

BIJLAGE 4: BLOOTSTELLINGSMODELLERING HBM PFAS FASE II – ZWIJNDRECHT

Auteurs: K. Touchant, A. Vanderbeke & M. Van Holderbeke

Het doel van de blootstellingsbepaling is om met de beschikbare gegevens in deze HBM-studie de belangrijkste blootstellingsroutes voor een aantal PFAS in kaart te brengen. Deze doelstelling wordt opgesplitst in twee deelaspecten:

- 1) het voorspellen van de **externe orale blootstelling** op basis van de huidige bodem- en stofingestie en de consumptie van lokaal geteelde groenten en eieren, en
- 2) het voorspellen van de **interne blootstelling** (= gehalten in het bloedserum) op basis van de externe orale blootstelling (punt 1) om zo een vergelijking met de humane biomonitoring resultaten mogelijk te maken voor 2 PFAS, nl. PFOS en PFOA.

Om beide onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden werden verschillende benaderingen uitgewerkt die de blootstelling vanuit een verschillend perspectief belichten en bijdragen tot het globale beeld dat we kunnen vormen van de blootstelling. De focus voor alle analyses ligt in deze HBM-studie op de **orale blootstellingsroute** omdat deze route algemeen wordt aangenomen als dominante route voor de blootstelling aan de meeste PFAS (Poothong *et al.*, 2020; ATSDR, 2021; Colles *et al.*, 2022).

Volgens 3M (ERM, 2022) is de uitstoot van PFOS begin jaren 2000 (~ 20 jaar geleden) gestopt. Dit valt samen met de restrictie voor PFOS in de POP-verordening¹. De uitfasering van PFOA vond vanaf 2005 plaats en de productie ervan werd in 2007 volledig beëindigd. Over de uitstoot vóór de stopzetting (i.e. vóór 2000) is weinig tot niets gekend met betrekking tot de samenstelling en aanwezige PFAS concentraties, waardoor het onmogelijk is om dit mee te nemen in een modellering. Met betrekking tot de uitfasering dient opgemerkt te worden dat de geproduceerde producten (zoals o.a. blusschuim) nog meerdere jaren na het stopzetten van de productie ervan toegepast werden omwille van nog aanwezige voorraden. Ter hoogte van 3M werd/wordt blusschuim getest en dit in open lucht. Ook deze activiteit heeft een impact (gehad) op de omgeving ten gevolge van verspreiding van PFAS via de lucht, maar ook hierover is te weinig gekend om dit mee te nemen in de modellering.

Omdat er te weinig concrete informatie is over de uitstoot van PFAS door 3M vóór en na 2000 en er nog te weinig kennis is met betrekking tot de afbraak van andere PFAS (precursoren) tot PFOS en PFOA in zowel milieucompartimenten als in serum, kan de impact van het verleden niet meegenomen worden in de modellering.

De focus in deze HBM studie ligt echter op de adolescenten (geboortejaren 2006-2009) en het voorspellen van hun externe en interne blootstelling (serumgehalten). Daar de uitstoot met PFOS enkele jaren voor hun geboorte gestopt is, zou er in hun 1^e 15 jaar in principe geen 'extra' blootstelling ten gevolge van de uitstoot van PFOS via de lucht in het verleden geweest mogen zijn.

¹ Verordening (EU) 2019/1021 van het Europees Parlement en de Raad van 20 juni 2019 betreffende persistente organische verontreinigende stoffen (herschikking) - zie <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1021&from=ES>

Ook de uitstoot van PFOA zou rond hun geboorte gestopt zijn. Voor het bepalen van de externe orale blootstelling van de adolescenten in deze studie wordt voor de belasting in het verleden (voorbij 15 jaar) verondersteld dat deze niet gewijzigd is en gelijk is aan de huidige belasting of m.a.w. gerelateerd is aan de huidige concentraties die in het kader van deze studie werden vastgesteld in de verschillende milieucompartmenten (bodem, groenten, eieren en huisstof).

De **inhalatoire** blootstelling (i.e. via inhalatie van lucht) kan in S-Risk op 2 wijzen meegenomen worden, nl. via een voorspelling van concentraties in binnen- en buitenlucht op basis van fysicochemische stoffeigenschappen en ingevoerde bodem- en grondwaterconcentraties², maar ook aan de hand van meetwaarden in lucht. Bij de opzet van de HBM-studie werd echter beslist om wel huisstofmetingen te voorzien, maar geen luchtmetingen (noch in binnenlucht, noch in buitenlucht). Daar S-Risk enkel geparametriseerd is voor PFOS en PFOA, kunnen enkel voor deze 2 (niet vluchtige) PFAS blootstellingsdosissen voor inhalatie berekend worden a.d.h.v. fysicochemische stoffeigenschappen en de huidige bodemconcentraties. Deze blootstelling ligt veel lager ten opzichte van de blootstelling via de orale route (ongeveer een factor 100 lager).

Er wordt ook geen rekening gehouden met het gebruik van PFAS-houdende sprays en andere producten die een impact kunnen hebben op de luchtkwaliteit. Momenteel is rond dit laatste nog weinig gekend, maar dit is een aspect dat onderzocht wordt in het PARC-project³. Van zodra er nieuwe inzichten zijn en de externe blootstelling via deze weg beter kan ingeschat worden, kan dit ook meegenomen worden bij het modelleren van de interne blootstelling in de toekomst.

In 2021 heeft VITO in samenwerking met de VMM in de directe omgeving van de Lantis werf en de opslag van de met PFOS vervuilde grond en binnen een perimeter van 3 km rondom de 3M site een onderzoek opgestart voor de monitoring van PFAS in de omgevingslucht. De eerste vaststellingen bevestigen dat er hogere concentraties PFAS worden gemeten in het verwaaiend stof in de directe omgeving van de Lantis werf en de opslag van de PFOS vervuilde grond stof ten opzichte van de concentraties op een achtergrondlocatie. Op basis van deze eerste vaststellingen is er een dalende concentratiegradiënt in functie van afstand tot de werf waar te nemen. Momenteel is er geen wetenschappelijk onderbouwd gezondheidskundig toetsingskader voor PFAS concentraties in lucht voorhanden. In afwachting daarvan, kan een tijdelijk toetsingskader voor 4 PFAS verbindingen (0,4 – 2,2 ng/m³ (som van PFOS, PFNA, PFHxS PFOA; jaargemiddelde waarde) gehanteerd worden. Men dient hierbij wel de nodige onzekerheden (m.b.t. allocatiefactor lucht, route-to-route extrapolatie vanuit een toetsingskader voor orale blootstelling) in acht nemen. Gemiddeld over de beschouwde meetperiode, liggen de meetresultaten voor de 4 PFAS verbindingen beneden deze tijdelijke toetsingswaarde. De twee meetlocaties in Zwijndrecht (ZD08 en ZD01) bevinden zich in bewoonde zone; ZD08 op 300 m ten Z-ZW en ZD01 op 1,7 km ten Z-ZW van de Oosterweelwerf. De gemiddelde meetwaarde in buitenlucht in ZD01 bedraagt 0,013 ng/m³ (1,3.E-8 mg/m³) voor PFOS, 0,002 ng/m³ (2.E-8 mg/m³) voor PFOA, 0,001 ng/m³ voor PFHxS en 0,001 voor PFNA (\sum EFSA 4 = 0,015 – 0,017; ondergrens – bovengrens; zie tabel 8 in Berghmans *et al.* (2021)). De meetwaarde voor Dessel (achtergrondlocatie) bedraagt voor de individuele EFSA PFAS 0,000 ng/m³ en de \sum EFSA 4 = 0,002 ng/m³.

Het S-Risk model voorspelt op basis van de gemiddelde bodemconcentratie voor Zwijndrecht (> 1,5 - 3 km) voor PFOS een buitenluchtconcentratie van 4,898.E-11 mg/m³ (hoogte adolescent/volwassene) en houdt rekening met een achtergrondconcentratie in lucht van 1,4.E-9 mg/m³. Voor PFOA is de voorspelde concentratie in buitenlucht 3,876.E-12 mg/m³ (hoogte adolescent/volwassene) en wordt er rekening gehouden met een achtergrondconcentratie in lucht van 8,9.E-9 mg/m³.

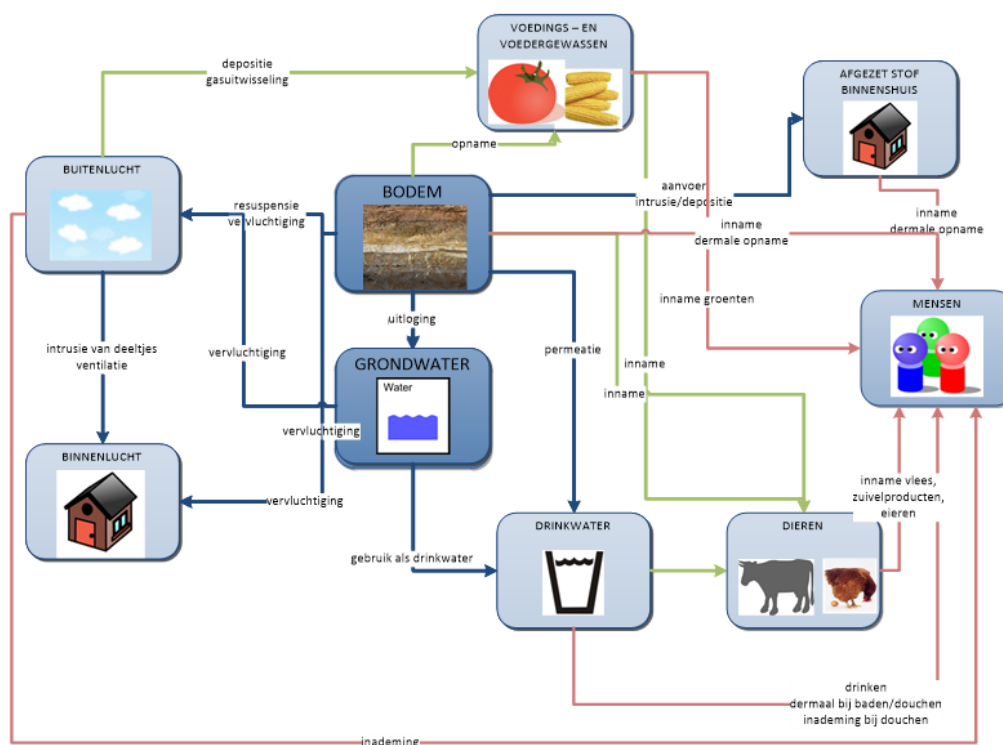
² Deze voorspelde dosissen worden opgeteld bij een 'achtergrondblootstelling' via lucht, voor zover deze beschikbaar is. In deze studie waren enkel gegevens voor PFOS en PFOA beschikbaar.

³ <https://www.eu-parc.eu/>

De meetwaarden in Zwijndrecht (> 1,5 km) zijn zowel voor PFOS als PFOA hoger dan de voorspelde buitenluchtconcentraties op basis van de bodemconcentraties (minimaal een factor 1000 verschillend). Uit een extra blootstellingsberekening waarbij rekening werd gehouden met deze concentraties in buitenlucht, bleek dit nauwelijks impact te hebben op de route via inhalatie (RI heeft dezelfde grootteorde). Voor Kallo, Burcht, Antwerpen en Melsele is er geen informatie over de omgevingslucht.

Naast de orale en inhalatoire blootstelling is er nog de **dermale** blootstelling. In S-Risk betreft dit de dermale blootstelling via contact met bodem- en stofdeeltjes en via leidingwater (baden/douchen). Ook deze blootstelling ligt veel lager ten opzichte van de blootstelling via de orale route (ongeveer een factor 10^6 lager). Naast deze dermale blootstelling is er ook nog de bijdrage via het gebruik van PFAS-houdende cosmetica en dergelijke. Ook dit aspect wordt nader onderzocht in het PARC-project. Van zodra er nieuwe inzichten zijn en de externe blootstelling via deze weg beter kan ingeschat worden, kan ook dit aspect meegenomen worden bij het modelleren van de interne blootstelling in de toekomst.

Het doel van de externe blootstellingsberekeningen in deze HBM-studie is om na te gaan in welke mate de huidige PFAS-belasting van de bodem en de verschillende lokale blootstellingsroutes die daaraan gekoppeld zijn bijdragen aan de externe **orale** blootstelling en dit voor een aantal PFAS. Deze berekeningen kunnen uitgevoerd worden met S-Risk. S-Risk (<https://www.s-risk.be/>; Figuur 1) is het Vlaamse state-of-the-art model voor het inschatten van blootstelling en humane risico's ter hoogte van verontreinigde sites. Het model is gestoffeerd voor een reeks chemische stoffen, waaronder 2 PFAS verbindingen, nl. PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal}. In het S-Risk model wordt de achtergrondblootstelling via voeding aangekocht in winkels standaard meegenomen. Daarnaast werd ook deels rekening gehouden met de impact van binnenhuisbronnen via de analyse van huisstof. Huisstof geeft zowel de bijdrage vanuit de buitenomgeving weer als deze van binnenhuis.



Figuur 1 – Overzicht van de verschillende blootstellingsbronnen en -routes in S-Risk.

Onder de lokale orale blootstelling worden volgende ingestieroutes meegenomen in S-Risk: ingestie van bodem- en stofdeeltjes, ingestie van lokaal geteelde groenten, ingestie van lokaal geteelde dierlijke producten en ingestie van leidingwater. Op basis van de kennis bij de start van de HBM-studie werd beslist om de milieucompartimenten bodem, huisstof, groenten en eieren te analyseren. Leidingwater werd niet geanalyseerd aangezien de impact van permeatie door drinkwaterleidingen op basis van de gekende verontreinigingssituatie te Zwijndrecht zeer klein is. Aangezien tijdens het veldwerk bleek dat het aantal groentetypes - die door de deelnemers met moestuin geteeld werden – eerder beperkt was, werden ook noten en fruit bemonsterd en geanalyseerd. Deze resultaten worden in S-Risk niet standaard meegenomen. Het S-Risk model werd hiervoor niet aangepast. Er wordt ook vanuit gegaan dat de meeste mensen geen dieren houden voor consumptie van melk en vlees.

Enkele beperkingen gerelateerd aan het bepalen van de externe blootstelling met S-Risk in deze studie zijn:

- S-Risk houdt geen rekening met concentraties in fruit en noten.
- S-Risk houdt enkel rekening met de consumptie van eieren van eigen kweek in het scenario's 'kippenren' en 'moestuin en kippenren'. Er wordt vanuit gegaan dat er geen vlees of melk geconsumeerd wordt van eigen kweek. Inname via lokaal geproduceerd vlees en melk wordt nooit meegenomen in de scenario's voor residentieel wonen. Dit wordt enkel meegenomen in het agrarisch scenario. Vermits het hier gaat om adviezen voor de algemene bevolking (waarbij consumptie van eigen gekweekt vlees en melk zeer weinig courant is) worden in deze scenario's consumptie van melk en vlees buiten beschouwing gelaten.
- S-Risk houdt geen rekening met een eventuele verhogingen in leidingwater afkomstig van de drinkwaterleverancier. Leidingwater (aan de kraan) werd niet geanalyseerd. Uit de resultaten van de VVM studie (VMM (2022)) ter beschikking gekomen tijdens de uitvoering van deze HBM-studie blijkt echter dat de concentraties in leidingwater hoger kunnen zijn dan deze die werden meegenomen in de S-Risk berekeningen. De impact op de blootstelling werd aangetoond in § **Error! Reference source not found.** (Vergelijking met PFAS@home).

In deze HBM-studie werden naast PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} een reeks andere PFAS geanalyseerd. Hoewel in S-Risk momenteel enkel PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} opgenomen zijn - bij gebrek aan data voor onder andere transfer van bodem naar dierlijke en/of plantaardige producten - kan S-Risk in het kader van deze studie wel gehanteerd worden voor de blootstellingsberekeningen van andere PFAS. De reden hiervoor is dat er geen concentraties 'voorspeld' moeten worden in dierlijke en/of plantaardige producten aan de hand van biotransfer- of bioconcentratiefactoren, maar dat er gerekend/gemodelleerd kan worden met meetwaarden voor PFAS in groenten en eieren.

Er werd beslist om de blootstellingsberekeningen niet alleen voor PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} uit te voeren, maar ook voor de 2 overige EFSA PFAS (EFSA, 2020), zijnde PFNA en PFHxS_{totaal}, en voor PFBA en PFDA. Deze keuze werd gemaakt op basis van de resultaten van de statistische analyse m.b.t. determinanten van PFAS in serum die uitgevoerd werd in deze studie (§ 4.6 in het hoofddocument). Bovendien zijn dit ook in serum de 6 meest voorkomende PFAS (§ 4.2.1 in het hoofddocument). Voor PFBA resulteerde de analyse in een lagere serumgehalten bij het eten van kippeneieren, wat verschillend is van andere PFAS en een associatie tussen hogere PFBA-serumgehalten en het eten van groenten uit eigen tuin. Hogere PFDA-serumgehalten zijn geassocieerd met eten van eieren van eigen kippen, maar ook met eten van eieren in het algemeen, PFNA in serum geeft de meeste associaties met commerciële voeding: eieren, vis, groenten en graanproducten, maar ook met eieren van eigen kippen.

Om voor deze 4 bijkomende PFAS blootstellingsberekeningen te kunnen uitvoeren – naar analogie met PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} – dienen gegevens voor achtergrondblootstelling via voeding in S-Risk ingevoerd te worden (zie § 1). In het kader van deze HBM-studie is de toetsing aan de orale gezondheidkundige grenswaarde (GGW) niet essentieel en bijgevolg werden de GGW voor PFBA en PFDA niet opgezocht. Er wordt op gewezen dat in de blootstellingsberekeningen voor PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} rekening wordt gehouden met de berekeningswijze voor de geactualiseerde toetsingswaarden voor bodem die gebaseerd zijn op de EFSA 2020 (EFSA, 2020) gezondheidkundige grenswaarden en achtergrondblootstelling en die reeds een 1^e maal principieel goedgekeurd werden door de Vlaamse regering op 16/12/2022 (zie § 1).

In het kader van de blootstellingsberekeningen werden in eerste instantie 6 woonzones afgebakend (Figuur 3; § 0):

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Kallo | ten NW van 3M |
| 2. Melsele | ten ZW van 3M |
| 3. Zwijndrecht (< 1,5 km) | 0 - < 1,5 km ten Z van 3M |
| 4. Zwijndrecht | 1,5 – 3 km ten Z van 3M |
| 5. Burcht | ten Z van E17 |
| 6. Antwerpen | ten O van 3M |

Op basis van de meetwaarden binnen deze woonzones wordt in eerste instantie nagegaan of er zones voorkomen met gelijkaardige belasting ondanks een verschil in oriëntatie en afstand t.o.v. 3M (zie § 0). Vervolgens wordt in dit hoofdstuk voor de verschillende milieucompartimenten (bodem, huisstof, groenten en eieren) een overzicht gemaakt van de data die per zone beschikbaar zijn en worden eveneens de data geselecteerd voor de blootstellingsberekeningen met S-Risk.

Voor de verschillende woonzones worden telkens volgende 4 blootstellingsscenario's doorgerekend vertrekkende van het standaard scenario 'wonen met moestuin' in S-Risk:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Siertuin | Wonen zonder moestuin en zonder kippenren |
| 2. Moestuin | Wonen met moestuin en zonder kippenren |
| 3. Kippenren | Wonen zonder moestuin en met kippenren |
| 4. Moestuin en kippenren | Wonen met moestuin én kippenren |

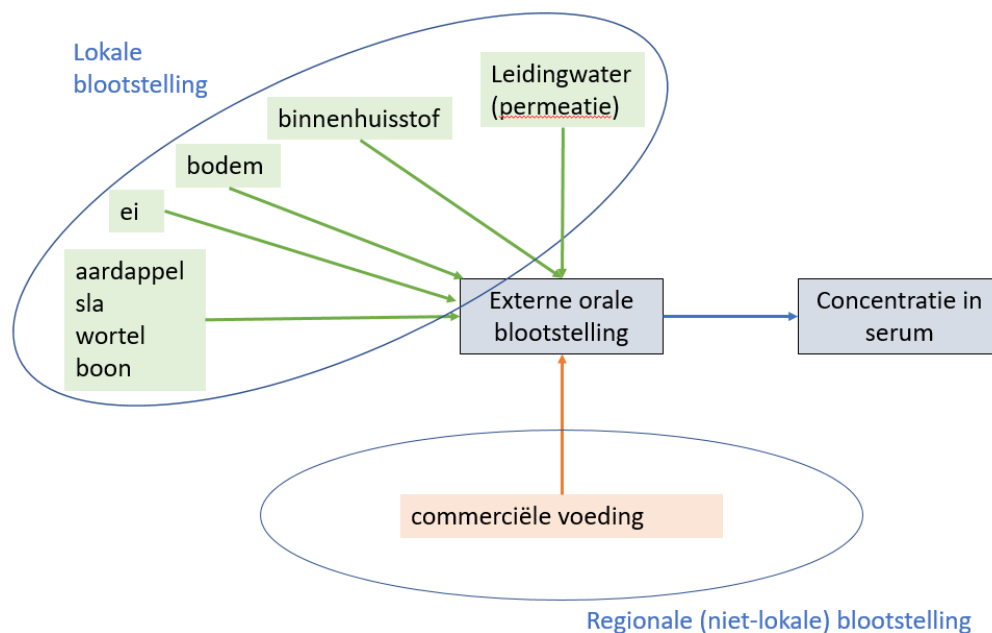
Deze 4 scenario's worden toegelicht in § 3. Voor de scenario's waarbij de consumptie van eieren een rol speelt (i.e. scenario's 3 en 4) worden telkens 2 berekeningen uitgevoerd, waarbij het aantal eieren dat de adolescenten (10 - 15 jaar) consumeren verschillend is, nl.:

- beperkt tot 2 eieren van eigen kweek per week naar analogie met het advies betreffende dioxines⁴;
- alle eieren (4 per week; zie § 3.1) zijn afkomstig van eigen kweek.

Vervolgens werden voor de verschillende geselecteerde zones de externe blootstellingsberekeningen uitgevoerd (§ 4). De aanpak van deze S-Risk berekeningen en de resultaten (bijdrage van de verschillende blootstellingsroutes aan de blootstellingdosis) worden gerapporteerd per zone en per scenario (visuele weergave) en dit op basis van de blootstellingsberekeningen voor adolescenten (10-15 jarigen) in S-Risk. Vervolgens worden deze besproken.

⁴ <https://www.gezondleven.be/themas/gezondheid-en-milieu/gezond-buiten/dioxines>

In een volgende stap werd met behulp van het Merlin-Expo model de interne blootstelling begroot. Dit is enkel mogelijk voor PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal}, daar er onvoldoende data met betrekking tot de fysiologische en farmacokinetische parameters zijn om deze berekeningen uit te voeren voor andere PFAS. De met het S-Risk model berekende (voorspelde) waarden voor PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} in serum voor adolescenten worden vervolgens gevalideerd met de meetwaarden uit deze studie. Dit wordt visueel voorgesteld in figuur 2 en uitgewerkt in § 5. De berekeningen met Merlin starten vanaf een leeftijd van 1 jaar. De blootstelling tijdens borstvoeding wordt dus niet meegenomen. Hierover is momenteel onvoldoende informatie beschikbaar om dit wel te kunnen meenemen in de modellering.



Figuur 2 – Overzicht van de verschillende orale blootstellingsroutes. De lokale en niet-lokale blootstelling worden samen in rekening gebracht in S-Risk om de externe orale blootstellingsdosis te berekenen, waarna die blootstellingsdosis in Merlin-Expo gebruikt wordt om de concentratie in serum (interne blootstelling) te voorspellen.

In hoofdstuk 6 worden de PFAS@home resultaten doorgerekend volgens de methodologie toegepast in deze studie. Op deze wijze kan een niet-hotspot gebied vergeleken worden met de gebieden gelegen nabij een hotspot – in dit geval 3M te Zwijndrecht.

In hoofdstuk 7 worden de belangrijkste beleidsadviezen betreffende de externe en interne blootstelling samengevat.

1 OVERZICHT RELEVANTE GEGEVENS S-RISK

In de externe blootstellingsberekeningen wordt voor PFOS en PFOA⁵ rekening gehouden met de berekeningswijze voor de geactualiseerde toetsingswaarden die gebaseerd zijn op de EFSA 2020 (EFSA, 2020) gezondheidkundige grenswaarden (GGW) zoals opgenomen in het aangepast normenkader dat op 6 oktober 2022 door VITO werd voorgesteld aan de Vlaamse Regering voor bodemsanering en grondverzet (Touchant *et al.*, 2022) en reeds een 1^e maal principieel goedgekeurd werd door de Vlaamse regering op 16/12/2022, nl.:

- het risico wordt getoetst aan de EFSA 2020 TWI die volledig wordt toegewezen aan PFOS_{totaal} of PFOA_{totaal} (de gezondheidkundige toetsingswaarden gebaseerd op EPA 2016 werd vervangen door deze gebaseerd op EFSA 2020; Tabel 1);
- de achtergrondblootstelling via voeding wordt overgenomen van EFSA 2020 (Tabel 2 en Tabel 3);
- de toetsing gebeurt voor volwassenen *.
- *Hoewel de EFSA 2020 GGW in principe enkel toegepast wordt op volwassenen, werd deze bij de bespreking van de externe blootstelling van de 4 EFSA PFAS in § 4.6.1 toch gehanteerd om een eerste indruk te krijgen van de ernst van de dosissen voor adolescenten.*

Om voor de 4 PFAS – PFNA, PFHxS_{totaal}, PFBA en PFDA – blootstellingsberekeningen te kunnen uitvoeren – naar analogie met PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} – dienen gegevens voor achtergrondblootstelling via voeding in S-Risk ingevoerd te worden. De relevante data betreffende achtergrondblootstelling via voeding voor PFNA, PFHxS_{totaal}, PFBA en PFDA werden overgenomen uit Annex A tabel A5 in EFSA (2020) en worden weergegeven in

Tabel 4⁶. Deze data zijn de door EFSA berekende gemiddelde Lower Bound⁷ data voor chronische blootstelling van de Belgische bevolking. De data voor de achtergrondconcentraties in groenten en eieren worden weergegeven in **Error! Reference source not found.**, deze zijn overgenomen uit Tabel A4 in Annex A (EFSA, 2020) en betreffen gemiddelde Lower Bound waarden gepubliceerd door EFSA voor de levensmiddelgroepen ‘Vegetables and vegetable products (including fungi)’, ‘Starchy roots and tubers’ en ‘Eggs and egg products’. Gedetailleerde data per groentesoort werden niet gepubliceerd door EFSA (2020). Aangezien er geen ‘voorspellingen’ voor concentraties in plantaardige en/of dierlijke producten dienen te gebeuren m.b.v. S-Risk en er geen toetsing aan een GGW (gezondheidkundige grenswaarde; bv. TDI) noodzakelijk is, wordt voor de aanmaak van deze 4 PFAS vertrokken van de stof ‘perfluorooctaansulfonzuur’ in S-Risk, waarbij de achtergrondblootstelling en achtergrondconcentraties via voeding werden aangepast. De achtergrondconcentraties voor buiten- en binnenlucht voor PFHxS, PFNA, PFBA en PFDA zijn niet gekend en werden dan ook niet ingevoerd bij achtergrondconcentraties in het tabblad ‘blootstelling’.

Tabel 1 – Overzicht Toelaatbare Dagelijkse Inname (TDI) oraal en dermaal en Toelaatbare Concentratie Lucht (TCA) – EPA 2016 en EFSA 2020 (kg lg = kilogram lichaamsgewicht)

	TDI oraal mg/kg lg.d	TDI dermaal mg/kg lg.d	TCA mg/m ³
EPA 2016	2,00E-05	2,00E-05	7,00E-05
EFSA 2020	6,30E-07	6,30E-07	2,21E-06

⁵ Deze zitten sinds 3/04/2022 in S-Risk als PFOS EFSA 2020 en PFOA EFSA 2020.

⁶ EFSA maakt in de tabellen geen duidelijk onderscheid tussen lineair, vertakt en totaal. Voor de modellering werd verondersteld dat de data overeenkomen met ‘totaal’

⁷ Lower Bound = data onder de kwantificatie- of detectielimiet worden gelijkgesteld aan nul.

Tabel 2 - Vervangen oude (EFSA 2012) achtergrondblootstelling (AB) in voeding door EFSA 2020

AB (mg/kg lg.d) Leeftijd	PFOS _{totaal}		PFOA _{totaal}	
	EFSA 2012	EFSA 2020	EFSA 2012	EFSA 2020
> 1-3	1,20E-06	7,00E-07	2,20E-07	2,60E-07
> 3-6	1,20E-06	8,10E-07	1,98E-07	2,40E-07
> 6-10	1,08E-06	8,10E-07	1,62E-07	2,40E-07
> 10-15	5,13E-07	3,30E-07	1,08E-07	1,30E-07
> 15-21	5,26E-07	3,30E-07	9,24E-08	1,30E-07
> 21-31	6,34E-07	4,50E-07	9,80E-08	1,60E-07
> 31-41	8,75E-07	4,50E-07	1,11E-07	1,60E-07
> 41-51	8,75E-07	4,50E-07	1,11E-07	1,60E-07
> 51-61	8,75E-07	4,50E-07	1,11E-07	1,60E-07
> 61	8,75E-07	4,90E-07	1,11E-07	1,60E-07

Tabel 3 - Vervangen oude (EFSA 2012) achtergrondconcentraties (AC) in voeding door EFSA 2020 (mg/kg vg = kilogram vers gewicht)

AC (mg/kg vg)	PFOS _{totaal}		PFOA _{totaal}	
	EFSA 2012	EFSA 2020	EFSA 2012	EFSA 2020
Aardappel	3,600E-06	3,740E-06	9,000E-07	4,190E-06
Wortelgewassen	9,500E-06	3,081E-06	3,400E-06	6,365E-06
Bolgroenten (ui, ...)	2,200E-06	3,081E-06	2,200E-06	6,365E-06
Vruchtgroenten	2,100E-06	3,081E-06	4,500E-06	6,365E-06
Kool	1,200E-06	3,081E-06	1,900E-06	6,365E-06
Bladgroenten	6,000E-07	3,081E-06	6,200E-06	6,365E-06
Peulvruchten	0,000E+00	3,081E-06	2,500E-05	6,365E-06
Rundvlees	8,600E-06	2,842E-05	6,100E-06	2,826E-05
Orgaanvlees	4,200E-04	8,665E-04	3,400E-05	9,162E-05
Melk	9,000E-07	7,670E-07	0,000E+00	0,000E+00
Boter	8,200E-04	3,773E-06	1,700E-06	2,339E-06
Eieren	3,700E-05	2,674E-04	8,800E-05	1,064E-04

Tabel 4 - Achtergrondblootstelling (AB) in voeding voor PFHxS_{totaal}, PFNA, PFBA en PFDA door EFSA 2020

AB (mg/kg lg.d) Leeftijd	PFHxS _{totaal}	PFNA	PFBA	PFDA
	> 1-3	1,85E-07	3,64E-07	1,58E-06
> 3-6	1,56E-07	1,93E-07	1,16E-06	2,16E-07
> 6-10	1,56E-07	1,93E-07	1,16E-06	2,16E-07
> 10-15	5,81E-08	3,25E-08	3,97E-07	4,19E-08
> 15-21	5,81E-08	3,25E-08	3,97E-07	4,19E-08
> 21-31	7,64E-8	3,25E-08	3,50E-07	5,25E-08
> 31-41	7,64E-8	3,25E-08	3,50E-07	5,25E-08
> 41-51	7,64E-8	3,25E-08	3,50E-07	5,25E-08
> 51-61	7,64E-8	3,25E-08	3,50E-07	5,25E-08
> 61	8,39E-8	4,23E-08	4,58E-07	5,29E-08

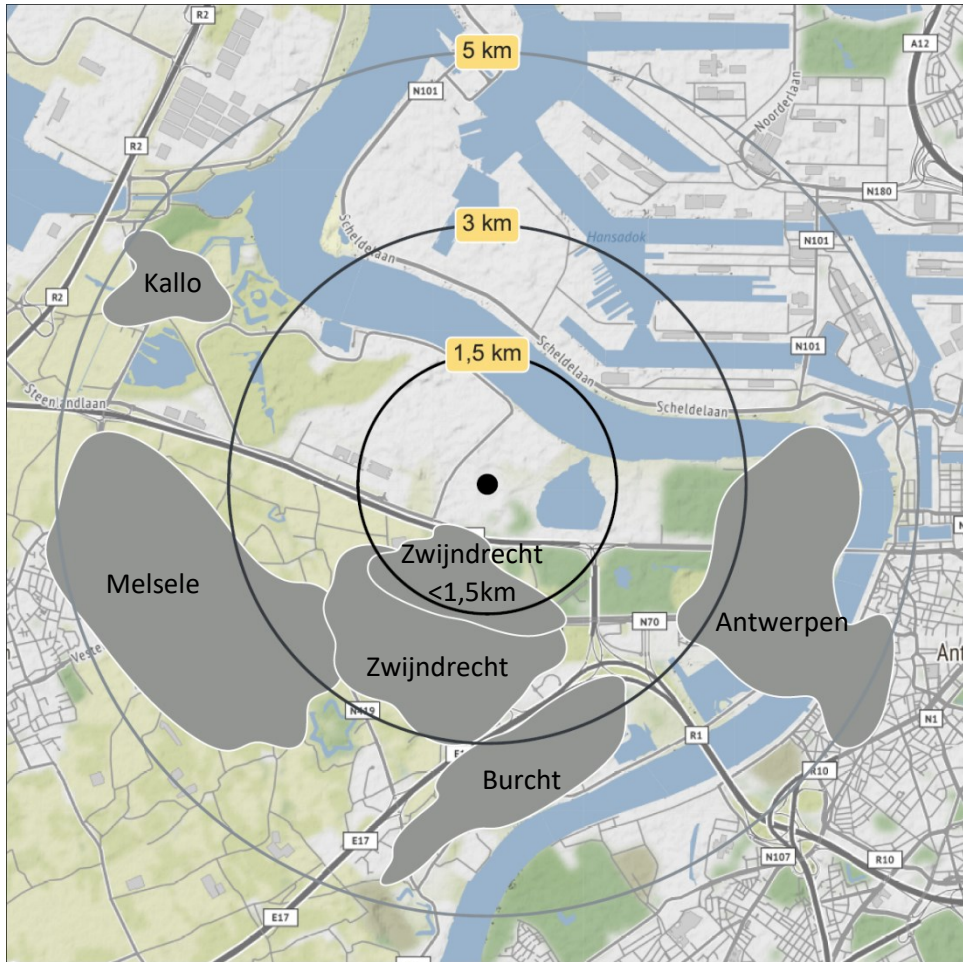
Tabel 5 Achtergrondconcentraties (AC) in voeding voor PFHxS_{totaal}, PFNA, PFBA en PFDA door EFSA 2020

AC (mg/kg vg)	PFHxS _{totaal}	PFNA	PFBA	PFDA
Aardappel	0,000E+00	1,751E-10	2,529E-07	1,902E-08
Wortelgewassen	9,779E-11	4,756E-10	0,000E+00	5,318E-10
Bolgroenten (ui, ...)	9,779E-11	4,756E-10	0,000E+00	5,318E-10
Vruchtgroenten	9,779E-11	4,756E-10	0,000E+00	5,318E-10
Kool	9,779E-11	4,756E-10	0,000E+00	5,318E-10
Bladgroenten	9,779E-11	4,756E-10	0,000E+00	5,318E-10
Peulvruchten	9,779E-11	4,756E-10	0,000E+00	5,318E-10
Eieren	1,385E-10	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00

2 SELECTIE ZONES VOOR BLOOTSTELLINGSBEREKENINGEN EN SELECTIE INVOERDATA

In het kader van de blootstellingsberekeningen werden in eerste instantie 6 woonzones afgebakend (Figuur 3):

1. Kallo ten NW van 3M
2. Melsele ten ZW van 3M
3. Zwijndrecht (< 1,5 km) 0 - < 1,5 km ten Z van 3M
4. Zwijndrecht 1,5 – 3 km ten Z van 3M
5. Burcht ten Z van E17
6. Antwerpen ten O van 3M



Figuur 3 – Overzicht 6 woonzones omgeving 3M

Op basis van de meetwaarden voor bodem, groenten, eieren en huisstof binnen deze 6 zones wordt in eerste instantie nagegaan of er zones voorkomen met gelijkaardige belasting ondanks een verschil in oriëntatie en afstand t.o.v. 3M. Dit was niet het geval.

In Tabel 8 tot en met Tabel 11 wordt een overzicht gegeven van de data die per woonzone beschikbaar zijn en dit per medium (bodem, huisstof, groenten en eieren).

Opgelet: Omwille van GDPR-regels mag de P25 – P50 – P75 enkel gerapporteerd worden wanneer het aantal meetwaarden ligt tussen 12 en 30 en enkel de P50 wanneer het aantal meetwaarden ligt tussen 6 en 12. Bij een kleiner aantal meetwaarden mag enkel de gemiddelde waarde gerapporteerd worden. Bij $n = 1$ wordt er geen gemiddelde waarde weergegeven in de tabellen, maar een ''.*

Voor de PFAS waarvoor naast de lineaire vorm ook vertakte vormen voorkomen, werd steeds het 'totaal' gehanteerd (i.e. lineair + vertakt). Dit is het geval voor PFOS_{totaal}, PFOA_{totaal} en PFHxS_{totaal}. Bij de overige PFAS komen enkel de lineaire vormen voor.

Er wordt voorgesteld om voor de blootstellingsberekeningen met S-Risk voor alle milieucompartimenten steeds de **gemiddelde waarden** te hanteren (i.e. grijze markering in de tabellen).

Uit de analyse van de milieudata blijkt dat er voor de zone 'Zwijndrecht (< 1,5 km)' in het kader van de HBM-studie onvoldoende representatieve bodem-, ei- of groentestalen werden genomen. De deelnemers lagen onvoldoende verspreid over deze woonzone.

Alvorens gelijkaardige blootstellingsberekeningen kunnen uitgevoerd worden voor deze woonzone dienen data m.b.t. meetwaarden voor bodem, ei en groenten uit andere lopende studies verzameld te worden zoals o.a. uit het beschrijvend bodemonderzoek van 3M uitgevoerd door de erkende bodemsaneringsdeskundige ERM, studies uitgevoerd door de Universiteit van Antwerpen, ... Dit is niet voorzien in deze studie. Voor deze woonzone 'Zwijndrecht (< 1,5 km)' werden in het kader van deze studie dus geen blootstellingsberekeningen uitgevoerd. Hierdoor valt er toch één woonzone weg in de modellering.

Voor de zones Kallo, Burcht en Antwerpen bleken er onvoldoende metingen te zijn voor groenten om een betrouwbaar scenario 'wonen met moestuin' of 'wonen met moestuin én kippenren' door te rekenen. Enkel voor de zones Zwijndrecht en Melsele werden aldus berekeningen uitgevoerd voor moestuin en ook deze zijn gebaseerd op een zeer beperkte dataset waardoor de resultaten met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd dienen te worden. Dit is de reden waarom er in Tabel 11 enkel resultaten voor Melsele en Zwijndrecht worden getoond. Dit wordt toegelicht in § 3.2.

Voor de zone 'Antwerpen' was er maar 1 meting voor eieren beschikbaar (Tabel 10). Dit is onvoldoende om een betrouwbaar scenario 'wonen met kippenren' of 'wonen met moestuin en kippenren' door te rekenen. Ook omwille van GDPR-regels kan dit scenario niet doorgerekend worden.

Voor locaties waar zowel bodemstalen genomen werden in de moestuin als in de kippenren, werd de gemiddelde waarde weerhouden.

Wat betreft huisstof werd vastgesteld dat er geen meetwaarden zijn voor PFBA ter hoogte van Kallo. Er wordt voorgesteld om voor Kallo dan de hoogste gemiddelde waarde van de overige zones te hanteren, i.e. 33,7 µg/kg ds (zie zwarte achtergrond Tabel 9).

Er werden in het kader van deze studie verschillende groenten geanalyseerd. Alle groenten werden toegekend aan één van volgende 8 planttypes (Tabel 6): Aardappel (Aa), Bladgewassen (Blad), Bolgewassen (Bol), Koolgewassen (Kool), Peulgewassen (Peul), Stengelgewassen (Stengel), Vruchtgewassen (Vrucht) en Wortelgewassen (Wortel).

Tabel 6 – Overzicht groenten toegekend per planttype

Planttype	Groenten
1. Aardappel	aardappel
2. Wortel- en knolgewassen	wortel, schorseneer, pastinaak, radijs, knolselder, ...
3. Bolgewassen	ui, prei
4. Vruchtgroenten	tomaat, komkommer, paprika, ...
5. Kolen	rode/witte kool, bloemkool, broccoli, spruiten, ...
6. Bladgroenten	sla, veldsla, andijvie, spinazie, witloof, ...
7. Stengelgroenten	selder, rabarber, ...
8. Peulgroenten	boontjes, erwten,...

Uit de analyse van de data blijkt dat er niet voor elke zone voor alle 8 planttypes data beschikbaar zijn (Tabel 7). Enkel voor de zone 'Melsele' zijn er voor alle planttypes meetwaarden. Hoe wordt omgegaan met ontbrekende meetwaarden voor planttypes in het kader van de blootstellingsberekeningen wordt toegelicht in § 3.2.

Tabel 7 – Overzicht beschikbare analysesresultaten (x) per planttype per zone

	Aa	Blad	Bol	Kool	Peul	Stengel	Vrucht	Wortel
Kallo		x				x	x	x
Melsele	x	x	x	x	x	x	x	x
Zwijndrecht	x	x	x		x	x	x	x
Burcht					x	x	x	
Antwerpen		x				x	x	

Tabel 8 – Meetwaarden bodem ($\mu\text{g}/\text{kg ds}$) ($\text{kg ds} = \text{kilogram droge stof}$)

Parameter	n	Kallo	Melsele	Zwijndrecht	Burcht	Antwerpen
		4	34	26	18	5
PFOS _{totaal}	P25		1,96	2,53	1,48	
	P50		2,45	4,45	2,08	
	P75		3,09	6,20	2,73	
	Gemiddelde	2,51	2,88	4,78	2,07	4,18
PFOA _{totaal}	P25		0,20	0,24	0,20	
	P50		0,24	0,28	0,26	
	P75		0,30	0,41	0,30	
	Gemiddelde	0,56	0,29	0,35	0,35	0,70
PFHxS _{totaal}	P25		0,04	0,05	0,04	
	P50		0,04	0,05	0,05	
	P75		0,05	0,09	0,07	
	Gemiddelde	0,10	0,05	0,07	0,06	0,06
PFNA	P25		0,05	0,07	0,06	
	P50		0,09	0,07	0,08	
	P75		0,10	0,10	0,13	
	Gemiddelde	0,09	0,09	0,08	0,12	0,18
PFBA	P25		0,08	0,25	0,04	
	P50		0,27	0,40	0,21	
	P75		0,44	0,85	0,33	
	Gemiddelde	0,76	0,34	0,68	0,32	0,44
PFDA	P25		0,06	0,07	0,05	
	P50		0,11	0,09	0,11	
	P75		0,14	0,12	0,22	
	Gemiddelde	0,10	0,19	0,12	0,22	0,25

Tabel 9 – Meetwaarden huisstof ($\mu\text{g}/\text{kg ds}$) ($\text{kg ds} = \text{kilogram droge stof}$)

Parameter	n	Kallo	Melsele	Zwijndrecht	Burcht	Antwerpen
		4	35	37	27	13
PFOS _{totaal}	P25		13,5	16,0	7,0	11,0
	P50		21,0	23,0	11,0	16,0
	P75		33,0	52,0	17,0	23,0
	Gemiddelde	20,7	24,8	32,4	14,9	19,2
PFOA _{totaal}	P25		6,9	5,1	7,9	6,7
	P50		12,0	14,0	13,0	8,7
	P75		19,5	29,3	21,0	18,0
	Gemiddelde	7,8	16,4	43,8	15,1	13,8
PFHxS _{totaal}	P25		0,4	0,4	0,2	0,4
	P50		0,8	0,8	0,3	0,6
	P75		1,3	1,5	0,6	1,3
	Gemiddelde	1,1	1,0	1,4	0,5	1,0

Parameter		Kallo	Melsele	Zwijndrecht	Burcht	Antwerpen
	n	4	35	37	27	13
PFNA	P25		1,7	1,5	0,8	1,7
	P50		3,2	4,1	2,0	2,4
	P75		4,7	6,1	3,8	3,6
	Gemiddelde	4,7	3,6	5,8	4,3	2,7
PFBA	P25	-	15,0	2,3	5,4	23,0
	P50	-	28,5	4,7	10,5	26,0
	P75	-	54,0	30,3	14,0	33,5
	Gemiddelde	33,7*	33,7	17,2	10,9	29,0
PFDA	P25		2,6	1,6	1,9	2,5
	P50		4,0	4,7	3,6	4,3
	P75		9,1	10,3	8,4	5,6
	Gemiddelde	5,3	6,1	10,0	6,6	3,8

* Voor huisstof waren er geen meetwaarden voor PFBA ter hoogte van Kallo en werd de hoogste gemiddelde waarde van de overige zones gehanteerd.

Tabel 10 – Meetwaarden eieren ($\mu\text{g/kg}$ vg) (kg vg = kilogram vers gewicht)

Parameter		Kallo	Melsele	Zwijndrecht	Burcht	Antwerpen
	n	2	23	11	9	1
PFOS _{totaal}	P25		2,24			
	P50		3,28	7,29	0,97	
	P75		6,66			
	Gemiddelde	2,39	4,36	7,67	1,89	*
PFOA _{totaal}	P25		0,11			
	P50		0,33	0,45	0,26	
	P75		0,48			
	Gemiddelde	0,66	0,36	0,67	0,33	*
PFHxS _{totaal}	P25		0,24			
	P50		0,24	0,24	0,24	
	P75		0,24			
	Gemiddelde	0,24	0,29	0,31	0,24	*
PFNA	P25		0,11			
	P50		0,19	0,15	0,10	
	P75		0,28			
	Gemiddelde	0,12	0,24	0,16	0,19	*
PFBA	P25		0,06			
	P50		0,06	0,06	0,06	
	P75		0,06			
	Gemiddelde	0,06	0,18	0,57*	0,10	*
PFDA	P25		0,61			
	P50		0,83	0,75	0,70	
	P75		0,96			
	Gemiddelde	0,88	0,83	0,78	0,83	*

* In Zwijndrecht was er duidelijk 1 uitschieter voor PFBA in eieren. Vermoedelijk gaat het over een fout bij de analyse of in het analyserapport. De gemiddelde waarde werd opnieuw berekend zonder deze outlier.

Tabel 11 – Meetwaarden groenten voor 8 planttypes ($\mu\text{g}/\text{kg}$ vg) (kg vg = kilogram vers gewicht)

Parameter		Zwijndrecht							
		Aa	Blad	Bol	Kool*	Peul	Stengel	Vrucht	Wortel
n		3	1	2	0	1	4	6	1
PFOS _{totaal}	Gemiddelde	0,01	*	0,11	0,02	*	0,01	0,01	*
PFOA _{totaal}	Gemiddelde	0,07	*	0,22	0,14	*	0,13	0,12	*
PFHxS _{totaal}	Gemiddelde	0,46	*	6,92	0,46	*	0,46	0,46	*
PFNA	Gemiddelde	0,02	*	0,02	0,02	*	0,02	0,02	*
PFBA	Gemiddelde	0,39	*	0,11	1,35	*	0,11	0,11	*
PFDA	Gemiddelde	0,60	*	0,34	0,84	*	0,49	0,61	*

*: Voor kool (koolgewas) zijn er geen metingen beschikbaar voor Zwijndrecht en daarom werden deze van Melsele gehanteerd.

Parameter		Melsele							
		Aa	Blad	Bol	Kool	Peul	Stengel	Vrucht	Wortel
n		1	5	4	5	4	11	13	4
PFOS _{totaal}	P25							0,01	
	P50						0,01	0,01	
	P75							0,01	
	Gemiddelde	*	0,03	0,06	0,02	0,04	0,06	0,13	0,02
PFOA _{totaal}	P25							0,13	
	P50						0,13	0,20	
	P75							0,27	
	Gemiddelde	*	0,62	0,14	0,14	0,12	0,15	0,19	0,14
PFHxS _{totaal}	P25							0,46	
	P50						0,46	0,46	
	P75							0,46	
	Gemiddelde	*	0,46	1,01	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
PFNA	P25							0,02	
	P50						0,02	0,02	
	P75							0,15	
	Gemiddelde	*	0,02	0,05	0,02	0,05	0,03	0,17	0,02
PFBA	P25							0,11	
	P50						0,11	0,11	
	P75							0,11	
	Gemiddelde	*	0,44	0,11	1,35	2,28	0,22	0,18	0,11
PFDA	P25							0,43	
	P50						0,47	0,66	
	P75							0,70	
	Gemiddelde	*	0,51	0,57	0,84	0,59	0,49	0,55	0,35

3 AANNAMES BEREKENINGEN S-RISK

Voor de verschillende zones worden in S-Risk telkens volgende 4 blootstellingsscenario's doorgerekend vertrekkende van het S-Risk standaard scenario 'wonen met moestuin':

Scenario	Benaming	Betekenis
1	Siertuin	Wonen zonder moestuin en zonder kippenren
2	Moestuin	Wonen met moestuin, maar zonder kippenren
3	Kippenren	Wonen zonder moestuin, maar met kippenren
4	Moestuin en kippenren	Wonen met moestuin én kippenren

	Bodem	Huisstof	Groenten	Eieren
Siertuin	✓	✓		
Moestuin	✓	✓	✓	
Kippenren	✓	✓		✓
Moestuin en kippenren	✓	✓	✓	✓

Daar er steeds vertrokken wordt vanuit het standaard scenario 'wonen met moestuin', dienen naargelang het scenario bepaalde routes uit- of aangevinkt te worden. Er wordt ook meteen aangegeven welke meetwaarden er per scenario wordt meegenomen in de S-Risk berekening:

- Siertuin afvinken 'inname via lokaal geproduceerde groenten'
invoer meetwaarde bodem en huisstof
- Moestuin geen routes aan- of uitvinken
invoer meetwaarde bodem, huisstof en groenten
- Kippenren afvinken 'inname via lokaal geproduceerde groenten'
aanvinken 'inname via lokaal geproduceerde eieren'
invoer concentraties voor bodem, huisstof en ei
- Moestuin en kippenren aanvinken 'inname via lokaal geproduceerde eieren'
invoer concentraties bodem, huisstof, groenten en eieren

Daar voor PFOS _{totaal} reeds gekend is dat de consumptie via lokaal geteelde eieren een enorme impact heeft op de blootstellingsdosis, werd in de risicoberekeningen voor de scenario's waarbij de consumptie van eieren een rol speelt (i.e. scenario's 3 en 4) het aantal eieren dat de adolescenten consumeren beperkt tot **2 eieren per week** naar analogie met het advies betreffende dioxines⁸. In § 3.1 wordt toegelicht hoe dit in S-Risk in rekening wordt gebracht. Naast dit scenario wordt ook het worst case scenario in rekening gebracht, waarbij in rekening wordt gebracht dat alle eieren (4 per week) die men consumeert afkomstig zijn van eigen kweek.

De gegevens die in de verschillende zones verzameld werden voor groenten is eerder beperkt, waardoor het onmogelijk is om voor de verschillende groenten (20-tal) die opgenomen zijn in S-Risk per zone over een meetwaarde te beschikken. Hoe hiermee wordt omgegaan in de risicoberekeningen wordt toegelicht in § 3.2.

⁸ <https://www.gezondleven.be/themas/gezondheid-en-milieu/gezond-buiten/dioxines>

3.1 EIERN

De consumptie van eieren voor de leeftijdsgroep adolescenten (> 10 - 15 jaar) in S-Risk bedraagt 30 g/d (Tabel 12). Dit wil zeggen dat deze leeftijdsgroep ongeveer 210 gram ei/week consumeert. Als een ei ongeveer 50 g weegt, dan komt dit overeen met ongeveer 4 eieren per week. Volwassenen (> 21 jaar) consumeren ~ 40 g ei/d. Dit komt overeen met 280 g ei of ~ 5,5 eieren per week.

Bij het scenario in S-Risk voor 'wonen met moestuin' wordt na aanvinken van de route 'inname via lokaal geteelde eieren' standaard gesteld dat 60% van de eieren afkomstig is van eigen kippen (fractie lokale eieren = 0,6). Dit wil zeggen dat adolescenten (> 10 - 15 jaar) 126 g ei/week of ongeveer **2,5 eieren per week** consumeren van eigen kippen volgens deze standaard aanname en volwassenen 168 g ei/week of ongeveer **3,5 eieren per week**. Dit is meer dan vooropgesteld in het advies voor dioxines, waarin wordt aanbevolen om **slechts 2 eieren van eigen kweek per week** te consumeren. De doorgerekende scenario's waarbij rekening wordt gehouden met de consumptie van eieren van eigen kweek worden in deze studie aangehaald als 'kippenren' (indien geen moestuin aanwezig is) of 'moestuin en kippenren' (indien zowel moestuin als kippenren aanwezig is).

De consumptie van de eieren afkomstig uit de winkel wordt meegenomen via de achtergrondblootstelling via voeding.

Tabel 12 – Consumptie eieren in S-Risk per leeftijdscategorie

Leeftijd (jaar)	Consumptie eieren (g/d)
> 1-3	15
> 3-6	29
> 6-10	30
> 10-15	30
> 15-21	33
> 21-31	41
> 31-41	43
> 41-51	45
> 51-61	47
> 61	44

➤ Consumptie beperken tot ~ 2 eieren van eigen kweek per week

Daar het aantal eieren van eigen kweek in S-Risk bepaald wordt aan de hand van een fractie geldig voor alle leeftijdsgroepen, is het onmogelijk om een berekening uit te voeren waarbij het aantal eieren van eigen teelt voor 'alle' leeftijden gelijk is aan 2 eieren/week.

Indien geoptimaliseerd wordt naar 2 eieren van eigen kweek per week voor de adolescenten, dan zou de fractie eieren van eigen kweek aangepast moeten worden naar 50% ($210 * 50\% = 105$ g ei/week of 2 ei/week), maar dan betekent dit dat volwassenen ~ 3 eieren van eigen kweek per week consumeren ($280 * 50\% = 140$ g ei/week).

Indien geoptimaliseerd wordt naar 2 eieren van eigen kweek per week voor de volwassenen, dan zou de fractie aangepast moeten worden naar 35% ($280 * 35\% = 98$ g ei/week of 2 ei/week), maar dan betekent dit dat adolescenten slechts 1,5 eieren van eigen kweek per week consumeren ($210 * 35\% = 73,5$ g ei/week).

Daar de adolescenten behoren tot de leeftijdsgroep waarop deze studie gericht is, werd voor de weergave voor de externe blootstelling gerekend met **2 eieren van eigen kweek per week** voor de **adolescenten. De fractie eieren van eigen kweek werd dus aangepast naar 50 %.**

Voor de berekeningen van de interne blootstelling met Merlin-Expo is er geopteerd om te optimaliseren naar 2 eieren van eigen kweek per week voor zowel de adolescenten als de volwassenen. Hiervoor werd bij de invoer van de blootstellingsdosissen in Merlin een combinatie gemaakt van de externe blootstellingsberekeningen gebaseerd op 2 ei eigen kweek/ week voor zowel de adolescenten (fractie 50%) als de volwassenen (fractie 35%).

De fractie eieren van eigen kweek kan in S-Risk aangepast worden door in het tabblad 'Blootstelling' bij de fractie lokale dierlijke producten de fractie voor eieren te wijzigen van 0,6 naar 0,35 of 0,50.

➤ **Alle geconsumeerde eieren zijn van eigen kweek**

In dit worst case scenario wordt in rekening gebracht dat alle eieren die geconsumeerd worden afkomstig zijn van eigen kweek.

De fractie eieren van eigen kweek kan in S-Risk aangepast worden door in het tabblad 'Blootstelling' bij de fractie lokale dierlijke producten de fractie voor eieren te wijzigen van 0,6 naar 1.

3.2 GROENTEN

De gegevens die in de verschillende zones verzameld werden voor groenten is eerder beperkt, waardoor het onmogelijk is om voor de verschillende groenten (20-tal) die opgenomen zijn in S-Risk per zone over een meetwaarde te beschikken. De 20 groenten in S-Risk worden als volgt aan de 8 planttypes toegekend:

Planttype	Groenten
Aardappel	aardappel
Wortel- & knolgewassen	wortel, schorseneer en pastinaak, andere wortelgewassen (zoals radijs)
Bolgewassen	bolgewassen (zoals ui), prei
Vruchtgroenten	tomaat, komkommer, andere (zoals paprika)
Kolen	kool, bloemkool & broccoli, spruiten
Bladgroenten	sla, veldsla, andijvie, spinazie, witloof
Stengelgroenten	selder
Peulgroenten	bonen, erwten

Uit de analyse van de data blijkt dat er niet voor elke zone voor alle 8 planttypes data beschikbaar zijn (Tabel 7). Enkel voor de zone Melsele zijn er voor alle planttypes meetwaarden.

De gehanteerde meetwaarden voor S-Risk worden weergegeven in (Tabel 13).

In het S-Risk model wordt voor het scenario 'wonen met moestuin' standaard verondersteld dat ongeveer één derde van de groenten uit eigen tuin komt. De consumptie van groenten afkomstig uit de winkel wordt meegenomen via de achtergrondblootstelling via voeding.

➤ **Hoe omgaan met ontbrekende meetwaarden voor planttypes?**

Het invoeren van '0 µg/kg vg' is niet correct (mogelijke onderschatting) en voor PFHxS_{totaal}, PFNA, PFBA en PFDA kunnen met S-Risk geen concentraties in groenten voorspeld worden (door het ontbreken van bioconcentratiefactoren).

Voor de zones Kallo, Burcht en Antwerpen bleken er onvoldoende metingen te zijn om een betrouwbaar scenario 'wonen met moestuin' of 'wonen met moestuin én kippenren' door te rekenen.

Voor de zone Zwijndrecht ontbreken enkel de meetwaarden voor het planttype 'kolen'. Voor dit planttype werden de gemeten waarden van de zone Melsele gehanteerd.

Er wordt wel op gewezen dat het aantal meetwaarden voor verschillende planttypes (Tabel 11) in Melsele en Zwijndrecht zeer beperkt is, waardoor de resultaten voor de bijdrage via groenten uit eigen moestuin met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd dienen te worden.

Tabel 13 – Overzicht gemiddelde waarden (µg/kg vg) per zone en per planttype

Aardappel	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFNA	PFHxS _{totaal}	PFBA	PFDA
Kallo	-	-	-	-	-	-
Melsele	0,01	0,09	0,02	0,46	0,11	0,66
Zwijndrecht	0,01	0,07	0,02	0,46	0,39	0,60
Burcht	-	-	-	-	-	-
Antwerpen	-	-	-	-	-	-
Bladgewas	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFNA	PFHxS _{totaal}	PFBA	PFDA
Kallo	0,01	0,08	0,02	4,44	0,11	0,50
Melsele	0,03	0,62	0,02	0,46	0,44	0,51
Zwijndrecht	0,05	0,21	0,02	0,46	0,11	0,32
Burcht	-	-	-	-	-	-
Antwerpen	0,01	0,14	0,07	0,46	0,11	0,69
Bolgewas	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFNA	PFHxS _{totaal}	PFBA	PFDA
Kallo	-	-	-	-	-	-
Melsele	0,06	0,14	0,05	1,01	0,11	0,57
Zwijndrecht	0,11	0,22	0,02	6,92	0,11	0,34
Burcht	-	-	-	-	-	-
Antwerpen	-	-	-	-	-	-
Kolen	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFNA	PFHxS _{totaal}	PFBA	PFDA
Kallo	-	-	-	-	-	-
Melsele	0,02	0,14	0,02	0,46	1,35	0,84
Zwijndrecht	-	-	-	-	-	-
Burcht	-	-	-	-	-	-
Antwerpen	-	-	-	-	-	-
Peulgewas	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFNA	PFHxS _{totaal}	PFBA	PFDA
Kallo	-	-	-	-	-	-
Melsele	0,04	0,12	0,05	0,46	2,28	0,59
Zwijndrecht	0,01	0,20	0,02	0,46	4,42	1,02
Burcht	0,01	0,03	0,02	0,46	1,68	0,51
Antwerpen	-	-	-	-	-	-

Stengelgewas	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFNA	PFHxS _{totaal}	PFBA	PFDA
Kallo	0,07	0,40	0,02	0,46	0,11	0,20
Melsele	0,06	0,15	0,03	0,46	0,22	0,49
Zwijndrecht	0,01	0,13	0,02	0,46	0,11	0,49
Burcht	0,01	0,10	0,02	0,46	0,11	0,51
Antwerpen	0,50	1,29	0,22	0,46	0,11	0,90
Vruchtgewas	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFNA	PFHxS _{totaal}	PFBA	PFDA
Kallo	0,01	0,14	0,06	0,46	1,13	0,43
Melsele	0,13	0,19	0,17	0,46	0,18	0,55
Zwijndrecht	0,01	0,12	0,02	0,46	0,11	0,61
Burcht	0,01	0,07	0,02	0,46	0,11	0,34
Antwerpen	0,01	2,08	0,02	0,46	0,11	1,21
Wortelgewas	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFNA	PFHxS _{totaal}	PFBA	PFDA
Kallo	0,01	0,12	0,13	0,46	0,11	0,65
Melsele	0,02	0,14	0,02	0,46	0,11	0,35
Zwijndrecht	0,02	0,11	0,02	0,46	0,11	0,47
Burcht	-	-	-	-	-	-
Antwerpen	-	-	-	-	-	-

4 EXTERNE BLOOTSTELLINGSBEREKENINGEN - S-RISK

Voor elke zone worden voor de 4 scenario's blootstellingsberekeningen uitgevoerd. Voor de scenario's met eieren worden telkens 2 varianten doorgerekend rekening houdende met het aantal geconsumeerde eieren van eigen kweek (i.e. 2 eieren/week en alle 4 eieren/week).

In eerste instantie wordt per scenario de aanpak (input) van de S-Risk berekeningen toegelicht. De resultaten (bijdrage verschillende blootstellingsroute aan de blootstellingdosis) worden visueel gerapporteerd aan de hand van Figuur 4 en Figuur 5 en dit op basis van de blootstellingsberekeningen voor de adolescenten, i.e. de leeftijdsgroep 10-15 jarigen in S-Risk.

4.1 HBM II 3M DEFAULT SCENARIO

Naam: HBM II 3M blanco

Label: KT

Omschrijving: EFSA 2020

Applicatie II

Scenario	Wonen met moestuin <ul style="list-style-type: none"> geen moestuin → 'inname via lokaal geproduceerde groenten' uitvinken kippenren → 'inname via lokaal geproduceerde eieren' aanvinken
Chemische stof	Aanmaak PFOS EFSA 2020, PFOA EFSA 2020, PFHxS, PFNA, PFBA en PFDA (zie § 1; link met de tabbladen blootstelling en risico)
Bodem	Behouden default bodemlaag: 'generic soil layer' <ul style="list-style-type: none"> 1 bodemlaag grondwater default op 3 m diepte
Water	Aanduiden: Voer grondwaterconcentratie in. <i>Grondwater wordt niet geconsumeerd als drinkwater door particulieren (zie Concentraties grondwater).</i>
Buitenlucht	Geen wijziging van de default parameters.
Binnenlucht	Geen wijziging van de default parameters.

- Planten Geen wijziging van de default parameters.
- Dieren Geen wijziging van de default parameters.
- Concentraties
 - Bodem Ingevoerde bodemconcentraties per zone (Tabel 14).
Relevant voor de blootstellingsroute 'ingestie bodemdeeltjes'.

Tabel 14 – Ingevoerde bodemconcentraties (mg/kg ds) per zone

C bodem	Kallo	Melsele	Zwijndrecht	Burcht	Antwerpen
PFOS _{totaal}	2,51E-03	2,88E-03	4,78E-03	2,07E-03	4,18E-03
PFOA _{totaal}	5,63E-04	2,93E-04	3,48E-04	3,45E-04	6,96E-04
PFHxS _{totaal}	9,87E-05	4,63E-05	7,13E-05	5,50E-05	6,36E-05
PFNA	8,63E-05	8,90E-05	8,09E-05	1,16E-04	1,76E-04
PFBA	7,61E-04	3,37E-04	6,80E-04	3,24E-04	4,42E-04
PFDA	1,01E-04	1,89E-04	1,18E-04	2,25E-04	2,46E-04

- Grondwater '0' µg/L
Er is in de regio een grondwaterverontreiniging met PFAS aanwezig, maar deze wordt in deze studie niet meegenomen (geen grondwaterstalen geanalyseerd). Aangezien vervluchtiging van PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} vanuit grondwater zeer beperkt is, wordt blootstelling ten gevolge van inhalatie verwaarloosbaar geacht. In deze studie wordt enkel naar de bijdrage van de verschillende orale blootstellingsroutes gekeken. S-Risk gaat er standaard vanuit dat grondwater niet geconsumeerd wordt als drinkwater. Bijgevolg is het te verantwoorden om als grondwaterconcentratie 0 µg/L in te voeren.
- Planten Bij aanwezigheid van een moestuin worden meetwaarden in **verschillende groenten** ingevoerd via de knop 'planten' bij concentraties in transfermedia. Ingevoerde concentraties in groenten per zone (Tabel 15)

Tabel 15 – Ingevoerde concentraties in groenten o.b.v. planttype (mg/kg vg) per zone

	Aa	Blad	Bol	Kool	Peul	Stengel	Vrucht	Wortel
Melsele								
PFOS _{totaal}	1,00E-05	2,80E-05	6,00E-05	1,60E-05	4,25E-05	5,95E-05	1,33E-04	2,13E-05
PFOA _{totaal}	9,30E-05	6,22E-04	1,35E-04	1,40E-04	1,18E-04	1,47E-04	1,90E-04	1,41E-04
PFHxS _{totaal}	4,55E-04	4,55E-04	1,01E-03	4,55E-04	4,55E-04	4,55E-04	4,55E-04	4,55E-04
PFNA	2,00E-05	2,00E-05	5,00E-05	2,00E-05	4,75E-05	2,86E-05	1,69E-04	2,00E-05
PFBA	1,10E-04	4,38E-04	1,10E-04	1,35E-03	2,28E-03	2,22E-04	1,78E-04	1,10E-04
PFDA	6,60E-04	5,06E-04	5,73E-04	8,36E-04	5,91E-04	4,85E-04	5,54E-04	3,49E-04
Zwijndrecht								
PFOS _{totaal}	1,00E-05	5,00E-05	1,10E-04	1,60E-05	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05	1,50E-05
PFOA _{totaal}	6,97E-05	2,10E-04	2,20E-04	1,40E-04	2,00E-04	1,25E-04	1,24E-04	1,09E-04
PFHxS _{totaal}	4,55E-04	4,55E-04	6,92E-03	4,55E-04	4,55E-04	4,55E-04	4,55E-04	4,55E-04
PFNA	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05
PFBA	3,90E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,35E-03	4,42E-03	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04
PFDA	6,03E-04	3,20E-04	3,40E-04	8,36E-04	1,02E-03	4,85E-04	6,07E-04	4,65E-04

- Dieren Bij aanwezigheid van een kippenren worden **meetwaarden in eieren** ingevoerd via de knop 'dierlijke producten' bij concentraties in transfermedia. Ingevoerde concentraties in eieren per zone (Tabel 16).

Tabel 16 – Ingevoerde concentraties in eieren (mg/kg vg) per zone

C eieren	Kallo	Melsele	Zwijndrecht	Burcht	Antwerpen
PFOS _{totaal}	2,39E-03	4,36E-03	7,67E-03	1,89E-03	-
PFOA _{totaal}	6,60E-04	3,61E-04	6,70E-04	3,26E-04	-
PFHxS _{totaal}	2,40E-04	2,93E-04	3,07E-04	2,40E-04	-
PFNA	1,20E-04	2,41E-04	1,55E-04	1,87E-04	-
PFBA	5,50E-05	1,76E-04	5,75E-04	1,02E-04	-
PFDA	8,80E-04	8,30E-04	7,85E-04	8,31E-04	-

- **Afgezet huisstof** Meetwaarden in huisstof worden in elk scenario ingevoerd via ‘afgezet huisstof’ bij concentraties in transfermedia. Ingevoerde concentraties in huisstof per zone (Tabel 17).

Tabel 17 – Ingevoerde concentraties huisstof (mg/kg ds) per zone

C huisstof	Kallo	Melsele	Zwijndrecht	Burcht	Antwerpen
PFOS _{totaal}	2,07E-02	2,48E-02	3,24E-02	1,49E-02	1,92E-02
PFOA _{totaal}	7,80E-03	1,64E-02	4,38E-02	1,51E-02	1,38E-02
PFHxS _{totaal}	1,13E-03	1,03E-03	1,43E-03	5,01E-04	9,84E-04
PFNA	4,73E-03	3,64E-03	5,85E-03	4,25E-03	2,74E-03
PFBA	3,37E-02	3,37E-02	1,72E-02	1,09E-02	2,90E-02
PFDA	5,28E-03	6,09E-03	1,00E-02	6,60E-03	3,81E-03

- Blootstelling** PFOS_{totaal}/PFOA_{totaal}/PFHxS_{totaal}/PFNA/PFBA en PFDA (zie § 1)
Fractie voor eieren gewijzigd naar 0,35 of 1 (zie § 3.1).
- Risico** Niet relevant voor deze studie → niet aftoetsen aan GGW (bv. TDI)
- Concentratielimieten** DW = 0,1 µg/L (i.e. EU-drinkwaternorm \sum 20 PFAS)

Sinds 1 januari 2023 legt de verordening (EU) 2022/2388 de normen vast voor PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS en de som van deze 4 PFAS-congeneren in bepaalde levensmiddelen van dierlijke oorsprong (Tabel 18). Deze zijn voor de volledigheid opgenomen in het tabblad ‘concentratielimieten’.

Tabel 18 – Normen voor dierlijke levensmiddelen (µg/kg vg)

	PFOS _{totaal}	PFOA _{totaal}	PFHxS _{totaal}	PFNA	\sum 4 PFAS
Ei	1	0,3	0,3	0,7	1,7
Vlees (rund, kip, varken)	0,3	0,8	0,2	0,2	1,3
Vlees (schaap)	1	0,2	0,2	0,2	1,6

4.2 HBM II 3M SCENARIO 1 - SIERTUIN

- Scenario** Wonen met moestuin
- geen moestuin → ‘inname via lokaal geproduceerde groenten’ uitvinken
- Chemische stof** default scenario
- Bodem** default scenario
- Water** default scenario
- Buitenlucht** default scenario
- Binnenlucht** default scenario
- Planten** default scenario

Dieren	default scenario
Concentraties	
• Bodem	Meetwaarden in bodem worden per zone ingevoerd (Tabel 14).
• Grondwater	'0' µg/L (idem default scenario).
• Planten	Niet van toepassing; geen meetwaarden invoeren.
• Dieren	Niet van toepassing; geen meetwaarden invoeren.
• Afgezet huisstof	Meetwaarden in huisstof worden per zone ingevoerd (Tabel 17).
Blootstelling	default scenario
Risico	default scenario
Concentratielimieten	default scenario

Er werden simulaties met S-Risk uitgevoerd voor S1 (siertuin) voor Kallo (Z1), Melsele (Z2), Zwijndrecht (Z3), Burcht (Z4) en Antwerpen (Z5).

Een overzicht van de resultaten, zijnde de blootstellingsdosissen en de bijdrage van elke blootstellingsroute aan de totale orale blootstelling voor siertuin wordt voor de verschillende zones visueel weergegeven in Figuur 4 en Figuur 5.

4.3 HBM II 3M SCENARIO 2 – MOESTUIN

Scenario	Wonen met moestuin (geen routes aan- of afvinken)
Chemische stof	default scenario
Bodem	default scenario
Water	default scenario
Buitenlucht	default scenario
Binnenlucht	default scenario
Planten	default scenario
Dieren	default scenario
Concentraties	
• Bodem	Meetwaarden in bodem worden per zone ingevoerd (Tabel 14).
• Grondwater	'0' µg/L (idem default scenario).
• Planten	Meetwaarden in groenten worden per zone ingevoerd (Tabel 15).
• Dieren	Niet van toepassing; geen meetwaarden invoeren.
• Afgezet huisstof	Meetwaarden in huisstof worden per zone ingevoerd (Tabel 17).
Blootstelling	default scenario
Risico	default scenario
Concentratielimieten	default scenario

Er konden met S-Risk enkel simulaties uitgevoerd worden voor S2 (moestuin) voor de woonzones Melsele (Z2) en Zwijndrecht (Z3). Voor de overige woonzones waren er onvoldoende metingen in groenten beschikbaar.

Een overzicht van de resultaten, zijnde de blootstellingsdosissen en de bijdrage van elke blootstellingsroute aan de totale orale blootstelling voor moestuin wordt voor de verschillende zones visueel weergegeven in Figuur 4 en Figuur 5.

4.4 HBM II 3M SCENARIO 3 – KIPPENREN

Scenario	Wonen met moestuin
•	geen moestuin → 'inname via lokaal geproduceerde groenten' uitvinken
•	wel kippenren → 'inname via lokaal geproduceerde eieren' aanvinken

Chemische stof	default scenario
Bodem	default scenario
Water	default scenario
Buitenlucht	default scenario
Binnenlucht	default scenario
Planten	default scenario
Dieren	default scenario
Concentraties	
• Bodem	Meetwaarden in bodem worden per zone ingevoerd (Tabel 14).
• Grondwater	'0' µg/L (idem default scenario).
• Planten	Niet van toepassing; geen meetwaarden invoeren.
• Dieren	Meetwaarden in eieren worden per zone ingevoerd (Tabel 16).
• Afgezet huisstof	Meetwaarden in huisstof worden per zone ingevoerd (Tabel 17).
Blootstelling	Variant S3.1: default scenario (fractie ei = 0,35; 2 ei/week volwassene) Variant S3.2: fractie ei = 1 Variant S3.3: fractie ei = 0,5 (2 ei/week adolescent)
Risico	default scenario
Concentratielimieten	default scenario

Er werden simulaties met S-Risk uitgevoerd voor S3 (kippenren) voor de woonzones Kallo (Z1), Melsele (Z2), Zwijndrecht (Z3) en Burcht (Z4). De simulaties waarbij de consumptie beperkt wordt tot 2 eieren van eigen kweek per week worden als S31 aangeduid en deze waarbij alle geconsumeerde eieren van eigen kweek zijn met S32.

Een overzicht van de resultaten, zijnde de blootstellingsdosissen en de bijdrage van elke blootstellingsroute aan de totale orale blootstelling voor het scenario kippenren waarbij slechts 2 eieren van eigen kweek per week worden geconsumeerd (S3.3) en waarbij alle eieren geconsumeerd worden van eigen kweek zijn (S3.2) wordt voor de verschillende zones visueel weergegeven Figuur 4 en Figuur 5.

Bij de interne blootstellingsberekeningen met Merlin is het wel mogelijk om 2 ei van eigen kweek per week door te rekenen voor zowel de adolescenten als de volwassenen. Hiervoor werden de blootstellingsdosissen voor de adolescenten (6 – 10 jaar en 10 – 15 jaar in S-Risk) uit scenario S3.1 vervangen door deze van S3.3. De output (blootstellingsdosissen) van S-Risk dienen immers als input (invoergegevens) voor Merlin (§ 5).

4.5 HBM II 3M SCENARIO 4 – MOESTUIN EN KIPPENREN

Scenario	Wonen met moestuin • wel kippenren → 'inname via lokaal geproduceerde eieren' aanvinken
Chemische stof	default scenario
Bodem	default scenario
Water	default scenario
Buitenlucht	default scenario
Binnenlucht	default scenario
Planten	default scenario
Dieren	default scenario

Concentraties

- **Bodem** Meetwaarden in bodem worden per zone ingevoerd (Tabel 14).
- **Grondwater** '0' µg/L (idem default scenario).
- **Planten** Meetwaarden in groenten worden per zone ingevoerd (Tabel 15)
- **Dieren** Meetwaarden in eieren worden per zone ingevoerd (Tabel 16).
- **Afgezet huisstof** Meetwaarden in huisstof worden per zone ingevoerd (Tabel 17).

Blootstelling **Variant S4.1:** default scenario (fractie ei = 0,35; 2 ei/week volwassene)
Variant S4.2: fractie ei = 1
Variant S4.3: fractie ei = 0,5 (2 ei/week adolescent)

Risico default scenario

Concentratielimieten default scenario

Er werden simulaties met S-Risk uitgevoerd voor S4 (moestuin en kippenren) voor Z2: Melsele en Z3: Zwijndrecht. De simulaties waarbij de consumptie beperkt wordt tot 2 eieren van eigen kweek per week worden als S4.1 aangeduid en deze waarbij alle geconsumeerde eieren van eigen kweek zijn met S4.2.

Een overzicht van de resultaten, zijnde de blootstellingsdosissen en de bijdrage van elke blootstellingsroute aan de totale orale blootstelling voor het scenario moestuin en kippenren waarbij slechts 2 eieren van eigen kweek per week worden geconsumeerd (S4.3) en waarbij alle eieren geconsumeerd worden van eigen kweek zijn (S4.2) wordt voor de verschillende zones visueel weergegeven in Figuur 4 en Figuur 5.

Bij de interne blootstellingsberekeningen met Merlin is het wel mogelijk om 2 eieren van eigen kweek per week door te rekenen voor zowel de adolescenten als de volwassenen. Hiervoor werden de blootstellingsdosissen voor de adolescenten (6 – 10 jaar en 10 – 15 jaar in S-Risk) uit scenario S4.1 vervangen door deze van S4.3. De output (blootstellingsdosissen) van S-Risk dienen immers als input (invoergegevens) voor Merlin (§ 5).

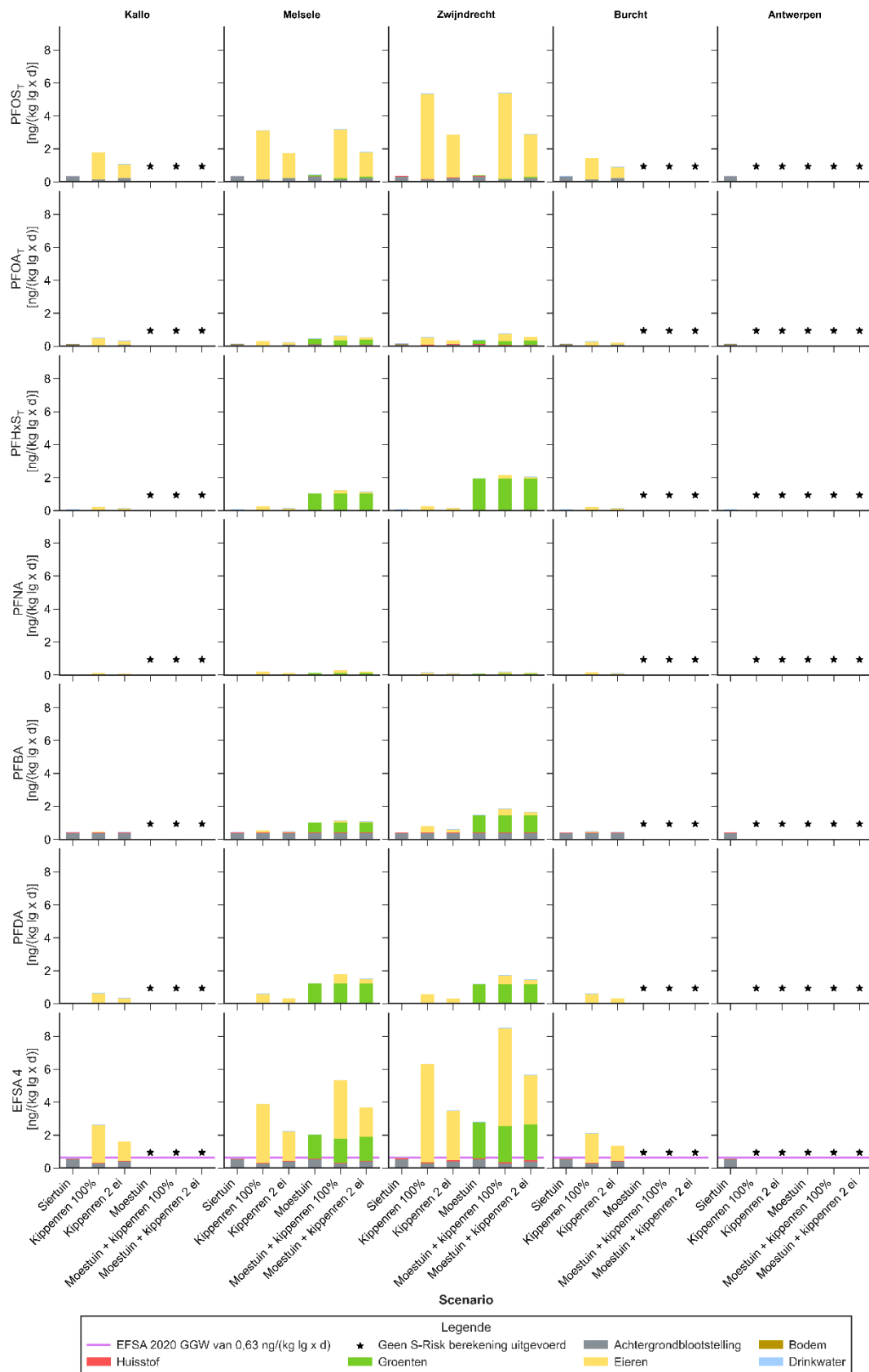
4.6 BESPREKING EXTERNE BLOOTSTELLING

Om de eerste onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden werden externe blootstellingsberekeningen voor PFOS_{totaal}, PFOA_{totaal}, PFNA, PFHxS_{totaal}, PFBA en PFDA uitgevoerd met S-Risk die resulteren in jaargemiddelde dagelijkse orale blootstellingsdosissen afhankelijk van consumptiegedrag en woonzone.

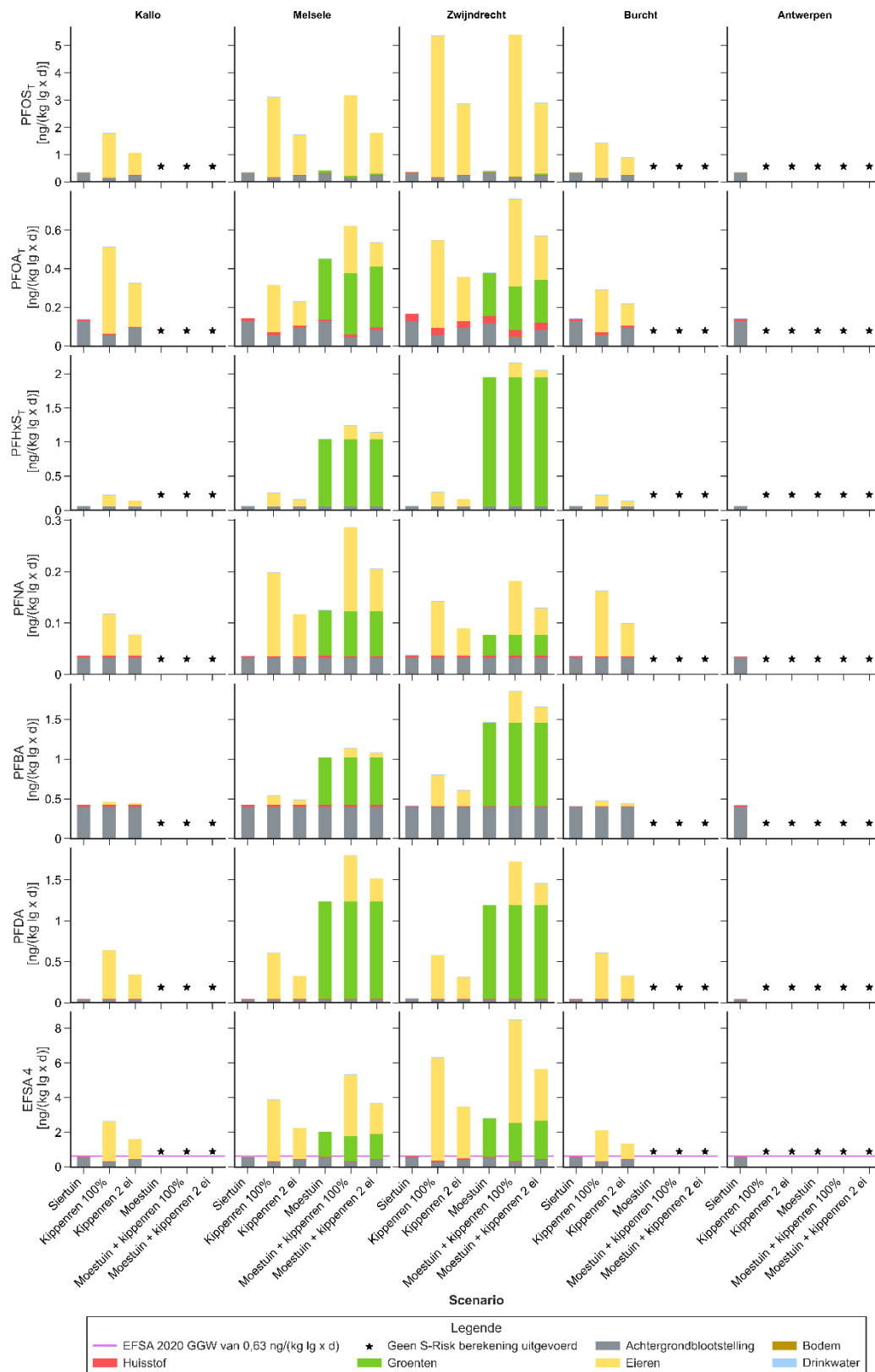
De resultaten (bijdrage verschillende blootstellingsbronnen aan de orale blootstellingdos) worden visueel gerapporteerd aan de hand van figuren en dit op basis van de **blootstellingsberekeningen voor de adolescenten, i.e. de leeftijdsgroep 10-15-jarigen** in S-Risk (Figuur 4 en Figuur 5). Voor de zones Melsele en Zwijndrecht werden alle 6 scenario's doorgerekend, voor de zones Kallo en Burcht ontbreken de 3 scenario's met moestuin omwille van te weinig meetdata en voor de zone Antwerpen werd enkel het scenario siertuin doorgerekend.

Voor bepaalde woonzones zijn er te weinig data ($n < 6$) voor bepaalde milieucompartimenten beschikbaar om alle scenario's te kunnen doorrekenen. Zo is er in Kallo, Burcht en Antwerpen te weinig informatie voor groenten en in Antwerpen voor eieren. Zelfs voor Melsele en Zwijndrecht zijn de aantallen voor groenten te klein, maar werden toch een aantal berekeningen uitgevoerd. Deze dienen dan ook met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden. Bij het opzetten van nieuwe HBM-studies is het dan ook belangrijk om bij het uitwerken van het veldwerk na te gaan of er wel voldoende stalen genomen kunnen worden.

Vervolgens wordt er in meer detail ingegaan op de bespreking van de som van de 4 EFSA PFAS (§ 4.6.1), de impact van de levensstijl (i.e. de verschillende scenario's; § 4.6.2) alsook een bespreking van de vaststellingen per PFAS (§ 4.6.3).



Figuur 4 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsbronnen aan de externe orale blootstellingsdosis voor adolescenten per gemodelleerde PFAS, woonzone en levensstijl. De y-as is overal hetzelfde om de blootstellingsdosis van de verschillende PFAS te kunnen vergelijken.



Figuur 5 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsbronnen aan de externe orale blootstellingsdosis voor adolescenten per gemodelleerde PFAS, woonzone en levensstijl. De y-as is hier specifiek per PFAS om meer gedetailleerd het aandeel van elke blootstellingsroute weer te geven.

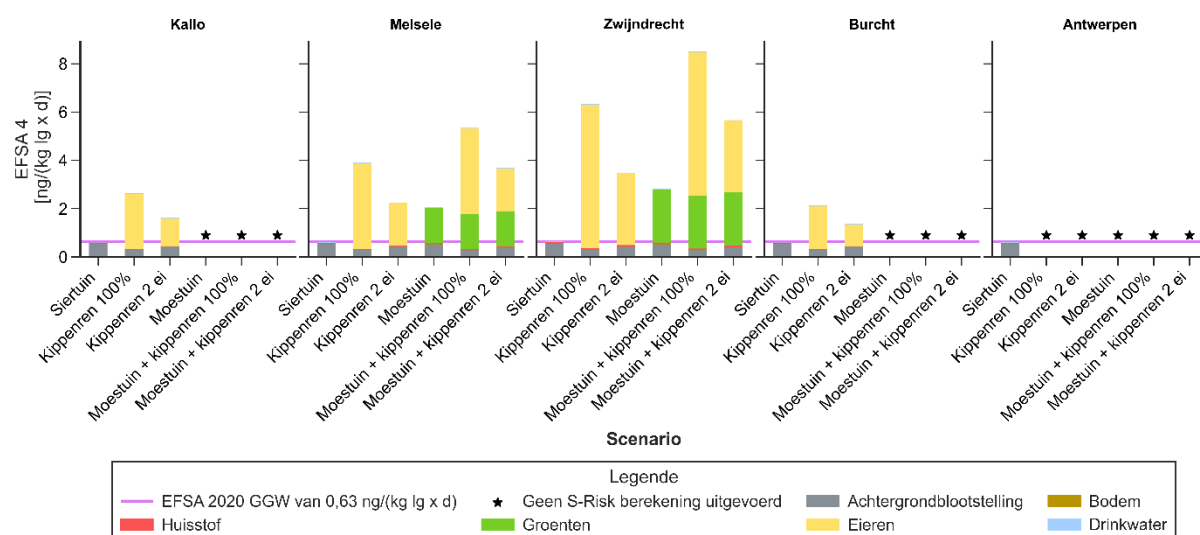
4.6.1 EFSA 4

Voor de **som van de EFSA 4** ($PFOS_{\text{totaal}}$, $PFOA_{\text{totaal}}$, PFNA en $PFHxS_{\text{totaal}}$) valt op dat de EFSA (2020) GGW (0,63 ng/kg lg.dag, paarse lijn op Figuur 6) overschreden wordt zodra groenten uit eigen tuin of eieren van eigen kweek geconsumeerd worden. Dit is op zich niet onverwacht vermits voor adolescenten de dagelijkse inname via commerciële voeding reeds de toelaatbare dagelijkse inname benadert, waardoor in principe iedere bijkomende blootstelling vermeden moet worden.

Opgelet: Hoewel de EFSA 2020 GGW in principe enkel toegepast wordt op volwassenen, werd deze hier gehanteerd om een eerste indruk te krijgen van de ernst van de dosissen voor adolescenten.

$PFOS_{\text{totaal}}$ domineert de EFSA 4 blootstelling bij aanwezigheid van een kippenren. Wanneer consumptie uit de moestuin in rekening gebracht wordt, is ook de blootstelling aan $PFHxS_{\text{totaal}}$ belangrijk. De laagste bijdrage aan de orale blootstelling voor de som van de EFSA4 is afkomstig van PFNA.

De belangrijkste blootstellingsroute voor de som van de EFSA 4 is de consumptie van eieren van eigen kweek (omwille van de bijdrage van $PFOS_{\text{totaal}}$), gevolgd door groenten uit eigen tuin. Blootstelling via bodem en stofingestie of leidingwater (ten gevolge van permeatie door waterleidingen) is verwaarloosbaar in de totale orale blootstelling voor de som van de EFSA 4. De achtergrondblootstelling is niet verwaarloosbaar, maar ligt wel veel lager dan de blootstelling via eieren of groenten van eigen teelt.



Figuur 6 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsroutes, weergegeven per zone en opgedeeld per scenario. Dit is voor de som van de 4 EFSA PFAS ($PFOS$, $PFOA$, $PFHxS$ en PFNA).

4.6.2 Scenario's i.f.v. levensstijl (siertuin, moestuin en/of kippenren)

Wanneer de blootstelling aan PFAS over de **verschillende scenario's** vergeleken wordt, dan is de totale orale blootstellingsdosis:

- steeds het laagst voor het scenario siertuin en wordt deze voornamelijk bepaald door de achtergrondblootstelling via voeding. **Het scenario 'siertuin' wordt niet meegenomen in de bespreking van § 4.6.3.**
- het hoogst voor het scenario met moestuin en 100% consumptie van eieren van eigen kweek (~ 4 ei/week). De blootstelling via de consumptie van eieren wordt gehalveerd wanneer overgeschakeld wordt van 100% consumptie eieren van eigen kweek naar 2 eieren per week van eigen kweek.

Afhankelijk van de beschouwde PFAS is de blootstelling via groenten dan wel via eieren belangrijker. De impact van **consumptie van groenten uit eigen tuin** (enkel Melsele en Zwijndrecht) is verwaarloosbaar voor $PFOS_{\text{totaal}}$. Voor $PFHxS_{\text{totaal}}$ is de bijdrage van groenten uit eigen tuin hoger dan voor andere PFAS.

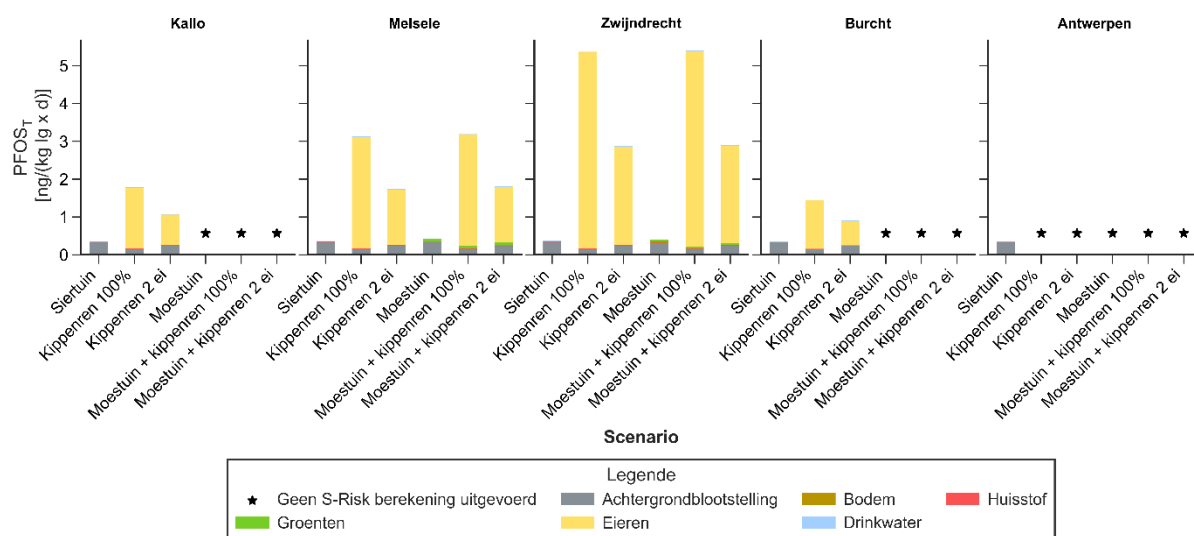
De bijdrage van groenten uit eigen tuin tot de totale blootstelling is voor $PFHxS_{\text{totaal}} > PFDA > PFBA > PFOA_{\text{totaal}} > PFNA$ en verwaarloosbaar voor $PFOS_{\text{totaal}}$.

De **consumptie van zelfgekweekte eieren** weegt het zwaarste door in de blootstelling aan $PFOS_{\text{totaal}}$, maar ook voor de andere PFAS is er voor de meeste woonzones een belangrijke impact van de consumptie van eieren op de totale blootstelling.

4.6.3 Vaststellingen per PFAS (m.u.v. scenario 'siertuin')

Met uitzondering van het scenario 'moestuin' is $PFOS_{\text{totaal}}$ in absolute cijfers de PFAS waarvoor de orale blootstelling voor adolescenten het hoogst ligt⁹, en dit in alle woonzones (Figuur 7). De blootstelling aan $PFOS_{\text{totaal}}$ is het hoogst in Zwijndrecht, gevolgd door Melsele en tenslotte Kallo en Burcht (beide ongeveer gelijk).

Wanneer eieren van eigen kweek geconsumeerd worden, is dit de blootstellingsbron die de hoogste impact heeft. Het beperken van de consumptie tot 2 eieren van eigen kweek heeft een duidelijke positieve impact op de blootstellingsdosis. Voor de consumptie van zelf geteelde groenten, ingestie van bodem en stof en permeatie doorheen waterleidingen (= leidingwater) is de blootstelling aan $PFOS_{\text{totaal}}$ verwaarloosbaar. Ook de blootstelling via commerciële voeding is beduidend lager dan via eieren van eigen kweek.



Figuur 7 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsroutes, weergegeven per zone en opgedeeld per scenario. Dit is voor $PFOS_{\text{totaal}}$.

Voor blootstelling aan $PFOA_{\text{totaal}}$ zijn de belangrijkste bronnen de consumptie van groenten uit eigen tuin en eieren van eigen kweek (Figuur 8). De consumptie van voeding aangekocht in de winkel en ingestie van stof hebben een beperkte bijdrage. De ingestie van bodem en permeatie doorheen waterleidingen is verwaarloosbaar.

In de zone Melsele is de impact van de $PFOA$ blootstelling via groenten uit eigen tuin hoger dan de impact door de consumptie van eieren van eigen kweek.

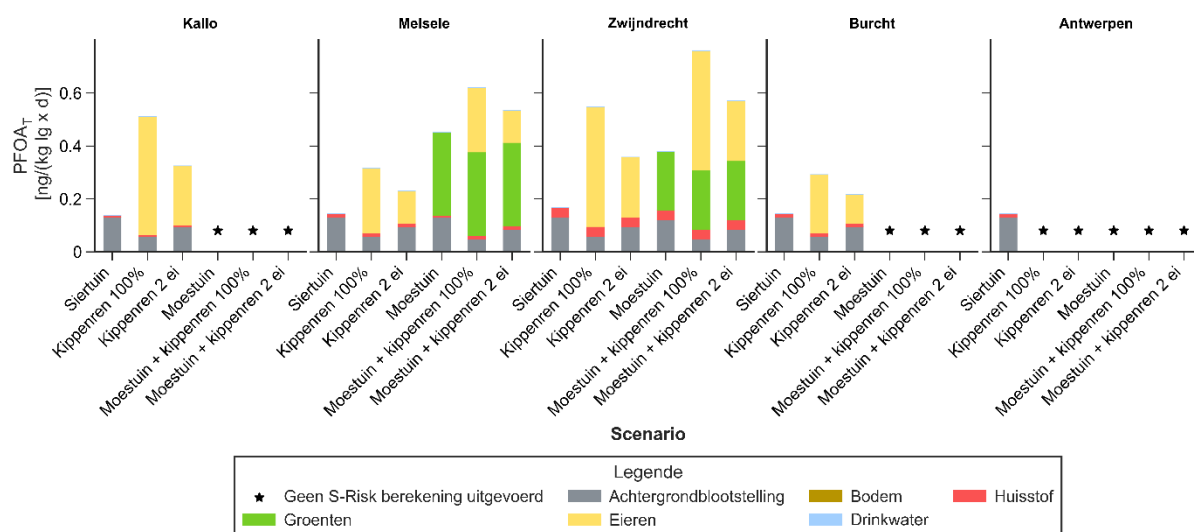
⁹ Voor de hier bestudeerde PFAS

Voor de zone Zwijndrecht is dit omgekeerd (eieren van eigen kweek > groenten van eigen teelt).

Opgelet: Deze conclusies zijn gebaseerd op een beperkt aantal meetwaarden voor de verschillende planttypes (groenten) in Melsele en Zwijndrecht, waardoor de resultaten voor groenten uit eigen moestuin met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd dienen te worden.

Voor de scenario's zonder moestuin (i.e. kippenren 100% en kippenren 2ei) is de blootstelling aan PFOA_{totaal} het hoogst in de zones Zwijndrecht en Kallo en lager in Melsele en Burcht.

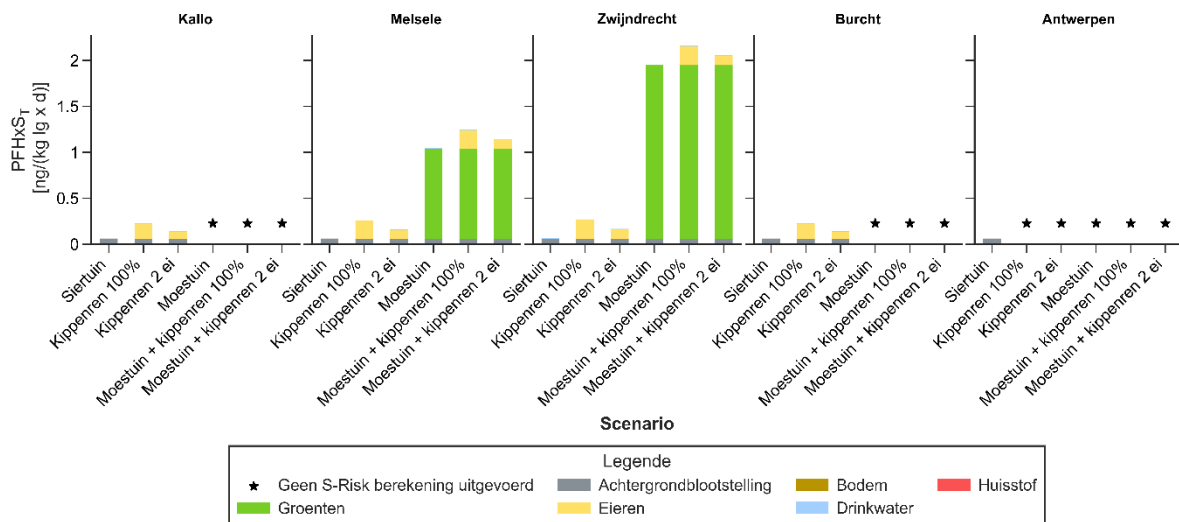
Voor de scenario's met moestuin is de blootstelling via groenten uit eigen tuin iets hoger in Melsele dan in Zwijndrecht.



Figuur 8 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsroutes, weergegeven per zone en opgedeeld per scenario. Dit is voor PFOA_{totaal}.

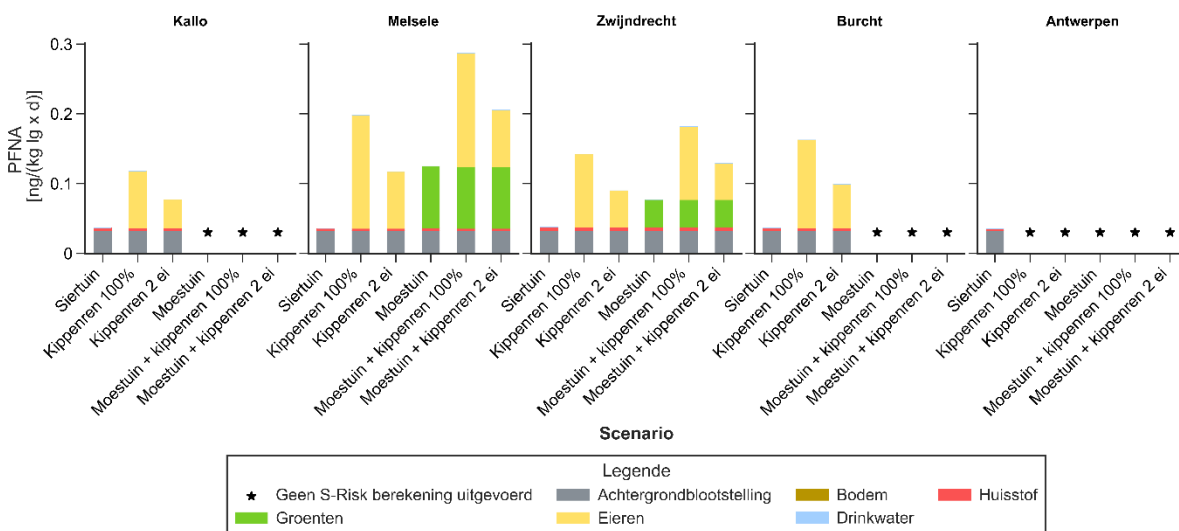
De blootstelling aan PFHxS_{totaal} wordt gedomineerd door de consumptie van groenten uit eigen tuin (Figuur 9). In absolute cijfers is deze blootstellingsroute ook hoger dan bij de andere bestudeerde PFAS (PFOS_{totaal}, PFOA_{totaal}, PFNA, PFBA en PFDA). De blootstelling via bodem en stof en permeatie doorheen waterleidingen is verwaarloosbaar. De bijdrage door consumptie van voeding aangekocht in de winkel is verwaarloosbaar. Blootstelling via eieren van eigen kweek is hoger dan blootstelling via commerciële voeding, maar wel veel lager dan de blootstelling via groenten uit eigen tuin.

De blootstelling voor de scenario's met enkel consumptie van eieren van eigen kweek is vergelijkbaar voor de verschillende woonzones. Wanneer consumptie van groenten van eigen teelt meegenomen wordt (enkel Zwijndrecht en Melsele) is de blootstelling het hoogst voor de zone Zwijndrecht.



Figuur 9 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsroutes, weergegeven per zone en opgedeeld per scenario. Dit is voor PFHxStotaal.

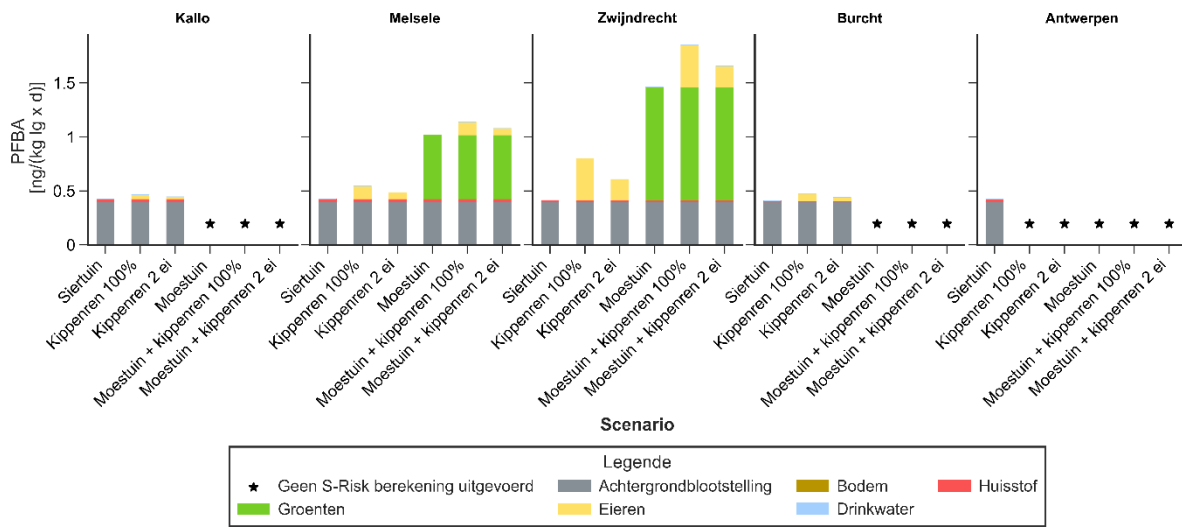
In absolute cijfers is de blootstelling aan **PFNA** voor de in de modellering beschouwde PFAS het laagst (Figuur 10). De blootstelling via eieren van eigen kweek is de dominante route wanneer alle eieren van eigen kweek (~ 4/week) geconsumeerd worden. Wanneer 2 eieren per week van eigen kweek gegeten worden, dan is de blootstelling hieraan ongeveer even groot als de blootstelling aan groenten van eigen teelt. De impact van ingestie van bodem en permeatie doorheen waterleidingen is verwaarloosbaar, ingestie van stof heeft een zeer lage impact en blootstelling via in de winkel aangekochte voeding is lager dan via voeding van eigen teelt. De hoogste blootstelling aan PFNA wordt vastgesteld in de zone Melsele.



Figuur 10 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsroutes, weergegeven per zone en opgedeeld per scenario. Dit is voor PFNA.

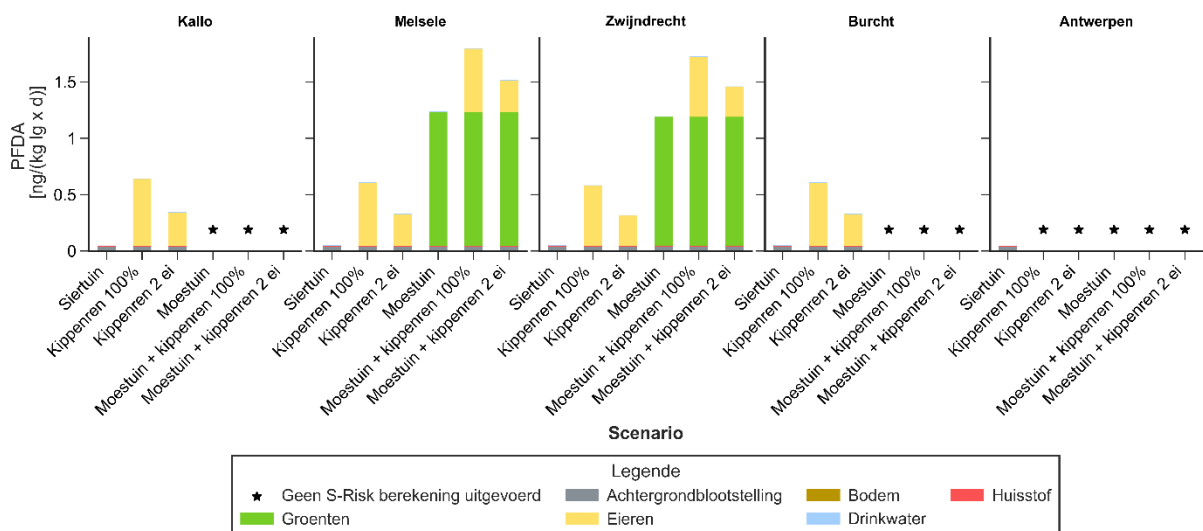
De blootstelling aan **PFBA** is het hoogst voor de zone Zwijndrecht (Figuur 11). Voor PFBA is de blootstelling lager dan deze aan PFOS_{totaal}, maar hoger dan deze aan PFOA_{totaal} en PFNA. De belangrijkste blootstellingsbron is consumptie van groenten van eigen teelt voor de zone Zwijndrecht, gevolgd door de consumptie van voeding via de winkel en de consumptie van eieren van eigen kweek. Blootstelling via bodem en stof en via permeatie door waterleidingen is verwaarloosbaar.

In Geerts and Van Holderbeke (2023) (*draft* rapport in opdracht van OVAM) wordt voor PFBA de orale RfD (Reference Dose) van US EPA geselecteerd (US EPA, 2022), deze is gelijk aan 1.10^{-3} mg/kg dag. De blootstelling ligt voor alle zones lager dan deze toetsingswaarde.



Figuur 11 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsroutes, weergegeven per zone en opgedeeld per scenario. Dit is voor PFBA.

De blootstelling aan **PFDA** is lager dan deze aan $PFOS_{\text{totaal}}$, hoger dan deze aan $PFOA_{\text{totaal}}$ en $PFNA$ en in dezelfde grootteorde als $PFBA$ en $PFHxS_{\text{totaal}}$. De belangrijkste blootstellingsbron is de consumptie van groenten van eigen teelt, gevolgd door eieren van eigen kweek (Figuur 12). Alle andere blootstellingsbronnen (commerciële voeding, ingestie van bodem en stof en permeatie doorheen waterleidingen) zijn verwaarloosbaar. De blootstelling aan PFDA is in de verschillende zones nagenoeg gelijk.



Figuur 12 – Bijdrage van de verschillende blootstellingsroutes, weergegeven per zone en opgedeeld per scenario. Dit is voor PFDA.

5 INTERNE BLOOTSTELLINGSBEREKENINGEN - MERLIN-EXPO (MAN-MODEL)

S-Risk bevat geen formules om externe blootstelling om te rekenen naar interne serumconcentraties. Daarom werd geopteerd om voor dit project Merlin-Expo (<https://merlin-expo.eu/>) te gebruiken in combinatie met S-Risk.

Aansluitend bij de externe blootstellingsberekeningen uitgevoerd met S-Risk werden dus simulaties uitgevoerd om de interne blootstelling, d.i. de concentraties aan PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} in bloedserum, te bepalen. Voor de simulatie van de concentraties aan PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal} in serum met de PBPK (interne) blootstellingsmodule in Merlin-Expo werden de parameterwaarden uit Loccisano *et al.* (2011) gehanteerd. Zowel deze parameterwaarden als de fysiologische en farmacokinetische parameters toegepast in het PBPK-model voor het doorrekenen van de interne blootstelling werden overgenomen uit Brochot and Quindroit (2018).

De PBPK-parameters die toegepast worden in Merlin-Expo maken geen onderscheid in absorptie afhankelijk van de blootstellingsbron (bijvoorbeeld orale blootstelling via bodem, water of groenten wordt gelijk verondersteld), wel wordt een onderscheid gemaakt op basis van de blootstellingsroute (inhalatie, oraal), maar zoals reeds eerder gemeld wordt bij de berekeningen enkel de orale route beschouwd. Voor de overige PFAS ontbreken zulke parameterwaarden en kunnen geen interne serumconcentraties berekend worden.

Bij de interne blootstellingsberekeningen met Merlin is het wel mogelijk om 2 ei van eigen kweek per week door te rekenen voor zowel de adolescenten als de volwassenen. Hiervoor werden de blootstellingsdosissen voor de adolescenten (6 – 10 jaar en 10 – 15 jaar in S-Risk) uit scenario S3.1/S4.1 vervangen door deze van S3.3/S4.3. De output (blootstellingsdosissen) van S-Risk dienen immers als input (invoergegevens) voor Merlin (zie § 4.4 en § 4.5).

De berekeningen met Merlin starten vanaf een leeftijd van 1 jaar. De blootstelling tijdens borstvoeding wordt dus niet meegenomen. Hierover is momenteel onvoldoende informatie beschikbaar om dit wel te kunnen meenemen in de modellering.

5.1 BESPREKING INTERNE BLOOTSTELLING

Dit is enkel mogelijk voor PFOS_{totaal} en PFOA_{totaal}, daar er onvoldoende data zijn om deze berekeningen uit te voeren voor andere PFAS.

De externe blootstellingsdosissen berekend met S-Risk voor zowel de achtergrondblootstelling via voeding als voor de verschillende orale blootstellingsroutes (ingestie van bodem, ingestie van stof, inname van 'lokaal' geteelde eieren en inname van 'lokaal' geteelde groenten) voor de verschillende leeftijdsgroepen werden gehanteerd als invoerparameter in het Merlin-Expo model om de interne blootstelling (serumgehalten) te voorspellen.

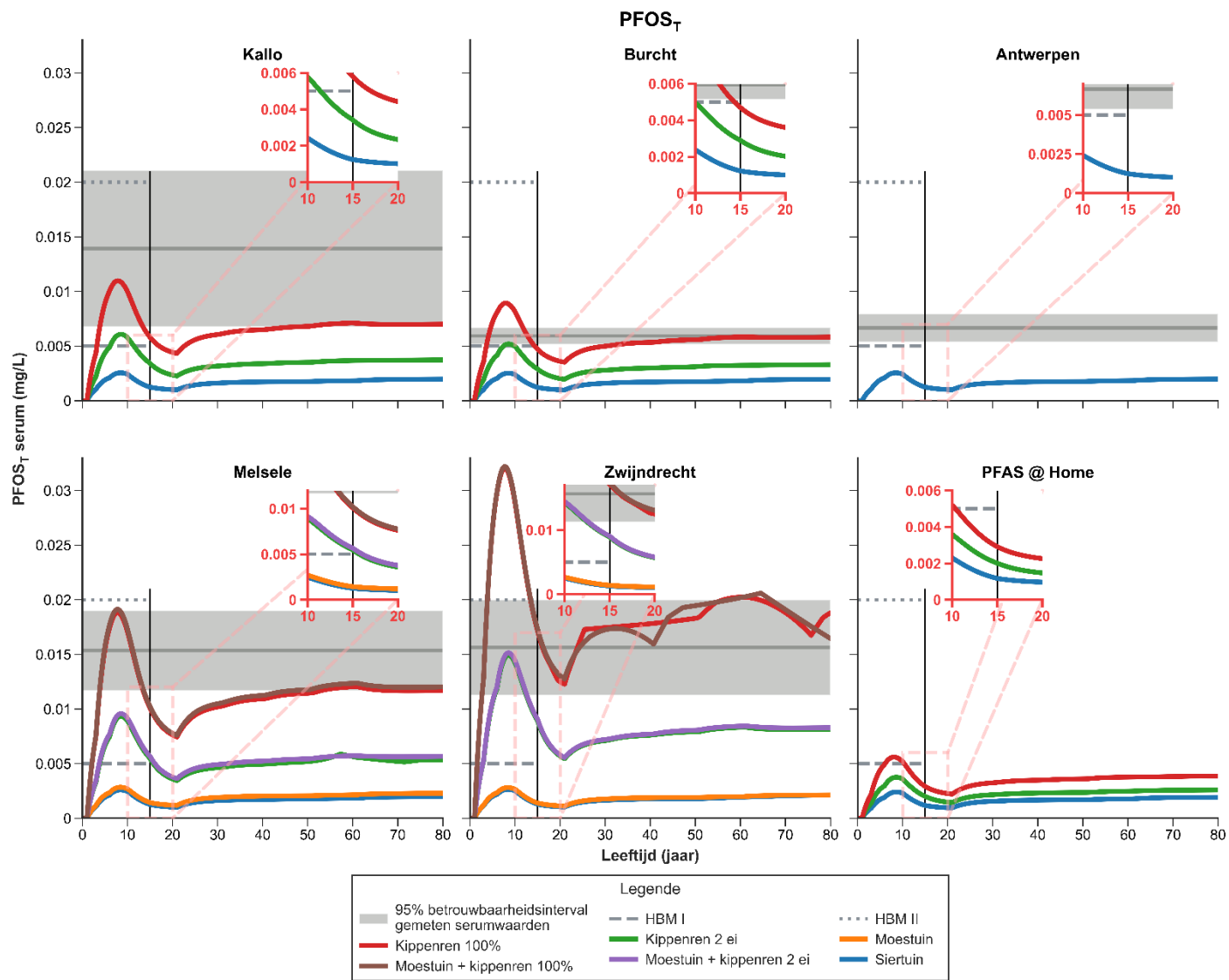
Bij de interne blootstellingsberekeningen met Merlin is het wel mogelijk om 2 eieren van eigen kweek per week door te rekenen voor zowel de adolescenten als de volwassenen.

Hiervoor werden de blootstellingsdosissen voor de adolescenten (6 – 10 jaar en 10 – 15 jaar in S-Risk) uit scenario's S3.1/ S4.1 vervangen door deze van S3.3/S4.3. De output (blootstellingsdosissen) van S-Risk dienen immers als input (invoergegevens) voor Merlin (§ 5).

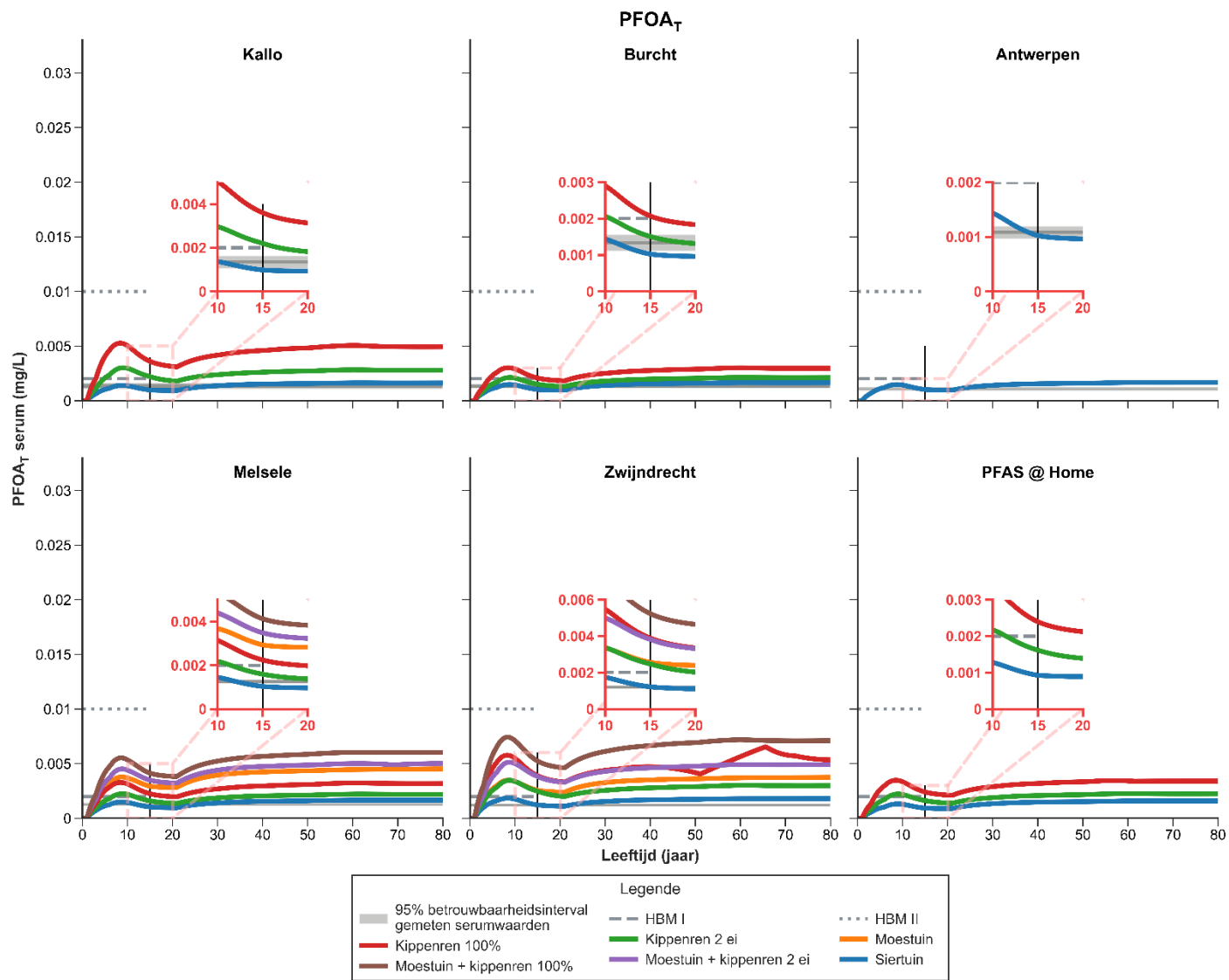
De resultaten van de interne blootstellingsbepalingen worden visueel gerapporteerd aan de hand van figuren en getoetst aan de HBM I en II waarden vooropgesteld door UBA (2016; 2020) om de ernst van de blootstelling te kunnen inschatten. Op Figuur 13 tot en met Figuur 15 worden niet alleen de HBM I (UBA, 2016) en HBM II (UBA, 2020) waarden weergegeven. Ter hoogte van de leeftijd van de adolescenten (15-jarige) werd eveneens een verticale lijn getrokken.

Op Figuur 13 worden voor PFOS_{totaal} voor de verschillende doorgerekende scenario's (levensstijlen) de voorspelde serumgehalten in functie van de leeftijd weergegeven via curves en op Figuur 14 voor PFOA_{totaal}. Deze curves weerspiegelen de impact van de totale orale blootstellingsdosis (i.e. som van de achtergrondblootstelling en de lokale blootstellingsroutes) op het serumgehalte. Omdat de voorspelde concentraties aan PFOA_{totaal} in serum lager zijn dan voor PFOS_{totaal}, werd voor PFOA een extra uitvergroting (Figuur 15) opgenomen dat het aandeel van elke levensstijl op het voorspelde serumgehalte duidelijker weergeeft .

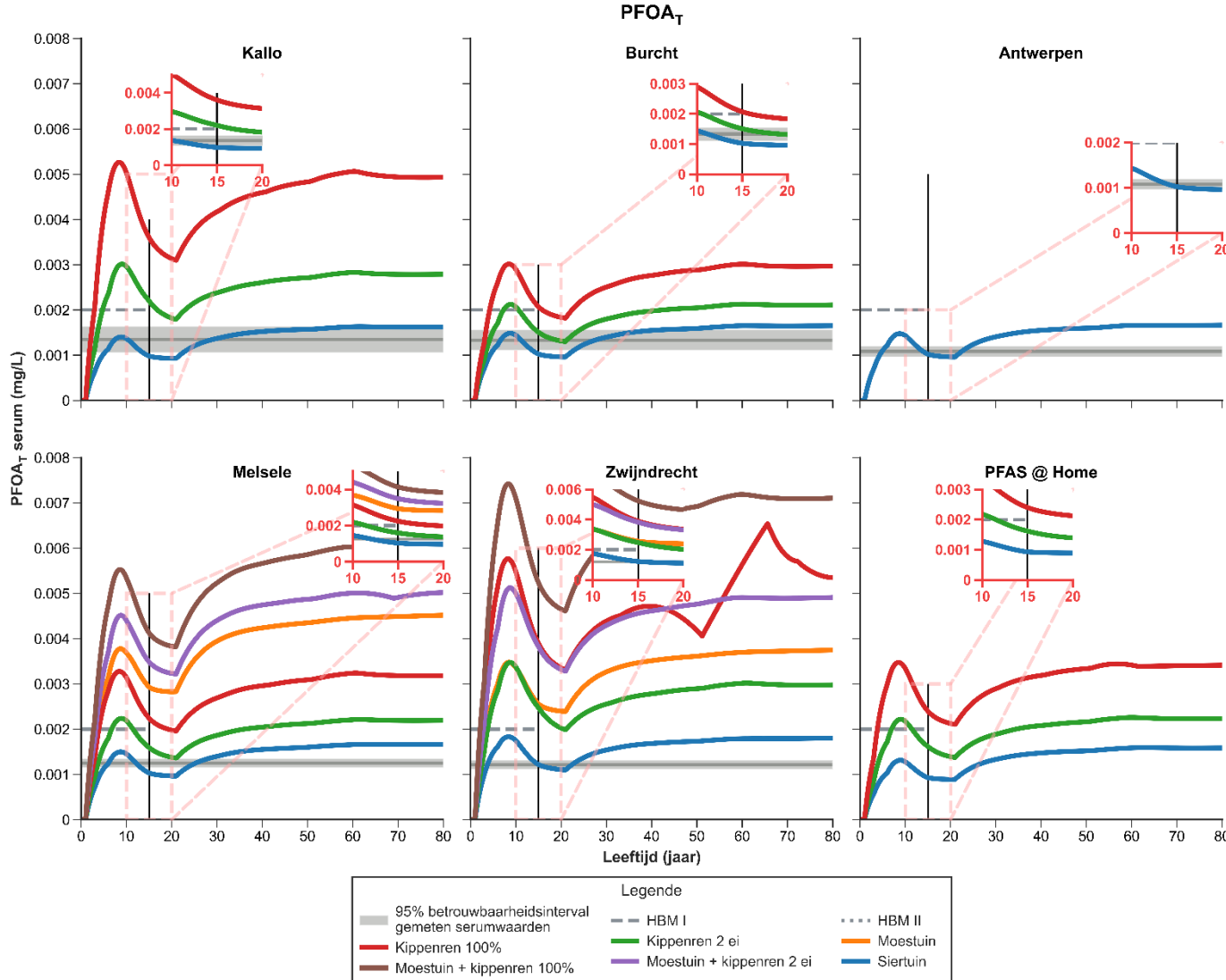
Daarnaast worden op Figuur 13 tot en met Figuur 15 tevens de meetwaarden ongeacht de levensstijl weergegeven via een 95% betrouwbaarheidsinterval rond de gemiddelde serumwaarde (grijze band).



Figuur 13 - Bijdrage van de verschillende levensstijlen aan de serumgehalten voor PFOS_{total} per woonzone.



Figuur 14 - Bijdrage van de verschillende levensstijlen aan de serumgehalten voor PFOA_{totaal} per woonzone



Figuur 15 - Bijdrage van de verschillende levensstijlen aan de serumgehalten voor PFOA_{totaal} per woonzone – detail om het aandeel van elke levensstijl weer te geven.

Bespreking PFOS _{totaal} voorspelde concentraties en meetwaarden in serum:

- Voorspelde serumconcentraties < meetwaarden in serum voor alle gemodelleerde woonzones met uitzondering van de scenario's kippenren 100% en moestuin + kippenren 100% voor Zwijndrecht.
- Voorspelde serumconcentraties voor siertuin zijn voor alle woonzones nagenoeg identiek.
- De impact van een moestuin op de voorspelde serumconcentraties is beperkt; in dezelfde grootteorde als siertuin en beperkte bijdrage in combinatie met ei-consumptie.
- De voorspelde serumconcentraties voor 100% ei van eigen kweek > 2 ei/week > moestuin > siertuin.
- Voorspelde serumconcentraties in Zwijndrecht > Melsele > Kallo, Burcht en Antwerpen.
- De voorspelde serumconcentraties voor PFAS@home liggen in dezelfde grootteorde als de voorspelde serumconcentraties voor het scenario 'siertuin', en het scenario '2 eieren' voor de woonzones Burcht en Kallo.

Het lijkt alsof de PFOS _{totaal} serumconcentraties voor alle woonzones worden onderschat. Een aantal mogelijke oorzaken/verklaringen kunnen zijn:

- een aantal blootstellingsbronnen en/of -routes worden niet meegenomen in de modellering. De blootstellingsmodellering in deze studie houdt immers geen rekening met blootstelling via consumentenproducten zoals cosmetica en PFAS houdend kookgerei, het gebruik van PFAS-houdende sprays, ... Ook de blootstelling ten gevolge van borstvoeding kon niet meegenomen worden.
- mogelijks wordt de blootstelling via leidingwater (drinkwater) onderschat. De blootstelling via drinkwater in S-Risk maakt deel uit van de blootstelling zoals gepubliceerd door EFSA (2020). EFSA gebruikt hiervoor een lower bound concentratie van **0,61 ng/l** voor PFOS (EFSA Appendix A – Tabel A.4). Deze concentratie is mogelijk lager dan de concentratie in leidingwater in het studiegebied. Volgens VMM (2022) kan de concentratie in het leidingwater van het studiegebied variëren van onder de rapporteergrens (0,5-1 ng/l) tot **maximaal 10 ng/l**. Naar aanleiding van deze bedenking werd reeds een verkennende oefening uitgevoerd om na te gaan wat de impact hiervan kan zijn op de externe en interne blootstelling en de voorspelde serumgehalten aan PFOS. Deze verkennende oefening werd uitgevoerd op de PFAS@home data (zie § 6). Uit deze oefening blijkt dat de blootstelling ten gevolge van drinkwater momenteel onderschat kan zijn. Het is dan ook aan te bevelen om het leidingwater te analyseren om na te gaan welke concentraties in leidingwater er effectief aanwezig zijn in de verschillende woonzones en/of in functie van de herkomst van het drinkwater (al dan niet zelfde leverancier van water).
- PFOS kan in serum terechtkomen via blootstelling aan precursoren die in het lichaam omgezet worden tot PFOS. In Balk *et al.* (2019) werd bij het bepalen van de interne blootstelling van 10,5 jaar oude Finse kinderen rekening gehouden met precursoren voor PFOS in binnenhuislucht en huisstof. Volgens de berekeningen bedroeg het aandeel PFOS in het serum afkomstig van precursoren tussen 2-6% van de totale hoeveelheid PFOS. Het gebruikte model Merlin-Expo houdt geen rekening met precursoren.
- Voor een aantal woonzones werden enkel scenario's met beperkte blootstelling doorgerekend (bijvoorbeeld voor Antwerpen enkel siertuin, voor Kallo en Burcht enkel siertuin en kippenren). De gemeten serumconcentraties zijn echter mogelijk deels afkomstig van deelnemers die wel groenten uit eigen tuin eten of eieren van eigen kweek (voor Antwerpen).

Bespreking PFOA_{totaal} voorspelde concentraties en meetwaarden in serum:

- Voorspelde serumconcentraties > meetwaarden in serum voor alle woonzones.
- Voorspelde serumconcentraties voor het scenario 'siertuin' of het scenario '2 eieren' (enkel Burcht) vallen binnen de P95 range van de gemeten gemiddelde serumconcentraties.
- Voorspelde serumconcentraties voor siertuin zijn voor alle woonzones nagenoeg identiek.
- De impact van een moestuin op de voorspelde serumconcentraties is groot.
- De voorspelde serumconcentraties in Melsele is in volgorde: moestuin en 100% ei > moestuin 2ei > moestuin > 100% ei > 2ei > siertuin.
- De voorspelde serumconcentraties in Zwijndrecht is in volgorde: moestuin en 100% ei > moestuin 2ei ~ 100% ei > moestuin ~ 2ei > siertuin.
- Voorspelde serumconcentraties in Zwijndrecht > Melsele > Kallo, Burcht en Antwerpen.

Uit een vergelijking van Figuur 13 met Figuur 14 wordt vastgesteld dat de voorspelde en gemeten serumgehalten voor PFOA veel lager zijn dan voor PFOS.

Op basis van Figuur 13 leiden we af dat voor Kallo, Burcht en Antwerpen de voorspelde serumgehalten voor PFOA voor het scenario 'siertuin' in dezelfde grootteorde liggen als voor PFAS@home (representatief voor wonen in niet gecontamineerd gebied; i.e. niet nabij een PFAS-bron).

Voor Burcht liggen ook de voorspelde serumgehalten voor het scenario '2 eieren' in dezelfde grootteorde als PFAS@home en komen de voorspelde waarden voor de 15-jarigen redelijk goed overeen met de meetwaarden in serum.

Ter hoogte van Kallo 'overschatten' de modellen beperkt de serumgehalten voor de scenario's waarbij er eieren geconsumeerd worden. Ter hoogte van Zwijndrecht en Melsele is deze overschatting groter. Op basis van de externe blootstelling (Figuur 4 en Figuur 8) bleek PFOA echter geen belangrijke bijdrage te hebben in de totale orale blootstelling en toch worden hogere serumgehalten voorspeld dan gemeten. Waaraan deze overschatting te wijten is, is moeilijk te verklaren.

6 VERGELIJKING MET PFAS@HOME

In 2022 werd de studie "Per- en poly-fluoralkylstoffen in en rond de woning" (Colles *et al.*, 2022), verder ook "PFAS@home" genoemd, afgerond. Deze studie had als doel om meer inzicht te verkrijgen in belangrijke blootstellingswegen waarlangs PFAS vanuit het milieu in het menselijk lichaam terecht komen en hoe deze kunnen bestudeerd worden. Deze studie op een beperkte studipopulatie had vooral de bedoeling om een aanpak en een methodologie uit te testen voor toekomstige studies. In totaal telde de studie 19 deelnemers woonachtig op voor PFAS onverdachte locaties die reeds eerder aan het Vlaamse Humaan Biomonitoringsprogramma deelgenomen hebben. De rekrutering van deze studie vond plaats in de periode januari-maart 2021. Tijdens PFAS@home werden PFAS gemeten in volgende stalen:

- Beschikbaar bij alle 19 deelnemers:
 - Bodem van de kippenren
 - Eieren van eigen kippen
 - Drinkwater van de kippen (leidingwater, regenwater of grondwater)
 - Leidingwater
 - Huisstof (van woonkamer, keuken en slaapkamer samengevoegd)
 - Serum

- Beschikbaar bij 15 deelnemers:
 - o Bodem van de moestuin
 - o 4 types groenten
 - o Irrigatiewater van de moestuin (leidingwater of regenwater)
- Beschikbaar bij 6 deelnemers: compost

Omdat niet voor alle milieuc compartimenten het totaal gehalte (d.i. de som van lineaire en vertakte PFAS congenen) werden gerapporteerd in de PFAS@home studie, zijn de externe en interne blootstellingsberekeningen in dit geval gebaseerd op de meetgegevens voor de **lineaire** PFOS en PFOA congenen. In de PFAS@home studie werden onderstaande geometrische gemiddelden gehanteerd (Tabel 19).

Deze waarden (geometrische gemiddelden) voor bodem, huisstof en eieren worden in het kader van deze studie doorgerekend op dezelfde wijze als in § 4 en dit voor scenario 1 (siertuin) en scenario 3 (kippenren).

Opgelet: Deze werkwijze is verschillend van deze die gehanteerd werd in de PFAS@home studie (o.a. een update van de achtergrondblootstelling op basis van EFSA 2020).

Voor het scenario kippenren werden ook hier de 3 varianten doorgerekend (i.e. S3.1, S3.2 en S3.3). Aangezien er onvoldoende meetgegevens waren voor groenten in de PFAS@home studie (meer dan 60% onder de LOQ) kunnen er geen scenario's voor moestuin of combinatie moestuin en kippenren (i.e. scenario 2 of scenario 4) doorgerekend worden.

Tabel 19 – Meetwaarden PFAS@home

Matrix	GM (min – max)	P75 (min – max)	eenheid
lineair PFOS			
Bodem ⁽¹⁾	0,53 (0,35-0,81)	0,74 (0,58-3,4)	µg/kg ds
Binnenhuisstof	0,93 (0,7-1,23)	1,04 (0,85-2,58)	ng/g ds ⁽²⁾
Putwater	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	ng/l
Ei	1,073 (0,66-1,743)	2,180 (1,563-4,652)	ng/g vg ⁽²⁾
Aardappel	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	µg/kg vg
Wortel	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	µg/kg vg
Sla	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	µg/kg vg
Boon	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	µg/kg vg
Commerciële voeding	1,09x10 ⁻⁴	(3)	mg/kg vg
lineair PFOA			
Bodem ⁽¹⁾	0,25 (0,18-0,36)	0,42 (0,28-0,63)	µg/kg ds
Binnenhuisstof	1,24 (0,78-1,97)	1,50 (1,07-7,83)	ng/g ds
Putwater	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	ng/l
Ei	0,416 (0,331-0,524)	0,522 (0,45-0,866)	ng/g vg
Aardappel	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	µg/kg vg
Wortel	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	µg/kg vg
Sla	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	µg/kg vg
Boon	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	µg/kg vg
Commerciële voeding	1,44x10 ⁻⁵	(3)	mg/kg vg

(1) Voor de berekening van de humane blootstelling wordt gebruik gemaakt van de bodemonsters uit de moestuin; (2) ds: droge stof; vg: versgewicht; (3) Niet van toepassing; (4) Meer dan 60% van de data zijn < LOQ

De invoergegevens in de juiste eenheden voor S-Risk zijn:

Milieucompartiment	Eenheid	PFOS	PFOA
Bodem	mg/kg ds	5,3E-04	2,5E-04
Huisstof	mg/kg ds	9,3E-04	1,24E-03
Ei	mg/kg vg	1,073E-03	4,16E-04

De unieke simulatienamen in S-Risk zijn:

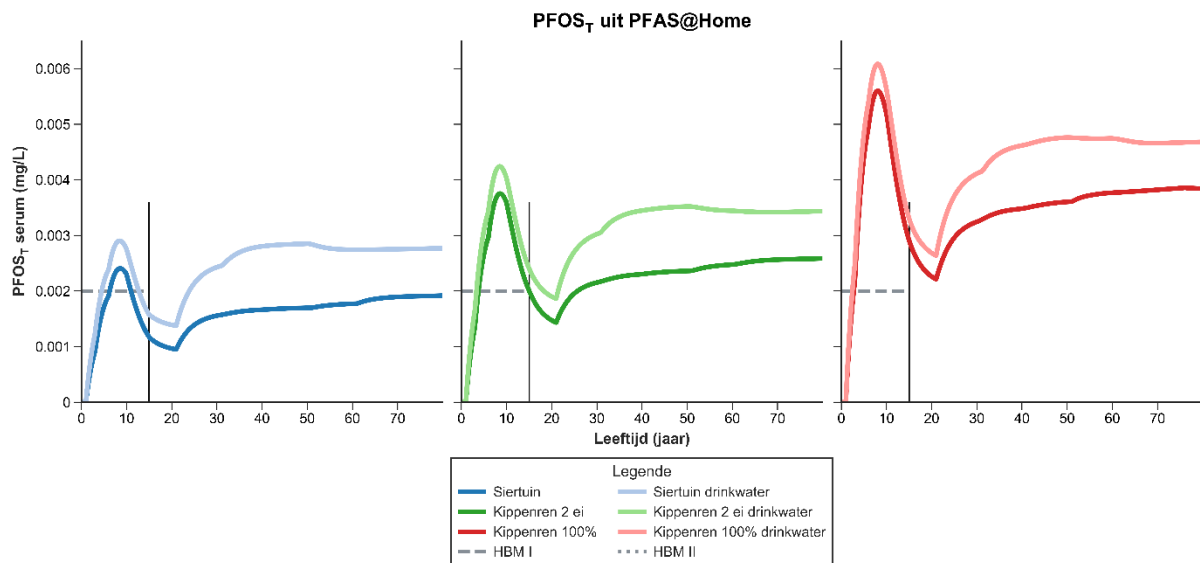
Naam: HBM II PFAS_home S1	Label: KT	Omschrijving: EFSA 2020	Applicatie II
Naam: HBM II PFAS_home S31	Label: KT	Omschrijving: EFSA 2020	Applicatie II
Naam: HBM II PFAS_home S32	Label: KT	Omschrijving: EFSA 2020	Applicatie II
Naam: HBM II PFAS_home S33	Label: KT	Omschrijving: EFSA 2020	Applicatie II

Zoals reeds aangegeven is het bij de interne blootstellingsberekeningen met Merlin wel mogelijk om 2 eieren van eigen kweek per week door te rekenen voor zowel de adolescenten als de volwassenen. Hiervoor werden de blootstellingsdosissen voor de adolescenten (6 – 10 jaar en 10 – 15 jaar in S-Risk) uit scenario S3.1 vervangen door deze van S3.3. De output (blootstellingsdosissen) van S-Risk dienen immers als input (invoergegevens) voor Merlin (§ 5).

De resultaten van de interne blootstellingsbepalingen voor de PFAS@home studie worden samen met de serumgehalten voor de woonzones visueel voorgesteld in Figuur 13 tot en met Figuur 15 (§ 5.1) en getoetst aan de HBM I en II waarden vooropgesteld door UBA (2016; 2020).

Bij de bespreking van de resultaten van de PFOS_{totaal} serumconcentraties van de verschillende woonzones (§ 5.1) werd vastgesteld dat het model de serumgehalten aan PFOS onderschat. Een van de mogelijke oorzaken/verklaringen was dat de blootstelling via leidingwater (drinkwater) onderschat wordt. De blootstelling via drinkwater in S-Risk maakt deel uit van de blootstelling zoals gepubliceerd door EFSA (2020). EFSA gebruikt hiervoor een lower bound concentratie van **0,61 ng/l** voor PFOS (EFSA Appendix A – Tabel A.4). Deze concentratie is mogelijk lager dan de concentratie in leidingwater in het studiegebied. Volgens VMM (2022) kan de concentratie in het leidingwater van het studiegebied variëren van onder de rapporteergrens (0,5-1 ng/l) tot **maximaal 10 ng/l**.

Naar aanleiding van deze bedenking werd een verkennende oefening uitgevoerd om na te gaan wat de impact van hogere concentraties in leidingwater kan zijn op de externe blootstelling, maar ook op de interne blootstelling, nl. de voorspelde serumgehalten aan PFOS. Deze verkennende oefening werd uitgevoerd op de PFAS@home data en de maximale drinkwaterconcentratie van 10 ng/l die kan voorkomen in de regio. De resultaten, i.e. de impact op de voorspelde serumgehalten voor de verschillende levensstijlen, wordt weergegeven op onderstaande figuur.



Uit deze figuur blijkt dat de blootstelling ten gevolge van drinkwater momenteel onderschat kan zijn. Het is dan ook aan te bevelen om het leidingwater te analyseren om na te gaan welke concentraties in leidingwater er effectief aanwezig zijn in de verschillende woonzones en/of in functie van de herkomst van het drinkwater (al dan niet zelfde leverancier van water).

7 BELEIDSADVIEZEN M.B.T. EXTERNE EN INTERNE BLOOTSTELLING

7.1 OPZET EN UITVOERING VAN DE STUDIE

Standaard wordt in een HBM-studie geen onderscheid gemaakt tussen verschillende woonzones. In dit geval is de studie opgezet naar aanleiding van de aanwezigheid van een PFAS puntbron, namelijk de site 3M te Zwijndrecht. Bijgevolg kan de afstand van de bron in combinatie met windrichting een belangrijke impact hebben op de gemeten concentraties in de verschillende milieucompartimenten (bodem en huisstof) en lokaal geteelde voeding (groenten en eieren). Om deze reden werd voor de modellering gedifferentieerd volgens afstand en windrichting van de bron en werd er wel met woonzones gewerkt.

In deze studie kan niet voor alle scenario's en zones de blootstelling gemodelleerd worden omdat onvoldoende meetdata beschikbaar zijn. Wanneer humane biomonitoringsstudies uitgevoerd worden in de nabijheid van gecontamineerde gebieden wordt aanbevolen om reeds bij de opzet van de studie na te gaan of voor alle zones voldoende data beschikbaar zullen zijn om de verschillende blootstellingsbronnen en -routes mee te kunnen nemen in de modellering.

Daarnaast wordt aanbevolen om de diversiteit in bemonsterde gewassen voor de modellering en statistische analyse te beperken tot een beperkt aantal groenten, bv. maximaal één type groente per gewasgroep (wortel-, blad-, bol-, kool-, peul-, stengel- en vruchtgewassen en aardappelen) of minimaal de aanpak zoals voorgesteld in de Code van Goede Praktijk: Richtlijnen voor onderzoek van moestuin of kippenren (Touchant *et al.*, 2017).

Deze aanpak werd ook gehanteerd in de PFAS@home studie. Hierbij wordt van 4 gewastypes (i.e. een blad-, wortel-, knol- en koolgewas conform de samenstelling van een ‘standaard groentepakket’) het nodige plantgoed en zaden aan de deelnemers bezorgd. Voor deze laatste aanpak moet voldoende tijd worden voorzien in de studieopzet, daar er slechts 1 groeiseizoen per jaar is en deze aanpak de nodige organisatie vergt.

De berekeningen voor de interne blootstelling (§ 5.1) tonen aan dat er mogelijk nog heel wat onzekerheden zijn wat betreft de modellering. Aanbevolen wordt om de wetenschappelijke evoluties met betrekking tot PBPK-modellering van PFAS te blijven opvolgen en – indien mogelijk – toe te passen in volgende studies.

Uit de interne blootstellingsresultaten voor PFOS bleek dat de blootstelling ten gevolge van drinkwater momenteel onderschat kan zijn. Het is dan ook aan te bevelen om het leidingwater (kraantjeswater woningen) te laten analyseren om na te gaan welke concentraties in leidingwater er effectief aanwezig zijn in de verschillende woonzones en/of in functie van de herkomst van het drinkwater (al dan niet zelfde leverancier van water).

7.2 RESULTATEN VAN DE STUDIE

Wanneer de gemodelleerde externe blootstelling voor de EFSA 4 vergeleken wordt met de TWI (EFSA, 2020) blijkt dat reeds in het scenario siertuin de TWI benaderd wordt. **Bijkomende blootstelling via groenten van eigen teelt of eieren van eigen kweek zou in principe zo veel als mogelijk moeten vermeden worden** wil men de EFSA TWI niet overschrijden.

PFOS heeft de belangrijkste bijdrage aan de EFSA 4 blootstelling, en dit via de consumptie van eieren van eigen kweek. De bijdrage van groenten van eigen kweek is voor de EFSA 4 PFAS enkel belangrijk voor PFHxS. De bijdragen via ingestie van bodem en stof en permeatie van drinkwaterleidingen zijn verwaarloosbaar in vergelijking met deze van het eten van zelfgeteelde voeding. De blootstelling is het hoogst voor de studiezone Zwijndrecht. **Aanbevolen wordt dan ook om de *no regret* maatregelen¹⁰ stand te laten houden.**

De blootstelling aan PFDA werd niet vergeleken met een GGW. Voor de blootstelling aan PFBA blijkt dat deze voor alle scenario's ruim onder de RfD van 1.10^{-3} mg/kg dag ligt.

De interne blootstelling aan PFOS is niet gemakkelijk te voorspellen omwille van een aantal onzekerheden zoals besproken in (§ 5.1), maar de resultaten komen in grote lijnen wel overeen met deze van de externe blootstellingsberekeningen.

¹⁰ <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/zwijndrecht/no-regret-maatregelen-zwijndrecht>

8 REFERENTIES

- ATSDR (2021) Toxicological Profile for Perfluoroalkyls, pp. 993.
- Balk, F.G.P., Winkens Pütz, K., Ribbenstedt, A., Gomis, M.I., Filipovic, M. & Cousins, I.T. (2019) Children's exposure to perfluoroalkyl acids – a modelling approach. *Environmental Science: Processes & Impacts*, **21**, 1875-1886.
- Berghmans, P., De Brouwere, K. & Peters, J. (2021) Tussentijdse bevindingen PFAS concentraties in fijn stof in de omgevingslucht Oosterweel Luchtmetingen zomer 2021, pp. 31.
- Brochot, C. & Quindroit, P. (2018) *Modelling the fate of chemicals in humans using a lifetime physiologically based pharmacokinetic (PBPK) model in MERLIN-expo in: Modelling the Fate of Chemicals in the Environment and the Human Body*. Springer.
- Colles, A., Bierkens, J., Jacobs, G., Govarts, E., Van Holderbeke, M., Touchant, K., Cops, J., Willems, H., Franken, C., Den Hond, E., Groffen, T., Lasters, R. & Bervoets, L. (2022) Per- en poly-fluoralkylstoffen in en rond de woning.
- EFSA (2020) Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. Scientific Opinion. Adopted: 9 July 2020. doi: 10.2903/j.efsa.2020.6223. *EFSA Journal*, **18**.
- ERM (2022) 1st Gefaseerd beschrijvend bodemonderzoek. Gebied ten zuiden van de autosnelwe E34 & 3M-fabriek Zwijndrecht. Initiële beoordeling van de humane risico-evaluatie van PFAS in bodem. Rapport d.d 10 februari 2022, met als projectreferentie 0540247. .
- Geerts, L. & Van Holderbeke, M. (2023) Proposal for soil remediation standards for groundwater for selected PFAS: PFBA, PFBS, PFPeA, PFHxA, PFHxS, PFNA, 6:2 FTS and 8:2 FTS (draft).
- Loccisano, A.E., Campbell, J.L., Andersen, M.E. & Clewell, H.J. (2011) Evaluation and prediction of pharmacokinetics of PFOA and PFOS in the monkey and human using a PBPK model. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **59**, 157-175.
- Poothong, S., Papadopoulou, E., Padilla-Sánchez, J.A., Thomsen, C. & Haug, L.S. (2020) Multiple pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs): From external exposure to human blood. *Environment International*, **134**, 105244.
- Touchant, K., Van Holderbeke, M., De Brouwere, K., Geerts, L., Joris, I., Torfs, R. & Seuntjens, P. (2022) Bindend normenkader voor PFOS en PFOA.
- Touchant, K., Van Keer, I., Bal, N. & Van Gestel, G. (2017) Code van Goede Praktijk Richtlijnen voor onderzoek van moestuin of kippenren, pp. 75.
- UBA (2016) HBM I values for Perfluorooctanoic acid (PFOA) und Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in blood plasma. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, **59**, 1364-1364.
- UBA (2020) HBM-II-Werte für Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) in Blutplasma – Stellungnahme der Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, **63**, 356-360.
- US EPA (2022) IRIS Toxicological Review of Perfluorobutanoic Acid (PFBA, CASRN 375-22-4) and Related Salts, pp. 145.
- VMM (2022) Perfluorverbindungen in drinkwater - 2021, pp. 60.