENTER-3 cohort geselecteerd. Deze subset van PIENTER-3 wordt verder aangeduid als PIENTER-PFAS. Allereerst werd het aantal deelnemers geselecteerd dat benodigd was volgens de power berekening om verhoogde concentraties in de aandachtsgebieden aan te tonen. Dus deelnemers werden geselecteerd uit de gemeenten Dordrecht (N = 62) (voor regio Dordrecht), Vlissingen (N = 83) en Reimerswaal (N = 96) (voor regio Westerschelde). Vervolgens werden uit de overige 38 gemeenten⁵ voor landelijke dekking PIENTER-3 willekeurig 1259 deelnemers getrokken om tot een totaal van 1500 te komen (Bil, McKeon et al., in prep.). Van deze 1259 deelnemers waren echter 13 bloedmonsters niet meer herleidbaar, wat resulteerde in een totaal aantal van 1487 geïnccludeerde individuen.

⁵ Het Caribisch gebied is niet geïnccludeerd in deze analyse.

Figuur 1 Overzicht van gemeenten ($n=41$) geïncludeerd in het PIENTER-PFAS cohort op basis van het PIENTER-3 onderzoek, naar aantallen deelnemers en gemeentes (in 2017). De grootte van de stippen geeft het verschil in aantallen deelnemers per gemeente aan. Ingekleurde gemeentes zijn afkomstig uit verschillende cohorten of aangevuld met extra deelnemers uit de bestaande cohorten (groenblauw = gemeente in de nationale steekproef; lila = gemeente in de lage vaccinatiegraad steekproef, extra geïncludeerde monsters uit deze gemeente (Reimerswaal) vanwege ligging in een aandachtsgebied; oranje-roze = gemeente in de nationale steekproef, extra geïncludeerde monsters uit deze gemeente (Vlissingen en Dordrecht) vanwege ligging in een aandachtsgebied).



2.3 PFAS metingen

In de bloed(serum) monsters van de PIENTER-PFAS populatie zijn 29 PFAS bepaald (zie Tabel 1). Deze PFAS werden gemeten vanwege de analytische mogelijkheden. Deze zijn bepaald in 50 μ L serum per monster door het monster voor te zuiveren en te meten met behulp van een vloeistofchromatograaf gekoppeld aan een massaspectrometer. De exacte opwerking en analyse van de monsters staan omschreven in Bil, McKeon et al. (in prep.). De kwaliteit van de metingen is geborgd door het analyseren van blanco's en controlemonsters. Verdere technische details over het proces en de validatie zijn beschreven in aanvullende documentatie (Bil, McKeon et al., in prep.).

Tabel 1 Specificatie van de 29 gemeten PFAS in dit onderzoek, inclusief detectie- (LOD) en kwantificeringslimiet (LOQ) (beide in ng/mL).

PFAS	Acroniem	CAS nr.	LOD	LOQ
Perfluorbutaanzuur	PFBA	375-22-4	0,8	2
Perfluorpentaanzuur	PFPeA	2706-90-3	0,01	0,03
Perfluorhexaanzuur	PFHxA	307-24-4	0,01	0,03
Perfluorheptaanzuur	PFHpA	375-85-9	0,01	0,03
Perfluoroctaanzuur	PFOA	335-67-1	0,02	0,04
Perfluornonaanzuur	PFNA	375-95-1	0,01	0,03
Perfluordecaanzuur	PFDA	335-76-2	0,01	0,03
Perfluorundecaanzuur	PFUnDA	2058-94-8	0,01	0,03
Perfluordodecaanzuur	PFDoDA	307-55-1	0,01	0,03
Perfluorbutaansulfonzuur	PFBS	375-73-5	0,02	0,05
Perfluorpentaansulfonzuur	PFPeS	2706-91-4	0,005	0,01
Perfluorhexaansulfonzuur	PFHxS	355-46-4	0,005	0,01
Perfluorheptaansulfonzuur	PFHpS	375-92-8	0,005	0,01
Perfluoroctaansulfonzuur	PFOS	1763-23-1	0,01	0,04
Perfluornonaansulfonzuur	PFNS	68259-12-1	0,01	0,03
Perfluordecaansulfonzuur	PFDS	335-77-3	0,01	0,03
Tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propaanzuur	HFPO-DA (GenX)	13252-13-6	0,006	0,02
4,8-Dioxa-3H-perfluornonaanzuur	DONA	919005-14-4	0,006	0,02
2H-Perfluor-2-deceenzuur	8:2 FTUCA	70887-84-2	0,01	0,03
1H,1H,2H,2H-perfluorhexaansulfonzuur	4:2 FTS	757124-72-4	0,01	0,03
1H,1H,2H,2H-perfluoroctaansulfonzuur	6:2 FTS	27619-97-2	0,06	0,2
1H,1H,2H,2H-perfluordecaansulfonzuur	8:2 FTS	39108-34-4	0,01	0,03
1H,1H,2H,2H-perfluordodecaansulfonzuur	10:2 FTS	120226-60-0	0,01	0,03
N-methyl-perfluorbutaan sulfonamido-azijnzuur	MeFBSAA	159381-10-9	0,005	0,01
N-methyl-perfluorhexaan sulfonamido-azijnzuur	MeFHxSAA	715646-50-7	0,005	0,01
N-methyl-perfluoroctaan sulfonamido-azijnzuur	MeFOSAA	2355-31-9	0,005	0,01
N-ethyl-perfluoroctaan sulfonamido-azijnzuur	EtFOSAA	2991-50-6	0,005	0,01
9-chloorhexadecafluor-3-oxanonaan-1-sulfonzuur	9CI-PF3ONS	756426-58-1	0,01	0,03
11-chlooreicosafluor-3-oxaundecaan-1-sulfonzuur	11CI-PF3OUdS	763051-92-9	0,01	0,03

2.4 Dataverwerking

2.4.1 Analyses van de interne blootstelling op basis van humane biomonitoring

Voor de drie genoemde doelen van het onderzoek zijn verdelingen van de bloedconcentraties per PFAS bepaald voor de algemene Nederlandse bevolking, voor subpopulaties daarbinnen (kinderen (0-17 jaar), volwassenen (18 jaar en ouder), vrouwen in de vruchtbare leeftijd (18-45 jaar)) en voor de aandachtsgebieden.

De bloedconcentraties bleken vaak niet normaal verdeeld te zijn. Daarom werd een non-parametrische Wilcoxon rank-sum toets (tweezijdige toetsing) uitgevoerd, die geschikt is om twee onafhankelijke groepen met elkaar te vergelijken om te beoordelen of de blootstelling in de aandachtsgebieden hoger of lager is dan in de rest van Nederland.

2.4.2 Data onder de LOD of LOQ

Voor de blootstellingsbepaling is het belangrijk om rekening te houden met de grenzen van de analysemethode. De LOD (detectielimiet) is de laagste concentratie waarbij de aanwezigheid van een stof in het bloed kan worden aangetoond, maar de precieze concentratie is onzeker. De LOQ (kwantificeringslimiet) is de laagste concentratie van een stof in het bloed die kwantitatief kan worden vastgesteld. Voor data onder de LOD of de LOQ is met twee verschillende scenario's gerekend:

- In het zogenoemde 'lower bound' (LB) scenario is de concentratie van de PFAS onder de LOD gelijkgesteld aan 0 ng/mL, en concentratie van de PFAS onder de LOQ gelijkgesteld aan de LOD. Dit is mogelijk een onderschatting van de blootstelling, want een stof kan aanwezig zijn in lagere concentraties dan wat er met de gebruikte analysemethode kwantitatief kan worden aangetoond.
- In het zogenoemde 'upper bound' (UB) scenario is de concentratie van de PFAS onder de LOD gelijkgesteld aan de LOD, en de concentratie van de PFAS tussen de LOD en de LOQ gelijkgesteld aan de LOQ. Dit is een overschatting van de blootstelling.

Opgemerkt wordt dat PFBA weliswaar is bepaald in alle monsters maar dat de resultaten (allemaal <LOD) niet zijn meegenomen. De reden hiervoor is dat de LOD (0,8 ng/mL) en LOQ (2 ng/mL) zeer hoog waren door een verontreiniging in een blanco monster. De LOQ is in deze studie veel hoger dan de LOQ's voor PFBA in andere (buitenlandse) humane biomonitoringsstudies, die over het algemeen variëren tussen de 0,01-0,5 ng/mL serum (<https://hbm.vito.be/eu-hbm-dashboard>).

Alle analyses zijn uitgevoerd met het LB en het UB scenario. Dit rapport richt zich op presentatie van de resultaten met het UB scenario. Dit betreft het *worst case* scenario, met conservatieve resultaten. De resultaten van het LB scenario zijn te vinden in Bil, McKeon et al. (in prep.).

2.4.3 Gebruik van wegingsfactoren

Om een landelijk dekkend beeld van de interne PFAS blootstelling in de algemene Nederlandse bevolking te krijgen (doel 1) zijn de resultaten uit het PIENTER-PFAS cohort eerst gecorrigeerd voor de oververtegenwoordiging van het aantal deelnemers uit de gemeenten Dordrecht en Vlissingen. Daarna is gecorrigeerd voor de ondervertegenwoordiging van bepaalde groepen in de samenleving door selectieve respons in het cohort. Bij het bepalen van de wegingsfactoren is rekening gehouden met de kenmerken leeftijd, geslacht, migratieachtergrond en de mate van verstedelijking. Deze informatie is gehaald uit de censusdata van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, op 1 januari 2017). Omdat Reimerswaal als gemeente niet behoorde tot de nationale steekproef van PIENTER-3 (zie Sectie 2.1), zijn de gegevens van de deelnemers uit deze gemeente niet meegenomen in het landelijk dekkend beeld.

Voor de vergelijking tussen de aandachtsgebieden en de rest van Nederland (doel 2) zijn de gegevens van deelnemers uit de gemeente Reimerswaal wél meegenomen en zijn soortgelijke wegingsfactoren

toegepast. Enerzijds om te zorgen dat de samenstelling van de deelnemers uit de gemeente Dordrecht en de gemeenten Vlissingen en Reimerswaal qua demografische kenmerken een representatieve weerspiegeling is van de bevolking in deze gemeenten. En anderzijds, zoals boven, voor een zo representatief mogelijke samenstelling van de deelnemers uit de landelijke dekkingsgemeenten in vergelijking met de CBS censusdata voor de Nederlandse bevolking. Hierbij wordt de aanname gedaan dat de steekproef inzicht geeft in de mogelijke blootstelling in de meegenomen gemeenten en daarmee ook mogelijk aanwijzingen geeft voor de omliggende gemeenten (de regio's).

Alle analyses zijn uitgevoerd op de gewogen en de ruwe data. Dit rapport richt zich op presentatie van de gewogen data. De resultaten van de analyses met de ruwe data zijn te vinden in Bil, McKeon et al. (in prep.).

2.5 Vergelijking van de gemeten waarden met beschikbare humane biomonitoring grenswaarden

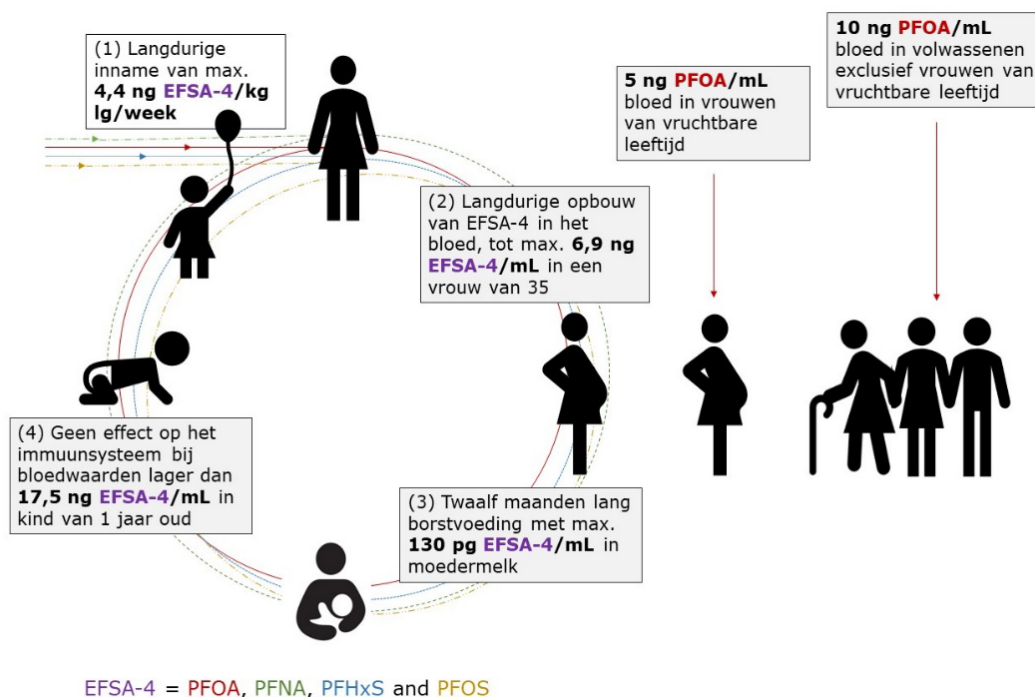
2.5.1 Beschikbare humane biomonitoringgrenswaarden

Om de PFAS bloedconcentraties te kunnen duiden wat betreft mogelijke risico's voor de publieke gezondheid (zie doel 3) zijn verschillende humane biomonitoringgrenswaarden (HBM-GVs) voor interpretatie van humane biomonitoringsgegevens gebruikt.

Allereerst is de gezondheidkundige grenswaarde gebruikt bepaald door de Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA). Voor de som van vier PFAS (EFSA-4: PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS) heeft EFSA een aanvaardbare wekelijkse inname (TWI) vastgesteld van 4,4 ng per kilogram lichaamsgewicht per week. Uitgangspunt daarvoor was een bloedconcentratie van 17,5 ng EFSA-4/mL in gedurende één jaar borstgevoede kinderen, dat via kinetische modellering eerst werd vertaald naar een bloedconcentratie van 6,9 ng EFSA-4/mL in vrouwen van vruchtbare leeftijd, en vervolgens naar bovengenoemde inname (EFSA, 2020), zie Figuur 2. Bij een overschrijding van de HBM-GV van 6,9 ng EFSA-4/mL kan moedermelk zoveel PFAS bevatten dat een verhoogd risico op een verminderde vaccinresponse in kinderen van blootgestelde vrouwen niet uitgesloten kan worden.

Daarnaast heeft de Duitse Humane Biomonitoringcommissie (HBM-commissie) een PFOA-specifieke HBM-GV bepaald. De zogenoemde HBM-I waarde (de waarde waaronder het risico op gezondheidseffecten als verwaarloosbaar wordt beschouwd) is vastgesteld op 2 ng/mL (Holzer et al., 2021; Umweltbundesamt, 2018). De zogenoemde HBM-II waarde (een waarde waarbij een verhoogd risico op schadelijke gezondheidseffecten bij chronische blootstelling niet uitgesloten kan worden) is voor PFOA vastgesteld op 5 ng/mL voor vrouwen in de vruchtbare leeftijd en op 10 ng/mL voor andere volwassenen (Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes, 2020; Schumann et al., 2021) (Figuur 2). Daarnaast zijn er ook HBM-I en HBM-II waarden voor PFOS, maar die worden buiten beschouwing gelaten (zie Sectie 2.5.2 hieronder voor de reden waarom).

Figuur 2 Schematisch overzicht van de verschillende humane biomonitoring grenswaarden van EFSA voor de som van de EFSA-4 PFAS (links) en die van de Duitse HBM Commissie voor PFOA (rechts). De gezondheidkundige grenswaarde voor de EFSA-4 is zodanig afgeleid dat een langdurige inname van 4,4 ng EFSA-4/kg lichaamsgewicht/week van jongs af aan (1) leidt tot een langdurige maximale opbouw van 6,9 ng EFSA-4/mL bloed in een vrouw van 35 (2) zodat zij haar kind tijdens het geven van een jaar borstvoeding zo weinig PFAS meegeeft (3) dat haar kind op eenjarige leeftijd onder een maximale bloedconcentratie van 17,5 ng EFSA-4/mL bloed blijft (4), waarboven een verhoogd risico op een verminderde vaccinrespons niet uitgesloten kan worden. Het betreft hierbij dus een grenswaarde voor beoordeling van een verhoogd risico in kinderen van blootgestelde moeders en niet de beoordeling van een verhoogd risico op gezondheidseffecten in de moeders zelf. De HBM-II waarden voor PFOA in bloed van vrouwen in vruchtbare leeftijd en in andere volwassenen is wel gebaseerd op directe blootstelling en geeft dus inzicht in het risico in deze specifieke subpopulaties. Dit figuur is deels gebaseerd op het origineel in Van Duursen (2025).



2.5.2

Bepaling van de cumulatieve PFAS blootstelling en het risico

Er komen vaak meerdere PFAS tegelijk voor in bloed. Om die reden is specifiek gekeken naar de optelsom van de verschillende PFAS (cumulatieve blootstelling). Hoewel er HBM-I en HBM-II waarden voor PFOS beschikbaar zijn, sluiten deze niet aan bij beschikbare methodiek voor risicobeoordeling van PFAS mengsels. Opzichzelfstaande beoordeling van PFOS leidt tot een onderschatting van het risico. De cumulatieve blootstelling is op twee manieren bepaald (aanpak 1 en 2 hieronder).

Aanpak 1: Bepaling van de cumulatieve blootstelling op basis van de EFSA-4 en equipotentie

Om de bloedconcentraties te vergelijken met de EFSA-grenswaarde zijn de concentraties van de EFSA-4 opgeteld om de cumulatieve blootstelling per individu te bepalen. Daarbij is aangenomen dat deze vier PFAS even schadelijk zijn (ze zijn 'equipotent'). Na optelling van deze vier PFAS per individu werd de blootstelling vergeleken met de HBM-GV. Deze vergelijking werd weergegeven als 1) het percentage van de populatie met een risico, oftewel het percentage van de populatie met een som PFAS blootstelling groter dan de HBM-GV, en 2) als de risicokarakteriseringsratio:

Percentage van de populatie met een risico:

$$\frac{|\{n \in N | \sum Exp_i(n) > HBM - GV\}|}{N} \times 100\%$$

Waar i is PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS. $\sum Exp_i(n)$ is de blootstelling aan de som van 4 PFAS van individu n uit het totale sample N . Met andere woorden, de teller geeft het aantal individuen met een som PFAS blootstelling groter dan de HBM-GV. De HBM-GV is het PFAS-serumgehalte van 6,9 ng EFSA-4/mL.

Risicokarakteriseringsratio:

$$\frac{\sum Exp_i(P)}{HBM - GV}$$

Waar $\sum Exp_i(P)$ is de blootstelling aan de som van 4 PFAS van een specifiek percentiel van de blootstellingsverdeling van de populatie. In dit rapport wordt gebruik gemaakt van het 50^{ste} en 95^{ste} percentiel (P50 en P95).

Aanpak 2: bepaling van de cumulatieve blootstelling op basis van PFOA-equivalenten

Aanpak 1 gaat ervanuit dat de EFSA-4 even schadelijk zijn voor het immuunsysteem. Verschillende onderzoeken laten echter zien dat afhankelijk van het soort gezondheidseffect de relatieve schadelijkheid van de PFAS verschillen van elkaar (Bil et al., 2022; Bil et al., 2023; Conley et al., 2023; Conley et al., 2024a; Conley et al., 2024b; Reardon et al., 2021). Om met deze verschillen in potentie rekening te houden, zijn in aanpak 2 de relatieve potentiefactoren (RPF's) van de PFAS toegepast die specifiek geschikt zijn voor bloedconcentraties en effecten op de lever en het immuunsysteem (Bil et al., 2023; Bil et al., 2022). RPF's corrigeren voor de verschillen in schadelijkheid tussen PFAS en zetten de bloedconcentraties van verschillende PFAS om in PFOA-equivalenten (PEQ's).

PFOA heeft als referentiestof een RPF van 1. PFAS die bij lagere bloedconcentraties hetzelfde effect veroorzaken als PFOA hebben een RPF groter dan 1, en PFAS die bij hogere concentraties hetzelfde effect veroorzaken een RPF kleiner dan 1. Hiermee kan het risico vervolgens worden berekend alsof er alleen blootstelling aan PFOA is. Er zijn RPF's

voor bloedconcentraties (interne RPF's) beschikbaar voor negen PFAS: PFHxA (7,4), PFOA (1), PFNA (5,8), PFDA (8,2), PFDoDA (11), PFBS (0,99), PFHxS (0,50), PFOS (3,8) en HFPO-DA (15)⁶. De afleiding van deze RPF's is beschreven in een wetenschappelijke publicatie (Bil et al., in prep.).

De cumulatieve blootstelling is voor elke persoon voor elke PFAS berekend en uitgedrukt in PEQ's. De PEQ's voor de verschillende PFAS zijn vervolgens voor elke persoon opgeteld en vergeleken met de HBM-GV op populatieniveau. Deze aanpak is in lijn met de RIVM-benadering voor risicobeoordelingen van PFAS, waarin de door EFSA afgeleide gezondheidkundige grenswaarde toegepast wordt op een bredere groep PFAS dan de EFSA-4, rekening houdend met verschillen in potentie tussen de PFAS (RIVM, 2021). Tevens is de blootstelling in PEQ's vergeleken met de HBM-II waarde van de referentiestof PFOA. Het percentage van de populatie met een risico is als volgt berekend:

De blootstelling van een individu aan 9 PFAS werd uitgedrukt in PFOA-equivalenten

$$PEQ_i = Exp_i \times RPF_i$$

Waar Exp de bloedconcentratie voorstelt en RPF de interne relatieve potentie factor van PFAS i , dat wil zeggen een van de 9 PFAS: PFHxA, PFOA, PFNA, PFDA, PFDoDA, PFBS, PFHxS, PFOS en HFPO-DA.

Percentage van de populatie met een risico:

$$\frac{|\{n \in N | \sum PEQ_i(n) > HBM - GV\}|}{N} \times 100\%$$

$\sum PEQ_i(n)$ is de blootstelling aan de som van 9 PEQ's van individu n uit het totale sample N . Met andere woorden, de teller geeft het aantal individuen met een som PEQ blootstelling groter dan de HBM-GV. De HBM-GV is het PFAS-serumgehalte van 6,9 ng PEQ/mL of de Duitse HBM-II grenswaarde (van 5 ng/mL PFOA voor vrouwen van vruchtbare leeftijd of 10 ng/mL PFOA voor andere volwassenen).

Risicokarakteriseringsratio:

$$\frac{\sum PEQ_i(P)}{HBM - GV}$$

Waar $\sum PEQ_i(P)$ is de blootstelling aan de som van 9 PFAS van een specifiek percentiel van de blootstellingsverdeling van de populatie. In dit rapport wordt gebruik gemaakt van het 50^{ste} en 95^{ste} percentiel (P50 en P95).

⁶ Deze negen interne RPF's op bloedniveau zijn er minder dan de 24 externe RPF's waarmee wordt gerekend met inname berekeningen (<https://www.rivm.nl/pfas/rpf>). Het verschil tussen interne en externe RPF's wordt nader uitgelegd in Bil et al. (2022).

3 Resultaten

3.1 Populatiekarakteristieken

De groepsgrootte, aantal individuen per sekse, en leeftijd van het PIENTER-PFAS cohort en de specifieke subpopulaties staan vermeld in Tabel 2.

Tabel 2 Populatiekarakteristieken (ongewogen data) van het totale PIENTER-PFAS cohort, en uitgesplitst naar volwassenen (18 en ouder), vrouwen in de vruchtbare leeftijd (18-45 jaar) en kinderen (0-17 jaar), en de twee specifieke aandachtsgebieden als ook de overige gemeenten.

Populatie	Totaal (aantal)	Sekse (aantal)		Leeftijd (jaar)			
		Vrouw	Man	Gem.	Med.	Min.	Max.
Totale PIENTER-PFAS cohort	1487	843	644	41	39	0	87
Volwassenen	1254	718	536	46	46	18	87
Vrouwen (18-45 jaar)	378	378	-	31	31	18	45
Kinderen	233	125	108	12	12	0	17
Gemeente Dordrecht	62	34	28	44	43	7	85
Gemeenten Vlissingen + Reimerswaal	179	111	68	39	35	3	84
Overige gemeenten	1246	698	548	41	39	0	87

Gem.: Gemiddelde, Med.: Mediaan, Min.: Minimum, Max.: Maximum

3.2 Overzicht van PFAS bloedconcentraties in de algehele populatie

Zeven PFAS (PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFHxS, PFHpS en PFOS) zijn in vrijwel alle bloedmonsters teruggevonden (Tabel 3). Drie andere PFAS (PFHpA, PFPeS en MeFOSAA) waren ook veelvoorkomend (in >85% van de monsters). De detectiefrequenties verschillen niet substantieel tussen de algemene bevolking en de verschillende subpopulaties (volwassenen, vrouwen in de vruchtbare leeftijd en kinderen). Iedereen is tenminste aan zes PFAS blootgesteld en een aanzienlijk deel van de bevolking aan 9-13 PFAS (Bil, McKeon et al., in prep.).

PFOS domineert de blootstelling in de totale populatie, met een P50 en P95 van respectievelijk 5,3 en 20 ng/mL (Tabel 3 en Figuur 3 a-d). PFOA is ook in relatief hoge concentraties aangetroffen, met een P50 en P95 van respectievelijk 1,7 en 5,1 ng/mL. Voor een aantal PFAS (PFHxS, PFNA) ligt de P95 van de gemeten concentraties op of boven de 1 ng/mL (respectievelijk 2,7 en 1,0 ng/mL), en voor andere PFAS (PFHpA, PFDA, PFUnDA, PFBS, PFHpS, MeFOSAA) tussen de 0,1 en 1 ng/mL. Dit zijn allemaal PFAS waarvan bekend is dat ze lang in het menselijk lichaam verblijven, dat wil zeggen een relatief lange halfwaardetijd hebben in

het bloed, variërend tussen een paar weken en een aantal jaar (EFSA, 2020).

Voor de overige PFAS zijn de concentraties laag, dat wil zeggen <0.1 ng/mL en vaak beneden of net boven de LOD. Een aantal daarvan hebben een relatief korte halfwaardetijd variërend van een paar dagen tot een paar weken, zoals PFHxA en HFPO-DA (Wallis et al., 2023), hetgeen betekent dat men kort voor de monsterafname blootgesteld moeten zijn geweest aan deze PFAS. Net als voor de detectiefrequenties hierboven zijn er geen substantiële kwalitatieve verschillen te zien tussen de totale populatie en de verschillende subpopulaties in PFAS rangorde van hoogste naar laagste concentraties.

Tabel 3 Detectiefrequentie en distributies van concentraties van 28 PFAS in serum in de algemene Nederlandse bevolking, en uitgesplitst naar volwassenen (18 jaar en ouder), vrouwen in de vruchtbare leeftijd (18–45 jaar) en kinderen (0–17 jaar) daarin (eenheid: ng/mL serum, UB scenario).

PFAS ^a	LOD	LOQ	Algemene Nederlandse bevolking			Volwassenen			Vrouwen (18-45 jaar)			Kinderen		
			% pos. ^b	P50	P95	% pos. ^b	P50	P95	% pos. ^b	P50	P95	% pos. ^b	P50	P95
PFPeA	0,01	0,03	12	0,01	0,02	12	0,01	0,03	11	0,01	0,054	8	0,01	0,01
PFHxA	0,01	0,03	8	0,01	0,01	7	0,01	0,01	5	0,01	0,01	8	0,01	0,02
PFHpA	0,01	0,03	88	0,03	0,16	87	0,03	0,13	87	0,03	0,09	94	0,05	0,27
PFOA	0,02	0,04	100	1,7	5,1	100	1,8	5,5	100	1,4	3,3	100	1,5	3,1
PFNA	0,01	0,03	100	0,38	1,0	100	0,41	1,1	100	0,31	0,67	100	0,3	0,60
PFDA	0,01	0,03	100	0,20	0,55	100	0,21	0,58	100	0,18	0,48	100	0,15	0,28
PFUnDA	0,01	0,03	100	0,07	0,24	100	0,08	0,25	100	0,07	0,21	100	0,05	0,10
PFDoDA	0,01	0,03	48	0,01	0,04	51	0,01	0,04	42	0,01	0,03	30	0,01	0,02
PFBS	0,02	0,05	46	0,02	0,11	44	0,02	0,1	42	0,02	0,072	58	0,02	0,18
PFPeS	0,005	0,01	93	0,01	0,05	92	0,01	0,05	90	0,01	0,04	97	0,012	0,05
PFHxS	0,005	0,01	100	0,80	2,7	100	0,91	2,9	100	0,48	1,3	100	0,42	1,3
PFHpS	0,005	0,01	100	0,13	0,54	100	0,16	0,59	100	0,08	0,23	100	0,07	0,15
PFOS	0,01	0,04	100	5,3	20	100	6,3	21	100	3,7	9,0	100	3,2	6,3
PFNS	0,01	0,03	1	0,01	0,01	1	0,01	0,01	1	0,01	0,01	0	0,01	0,01
PFDS	0,01	0,03	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01
HFPO-DA	0,006	0,02	9	0,006	0,007	9	0,006	0,007	9	0,006	0,007	6	0,006	0,007
DONA	0,006	0,02	3	0,006	0,006	3	0,006	0,006	2	0,006	0,006	2	0,006	0,006
8:2 FTUCA	0,01	0,03	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01
4:2 FTS	0,01	0,03	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01
6:2 FTS	0,06	0,2	3	0,06	0,06	3	0,06	0,06	3	0,06	0,06	3	0,06	0,06
8:2 FTS	0,01	0,03	17	0,01	0,02	17	0,01	0,02	12	0,01	0,01	19	0,01	0,03
10:2 FTS	0,01	0,03	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	1	0,01	0,01
MeFBSAA	0,005	0,01	2	0,005	0,005	3	0,005	0,005	2	0,005	0,005	1	0,005	0,005
MeFHxSAA	0,005	0,01	1	0,005	0,005	1	0,005	0,005	0	0,005	0,005	1	0,005	0,005
MeFOSAA	0,005	0,01	96	0,02	0,14	96	0,02	0,15	94	0,01	0,06	96	0,02	0,1
EtFOSAA	0,005	0,01	33	0,005	0,02	32	0,005	0,02	21	0,005	0,01	36	0,005	0,02

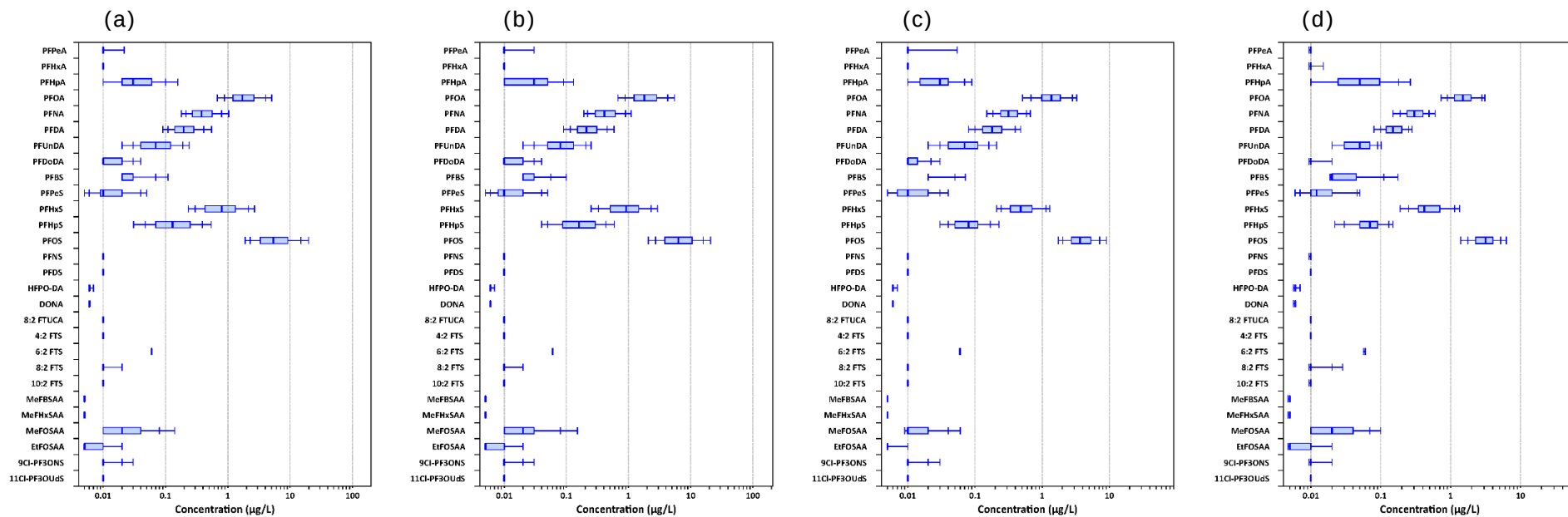
PFAS ^a	LOD	LOQ	Algemene Nederlandse bevolking			Volwassenen			Vrouwen (18-45 jaar)			Kinderen		
			% pos. ^b	P50	P95	% pos. ^b	P50	P95	% pos. ^b	P50	P95	% pos. ^b	P50	P95
9CI-PF3ONS	0,01	0,03	37	0,01	0,03	41	0,01	0,03	33	0,01	0,03	13	0,01	0,02
11CI-PF3OUdS	0,01	0,03	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01

LOD: detectielimiet, LOQ: kwantificeringslimiet, PFAS: per-en polyfluoralkylstoffen, pos.: positief, P50: 50e percentiel, P95: 95e percentiel

^a De namen van de PFAS zijn te vinden in Tabel 1.

^b Percentages (afgerond op hele getallen) van de monsters met een concentratie >LOD.

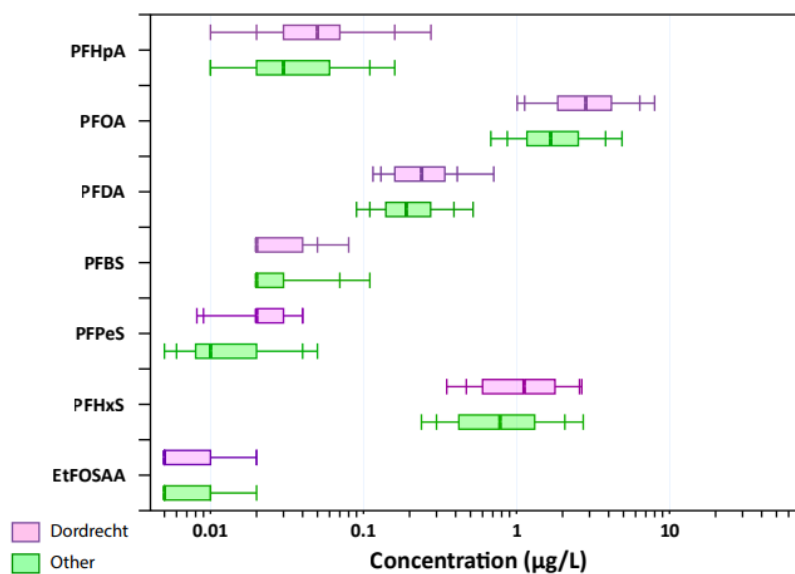
Figuur 3 Serumconcentratieverdelingen van 28 PFAS. De boxplot geeft het 25e, 50e en 75e percentiel van de bloed(serum)concentratieverdelingen (in $\mu\text{g/L}$, oftewel ng/mL) weer in de Nederlandse bevolking (a), en uitgesplitst naar volwassenen (18 jaar en ouder) (b), vrouwen in de vruchtbare leeftijd (18–45 jaar) (c) en kinderen (0-17 jaar) (d) op basis van het PIENTER-PFAS cohort. De verticale strepen aan weerszijden van de boxplot geven respectievelijk het 5e en 10e en het 90e en 95e percentiel van de bloedconcentratieverdeling weer. De concentraties op de x-as zijn logaritmisch weergegeven.



3.3 Regio Dordrecht versus de rest van Nederland

De bloedconcentratieverdelingen van een aantal PFAS zijn statistisch significant verschillend tussen inwoners van de regio Dordrecht en de rest van Nederland (zie Figuur 4 en Tabel 4). Inwoners uit de regio Dordrecht hebben hogere bloedconcentraties van PFHpA, PFOA, PFDA, PFPeS en PFHxS in vergelijking met de rest van Nederland. Er werd een statistische significant verlaagde blootstelling gevonden voor PFBS en EtFOSAA in de regio Dordrecht ten opzichte van de rest van Nederland. Voor PFOS, de PFAS die de concentratie domineert, is geen statistisch significant verschil gevonden tussen deze groepen. In Dordrecht zijn geen HFPO-DA (GenX) waarden gemeten boven de LOD.

Figuur 4 Serumconcentraties ($\mu\text{g/L}$, oftewel ng/mL) van PFAS met statistisch significante verschillen tussen inwoners van de regio Dordrecht ($n=62$) en de rest van Nederland ($n=1246$). De boxplot geeft het 25^e, 50^e en 75^e percentiel van de bloed (serum)concentratie verdelingen weer. De verticale strepen aan weerszijden van de boxplot geven respectievelijk het 5^e en 10^e en het 90^e en 95^e percentiel van de bloedconcentratie verdelingen weer. De concentraties op de X-as zijn logaritmisch weergegeven.



Tabel 4 Gewogen PFAS-serumconcentraties (ng/mL) met statistisch significante verschillen ($p < 0.05$) tussen inwoners van de regio Dordrecht ($n=62$) en de rest van Nederland ($n=1246$). Alleen de resultaten van PFAS met een detectiefrequentie hoger dan 30% zijn weergegeven. Berekeningen zijn uitgevoerd met het UB-scenario.

PFAS	LOD	Locatie	P50 (mediaan)	P95	Richting*
PFHpA	0,01	Dordrecht	0,05	0,28	↑
		Rest van NL	0,03	0,16	
PFOA	0,02	Dordrecht	2,8	8,0	↑
		Rest van NL	1,7	4,9	
PFDA	0,01	Dordrecht	0,24	0,71	↑
		Rest van NL	0,19	0,52	
PFBS	0,02	Dordrecht	0,02	0,08	↓
		Rest van NL	0,02	0,11	
PFPeS	0,005	Dordrecht	0,02	0,04	↑
		Rest van NL	0,01	0,05	
PFHxS	0,005	Dordrecht	1,1	2,7	↑
		Rest van NL	0,78	2,7	
EtFOSAA [#]	0,005	Dordrecht	0,005	0,02	↓
		Rest van NL	0,005	0,02	

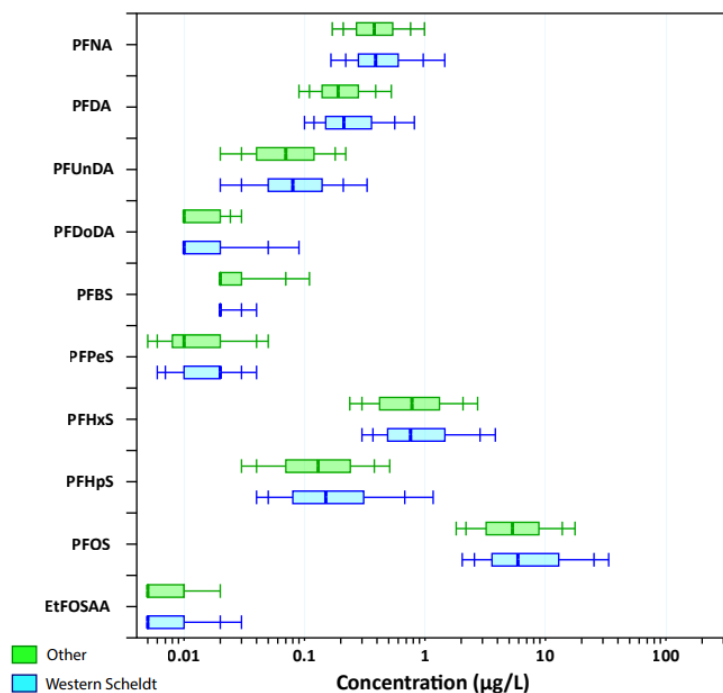
*Richting van de blootstelling in Dordrecht ten opzichte van de rest van Nederland

[#]Statistische significantie gedreven door verschil in ranking van waarden boven de P95

3.4 Regio Westerschelde versus de rest van Nederland

De bloedconcentratie verdelingen van verscheidene PFAS zijn statistisch significant verschillend tussen inwoners van de regio Westerschelde en de rest van Nederland (zie Figuur 5 en Tabel 5). Verhoogde bloedconcentraties werden vastgesteld voor PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS en EtFOSAA in de regio Westerschelde ten opzichte van de rest van Nederland. PFBS blootstelling was lager in de regio Westerschelde ten opzichte van de rest van Nederland.

Figuur 5 Serumconcentraties ($\mu\text{g/L}$, oftewel ng/mL) van PFAS met statistisch significante verschillen tussen inwoners van de regio Westerschelde ($n=179$) en de rest van Nederland ($n=1246$). De boxplot geeft het 25e, 50e, en 75e percentiel van de bloed(serum)concentratie verdelingen weer. De verticale strepen aan weerszijden van de boxplot tonen respectievelijk het 5e en 10e en het 90e en 95e percentiel van de bloedconcentraties. De concentraties op de x-as zijn logaritmisch weergegeven.



Tabel 5 Gewogen PFAS-serumconcentraties (ng/mL) met statistisch significante verschillen in concentratie verdelingen ($p < 0.05$) tussen inwoners uit de regio Westerschelde ($n=179$) en de rest van Nederland ($n=1246$). Alleen de resultaten van PFAS met een detectiefrequentie hoger dan 30% zijn weergegeven. Berekeningen zijn uitgevoerd met het UB-scenario.

PFAS	LOD	Locatie	P50 (mediaan)	P95	Richting *
PFNA	0,01	Westerschelde	0,39	1,5	↑
		Rest van NL	0,38	1,0	
PFDA	0,01	Westerschelde	0,21	0,82	↑
		Rest van NL	0,19	0,53	
PFUnDA	0,01	Westerschelde	0,08	0,33	↑
		Rest van NL	0,07	0,22	
PFDoDA	0,01	Westerschelde	0,01	0,09	↑
		Rest van NL	0,01	0,03	
PFBS	0,02	Westerschelde	0,02	0,04	↓
		Rest van NL	0,02	0,11	
PFPeS	0,005	Westerschelde	0,02	0,04	↑
		Rest van NL	0,01	0,05	
PFHxS	0,005	Westerschelde	0,76	3,8	↑
		Rest van NL	0,78	2,7	
PFHpS	0,005	Westerschelde	0,15	1,2	↑
		Rest van NL	0,13	0,51	
PFOS	0,01	Westerschelde	5,9	34	↑
		Rest van NL	5,3	18	
EtFOSAA	0,005	Westerschelde	0,005	0,03	↑
		Rest van NL	0,005	0,02	

*Richting van de blootstelling in de regio Westerschelde ten opzichte van de rest van Nederland

3.5 Vergelijking van de gemeten interne PFAS blootstelling met humane biomonitoringgrenswaarden

In alle doorgerkende scenario's wordt de HBM-GV door (een deel van de) populatie overschreden (Tabel 6). Het percentage van de populatie dat de HBM-GV overschrijdt verschilt echter per doorgerkend scenario. Op basis van de resultaten kan een verhoogd risico op gezondheidseffecten niet uitgesloten worden.

Wanneer alleen gekeken wordt naar de EFSA-4 op basis van equipotentie (aanpak 1), overschrijdt 71% van de volwassenen en 42% van de vrouwen in de vruchtbare leeftijd de HBM-GV van 6,9 ng EFSA-4/mL. Bij een overschrijding van deze HBM-GV kan moedermelk zoveel PFAS bevatten dat er een verhoogd risico ontstaat op een verminderde vaccinresponse in het kind. Van de kinderen tussen de 4 en 17 jaar overschrijdt 27% de HBM-GV. De mate van overschrijding van overschrijding van de HBM-GV door de blootstelling (uitgedrukt als risicokarakteriseringsratio) verschilt van 0,78-1,4 en 1,5-4,2 voor de P50 en P95 voor de verschillende populaties respectievelijk.

Wanneer er rekening gehouden wordt met verschillen in potentie en blootstelling aan meer dan de EFSA-4 (aanpak 2), overschrijdt een substantieel groter gedeelte van de populatie de HBM-GV van 6,9 ng PEQ/mL. Om te bepalen of de keuze van de HBM-GV, en de combinatie daarvan met RPF's, een effect heeft op de uitkomsten, is ook de HBM-II waarde voor PFOA toegepast. De resultaten tonen aan dat de keuze van de HBM-GV in combinatie met RPF's geen impact heeft op de uitkomsten van de risicobeoordeling. In alle gevallen overschrijdt vrijwel de gehele populatie de HBM-GV. De mate van overschrijding van de HBM-GV door de blootstelling verschilt van 2,4-4,6 en 4,5-14 voor de P50 en P95 voor de verschillende populaties respectievelijk.

Tabel 6 Vergelijking van de cumulatieve PFAS- blootstelling met de humane biomonitoring grenswaarden voor volwassenen (18 jaar en ouder), vrouwen in de vruchtbare leeftijd (18-45 jaar) en kinderen (4 t/m 17 jaar), gebaseerd op bloedconcentraties gewogen naar de Nederlandse populatie (UB-scenario).

		% van de populatie met HBM-GV overschrijding		Risicokarakteriseringsratio's			
		Som van EFSA-4 PFAS ^a (aanpak 1)	Som van 9 PFAS ^b in PEQ's (aanpak 2)	Som van EFSA-4 PFAS ^a (aanpak 1)		Som van 9 PFAS ^b in PEQ's (aanpak 2)	
				P50	P95	P50	P95
Volwassenen	EFSA (6,9 ng/mL)	71	99	1,4	4,2	4,6	14
	HBM-II PFOA (10 ng/mL)	nvt	98	nvt	nvt	3,2	9,8
Vrouwen^c	EFSA (6,9 ng/mL)	42	98	0,87	1,9	2,9	6,3
	HBM-II PFOA (5 ng/mL)	nvt	100	nvt	nvt	4,0	8,8
Kinderen^d	EFSA (6,9 ng/mL)	27	99	0,78	1,5	2,4	4,5

HBM-GV: humane biomonitoring grenswaarden, nvt: niet van toepassing, PEQ: PFOA-equivalenten, PFAS: Per-en polyfluoralkylstoffen.

^a Cumulatieve blootstelling aan PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS gebaseerd op equipotentie.

^b Cumulatieve blootstelling aan RPF-gecorrigeerde PFHxA, PFOA, PFNA, PFDA, PFDoDA, PFBS, PFHxS, PFOS en HFPO-DA uitgedrukt als PFOA-equivalenten (PEQ's).

^c vrouwen van vruchtbare leeftijd (18-45 jaar).

^d kinderen van 4 t/m 17 jaar werden geïnccludeerd in deze berekening omdat de TWI niet toepasbaar is op zuigelingen. Dit resulteerde in exclusie van 3 kinderen van 3 jaar of jonger.

4 Discussie

Het PIENTER-PFAS bloedonderzoek toont aan dat Nederlanders aan meerdere PFAS tegelijkertijd blootgesteld worden, met een minimum van zes PFAS van de 28 gemeten PFAS (PFOA, PFNA, PFDA, PFHxS, PFHpS, en PFOS) per individu. PFUnDA werd in bijna alle gevallen teruggevonden. PFOS is daarbij (zonder uitzondering) de PFAS met de hoogste bloedconcentratie. Alleen al door de blootstelling aan PFOS overschrijdt 25-50% van de Nederlandse bevolking de humane biomonitoring grenswaarde van 6,9 ng/mL van EFSA voor de som van PFOA, PFNA, PFHxS en PFOS. Zowel in de algemene Nederlandse bevolking als in specifieke subpopulaties is het beeld van blootstelling grotendeels gelijk, hoewel de hoogste PFOS bloedconcentraties worden gezien in individuen in de algemene bevolking (P95 20 ng/mL) die niet behoren tot de meest gevoelige subpopulaties van kinderen (P95 6,3 ng/mL) en vrouwen van vruchtbare leeftijd (P95 9,0 ng/mL).

De concentraties van PFAS in het bloed in de Nederlandse populatie zijn in beide aanpakken voor de risicobeoordeling, op basis van EFSA-4 en som PEQ, voor alle (sub)populaties gedeeltelijk tot vrijwel geheel boven de humane biomonitoringgrenswaarde van EFSA. Dit geldt voor het UB scenario evenals voor het LB scenario en voor analyses met de ruwe en gewogen data (Bil, McKeon et al., in prep.). Daarbij moet worden opgemerkt dat in de beoordeling van het cumulatieve risico op basis van PFOA-equivalenten slechts negen PFAS konden worden geïncludeerd door gebrek aan interne RPF's voor de rest van de PFAS, wat tot een onderschatting van het cumulatieve risico leidt. Overschrijding van de humane biomonitoringgrenswaarde betekent dat nadelige gezondheidseffecten in de populatie op lange termijn niet uit te sluiten zijn. Echter, enkel PFAS bloedmetingen kunnen geen inzicht geven in verhoogde ziektelast in een individu, noch in een mogelijk causaal verband tussen blootstelling en het optreden van gezondheidseffecten in een individu (GGD Zeeland, 2025).

Op basis van de resultaten in deze studie is het wenselijk beter in kaart te brengen welke impact de PFAS blootstelling boven de humane biomonitoringgrenswaarde heeft op de gezondheid. Bij overschrijding van de humane biomonitoringgrenswaarde is er een ongewenste toename in risico op het gezondheidseffect waarop de grenswaarde is gebaseerd (hier verminderde vaccinresponse). Daarnaast zijn bij verdere overschrijding van de grenswaarde ook andere effecten niet uit te sluiten (zie EFSA 2020 voor een overzicht van mogelijke schadelijke effecten). Er is een zogenoemde 'health impact' of 'environmental burden of disease' aanpak nodig op populatieniveau om te kunnen inschatten hoe ernstig bepaalde gezondheidseffecten en aandoeningen zullen zijn bij specifieke bloedconcentraties (Oomen & Herremans, 2017; Plass et al., 2025). In een nog in 2025 te starten project over gezondheidseffecten van PFAS voor de regio's Chemours en Westerschelde zal een literatuuronderzoek uitgevoerd worden om na te gaan wat er in de wetenschappelijke literatuur bekend is over de mogelijke gezondheidseffecten van PFAS, met als doel duiding te geven aan de PFAS-concentraties in het lichaam.

Een Franse humane biomonitoringsstudie uitgevoerd onder een representatieve steekproef van de algemene Franse bevolking (Fillol et al., 2021) (en met een monsteringscampagne in dezelfde periode als PIENTER-3) vond PFOS waarden (mediaan = 4,0 ng/mL; P95 = 14 ng/mL) vergelijkbaar met die in de huidige studie. Dit geeft aan dat het beeld van PFAS blootstelling in Frankrijk en Nederland uit die tijd vergelijkbaar is. Recent is een Frans humaan biomonitoringsonderzoek verschenen waar retrospectief is gemeten in bloedmonsters afgenomen bij vrouwen begin jaren '90 (Frenoy et al., 2024). De mediane en P95 bloedconcentratie in die studie is respectievelijk 34 en 63 ng PFOS/mL. De resultaten van deze twee Franse studies suggereren een afname in bloedconcentraties in de afgelopen ~25 jaar. Ook in Duitsland wordt een sterke afname in PFOS blootstelling gezien: in 2017 was de mediane PFOS blootstelling ongeveer een factor 17 lager dan in 1982 (Göckener et al. 2020). Het lijkt er dus op dat blootstelling aan PFOS onder de algemene bevolking gedaald is ten opzichte van de jaren '90 van de vorige eeuw. Dit is mogelijk het gevolg van de verschillende maatregelen die sinds het begin van de 21^e eeuw genomen zijn om het gebruik van PFOS en de emissies naar het milieu te beperken. Echter, de eerste beperkingen werden voor PFOS geïntroduceerd tussen 2006-2009⁷, terwijl PFOS nog steeds zorgt voor de hoogste bloedconcentraties in de algemene bevolking. Dat laatste kan wijzen op huidige diffuse blootstelling aan PFOS vanuit de leefomgeving, maar ook op langzame afname vanaf de tijd van verbod.

In de regio Dordrecht werd een statistisch significant verhoogde blootstelling gezien voor PFHpA, PFOA, PFDA, PFPeS en PFHxS. Van deze PFAS werd de hoogste concentratie gevonden voor PFOA, waarvan de mediane en P95 concentraties in Dordrecht respectievelijk een factor 1,7 en 1,6 hoger liggen dan in de rest van Nederland. Het grootste verschil werd gevonden voor PFHpA, waarvan de mediane en P95 concentraties in Dordrecht beide een factor 1,7 hoger liggen. Dat omwonenden in de nabijheid van Chemours een verhoogde concentratie PFOA in hun bloed hebben bleek uit eerder humaan biomonitoringsonderzoek met monsterwerving in dezelfde periode (2016-2017). Onder direct omwonenden van Chemours werd door Van Poll et al. (2017) een mediane concentratie van 13,5 ng PFOA/mL gevonden, met een sterk afnemende gradiënt met toenemende afstand tot Chemours. Van Poll et al. (2017) vonden een mediane PFOA bloedconcentratie van ~3,5 ng/mL PFOA in een groep bewoners van een buitenwijk van Dordrecht (Wittenstein, 6,5 km Zuid-West van Chemours), meer vergelijkbaar met de mediane concentratie van 2,8 ng/mL in deze studie. PIENTER-3 biedt niet de ruimtelijke resolutie om nader te kijken naar de afstand van wonen tot Chemours, omdat alleen het numerieke deel van de postcode beschikbaar is. PFOA is tot 2012 in gebruik geweest in het productieproces bij Chemours, en is in diezelfde periode vervangen door HFPO-DA (GenX) (de Kort et al., 2019; Zeilmaker et al., 2016). Er zijn in de huidige studie bij de deelnemers uit Dordrecht, vijf jaar na de ingebruikname van GenX, geen detecteerbare GenX concentraties gevonden in het bloed.

⁷ Europese beperkingen werden geïntroduceerd in Directive 2006/122/EC en werden overgenomen in Annex XVII van de REACH-verordening. Mondiale beperkingen werden geïntroduceerd in 2009 door opname van PFOS, PFOS-zouten en PFOSF onder het Verdrag van Stockholm (met besluit SC-4/17). In 2019 werd laatstgenoemde verder aangescherpt (besluit SC-9/4).

Onder omwonenden van de Westerschelde werd een statistisch significant verhoogde blootstelling aan PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, en EtFOSAA vastgesteld. Van deze PFAS was de grootste verhoging in concentraties te zien voor de P95 waarden van PFDoDA en PFHpS, van respectievelijk een factor 3 en 2,3, terwijl de mediane concentratie in de regio Westerschelde en de rest van Nederland nagenoeg gelijk waren voor beide PFAS. Van de PFAS met een verhoogde blootstelling was de hoogste blootstelling aan PFOS, waarvan de mediane en P95 concentraties een factor 1,1 en 1,9 hoger liggen dan in de rest van Nederland. PFOS is de stof die jarenlang door 3M is uitgestoten in het Belgische Zwijndrecht en waarvoor (sterk) verhoogde concentraties gevonden zijn in verschillende soorten vis en zeevruchten afkomstig uit de Westerschelde (Zwartsen & Boon, 2022). Of de verhoogde bloedconcentraties direct veroorzaakt zijn door consumptie van verhoogd gecontamineerde lokale producten uit de regio kan op basis van deze studie niet bepaald worden. Een recent, grootschalig humaan biomonitoringsonderzoek onder directe omwonenden van 3M toonde aan dat deelnemers ouder dan 12 jaar een mediane bloedconcentratie PFOS tussen 3,8-8,3 ng/mL PFOS hadden (mediane bloedconcentraties van verschillende saneringsgebieden), ten opzichte van een mediane bloedconcentratie van 4,5 ng/mL PFOS buiten het saneringsgebied (Consortium Eurofins, 2025). In deze studie werd een mediane concentratie van 5,9 ng/mL PFOS gevonden in deelnemers uit de regio Westerschelde. Opgemerkt dient te worden dat de verschillende periode van monsterwerving (2016-2017 voor PIENTER-3 t.o.v. 2024 bij het Eurofins onderzoek) mogelijk interfereert in deze vergelijking.

Het PIENTER-PFAS onderzoek biedt nieuwe inzichten in de blootstelling voor de algemene bevolking en voor de aandachtsgebieden, met een monsteringscampagne van ongeveer acht jaar geleden. Helmond, een regio die mogelijk ook een aandachtsgebied vormt voor PFAS-blootstelling, is niet specifiek bestudeerd in PIENTER-PFAS omdat deze gemeente niet behoorde tot een van de bestudeerde gemeenten in PIENTER-3. Deze, en mogelijke andere aandachtsgebieden met verhoogde blootstelling, blijven daardoor buiten beschouwing. Hoewel de verschillen in blootstelling mogelijk beperkt zijn tussen 2016-2017 en nu (Bulder et al., 2024), is het wenselijk om een actueel aanvullend beeld te verkrijgen van blootstelling onder de algemene bevolking en in aandachtsgebieden. Humane biomonitoring van PFAS in moedermelk en serum onder lacterende vrouwen in de COVID MILK-POWER MILK studie draagt hieraan bij. De humane biomonitoringsstudie in samenwerking met Sanquin zal een aanvullend actueel beeld geven van blootstelling in de regio's Dordrecht en Westerschelde versus volwassenen afkomstig uit andere delen van Nederland op basis van een uitgebreidere wervingscampagne.

5 Conclusies

Het bepalen van een landelijk dekkend beeld van de interne blootstelling aan PFAS en een mogelijk risico voor de publieke gezondheid op basis hiervan in de algemene Nederlandse bevolking (doelen 1 en 3)

De PIENTER-PFAS studie is de eerste studie die een beeld geeft van de interne blootstelling aan PFAS onder de algemene Nederlandse bevolking. Deze studie, op basis van een bloedmonsteringscampagne uit 2016-2017, toont aan dat Nederlanders gelijktijdig aan meerdere PFAS zijn blootgesteld. PFOS is de PFAS die in de hoogste concentraties is aangetroffen in het bloed, gevolgd door PFOA.

De cumulatieve blootstelling onder de Nederlandse bevolking (waarbij apart is gekeken naar volwassenen, vrouwen in de vruchtbare leeftijd, en kinderen) overschrijdt de humane biomonitoring grenswaarde van EFSA in een deel tot vrijwel de gehele bevolking, zowel op basis van EFSA-4 (in 71%, 42% en 27% van de subpopulaties respectievelijk) als op basis van PFOA-equivalenten (99%, 98% en 99% van de subpopulaties respectievelijk). Bij langdurige blootstelling boven deze HBM-GV zijn nadelige effecten op de vaccinrespons niet uit te sluiten. Mensen kunnen daardoor gevoeliger worden voor infecties.

Deze resultaten passen bij het beeld over inname van PFAS via voedsel en drinkwater. In eerder onderzoek uitgevoerd in het kader van het RIVM PFAS onderzoeksprogramma werd vastgesteld dat Nederlanders te veel PFAS binnenkrijgen via voedsel en drinkwater samengenomen (Schepens et al., 2023). De Europese Voedselveiligheidsautoriteit zag in 2020 eenzelfde beeld voor Europa (EFSA, 2020).

Bepalen of de interne blootstelling aan PFAS hoger is in de aandachtsgebieden in vergelijking met de rest van Nederland (doel 2)

De metingen van bloed in mensen uit de regio's Dordrecht en Westerschelde bevestigen eerdere onderzoeken van het RIVM waarin verhoogde PFAS waarden werden gevonden in bloed van omwonenden van Chemours (Van Poll et al., 2017) en in gewassen en dierlijke producten rondom Chemours en uit en rondom de Westerschelde (Boon et al., 2024; Boon & te Biesebeek, 2022; Front Office Voedsel- en productveiligheid 2024; Zwartsen & Boon, 2022). Ondanks dat er significante verhogingen zijn gevonden in de huidige studie in de aandachtsgebieden ten opzichte van de rest van Nederland, zijn de verhogingen relatief bescheiden.

In de regio Dordrecht werd een verhoogde blootstelling aan PFOA, PFHpA, PFDA, PFPeS en PFHxS vastgesteld, terwijl HFPO-DA, oftewel GenX, niet werd gedetecteerd. Van de PFAS met een verhoogde blootstelling in deze regio waren de hoogste concentraties van PFOA, waarvan de mediane en P95 concentraties in Dordrecht respectievelijk

een factor 1,7 en 1,6 hoger liggen dan in de rest van Nederland. Echter, de mediane PFOA bloedconcentratie van de PIENTER-PFAS populatie in de regio Dordrecht in de huidige studie is een factor 5 lager dan die van de sterk verhoogde bloedconcentraties in de populatie dicht rondom Chemours uit 2016 (Van Poll et al., 2017).

In twee gemeenten in de regio Westerschelde werd een verhoogde blootstelling aan PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS en EtFOSAA vastgesteld. Van de PFAS met een verhoogde blootstelling in deze regio waren de hoogste concentraties van PFOS, waarvan de mediane en P95 concentraties in de regio Westerschelde respectievelijk een factor 1,1 en 1,9 hoger liggen dan in de rest van Nederland.

Verder onderzoek naar blootstelling en handelingsperspectief voor het reduceren ervan

De uitkomsten van dit onderzoek onderstrepen het belang van een brede, generieke aanpak van PFAS. Omdat alle PFAS sinds 2024 als zeer zorgwekkende stof (ZZS) zijn geclassificeerd hebben overheden een basis om te sturen op de minimalisatieplicht die voor ZZS geldt (<https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/zeer-zorgwekkende-stoffen/pfas-als-zzs>). Daarnaast wordt er op Europees niveau ingezet op een totaalverbod van PFAS door middel van een restrictievoorstel onder de REACH wetgeving (<https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>). Er is op dit moment (nog) geen duidelijk handelingsperspectief voor individuen met een verhoogd PFAS gehalte in het bloed. Verdere duiding van de resultaten vindt plaats in het PFAS onderzoeksprogramma, waarin o.a. handelingsperspectieven geschetst zullen worden voor het reduceren van de blootstelling onder de Nederlandse bevolking. Ook wordt er aanvullend onderzoek gedaan naar de huidige PFAS blootstelling en de concentraties van PFAS in moedermelk. Door bloedonderzoek in de toekomst te herhalen kan de blootstelling gemonitord worden en kan inzichtelijk worden of beleidsmaatregelen effect hebben.

Dankwoord

De auteurs danken M.H. Lamoree en J.C. Koekkoek (beiden Vrije Universiteit) voor het uitvoeren van de PFAS metingen in bloed. RIVM-collega's M. Pronk en A.G. Oomen zijn wij erkentelijk voor het kritisch meelezen met een concept versie van dit rapport. We bedanken RIVM-collega's D. Wong en G. Smits voor hun ondersteuning vanuit het PIENTER onderzoek. De deelnemers van PIENTER-3 bedanken wij voor het beschikbaar stellen van monsters voor de PFAS bepalingen.

Literatuur

Bil, W., Carsique, M., et al. (in prep.). PARC mixture risk assessment case study based on human biomonitoring information.

Bil, W., McKeon, H.P., et al. (in prep.). Nationwide human biomonitoring of 28 per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in blood serum of children and adults in the Netherlands.

Bil, W., Ehrlich, V., Chen, G., Vandebriel, R., Zeilmaker, M., Luijten, M., Uhl, M., Marx-Stoelting, P., Halldorsson, T. I., & Bokkers, B. (2023). Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. *Environ Int*, 171, 107727. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107727>

Bil, W., Zeilmaker, M. J., & Bokkers, B. G. (2022). Internal relative potency factors for the risk assessment of mixtures of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. *Environmental Health Perspectives*, 130(7), 077005. <https://doi.org/10.1289/EHP10009>

Boon, P., Schepens, M., & te Biesebeek, J. (2024). *Risicobeoordeling van PFAS in particuliere eieren uit de regio Zuid-Holland Zuid en de gemeente Altena* (RIVM-rapport 2024-0051). RIVM.

Boon, P., & te Biesebeek, J. (2022). *Risicobeoordeling van PFAS in moestuingewassen uit moestuinen in de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden* (RIVM-briefrapport 2022-0010). RIVM.

Bulder, A., van der Aa, M., Affourtit, F., Bakker, M., Bil, W., Bokkers, B., Boon, P., Hartmann, J., Mengelers, M., Montforts, M., Naus, F., Nederlof, R., van Wijk, S., Wintersen, A., & de Wit, L. (2024). *PFAS-onderzoeksprogramma RIVM. Inventarisatie beschikbare informatie en afbakening onderzoek*. RIVM.

Conley, J. M., Lambright, C. S., Evans, N., Bangma, J., Ford, J., Hill, D., & Gray Jr, L. E. (2024a). Long-chain perfluoroalkylether carboxylic acids PFO5DoA and PFO4DA alter glucose, bile acid, and thyroid hormone homeostasis in fetal rats from 5-day maternal oral exposure. *Environmental Research*, 263, 120210.

Conley, J. M., Lambright, C. S., Evans, N., Bangma, J., Ford, J., Hill, D., Medlock-Kakaley, E., & Gray, L. E., Jr. (2024b). Maternal and Neonatal Effects of Maternal Oral Exposure to Perfluoro-2-methoxyacetic Acid (PFMOAA) during Pregnancy and Early Lactation in the Sprague-Dawley Rat. *Environ Sci Technol*, 58(2), 1064-1075. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08559>

Conley, J. M., Lambright, C. S., Evans, N., Farraj, A. K., Smoot, J., Grindstaff, R. D., Hill, D., McCord, J., Medlock-Kakaley, E., & Dixon, A. (2023). Dose additive maternal and offspring effects of oral maternal exposure to a mixture of three PFAS (HFPO-DA, NBP2, PFOS) during pregnancy in the Sprague-Dawley rat. *Science of The Total Environment*, 892, 164609.

Consortium Eurofins. (2025). *Grootschalig bloedonderzoek PFAS in de omgeving van de 3M-fabriek in Zwijndrecht 2023-2025*.
https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1742242509/repositories-prd/Wetenschappelijk_rapport_grootschalig_bloedonderzoek_PFAS_draft_bgevqj.pdf.

de Kort, M., de Jong, C., Verhoeven, J., Boon, P., & Verschoor, A. (2019). Verspreiding van GenX stoffen in het milieu: Metingen in Nederland 2013-2018. RIVM Rapport 2019-0083.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0083.pdf>.

EFSA. (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA J*, 18(9), e06223.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>

Elberse, J., Zonneveld, M., von den Benken, M., Bogers, R., Bergstra, A., van de Weijert, V., Bekker, C., de Zwart, F., Houweling, D., Noorda, J., Wijten, J., & Gooijer, L. (2024). *Verkenning Chemours en de Westerschelde; advies voor onderzoeken naar PFAS in deze regio's* (KN-2024-0049). RIVM.

Fillol, C., Oleko, A., Saoudi, A., Zeghnoun, A., Balicco, A., Gane, J., Rambaud, L., Leblanc, A., Gaudreau, E., Marchand, P., Le Bizec, B., Bouchart, V., Le Gleau, F., Durand, G., & Denys, S. (2021). Exposure of the French population to bisphenols, phthalates, parabens, glycol ethers, brominated flame retardants, and perfluorinated compounds in 2014-2016: Results from the Esteban study. *Environ Int*, 147, 106340.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106340>

Frenoy, P., Cano-Sancho, G., Antignac, J. P., Marchand, P., Marques, C., Ren, X., Severi, G., Perduca, V., & Mancini, F. R. (2024). Blood levels of persistent organic pollutants among women in France in the 90's: Main profiles and individual determinants. *Environ Res*, 258, 119468.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119468>

Front Office Voedsel- en productveiligheid. (2024). Beoordeling over de overdracht en kinetiek van PFOS in lam, schaap en rund
<https://www.rivm.nl/sites/default/files/2024-12/Beoordeling%20over%20de%20overdracht%20en%20kinetiek%20van%20PFOS%20in%20lam%20C%20schaap%20en%20rund.pdf>

GGD Zeeland. (2025). *Veelgestelde vragen PFAS en (bevolkings)onderzoek*. Retrieved 12 May 2025 from
<https://www.ggdzeeland.nl/pfas-en-gezondheidsadviezen/pfas-en-bevolkingsonderzoek/>

Gluge, J., Scheringer, M., Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C. A., Trier, X., & Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environ Sci Process Impacts*, 22(12), 2345-2373.

<https://doi.org/10.1039/d0em00291g>

Göckener, B., Weber, T., Rüdell, H., Bücking, M., & Kolossa-Gehring, M. (2020). Human biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances in German blood plasma samples from 1982 to 2019. *Environment International*, 145.

<https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041202032078X?via%3Dihub>

Holzer, J., Lilienthal, H., & Schumann, M. (2021). Human Biomonitoring (HBM)-I values for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) - Description, derivation and discussion. *Regul Toxicol Pharmacol*, 121, 104862.

<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104862>

IRAS. (2022). *Memo PFAS concentraties in de Zeeuwse wateren*. U. U. Institute for Risk Assessment Sciences.

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brieven/2022/10/19/bijlage-memo-uu-pfas-zeeland-2022>

Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. (2020). HBM-II-Werte für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) in Blutplasma – Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 63(3), 356-360. <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03101-2>

Oomen, A. G., & Herremans, J. M. M. (2017). *Betekenis resultaten bloedonderzoek PFOA omwonenden DuPont/Chemours*. RIVM Briefrapport 2017-0101.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0101.pdf>.

Plass, D., Beloconi, A., Bessems, J., Buekers, J., Kienzler, S., Martinez, G. S., Purece, A., & Vounatsou, P. (2025). Estimating the environmental burden of disease resulting from exposure to chemicals in European countries - Potentials and challenges revealed in selected case studies. *Environ Res*, 269, 120828.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.120828>

Reardon, A. J., Rowan-Carroll, A., Ferguson, S. S., Leingartner, K., Gagne, R., Kuo, B., Williams, A., Lorusso, L., Bourdon-Lacombe, J. A., & Carrier, R. (2021). Potency ranking of per- and polyfluoroalkyl substances using high-throughput transcriptomic analysis of human liver spheroids. *Toxicological Sciences*, 184(1), 154-169.

RIVM. (2021). *Notitie implementatie van de EFSA som-TWI PFAS*. RIVM. <https://www.rivm.nl/documenten/notitie-implementatie-van-efsa-som-twi-pfas>

Schepens, M., te Biesebeek, J., Hartmann, J., van der Aa, N., Zijlstra, R., & Boon, P. (2023). *Risk assessment of exposure to PFAS through food and drinking water in the Netherlands*. RIVM Rapport 2023-0011. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0011.pdf>

Schumann, M., Lilienthal, H., & Holzer, J. (2021). Human biomonitoring (HBM)-II values for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) - Description, derivation and discussion. *Regul Toxicol Pharmacol*, 121, 104868. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104868>

Umweltbundesamt. (2018). Ableitung von HBM-I-Werten für Perfluoroktansäure (PFOA) und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) – Stellungnahme der Kommission „Humanbiomonitoring“ des Umweltbundesamts. *Bundesgesundheitsbl*, 61, 474–487. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s00103-018-2709-z>

van Duursen, M. B. M. (2025). *Position paper M. van Duursen t.b.v. rondetafelgesprek PFAS d.d. 10 april 2025* (2025D14880). <https://berthub.eu/tkconv/document.html?nummer=2025D14880>

Van Poll, R., Jansen, E., & Janssen, R. (2017). *PFOA-metingen in bloed. Metingen in serum bij omwonenden van DuPont/Chemours te Dordrecht*. RIVM Rapport 2017-0077. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0077.pdf>.

Verberk, J. D. M., Vos, R. A., Mollema, L., van Vliet, J., van Weert, J. W. M., de Melker, H. E., & van der Klis, F. R. M. (2019). Third national biobank for population-based seroprevalence studies in the Netherlands, including the Caribbean Netherlands. *BMC Infect Dis*, 19(1), 470. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4019-y>

Wallis, D. J., Kotlarz, N., Knappe, D. R., Collier, D. N., Lea, C. S., Reif, D., McCord, J., Strynar, M., DeWitt, J. C., & Hoppin, J. A. (2023). Estimation of the half-lives of recently detected per- and polyfluorinated alkyl ethers in an exposed community. *Environmental science & technology*, 57(41), 15348-15355.

Zeilmaker, M., Janssen, P., Versteegh, A., van Pul, A., de Vries, W., Bokkers, B., Wuijts, S., Oomen, A., & Herremans, J. (2016). *Risicoschatting emissie PFOA voor omwonenden : Locatie: DuPont/Chemours, Dordrecht, Nederland*. RIVM Briefrapport 2016-0049. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0049.pdf>.

Zwartsen, A., & Boon, P. E. (2022). *Consumptie van producten verontreinigd met PFAS uit de Westerschelde*. RIVM Briefrapport 2022-0020. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0020.pdf>.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

juni 2025

De zorg voor morgen
begint vandaag