

PFAS in grond en water in moestuinen

in de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden

10 januari 2023



Contactpersonen

ELISABETH VAN BENTUM
PFAS specialist

M +31 611355284
E elisabeth.vanbentum@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 1018
5200 BA 's-Hertogenbosch
Nederland

TESSA PANCRAS
Senior specialist

T +31 884261261
M +31 611032744
E tessa.pancras@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

Inhoudsopgave

Publiekssamenvatting	6
1 Inleiding	8
1.1 PFAS in de regio Zuid-Holland Zuid	8
1.2 Onderzoeksvragen	10
1.3 Onderzoekstructuur	11
1.4 Overwegingen bij het onderzoek	11
1.5 Leeswijzer	12
2 Onderzoekopzet, monsternamen en analyse	13
2.1 Clustering en monsternamenlocaties	13
2.1.1 Selectie moestuincomplexen	13
2.1.2 Bemonsteringslocaties en mengmonsters	14
2.2 Monsternamen en analyse	15
2.2.1 Groenten en fruit	15
2.2.2 Grond en water	16
3 Aandachtspunten bij onderzoek naar PFAS	18
3.1 Gezondheidskundige grenswaarde en PEQ	18
3.2 Meten rond detectieniveau	20
3.3 PFAS lineair en vertakt en de 0,7 factor	20
3.4 Achtergrondconcentraties PFAS	20
3.5 Bodemtypecorrectie	21
3.6 Risicogrenswaarden bodem en water	21
4 PFAS in groenten en fruit	23
4.1 Onderzoeksvragen	23
4.2 Gemeten concentraties in groente en fruit in relatie tot afstand tot DuPont/Chemours	23
4.3 Inname PFAS via groenten en fruit in relatie tot afstand tot DuPont/Chemours (RIVM)	25
4.4 Verschil in opname tussen verschillende soorten groenten en fruit	27

4.5	Het effect van aanhangende grond	29
5	PFAS in grond en water	30
5.1	Onderzoeksvragen	30
5.2	Samenvatting concentraties PFOA en GenX	30
5.2.1	Grond	30
5.2.2	Water	33
5.3	Samenvatting overige PFAS	36
5.3.1	PFOS	36
5.3.2	Overige PFAS	37
5.4	PFOA en GenX concentraties t.o.v. van de afstand tot DuPont/Chemours	39
5.4.1	Grond	39
5.4.2	Water	40
5.5	Aanvullend onderzoek - Relatie grondgebruik en PFAS-concentraties	42
5.5.1	Aanleiding	42
5.5.2	PFOA-concentraties in verhouding tot eerdere onderzoeken	42
5.6	Advies gebruik grond en water in de moestuinen	46
6	Verband tussen concentraties in gewas en grond/water	48
6.1	Onderzoeksvraag	48
6.2	Relatie tussen PFAS in gewas en PFAS in grond en water	49
6.2.1	Werkwijze	49
6.2.2	Beoordeling relatie	49
6.3	Bioconcentratiefactoren onder veldomstandigheden	52
6.4	Bij welke concentraties in de bodem kunnen in de groenten en fruit verhoogde concentraties verwacht worden?	54
7	Samenvatting, conclusies en advies	57
	Adviezen voor de moestuingebruikers	58
	Adviezen voor de gemeenten/omgevingsdienst	59
	Algemene aanbevelingen	60
	Voorbehoud	60
8	Literatuurlijst	61

Bijlagen

Bijlage 1 Afkortingen en begrippenlijst	62
Bijlage 2 Referentielijst rapporten Tritium	63
Bijlage 3 Overwegingen gebruik RPF-factoren en PFOA-equivalenten	64
Bijlage 4 Boxplots concentraties PFOA, GenX in gewassen	68
Bijlage 5 Boxplots PFOS en GenX in grond	70
Bijlage 6 Advieslijst PFAS	72
Bijlage 7 Aanvullende figuren en tabellen gewas versus grond en water	73
Colofon	82

DISCLAIMER

Hoewel de bodemonderzoeken die ten grondslag liggen van dit rapport op zorgvuldige wijze zijn voorbereid en uitgevoerd, kan niet worden uitgesloten dat er in werkelijkheid afwijkingen optreden ten opzichte van de in dit rapport gepresenteerde resultaten. Immers, elk bodemonderzoek is gebaseerd op het nemen van een aantal monsters/steekproeven, maar waarbij (lokale) afwijkingen niet volledig kunnen worden uitgesloten.

Publiekssamenvatting

PFAS in grond, water, groenten en fruit in de gemeenten Dordrecht, Sliedrecht, Papendrecht en Molenlanden

De fabriek van het chemiebedrijf DuPont/Chemours in Dordrecht heeft tot 2012 PFOA uitgestoten naar de lucht. PFOA is een stof die schadelijk is voor de gezondheid en die hoort tot de groep van PFAS. PFOA is via de lucht tot tientallen kilometers van de fabriek in de bodem terechtgekomen. Sinds 2012 is PFOA vervangen door GenX. Omdat PFOA in het milieu niet afbreekt, wordt het ook na jaren nog aangetroffen in grond, water en groenten en fruit. Ook GenX wordt in de omgeving aangetroffen, maar in lagere concentraties en minder ver van de fabriek.

Van PFAS is bekend dat blootstelling vooral plaatsvindt via gewasconsumptie. Daarom is door het RIVM uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar PFAS in moestuingewassen¹. Uit dit onderzoek blijkt, dat groenten en fruit uit moestuinen die verder dan een kilometer van de fabrieken van DuPont/Chemours in Dordrecht liggen, gegeten kunnen worden. Voor een aantal van deze moestuinen adviseert het RIVM om het eten van gewassen af te wisselen met groenten en fruit uit de supermarkt. Het RIVM adviseert geen gewassen te eten uit moestuinen die op minder dan 1 kilometer ten noordoosten van het chemiebedrijf liggen. Door uit deze moestuinen te eten kunnen mensen zoveel PFAS binnenkrijgen, dat effecten op de gezondheid niet kunnen worden uitgesloten (zie Figuur 1).

Aansluitend op dit onderzoek zijn ook de grond en het (irrigatie)water uit de moestuincomplexen onderzocht. Dit maakt het mogelijk om de resultaten van het gewasonderzoek van het RIVM te vertalen naar andere locaties, én om adviezen te geven voor het gebruik van grond en water bij het verbouwen van voedsel in moestuincomplexen, particuliere tuinen en de openbare ruimte. In dit rapport worden de resultaten van dit aanvullende onderzoek beschreven.

Gemeten concentraties in grond en water (2022)

Voor het onderzoek zijn 10 clusters van moestuincomplexen en individuele moestuinen onderzocht, waaronder een referentiecluster. Het referentiecluster is een groep tuinen die naar verwachting niet is beïnvloed door de uitstoot van de fabriek. De indeling in clusters is gekozen op basis van de afstand tot de fabriek en de overheersende windrichting. De clusters zijn met letters weergegeven in Figuur 1.

PFOA wordt in alle clusters aangetroffen in de grond, het grondwater en in het slotwater. In het water uit de aanwezige regentonnen is geen of weinig PFOA aangetroffen. Zowel voor de groenten en het fruit als voor de grond en het grond-, regen- en slotwater geldt dat hoe verder de tuin van de fabriek vandaan ligt, hoe lager de concentraties PFAS zijn. Tuinen die vanaf de fabriek in de overheersende windrichting liggen (de wind waait vooral in noordoostelijke richting) hebben hogere concentraties in grond, water en gewassen dan tuinen waar de wind minder vaak naar toe waait.

Bij hoge PFAS-concentraties in de grond en/of het water worden duidelijk hogere PFAS-concentraties in groenten en fruit aangetroffen (cluster B-S). Op locaties waar lagere PFAS-concentraties in de grond en het water worden aangetroffen zijn ook de PFAS-concentraties in groenten en fruit lager. De relatie tussen de concentraties in gewassen en in grond is echter niet volledig eenduidig.

Conclusies voor gebruik moestuinen

De resultaten zijn vergeleken met de meest recente risicogrenswaarden. Risicogrenswaarden zijn concentraties in het milieu waarboven nadelige effecten op mens of milieu niet kunnen worden uitgesloten. Op basis van de gemeten concentraties in grond, water en gewassen en de meest recente risicogrenswaarden, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- A. Regenwater** kan overal worden gebruikt om de groenten en fruit water te geven. Omdat PFAS langdurig kunnen hechten aan het oppervlak van oude regentonnen wordt wel geadviseerd om in de buurt van de fabriek van DuPont/Chemours (clusters B-P, B-S en E) oude regentonnen te vervangen. **Slootwater** kan in de clusters A, C, D, E, F, G, H en R gebruikt worden om groenten en fruit water te geven.

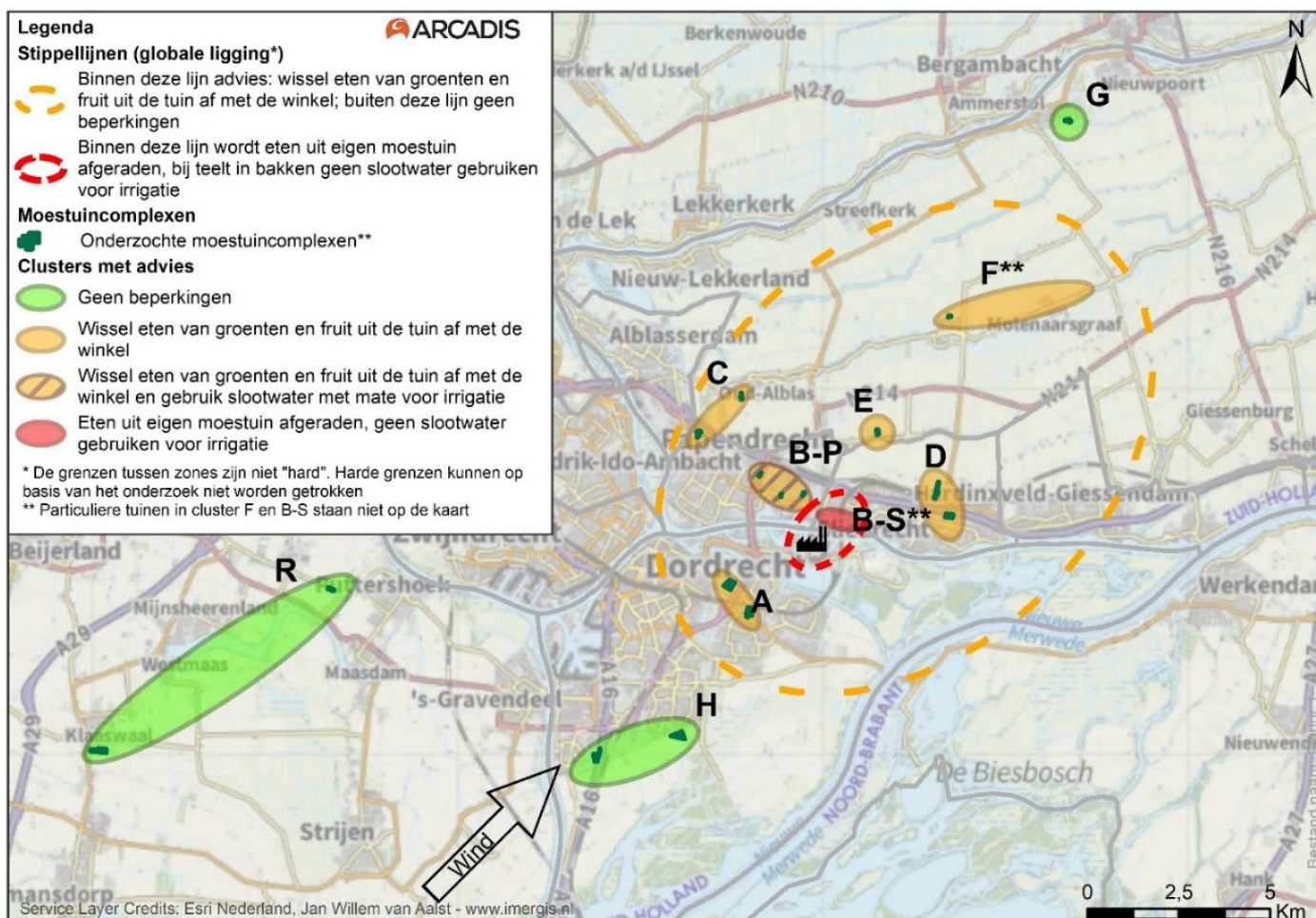
¹ Risicobeoordeling van PFAS in moestuingewassen uit moestuinen in de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden, RIVM-briefrapport 2022-0010, 2022

In cluster B-P wordt aangeraden terughoudend te zijn met het gebruik van slotwater. In cluster B-S wordt het gebruik van slotwater voor de moestuin afgeraden.

- B. Grond** in moestuinen heeft gemiddeld gesproken lagere PFOA-concentraties dan de grond van direct omliggende percelen. Dit is waarschijnlijk als gevolg van langdurige, intensievere bewatering en bewerking. De resultaten van het gewasonderzoek van RIVM zijn hierdoor mogelijk niet representatief voor recente of nieuw aan te leggen moestuinen in de nabije omgeving van de onderzochte complexen. Het advies is daarom voor het aanleggen van nieuwe moestuinen of voedselbossen op percelen waar nog geen intensieve bewerking heeft plaatsgevonden, altijd eerst een bodemonderzoek uit te laten voeren naar de concentraties PFOA in grond. In het huidige rapport wordt hiervoor een voorstel gedaan voor te hanteren toetswaarden.
- C. In cluster B-S (Sliedrecht)** is het mogelijk om groenten en fruit te telen indien gebruik wordt gemaakt van bakken met nieuwe grond. Voor de bewatering kan regenwater of kraanwater worden gebruikt. Het gebruik van slotwater wordt in dit cluster afgeraden.

De resultaten van het grond en wateronderzoek bevestigen de resultaten van het RIVM: groenten en fruit uit de moestuinen in cluster B-S, direct benedenwinds van DuPont/Chemours kunnen beter niet gegeten worden. Verder weg van DuPont/Chemours, in de clusters A, B-P, C, D, E en F kunnen de groenten en het fruit worden gegeten, als dit afgewisseld wordt met groenten en fruit uit de winkel. In de verder weg gelegen clusters G, H en R zijn de concentraties in groenten en fruit lager en zijn er geen beperkingen met betrekking tot het eten uit de tuin.

In alle gevallen wordt aangeraden om aanhangende grond zo goed mogelijk te verwijderen en groenten en fruit goed te wassen voor consumptie.



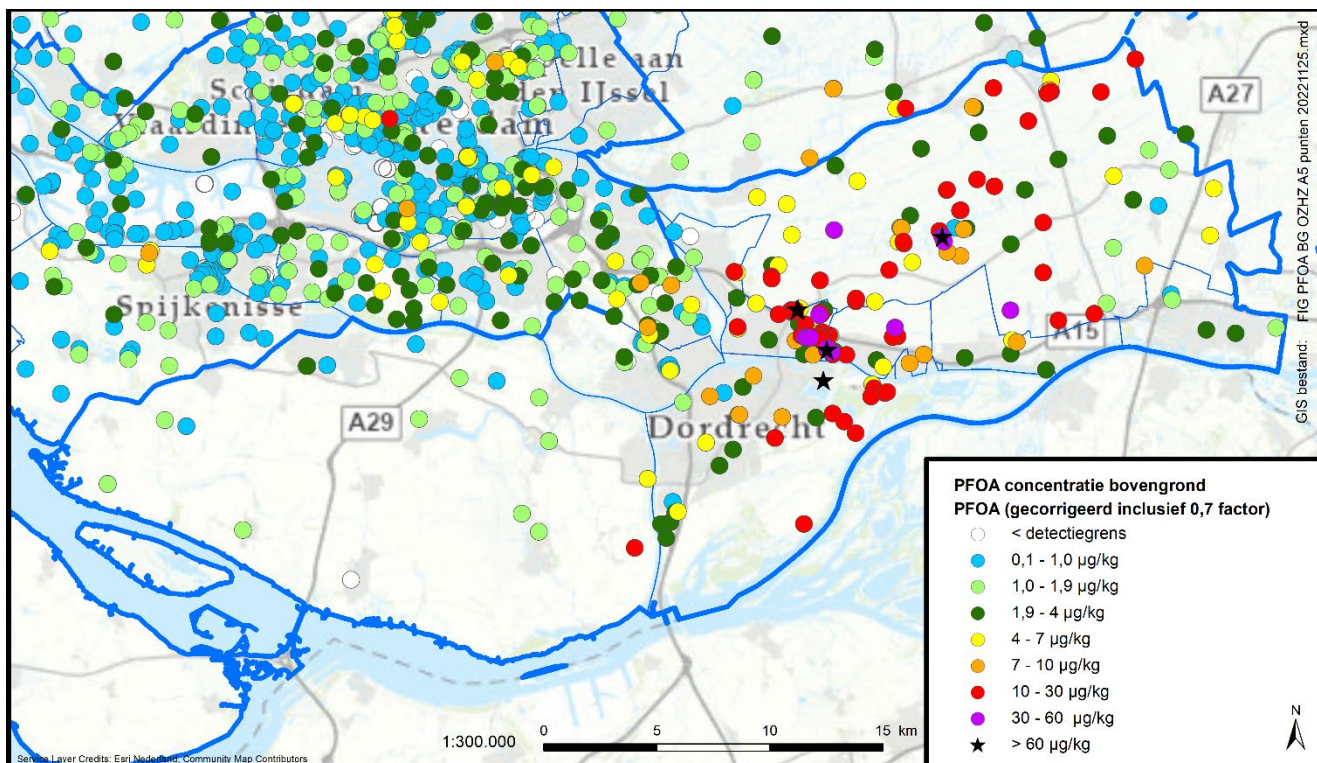
Figuur 1 Overzichtskaart met adviezen, de clusters zijn weergegeven met letters.

1 Inleiding

1.1 PFAS in de regio Zuid-Holland Zuid

PFAS in de bodem

PFAS (poly- en perfluoralkylstoffen) staan de laatste jaren enorm in de aandacht. Deze stoffen worden wijdverspreid in het milieu aangetroffen en al bij lage waarden in de grond zijn er mogelijk gezondheidsrisico's. De toetsingswaarden zijn vanwege deze gezondheidseffecten erg streng. In 2015 kwam de fabriek van DuPont/Chemours in Dordrecht in beeld (voorheen DuPont, sinds 2015 Chemours). Het bleek dat sinds de jaren 60 van de vorige eeuw door deze fabriek grote hoeveelheden PFAS (met name perfluorooctaanzuur, ook wel PFOA) zijn uitgestoten naar het milieu. Om de impact van deze uitstoot te bepalen zijn sinds 2016 meerdere onderzoeken in de omgeving uitgevoerd naar de concentraties PFAS in grond en grondwater^{2, 3, 4, 5, 6}. Tot op tientallen kilometers afstand van de fabriek zijn verhoogde concentraties PFAS aangetroffen in de bodem (Figuur 2).



Figuur 2 PFOA in bovengrond in de regio Zuid-Holland Zuid (gecorrigeerde concentraties in µg/kg). Gebaseerd op Bodemverwachtingkaart PFOS en PFOA Zuid-Holland, PZH-2022-803414091⁷.

De PFAS zijn in de omgeving terechtgekomen door atmosferische depositie vanuit de fabriek van DuPont/Chemours. PFOA is als hulpstof in de fabriek gebruikt en uitgestoten tot 2012 en GenX (2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propaanzuur) in de periode daarna. In onderstaande figuur is dat visueel weergegeven.

² Luchtdepositie onderzoek PFOA en HFPO-DA (GenX) Dordrecht en omgeving. Expertisecentrum PFAS, ECP 012017/ 20DDT221-1.17, mei 2017.

³ Aanvullend luchtdepositie onderzoek PFOA en HFPO-DA (GenX) Dordrecht en omgeving. Expertisecentrum PFAS, C05044.000229.0100/079794902 A, 26 maart 2018.

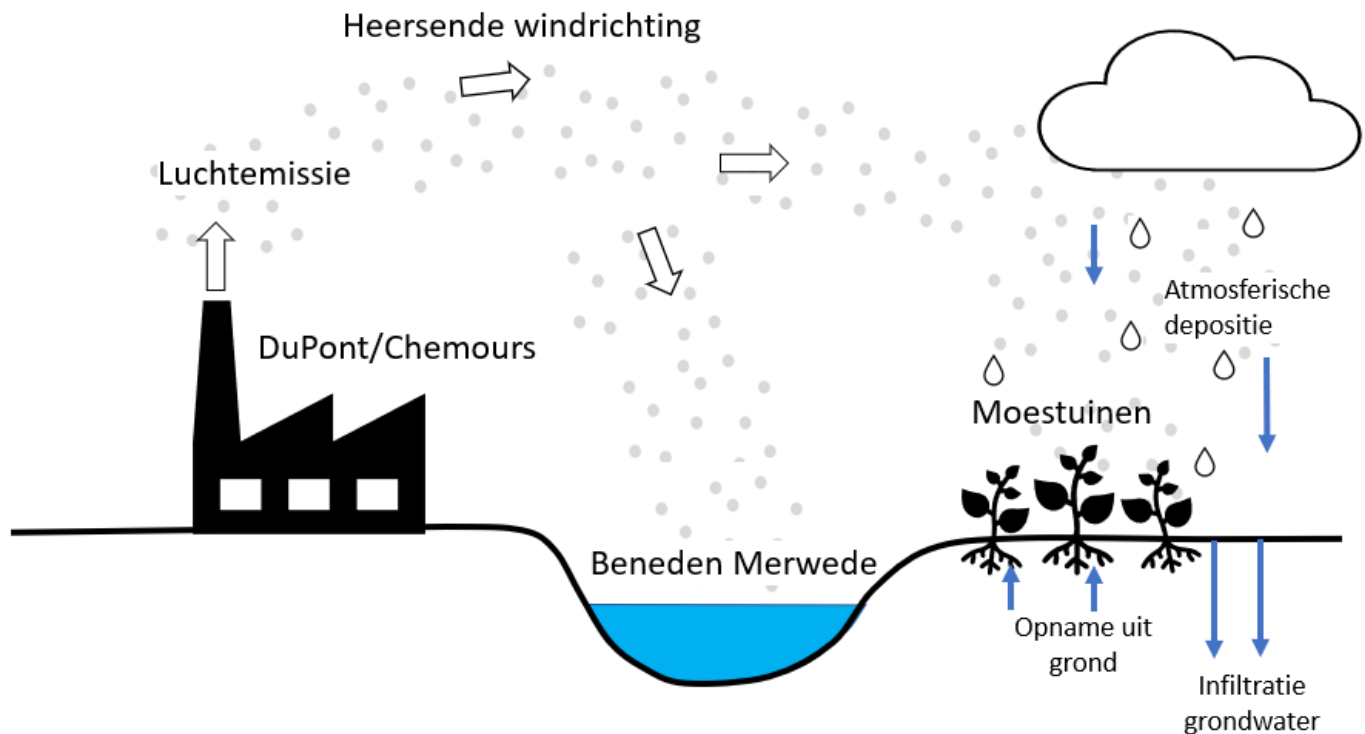
⁴ Onderzoek naar de aanwezigheid van PFOA in de gemeente Molenwaard- Fase 1, 2 en 3, Expertisecentrum PFAS, 26 oktober 2018.

⁵ Onderzoek naar de maximale gehalten PFOA in de bodem binnen gemeente Giessenlanden, LievenseCSO Milieu B.V., 15 augustus 2018.

⁶ Onderzoek naar de aanwezigheid van PFOA in de gemeente Molenlanden, Fase 4, Expertisecentrum PFAS, 083989033 B (C05044.000325.0100), 3 oktober 2019.

⁷ Bodemverwachtingkaart PFOS en PFOA Zuid-Holland, PZH-2022-803414091, in voorbereiding.

Conceptueel model atmosferische depositie Dordrecht



Figuur 3 Conceptueel model atmosferische depositie Dordrecht.

PFAS in groenten en fruit

In 2017-2018 heeft het RIVM het eerste onderzoek uitgevoerd naar PFAS in groenten en fruit uit moestuinen in Dordrecht, Papendrecht en Sliedrecht tot 4 km van de DuPont/Chemours fabriek. Daarbij werd geadviseerd om binnen een straal van 1 km van de fabriek de consumptie van groenten en fruit uit de moestuinen te beperken. In 2020 heeft EFSA (European Food Safety Authority) een strengere (lagere) gezondheidskundige grenswaarde afgeleid voor PFAS. Deze strengere waarde was de aanleiding om dit advies te herzien. Bij de herziening in 2021 (dit was een herberekening zonder nieuwe monsternamen) adviseerde het RIVM om groenten en fruit binnen een straal van 1 km rondom DuPont/Chemours helemaal niet meer te consumeren⁸. Voor het gebied tussen 1 en 4 km vanaf DuPont/Chemours waren te weinig gegevens bekend om hier een uitspraak over te kunnen doen. Dit leidde tot de noodzaak voor een actualisatie en uitbreiding van het gewasonderzoek.

⁸ Herziening van de risicobeoordeling van GenX en PFOA in moestuingewassen in Dordrecht, Papendrecht en Sliedrecht. RIVM-briefrapport 2021-0064, 2021.

Aanleiding en doel huidig onderzoek

In 2021 startten de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden met een uitgebreider gewasonderzoek in de moestuincomplexen in de vier gemeenten. Daarbij zijn groenten en fruit uit moestuinen uit een groter gebied dan het onderzoek in 2017 onderzocht, en zijn meer groenten en fruit bemonsterd en geanalyseerd op een groter pakket aan PFAS-verbindingen dan voorheen. Het RIVM heeft op basis daarvan de inname van PFAS via moestuingewassen berekend, vergeleken met de gezondheidkundige grenswaarde en vervolgens een aantal consumptieadviezen uitgebracht⁷.

Om de resultaten uit het gewasonderzoek te kunnen “vertalen” naar andere locaties is in ieder complex waar de groenten en fruit werden bemonsterd ook een onderzoek uitgevoerd van de bodem en het (irrigatie)water. In de moestuincomplexen zijn de grond, het grondwater, slootwater en regenwater bemonsterd. De huidige rapportage richt zich, in uitbreiding op het onderzoek van het RIVM, op de relatie tussen de PFAS-concentraties in de groenten en fruit en de concentraties in grond en water, om zo tot geïntegreerde gebruiksadviezen voor de moestuincomplexen te komen. Het doel van deze rapportage is vanuit een breed perspectief de analyses van de groenten en fruit te koppelen aan de analyses in grond, grondwater, slootwater en regenwater om daarmee een betere inschatting te maken van de mate van risico van een verontreiniging in de bodem bij overschrijdingen van de risicogrenswaarden voor PFOA in grond bij het scenario 'wonen met moestuin'.

1.2 Onderzoeksvragen

Dit onderzoek naar de relatie tussen concentraties in water, grond en groenten en fruit is onderdeel van een groter onderzoek, waarbij de hoofdvraag was of de groenten en fruit uit de moestuinen veilig gegeten kunnen worden. Deze hoofdvraag is door het RIVM beantwoord in de rapportage *Risicobeoordeling van PFAS in moestuingewassen uit moestuinen in de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden*⁹. In het RIVM-rapport is alleen gekeken naar de inname van PFAS via groenten en fruit.

In dit onderzoek wordt ingegaan op aanvullende onderzoeksvragen:

1. *Wat zijn de concentraties in groenten en fruit en hoe staan de gemeten concentraties in de groenten en fruit in relatie tot de afstand (en windrichting) tot DuPont/Chemours?*
2. *Kunnen de concentraties in de groenten en fruit gerelateerd worden aan de concentraties in de grond en/of het sloot- en regenwater dat gebruikt wordt om de planten water te geven? En wat draagt het meeste bij aan opname van PFAS in groenten en fruit, is dat grond of water?*
3. *Kan er op basis van de resultaten een gewasspecifiek advies gegeven worden?*
4. *Wat zijn de gemeten concentraties in grond, grond-, sloot-, en regenwater? En hoe staan die in relatie tot elkaar en de afstand (en windrichting) tot DuPont/Chemours?*
5. *Speelt aanhangende grond (in of aan de schil) een rol in de gemeten concentraties in de groenten en fruit?*

Het achterliggende doel van het rapport is om de gebruikers van de moestuin meer inzicht te geven of, en hoe, ze zelf maatregelen kunnen nemen om de blootstelling aan PFAS te verminderen:

1. via de consumptie van groenten en fruit;
2. via de aanpassing in de wijze van gebruik van de moestuin (grond, regenwater, slootwater, grondwater).

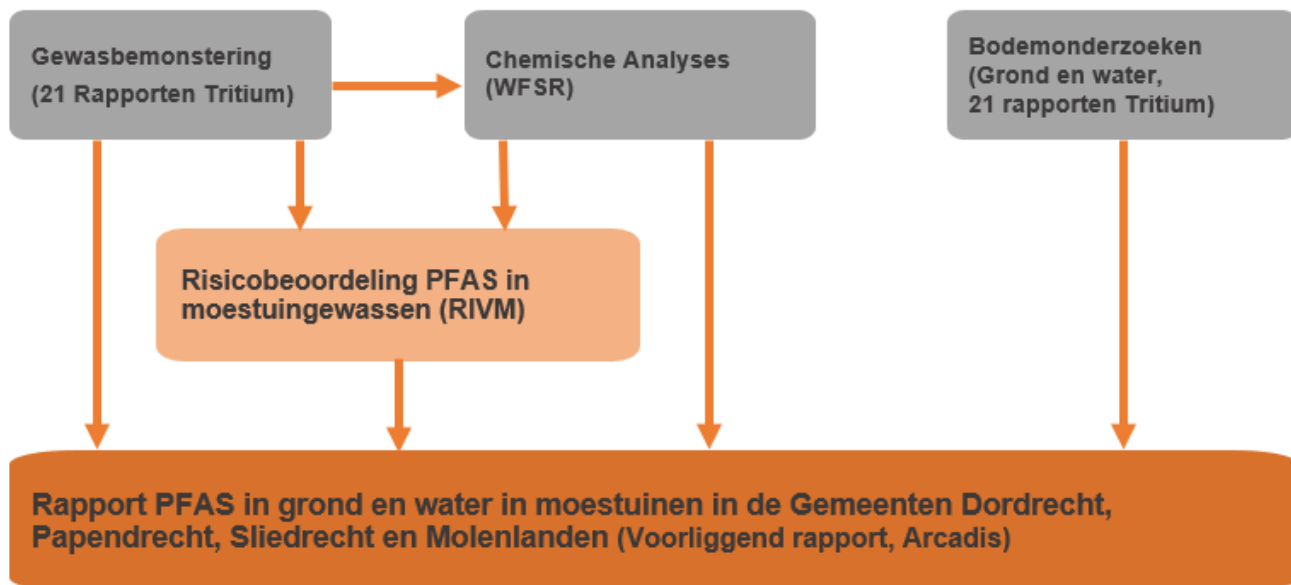
⁹ Risicobeoordeling van PFAS in moestuingewassen uit moestuinen in de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden, RIVM-briefrapport 2022-0010, 2022.

1.3 Onderzoekstructuur

Het totale moestuinonderzoek heeft bestaan uit meerdere (deel)onderzoeken:

- Gewasonderzoek:
 - Bemonstering (uitgevoerd en gerapporteerd door Tritium advies).
 - Chemische analyses van de groenten en fruit (uitgevoerd en gerapporteerd door WFSR).
 - Blootstellingsberekeningen en advies (uitgevoerd en gerapporteerd door RIVM).
- Onderzoek grond, grond-, sloot- en regenwater (uitgevoerd en per tuin gerapporteerd door Tritium advies, met chemische analyses door AL-West).

Dit overkoepelende rapport (Arcadis) beoogt deze deelonderzoeken te integreren en de hoofdconclusies te leveren. Het bevat daartoe een korte samenvatting en interpretatie van de deelresultaten, en gaat nader in op de relatie tussen water-bodem-gewas. In Figuur 4 is de samenhang tussen de deelprojecten geïllustreerd.



Figuur 4 Samenhang deelonderzoeken.

1.4 Overwegingen bij het onderzoek

De wetenschappelijke kennis en de regelgeving rond PFAS zijn sterk in ontwikkeling. Bovendien gedragen PFAS zich in het milieu anders dan andere stoffen. Hierdoor zijn er nog heel veel kennishiaten met betrekking tot PFAS in de bodem. Mede daardoor zijn er niet voor alle gewenste onderwerpen onderzoeksprotocollen beschikbaar.

De onderzoeksopzet is zo veel mogelijk gebaseerd op bestaande protocollen. Het onderzoekplan is opgesteld in overleg met RIVM, gemeente Dordrecht, ook namens de gemeenten Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden, Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid en de gemeente Helmond, waar een vergelijkbaar gewasonderzoek is uitgevoerd.

Daarnaast zijn er nog niet voor alle soorten gebruik van de bodem normen of advieswaarden beschikbaar. Bovendien zijn de waarden die wel beschikbaar zijn, vaak nog aan veranderingen onderhevig. Voor milieugrenswaarden is in het rapport aangesloten bij de bestaande en gangbare risicogrenswaarden, voor zover deze beschikbaar waren. Als er geen normen en risicogrenswaarden beschikbaar waren is in overleg met de Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid een ad-hoc grenswaarde afgeleid van bestaande risicogrenswaarden. Deze ad-hoc waarden hebben geen formele status, en dienen alleen om enig kader te geven aan de gemeten waarden.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport gaat in op de aanvullende onderzoeksvragen. Deze vragen worden beantwoord in de volgende hoofdstukken:

- De onderzoeksopzet en structuur van het project worden in hoofdstuk 2 toegelicht.
- Hoofdstuk 3 gaat in op aandachtspunten die van belang zijn bij onderzoek naar PFAS.
- In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de gewasanalyses beschreven, en wordt antwoord gegeven op vragen 1, 3 en 5;
- In hoofdstuk 5 worden de resultaten van grond, grondwater, slootwater en regenwater beschouwd. Hierbij worden ook de gemeten concentraties in relatie tot de afstand/windrichting geëvalueerd (vraag 2).
- Hoofdstuk 6 richt zich op de relatie tussen de concentraties in de groenten en fruit en de concentraties die in het milieu gemeten worden (vraag 4).
- De samenvatting, conclusies en adviezen worden weergegeven in hoofdstuk 7.

Referenties worden de eerste keer dat ze genoemd worden in de voetnoten weergegeven, een complete literatuurlijst is te vinden in hoofdstuk 8.

Een lijst met afkortingen en de uitleg van enkele begrippen is te vinden in bijlage 2.

Wat zijn PFAS?

PFAS of Poly- en perFluor Alkyl Stoffen (PFAS), zijn verbindingen die bestaan uit een keten van koolstof (C) en fluor (F) atomen, met een specifieke kop aan het molecuul. Deze stoffen zijn door de mens gemaakt en horen niet thuis in het milieu. Door de C-F verbindingen zijn PFAS zeer stabiel en zeer goed bestand tegen hitte of zuren. Daarnaast hebben deze stoffen oppervlakte-actieve eigenschappen, dat wil zeggen dat ze zowel water- als olieafstotend zijn. Door deze eigenschappen worden deze verbindingen veel gebruikt in industriële of huishoudelijke producten. PFAS zijn o.a. toegepast als vlekkenbescherming in tapijten, voor het waterafstotend maken van textiel, voor metaalbewerkingsprocessen, voor de productie van anti-aanbak materiaal, en als hulpstof in bepaalde soorten brandblusschuim.

PFAS kunnen in zeer veel variaties gemaakt worden (met verschillende lengtes en verschillende kopgroepen). De stofgroep bestaat daardoor uit meer dan 6.000 verschillende verbindingen, hoewel waarschijnlijk maar een klein deel van deze stoffen daadwerkelijk op grote schaal is gebruikt. Met name de stoffen PFOS (perfluorooctaansulfonzuur) en PFOA (perfluorooctaanzuur) zijn in het verleden veel gebruikt. PFOS werd bijvoorbeeld tot voor kort toegepast in onder andere brandblusschuim. Het zorgt voor een dunne film over brandbare vloeistoffen en is bestand tegen zeer hoge temperaturen. PFOA was een hulpstof bij de productie van PTFE (polytetrafluoretheen, o.a. Teflon®) en is toegepast in tal van andere producten omdat het bijdraagt aan een goede olie- en waterafstotende werking. Voor zowel PFOS als PFOA bestaan restricties in het gebruik via de POP-regelgeving (Persistent Organic Pollutants). Via de REACH regelgeving (Registration, evaluation, authorisation (and restriction) of chemicals) wordt momenteel gewerkt aan het uitfasen van PFAS als hele stofgroep.

PFOA

PFOA staat voor perfluorooctaanzuur (PFOA wordt ook wel C8 genoemd). PFOA werd in Dordrecht tot en met 2012 gebruikt als hulpstof in het productieproces van Teflon. Chemours is sinds 2012 gestopt met het gebruik van PFOA, waardoor de stof niet meer wordt uitgestoten in het milieu. PFOA wordt in het milieu echter niet afgebroken, waardoor het jaren na het vrijkomen nog steeds in het milieu aanwezig is.

GenX (2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propaanzuur, HFPO-DA, FRD902/903)

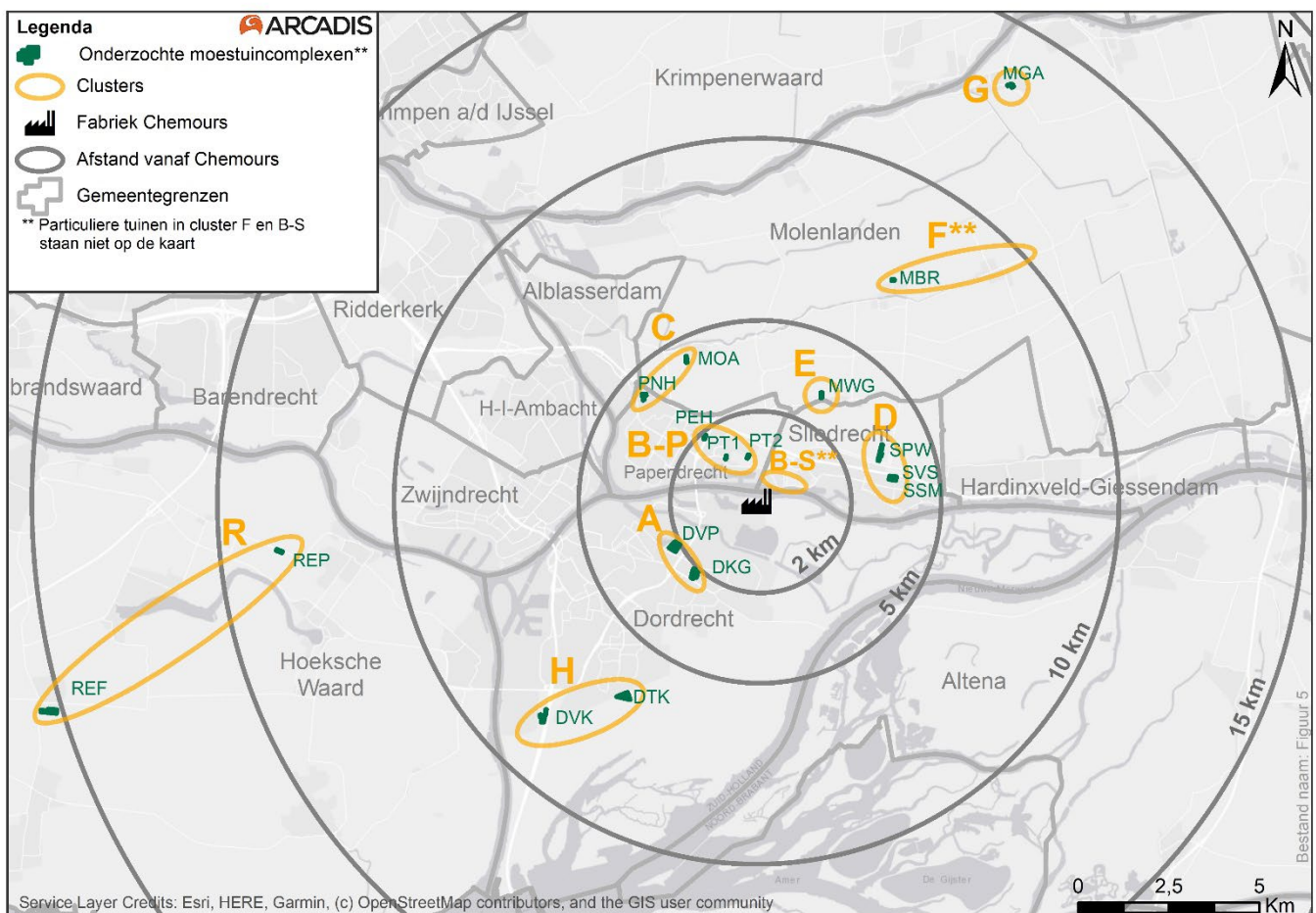
Sinds 2012 wordt in het productieproces van teflon de GenX technologie gebruikt, hierbij is PFOA vervangen door de verbindingen FRD-902, en FRD-903. FRD-902 en FRD-903 vallen beide uit elkaar in water en vormen dan HFPO-DA. Bij de analyse wordt HFPO-DA gemeten en worden FRD-902 en FRD-903 beide als dezelfde stof gezien (HFPO-DA, ook wel GenX genoemd). Voor de eenvoud wordt in het vervolg alleen de term GenX gebruikt.

2 Onderzoekopzet, monstername en analyse

2.1 Clustering en monsternamelocaties

2.1.1 Selectie moestuincomplexen

De opzet van het overkoepelende onderzoek is opgesteld in samenwerking met RIVM, omgevingsdienst en gemeenten. In totaal zijn 16 moestuincomplexen en vier individuele tuinen binnen 15 km van de fabriek, en 2 referentietuinen geselecteerd en onderzocht. Voor de referentietuinen (R) zijn moestuincomplexen geselecteerd in Hoeksche Waard, op ruime afstand van DuPont/Chemours, buiten de heersende windrichting, in een gebied waarvan bekend was dat de concentraties in de bodem rond de landelijke achtergrondwaarde voor PFOA liggen⁷.



Figuur 5 Ligging moestuincomplexen en clusters. Particuliere tuinen zijn niet op de kaart weergegeven.

De complexen en individuele tuinen binnen de verwachte invloedssfeer van DuPont/Chemours zijn onderverdeeld in clusters afhankelijk van de richting en afstand tot de fabriek (zie Figuur 5). De complexen zijn ingedeeld in twee bovenwindse clusters (A en H), vier benedenwindse clusters (B, E, F en G) en twee clusters loodrecht op de heersende windrichting (C en D). Daarnaast is een referentiecluster toegevoegd (R) dat ver buiten de heersende windrichting ligt. Cluster B is in de latere evaluatie vanwege het verschil in de resultaten, opgesplitst in Cluster B-P (Papendrecht) en B-S (Sliedrecht), waardoor het totaal uitkwam op 9 clusters plus een referentiecluster.

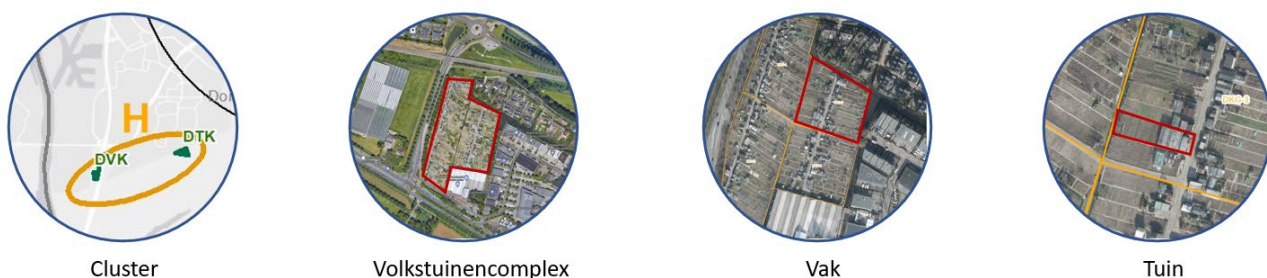
De grotere complexen zijn opgedeeld in meerdere kleinere vakken. Kleinere complexen of individuele tuinen bestonden uit één enkel vak. Van alle complexen zijn op basis van deze vakindeling groenten en fruit, grond, grondwater, slootwater en regenwater onderzocht op de aanwezigheid van PFAS.

Tabel 1 Afkortingen en namen van onderzochte moestuincomplexen per cluster.

Cluster	Afkorting	Naam
A	DKG	Vereniging Klein Grondbezit (locatie Provincialeweg) Dordrecht
	DVP	Vlijpark Dordrecht
B-P	PEH	Door Eendracht Sterk (DES) Ericahof/Wilgendonk Papendrecht
	PT1	Vereniging Organische tuin (VOT) Tiendzone Papendrecht
	PT2	Door Eendracht Sterk (DES) Tiendzone Papendrecht
B-S	SBA	Particuliere tuin Sliedrecht
	SBB	Particuliere tuin Sliedrecht
	SBC	Particuliere tuin Sliedrecht
C	MOA	Tuindersvereniging Oud-Alblas Molenlanden
	PNH	Door Eendracht Sterk (DES) Noordhoeksewiel/Molenvliet Papendrecht
	SSM	Sociale moestuin Sliedrecht
D	SVS	Volkstuindersvereniging Sliedrecht
	SPW	Volkstuinen Parallelweg Sliedrecht
E	MWG	Tuinvereniging Wingerden (Wijngaarden) Molenlanden
F	MBR	Ons tuintje (Bleskensgraaf) Molenlanden
	MHK	Particuliere tuin Molenlanden
G	MGA	Volkstuinvereniging Plumgraaf (Groot-Ammers) Molenlanden
H	DTK	Tuinvereniging Kringloop Dordrecht
	DVK	Vereniging Klein Grondbezit (Locatie Tweede tol) Dordrecht
R	REF	Klein grondbezit (Hoeksche Waard)
	REP	TVV Puttershoek

2.1.2 Bemonsteringslocaties en mengmonsters

Voor alle onderzoeken is dezelfde indeling van tuinen en clusters aangehouden. Alle moestuincomplexen binnen de clusters zijn opgedeeld in meerdere vakken van meerdere individuele tuinen. Kleine complexen bestonden veelal uit één vak. De individuele tuinen in cluster B en F werden als separate vakken ingedeeld. Deze vakindeling is als basis gebruikt in alle onderzoeken. In onderstaande figuur is de indeling van cluster – complex – vak – tuin visueel weergegeven (Figuur 6). Voor de groenten- en fruitmonsters en de bodemmonsters zijn mengmonsters gemaakt vanuit verschillende tuinen binnen één vak. Bij te weinig materiaal zijn in een enkele gevallen groenten en fruit vanuit twee vakken gemengd tot een mengmonster. Monsters vanuit verschillende complexen of verschillende clusters zijn nooit gemengd. Om het grondwater te bemonsteren zijn peilbuizen geplaatst. Watermonsters zijn nooit gemengd.



Figuur 6 Indeling cluster - complex - vak – tuin.

2.2 Monstername en analyse

2.2.1 Groenten en fruit

In de periode van juli tot en met oktober 2021 zijn de verschillende gewassoorten uit de verschillende vakken bemonsterd door Tritium Advies (zie Bijlage 2 voor een complete lijst met rapporten). Dit betrof verschillende soorten aardappelen, groenten en fruit. In het vervolg van dit rapport wordt over groenten en fruit gesproken, dit is inclusief aardappelen. De monsters zijn op de dag van bemonstering naar Wageningen Food Safety Research (WFSR) gebracht, waar de eetbare delen van de monsters zijn gewassen en (indien gebruikelijk tijdens consumptie) geschild. Van een aantal aardappel-, wortel- en bietmonsters zijn ook ongeschilde monsters geanalyseerd. Meerdere afzonderlijke gewasmonsters uit een vak van dezelfde soort groente/fruit werden gemengd tot mengmonsters. Als er weinig materiaal aanwezig was zijn deelmonsters uit meerdere vakken gecombineerd, maar wel altijd uit hetzelfde complex. De PFAS-concentraties (op basis van nat gewicht) in de eetbare delen van de gewassen werden bepaald door WFSR overeenkomstig de interne analysemethode RFS A1114-09 (WFSR).

Bemonstering groenten en fruit

Bij de monstername zijn vooral de groenten en fruit bemonsterd die veel gegeten worden volgens de Nederlandse voedselconsumptiepeiling¹⁰. De verschillende soorten gewassen zijn voor bemonstering ingedeeld in de groepen fruit, aardappelen, vruchtgroenten, koolgroenten, bladgroenten, wortelgroenten, bolgroenten, peulvruchten en stengelgroenten. Een overzicht van alle bemonsterde soorten en gewasgroepen is te vinden in Tabel 2.

Tabel 2. Bemonsterde groenten en fruit.

Gewasgroep	Bemonsterde groenten en fruit
Fruit	
Fruit	Aardbei Druif Appel Peer Pruim
Groenten	
Aardappelen	Aardappel
Vruchtgroenten	Courgette Komkommer Paprika Pompoen Tomaat
Koolgroenten	Bloemkool Boerenkool Broccoli Rode Kool Spitskool Spruitjes
Bladgroenten	Andijvie Sla Snijbiet Spinazie
Knolgroenten	Rode biet Wortel
Bolgroenten	Ui
Peulvruchten	Snijbonen Sperziebonen
Stengelgroenten	Prei Rabarber

¹⁰The diet of the Dutch. Results of the Dutch National Food Consumption Survey 2012-2016. RIVM report 2020-0083, 2020

Analyse groenten en fruit

De groenten en fruit zijn geanalyseerd op de volgende PFAS (voor toelichting afkortingen zie Bijlage 1):

- Perfluorcarboxylzuren C5-C14; PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA, PFTeDA;
- Perfluorsulfonzuren C4,6,7,8,10; PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFDS;
- GenX.

Deze lijst van PFAS betreft de PFAS die door WFSR goed gekwantificeerd kunnen worden in groenten en fruit. PFBA kon niet worden bepaald door een te hoog achtergrondsignaal. De lijst van WFSR is minder uitgebreid dan het standaard PFAS-analyse pakket dat voor grond en water is geanalyseerd. De belangrijkste PFAS in de regio rond DuPont/Chemours zijn PFOA en GenX (deze komen het vaakst voor) en in de mindere mate PFAS die net wat korter of langer zijn dan PFOA. Aangezien deze componenten alle binnen het analysepakket van WFSR vallen is het geen probleem dat het analyse pakket van WFSR minder uitgebreid is dan het standaard PFAS-pakket voor bodemanalyses. In paragraaf 5.3.2 wordt hier nader op ingegaan.

2.2.2 Grond en water

De bodemonderzoeken zijn door Tritium Advies in de eerste helft van 2022 uitgevoerd, met een aanvullend onderzoek op enkele locaties in de zomer van 2022. De bodemonderzoeken zijn uitgevoerd om de concentraties in de groenten en fruit te kunnen vergelijken met de concentraties in de grond. Deze onderzoeken inclusief analyseresultaten zijn gerapporteerd door Tritium (zie referentielijst in Bijlage 2). De algemene onderzoeksopzet voor de bodemonderzoeken was als volgt:

Veldwerk bodem

- Per complex is dezelfde vak indeling aangehouden als tijdens het gewasonderzoek (ca. 1 vak per halve hectare).
- Afhankelijk van het oppervlak van de tuin zijn per vak 3 tot 7 boringen geplaatst, zoveel mogelijk in de tuinen waar ook de gewasmonsters genomen zijn. De hoeveelheid boringen is gebaseerd op het oppervlak van de vakken:
 - 7 boringen per vak indien het vak groter is dan 0,5 hectare;
 - 5 boringen voor vakken tussen 0,1 hectare en 0,5 hectare;
 - 3 boringen voor vakken kleiner dan 0,1 hectare.
- Boringen zijn doorgezet tot 1,0 m-mv met monsternamen op de volgende diepten (en per afwijkende bodemlaag):
 - 0-0,2 m-mv (bodemlaag I);
 - 0,2-0,5 m-mv (bodemlaag II);
 - 0,5-1,0 m-mv (deze laag is wel bemonsterd maar alleen geanalyseerd indien de resultaten van de bodemlagen erboven daar aanleiding toe gaven).
- Van de grondmonsters zijn mengmonsters samengesteld in het laboratorium.
- Per vak is een ondiepe peilbuis geplaatst (dat wil zeggen met de bovenkant van het filter 0,5 m onder de grondwaterstand).
- Per vak zijn watermonsters genomen van het water dat gebruikt wordt voor bewatering:
 - Grondwater.
 - Regentonwater, over het algemeen is dit regenwater dat afkomstig van daken van schuurtjes en/of kassen. In één tuin (PEH) was de herkomst van het regentonwater niet bekend en in één tuin (DTK) zat in twee van de bemonsterde tonnen opgepompt diep grondwater.
 - Oppervlaktewater (uit aangrenzende sloten).

Aanvullend veldwerk bodem

Naar aanleiding van de tussentijdse onderzoekresultaten is er aanvullend veldwerk uitgevoerd:

- In een aantal clusters waren de PFOA-concentraties in de grond lager dan verwacht op basis van eerdere onderzoeken in dezelfde tuinen. Aangezien PFOA niet afbreekt is het niet waarschijnlijk dat PFOA uit de bodem is verdwenen. Mogelijk is PFOA uitgespoeld naar diepere lagen. Om dit te onderzoeken zijn in een aantal tuinen aanvullende boringen gezet en de diepere lagen geanalyseerd.
- Ook waren de grondconcentraties in de moestuinen lager dan verwacht op basis van onderzoeken op nabijgelegen percelen. Om te controleren of er werkelijk een verschil is tussen de PFOA-concentraties in de moestuingrond en de naastgelegen percelen, zijn bij complex MWG monsters genomen in een nabijgelegen weiland en boomgaard en bij één van de tuinen in cluster B zijn monsters genomen in het grasveld (siertuin).

- Aangezien een aantal gewassen uit één specifieke kas hele hoge concentraties PFOA bleek te bevatten, zijn extra grondmonsters in en naast deze kas genomen.

Analyse grond en water

- De grond en watermonsters zijn geanalyseerd door AL-West op het uitgebreid analysepakket met 30 perfluorverbindingen volgens de PFAS-advieslijst d.d. 12 juli 2019 op de website van bodemplus.
- De analyses hebben een rapportagegrens van 0,1 µg/kg d.s. voor grond en 10 ng/l voor water. Het standaard PFAS-pakket bevat 30 verschillende PFAS-verbindingen, inclusief PFOS en PFOA. (Zie Bijlage 6 voor een complete lijst met geanalyseerde verbindingen).
- In het laboratorium zijn per vak twee mengmonsters samengesteld van de bovenste bodemlaag I (0-0,2 m-mv). Van bodemlaag II (0,2-0,5 m-mv) is per vak één mengmonster samengesteld. In eerste instantie zijn alleen de bovenste twee bodemlagen geanalyseerd, dus drie analyses per vak. Bij kleine vakken zijn soms minder monsters geanalyseerd, maar wel altijd minimaal één per bodemlaag.
- Indien er verschillende bodemtypen aanwezig waren in de bovengrond (bovenste halve meter) zijn meerdere monsters geanalyseerd.
- Van de grondmonsters is het drooggewicht (DW), het organische stof gehalte (OM) en de fractie klei (lutum, als <2 µm) bepaald. Analyse was op PFAS (standaardlijst 30). GenX (ook wel HFPO-DA of FRD-902) is in eerste instantie alleen geanalyseerd in de tuinen dichtbij DuPont/Chemours. Uit eerdere onderzoeken is gebleken dat GenX alleen op korte afstand van de fabriek in de bodemmonsters wordt aangetroffen^{4, 6}. Zodra er in een tuin geen GenX werd aangetroffen, is in de tuinen die verder weg liggen (in dezelfde windrichting) niet meer geanalyseerd op GenX. Ter controle is GenX wel geanalyseerd in de referentie tuinen.
- Per vak is een monster van het ondiepe grondwater geanalyseerd en minimaal één monster van alle aanwezige typen water die gebruikt wordt om de planten water te geven (regenwater, slootwater, diep grondwater. In enkele tuinen is ook het kraanwater geanalyseerd).
- Het PFAS-analysepakket bestaat uit 30 verbindingen, er bestaan echter veel meer PFAS-verbindingen. Een aantal van deze verbindingen kunnen door natuurlijke processen in het milieu omgezet worden in persistente eindproducten zoals PFOA. Dit soort verbindingen worden ook wel precursors genoemd. Om te bepalen of er mogelijk precursors aanwezig zijn in de grond in de buurt van de fabriek zijn TOP-analyses uitgevoerd op bovengrond (laag I) van de tuinen SBB en SBA. Bij de TOP-analyse wordt eerst een basispakket PFAS geanalyseerd, vervolgens wordt het monster geoxideerd met chemicaliën en opnieuw geanalyseerd op het basispakket PFAS. Tijdens de oxidatiestap worden de precursors in het monster omgezet in de standaard PFAS-verbindingen (voornamelijk perfluorcarboxylzuren, zoals PFOA). Met dit proces wordt een totale hoeveelheid PFAS bepaald die door natuurlijke processen in het milieu omgezet kunnen worden in de standaard, persistente PFAS-verbindingen, en worden ook PFAS-verbindingen zichtbaar gemaakt die met een standaard PFAS-analyse niet geanalyseerd worden.

3 Aandachtspunten bij onderzoek naar PFAS

3.1 Gezondheidskundige grenswaarde en PEQ

Gezondheidskundige grenswaarde EFSA

In 2020 heeft de Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid EFSA een gezondheidskundige grenswaarde afgeleid, de zogenaamde toelaatbare wekelijkse inname (TWI), voor de som van 4 PFAS verbindingen. Het RIVM heeft in 2021 besloten deze grenswaarde te gaan gebruiken, en deze grenswaarde wordt meegenomen in het bepalen van nieuwe toetsingswaarden voor diverse media (drinkwater, bodem, oppervlaktewater etc.).

De grenswaarde van EFSA betreft een toelaatbare wekelijkse inname voor de som van 4 PFAS: PFOA, PFOS, PFNA en PFHxS. Dit zijn de belangrijkste PFAS die in het bloed van mensen zijn aangetroffen. De TWI is bepaald op het meest gevoelige eindpunt (immuuneffecten) en is gebaseerd op de maximale somconcentratie van deze 4 PFAS in het bloed van 1-jarige kinderen die borstvoeding kregen waarbij deze immuuneffecten niet optraden. Vervolgens is berekend wat de moeders tot hun 35e levensjaar dagelijks aan de 4 PFAS binnen kunnen krijgen zonder dat deze somconcentratie in kinderen wordt overschreden door het drinken van hun moedermelk. Dit resulteerde in een TWI van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week. Dit is de inname waaronder geen nadelige effecten op het immuunsysteem verwacht worden. Boven deze hoeveelheid kunnen nadelige effecten op de gezondheid niet worden uitgesloten.

PFOA-equivalenten (PEQ)

Het RIVM heeft deze gezondheidskundige grenswaarde van EFSA begin 2021 overgenomen¹¹. Hierbij wordt aangegeven dat mensen aan meer PFAS-verbindingen worden blootgesteld dan de bovenstaande vier PFAS, en dat deze meegenomen dienen te worden in de toetsingen aan de TWI. Hiervoor wordt de RPF-methode gebruikt (relative potency factor), waarbij aan iedere PFAS een relatieve toxiciteit wordt toegewezen ten opzichte van PFOA (de ene PFAS heeft een sterker of minder sterk effect dan PFOA). Met behulp van de RPF worden de concentraties per PFAS omgerekend naar PFOA-equivalenten (PEQ). In Tabel 3 is een overzicht gegeven van gehanteerde RPF factoren.

De inname van PFAS via de consumptie van groenten en fruit (som-concentratie) wordt direct getoetst aan de TWI. Dit is gedaan in het rapport van het gewasonderzoek opgesteld door het RIVM. Voor bodem en water zijn op basis van de EFSA-grenswaarde en de RPF factoren toetsingswaarden voor PFOA, GenX en PFOS berekend door het RIVM (zie paragraaf 3.6).

¹¹ Notitie implementatie van de EFSA som-TWI PFAS, RIVM, finaal 7 april 2021.

Tabel 3 Overzicht gehanteerde RPF-factoren.

PFAS-verbinding	Afkorting inclusief ketenlengte	RPF
Perfluorbutaan sulfonzuur	PFBS, C4	0,001
Perfluorpentaan sulfonzuur	PFPeS, C5	0,6
Perfluorhexaan sulfonzuur	PFHxS, C6	0,6
Perfluorheptaan sulfonzuur	PFHpS, C7	2
Perfluoroctaan sulfonzuur	PFOS, C8	2
Perfluordecane sulfonzuur	PFDS, C10	2
Perfluorbutaanzuur	PFBA, C4	0,05
Perfluorpentaanzuur	PFPeA, C5	0,05
Perfluorhexaanzuur	PFHxA, C6	0,01
Perfluorheptaanzuur	PFHpA, C7	1
Perfluoroctaanzuur	PFOA, C8	1
Perfluormonaanzuur	PFNA, C9	10
Perfluordecaanzuur	PFDA, C10	10
Perfluorundecaanzuur	PFUnDA, C11	4
Perfluordodecaanzuur	PFDoDA, C12	3
Perfluortridecaanzuur	PFTTrDA, C13	3
Perfluortetradecaanzuur	PFTeDA, C14	0,3
Perfluorhexadecaanzuur	PFHxDA, C16	0,02
Perfluoroctadecaanzuur	PFODA, C18	0,02
FRD-902/-903	GenX	0,06
1H,1H,2H,2H-perfluorhexaansulfonzuur	4:2 FTS	0,05
2-(perfluorhexyl)ethaan-1-sulfonzuur	6:2 FTS	1
1H,1H,2H,2H-perfluordecaansulfonzuur	8:2 FTS	10
1H,1H,2H,2H-perfluordodecaansulfonzuur	10:2 FTS	10
Perfluoroctaansulfonylamide(N-methyl)acetaat	N-MeFOSAA	2
Perfluoroctaansulfonylamide(N-ethyl)acetaat	N-EtFOSAA	2
Perfluoroctaansulfonamide	PFOSA	2
N-methyl perfluoroctaansulfonamide	N-MeFOSA	2

3.2 Meten rond detectieniveau

Vanwege de lage gezondheidskundige grenswaarde voor PFAS van EFSA is de aantoonbaarheidsgrens belangrijk voor de bodem-, water- en gewasmonsters. Er zijn verschillende aantoonbaarheidsgrenzen:

Groenten en fruit

De meetmethode die door het WFSR is gebruikt heeft drie aantoonbaarheidsgrenzen. Deze zijn ten opzichte van het eerder uitgevoerde onderzoek in 2017 sterk verlaagd. Dit betekent dat de analysemethode veel nauwkeuriger kan meten, en ook meer typen PFAS. De aantoonbaarheidsgrenzen variëren per type gewas en per PFAS. De detectielimiet (de LOD) varieerde van 0,125 tot 12,5 picogram per gram (pg/g is hetzelfde als ng/kg). Voor PFOA was de LOD bij het huidige onderzoek een factor 10-400 lager (meer nauwkeurig) dan in 2017 en voor GenX was de LOD een factor 20-2.000 lager^{12,13}.

Grond en water

Bij grond en water analyses wordt gewerkt met een rapportagegrens (RG). De rapportagegrens voor deze monsters lag meestal rond 0,1 µg/kg of 10 ng/l voor respectievelijk grond en water.

In deze studie werd voor bodem- en watermonsters bij een meting <RG de RG-waarde gebruikt voor verdere analyse. Voor PFOA heeft dit niet veel effect, omdat PFOA over het algemeen wel wordt aangetroffen boven de rapportagegrens. Voor de overige PFAS heeft het door de lage rapportagegrens ook weinig effect. In sommige figuren betekent dit wel dat het lijkt alsof er lage concentraties GenX zijn aangetroffen terwijl in werkelijkheid GenX niet boven de rapportagegrens is aangetroffen.

3.3 PFAS lineair en vertakt en de 0,7 factor

Sommige PFAS zijn mengsels van lineaire en vertakte isomeren. Isomeren zijn stoffen met dezelfde formule maar verschillende moleculaire structuren. In het standaard PFAS pakket worden de lineaire en vertakte isomeren van PFOS en van PFOA apart gerapporteerd. Bij die sommatie van lineair en vertakt worden over het algemeen concentraties kleiner dan de rapportagegrens in de som meegenomen door de rapportagegrens met 0,7 te vermenigvuldigen (dit is conform bijlage G onderdeel IV van de Regeling bodemkwaliteit).

3.4 Achtergrondconcentraties PFAS

Het RIVM heeft eerder onderzocht wat de concentraties PFAS zijn in de bodem (grond en grondwater) op landbouw- en natuurlocaties verspreid over Nederland^{14,15}. Op basis van de concentraties in deze relatief onbelaste gebieden zijn voor PFOA en PFOS de achtergrondwaarden bepaald. In Nederland is de achtergrondwaarde in de grond voor PFOA 1,9 µg/kg en voor PFOS 1,4 µg/kg. De overige PFAS werden slechts sporadisch aangetroffen in de grond, daarom zijn voor de overige PFAS geen achtergrondwaarden voorgesteld.

In het door het RIVM bemonsterde freatische grondwater (in dit geval 10 meter beneden maaiveld) werden PFOS en PFOA vrijwel overal in lage concentraties aangetroffen. Overige PFAS werden slechts sporadisch aangetroffen. Bij dit onderzoek zijn PFOA lineair en PFOA vertakt apart gerapporteerd. De maximale PFOA-lineair concentratie was 63 ng/l (0,063 µg/l), de gemiddelde PFOA-lineair concentratie was 6 ng/l (0,006 µg/l).

In Nederland vindt veel grondverzet plaats. Achtergrondconcentraties worden gebruikt om te beoordelen waar bepaalde grond gebruikt mag worden. Wanneer concentraties in grond of bagger niet hoger zijn dan de achtergrondwaarden, is deze grond volgens de uitgangspunten van het Besluit bodemkwaliteit geschikt voor elke functie en mag deze overal op de landbodembodem worden toegepast.

¹² Risicobeoordeling van GenX en PFOA in moestuingewassen in Dordrecht, Papendrecht en Sliedrecht. RIVM Briefrapport 2018-0017. 2018.

¹³ Herziening van de risicobeoordeling van GenX en PFOA in moestuingewassen in Dordrecht, Papendrecht en Sliedrecht. RIVM-briefrapport 2021-0064. 2021.

¹⁴ Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodembodem, RIVM-briefrapport 2020-0100, 2020.

¹⁵ Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater, RIVM 2021-0205, 2021.

In de regio rond de fabriek van DuPont/Chemours worden hogere concentraties PFOA aangetroffen dan in de rest van Nederland. De gemiddelde PFOA-concentratie is in de zone rond de fabriek 16,8 µg/kg en de P95 is er 45 µg/kg (zone 17 van de bodemverwachtingskaart PFOS en PFOA Zuid-Holland⁷). De P95 betekent dat 95% van de waarden lager is dan deze waarde en 5% hoger.

3.5 Bodemtypecorrectie

Bij bodemonderzoeken is het gebruikelijk om de concentraties in de grond te standaardiseren (er wordt ook wel gesproken van corrigeren) naar "standaard bodem" met 10% organisch stof gehalte en 25% lutum (kleideeltjes). Dit wordt gedaan om één toetsingswaarde te kunnen gebruiken voor verschillende bodemtypen (bijvoorbeeld voor klei, zand en veen) en om daarmee te corrigeren voor het feit dat klei bijvoorbeeld sommige verontreinigingen beter vasthoudt, terwijl in zand de verontreinigingen makkelijker uitspoelen. De toetsingswaarden gelden voor een standaardbodem met 10% organisch stof.

In het handelingskader PFAS¹⁶ wordt aanbevolen om bij organische stofgehalten van 10-30% een bodemtypecorrectie toe te passen. De PFAS-concentraties in de grond worden daarom in het voorliggende onderzoek voor een aantal toetsingen en vergelijkingen gecorrigeerd. Als de waarden gecorrigeerd zijn staat dat in het bijschrift van de tabel/figuur. Ongecorrigeerde waarden zijn van belang bij het bepalen van correlaties tussen bodem en groenten en fruit.

Gecorrigeerde waarden worden in deze rapportage gebruikt bij het bepalen van de relatie tussen concentraties in de grond en afstand tot de fabriek. Door de gecorrigeerde waarden te gebruiken zijn concentraties in verschillende typen grond beter vergelijkbaar. De PFAS-concentratie wordt gewoonlijk uitgedrukt in µg/kg droge stof. Doordat het droge stofgehalte van veen 2 à 3 keer lager is dan het droge stofgehalte van klei, zou bij gelijke depositie in veenmonsters een 2 à 3 keer hogere concentratie worden gemeten dan in kleimonsters. Dit verschil wordt nog versterkt door het feit dat veen ook een lager soortelijk gewicht heeft dan klei.

3.6 Risicogrenswaarden bodem en water

Voor milieugrenswaarden is in het rapport aangesloten bij bestaande en gangbare risicogrenswaarden, voor zover deze beschikbaar waren. Voor grond en grondwater zijn in 2021 nieuwe risicogrenswaarden afgeleid voor diverse bodemfuncties voor PFOA, GenX en PFOS op basis van de gezondheidskundige grenswaarde van EFSA en de RPF-factoren.

Voor de bodemfunctie 'Wonen met moestuin' zijn specifieke risicogrenzen afgeleid voor PFOA en PFOS¹⁷, van respectievelijk 2,3 en 2,4 µg/kg. Dit zijn toetsingswaarden voor de grond, voor het bijbehorende poriewater zijn geen waarden afgeleid door het RIVM. Andere beschikbare toetsingswaarden, zoals toetsingswaarden voor oppervlaktewater en grondwater zijn in het kader van het gebruik van irrigatiewater voor moestuinen niet relevant omdat deze gebaseerd zijn op andere blootstellingsroutes (voor oppervlaktewater; consumptie van vis, voor grondwater: directe consumptie van grondwater).

Omdat er geen risicogrenswaarden voor het poriewater beschikbaar waren is in overleg met de Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid een ad-hoc grenswaarde voor het porie- en grondwater afgeleid van bestaande risicogrenswaarden. Deze ad-hoc waarden hebben geen formele status, en dienen alleen om enig kader te geven aan de gemeten waarden. Dit is in onderhavig rapport gedaan door middel van een doorvertaling van de verhouding poriewater/grond uit de memo 'Risicogrenswaarden voor de onderbouwing van interventiewaarden'¹⁸. De berekeningen in dat rapport gaan uit van een vaste relatie tussen grond- en grondwaterkwaliteit. Voor PFOA bedraagt deze een factor 7, voor PFOS een factor 22. Hiermee kunnen risicogrenzen uit de grond doorgerekend worden naar andere humane risicogrenswaarden. Voor PFOA komt deze doorrekening neer op een concentratie in het poriewater van 0,33 µg/l, bij een waarde in de grond van 2,3 µg/kg ($8,6 \mu\text{g/l} / 60 \mu\text{g/kg} * 2,3 \mu\text{g/kg} = 0,33 \mu\text{g/l}$).

¹⁶ Handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie (versie december 2021)

¹⁷ Memo achtergrondwaarden en risicogrenzen ten behoeve van onderbouwing Maximale Waarden PFAS voor toepassen van grond en baggerspecie. Brief RIVM (Wintersen en Otte) aan lenW WOM, 29 april 2021.

¹⁸ Memo Risicogrenzen ten behoeve van de vaststelling van interventiewaarden voor PFOS, PFOA en GenX. Brief RIVM (Wintersen en Otte) aan lenW WOM, 29 april 2021.

Deze waarde van 0,33 µg/l kan indicatief gebruikt worden om te bepalen of water (bv uit een sloot of uit een regenton) gebruikt kan worden om een moestuin water te geven.

Voor GenX is geen risicogrenswaarde voor 'Wonen met moestuin' afgeleid door het RIVM. Hier worden voor grond dezelfde waarden als voor PFOA aangehouden, omdat de risicogrenzen (ten behoeve van de vaststelling van interventiewaarden) voor GenX en PFOA ook ongeveer even hoog zijn (respectievelijk 60 µg/kg en 57 µg/kg). Voor GenX in grondwater komt een waarde van 0,33 µg/l overeen met de toetsingswaarde bij directe consumptie ruw grondwater, en is ook een (ruim) veilige waarde voor het gebruik van het water om een moestuin water te geven.

Onderstaande grenswaarden zijn in dit rapport aangehouden als (ad-hoc) toetsingswaarden.

Tabel 4. Risicogrenswaarden Wonen met moestuin (de hieronder weergegeven ad-hoc waarden hebben geen formele status, en dienen alleen om een kader te geven aan de gemeten waarden).

PFAS	Grond (µg/kg d.s.)	Porie- en grondwater (µg/l)
PFOA	2,3	0,33 (ad-hoc)
GenX	2,3 (ad-hoc)	0,33 (directe consumptie)
PFOS	2,4	0,11 (ad-hoc)

PFOA-equivalenten grond en water

Voor grond en water zijn de gemeten concentraties PFOA en GenX direct getoetst aan de risicogrenswaarden, zonder omrekening via PFOA-equivalenten. De risicogrenswaarden die hierboven zijn genoemd zijn namelijk al specifiek voor de stof afgeleid, en een RPF-factor is er reeds in verwerkt. Bovenstaande waarden worden daarnaast alleen gebruikt om een kader te geven aan de gemeten waarden.

In dit onderzoek zijn in de grond en het water, de andere gemeten PFAS slechts op het niveau van achtergrondwaarden aanwezig (PFOS) of in relatief lage concentraties (overige PFAS). Daarom is het gerechtvaardigd om rechtstreeks aan de weergegeven waarden te toetsen. Dit wordt nader toegelicht in Bijlage 3. Bij de aanwezigheid van meerdere typen PFAS (in hoge concentraties) moet wel rekening gehouden worden met mengseltoxiciteit. Deze afweging dient per project opnieuw uitgevoerd te worden.

4 PFAS in groenten en fruit

4.1 Onderzoeksvragen

De resultaten van het onderzoek naar de aanwezigheid van PFAS in de verschillende soorten groenten en fruit zijn reeds gerapporteerd in het onderzoek van het RIVM. In dat onderzoek zijn de gemeten concentraties vertaald naar een inname van PFAS voor de verschillende clusters.

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de gemeten concentraties in de groenten en fruit zelf, en worden de onderzoeksresultaten van de PFAS die zijn gevonden in de groenten en fruit in de verschillende clusters nader geduid. Daarbij wordt ingegaan op wat die gegevens vervolgens betekenen voor inname en het mogelijke verschil in opname tussen verschillende soorten groenten en fruit. Het onderzoek beoogt antwoord te geven op de onderzoeksvragen 1, 3, en 5 uit paragraaf 1.2:

1. *Wat zijn de concentraties in groenten en fruit en hoe staan de gemeten concentraties in relatie tot de afstand (en windrichting) tot DuPont/Chemours?*
3. *Kan er op basis van de resultaten een gewasspecifiek advies gegeven worden?*
5. *Speelt aanhangend grond (in of aan de schil) een rol in de gemeten concentraties in de groenten en fruit?*

In dit hoofdstuk worden daartoe achtereenvolgens beschreven:

- Gemeten concentraties in groenten en fruit in relatie tot de afstand tot DuPont/Chemours.
- Inname PFAS via groenten en fruit en het advies voor consumptie (RIVM) in relatie tot afstand.
- Verschil in opname tussen verschillende soorten groenten en fruit en conclusies.
- Invloed aanhangende grond.

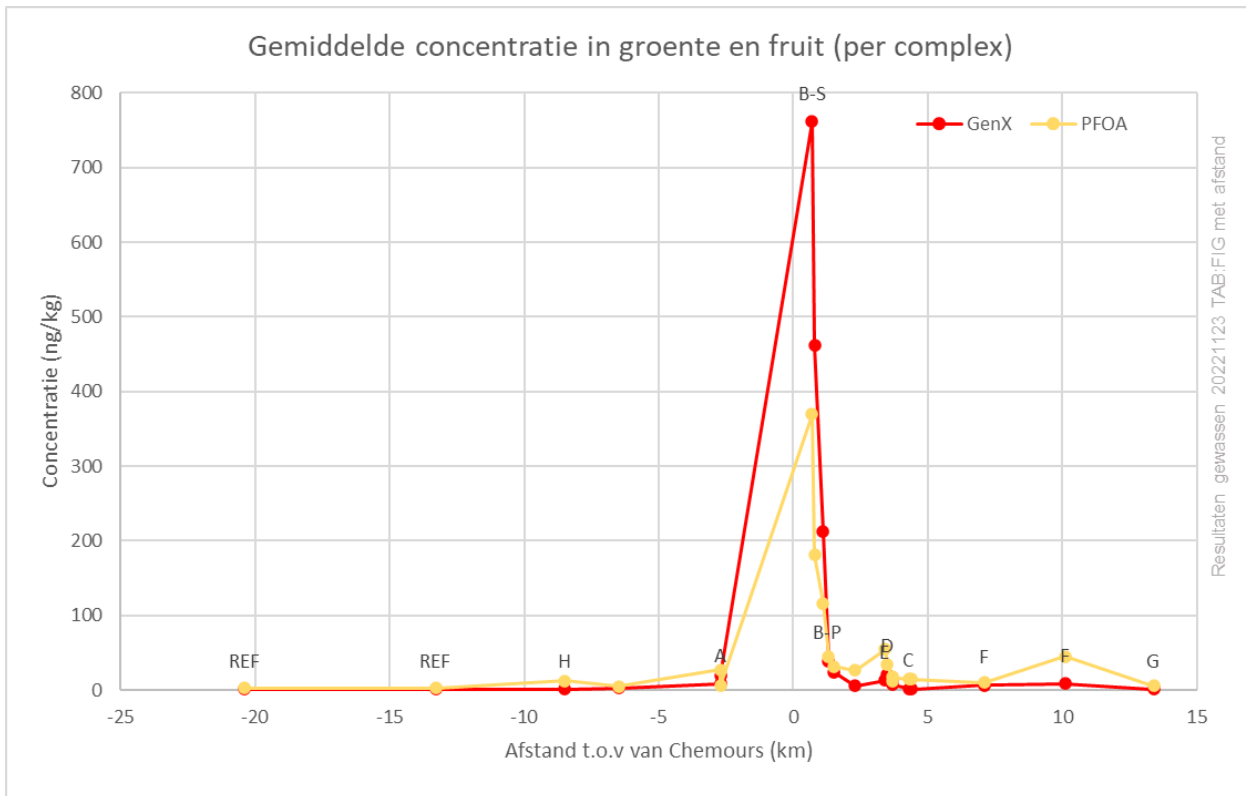
4.2 Gemeten concentraties in groente en fruit in relatie tot afstand tot DuPont/Chemours

In Figuur 7 (zie volgende pagina) zijn de gemiddelde gemeten PFOA en GenX concentraties in groenten en fruit weergegeven per complex ten opzichte van de afstand van DuPont/Chemours. Hierbij zijn alle monsters samengevoegd en gemiddeld en is geen onderscheid gemaakt op basis van type gewas. Complexen die benedenwinds liggen hebben een positieve waarde op de x-as (rechterkant van de figuur), tuinen die bovenwinds liggen hebben een negatieve waarde (linkerkant van de figuur). De afstand tot de fabriek (benedenwinds versus bovenwinds) is niet het enige criterium, daarnaast is de invloed van de dominante windrichting (richting het noordoosten) groot. Daarom zijn in Figuur 8 alleen de gemeten concentraties op de lijn van de overheersende windrichting van bovenwinds van DuPont/Chemours (cluster H) tot benedenwinds van DuPont/Chemours (cluster G) weergegeven. De clusters die haaks op de overheersende windrichting liggen (B-P, D en C) zijn in Figuur 8 weggelaten. DuPont/Chemours bevindt zich tussen cluster A en cluster B-S. In de figuren is te zien dat de concentraties PFOA en GenX in cluster B-S duidelijk het hoogste zijn, en met een grotere afstand in de overheersende windrichting afnemen. Clusters B-P, E en D, die buiten de overwegende windrichting liggen laten iets lagere concentraties zien. De concentraties PFOA en GenX in de verder weg gelegen clusters G, H en in de referentie clusters zijn laag.

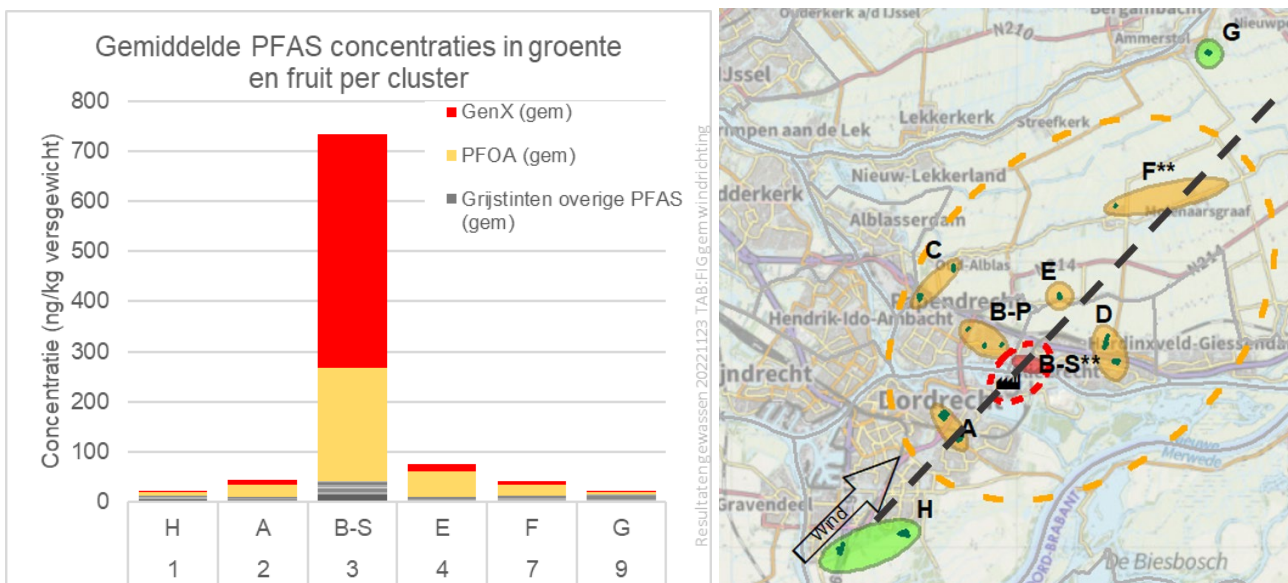
De gemiddelde concentraties PFOA en GenX in de verschillende clusters variëren sterk, van enkele nanogrammen per kilogram (ng/kg) tot meer dan 300 ng/kg voor PFOA en meer dan 700 ng/kg voor GenX. Cluster B-S, direct benedenwinds van DuPont/Chemours, springt er duidelijk uit met de hoogste concentraties PFOA en GenX. Opvallend is de relatief hoge concentratie GenX ten opzichte van PFOA in dit cluster. In de overige clusters wordt juist meer PFOA dan GenX aangetroffen. Op grotere afstand van de fabriek nemen de concentraties GenX snel af.

De hoge concentratie van GenX is wel duidelijk zichtbaar in de gemeten concentraties, maar niet zozeer in de berekende inname door het RIVM. Dat komt doordat GenX een lage RPF-factor heeft, en daardoor minder bijdraagt aan de inname van PFOA-equivalenten (zie paragraaf 3.1).

De conclusie is dat er een duidelijk verband is tussen de concentraties PFOA en GenX in groenten en fruit en de afstand tot DuPont/Chemours. Daarnaast heeft de overheersende windrichting een duidelijke invloed.



Figuur 7. Gemiddelde concentraties PFOA en GenX in groenten en fruit in de verschillende complexen, de labels zijn van de clusters. Weergegeven ten opzichte van de afstand tot de fabriek.



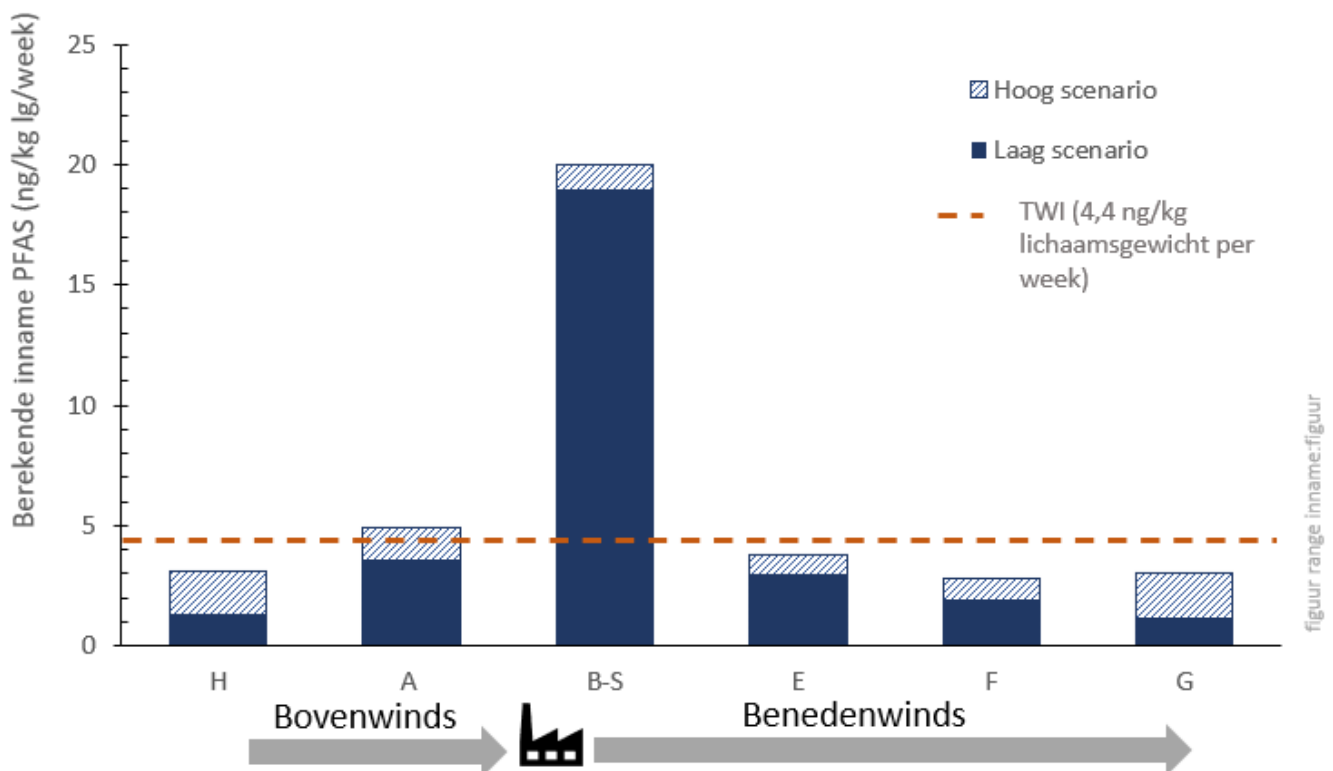
Figuur 8. Gemiddelde concentratie PFAS in groenten en fruit per cluster op de lijn H, A, B-S, E, F, G.

4.3 Inname PFAS via groenten en fruit in relatie tot afstand tot DuPont/Chemours (RIVM)

Op basis van de gewasconcentraties heeft het RIVM de inname van PFAS via groenten en fruit berekend⁹. In deze paragraaf worden de resultaten van de berekeningen van het RIVM weergegeven in relatie tot de afstand tot DuPont/Chemours.

In onderstaande figuur is de berekende inname door het RIVM weergegeven op volgorde van de afstand van DuPont/Chemours. Het donkerblauwe deel van de balken geeft de berekende P95 inname weer bij een laag concentratieniveau (laag scenario), de gehele balk inclusief het gearceerde deel geeft de P95 inname weer bij een hoog concentratieniveau (hoog scenario). De P95 betekent dat 95% van de waarden lager is dan deze waarde en 5% hoger. De P95-inname is gekozen omdat moestuinhouders zeer waarschijnlijk de door hen zelf geteelde groenten en fruit in grotere hoeveelheden eten dan de gemiddelde Nederlander. De inname volgens een laag concentratieniveau wordt als meest realistisch gezien.

Inname berekend door RIVM per cluster



Figuur 9. Inname berekend door RIVM (laag-hoog) per cluster. De oranje stippellijn geeft de TWI weer (4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week).

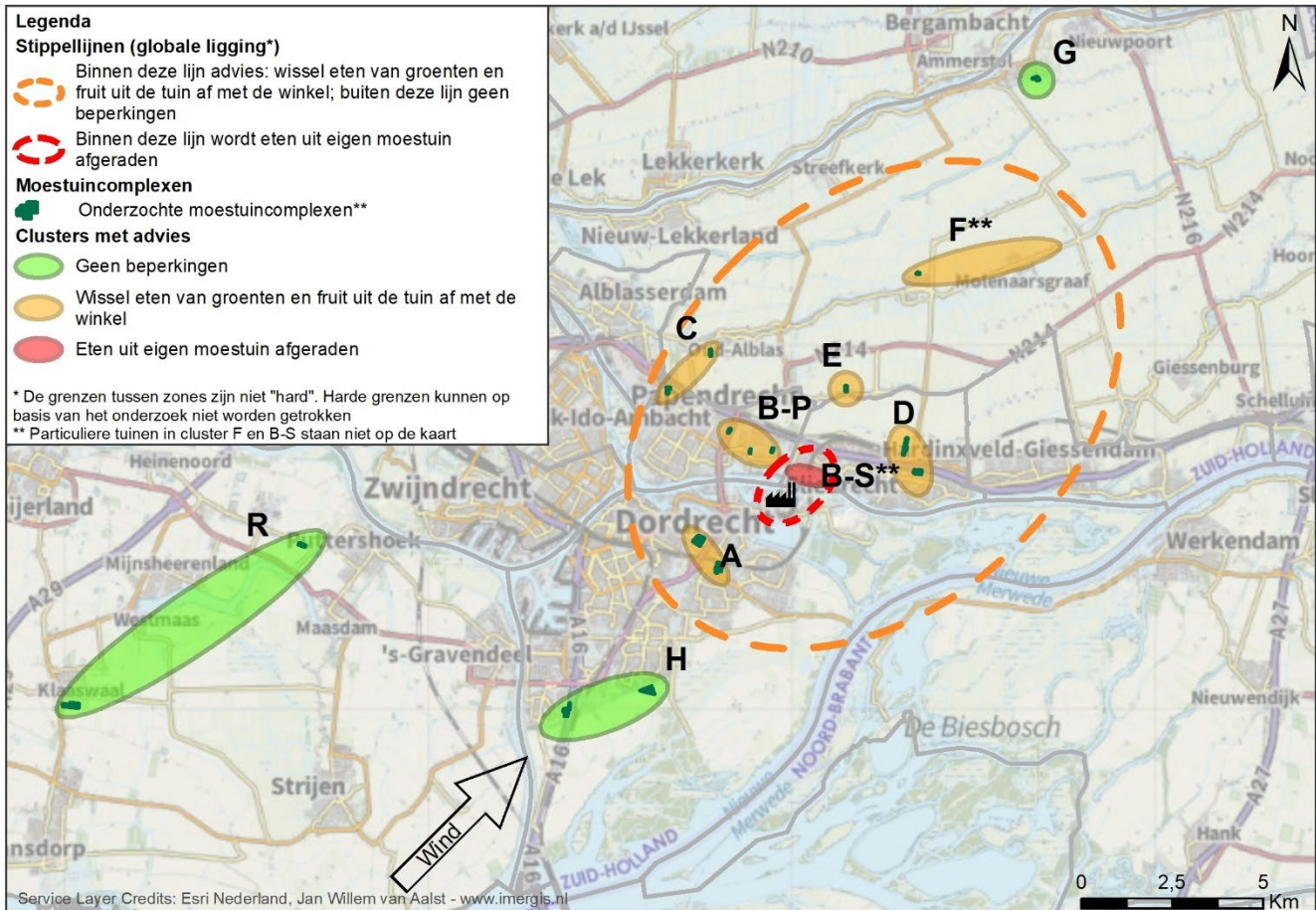
Net als in Figuur 7 kan in Figuur 9 worden herkend dat de berekende inname in cluster B-S duidelijk het hoogste is, en met de windrichting afneemt over de clusters E en F. De berekende innames in de verder weg gelegen clusters G, H en in het referentiecluster zijn laag, vooral voor de berekening met het lage scenario.

Gelet op de overwegende windrichting is er een duidelijk verband tussen de inname berekend door het RIVM en de afstand tot DuPont/Chemours.

RIVM-advies per cluster

In het rapport van het RIVM is per cluster een advies gegeven. In Figuur 10 is dit advies op de kaart weergegeven door middel van een groene kleur (geen beperkingen), oranje kleur (wissel eten van groenten en fruit uit de tuin af met de winkel) en een rode kleur (eten uit de tuin wordt afgeraden). Voor de afzonderlijke clusters is aangegeven dat de berekende inname in cluster B-S, direct benedenwinds van DuPont/Chemours, dermate hoog is, dat geadviseerd wordt om deze groenten en fruit niet te eten. In de clusters A, B-P, C, D, E en F kunnen de groenten en het fruit geconsumeerd worden, mits afgewisseld met producten uit de winkel.

Ter indicatie is op basis van het RIVM-advies door de regio (de gemeenten, OZHZ en GGD) aangegeven in welk gebied aangeraden wordt de consumptie van groenten en fruit uit de moestuin af te wisselen met groente en fruit uit de winkel (binnen de oranje stippellijn), en in welk gebied het advies wordt gegeven om de groenten en fruit niet te consumeren (binnen de rode stippellijn). De grenzen in deze figuur zijn niet hard, maar geven een indicatie van in welk gebied de gebruiksdviesen gelden.



Figuur 10 Overzicht regionaal advies met betrekking tot consumptie groenten en fruit uit eigen moestuin.

4.4 Verschil in opname tussen verschillende soorten groenten en fruit

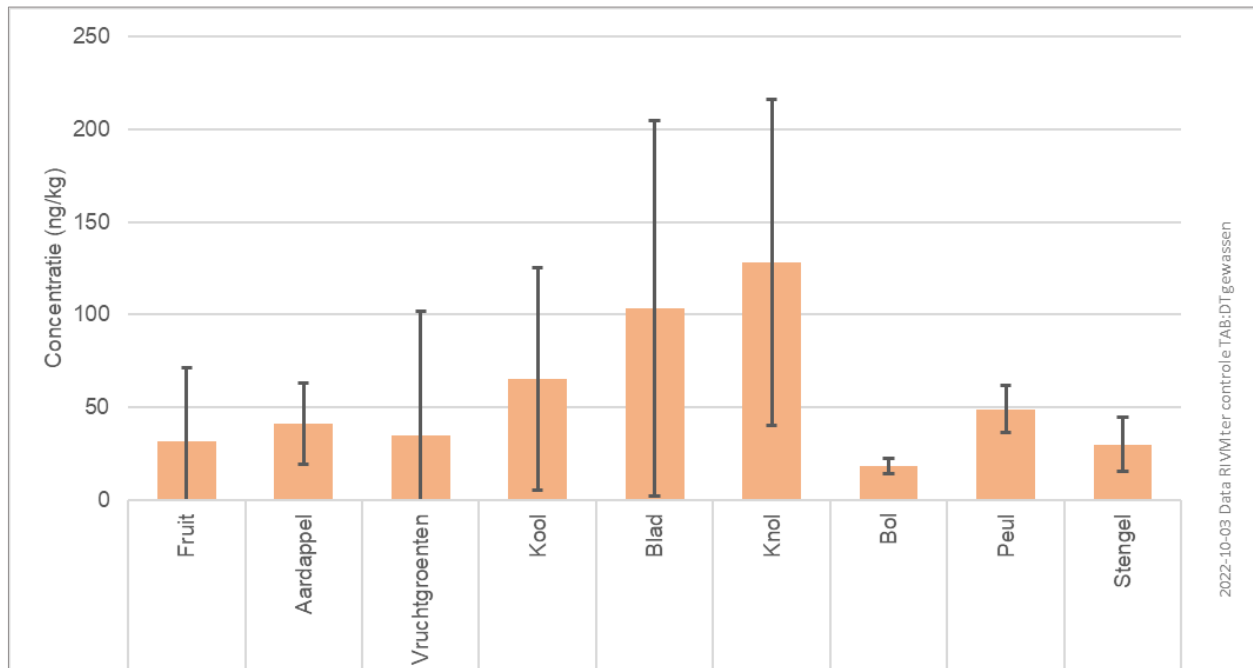
In het RIVM-rapport met betrekking tot inname van PFAS via de moestuingewassen is een algemeen advies gegeven om voor de clusters A, B-P, C, D, E en F de consumptie van groenten en fruit uit de moestuin af te wisselen met groenten en fruit uit de winkel. Voorafgaande aan het onderzoek was de vraag gesteld om indien mogelijk een gewasspecifiek advies te geven, als er duidelijk verschil zou zijn tussen de gewassen. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de verschillen tussen de gewassen en wordt aangegeven waarom geen gewasspecifiek advies gegeven wordt.

De relatie tussen de PFAS-concentratie in groenten en fruit en de omgeving kan per type gewas en type PFAS verschillen. De ene PFAS wordt makkelijker opgenomen dan de andere, en er is ook verschil in opname tussen bijvoorbeeld de wortels en de bladeren. In Bijlage 3 zijn de gemeten concentraties PFOA en GenX in de groenten en fruit door middel van boxplots weergegeven. Deze figuren geven aan dat de groenten en fruit PFOA en GenX op een andere wijze opnemen. PFOA wordt in knolgroenten in hogere concentraties aangetroffen, terwijl fruit en bolgroenten (ui) relatief lage PFOA-concentraties laten zien. Bij GenX daarentegen werden de hoogste concentraties aangetroffen in bladgroenten. De laagste concentraties GenX werden aangetroffen in bolgroenten.

In haar evaluatie heeft het RIVM geen gewasspecifiek advies gegeven. Als verklaring daarvoor heeft het RIVM aangegeven dat het verschil in concentraties tussen de gewassen klein is en niet altijd eenduidig (bv niet in alle clusters te zien). Bovendien worden gewassen waarvoor consumptie zou worden afgeraden dan vervangen door andere gewassen uit dezelfde tuin en deze vervangende gewassen bevatten ook PFAS, waardoor het effect van een gewasspecifiek advies klein zou zijn; het is daarom beter om het eten van groenten en fruit uit de moestuin af te wisselen met groenten en fruit uit de winkel. Daarnaast adviseert de GGD om gevarieerd te eten.

In Figuur 11 zijn de concentraties in groenten en fruit uit de bovenstaande clusters omgerekend naar PFOA-equivalenten (PEQ, zie hoofdstuk 3), opgeteld en weergegeven voor de verschillende typen gewas. Dit is gedaan omdat de PFOA-equivalenten de inname weergeven, die bepalend is voor het gezondheidsrisico. In de figuur is tevens de standaarddeviatie weergegeven (dit geeft de mate van spreiding weer). Er worden gemiddeld hogere concentraties gemeten in knol- en in bladgroenten. Maar vooral bij de hogere concentraties is de spreiding groot. Dit geeft aan dat er zowel hoge als lage concentraties worden gemeten in hetzelfde gewas en het is daarbij niet zo dat alle hoge of lage concentraties in hetzelfde cluster liggen, deze liggen verspreid over bovenstaande zes clusters.

De conclusie van het RIVM wordt bevestigd door Figuur 11. Uit de figuur blijkt dat er veel spreiding is tussen de resultaten en dat de verschillen niet groot zijn. Wel lijkt het er op dat fruit, aardappelen, vruchtgroenten, bolgroenten en stengelgroenten over het algemeen wat minder PFAS opnemen (kijkende naar PFOA-equivalenten), en knolgroenten en bladgroenten lijken wat meer PFAS op te nemen. De verschillen zijn echter niet dusdanig groot en niet eenduidig genoeg om een gewasspecifiek advies te geven.



Figuur 11. Gemiddelde concentratie PFOA-equivalenten (PEQ) in de verschillende gewasgroepen in clusters A, B-P, C, D, E, F (clusters B-S, G, H en R zijn weggelaten) met standaarddeviatie (de standaarddeviatie geeft de spreiding weer, in de meeste gewassen wordt een grote spreiding gemeten).

Hoogste PFAS waarden in groenten en fruit

De allerhoogste concentraties PFOA zijn gemeten in tomaat en komkommer in cluster B-S. Bij een concentratie van 3 µg/kg, een TWI van 4,4 ng/kg lg/week en een persoon van 70 kg geeft het eten van 15 gram van deze komkommer per dag al een inname boven de TWI. Deze tomaat en komkommer werden in een kas gekweekt en na een aanvullende meting in de kas bleek dat in de grond zeer hoge concentraties PFOA gemeten zijn, wat de hoge concentraties in tomaat en komkommer verklaart. Dit is niet representatief voor het hele cluster of voor de andere clusters.

PFUnDA en overige PFAS

Er zijn verhoogde PFUnDA-concentraties aangetroffen in een aantal groenten en fruit; de hoogste niveaus werden aangetroffen in vruchtgroenten, fruit en aardappelen. PFUnDA heeft een hoge RPF en heeft daardoor een hoge waarde in PFOA-equivalenten. Er kon geen duidelijke oorzaak voor de verhoogde PFUnDA concentraties achterhaald worden. In de grond zijn geen duidelijk verhoogde concentraties PFUnDA aangetroffen (met uitzondering van cluster B-S) en er zijn ook geen redenen om aan te nemen dat PFUnDA nog neerslaat uit de lucht. De verhoogde waarden waren bovendien niet consistent. De opvallend hoge PFUnDA-concentraties zijn wel meegenomen in de innameberekeningen van het RIVM, en hebben vanwege de hoge RPF een relatief grote bijdrage in de berekende totale inname. Gezien het bovenstaande is het de vraag of dat correct is. PFPA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA en PFBS werden in de gewassen slechts sporadisch boven de LOD's aangetroffen, alle meestal in bladgroenten.

4.5 Het effect van aanhangende grond

Sommige groenten en fruit worden zowel geschild als ongeschild geconsumeerd. Daarom zijn van een aantal groenten de concentraties bepaald van zowel een geschild als een ongeschild monster. Daarmee wordt ingeschat of de concentratie PFAS in de aanhangende grond mogelijk een belangrijke rol speelt in PFAS-concentraties van de gewassen. Immers, ook al zit er maar een klein beetje grond aan de groenten en fruit, een concentratie van 10 µg/kg in de grond kan in een gewasmonster significant bijdragen (10 µg/kg = 10.000 ng/kg). Voor 14 monsters van aardappel, rode biet en wortel is de concentratie met en zonder schillen bepaald. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel. Uit de resultaten blijkt dat de concentraties variëren. In sommige monsters werd minder PFAS aangetroffen na schillen (verhouding ongeschild/geschild >1) in andere monsters werd juist meer PFAS aangetroffen na schillen (verhouding < 1). Op basis hiervan is geconcludeerd dat er geen eenduidige conclusie getrokken kan worden met betrekking tot het wel of niet schillen van de monsters. Voor de innameberekeningen van het RIVM zijn de resultaten van geschilde monsters gebruikt voor alle groenten en fruit omdat dat de groenten over het algemeen geschild gegeten worden. Sowieso wordt geadviseerd om alle groenten en fruit goed te wassen voor consumptie.

Tabel 5. Concentraties PFAS (totaal) in geschilde en ongeschilde groenten.

Gewas	Cluster	PFAS-concentratie totaal (ng/kg) Geschild	PFAS-concentratie totaal (ng/kg) Ongeschild	Verhouding ongeschild/geschild
Aardappel	B-P	7,8	1,5	0,2
		11,6	19,4	1,7
	B-S	44,5	105	2,4
		188	130	0,7
		47,5	109	2,3
Rode biet	B-P	99,5	118	1,2
		275	212	0,8
		693	338	0,5
	B-S	1670	2286	1,4
		84,2	61,7	0,7
Wortel	B-P	54,7	76,6	1,4
		101	104	1,0
		221	323	1,5
	B-S	224	236	1,1

5 PFAS in grond en water

5.1 Onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de PFAS die gevonden zijn in de grond, het grondwater, regenwater (water uit de regentonnen) en slootwater (oppervlaktewater). Het onderzoek beoogt antwoord te geven op onderzoeksvraag 4:

1. *Wat zijn de gemeten concentraties in grond, grond-, sloot-, en regenwater? En hoe staan die in relatie tot elkaar en de afstand (en windrichting) tot DuPont/Chemours?*

In dit hoofdstuk worden daartoe achtereenvolgens beschreven:

- Samenvatting concentraties PFOA en GenX in grond en water.
- Samenvatting overige PFAS.
- Concentraties PFOA en GenX ten opzichte van de afstand tot DuPont/Chemours.
- Aanvullend onderzoek naar invloed bodemgebruik op concentraties.
- Advies gebruik van grond-, regen- of slootwater.

Dit hoofdstuk is gebaseerd op de resultaten van bodem- en wateronderzoek dat is uitgevoerd door Tritium. De complete resultaten van de onderzoeken zijn terug te vinden in de rapporten van Tritium (zie lijst met rapporten in Bijlage 2).

5.2 Samenvatting concentraties PFOA en GenX

5.2.1 Grond

In tabel 6 zijn de gemiddelde concentraties PFOA en GenX in grond samengevat, de conclusies worden besproken in paragraaf 5.4 t/m 5.6. Bij het onderzoek is onderscheid gemaakt tussen verschillende dieptes:

- laag I van 0,0 tot 0,2 m-mv (de bouwvoor);
- laag II van 0,2-0,5 m-mv;
- laag III van 0,5 -1 m-mv;
- laag IV van 1 - 1,5 m-mv;
- laag V van 1,5 -2 m-mv.

Laag I en II worden samen ook wel de bovengrond genoemd. Laag III t/m V worden ook wel de ondergrond genoemd.

Omdat de grondconcentraties in de moestuinen over het algemeen lager waren dan verwacht op basis van eerder uitgevoerde bodemonderzoeken in een aantal van de moestuinen en uit bodemonderzoeken op nabijgelegen percelen, is aanvullend veldwerk uitgevoerd. Om te controleren of er werkelijk een verschil is tussen de PFOA-concentraties in de moestuingrond en de naastgelegen weilanden, zijn bij complex MWG monsters genomen in een nabijgelegen weiland en boomgaard en bij één van de tuinen in cluster B-S zijn monsters genomen in het nabijgelegen grasveld. Aangezien een aantal groenten uit één specifieke kas hele hoge concentraties PFOA bleek te bevatten, zijn er extra grondmonsters in en naast deze kas genomen.

Bovengrond (0 tot 0,5 m-mv)

In de bovengrond werden concentraties verwacht van 10 µg/kg tot meer dan 60 µg/kg (zie Figuur 2). De gemeten grondconcentraties in de moestuinen zijn lager dan verwacht. Daarom is aanvullende onderzoek uitgevoerd (zie paragraaf 2.2.2).

De PFOA-concentraties in de tweede bodemlaag (bodemlaag II; 20-50 cm) zijn over het algemeen hoger dan in de bovenste bodemlaag (bodemlaag I; 0 -20 cm) (zie Tabel 6). De hoogste gemiddelde PFOA-concentraties zijn gevonden in bodemlaag II in cluster B-S, direct benedenwinds van de fabriek in Dordrecht. De bodem in laag II in cluster E, iets verder benedenwinds, had de op één na hoogste gemiddelde PFOA-bodemconcentraties. Hier is ook de hoogste ongecorrigeerde PFOA-concentratie (27 µg/kg) in de moestuinen gevonden (dit is exclusief de monsters van het aanvullende onderzoek).

Verschillen in PFOA-concentraties tussen dieptes kunnen te maken hebben met verschillen in de bodemopbouw, bijvoorbeeld de hoeveelheid organisch materiaal of klei, dit is vooral van belang voor cluster E waar de grond veel organisch materiaal bevat (veen). GenX wordt in de grond alleen aangetroffen in cluster B-S in de tuinen het dichtst bij de fabriek. De concentraties aan GenX in dit cluster zijn laag in verhouding tot PFOA.

Wat opvalt is dat in cluster B-S duidelijk hogere PFOA-concentraties in de grond worden aangetroffen dan in het nabijgelegen cluster B-P, dit bevestigt de keuze om cluster B op te splitsen in de twee afzonderlijke clusters B-S en B-P.

Het aanvullende onderzoek bevestigt het beeld dat de concentraties PFOA in de omliggende percelen hoger zijn dan in de moestuinen zelf.

Ondergrond (dieper dan 0,5 m-mv)

Om een beeld te krijgen tot hoe diep PFOA in de bodem te vinden is, is de ondergrond geanalyseerd in een aantal tuinen (DVK, MWG, SBB en SSM). Uit deze resultaten bleek dat PFOA in de grond aanwezig is tot op een diepte van minimaal 2 meter. Dieper is niet bemonsterd.

Algemeen beeld

Over het algemeen wordt er in laag I (bovenste 20 cm) minder PFOA aangetroffen dan in de laag daaronder (laag II, van 20 cm tot 50 cm-mv). Vervolgens nemen de concentraties in de diepte af. Opvallend is dat de concentraties in de bovengrond lager zijn dan verwacht in vergelijking met eerdere bodemonderzoeken (niet in moestuinen) in de regio. Mogelijk speelt de intensieve bewerking en bewatering van moestuinen daarbij een rol.

Binnen de bemonsterde complexen worden op dezelfde diepte verschillende concentraties PFOA aangetroffen. Dit kan worden verklaard door de heterogeniteit van de bodem. Bij bodemonderzoeken is altijd sprake van een zekere mate van heterogeniteit.

Tabel 6 Gemiddelde concentraties PFOA en GenX in de grond (gestandaardiseerd in µg/kg). GenX is niet in alle tuinen geanalyseerd. NB: Als na correctie de concentratie kleiner was dan 0,1 is 0,1 weergegeven.

Diepte lagen: I = 0 - 0,2 m-mv; II = 0,2 - 0,5 m-mv; III = 0,5 - 1 m-mv, IV = 1 - 1,5 m-mv; V = 1,5 - 2 m-mv

Cluster	Tuin	Laag	PFOA				GenX				
			Gem.	Min.	Max.	Aantal	Gem.	Min.	Max.	Aantal	
R	REF	I	1,0	0,6	1,3	12	0,1	0,1	0,1	12	
		II	0,9	0,6	1,1	7					
	REP	I	1,9	1,3	2,4	4	0,1	0,1	0,1	4	
		II	1,6	1,4	1,8	3					
H	DTK	I	4,8	2,9	6,3	6					
		II	4,0	3,2	5,0	4					
	DVK	I	1,7	1,1	2,7	6					
		II	1,7	0,6	2,4	4					
A	DKG	I	2,2	1,4	4,1	8	0,1	0,1	0,1	4	
		II	3,3	1,8	5,8	7	0,1	0,1	0,1	2	
	DVP	I	5,2	2,6	6,9	4					
		II	11,9	9,6	14,2	2					
		III	9,3	9,3	9,3	1					
B-S	SBA	I	10,1	7,9	12,2	2	0,7	0,6	0,7	2	
		II	13,2	11,8	14,8	3	0,5	0,3	0,8	3	
	SBB	I	11,8	6,5	17,1	3	0,8	0,5	1,0	2	
		II	17,8	10,5	27,6	3	0,3	0,3	0,4	2	
		III	7,4	0,8	19,1	3	0,1	0,1	0,2	3	
		IV	0,3	0,3	0,3	1					
		V	0,1	0,1	0,1	1					
SBC	I	6,7	6,7	6,7	1	0,2	0,2	0,2	1		
II	12,8	12,8	12,8	1	0,1	0,1	0,1	1			
B-P	PEH	I	4,2	3,7	4,7	2	0,1	0,1	0,1	2	
		II	4,9	4,4	5,4	2	0,1	0,1	0,1	2	
	PT1	I	4,2	3,9	4,5	2	0,1	0,1	0,1	2	
		II	5,1	4,4	5,8	2	0,1	0,1	0,1	2	
		PT2	I	3,7	3,6	3,7	2	0,2	0,1	0,2	2
			II	5,4	5,4	5,4	1	0,1	0,1	0,1	1
E	MWG	I	5,0	3,0	9,3	9	0,1	0,1	0,1	6	
		II	6,3	4,6	10,3	8	0,1	0,1	0,1	5	
		III	6,2	3,2	8,7	6	0,1	0,1	0,1	2	
		IV	7,6	7,6	7,6	1	0,1	0,1	0,1	1	
		V	8,2	8,2	8,2	1	0,1	0,1	0,1	1	
D	SPW	I	3,3	2,4	4,3	2	0,1	0,1	0,1	2	
		II	6,3	3,4	9,8	3	0,1	0,1	0,1	3	
	SSM	I	3,3	3,0	3,6	2	0,1	0,1	0,1	2	
		II	4,8	3,6	6,0	2	0,1	0,1	0,1	2	
	SVS	I	2,3	0,3	3,1	8	0,1	0,1	0,1	8	
		II	3,3	2,2	5,0	7	0,1	0,1	0,1	7	
C	MOA	I	4,0	2,9	5,1	6					
		II	4,6	3,7	5,4	4					
	PNH	I	2,9	2,1	3,5	6	0,1	0,1	0,1	6	
		II	4,4	3,5	5,3	5	0,1	0,1	0,1	5	
F	MBR	I	1,8	1,6	2,0	2					
		II	1,2	1,2	1,2	1					
	MHK	I	2,4	2,4	2,4	1					
II	5,6	5,6	5,6	1							
G	MGA	I	2,7	1,6	3,9	6					
		II	3,6	3,3	4,0	3					

< risicogrenswaarde Wonen met moestuin (2,3 µg/kg)

< 2x wonen met moestuin (4,6 µg/kg)

< 5x Wonen met moestuin (11,5 µg/kg)

> 5x Wonen met moestuin (11,5 µg/kg)

5.2.2 Water

In tabellen 3 en 4 zijn de analyseresultaten van het grond-, regen- en oppervlaktewater (sloten) samengevat. In het kort is het volgende waargenomen:

Grondwater

In alle clusters, inclusief het referentiecluster, is PFOA aangetroffen in het grondwater (zie Tabel 7). De hoogste PFOA-concentraties in het grondwater zijn aangetroffen in cluster B-S en B-P (max 3,03 µg/l). GenX is alleen aangetroffen in de grondwatermonsters uit cluster B-S (gemiddeld 0,07 µg/l, zie Tabel 8). Deze concentraties zijn hoger dan de gemiddelde concentraties die de door het RIVM gemeten zijn voor het vaststellen van het landsdekkend beeld van PFAS in de het Nederlandse grondwater¹⁵. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat het grondwater dat voor het landsdekkend beeld bemonsterd is dieper is (10 meter) dan het grondwater in het huidige onderzoek, waarschijnlijk bevat het diepere grondwater in de regio ook lagere concentraties.

Regentonnen

PFOA is aangetroffen in vijf van in totaal 49 watermonsters uit de regentonnen (zie Tabel 7). In de meeste regentonnen is geen PFOA aangetroffen. De hoogste concentratie (0,32 µg/l) is aangetroffen in cluster B-P. Daarnaast is PFOA aangetroffen in water uit de regentonnen in clusters D en E. GenX wordt op iets meer plekken aangetroffen in het water uit de regentonnen, de hoogste concentraties zijn aangetroffen in de tuinen in cluster B-S (gemiddeld 0,15 µg/l). GenX is ook aangetroffen in clusters B-P, D en E, in dezelfde monsters waarin ook PFOA is aangetroffen.

Sloten

In alle clusters, met uitzondering van de referentie tuinen, is PFOA in het slotwater aangetroffen (zie Tabel 7). Vooral in het slotwater in Sliedrecht (cluster B-S) zijn hoge PFOA-concentraties in het slotwater gemeten (max 2,7 µg/l). GenX in slotwater was ook het hoogst in cluster B-S (max 0,29 µg/l). GenX is daarnaast in cluster B-P en in cluster E aangetroffen.

Tabel 7 Samenvatting analyseresultaten PFOA in grondwater en het water uit regentonnen en sloten (in µg/l). Als er slechts één monster is geanalyseerd zijn het gemiddelde, de minimale en maximale waarde hetzelfde en staat er één getal.

Cluster	Tuin	PFOA in grondwater (µg/l)				PFOA in (regen)tonnen (µg/l)				PFOA in slootwater (µg/l)			
		Gem	Min	Max	Aantal	Gem	Min	Max	Aantal	Gem	Min	Max	Aantal
R	REF	0,02	<	0,05	6	<	<	<	6	Geen sloot aanwezig			
	REP	<	<	<	2	<	<	<	3	<			1
H	DTK	0,03	<	0,06	3	<	<	<	4	0,02			1
	DVK	0,04	<	0,06	2	<	<	<	5	0,06			1
A	DKG	0,04	0,02	0,08	4	<	<	<	7	0,11			1
	DVP	0,60	0,57	0,63	2	<	<	<	3	0,24			1
B-S	SBA	3,03			1	0,02	<	0,03	2	2,3			1
	SBB	0,08	0,03	0,13	2*	0,03			1	Geen sloot aanwezig			
	SBC	1,15			1	<			1	2,70			1
B-P	PEH	0,09			1	0,32			1	0,40			1
	PT1	0,29			1	<			1	0,39			1
	PT2	2,37			1	<	<	<	2	0,54			1
E	MWG	0,18	0,02	0,48	3	0,12	<	0,23	2	0,23			1
D	SPW	<			1	0,03	<	0,05	2	0,23			1
	SSM	0,05			1	<	<	<	2	0,09			1
	SVS	0,08	0,05	0,15	4	<	<	<	4	# zie SSM			
C	MOA	0,02	<	0,02	3	<			1	0,06			1
	PNH	0,09	0,07	0,10	3	<	<	<	2	0,14			1
F	MBR	0,07			1	Geen regenton aanwezig				0,07			1
	MHK	0,12			1	Geen regenton aanwezig				0,07			1
G	MGA	0,02	<	0,02	3	Geen regenton aanwezig				0,03	0,03	0,03	2

< = Niet aangetroffen in concentraties boven de rapportagegrens

* Dit is een enkele peilbuis die is herbemonsterd

de complexen SVS en SSM delen dezelfde watergang. De resultaten van SSM kunnen daarom ook gebruikt worden voor SVS

Legenda grondwater (zie paragraaf 3.6 voor een uitleg over deze indicatieve ad-hoc toetsingswaarden)

	< (ad-hoc) toetsingswaarde irrigatiewater (0,33 µg/l)
	< 2 x (ad-hoc) toetsingswaarde irrigatiewater (0,66 µg/l)
	> 2 x (ad-hoc) toetsingswaarde irrigatiewater (0,66 µg/l)

Tabel 8 Samenvatting analyseresultaten GenX in grondwater en water uit regentonnen en sloten (in µg/l). Als er slechts één monster is geanalyseerd zijn het gemiddelde, de minimale en maximale waarde hetzelfde en staat er één getal.

Cluster	Tuin	GenX in grondwater (µg/l)				GenX in (regen)tonnen (µg/l)				GenX in slootwater (µg/l)			
		Gem	Min	Max	Aantal	Gem	Min	Max	Aantal	Gem	Min	Max	Aantal
R	REF	<	<	<	3	<	<	<	6	Sloot niet aanwezig			
	REP	<	<	<	2	<	<	<	3	<	1		
H	DTK DVK	Geen GenX analyses				Geen GenX analyses				Geen GenX analyses			
A	DKG	<	<	<	2	<	<	<	2	<	1		
	DVP	<	<	<	2	<	<	<	1	<	1		
B-S	SBA	0,10			1	0,15	0,12	0,19	2	0,30	1		
	SBB	0,03	<	0,05	2*	0,23			1	Sloot niet aanwezig			
	SBC	0,06			1	0,06			1	0,22	1		
B-P	PEH	<	<	<	1	0,02			1	0,03	1		
	PT1	<	<	<	1	<	<	<	1	0,04	1		
	PT2	<	<	<	1	0,01	<	0,02	2	0,07	1		
E	MWG	<	<	<	3	0,02	<	0,04	2	0,02	1		
D	SPW	<	<	<	1	0,01	<	0,02	2	<	1		
	SSM	<	<	<	1	<	<	<	2	<	1		
	SVS	Geen GenX analyses				Geen GenX analyses				# zie SSM			
C	MOA	Geen GenX analyses				<	<	<	1	<	1		
	PNH	Geen GenX analyses				<	<	<	2	<	1		
F	MBR	Geen GenX analyses				Regenton niet aanwezig				<	1		
	MHK	Geen GenX analyses				Regenton niet aanwezig				<	1		
G	MGA	Geen GenX analyses				Regenton niet aanwezig				Geen GenX analyses			

< = Niet aangetroffen in concentraties boven de rapportagegrens

* Dit is een enkele peilbuis die is herbemonsterd

de complexen SVS en SSM delen dezelfde watergang. De resultaten van SSM kunnen daarom ook gebruikt worden voor SVS

Legenda grondwater (zie paragraaf 3.6 voor een uitleg over deze indicatieve ad-hoc toetsingswaarden)

	< (ad-hoc) toetsingswaarde irrigatiewater (0,33 µg/l)
	< 2 x (ad-hoc) toetsingswaarde irrigatiewater (0,66 µg/l)
	> 2 x (ad-hoc) toetsingswaarde irrigatiewater (0,66 µg/l)

5.3 Samenvatting overige PFAS

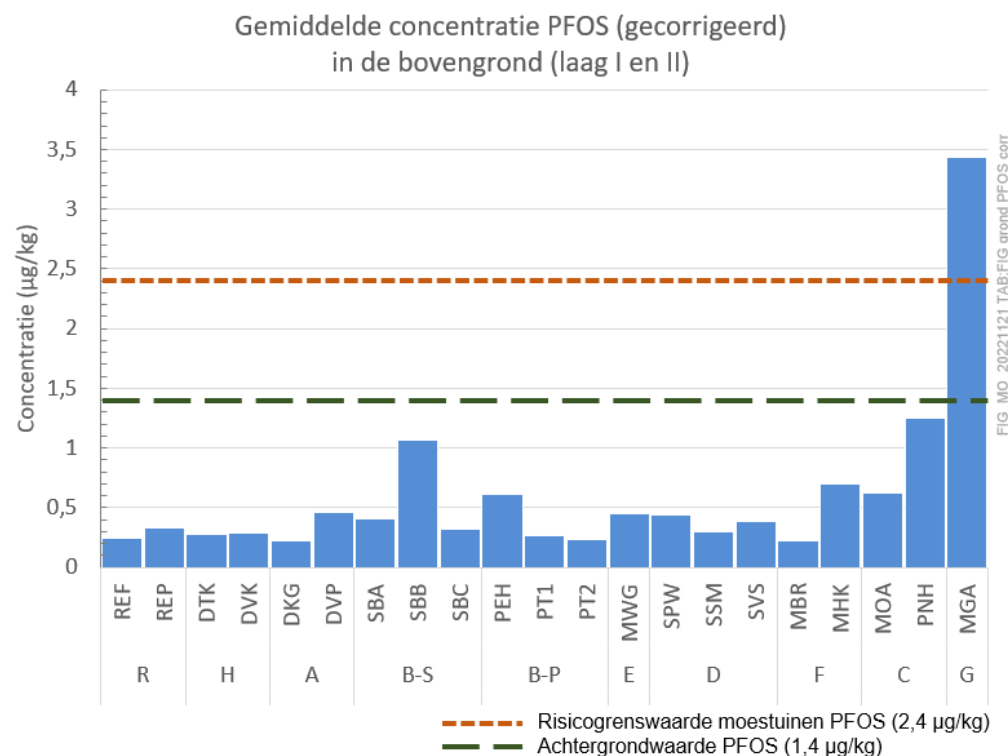
In de grond en het water worden plaatselijk andere PFAS dan PFOA en GenX aangetroffen. Van de overige PFAS wordt vooral PFOS aangetroffen, daarom wordt hieronder een onderscheid gemaakt tussen PFOS en alle overige PFAS.

5.3.1 PFOS

PFOS wordt op meerdere plekken in Nederland aangetroffen in de grond, maar is voor zover bekend niet uitgestoten door DuPont/Chemours in Dordrecht. De achtergrondwaarde van PFOS in grond in Nederland is 1,4 µg/kg. Over het algemeen zijn de PFOS-concentraties in de grond in dit onderzoek lager dan de Nederlandse achtergrondwaarde. In clusters A, B-S, B-P, C, E en G zijn plaatselijk concentraties PFOS boven de achtergrondwaarde aangetroffen. Dat is niet ongevoel voor stedelijk of industrieel gebied. De achtergrondwaarde is bepaald in landelijk, onverdacht gebied.

De hoogste concentraties PFOS zijn aangetroffen in bodemlaag I van cluster G. Het huidige onderzoek levert geen verklaring voor de aanwezigheid van de verhoogde PFOS-concentraties in dit cluster. De relatief lage PFOS-concentraties in de tuinen dicht bij de fabriek bevestigen dat PFOS naar alle waarschijnlijkheid niet door DuPont/Chemours is uitgestoten en dat de PFOS afkomstig is uit andere bronnen. Dergelijke fluctuaties in PFOS-gehalte zijn niet ongevoel in Nederland. Uit de evaluatie van het RIVM blijkt daarnaast dat de verhoogde PFOS-concentraties in de grond in cluster G niet zorgen voor een te hoge PFAS inname via groenten en fruit⁹. De hoge PFOS-concentraties in cluster G zijn echter wel in lijn met eerder onderzoek¹⁹.

In het water (grondwater, water uit de regentonnen en slotwater) is geen PFOS aangetroffen.



Figuur 12 Gemiddelde, voor organische stof gecorrigeerde, PFOS-concentraties in de bovengrond (laag I en II). Waarden onder de rapportage grens zijn wel meegenomen in de gemiddelden (inclusief 0,7-factor). Bij die sommatie, die plaatsvindt volgens bijlage G onderdeel IV van de Regeling bodemkwaliteit worden gehalten die zijn gerapporteerd als kleiner dan de rapportagegrens meegenomen als getal door de rapportagegrens met 0,7 te vermenigvuldigen.

¹⁹ Onderzoek naar de aanwezigheid van PFOA in de gemeente Molenlanden, Fase 4, Expertisecentrum PFAS, 3-10-2019

5.3.2 Overige PFAS

In deze paragraaf wordt onderscheid gemaakt tussen de standaard PFAS-componenten, en de zogenaamde TOP analyse, waarbij met behulp van een oxidatiestap ook "verborgen" PFAS-verbindingen zichtbaar kunnen worden gemaakt (zie paragraaf 2.2.2).

Overige PFAS-verbindingen

In de grond en in het grondwater en oppervlaktewater van de onderzochte moestuinen worden overige PFAS niet, of alleen in relatief lage concentraties aangetroffen ten opzichte van PFOA (zie Tabel 9 en Figuur 13).

In het grondwater zijn naast PFOA en GenX ook relatief lage (<0,05 µg/l) concentraties van andere PFAS aangetroffen (PFBA, PFHxA, PFHpA en PFBS) (Tabel 9). Deze overige PFAS worden met name aangetroffen in clusters B-P en B-S. In het irrigatiewater zijn naast PFOA en GenX ook lage (<0,02 µg/l) concentraties van andere PFAS aangetroffen (PFBA, PFBS). In het slootwater zijn naast PFOA en GenX ook relatief lage (<0,02 µg/l) concentraties van andere PFAS aangetroffen (PFBA, PFBS, PFHpA, PFPeA, en PFHxA). Deze overige PFAS worden met name aangetroffen in cluster B-P en B-S.

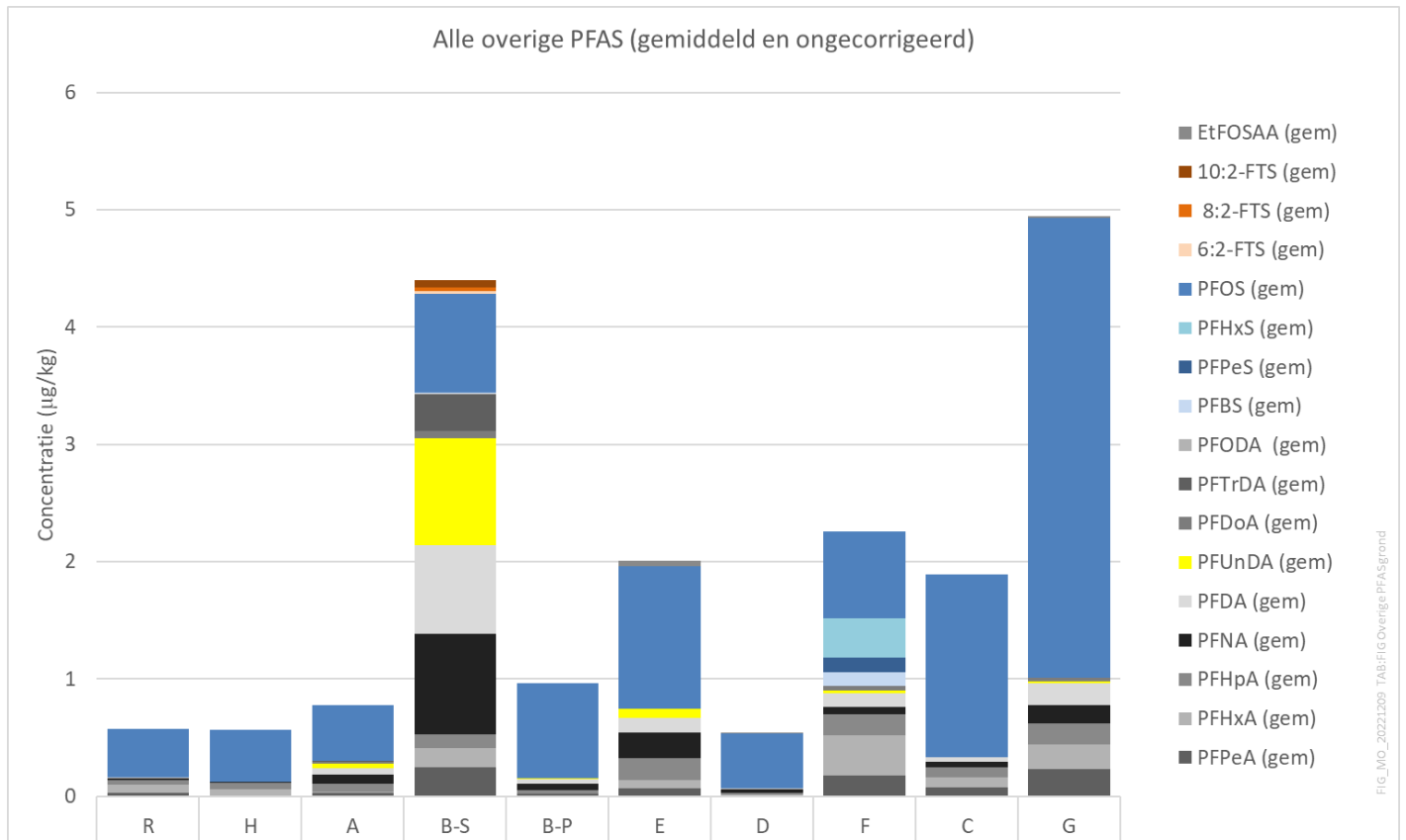
In de grond worden lage concentraties aangetroffen van PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoA, PFTrDA, PFODA, PFBS, PFPeS, PFHxS, PFOS, 6:2-FTS, 8:2-FTS, 10:2-FTS en EtFOSAA (Figuur 13).

Tabel 9 Samenvatting analyseresultaten overige standaard PFAS in grondwater en water uit regentonnen en sloten (in µg/l). Alleen de PFAS die in concentraties > de rapportagegrens zijn aangetroffen zijn in de tabel weergegeven.

Cluster	Overige PFAS in grondwater (µg/l)						Overige PFAS in (regen)tonnen (µg/l)			Overige PFAS in slootwater (µg/l)					
	Tuin	Maximale concentratie					Maximale concentratie			Maximale concentratie					
		Aantal	PFBA	PFHxA	PFHpA	PFBS	Aantal	PFBA	PFBS	Aantal	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFBS
R	REF	6	0,035	<	<	<	6	0,014	<	Geen sloot aanwezig					
	REP	2	<	<	<	<	3	<	<	1	<	<	<	<	<
H	DTK	3	0,012	<	<	<	4	<	<	1	<	<	<	<	<
	DVK	2	0,049	<	<	<	5	<	<	1	0,01	<	<	<	<
A	DKG	4	<	<	<	<	7	<	<	1	<	<	<	<	<
	DVP	2	<	<	0,012	<	3	<	<	1	<	<	<	<	<
B-S	SBA	1	<	0,016	0,024	<	2	<	<	1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
	SBB	2*	0,018	<	<	0,03	1	<	<	Geen sloot aanwezig					
	SBC	1	0,013	0,01	0,01	<	1	<	<	1	0,01	<	0,01	0,02	<
B-P	PEH	1	<	<	<	<	1	0,019	0,015	1	0,01	<	<	<	<
	PT1	1	<	<	<	<	1	<	<	1	0,01	<	0,01	<	<
	PT2	1	0,022	0,017	0,024	<	2	<	<	1	0,01	<	0,01	0,01	<
E	MWG	3	0,011	<	<	<	2	0,013	<	1	<	<	<	<	<
D	SPW	1	<	<	<	<	2	0,012	<	1	<	<	<	<	<
	SSM	1	<	<	<	<	2	<	<	1	<	<	<	<	<
	SVS	4	<	<	<	<	4	<	<	# zie SSM					
C	MOA	3	<	<	<	<	1	<	<	1	<	<	<	<	<
	PNH	3	0,013	<	<	<	2	<	<	1	0,01	<	<	<	<
F	MBR	1	0,021	<	<	<	Geen regenton aanwezig			1	<	<	<	<	<
	MHK	1	0,02	<	<	<	Geen regenton aanwezig			1	<	<	<	<	<
G	MGA	3	<	<	<	<	Geen regenton aanwezig			2	<	<	<	<	<

< = niet aangetroffen boven rapportagegrens

de complexen SVS en SSM delen dezelfde watergang. De resultaten van SSM kunnen daarom ook gebruikt worden voor SVS



Figuur 13. Overige PFAS in de bovengrond. De PFOS-concentraties zijn niet te relateren aan DuPont/Chemours.

PFOA-equivalenten grond en water

In dit onderzoek is er voor gekozen om de overige PFAS niet om te rekenen naar PFOA-equivalenten. Dit is gedaan omdat:

- In de watermonsters zijn de concentraties van de andere gemeten PFAS laag en de aangetroffen PFAS voornamelijk PFAS met korte ketens, die een lage RPF-factor hebben. Hierdoor zullen deze PFAS bij het toepassen van een RPF-factor niet significant bijdragen aan de som PFAS.
- In de grondmonsters zijn de overige PFAS veelal op het niveau van de achtergrondwaarden aanwezig. In clusters B-S en G worden wel enkele µg/kg aan andere PFAS aangetroffen, dit betreffen voornamelijk de langketenige PFAS die sterk aan de bodem binden en dus niet of nauwelijks in de planten terecht komen. Het toepassen van een RPF-factor geeft op die locaties een vertekend beeld.

Beide punten worden toegelicht in bijlage 3.

Aanwezigheid precursors (TOP analyse)

Precursors zijn PFAS-verbindingen die in de reguliere analyses niet zichtbaar worden, maar die door natuurlijke processen in het milieu omgezet kunnen worden in de persistente eindproducten zoals PFOA en PFOS. Om te bepalen of er mogelijk precursors aanwezig zijn in de grond in de buurt van de fabriek zijn TOP analyses uitgevoerd op bovengrond (laag I) van twee vakken in cluster B-S. Ook zijn er twee monsters uit de regentonnen geanalyseerd, een grondwatermonster en een slootwatermonster.

Bij de TOP-analyse wordt eerst een basispakket PFAS geanalyseerd, vervolgens wordt het monster geoxideerd met hydroxylradicalen en opnieuw geanalyseerd op het basispakket PFAS. Tijdens de oxidatiestap worden de precursors in het monster omgezet in de standaard PFAS-verbindingen (voornamelijk perfluorcarboxylzuren, zoals PFOA). Met dit proces wordt een totale hoeveelheid PFAS bepaald die door natuurlijke processen in het milieu omgezet kunnen worden in de standaard, (persistente) PFAS-verbindingen.

Uit de resultaten van de TOP analyse kan worden geconcludeerd dat er niet of nauwelijks precursors in de grond en het water aanwezig zijn: de gehalten van alle geanalyseerde PFAS zijn voor oxidatie en na oxidatie ongeveer even hoog (zie Tabel 10).

Tabel 10 Analyseresultaten voor oxidatie en na oxidatie van de TOP analyse. Resultaten in µg/l vanwege schudproeven. Omdat is gewerkt met een L/S (liquid/solid) ratio van 10, kunnen deze waarden omgerekend worden naar µg/kg d.s. door te vermenigvuldigen met 10.

Tuin	Soort monster	PFAS totaal voor oxidatie (µg/l)	PFAS totaal na oxidatie (µg/l)
SBA	Water uit regenton	0,03	0,03
	Grondwater	2,0	1,8
	Grond	0,5	0,5
	Slootwater	3,1	2,8
SBB	Grond	1,05	1,1
	Water uit regenton	0,04	0,04

Tijdens eerdere bodemonderzoeken zijn er ook TOP-analyses uitgevoerd rond DuPont/Chemours. Ook bij de eerdere onderzoeken werden geen precursors aangetroffen in de buurt van DuPont/Chemours. Hieruit blijkt dat de TOP analyse bij onderzoeken naar de uitstoot van DuPont/Chemours (bij onderzoek op locaties waar GenX/PFOA gebruikt is) bij de huidige stand der techniek weinig meerwaarde heeft.

5.4 PFOA en GenX concentraties t.o.v. van de afstand tot DuPont/Chemours

5.4.1 Grond

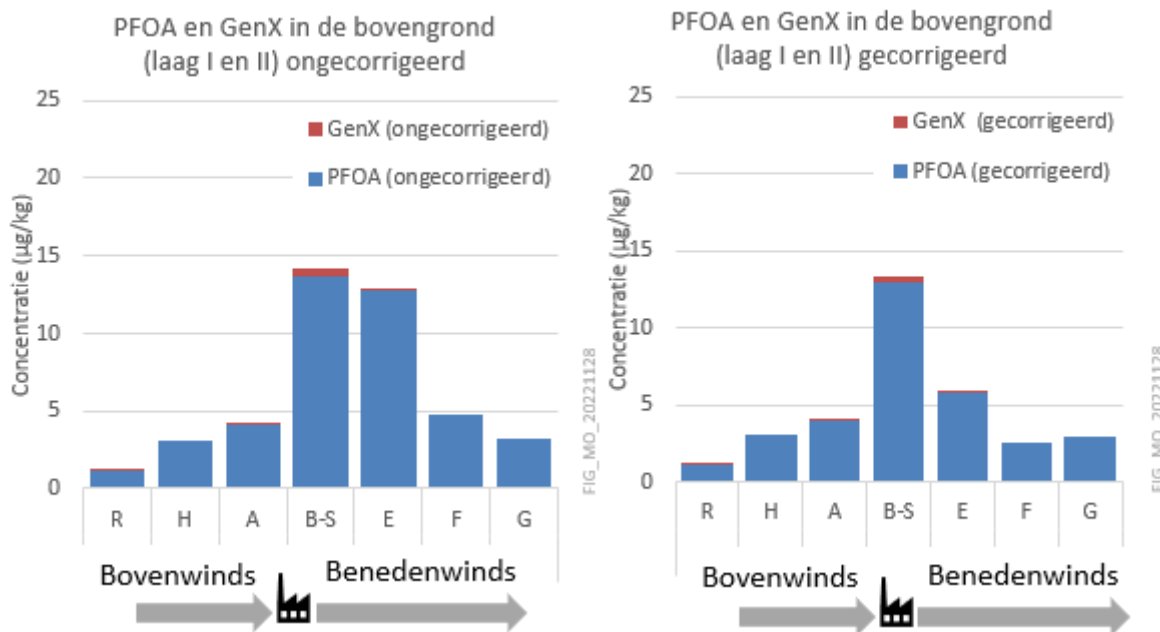
De PFOA-concentraties in de grond in de clusters A-H (Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht, Molenlanden) zijn beduidend hoger dan in de referentie tuin. De concentraties zijn het hoogst in de tuinen vlak bij de fabriek in cluster B-S en in cluster E, beide benedenwinds van de fabriek. Er is geen duidelijk verschil in de PFOA-concentraties in de grond in de overige clusters (H, A, B-P, D, C, F en G), gemiddeld ligt de PFOA-concentratie in de bovengrond in alle overig clusters rond de 4 µg/kg. GenX wordt alleen boven de detectiegrens aangetroffen in cluster B-S in de tuinen het dichtst bij de fabriek.

In Figuur 14 zijn de PFOA-concentraties in bodemlaag I en II (gemiddelde) voor de clusters die in de overwegende windrichting liggen weergegeven in volgorde van de afstand tot DuPont/Chemours (zie paragraaf 4.2 voor een toelichting op windrichting en paragraaf 3.5 voor een toelichting over de bodemtypecorrectie). De bodemconcentratie van PFOA neemt af met de afstand tot de fabriek. Ook bij andere fabrieken waar PFAS worden geproduceerd of gebruikt worden PFAS in hogere concentraties aangetroffen in grond en water het dichtstbij en benedenwinds van de fabriek^{20, 21, 22}.

²⁰Risk assessment and source identification of perfluoroalkyl acids in surface and ground water: Spatial distribution around a mega-fluorochemical industrial park, China, Liu, Z., Lu, Y., Wang, T., Wang, P., Li, Q., Johnson, A. C., Sweetman, A. J. *Environment International*, 91, 69-77, 2016.

²¹PFAS soil and groundwater contamination via industrial airborne emission and land deposition in SW Vermont and Eastern New York State, Schroeder, T., Bond, D., & Foley, J. USA. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23, 291-301. doi:10.1039/d0em00427, 2021

²²Source apportionment and crop bioaccumulation of perfluoroalkyl acids and novel alternatives in an industrial-intensive region with fluorochemical production, China: Liu, Z., Xu, C., Johnson, A. C., Sun, X., Ding, X., Ding, D., Liang, X. Health implications for human exposure. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 2022



Figuur 14 Gemiddelde PFOA en GenX concentraties in de bovengrond per cluster. De linker figuur geeft de ongecorrigeerde waarden weer, in de rechter figuur zijn de waarden gecorrigeerd voor het organisch stof gehalte. Door de gecorrigeerde waarden te gebruiken zijn concentraties in verschillende typen grond beter vergelijkbaar. Doordat het droge stofgehalte van veen 2 à 3 keer lager is dan het droge stofgehalte van klei, zou bij gelijke depositie in veenmonsters een 2 à 3 keer hogere concentratie worden gemeten dan in kleimonsters. In deze figuur is duidelijk te zien dat de hoge ongecorrigeerde concentraties in cluster E voor een groot deel te verklaren zijn door het hoge organisch stof gehalte van de venige grond. De gegevens zijn exclusief de meetwaarden uit de kas, de boomgaard en de weilanden.

NB: Als GenX is geanalyseerd en niet is aangetroffen boven de detectiegrens dan is de waarde in de figuur 0,1 en staat er in de figuur een heel dun streepje.

5.4.2 Water

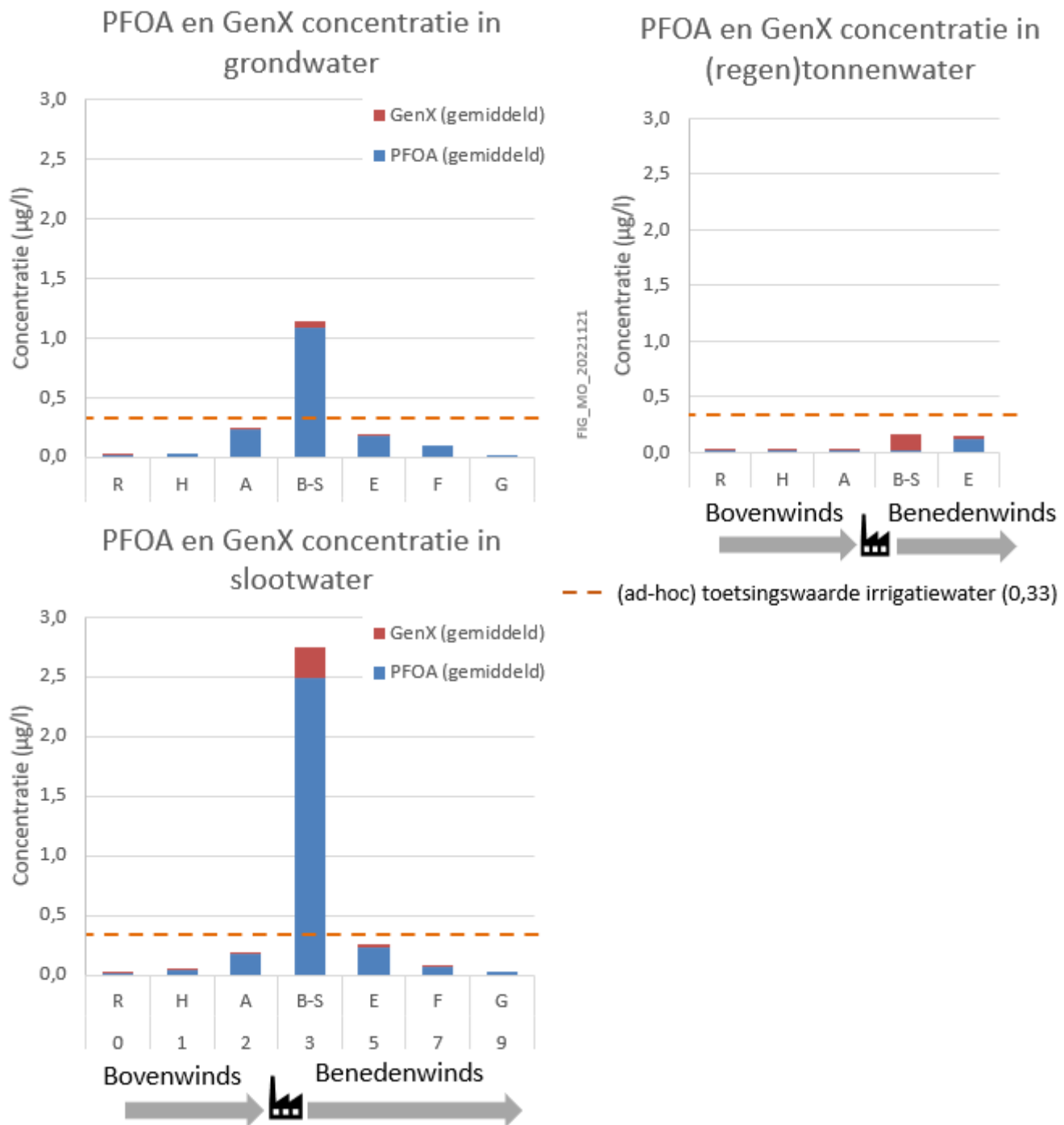
De PFOA-concentraties in grondwater en slootwater nemen af naarmate de afstand van de fabriek van Dupont/Chemours toeneemt (zie Figuur 15). De hoogste concentraties PFOA in het **grondwater** zijn aangetroffen in clusters B-S en B-P in de complexen dicht bij DuPont/Chemours. Er zijn binnen deze twee clusters wel grote verschillen in de PFOA-concentraties in het grondwater. In het grondwater van PT2 worden hogere PFOA-concentraties aangetroffen dan in de rest van cluster B-P. PT2 ligt het van de tuinen in B-P het dichtst bij de fabriek.

Het **slootwater** heeft vooral in de cluster B-S verhoogde PFOA-concentraties.

In 2018 is het slootwater ter plaatse van complexen PT1 en PT2 (cluster B-P) ook onderzocht op PFOA en GenX. De in het huidige onderzoek gemeten PFOA-concentratie in complex PT1 is vergelijkbaar met wat in 2018 is gemeten. De PFOA-concentratie in het slootwater van complex PT2 is in het huidige onderzoek ca 40% lager dan in 2018. De GenX-concentraties zijn voor beide complexen vergelijkbaar met 2018. Onduidelijk is of voor complex PT2 sprake is van een structurele afname in PFOA, of van fluctuerende gehalten.

Het **water uit de regentonnen en opslagtanks** (IBCs) was over het algemeen regenwater dat is opgevangen vanaf daken van schuurtjes en/of kassen. In één tuin (PEH) was de exacte herkomst van het regentonwater niet bekend en in één tuin (DTK) zat in twee van de bemonsterde tonnen opgepompt diep grondwater. In het regentonwater worden relatief lage concentraties PFOA aangetroffen, ook dicht bij de fabriek. Dit komt overeen met de verwachting, aangezien DuPont/Chemours sinds 2012 gestopt is met het gebruik van PFOA, waardoor de stof niet meer wordt uitgestoten naar de lucht en niet meer in het regenwater aanwezig zal zijn. PFOA wordt alleen in de regentonnen aangetroffen in clusters B-S, B-P en E en D. GenX wordt in de regentonnen alleen aangetroffen in de clusters B-S, B-P en E en D en alleen in lage concentraties. In het opgepompte diepere grondwater zijn geen PFAS aangetroffen.

Het feit dat er nog PFOA wordt aangetroffen terwijl dat al jaren niet meer wordt uitgestoten kan mogelijk komen doordat PFAS-verbindingen kunnen blijven “plakken” aan materialen (bijvoorbeeld bedekking van het dak waarop het regenwater wordt opgevangen, of de regenton zelf) en dan later weer vrij kunnen komen (nalevering). Tijdens het onderzoek zijn diverse typen regentonnen bemonsterd. Het ging onder andere om witte, blauwe en groene kunststoffen regentonnen, houten regentonnen, metalen bakken, IBC-containers en kliko’s. Ook de daken waarop het regenwater werd opgevangen varieerde, van tuinhuisjes, kassen en schuurtjes. Uit dit onderzoek bleek geen duidelijk verband tussen de hoeveelheid PFOA en/of GenX in het water en het type ton dat gebruikt voor regenwateropslag of het soort gebruikte dak.



Figuur 15. Gemiddelde PFOA en GenX concentraties in grond-, regen en slootwater. Waarden onder de detectiegrens staan in de grafiek als 0,1. In complexen F en G waren geen regentonnen aanwezig.

5.5 Aanvullend onderzoek - Relatie grondgebruik en PFAS-concentraties

5.5.1 Aanleiding

Al eerder is opgemerkt dat de PFOA-concentraties in de grond in dit moestuinonderzoek lager zijn dan verwacht op basis van eerdere onderzoeken in dezelfde tuinen en gebaseerd op onderzoeken op nabijgelegen percelen. Om meer inzicht te krijgen in het verloop van de PFOA-concentraties in de tijd en over verschillen tussen de PFOA-concentraties bij ander grondgebruik op nabijgelegen percelen is aanvullend onderzoek gedaan. Tijdens dit aanvullend onderzoek is ook aandacht besteed aan de grond uit een kas, waarin de PFOA-concentraties in de groenten veel hoger waren dan de in de overige gewassen uit dezelfde tuin. De bevindingen van dit aanvullend onderzoek worden in de volgende paragrafen beschreven.

5.5.2 PFOA-concentraties in verhouding tot eerdere onderzoeken

Grond

In een aantal van de moestuincomplexen is al eerder bodemonderzoek uitgevoerd (in 2018⁴ en 2019⁶). De destijds aangetroffen PFOA-concentraties in de grond waren hoger dan tijdens het huidige onderzoek. Deze afname kan niet worden verklaard door afbraak en hoewel een deel van de afname verklaard kan worden doordat PFOA langzaam uitspoelt en door de planten uit de tuin worden opgenomen, zijn de verschillen wel erg groot om alleen met enkele jaren reguliere uitspoeling verklaard te kunnen worden.

Een aanvullende verklaring voor de verschillen in concentraties is dat de monsters op andere locaties binnen hetzelfde complex zijn genomen en doordat (meng)monsters anders zijn samengesteld. Tijdens het onderzoek in 2019 is de grond per halve meter bemonsterd, en in het huidige onderzoek in lagen van 0-20 cm en 20 -50 cm. In het huidige onderzoek zijn echter overal vooral lagere concentraties te zien. Dus ook de andere monstersamenstelling kan de verandering in concentraties niet helemaal verklaren. De meest waarschijnlijke verklaring is het feit dat in de moestuinen de grond intensiever wordt bewerkt. Door bemesting, intensievere bewatering en opname in gewassen neemt de concentratie PFOA in de grond af. Om het verschil in PFOA-concentraties in de intensief bewerkte moestuinen en niet bewerkte grond te vergelijken zijn daarom aanvullende monsters genomen uit een direct naast enkele onderzochte moestuinen gelegen weiland, een grasveld en een boomgaard. Om het effect van uitspoeling te onderzoeken zijn in een aantal tuinen aanvullende boringen gezet en de diepere lagen geanalyseerd. Ook dit wordt verderop nader toegelicht.

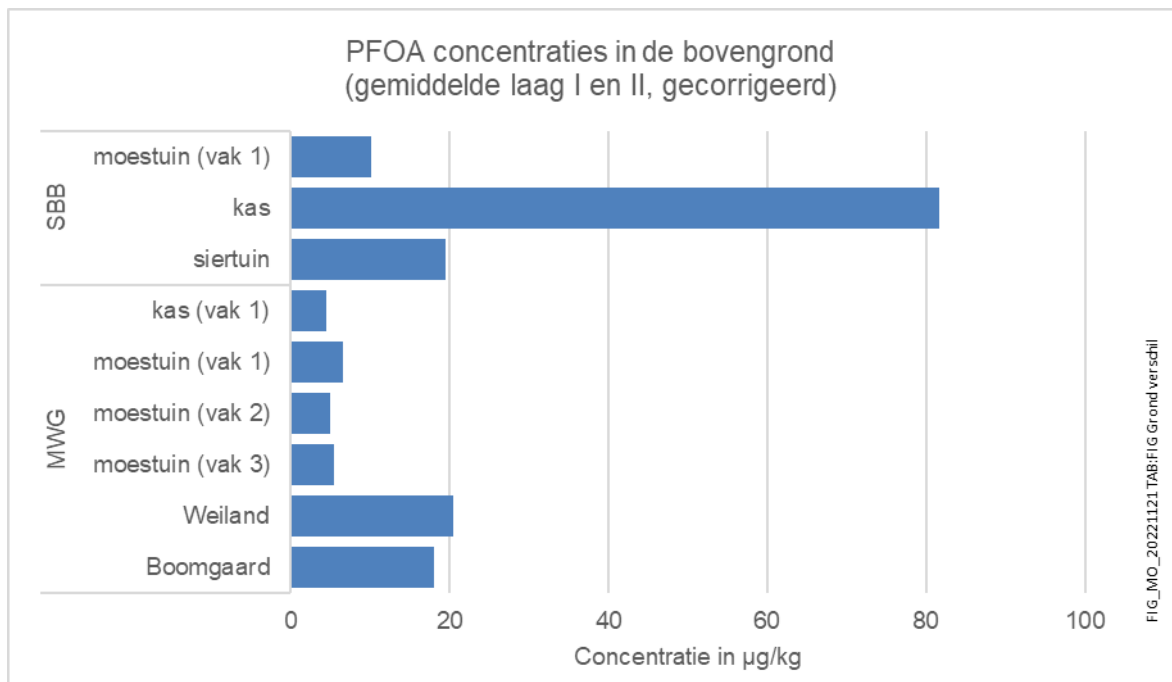
Water

De PFOA-concentraties in het water laten geen duidelijke verschillen zien met eerdere onderzoeken. In het grondwater lijkt sprake van een lichte daling, maar de PFOA-concentraties in het slootwater zijn iets hoger dan tijdens het onderzoek in 2019. De verschillen zijn echter klein. Fluctuaties in concentraties in het slootwater kunnen veroorzaakt zijn door verschil in neerslag voor de bemonstering of door de hoeveelheid water in de sloot op het moment van bemonstering.

Invloed grondgebruik op PFOA-concentraties

Om te onderzoeken of er werkelijk een verschil is tussen de PFOA-concentraties in moestuinen en percelen met ander grondgebruik zijn bij complex MWG monsters genomen in een nabijgelegen weiland en een nabijgelegen boomgaard. Ook is de grond uit een kas bemonsterd. In cluster B-S zijn monsters genomen in het grasveld (siertuin) naast de moestuin en in een kas, omdat een aantal groenten uit een kas hoge concentraties PFOA bleken te bevatten.

De PFOA-concentraties in de bovengrond in de moestuinen bleken inderdaad lager dan in het nabijgelegen weiland, de boomgaard en het grasveld (zie Figuur 16). De concentraties in de bovengrond van de kas in SBB waren veel hoger dan in een controlemonster net buiten de kas. De concentraties in de bovengrond van de kas in MWG waren juist lager dan in de monsters buiten de kas. De kas in SBB staat er al ruim 30 jaar. Van de kas in MWG is niet bekend hoe lang de kas er al staat, op basis van luchtfoto's lijkt het erop dat deze kas pas enkele jaren op deze plaats staat. Mogelijk verklaart dit de lagere concentraties in de kas in complex MWG.



Figuur 16 PFOA-concentraties (gecorrigeerd) in de bovengrond bij verschillend grondgebruik. De kas in MWG was waarschijnlijk pas kort in gebruik.

Ook al is bovenstaand onderzoek slechts een steekproef, het lijkt er inderdaad op dat door het intensief bewerken van de grond in een moestuin de PFAS-concentraties in de grond dalen. Deze daling in concentraties is niet duidelijk zichtbaar op percelen die niet bewerkt worden (zoals weilanden en boomgaard en zoals de kas in SBB, waar minder gespit wordt en waar minder regen valt). Hoe dit precies werkt is op basis van de beperkte hoeveelheid resultaten niet met zekerheid te zeggen, maar waarschijnlijk zorgt een combinatie van frequent spitten, het aanbrengen van compost en nieuwe grond, irrigeren en opname in planten ervoor dat de PFAS-concentraties in moestuinen dalen. Dit betekent dat de PFOA-concentraties in onbewerkte grond (bv in een grasveld of in een siertuin die weinig bewerkt wordt) waarschijnlijk hoger zijn dan in de bestaande moestuinen.

In het huidige onderzoek is alleen onderzoek gedaan naar moestuinen die al lange tijd in gebruik zijn (voor de meeste complexen is het minimaal 20 jaar, PT2 is pas sinds 2011 in gebruik).

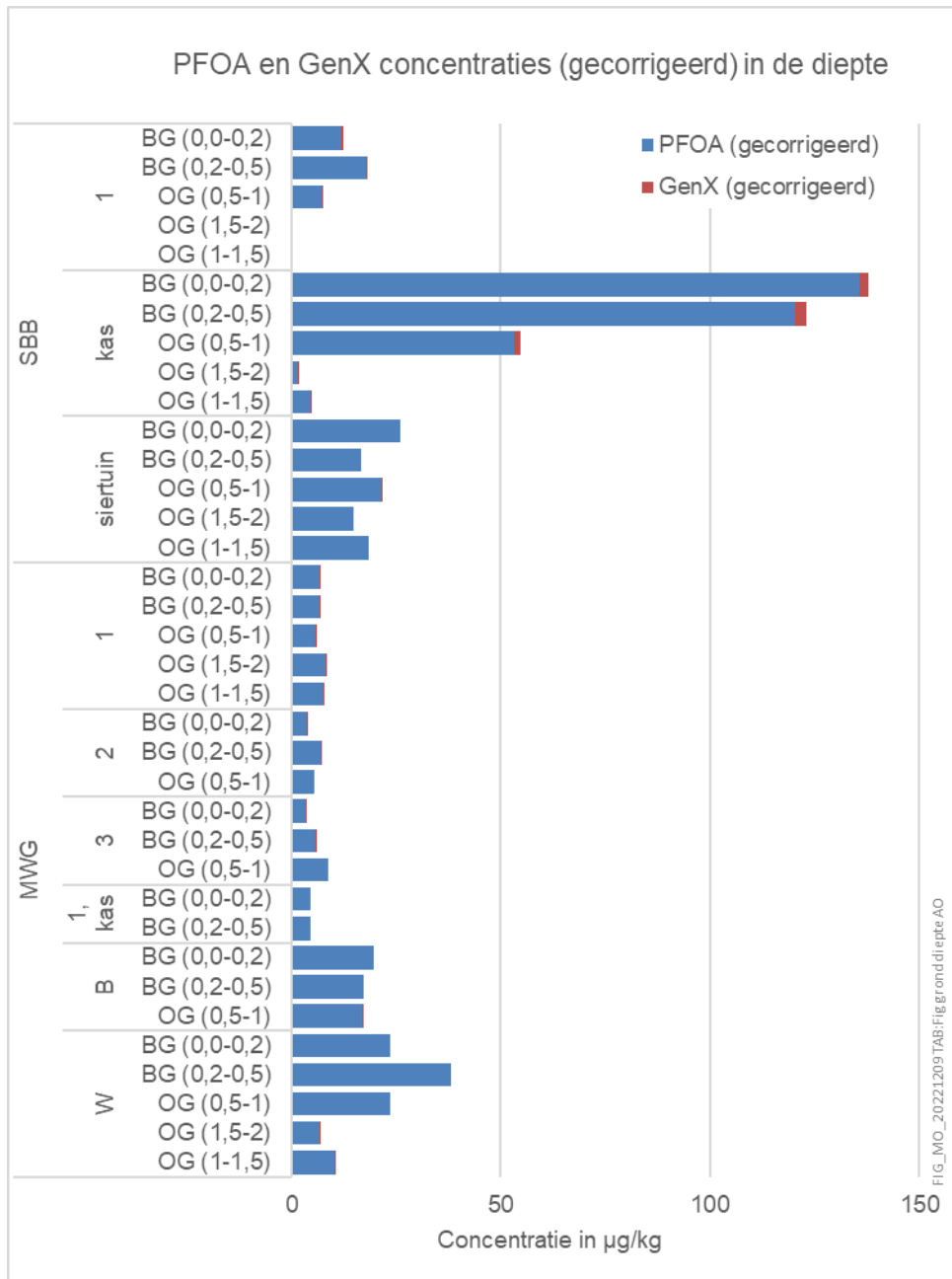
Grondconcentraties in nieuwe of recent aangelegde moestuinen en daardoor de gewasconcentraties en de inname van PFAS vanuit die groenten en fruit kunnen hoger zijn dan uit al langer bestaande moestuinen. Daarom wordt aangeraden om bij het starten van een nieuwe moestuin onderzoek te doen naar de aanwezigheid van PFOA en GenX in de bodem en de concentraties te vergelijken met het huidige onderzoek. Het is dus beter om lange tijd op een plek te tuinieren dan om een nieuw stuk grond in gebruik te nemen.

PFOA in de diepte

In Figuur 16 en Figuur 17 is het verloop van de PFOA en GenX concentratie in de diepte uitgezet. Figuur 16 betreft de complexen waar aanvullend onderzoek is gedaan. In Figuur 17 zijn alle clusters weergegeven. Uit de resultaten blijkt dat PFOA niet alleen aanwezig is in de bovengrond (laag I en laag II) maar dat PFOA in de grond in ieder geval in de meest verontreinigde clusters (B-S en E) aanwezig is tot op een diepte van minimaal 2 meter (dieper is niet bemonsterd). Het is opvallend dat PFOA wordt aangetroffen tot op 2 meter diepte in een gebied met een hoge grondwaterstand en in een kwelsituatie (kwel is grondwater dat onder druk uit de bodem naar boven komt).

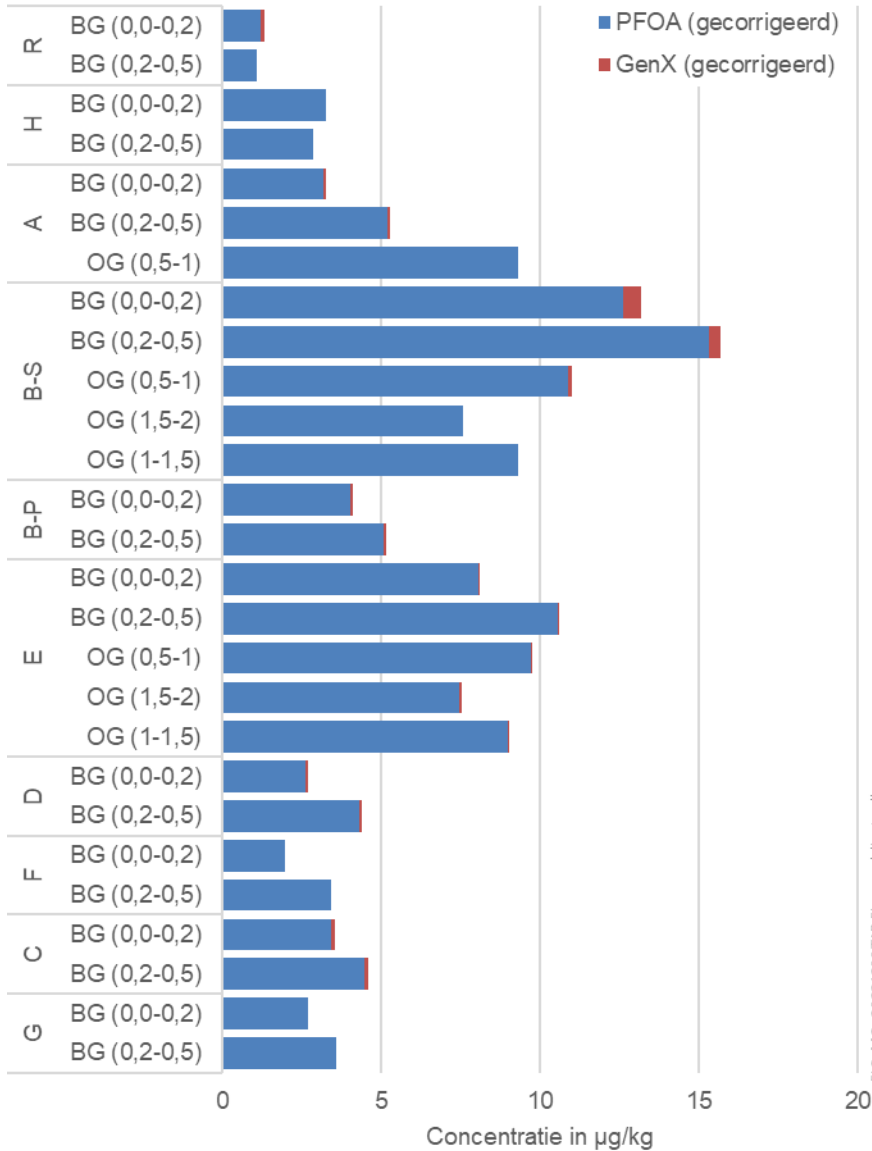
In de moestuinen is over het algemeen zichtbaar dat in laag I (de bovenste 20 cm) minder PFOA aanwezig is dan in de laag daaronder (laag II, van 20 cm tot 50 cm -m mv). Over het algemeen nemen daarna de concentraties in de diepte af.

Het beeld dat de bovenste laag in de moestuinen vooral is uitgespoeld naar diepere lagen is niet eenduidig. De meest waarschijnlijke verklaring voor de lagere concentraties in laag I ten opzichte van laag II, is de al eerdergenoemde intensievere bewerking in moestuinen. Dit kan de verplaatsing van PFOA naar de ondergrond versnellen.



Figuur 17 PFOA en GenX concentraties (gecorrigeerd) in de diepte in complex E en een tuin uit B-S. 1, 2 en 3 zijn de vaknummers, W= weiland, B =boomgaard. Diepte lagen: I = 0 - 0,2 m-mv; II = 0,2 - 0,5 m-mv; III = 0,5 -1 m-mv, IV= 1 - 1,5 m-mv; V= 1,5 -2 m-mv

PFOA en GenX concentraties (gecorrigeerd) in de diepte



Figuur 18 PFOA- en GenX-concentraties in de diepte (gecorrigeerd, exclusief de resultaten uit de kas uit cluster B-S). PFOA-concentraties in de buurt van de fabriek zijn het hoogst zijn in laag II. Dit wijst er op dat de atmosferische depositie van PFOA gestopt is en er uitspoeling plaatsvindt. Diepte lagen: I = 0 - 0,2 m-mv; II = 0,2 - 0,5 m-mv; III = 0,5 - 1 m-mv, IV= 1 - 1,5 m-mv; V= 1,5 - 2 m-mv

5.6 Advies gebruik grond en water in de moestuinen

Gehanteerd toetsingskader

Voor irrigatiewater bij moestuinen is geen duidelijk toetsingskader beschikbaar. Het grondwater, water uit de regentonnen en slootwater is daarom indicatief getoetst aan 0,33 µg/l (zowel voor PFOA als voor GenX) om te bepalen of dit water gebruikt kan worden om een moestuin te irrigeren (zie paragraaf 3.6 voor een uitleg over deze indicatieve toetsingswaarden). Deze ad-hoc waarden hebben geen formele status, maar zijn in dit rapport afgeleid om zo dicht mogelijk bij een reële toetsingswaarde voor irrigatiewater te komen, op basis van de meest recente kennis van de risicogrenswaarden.

Bij een concentratie lager dan deze waarde kan het water gebruikt worden. Bij een concentratie boven 2x de ad-hoc toetsingswaarde wordt afgeraden het water te gebruiken. Bij een concentratie tussen 1x de ad-hoc toetsingswaarde en 2x de ad-hoc toetsingswaarde wordt aangeraden terughoudend te zijn met het gebruik van het desbetreffende water. Dat betekent bij voorkeur niet gebruiken, maar incidenteel gebruik (minder dan de helft van de tijd) is naar verwachting niet schadelijk. Dit toetsingskader is voor het water dat gebruikt wordt om de tuin water te geven. Voor het wassen van de groenten en fruit wordt het generieke advies gegeven om altijd kraanwater te gebruiken. Voor de concentraties in het water zijn voor de overig PFAS ook de PFOA-equivalenten doorgerekend, de overige PFAS dragen echter nauwelijks bij aan de totale hoeveelheid PFOA(-equivalenten). Daarom is in dit onderzoek rechtstreeks getoetst aan de individuele toetsingswaarden voor PFOA en GenX. Dit wordt nader toegelicht in Bijlage 3.

Water uit de regentonnen

Water uit de regentonnen kan overal gebruikt worden om de tuin water te geven. PFAS kunnen wel blijven “plakken” in oude regentonnen en kunnen dan later weer vrijkomen. Het is in de buurt van de fabriek van DuPont/Chemours (clusters B en E) daarom ook een goed idee om oude regentonnen te vervangen.

Slootwater

In de clusters A, C, D, E, F, G en R kan het slootwater zonder beperkingen gebruikt worden om water te geven. In cluster B-P wordt aangeraden terughoudend te zijn met het gebruik van het slootwater omdat de concentratie daarin hoger is. In cluster B-S wordt het gebruik van slootwater voor de moestuin afgeraden. Dit past binnen het advies van RIVM om in cluster B-S niet uit de moestuinen te eten. Mocht er in bakken geteeld worden, dan is het aanvullend advies om regenwater (uit een recente regenton/dak) of kraanwater te gebruiken in plaats van slootwater.

Grondwater

Het geanalyseerde ondiepe grondwater (de bovenste meters van het grondwater) wordt over het algemeen niet gebruikt om de tuin water te geven, maar in de clusters C, D, E, F, G en R kan het ondiepe grondwater zonder beperkingen gebruikt worden. In cluster B-S en B-P wordt het gebruik van ondiep grondwater afgeraden, en in de clusters A en E wordt geadviseerd om terughoudend te zijn met het gebruik van het ondiepe grondwater. Het kan niet vermeden worden dat de planten bij een ondiepe grondwaterstand in contact staan met het grondwater. Het is in dat geval niet problematisch dat de planten ondiep grondwater opnemen, aangezien dat in het gewasonderzoek ook het geval was en eventuele effecten al zijn meegenomen in de evaluatie van het RIVM.

In Tabel 11 zijn de adviezen per cluster overzichtelijk weergegeven.

Tabel 11 Advies over gebruik van sloot- en regenwater voor irrigatie (op basis van de resultaten uit het huidige onderzoek) naast het RIVM advies over gewasconsumptie.

Cluster	Tuin	RIVM advies eten gewassen uit eigen moestuin	Advies gebruiken regentonwater voor irrigatie moestuin	Advies gebruiken slootwater voor irrigatie moestuin
R	REF REP	Geen beperkingen	Geen beperkingen	n.v.t. (geen sloot aanwezig) Geen beperkingen
H	DTK DVK	Geen beperkingen	Geen beperkingen	Geen beperkingen
A	DKG DVP	Wissel eten uit eigen tuin af met eten uit de winkel	Geen beperkingen	Geen beperkingen
B-S	SBA SBB SBC	Eten uit eigen moestuin afgeraden	Geen beperkingen	Gebruik wordt afgeraden
				n.v.t. (geen sloot aanwezig)
				Gebruik wordt afgeraden
B-P	PEH PT1 PT2	Wissel eten uit eigen tuin af met eten uit de winkel	Geen beperkingen	Terughoudend zijn met slootwater
E	MWG	Wissel eten uit eigen tuin af met eten uit de winkel	Geen beperkingen	Geen beperkingen
D	SPW SSM SVS	Wissel eten uit eigen tuin af met eten uit de winkel	Geen beperkingen	Geen beperkingen
C	MOA PNH	Wissel eten uit eigen tuin af met eten uit de winkel	Geen beperkingen	Geen beperkingen
F	MBR MHK	Wissel eten uit eigen tuin af met eten uit de winkel	n.v.t. (geen regenton aanwezig)	Geen beperkingen
G	MGA	Geen beperkingen	n.v.t. (geen regenton aanwezig)	Geen beperkingen

6 Verband tussen concentraties in gewas en grond/water

6.1 Onderzoeksvraag

In de vorige hoofdstukken is ingegaan op de concentraties PFAS die in de groenten en fruit en in de grond en water in de moestuinen zijn gevonden. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de correlatie tussen de concentraties in grond/water en in de groenten en fruit. Dit betreft vraag 2:

2. *Kunnen de concentraties in de groenten en fruit gerelateerd worden aan de concentraties in de grond en/of het gebruikte water voor de groenten en fruit? En wat draagt het meeste bij aan opname in groenten en fruit, is dat grond of water?*

Om hier antwoord op te kunnen geven zijn de relaties tussen de PFAS-concentraties in de groenten en fruit en in de grond of het water nader bestudeerd. Hierbij is gekeken of er een directe relatie zichtbaar is tussen de concentraties die zijn gevonden in de groenten en fruit en de gemeten concentraties in de grond of grondwater, slootwater en regenwater. Dit is gedaan in drie stappen:

1. Als eerste is geëvalueerd of er een duidelijke relatie te zien is tussen de concentraties in de groenten en fruit en in grond, grondwater, slootwater en regenwater;
2. Voor de bovenste bodemlaag (0-20 cm-mv) is een bioconcentratiefactor berekend per vak (voor toelichting zie tekstbox). Dit betreft de verhouding tussen de concentratie die wordt gevonden in het gewas en in de bodem. De gevonden waarden in dit onderzoek zijn vergeleken met de waarden die door het RIVM in eerdere rapporten zijn afgeleid.
3. Vervolgens wordt een antwoord gegeven op de vraag; bij welke concentraties in de bodem kunnen in de groenten en fruit verhoogde concentraties verwacht worden?

Deze informatie wordt in de volgende paragrafen nader beschouwd.

Bioconcentratiefactor BCF

De bioconcentratiefactor geeft aan in welke mate een stof wordt opgenomen uit de grond in het gewas. Hierbij wordt uitgegaan van een directe relatie tussen de concentratie in de bodem en de concentratie in het gewas:

$$BCF = \frac{C_{plant}}{C_{bodem}}$$

Bioconcentratie worden ook gebruikt in de berekening van toetsingswaarden in het milieu. Daarbij wordt er van uit gegaan dat er een directe ofwel een lineaire relatie bestaat tussen de concentratie in grond en/of water en in het gewas. Bij bijvoorbeeld een twee keer zo hoge concentratie in de bodem wordt dan een twee keer zo hoge concentratie in het gewas verwacht.

6.2 Relatie tussen PFAS in gewas en PFAS in grond en water

6.2.1 Werkwijze

Om te evalueren welk medium het meest bepalend is voor de uiteindelijke PFAS-concentratie in groenten en fruit zijn de PFAS-concentraties van groenten en fruit vergeleken met de PFAS-concentraties in grond en water. Hierbij zijn de PFAS-concentraties in de groenten en fruit binnen hetzelfde bemonsteringsvak vergeleken met:

1. Bodemlaag I (0-20 cm-mv);
2. Bodemlaag II (20-50 cm-mv);
3. Grondwater (peilbuis in vak);
4. Slootwater (oppervlaktewater in of grenzend aan vak);
5. Regenwater (regenwater uit regentonnen en IBC-containers).

Voor deze evaluatie zijn de gegevens van alle clusters gebruikt inclusief de referentietuinen. Bij cluster B-S zijn voor de tomaat en komkommer uit de kas de concentraties van het grondmonster uit de kas gebruikt. De gronddata zijn niet gecorrigeerd voor organische stof.

6.2.2 Beoordeling relatie

De evaluatie van de relaties is uitgevoerd voor PFOA, GenX en PFOS. Als eerste stap zijn de gemeten concentraties in de verschillende media (gewas, grond, regenwater, grondwater, slootwater) beoordeeld. De informatie is weergegeven in voorgaande hoofdstukken, een samenvattende figuur is weergegeven in Bijlage 7. Hierbij zijn verschillen te zien in de aanwezigheid van PFAS in de verschillende media. Voor PFOA springt cluster B-S er het sterkst uit voor slootwater en de groenten en fruit. Cluster E heeft ook een relatief hoge bodemconcentratie en de grondwaterconcentraties zijn relatief hoog in de vier aangrenzende clusters B-S, B-P, A en E.

Vanuit de literatuur is bekend dat de opname van PFAS door groenten en fruit verschilt per type gewas en per type PFAS^{23, 24, 25}. Daarom is per type PFAS en type gewas een regressieanalyse gedaan van de relatie tussen de concentratie in het gewas en in het te evalueren medium (grond, grondwater, slootwater, regenwater) (zie kader). Voor GenX en PFOS zijn er weinig verbanden gevonden tussen de concentraties in de groenten en fruit en in het medium, omdat er te veel eenzijdige metingen waren (hele lage concentraties of hele hoge, maar weinig er tussenin). Daarom heeft de focus gelegen op de relatie tussen PFOA-concentraties in de groenten en fruit en de verschillende media.

De meeste relaties zijn gevonden tussen de PFOA-gewasconcentraties en de PFOA-concentratie in de bovenste bodemlaag (bodemlaag I; 0-20 cm-mv). Voor grondwater en regenwater is geen enkele relatie tussen gewas en het medium beoordeeld als betrouwbaar. Voor bodemlaag II (20-50 cm-mv) en het grondwater is voor sommige groenten en fruit een mogelijke relatie zichtbaar, maar voor minder groenten en fruit dan bij bodemlaag I. Daarom is bodemlaag I verder uitgewerkt in de volgende paragraaf.

²³Sources, Fate, and Plant Uptake in Agricultural Systems of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. Costello, M. C., & Lee, L. S.. *Current Pollution Reports*. doi:10.1007/s40726-020-00168-y, 2020

²⁴Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the soil–plant system: Sorption, root uptake, and translocation. Mei, W., Sun, H., Song, M., Jiang, L., Li, Y., Lu, W., Zhang, G. *Environment International*, 156, 106642. doi:10.1016/j.envint.2021.106642, 2021

²⁵Fate and transport of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the vadose zone. Sharifan, H., Bagheri, M., Wang, D., Burken, J. G., Higgins, C. P., Liang, Y., Blotvogel, J. *Science of The Total Environment*, 771, 145427. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145427, 2021

Regressieanalyse

Bij lineaire regressie worden de metingen van de gewasconcentraties van PFAS in een figuur uitgezet ten opzichte van de PFAS-concentratie van bijvoorbeeld bodem in hetzelfde vak. Als een gewasmonster uit meerdere vakken afkomstig is, zijn de concentraties van het medium (bijvoorbeeld bodem) gemiddeld over deze vakken. Door deze punten is een (rechte) lijn bepaald die de verdeling van de punten het meest optimaal beschrijft. Deze lijn geeft de verhouding weer tussen de PFAS-concentratie in het gewas ten opzichte van een medium zoals de bodem.

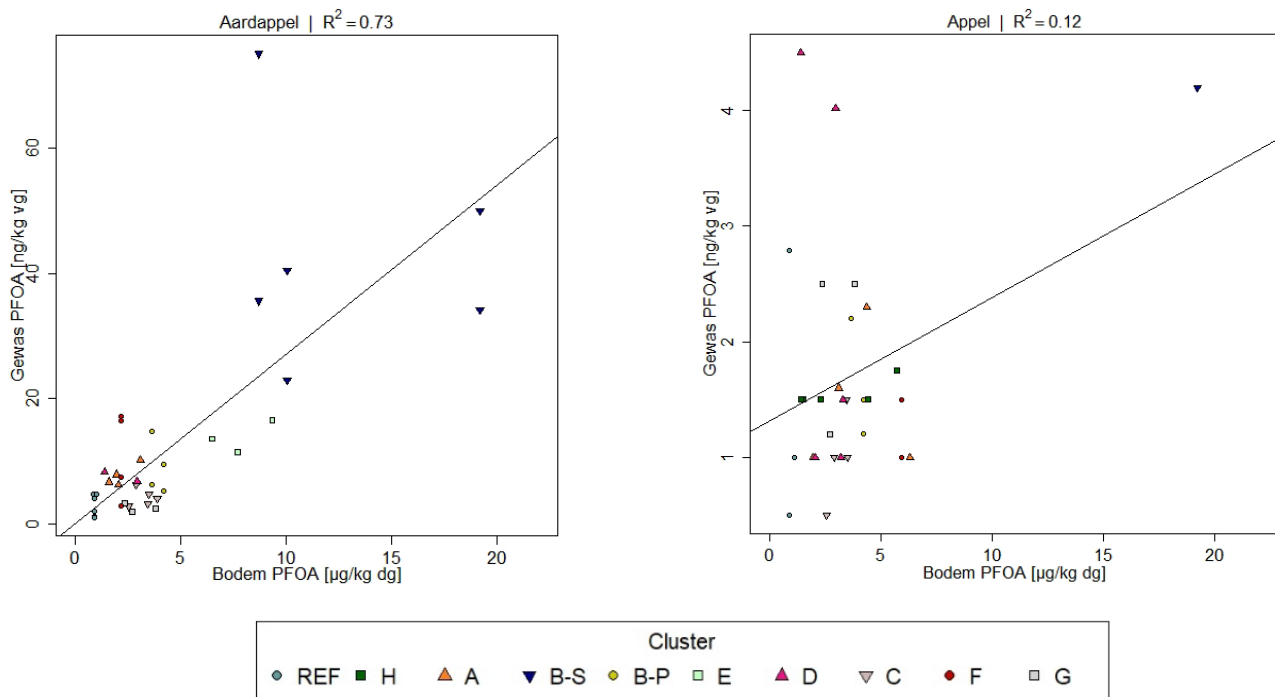
Deze lijn is beoordeeld op de betrouwbaarheid aan de hand van de R^2 van de lijn en de verdeling van de meetpunten. Hierbij is gekozen voor relaties waarvoor de R^2 hoger was dan 0,50 én waarvoor voldoende metingen in het gehele bereik lagen. Sommige relaties met een hoge R^2 , maar waarbij één enkel punt erg dominant is (zoals bijvoorbeeld bij peer) zijn daarom toch als niet betrouwbaar beoordeeld (zie Tabel 15. , Bijlage 7).

De R^2 geeft de mate weer waarin de uitkomst van een vergelijking wordt verklaard door de onafhankelijke variabele. Hoe hoger de R^2 , hoe betrouwbaarder de uitkomst wordt voorspeld door de vergelijking. Hier is een betrekkelijk lage R^2 van 0,50 is gekozen als ondergrens, omdat de waarden per vak zijn vergeleken. De bemonstering, van bijvoorbeeld bodem, heeft dus niet direct rondom de locatie van het bemonsterde gewas plaatsgevonden. Heterogeniteit binnen het vak heeft daarom waarschijnlijk een invloed gehad op de nauwkeurigheid van de berekende relatie tussen gewasconcentraties en milieuconcentraties, wat resulteert in een lagere R^2 .

In Figuur 19 zijn voorbeelden weergegeven van een gewas waarvoor een vrij duidelijke relatie is gevonden (aardappel, links) versus een gewas waarvoor een onduidelijke relatie is gevonden (appel, rechts). In Bijlage 7, Tabel 15. is een overzicht gegeven van de combinaties waarvoor op basis van de data een mogelijke relatie zichtbaar is tussen de PFOA-gewasconcentratie en PFOA in de grond of het water. Dit wil overigens nog niet zeggen dat deze relatie er daadwerkelijk is, deze relatie kan er alleen zijn als ook daadwerkelijk dat het water gebruikt is voor de gewassen. Dit kan wel of niet het geval zijn voor grondwater (wordt het ondiepe grondwater gebruikt of staan de planten in contact met het grondwater?) of oppervlaktewater (wordt het oppervlaktewater gebruikt voor irrigatie?).

Wat opvalt bij de regressiestatistiek en figuren van alle gewassoorten (Bijlage 7) is dat vooral gewassen waarvan het eetbare deel onder de grond groeit een relatie hebben tussen de bodem- en gewasconcentratie. Ook de peulvruchten lieten een relatie tussen de bodem- en gewasconcentratie van PFOA zien. Uit onderzoek is gebleken dat de hoeveelheid proteïnen in de verschillende delen van de plant een rol spelen in de verdeling van PFAS²⁶. Mogelijk speelt de hoeveelheid proteïnen in de bonen van peulvruchten een rol in de relatie tussen PFOA in de bodem en in het eetbare deel van deze groenten en fruit.

²⁶The roles of protein and lipid in the accumulation and distribution of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in plants grown in biosolids-amended soils. Wen, B., Wu, Y., Zhang, H., Liu, Y., Hu, X., Huang, H., & Zhang, S. Environmental Pollution, 216, 682–688. doi:10.1016/j.envpol.2016.06.032, 2016



Figuur 19. De relatie tussen bodemlaag I (0-20cm) PFOA-concentratie (niet gecorrigeerd) en de PFOA-concentratie in het eetbare deel van de aardappel (links, vrij duidelijke relatie) en de appel (rechts, onduidelijke relatie). REF = cluster R.

Verschillende fruitsoorten (voornamelijk appel, peer en druif) lieten geen duidelijke relaties tussen de bodem- en gewasconcentratie zien. In sommige gevallen hadden de relaties een relatief hoge R^2 , maar was er een laag aantal metingen (in een deel van het bereik). In deze gevallen zijn de verhoudingen niet geïdentificeerd als een duidelijke relatie.

Door middel van bovenstaande evaluatie kan antwoord gegeven worden op de vraag of de concentraties in de groenten en fruit gerelateerd kunnen worden aan de concentraties in de grond en/of het gebruikte water voor de gewassen. Een heel duidelijke statistische relatie (hoge R^2 én een goede verdeling van de meetpunten) tussen de concentratie in de bodem (of in één van de andere media) en de concentratie in de groenten en fruit is over het algemeen niet zichtbaar. Voor 14 van de 28 gewassen is een mogelijke relatie zichtbaar met bodemlaag I, maar de variatie tussen de punten is vrij groot. Dit komt doordat de monsters onder veldomstandigheden zijn genomen en er allerlei andere relaties mee kunnen spelen (bijvoorbeeld type grond, uitspoeling, etc.). En waarschijnlijk ook doordat de concentraties PFOA in de grond voor de meeste clusters binnen een beperkte range liggen (tussen 2 en 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

Het tweede deel van de vraag betrefte de vraag of grond of water het meest bijdraagt aan opname in groenten en fruit. Ook op deze vraag is op basis van de resultaten geen eenduidig antwoord te geven. Het lijkt erop dat de beste relatie zichtbaar is tussen bodemlaag I en de gewasconcentraties, echter, het regenwater is relatief schoon en van slootwater en ondiep grondwater is niet duidelijk of dit ook gebruikt wordt voor irrigatie, dus er kan geen eenduidige conclusie getrokken worden dat bodemlaag I het meest bijdraagt. Wel is de PFAS aanwezig in de moestuinen en indien het contact met verontreinigde grond en/of water verminderd wordt (bijvoorbeeld door het telen in bakken of opgebrachte nieuwe grond), zal de opname van PFAS in de groenten en fruit minder zijn dan in de huidige situatie.

6.3 Bioconcentratiefactoren onder veldomstandigheden

Zoals te zien is in de vorige paragraaf zijn de meeste duidelijke verbanden gevonden tussen PFOA in bodemlaag I en PFOA in groenten en fruit. Deze relatie verder uitgewerkt door middel van de eerder uitgelegde bioconcentratiefactoren (BCF's). Bioconcentratiefactoren worden ook gebruikt in de berekening van toetsingswaarden in het milieu. Daarbij wordt er van uit gegaan dat er een directe ofwel een lineaire relatie bestaat tussen de concentratie in grond en/of water en in het gewas. Bij bijvoorbeeld een twee keer zo hoge concentratie in de bodem wordt dan een twee keer zo hoge concentratie in het gewas verwacht.

De bioconcentratiefactoren zijn berekend per gewasmonster. De gemeten concentratie PFOA in het gewas is gekoppeld aan de bodemconcentratie van het desbetreffende vak, waarna de BCF is berekend. Van deze BCF's zijn de rekenkundige en meetkundige gemiddelden berekend per gewasgroep (zie Tabel 12).

Het RIVM gebruikt bioconcentratiefactoren bij de afleiding van toetsingswaarden voor bodem. Voor PFOA zijn in 2018 bioconcentratiefactoren afgeleid²⁷. Hieronder zijn de bioconcentratiefactoren die zijn berekend met de monsters uit de moestuinen vergeleken met de BCF's die gebruikt zijn door het RIVM. Enkel de BCF's berekend met de data van knolgroenten en peulvruchten uit de moestuinen zijn min of meer vergelijkbaar met de BCF's van het RIVM. De BCF's berekend voor de overige gewasgroepen uit de moestuinen zijn aanzienlijk lager dan de BCF's van het RIVM.

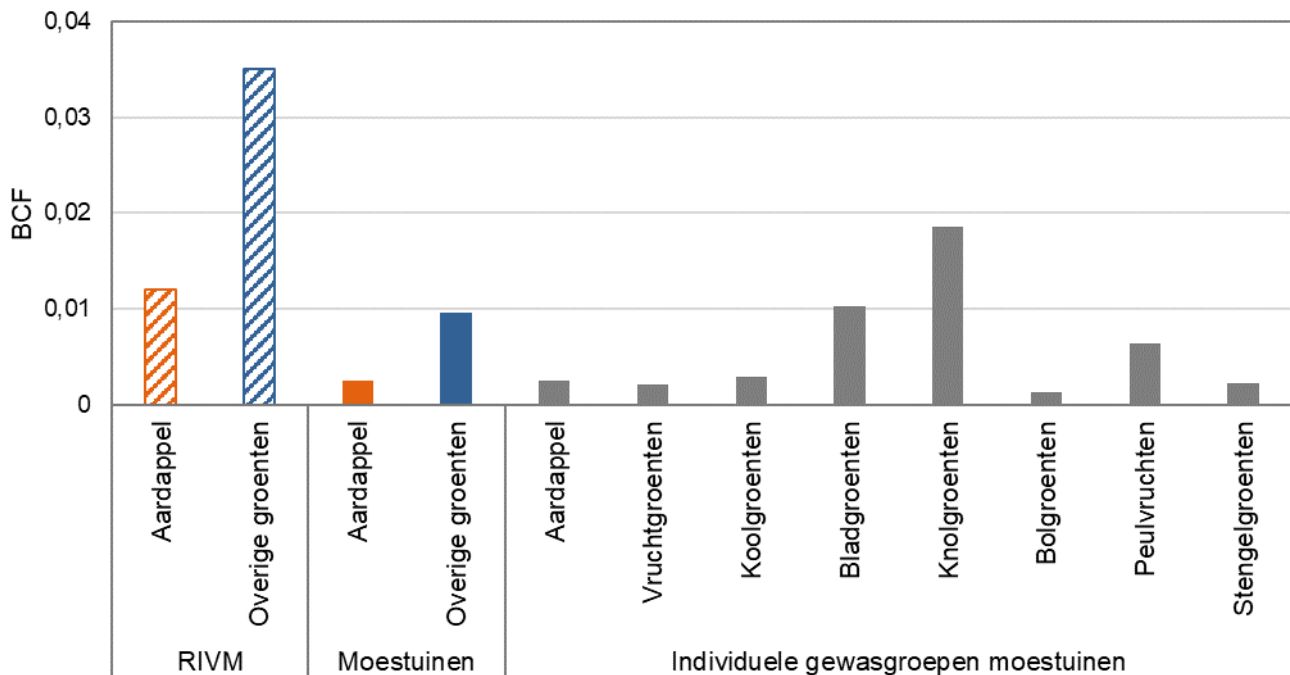
Voor de bepaling van de BCF van knolgroenten heeft het RIVM enkel wortels en radijs meegenomen. In het geval van de moestuincomplexen is ook rode biet meegenomen. Rode biet had de hoogste gemiddelde BCF van alle groenten en fruit. Als de BCF voor knolgroenten enkel op basis van wortel wordt vergeleken, dan valt ook de BCF voor deze gewasgroep aanzienlijk lager uit dan in de moestuinen dan de waarde van het RIVM.

Met de BCF's voor de verschillende gewastypen heeft het RIVM uiteindelijk een BCF afgeleid voor aardappel (0.012) en voor overige groenten (0.035). Dit betreft voor de overige groenten een gewogen BCF (wanneer een groente meer gegeten wordt, draagt deze meer bij in de berekening). Zoals te zien is in Tabel 12 en Figuur 20 zijn de BCF's die nu op basis van de data van de moestuincomplexen zijn berekend lager dan de BCF's die afgeleid zijn door RIVM.

Tabel 12. Gemiddelde bioconcentratiefactoren (BCF's) zoals bepaald door het RIVM en zoals berekend op basis van de moestuindata.

Gewastype	Gemiddelde BCF RIVM		Gemiddelde BCF moestuinen	
	Rekenkundig [-]	Meetkundig [-]	Rekenkundig [-]	Meetkundig [-]
Fruit	-	-	0,0018	0,0009
Aardappel	0,013	0,012	0,0031	0,0026
Vruchtgroenten	0,024	0,022	0,0030	0,0021
Koolgroenten	-	-	0,0062	0,0029
Bladgroenten	0,11	0,096	0,024	0,010
Knolgroenten	0,041	0,036	0,026	0,019
Bolgroenten	-	-	0,0016	0,0014
Peulvruchten	0,0033	0,0033	0,0070	0,0064
Stengelgroenten	0,085	0,085	0,0028	0,0023
Representatieve BCF				
Aardappel		0,012		0,0026
Overige groenten		0,035		0,0096

²⁷ Risicogrenzen PFOA voor grond en grondwater. Uitwerking voor generiek en gebiedsspecifiek beleid (herziene versie). RIVM Briefrapport 2018-0060, 2018



Figuur 20. Bioconcentratiefactoren (BCF's) zoals berekend door het RIVM in vergelijking met BCF's die zijn berekend aan de hand van de gewas- en bodemdata uit de moestuinen. De getoonde waarden voor de BCF's uit moestuingewassen zijn meetkundige gemiddelden bepaald voor alle vakken.

Het verschil tussen de BCF's van het RIVM en de BCF's die bepaald zijn voor de moestuingewassen heeft waarschijnlijk te maken met de wijze waarop de waarden zijn verkregen. Dit verschil is te verklaren omdat RIVM haar BCF's ontleent aan literatuur en er vanuit het moestuinonderzoek de BCF's uit een praktijksituatie komen. De literatuur die RIVM gebruikte, kunnen studies zijn op basis van veld- maar ook potproeven. In deze studies wordt de PFOA-verontreiniging vaak toegediend in hetzelfde groeiseizoen als de oogst waarvan de PFOA opname wordt bepaald. Voor de moestuinen is verontreiniging over een veel langere periode opgetreden en voor PFOA is er een periode geweest zonder nieuwe depositie. Het is mogelijk dat in deze periode een deel van deze PFOA dermate is 'vastgelegd' dat de hoeveelheid PFOA die daadwerkelijk beschikbaar is voor plantopname lager is dan in de studies die het RIVM heeft gebruikt.

6.4 Bij welke concentraties in de bodem kunnen in de groenten en fruit verhoogde concentraties verwacht worden?

Uit voorgaande paragrafen is naar voren gekomen dat slechts voor een deel van de gewassen een duidelijke relatie gevonden is tussen de concentratie in de bodem en de concentratie in het gewas. Hierbij is de evaluatie vooral gericht op PFOA, omdat dit de belangrijkste stof is die in de omgeving aanwezig is en omdat voor de overige PFAS geen duidelijke relatie gevonden wordt met de bodem. In deze paragraaf wordt uitgelegd uit of bepaalde concentraties in grond invloed hebben op de concentraties PFOA in de groenten en fruit.

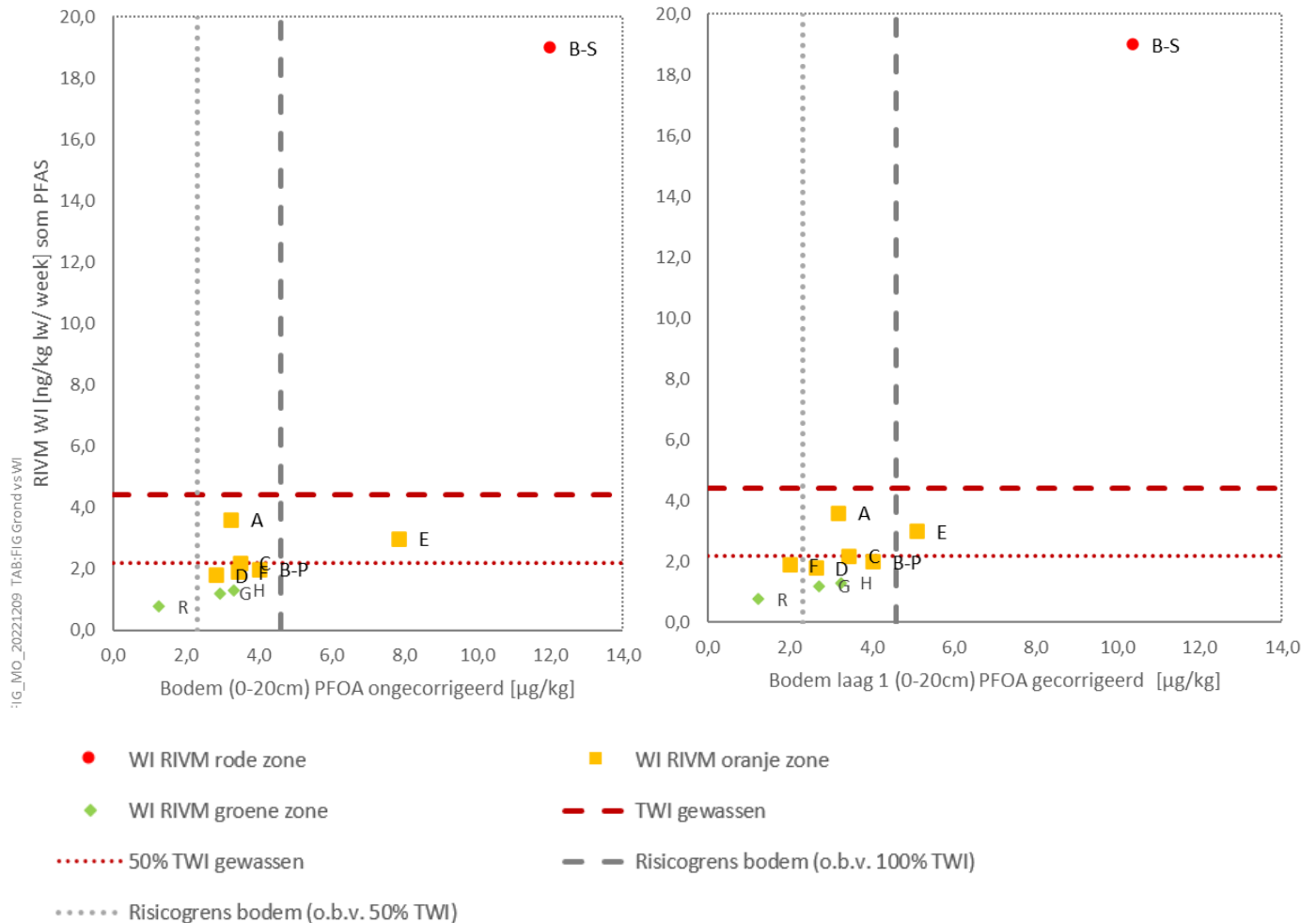
De gevonden bioconcentratiefactoren in de moestuinen zijn een stuk lager dan de theoretische waarden waar het RIVM mee rekent in de blootstellingsberekeningen bij de afleiding van risicogrenswaarden voor bodem. Dit geeft aan dat de bioconcentratie in de blootstellingsberekeningen voor PFAS mogelijk overschat wordt, wanneer gekeken wordt naar veldomstandigheden, zoals in deze regio.

In Figuur 21 is de inname zoals berekend door RIVM, uitgezet ten opzichte van de concentratie PFOA in de bodem (laag I). De innameberekeningen zijn op basis van alle PFAS, de bodemconcentratie betreft alleen PFOA. Toch is dit ten opzichte van elkaar geplot omdat PFOA in de regio als gidsparameter gezien kan worden, en in de innameberekeningen de meest belangrijke PFAS is. Een nadere toelichting voor deze keuze is gegeven in Bijlage 3. In onderstaande figuur zijn links de gemeten waarden in de bodem niet gecorrigeerd voor het gehalte organische stof en rechts wel.

Zoals ook al eerder aangegeven ligt in alle tuinen, behalve de referentietuin, de concentratie PFOA in laag I boven de risicogrenswaarde voor moestuinen (2,3 µg/kg). Dit is ook het geval voor de clusters G en H, waar het RIVM geen beperkingen voor het eten van moestuingewassen adviseert. Een overschrijding van de risicogrenswaarde voor de grond in moestuinen betekent dus niet direct een beperking met betrekking tot het eten van moestuingewassen.

De meeste clusters waar geadviseerd wordt om het eten uit eigen tuin af te wisselen met eten uit de winkel hebben gemiddelde concentraties in de grond tussen 2,3 en 4,6 µg/kg (respectievelijk 1 en 2 x de risicogrenswaarde voor moestuinen), behalve cluster E. De risicogrenswaarde van 2,3 µg/kg voor PFOA is berekend op basis van de theoretische bioconcentratiefactoren en een bijdrage aan de toelaatbare wekelijkse inname van 50%, via gewassen die groeien op de bodem. Dit is gedaan omdat mensen ook via andere routes PFAS binnen kunnen krijgen. Als zou worden gerekend met 100% van de TWI zou de risicogrenswaarde uitkomen op 4,6 µg/kg.

De hogere PFAS-concentraties in grond in cluster E kunnen verklaard worden door de hoge organische stof gehalten en/of door de lagere bulkdichtheid (waardoor PFAS sterker aan de bodem binden en/of in hogere waarden worden gemeten; zie paragraaf 3.5). Ook hier leidt een hogere concentratie in de bodem niet direct tot een aangepast gebruiksadvies, maar spelen afwijkende bodemomstandigheden waarschijnlijk een rol waardoor de berekende inname lager is dan verwacht zou kunnen worden op basis van de bodemconcentraties. Door een organische stof correctie toe te passen komt cluster E in Figuur 21 dichterbij de andere clusters te liggen. De gecorrigeerde concentratie PFOA in de grond is wel nog steeds hoger dan 4,6 µg/kg.



Figuur 21. Door RIVM berekende P95-wekelijkse inname (WI) van alle PFAS (met RPF) door consumptie van groenten en fruit en scenario laag als functie van de gemiddelde PFOA-concentratie in de bodem (laag I) in hetzelfde cluster (links ongecorrigeerd, rechts gecorrigeerd voor organische stof gehalte van de bodem). Inname in ng PFOA-equivalenten per kg lichaamsgewicht per week. Ten opzichte van toelaatbare wekelijkse inname (TWI) en bodemrisicogrenswaarden. Let op: de innameberekeningen zijn op basis van alle PFAS, de bodemconcentratie betreft alleen PFOA (zie tekst hierboven voor toelichting).

Regionale advieswaarde moestuinen

Voor de moestuinen in de regio rondom de fabriek van DuPont/Chemours wordt op basis van onderhavig rapport door Arcadis geadviseerd om 4,6 µg/kg aan te houden als een advieswaarde voor PFOA voor moestuinen voor de regio Zuid-Holland Zuid. PFOA wordt hierbij gehanteerd als gidsparameter. Zoals te zien is in Figuur 21 leidt een concentratie boven 4,6 µg/kg PFOA niet direct tot een te hoge inname van alle gemeten PFAS o.b.v. PFOA-equivalenten. Bij de hogere concentraties PFOA in de grond in cluster B-S is dit wel het geval.

Bij PFOA-concentraties in de grond groter dan 4,6 µg/kg dient ook te worden gekeken naar de hoeveelheid overige PFAS in de grond, en naar de verwachte mate van consumptie. Binnen de oranje stippellijn uit Figuur 10 blijft het advies gelden om het eten uit eigen tuin af te wisselen met eten uit de winkel. Bij twijfel kan voor bestaande moestuinen met een gemiddelde PFOA-concentratie in de bovengrond groter dan 4,6 µg/kg een gewasonderzoek worden uitgevoerd.

Op basis van de verschillen in de bioconcentratiefactoren gemeten in het veld (Figuur 20) ten opzichte van de waarden gehanteerd door het RIVM bij de afleiding van de (landelijke) risicogrenswaarde voor wonen met moestuin (2,3 µg/kg PFOA) zou een groter verschil kunnen worden verwacht tussen deze landelijke waarde en de hier voorgestelde waarde (4,6 µg/kg PFOA). De waarde van 4,6 µg/kg is conservatief ingeschat, omdat er ook rekening mee gehouden wordt dat er ook overige PFAS aanwezig kunnen zijn (in Figuur 21 zijn de overige PFAS meegenomen bij de innameberekeningen).

GenX en overige PFAS

Voor GenX en de andere PFAS (waaronder PFOS) konden geen relaties tussen de concentraties in groenten en fruit en grond afgeleid worden. GenX wordt in relatief hoge concentraties gevonden in de groenten en fruit in cluster B-S en B-P (en in cluster B-S ook veelal in hogere concentraties dan PFOA), maar op grotere afstand van DuPont/Chemours worden in verhouding lagere concentraties in de groenten en fruit gemeten ten opzichte van PFOA. In de grond in cluster B-S worden aanzienlijk lagere concentraties GenX gemeten dan PFOA. Er kunnen verschillende redenen zijn voor de relatief hoge concentraties GenX in de groenten en fruit in cluster B-S; GenX heeft hogere bioconcentratiefactoren dan PFOA²⁸, waardoor omdat GenX gemakkelijker opgenomen wordt in de planten dan PFOA. GenX kan ook via de lucht nog in de groenten en fruit komen, omdat GenX nog steeds wordt uitgestoten. Dit is mogelijk de reden dat de concentratie GenX regentonwater uit cluster B-S hoger is dan de concentratie PFOA (figuur 15).

Door de lage RPF-factor van GenX (0,06) is GenX in voor de inname niet een bepalende factor. De locaties waar hoge GenX-waarden worden gemeten in de groenten en fruit zijn dezelfde als waar hoge PFOA-waarden worden gemeten in de groenten en fruit. Mochten buiten een straal van 1 km van DuPont/Chemours hoge GenX-waarden in de grond worden gemeten, dan wordt aanbevolen de risico's nader te evalueren.

²⁸Risicogrenzen GenX (HFPO-DA) voor grond en grondwater. RIVM Briefrapport 2019-0027, 2019

7 Samenvatting, conclusies en advies

Ten aanzien van de onderzoeksvragen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. *Wat zijn de PFAS-concentraties in de groenten en fruit en hoe staan de gemeten concentraties in de groenten en fruit in relatie tot de afstand (en windrichting) tot DuPont/Chemours?*

De concentraties in groenten en fruit variëren sterk over de verschillende clusters. Gelet op de overheersende windrichting is er een duidelijk verband tussen de concentraties PFOA en GenX in groenten en fruit en de afstand vanaf de fabriek van DuPont/Chemours. In de overheersende windrichting is er een duidelijk afnemende trend in de concentraties van cluster B-S, via E naar F en uiteindelijk G. Opvallend is het hoge aandeel van GenX in de groenten en fruit in het cluster het dichtst bij de fabriek van DuPont/Chemours (B-S). GenX heeft een hogere bioconcentratiefactor dan PFOA waardoor bij lagere concentraties in de grond, hogere concentraties in de gewassen kunnen worden verwacht. Het kan mogelijk ook komen door de huidige uitstoot van GenX naar de lucht vanuit de fabriek. Dit is niet met zekerheid te zeggen omdat de daadwerkelijke atmosferische depositie niet gemeten is.

Het RIVM heeft op basis van de vergelijking van de berekende inname van PFAS per cluster met de gezondheidkundige grenswaarde van PFAS geadviseerd om groenten en fruit uit de moestuinen in cluster B-S, direct benedenwinds van DuPont/Chemours, niet te eten. Verder weg van DuPont/Chemours, in de clusters A, B-P, C, D, E en F kunnen de groenten en het fruit wel gegeten worden, als dit afgewisseld wordt met groenten en fruit uit de winkel. In de verder weg gelegen clusters G, H en R zijn de concentraties in groenten en fruit lager en zijn er geen beperkingen met betrekking tot het eten uit de tuin. Dit advies wijzigt niet na dit onderzoek.

2. *Kunnen de concentraties in de groenten en fruit gerelateerd worden aan de concentraties in de grond en/of het sloot- en regenwater dat gebruikt wordt om de planten water te geven? En wat draagt het meeste bij aan opname van PFAS in groenten en fruit, is dat grond of water?*

Bij hoge PFAS-concentraties in de grond en/of het gebruikte water worden duidelijk hogere PFAS-concentraties in groenten en fruit aangetroffen (cluster B-S). Op locaties waar lagere PFAS-concentraties in de grond en het water worden aangetroffen zijn ook de PFAS-concentraties in groenten en fruit lager. Voor een groot deel van locaties/clusters liggen de PFOA-concentraties in de grond binnen een beperkte range (tussen de 2 en 5 µg/kg). Bij deze concentratie range is er geen duidelijke statistische relatie tussen de concentratie in de grond en het water en de concentratie in groenten en fruit.

De bioconcentratiefactoren die op basis van feitelijke metingen tijdens dit onderzoek kunnen worden afgeleid, zijn lager dan de bioconcentratiefactoren uit de literatuur die het RIVM heeft gebruikt bij de berekening van de risicogrenzen voor PFAS in grond. Dit geeft aan dat risicogrenzen voor bodem zoals het RIVM heeft berekend in dit geval mogelijk conservatief zijn in verhouding tot de werkelijke situatie in de moestuinen. Of dat voor andere locaties en andere PFAS-verhoudingen ook geldt is op basis van dit onderzoek niet met zekerheid te zeggen.

Op de vraag of grond of water het meest bijdraagt aan opname in gewassen is geen eenduidig antwoord te geven. In het sterkst verontreinigde cluster (B-S) dragen waarschijnlijk zowel grond als water bij aan de concentraties in gewassen. In de andere clusters zijn de concentraties in zowel grond, water als gewassen lager. In cluster B-S is mogelijk ook sprake van directe opname van GenX als gevolg van atmosferische depositie op groenten en fruit.

In algemene zin kan worden gesteld dat de relatie tussen gewasconcentraties en concentraties in de grond beter is dan tussen gewasconcentratie en concentraties in water. Op basis hiervan wordt aangenomen dat de grondkwaliteit de belangrijkste factor is voor de gewaskwaliteit. Regenwater en slootwater dragen door de lage concentraties waarschijnlijk niet of nauwelijks bij.

3. *Kan er op basis van de resultaten een gewasspecifiek advies gegeven worden?*

Alhoewel er gemiddeld gesproken wel verschil lijkt te zijn in de opname door de verschillende gewassen of gewasgroepen, is dit niet structureel aangetoond in het onderzoek. De concentraties kunnen per gewas binnen hetzelfde cluster sterk variëren. Wel blijkt dat blad- en knolgroenten over het algemeen wat hogere PFAS-concentraties bevatten dan bijvoorbeeld fruit. Dit is waarschijnlijk het gevolg van teelt in of direct op de grond, of juist aan een stam. In het laatste geval zit er een grotere afstand tussen bodem, water en het fruit.

Gezien de gemiddelde concentraties in groenten en fruit is het echter niet nodig om onderscheid te maken bij de consumptie. Naast het afraden van het eten van groenten en fruit uit cluster B-S, blijft het advies van het RIVM overeind om in de clusters A t/m F de consumptie van de gewassen af te wisselen met groente en fruit uit de winkel.

4. *Wat zijn de gemeten concentraties in grond, grond-, sloot-, en regenwater? En hoe staan die in relatie tot elkaar en de afstand (en windrichting) tot DuPont/Chemours?*

PFOA wordt in alle clusters aangetroffen in de grond, het grondwater en in het slootwater (met uitzondering van het slootwater in het referentiecluster). De concentraties nemen af met de afstand tot de fabriek. In het water uit de regentonnen wordt alleen dicht bij de fabriek PFOA aangetroffen.

In de grond worden de hoogste PFOA-concentraties aangetroffen in de laag van 20 – 50 cm. Dit geeft aan dat de PFOA in de loop van de tijd is uitgespoeld naar diepere lagen. De lagere gehalten in de bovenste 20 cm komen doordat in 2012 de uitstoot van PFOA gestopt is en er sindsdien geen nieuwe PFOA in de bodem terecht gekomen is. PFOA wordt in meerdere tuinen tot een diepte van 2 meter aangetroffen in de grond. GenX wordt alleen aangetroffen in grond en water dicht bij de fabriek.

PFOS wordt in lijn met het landelijke beeld plaatselijk aangetroffen in verhoogde concentraties, de hoogte van de PFOS-concentratie is niet te relateren aan de afstand tot de fabriek. De verhoogde PFOS-concentraties in de grond zorgen niet voor een te hoge PFAS inname via groente en fruit. Waarom in de sommige tuinen meer PFOS wordt aangetroffen is daarom verder niet onderzocht. Overige PFAS en precursors worden niet, of alleen in lage concentraties aangetroffen.

5. *Speelt aanhangende grond (in of aan de schil) een rol in de gemeten concentraties in groenten en fruit?*

Een aantal groenten is zowel geschild als ongeschild geanalyseerd, soms bevatte geschilde groente meer PFAS dan ongeschilde, en soms is het beeld omgekeerd. Er kan dus geen eenduidige conclusie getrokken worden of het beter is om wel of niet te schillen. De onderzoeksresultaten geven geen aanleiding om het eten van ongeschilde groente af te raden. Het advies is sowieso om voor het eten, alle groenten en fruit goed te wassen en de aanhangende grond te verwijderen.

Adviezen voor de moestuingebruikers

Op basis van de onderzoeksresultaten en de evaluatie geven wij de volgende adviezen voor de moestuingebruikers:

Regenwater kan overal worden gebruikt om de moestuinen water te geven. PFAS kunnen wel langdurig hechten aan het oppervlak van oude regentonnen en vervolgens over een zeer lang periode langzaam weer vrijkomen. We adviseren daarom om in de buurt van de fabriek van DuPont/Chemours (clusters B-P, B-S en E) oude regentonnen te vervangen.

Slootwater kan in de clusters A, C, D, E, F, G en R zonder beperkingen aan de planten worden gegeven. In cluster B-P wordt aangeraden terughoudend te zijn met het gebruik van slootwater. In cluster B-S wordt het gebruik van slootwater voor de moestuin afgeraden. Dit sluit aan bij het RIVM-advies om gewassen uit deze moestuinen niet te eten.

Ondiep grondwater wordt over het algemeen in de moestuinen niet gebruikt om de planten water te geven, maar wordt door de planten zelf wel opgenomen. Het kan in de clusters C, D, E, F, G en R desgewenst wel zonder beperkingen worden gebruikt.

Grond in moestuinen heeft gemiddeld gesproken lagere concentraties dan direct omliggende percelen, waarschijnlijk als gevolg van langdurige intensieve bewerking, het toevoegen van compost, bemesten en het bewateren van planten. Het advies is daarom om terughoudend te zijn met het aanleggen van nieuwe moestuinen in deze omgeving. Het advies is dan om eerst een bodemonderzoek uit te voeren om de concentraties PFAS in de bodem te bepalen (zie verder bij adviezen voor de gemeenten).

In cluster B-S kunnen groenten en fruit wel gegeten worden als deze geteeld worden in bakken met nieuwe grond. Gebruik dan geen slootwater, maar regenwater of kraanwater. Daarmee wordt de opname van PFAS in gewassen verder verminderd.

Adviezen voor de gemeenten/omgevingsdienst

Regionale advieswaarde

Onder de risicogrenswaarde voor PFOA in moestuinen (2,3 µg/kg) kan de moestuin zonder beperkingen worden gebruikt. Bij deze concentraties wordt weinig PFAS in groenten en fruit aangetroffen. In de clusters met het advies om afwisselend te eten uit tuin of winkel hebben in het algemeen gemiddelde concentraties tussen 2,3 en 4,6 µg/kg (tweemaal de risicogrenswaarde voor PFOA in moestuinen), en een enkele keer daarboven. Voor moestuinen in de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden die niet meegenomen zijn in dit onderzoek wordt geadviseerd om 4,6 µg/kg aan te houden als een regionale advieswaarde. Boven 4,6 µg/kg PFOA dient ook te worden gekeken naar de hoeveelheid overige PFAS in de grond, en naar de verwachte mate van consumptie. Voor nieuwe moestuinen in grond met PFOA-concentraties tussen 2,3 en 4,6 µg/kg wordt wel geadviseerd om de consumptie af te wisselen met groenten en fruit uit de supermarkt.

Aanleggen of verplaatsen moestuinen en voedselbossen

Gewasconcentraties in nieuwe of recente aangelegde moestuinen zullen naar verwachting hoger zijn dan uit al langer bestaande moestuinen. Daarom wordt aangeraden om daar bij het starten van een nieuwe moestuin of voedselbossen rekening mee te houden. Het is dus beter om lange tijd op een plek te tuinieren dan om een nieuw stuk grond in gebruik te nemen.

Doorvoeren correctie voor gehalte aan organische stof

Het blijft enigszins onduidelijk of humane risico's door PFAS worden beïnvloed door het gehalte aan organische stof in de bodem. Uit figuur 20 blijkt dat er door correctie voor organische stof een logischer patroon ontstaat. Op basis hiervan wordt aanbevolen om in toekomstig bodembeleid correctie voor organische stof door te voeren in de regio (als aanvulling op het huidige beleid²⁹).

Nader onderzoek PFUnDA

Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen naar de onverklaarbaar hoge concentraties aan PFUnDA in de moestuingewassen. Dit omdat deze concentraties een aanzienlijk effect hebben op de berekende totale inname. Als blijkt dat PFUnDA in werkelijkheid niet, of in veel lagere concentraties voorkomt in de gewassen, kunnen enkele gebruiksadviezen mogelijk worden bijgesteld. In dit onderzoek kunnen ook de gewasconcentraties aan PFDA en PFNA worden meegenomen. Deze PFAS hebben een nog hogere RPF dan PFUnDA en dragen daardoor ook significant bij aan de berekende totale inname.

Nader onderzoek GenX

Geadviseerd wordt om nader onderzoek te doen naar de relatief hoge GenX-concentraties in cluster B-S, dit vanwege de grote verschillen in de verhoudingen tussen GenX-concentraties in grond, water en gewassen.

Nut TOP-analyse

De TOP-analyse gaf geen indicatie voor PFAS-precursors. Ook bij de eerdere onderzoeken werden geen precursors aangetroffen in de buurt van DuPont/Chemours. Hieruit blijkt dat de TOP analyse bij onderzoeken naar de uitstoot van DuPont/Chemours bij de huidige stand der techniek niet zoveel meerwaarde heeft. Dit betreft specifiek de uitstoot van PFOA en/of GenX. Voor andere stoffen heeft de TOP-analyse wel meerwaarde, bijvoorbeeld bij brandweeroefenlocaties.

²⁹ Herziene handreiking toepassing van PFOA houdende grond Zuid-Holland Zuid., Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid, Z-18-330610, 13 juni 2018

Algemene aanbevelingen

Nadere evaluatie van het gebruik van RPF's bij het toetsen van bodemonderzoek

Uit het huidige onderzoek blijkt dat er weinig overeenkomst is tussen de concentraties van de overige PFAS in grond en de concentraties in gewassen. In bijlage 3 is aangegeven dat er twijfels zijn aan het gebruik van RPF's bij de toetsing van grondconcentraties. Daarnaast hebben PFAS met hogere RPF's veelal een lagere bioconcentratiefactor. Hierdoor zou het gebruik van RPF's bij het toetsen van grondconcentraties de blootstellingsrisico's overschatten (en bij PFAS met lagere RPF's misschien zelfs wel onderschatten). Toch wordt voor het inschatten van de combitoxiciteit nu vaak getoetst aan de hand van RPF-factoren. Het wordt aanbevolen om het gebruik van RPF's bij grondconcentraties nader te evalueren en/of beter uit te werken.

Nader onderzoek naar bioconcentratiefactoren

Uit het huidige onderzoek volgt dat de door RIVM gehanteerde bioconcentratiefactoren voor PFOA mogelijk leiden tot te lage (te strenge) risicogrenswaarden. Daarom wordt aanbevolen om aanvullend onderzoek te doen naar bioconcentratiefactoren onder typisch Nederlandse veldomstandigheden.

Opstellen protocol voor gewasonderzoek

Gezien de uitkomsten en aanbevelingen van het huidige onderzoek zal er vaker behoefte zijn aan gewasonderzoek op percelen waar voedsel wordt verbouwd. Voor dergelijk onderzoek bestaan geen protocollen, daarom wordt aanbevolen om een protocol op te stellen voor routinematig gewasonderzoek.

Voorbehoud

Er is door middel van dit onderzoek geprobeerd zo goed mogelijk inzicht te krijgen in de aanwezigheid van PFAS in grond, grondwater, slootwater en regenwater. Hoewel de onderzoeken die ten grondslag liggen van dit rapport op zorgvuldige wijze zijn voorbereid en uitgevoerd, kan niet worden uitgesloten dat er in werkelijkheid afwijkingen optreden ten opzichte van de in dit rapport gepresenteerde resultaten. Immers, elk onderzoek is gebaseerd op het nemen van een aantal monsters/steekproeven, maar waarbij (lokale) afwijkingen kunnen optreden.

Doordat het milieu niet één homogene bodemlaag is, maar er overal variatie is in milieuomstandigheden, zijn de resultaten daarom ook niet altijd eenduidig. Dit is bijvoorbeeld het geval met de vreemde resultaten van PFUnDA, het gebruik van RPF-factoren bij grondmonsters en de variatie in bioconcentratiefactoren. Zoals hierboven is omschreven wordt aanbevolen om deze onderwerpen nader te evalueren.

8 Literatuurlijst

1. Risicobeoordeling van PFAS in moestuingewassen uit moestuinen in de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden, RIVM-briefrapport 2022-0010, 2022
2. Luchtdepositie onderzoek PFOA en HFPO-DA (GenX) Dordrecht en omgeving. Expertisecentrum PFAS, ECP 012017/20DDT221-1.17, mei 2017.
3. Aanvullend luchtdepositie onderzoek PFOA en HFPO-DA (GenX) Dordrecht en omgeving. Expertisecentrum PFAS, C05044.000229.0100/079794902 A, 26 maart 2018.
4. Onderzoek naar de aanwezigheid van PFOA in de gemeente Molenwaard- Fase 1, 2 en 3, Expertisecentrum PFAS, 26 oktober 2018.
5. Onderzoek naar de maximale gehalten PFOA in de bodem binnen gemeente Giessenlanden, LievenseCSO Milieu B.V., 15 augustus 2018.
6. Onderzoek naar de aanwezigheid van PFOA in de gemeente Molenlanden, Fase 4, Expertisecentrum PFAS, 083989033 B (C05044.000325.0100), 3 oktober 2019.
7. Bodemverwachtingkaart PFOS en PFOA Zuid-Holland, PZH-2022-803414091, in voorbereiding.
8. Herziening van de risicobeoordeling van GenX en PFOA in moestuingewassen in Dordrecht, Papendrecht en Sliedrecht. RIVM-briefrapport 2021-0064, 2021
9. Risicobeoordeling van PFAS in moestuingewassen uit moestuinen in de gemeenten Dordrecht, Papendrecht, Sliedrecht en Molenlanden, RIVM-briefrapport 2022-0010, 2022.
10. The diet of the Dutch. Results of the Dutch National Food Consumption Survey 2012-2016. RIVM report 2020-0083, 2020
11. Notitie implementatie van de EFSA som-TWI PFAS, RIVM, finaal 7 april 2021.
12. Risicobeoordeling van GenX en PFOA in moestuingewassen in Dordrecht, Papendrecht en Sliedrecht. RIVM Briefrapport 2018-0017. 2018.
13. Herziening van de risicobeoordeling van GenX en PFOA in moestuingewassen in Dordrecht, Papendrecht en Sliedrecht. RIVM-briefrapport 2021-0064. 2021.
14. Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem, RIVM-briefrapport 2020-0100, 2020.
15. Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater, RIVM 2021-0205, 2021.
16. Handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie (versie december 2021)
17. Memo achtergrondwaarden en risicogrenzen ten behoeve van onderbouwing Maximale Waarden PFAS voor toepassen van grond en baggerspecie. Brief RIVM (Wintersen en Otte) aan lenW WOM, 29 april 2021.
18. Memo Risicogrenzen ten behoeve van de vaststelling van interventiewaarden voor PFOS, PFOA en GenX. Brief RIVM (Wintersen en Otte) aan lenW WOM, 29 april 2021.
19. Onderzoek naar de aanwezigheid van PFOA in de gemeente Molenlanden, Fase 4, Expertisecentrum PFAS, 3-10-2019
20. Risk assessment and source identification of perfluoroalkyl acids in surface and ground water: Spatial distribution around a mega-fluorochemical industrial park, China, Liu, Z., Lu, Y., Wang, T., Wang, P., Li, Q., Johnson, A. C., Sweetman, A. J. *Environment International*, 91, 69-77, 2016.
21. PFAS soil and groundwater contamination via industrial airborne emission and land deposition in SW Vermont and Eastern New York State, Schroeder, T., Bond, D., & Foley, J. USA. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23, 291–301. doi:10.1039/d0em00427, 2021
22. Source apportionment and crop bioaccumulation of perfluoroalkyl acids and novel alternatives in an industrial-intensive region with fluorochemical production, China: Liu, Z., Xu, C., Johnson, A. C., Sun, X., Ding, X., Ding, D., Liang, X. *Health implications for human exposure. Journal of Hazardous Materials*, 423, 2022
23. Sources, Fate, and Plant Uptake in Agricultural Systems of Per- and Polyfluoroalkyl Substances. Costello, M. C., & Lee, L. S.. *Current Pollution Reports*. doi:10.1007/s40726-020-00168-y, 2020
24. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the soil–plant system: Sorption, root uptake, and translocation. Mei, W., Sun, H., Song, M., Jiang, L., Li, Y., Lu, W., Zhang, G. *Environment International*, 156, 106642. doi:10.1016/j.envint.2021.106642, 2021
25. Fate and transport of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the vadose zone. Sharifan, H., Bagheri, M., Wang, D., Burken, J. G., Higgins, C. P., Liang, Y., Blotvogel, J. *Science of The Total Environment*, 771, 145427. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145427, 2021
26. The roles of protein and lipid in the accumulation and distribution of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in plants grown in biosolids-amended soils. Wen, B., Wu, Y., Zhang, H., Liu, Y., Hu, X., Huang, H., & Zhang, S. *Environmental Pollution*, 216, 682–688. doi:10.1016/j.envpol.2016.06.032, 2016
27. Risicogrenzen PFOA voor grond en grondwater. Uitwerking voor generiek en gebiedsspecifiek beleid (herziene versie). RIVM Briefrapport 2018-0060, 2018
28. Risicogrenzen GenX (HFPO-DA) voor grond en grondwater. RIVM Briefrapport 2019-0027, 2019
29. Herziene handreiking toepassing van PFOA houdende grond Zuid-Holland Zuid., Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid, Z-18-330610, 13 juni 2018

Bijlage 1 Afkortingen en begrippenlijst

10	Uitleg
µg/kg ds	microgram per kilogram droge stof
10:2 FTS	1H,1H,2H,2H-Perfluordodecaansulfonzuur
6:2 FTS/H4PFOS	1H,1H,2H,2H-Perfluorocataansulfonzuur
8:2 FTS	1H,1H,2H,2H-perfluordecaansulfonzuur
Bovengrond	Bodemlaag of -lagen van maaiveld (mv.) tot 0,5 m-mv.
detectiegrens	De laagste concentratie waarbij de aanwezigheid van een stof door het laboratorium kan worden aangetoond.
HFPO-DA	FRD902/903, ook wel GenX genoemd.
lutum	Gronddeeltjes die kleiner zijn dan 2 µm. Bij meer dan 25% lutum wordt de grond van klei genoemd.
mediaan	De mediaan is het middelste getal van de gemeten concentraties. Je kan daarom zeggen dat 50% van de gemeten concentraties zich onder de mediaan en 50% boven de mediaan bevinden.
m-mv	Meter minus maaiveld.
Ondergrond	Bodemlaag of -lagen vanaf 0,5 m-mv.
organische stof	Organische stof is het natuurlijke plantaardige en dierlijke deel in de bodem. Organische stof is bijvoorbeeld afkomstig uit plantenresten en mest. Grond met meer dan 25% organische stof wordt veen genoemd.
PFAS	P oly- en p er F luoro A lky S toffen
PFBA	Perfluorbutaanzuur
PFBS	Perfluorbutaansulfonzuur
PFDA	Perfluordecaanzuur
PFDoA/PFDoDA	Perfluordodecaanzuur
PFDS	Perfluordecaansulfonzuur
PFHpA	Perfluorheptaanzuur
PFHxA	Perfluorhexaanzuur
PFHxDA	Perfluorhexadecaanzuur
PFHxS	Perfluorhexaansulfonzuur
PFNA	Perfluornonaanzuur
PFOA	Perfluorocataanzuur
PFODA	Perfluorocataadecaanzuur
PFOS	Perfluorocataansulfonzuur
PFOSA	Perfluorocataansulfonamide
PFPeA/PFPA	Perfluorpentaanzuur
PFTDA/PFTrDA	Perfluortridecaanzuur
PFTeDA	Perfluortetradecaanzuur
PFUnA/PFUnDA	Perfluorundecaanzuur
PTFE (Teflon)	polytetrafluoretheen
P95	De P95:betekent dat 95% van de waarden lager is dan deze waarde en 5% hoger.
Risicogrenswaarde	Concentraties in het milieu waarboven effecten op mens of milieu kunnen optreden. Risicogrenswaarden kunnen gebruikt worden voor de onderbouwingen van normen. Pas als de waarden van een risicogrenswaarde in wet- en regelgeving is opgenomen spreken we van normen.
Teflon	PTFE (polytetrafluoretheen)

Bijlage 2 Referentielijst rapporten Tritium

- a. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster A: DKG (2201/053/BU-DKG, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- b. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster A: DVP (2201/053/BU-DVP, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- c. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster B: PEH (2201/053/BU-PEH, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- d. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster B: PT1 (2201/053/BU-PT1, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- e. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster B: PT2 (2201/053/BU-PT2, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- f. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster B: SBA (2201/053/BU-SBA, versie A), Tritium advies, 20 oktober 2022
- g. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster B: SBB (2201/053/BU-SBB, versie A), Tritium advies, 20 oktober 2022
- h. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster B: SBC (2201/053/BU-SBC, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- i. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster C: MOA (2201/053/BU-MOA, versie A), Tritium advies, 20 oktober 2022
- j. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster C: PNH (2201/053/BU-PNH, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- k. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster D: SPW (2201/053/BU-SPW, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- l. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster D: SSM (2201/053/BU-SSM, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- m. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster D: SVS (2201/053/BU-SVS, versie A), Tritium advies, 20 oktober 2022
- n. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster E: MWG (2201/053/BU-MWG, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- o. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster F: MBR (2201/053/BU-MBR, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- p. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster F: MHK (2201/053/BU-MHK, versie A), Tritium advies, 20 oktober 2022
- q. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster G: MGA (2201/053/BU-MGA, versie A), Tritium advies, 20 oktober 2022
- r. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster H: DTK (2201/053/BU-DTK, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- s. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster H: DVK (2201/053/BU-DVK, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- t. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster REF: REF (2201/053/BU-REF, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022
- u. Bodem- en irrigatiewateronderzoek PFAS Moes-/volkstuinten Dordrecht en omgeving Cluster REF: REP (2201/053/BU-REP, versie 0), Tritium advies, 29 september 2022

Bijlage 3 Overwegingen gebruik RPF-factoren en PFOA-equivalenten

Voor grond en water zijn de gemeten concentraties PFOS, PFOA en GenX direct getoetst aan de risicogrenswaarden, zonder omrekening via PFOA-equivalenten. De risicogrenswaarden waaraan de gemeten concentraties in dit rapport worden getoetst zijn namelijk al specifiek voor de stof afgeleid, en een RPF-factor is al in de gebruikte risicogrenswaarden verwerkt.

Tabel 13. Risicogrenswaarden Wonen met moestuin (de hieronder weergegeven ad-hoc waarden voor porie- en grondwater hebben geen status, en dienen alleen om een kader te geven aan de gemeten waarden).

PFAS	Grond wonen met moestuin (µg/kg d.s.)	Porie- en grondwater wonen met moestuin (µg/l)
PFOA	2,3	0,33 (ad-hoc)
GenX	2,3 (ad-hoc)	0,33 (directe consumptie)
PFOS	2,4	0,11 (ad-hoc)

Voor het bepalen van de risico's van de overige PFAS wordt door het RIVM aanbevolen om de mengseltoxiciteit te evalueren. Dit zou theoretisch gedaan kunnen worden door middel van de RPF-factoren. Hier kleven echter een aantal nadelen aan.

De RPF-factoren zijn ontwikkeld om voor de overige PFAS een relatieve toxiciteit in te kunnen schatten. Deze methode is ontwikkeld voor directe inname, bijvoorbeeld voor drinkwater, of voor voeding. Voor de risicogrenswaarden die voor bodem en grondwater zijn afgeleid, kan de RPF-methode worden gebruikt voor de toetsing voor gebruik van grondwater als drinkwater (risicogrens voor directe consumptie van ruw grondwater¹⁸), maar voor de toetsing aan de risicogrenswaarden in grond en het poriewater is de RPF-methode minder geschikt. Dit betreft bijvoorbeeld de risicogrenswaarden in Tabel 13 en ook het poriewater bij de interventiewaarde (8,6 µg/l voor PFOA¹⁸).

De RPF-methode is minder geschikt omdat in de afleiding van de risicogrenswaarden in bodem naast de RPF ook een bioconcentratiefactor³⁰ is meegenomen, die voor iedere PFAS anders is. Voor de meeste PFAS is voor de afleiding van dit getal onvoldoende informatie beschikbaar, voor PFOS, PFOA, GenX zijn wel bioconcentratiefactoren beschikbaar. Het effect hiervan is voor PFOS bijvoorbeeld te zien in de toetsingswaarde voor grond, die ongeveer gelijk is aan de toetsingswaarde voor PFOA, terwijl PFOS een RPF van 2 heeft. Op basis van de RPF-methode (PFOS is 2 x zo toxisch als PFOA) zou dan getoetst moeten worden aan 1,15 (2,3 µg/kg /2) i.p.v. 2,4 µg/kg. Dat dit niet het geval is komt door de lagere bioconcentratiefactor voor PFOS. Voor de berekende getallen in het grondwater speelt daarnaast nog een adsorptiefactor aan de bodem een rol.

Controle PFOA-equivalenten

Voor zowel het water als de grond is ter controle wel gekeken naar het effect van een berekening van de PFOA-equivalenten.

Grond

Voor de grond leidt een RPF-berekening tot een duidelijk toename van de som PFOA-equivalenten (PEQ) ten opzichte van de concentratie PFOA, omdat in de grond naast PFOA vooral de PFAS worden aangetroffen die hoge RPF-factoren hebben, zoals bijvoorbeeld PFOS, PFNA, PFDA en langere verbindingen. Hierdoor wordt de som van PFOA-equivalenten al snel een factor 2 hoger dan de concentratie PFOA. Dit speelt vooral een rol bij cluster B-S en G.

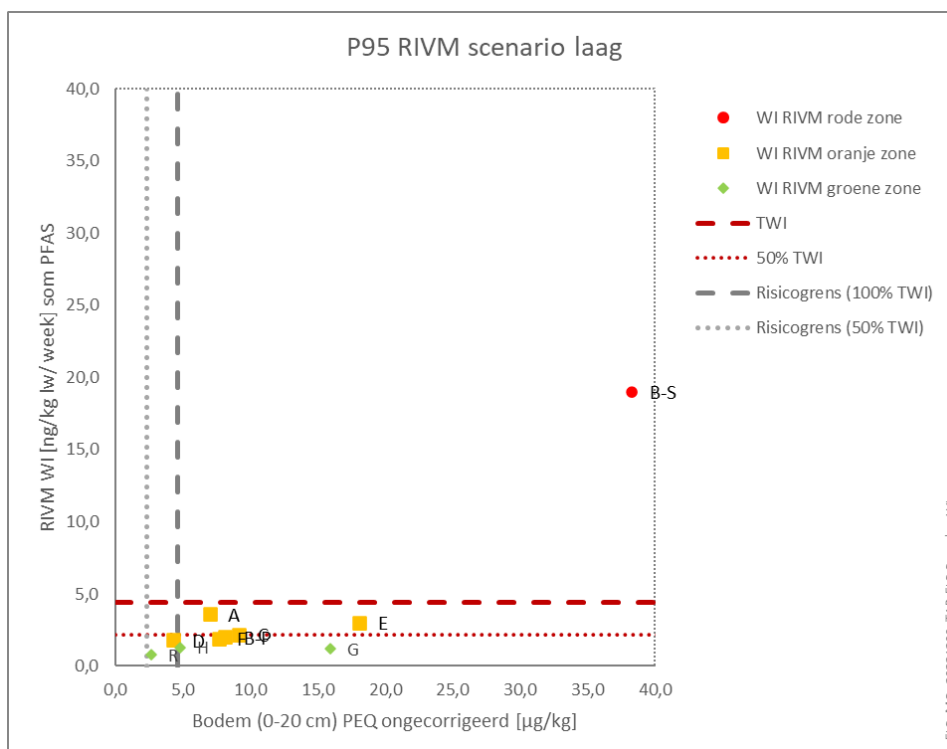
Mogelijk kunnen de hogere concentraties overige PFAS die gemeten worden in cluster B-S wel gerelateerd worden aan de PFOA-verontreiniging vanuit DuPont/Chemours, maar in de verder weg gelegen clusters lijken achtergrondconcentraties en mogelijk andere bronnen meer een rol te spelen. Dat is vooral het geval voor PFOS.

Dat de som PEQ duidelijk hoger is dan de PFOA-concentratie wil nog niet zeggen dat er een groter risico is. Het risico is immers al bepaald (de inname van PFAS via moestuingewassen). In cluster G leidt een berekening van de PEQ tot een duidelijke overschrijding van de risicogrens voor PFOA voor moestuinen (16 µg/kg t.o.v. 2,3 µg/kg), terwijl hier

³⁰ Toelichting bioconcentratiefactor, zie paragraaf 6.1.

qua berekende inname geen beperkingen gelden (groene zone). Bijkomend effect hiervan is dat het lijkt dat er bij een hoge som PEQ geen risico is (dit wordt hieronder nader toegelicht). De berekening van de PEQ bij de moestuinen geeft in de grond een vertekend beeld, daarom is in het rapport de focus gericht op PFOA en GenX; de stoffen die in deze omgeving door de uitstoot naar het milieu in duidelijk verhoogde concentraties in de omgeving worden aangetroffen.

Het effect van de omrekening naar PFOA-equivalenten is weergegeven in onderstaande figuur. Deze figuur kan vergeleken worden met Figuur 21 in paragraaf 6.4. Wat bij vergelijking van deze figuren duidelijk wordt, is dat wanneer naar som PFOA-equivalenten in de bodem wordt gekeken, er bij hogere concentraties (bijvoorbeeld bij clusters G en E, bij 15 tot 20 µg/kg PFOA-equivalenten) geen overschrijding is van de TWI (rode dikke stippellijn), terwijl in Figuur 21 bij lagere concentraties PFOA in de bodem (10-12 µg/kg PFOA, in de bodem, cluster B-S) wel al een duidelijke overschrijding is van de TWI (berekende inname). Dit geeft aan dat het om de risico's te evalueren voor het huidige onderzoek beter is om te kijken naar de PFOA-concentraties in de bodem dan naar de PFOA-equivalenten.

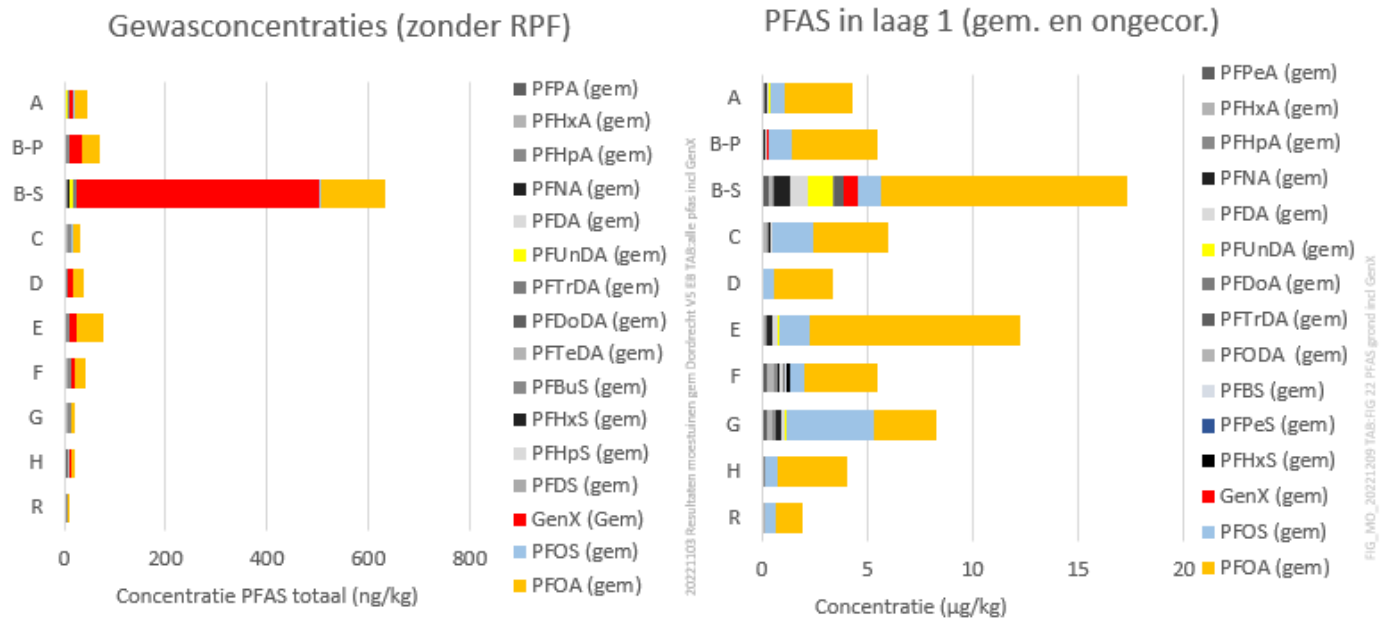


Figuur 22. Door RIVM berekende P95-weekelijkse inname (WI) van alle PFAS (met RPF) door consumptie van groenten en fruit en scenario laag als functie van de gemiddelde PEQ-concentratie (PFOA-equivalenten (inclusief PFOS en GenX)) in de bodem (laag I) in hetzelfde cluster (niet gecorrigeerd voor organische stof gehalte van de bodem). Inname in ng PFOA-equivalenten per kg lichaamsgewicht per week. Ten opzichte van toelaatbare weekelijkse inname (TWI) en bodemrisicogrenswaarden. Let op: de innameberekeningen zijn op basis van alle PFAS, de bodemconcentratie betreft alleen PFOA (zie tekst hierboven voor toelichting).

Dit effect komt met name door de langketenige PFAS, zoals onder andere PFOS, PFNA en PFDA. Deze langketenige PFAS-verbindingen hebben hoge RPF-factoren, maar ze binden ook sterker aan de bodem dan PFOA. Hierdoor verplaatsen deze stoffen zich minder makkelijk naar het water, en ook minder makkelijk naar de gewassen. Hierdoor hoeft een (relatief) hoge concentratie in de bodem niet te betekenen dat er ook een hoge concentratie wordt gemeten in de gewassen.

Dit wordt nader geïllustreerd aan de hand van PFOS in Figuur 23. In de bodem zijn relatief hoge gehalten aan PFOS gemeten, vergeleken met de andere PFAS-verbindingen. In de gewassen komt PFOS echter in relatief lage gehalten voor. Dit is ook het geval voor andere langketenige PFAS. De kortketenige PFAS worden in de gewassen juist in relatief hoge gehalten aangetroffen en in de grond in lagere gehalten. Het uitrekenen van de som PFOA-equivalenten in grondmonsters geeft daarom een onevenredig zware toetsing voor de langketenige PFAS.

Wellicht is het voor grondconcentraties beter om de mengseltoxiciteit te evalueren aan de hand van de somconcentraties (zonder RPF-factor). Het wordt aanbevolen om nader te onderzoeken hoe omgegaan dient te worden met mengseltoxiciteit van PFAS bij grondmonsters. Er wordt wel benadrukt dat de evaluatie van de mengseltoxiciteit per project of type locatie opnieuw afgewogen dient te worden.



Figuur 23. Gemiddelde PFAS-concentraties in gewassen (links) en de bovengrond (rechts). In beide plaatjes zijn alle metingen onder de rapportagegrens niet weergegeven. Let op verschil in eenheid van de x-as, ng/kg voor gewassen en µg/kg voor grond.

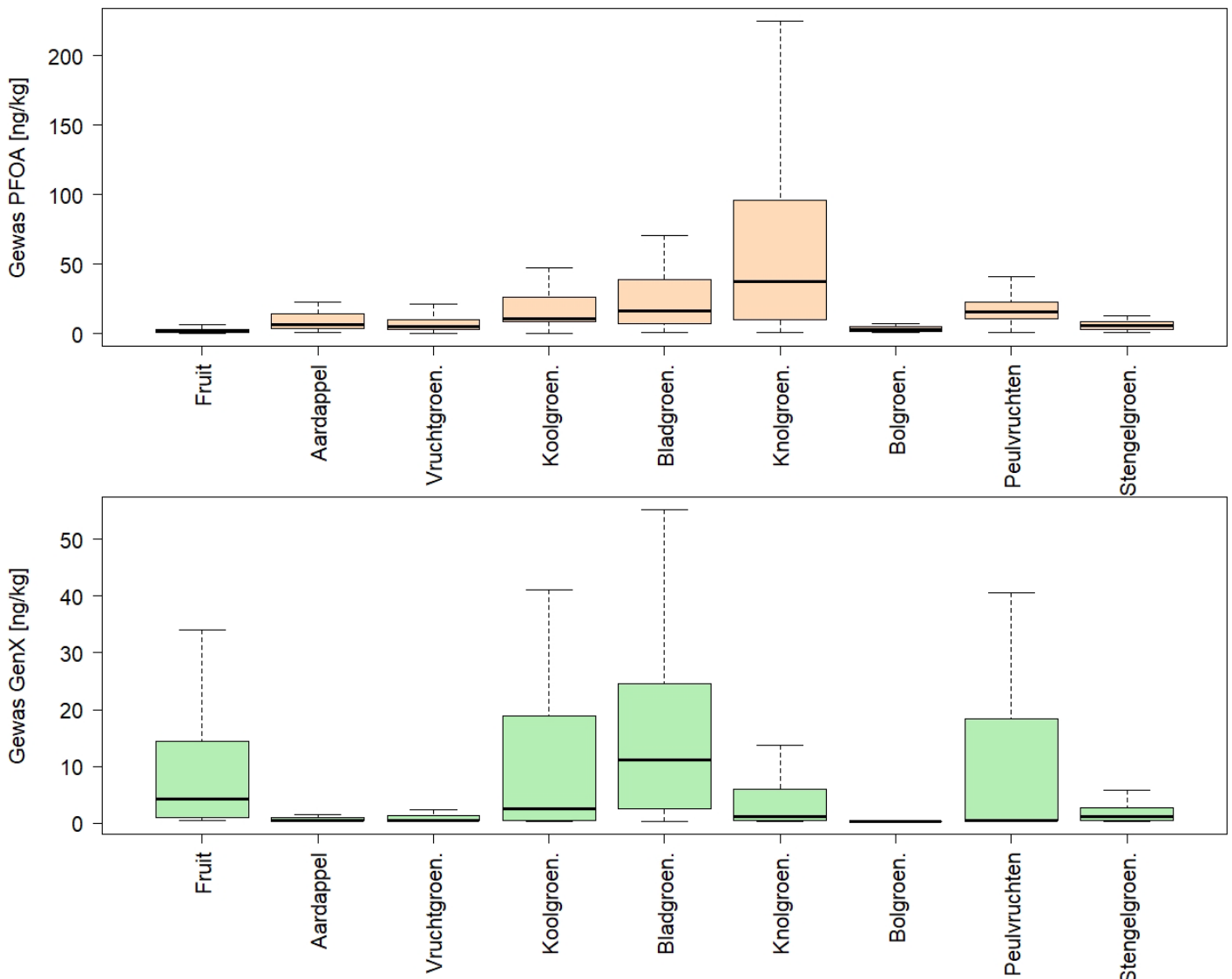
Water

Voor het water zorgt een omrekening naar PEQ in het onderzochte gebied slechts voor een minimale toename, zie Tabel 14 (in vergelijking met Tabel 7). Dat de som PFOA-equivalenten niet veel hoger is dan enkel de PFOA-concentraties komt door de relatief lage concentraties PFAS die in het water zijn gemeten, bovendien hebben de PFAS die in het water worden gemeten meestal een lage RPF-factor (een RPF kleiner dan 1 betekent dat ze als minder toxisch worden gezien als PFOA). GenX heeft bijvoorbeeld maar een RPF van 0,06.

Tabel 14 Samenvatting analyseresultaten in PEQ in grondwater en het water uit regentonnen en sloten (in µg/l). Als er slechts één monster is geanalyseerd zijn het gemiddelde, de minimale en maximale waarde hetzelfde en staat er één getal.

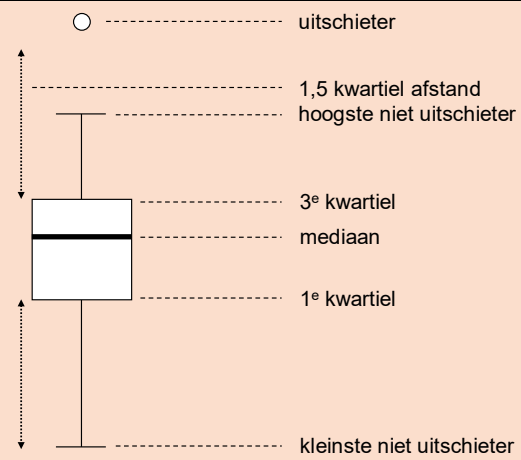
Cluster	Tuin	PEQ in grondwater (µg/l)				PEQ in (regen)tonnen (µg/l)				PEQ in slootwater (µg/l)			
		Gem	Min	Max	aantal	Gem	Min	Max	aantal	Gem	Min	Max	aantal
R	REF	0,050	0,04	0,08	6	0,04	0,04	0,04	6				
	REP	0,04	0,04	0,04	2	0,04	0,04	0,04	3	0,04			1
H	DTK	0,06	0,04	0,08	3	0,04	0,04	0,04	4	0,05	0,05	0,05	1
	DVK	0,04	0,01	0,07	3	0,01	0,01	0,01	5	0,06	0,06	0,06	1
A	DKG	0,07	0,05	0,11	4	0,04	0,04	0,04	7	0,14	0,14	0,14	1
	DVP	0,64	0,61	0,66	2	0,04	0,04	0,04	3	0,27	0,27	0,27	1
B-S	SBA	3,09	3,09	3,09	1	0,06	0,05	0,07	2	2,36	2,36	2,36	1
	SBB	0,11	0,05	0,16	2	0,07	0,07	0,07	1				
	SBC	1,19	1,19	1,19	1	0,05	0,05	0,05	1	2,76	2,76	2,76	1
B-P	PEH	0,12	0,12	0,12	1	0,35	0,35	0,35	1	0,43	0,43	0,43	1
	PT1	0,32	0,32	0,32	1	0,04	0,04	0,04	1	0,42	0,42	0,42	1
	PT2	2,42	2,42	2,42	1	0,04	0,04	0,04	2	0,58	0,58	0,58	1
E	MWG	0,21	0,05	0,50	3	0,15	0,04	0,26	2	0,26	0,26	0,26	1
D	SPW	0,04	0,04	0,04	1	0,06	0,04	0,08	2	0,26	0,26	0,26	1
	SSM	0,07	0,07	0,07	1	0,04	0,04	0,04	2	0,12	0,12	0,12	1
	SVS	0,08	0,05	0,15	4	0,01	0,01	0,01	4				
F	MBR	0,09	0,09	0,09	1					0,09	0,09	0,09	1
	MHK	0,15	0,15	0,15	1					0,10	0,10	0,10	1
C	MOA	0,04	0,04	0,05	3	0,04	0,04	0,04	1	0,09	0,09	0,09	1
	PNH	0,12	0,10	0,13	3	0,04	0,04	0,04	2	0,17	0,17	0,17	1
G	MGA	0,02	0,01	0,02	3					0,03	0,03	0,03	2

Bijlage 4 Boxplots concentraties PFOA, GenX in gewassen

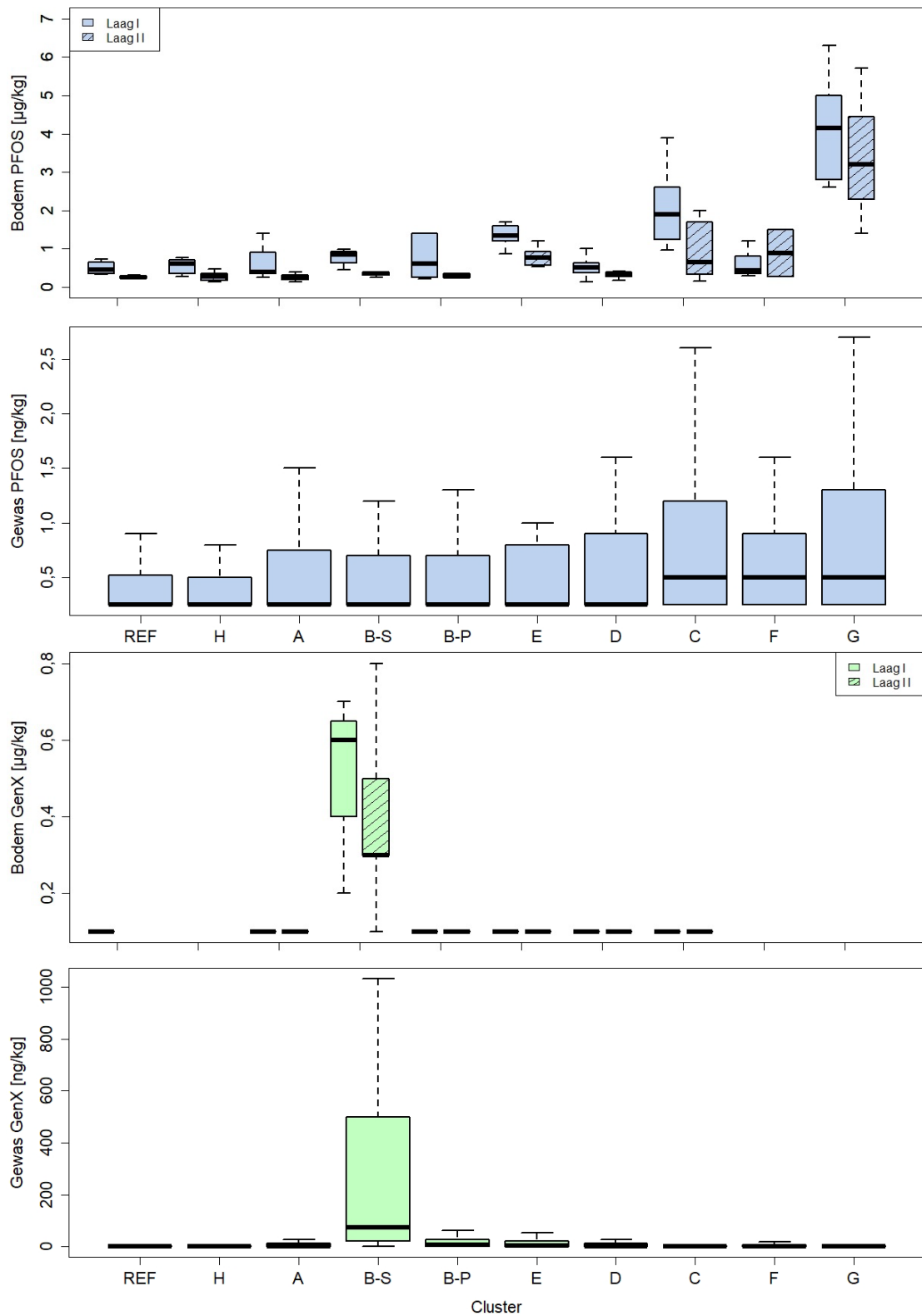


Figuur 24 Boxplots van PFAS-concentraties voor de verschillende typen gewas voor PFOA en GenX. De uitschieters zijn niet weergegeven. Let op het verschil in schaal, PFOA wordt in hogere concentraties aangetroffen dan GenX.

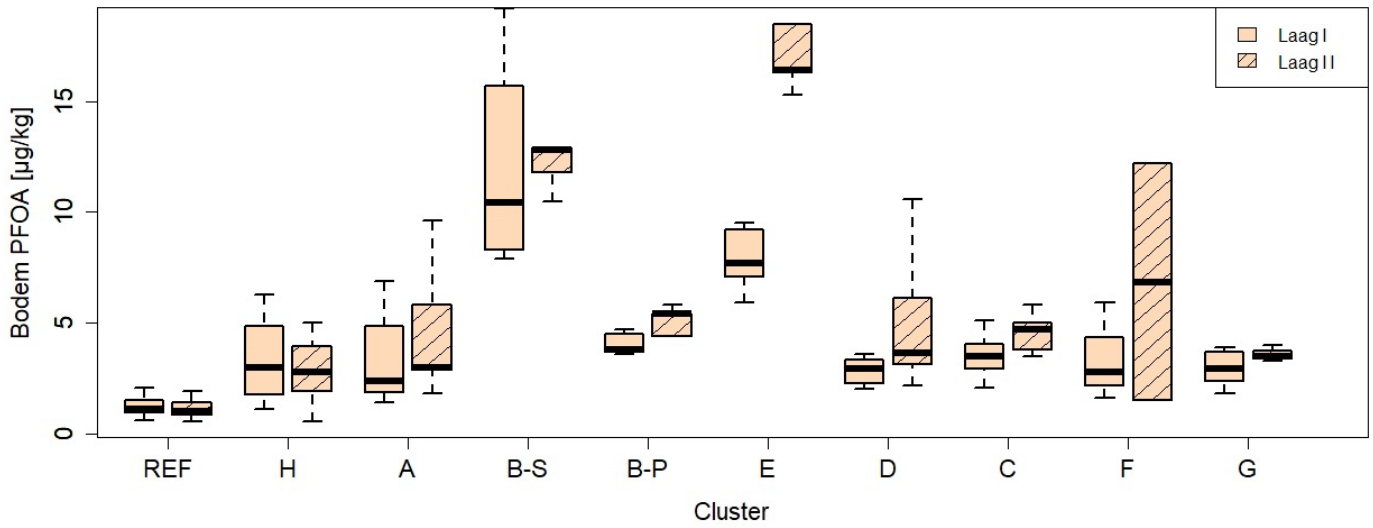
Een boxplot laat zien hoe de meetwaarden in een groep verdeeld zijn, in dit geval per gewas. Bij het bepalen van een boxplot worden alle getallen van klein naar groot gerangschikt. 50% van de metingen ligt in de box. De onderzijde van de box begint als 25% van de metingen zijn geteld, en de mediaan ligt bij 50%. De hoogste en de laagste metingen, niet zijnde sterke uitschieters, worden met de strepen aangegeven.



Bijlage 5 Boxplots PFOS en GenX in grond



Figuur 25 Boxplots van PFOS (boven) en GenX (onder) in bodem (laag I en II) en gewassen in de verschillende clusters.

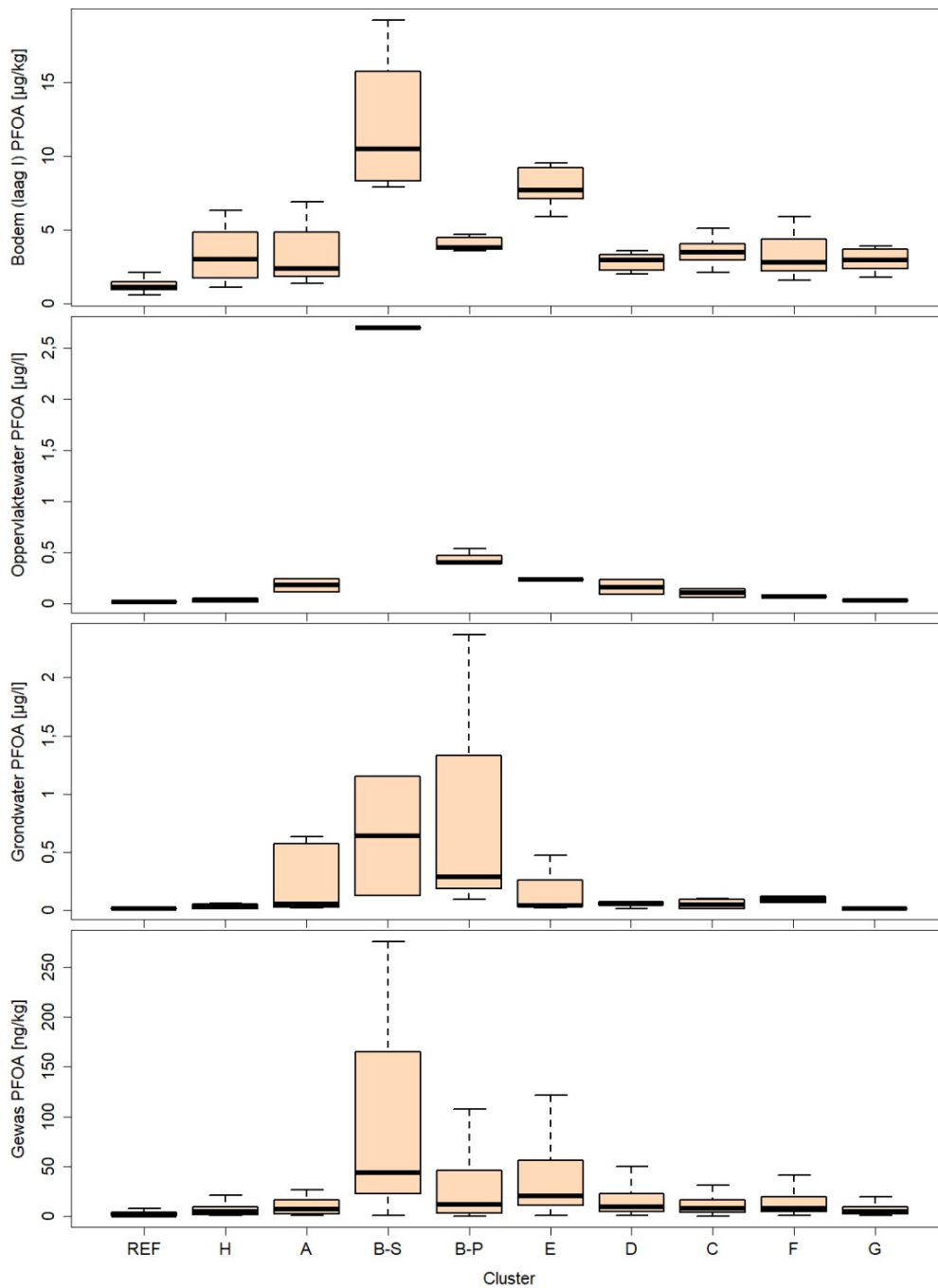


Figuur 26 Boxplots van PFOA-concentraties (ongecorrigeerd en exclusief de resultaten uit de kas, het weiland en de boomgaard) voor bodem (laag I en II) in verschillende clusters, uitbijters worden niet getoond.

Bijlage 6 Advieslijst PFAS

Naam	Acronym	Formule	SIKB-code	CAS-nr
perfluorbutaan zuur	PFBA	C ₄ H ₇ F ₇ O ₂	4437	375-22-4
perfluorpentaan zuur	PFPeA	C ₅ H ₉ F ₉ O ₂	4448	2706-90-3
perfluorhexaan zuur	PFHxA	C ₆ H ₁₁ F ₁₁ O ₂	4441	307-24-4
perfluorheptaan zuur	PFHpA	C ₇ H ₁₃ F ₁₃ O ₂	4440	375-85-9
PFOA lineair	PFOA	C ₈ H ₁₅ F ₁₅ O ₂	4443	335-67-1
PFOA vertakt	PFOAvertakt	-	5577	NVT
perfluornonaan zuur	PFNA	C ₉ H ₁₇ F ₁₇ O ₂	4442	375-95-1
perfluordecaan zuur	PFDA	C ₁₀ H ₁₉ F ₁₉ O ₂	4438	335-76-2
perfluorundecaan zuur	PFUnDA	C ₁₁ H ₂₁ F ₂₁ O ₂	4451	2058-94-8
perfluordodecaan zuur	PFDoA	C ₁₂ H ₂₃ F ₂₃ O ₂	4439	307-55-1
perfluortridecaan zuur	PFTTrDA	C ₁₃ H ₂₅ F ₂₅ O ₂	4449	72629-94-8
perfluortetradecaan zuur	PFTTeDA	C ₁₄ H ₂₇ F ₂₇ O ₂	4450	376-06-7
perfluorhexadecaan zuur	PFHxDA	C ₁₆ H ₃₁ F ₃₁ O ₂	5735	67905-19-5
perfluoroctadecaan zuur	PFODA	C ₁₈ H ₃₅ F ₃₅ O ₂	5736	16517-11-6
perfluor-1-butaansulfonaat (lineair)	PFBS	C ₄ H ₉ F ₉ O ₃ S	3895	375-73-5
perfluorpentaan-1-sulfon zuur	PFPeS	C ₅ H ₁₁ F ₁₁ O ₃ S	5935	2706-91-4
perfluor-1-hexaansulfonaat (lineair)	PFHxS	C ₆ H ₁₃ F ₁₃ O ₃ S	3932	355-46-4
perfluor-1-heptaansulfonaat (lineair)	PFHpS	C ₇ H ₁₅ F ₁₅ O ₃ S	3931	375-92-8
PFOS lineair	PFOS	C ₈ H ₁₇ F ₁₇ O ₃ S	4445	1763-23-1
PFOS vertakt	PFOSvertakt	-	5518	NVT
perfluor-1-decaansulfonaat (lineair)	PFDS	C ₁₀ H ₂₁ F ₂₁ O ₃ S	3898	335-77-3
1H,1H,2H,2H-perfluorhexaansulfon zuur	4:2 FTS	C ₆ H ₅ F ₉ O ₃ S	5996	757124-72-4
2-(perfluorhexyl)ethaan-1-sulfon zuur	6:2 FTS	C ₈ H ₅ F ₁₃ O ₃ S	5517	27619-97-2
1H,1H,2H,2H-perfluordecaansulfon zuur	8:2 FTS	C ₁₀ H ₅ F ₁₇ O ₃ S	5830	39108-34-4
1H,1H,2H,2H-perfluordodecaansulfon zuur	10:2 FTS	C ₁₂ H ₅ F ₂₁ O ₃ S	5831	120226-60-0
perfluoroctaansulfonylamide(N-methyl)acetaat	N-MeFOSAA	C ₁₁ H ₆ F ₁₇ NO ₄ S	5937	2355-31-9
perfluoroctaansulfonylamide(N-ethyl)acetaat	N-EtFOSAA	C ₁₂ H ₈ F ₁₇ NO ₄ S	5744	2991-50-6
perfluoroctaansulfonamide	PFOSA	C ₈ H ₂ F ₁₇ NO ₂ S	4446	754-91-6
N-methyl perfluoroctaansulfonamide	N-MeFOSA	C ₉ H ₄ F ₁₇ NO ₂ S	6001	31506-32-8
bisperfluordecyl fosfaat	8:2 diPAP	C ₂₀ H ₉ F ₃₄ O ₄ P	5998	678-41-1
2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propanoaat (anion)	"GenX" HFPO-DA / FRD-903	C ₆ H ₇ F ₁₁ O ₃	5741	13252-13-6

Bijlage 7 Aanvullende figuren en tabellen gewas versus grond en water

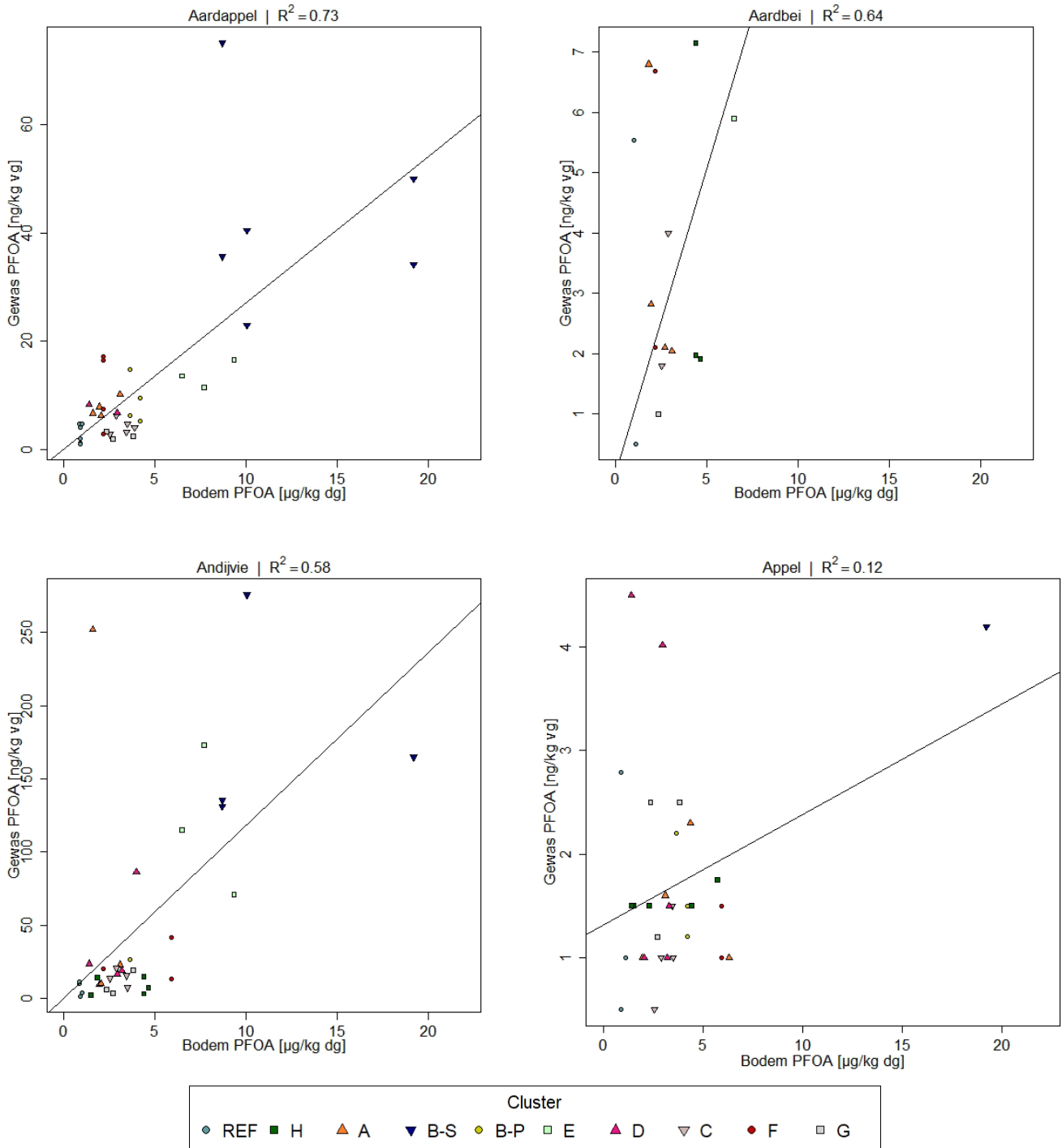


Figuur 27. Boxplots van de PFOA-concentraties in verschillende media per cluster. De uitbijters (waarden die sterk afwijken) zijn niet in de figuur opgenomen.

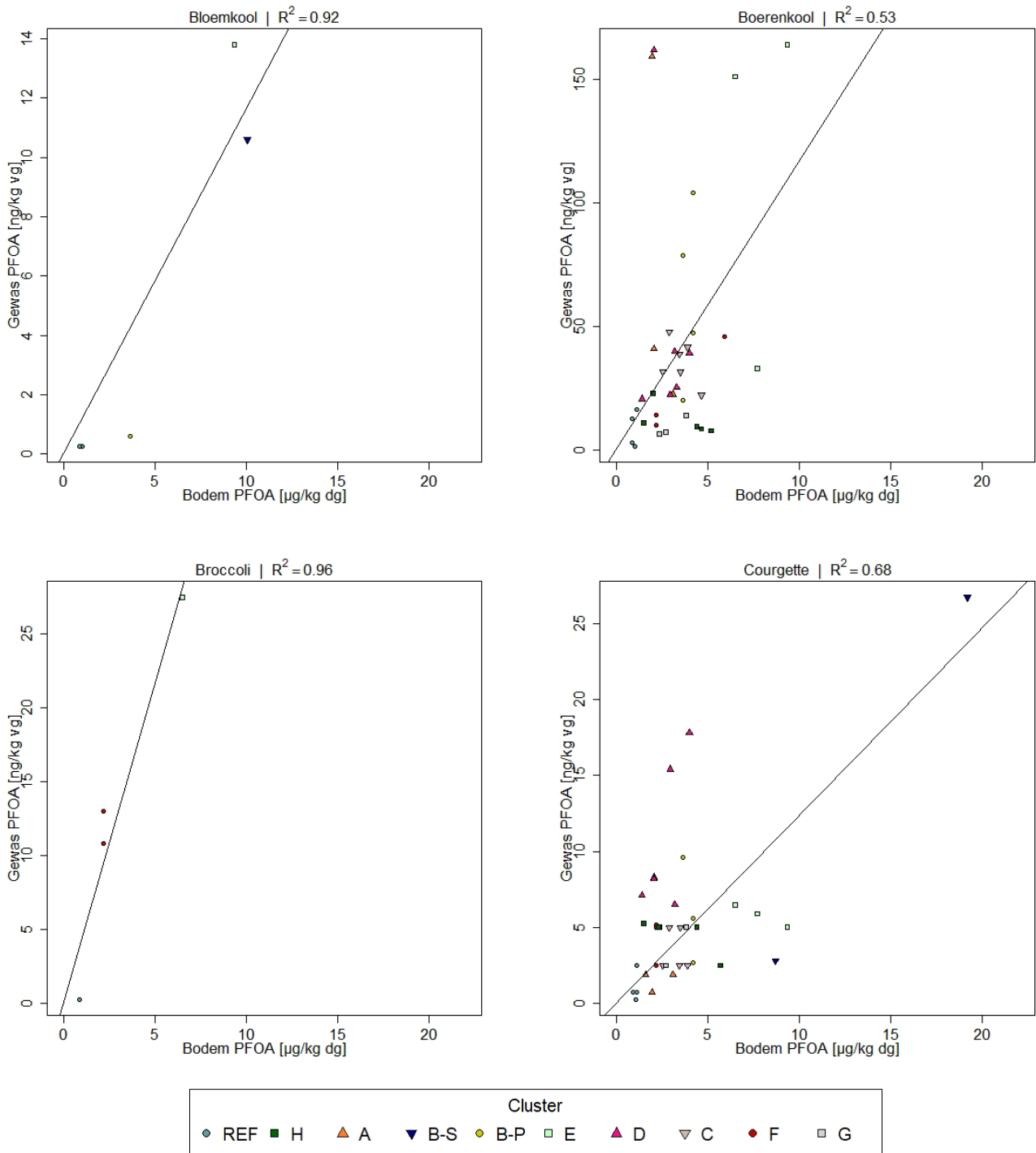
Tabel 15. Overzicht van relaties tussen PFOA-concentraties in gewassen en PFOA-concentraties in de verschillende media. Waar mogelijk een relatie zichtbaar is, is aangegeven met een "ja". Relaties zijn als relatief duidelijk beschouwd wanneer de R^2 hoger was dan 0,50 én wanneer er voldoende metingen waren in het gehele bereik waarover de relatie is bepaald.

Gewasgroep	Gewassoort	Mogelijke relatie tussen gewas en medium				
		Bodemlaag I	Bodemlaag II	Opp. water	Grondwater	Regenwater
Fruit	Aardbei	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
	Appel	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Druif	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee
	Peer	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Pruim	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Aardappel	Aardappel	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Vruchtgroenten	Courgette	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Komkommer	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
	Paprika	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee
	Pompoen	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee
	Tomaat	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Koolgroenten	Bloemkool	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Boerenkool	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
	Broccoli	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Rode kool	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Spruitjes	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
Bladgroenten	Andijvie	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
	Sla	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Snijbiet	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Spinazie	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Spitskool	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Knolgroenten	Rode biet	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
	Wortel	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Bolgroenten	Ui	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee
Peulvruchten	Snijboon	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee
	Sperzieboon	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee
Stengelgroenten	Prei	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
	Rabarber	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee

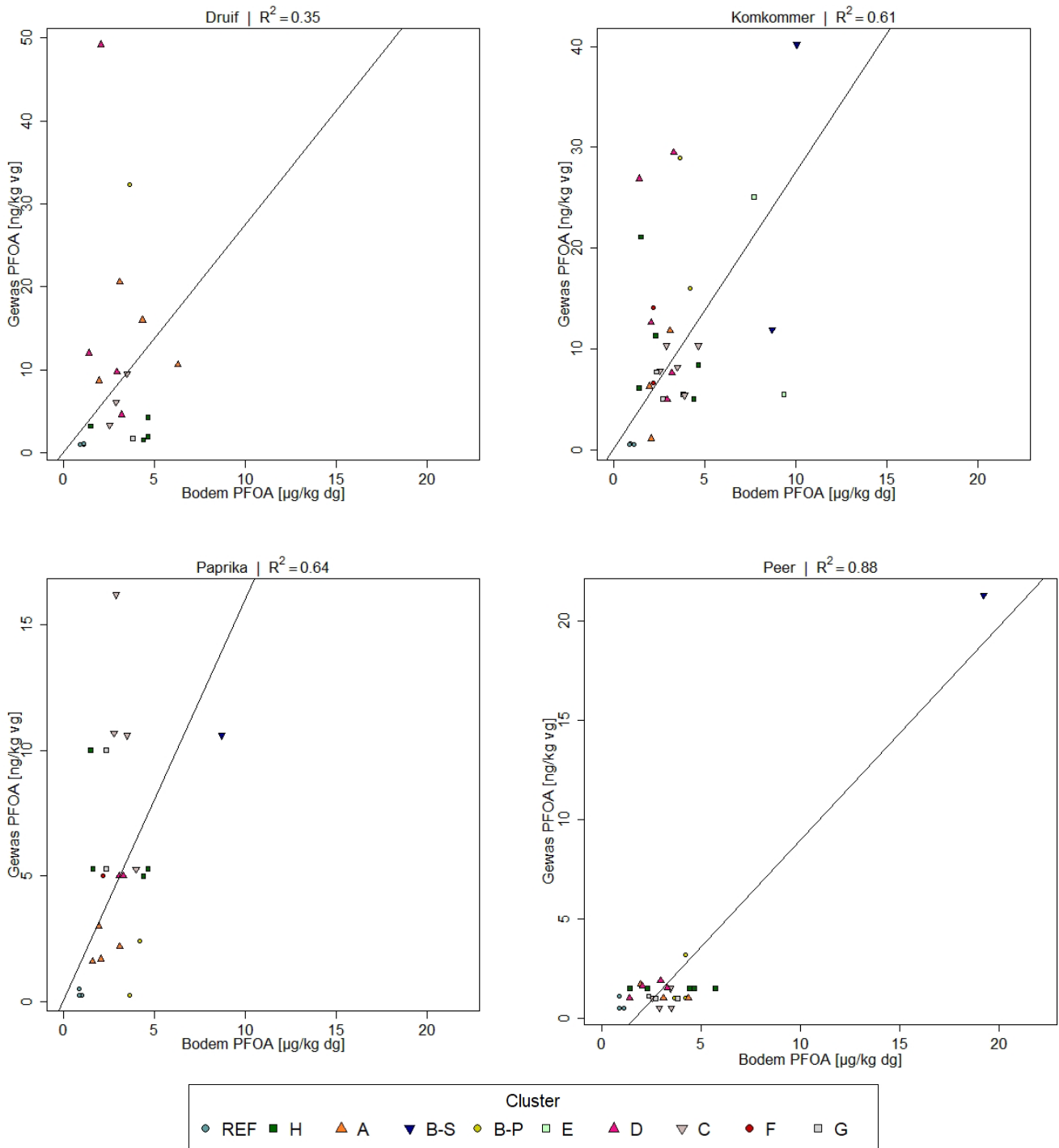
Figuren regressie gewassen (PFOA)



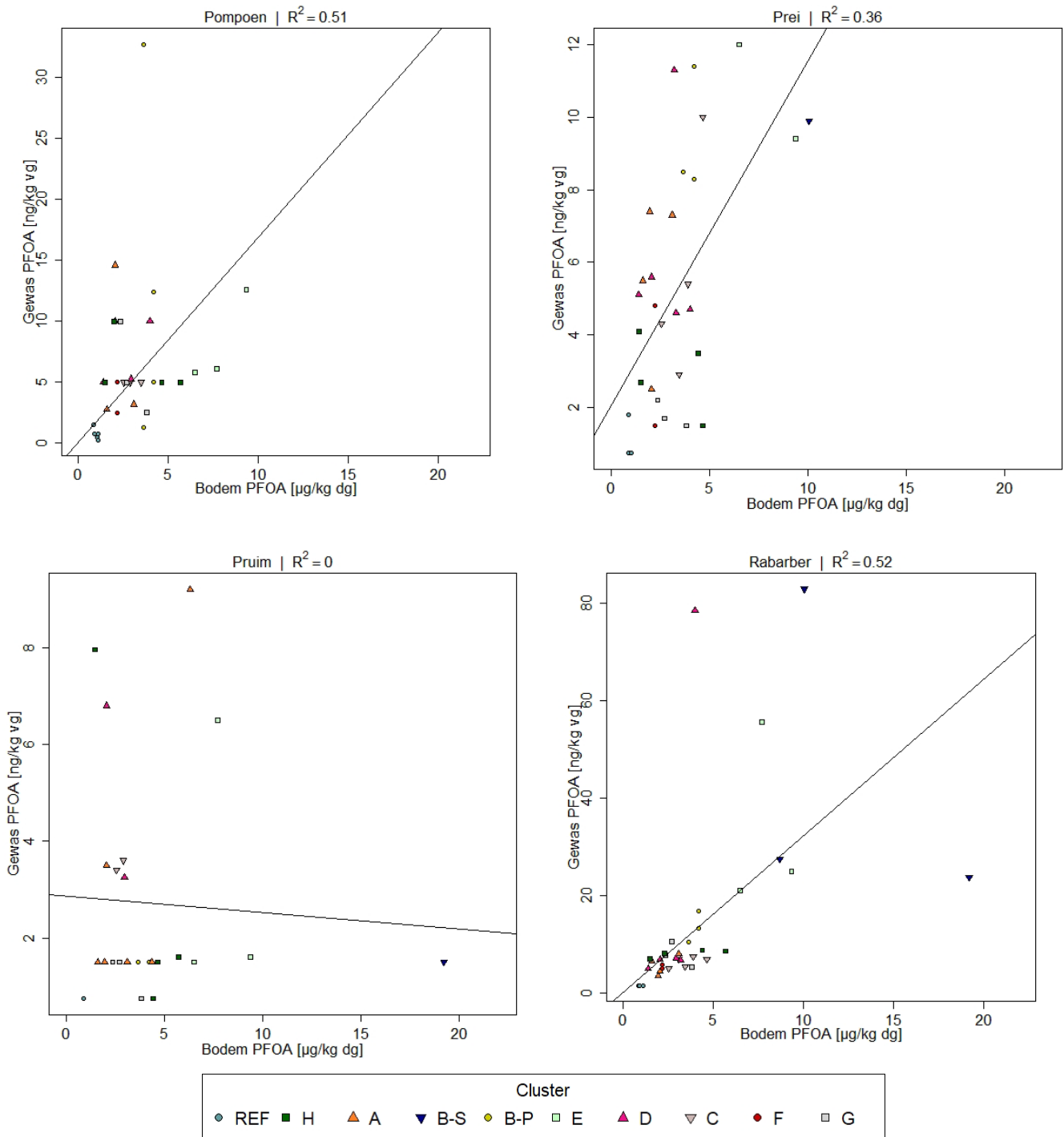
Figuur 28. De relatie tussen bodemlaag / PFOA-concentratie en de PFOA-concentratie in het eetbare deel van alle gewassen. De uitkomst van de beoordeling is verwerkt in Tabel 15. Gaat verder op de volgende pagina.



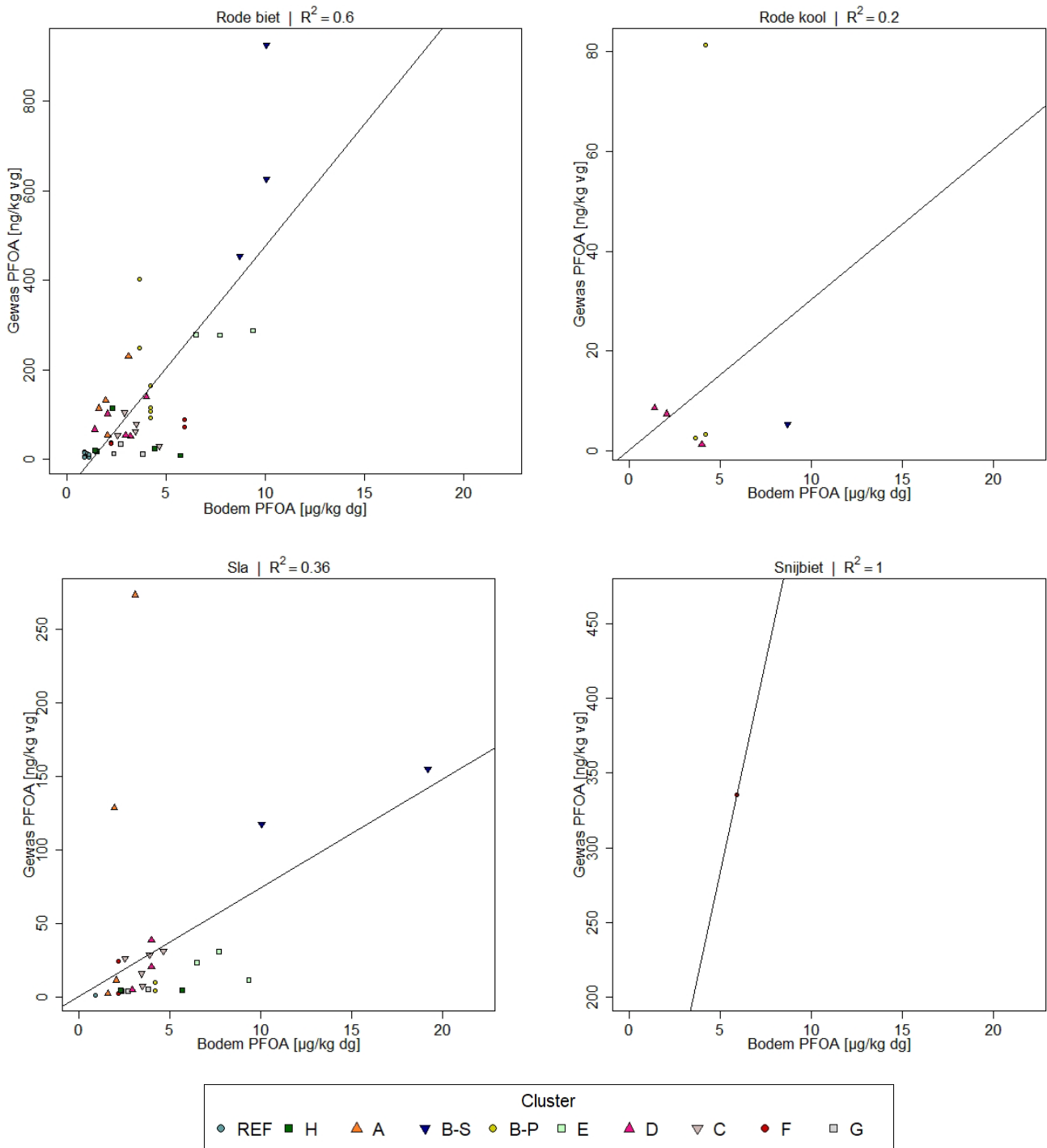
Vervolg Figuur 28. De relatie tussen bodemlaag I PFOA-concentratie en de PFOA-concentratie in het eetbare deel van alle gewassen. De uitkomst van de beoordeling is verwerkt in Tabel 15. Gaat verder op de volgende pagina.



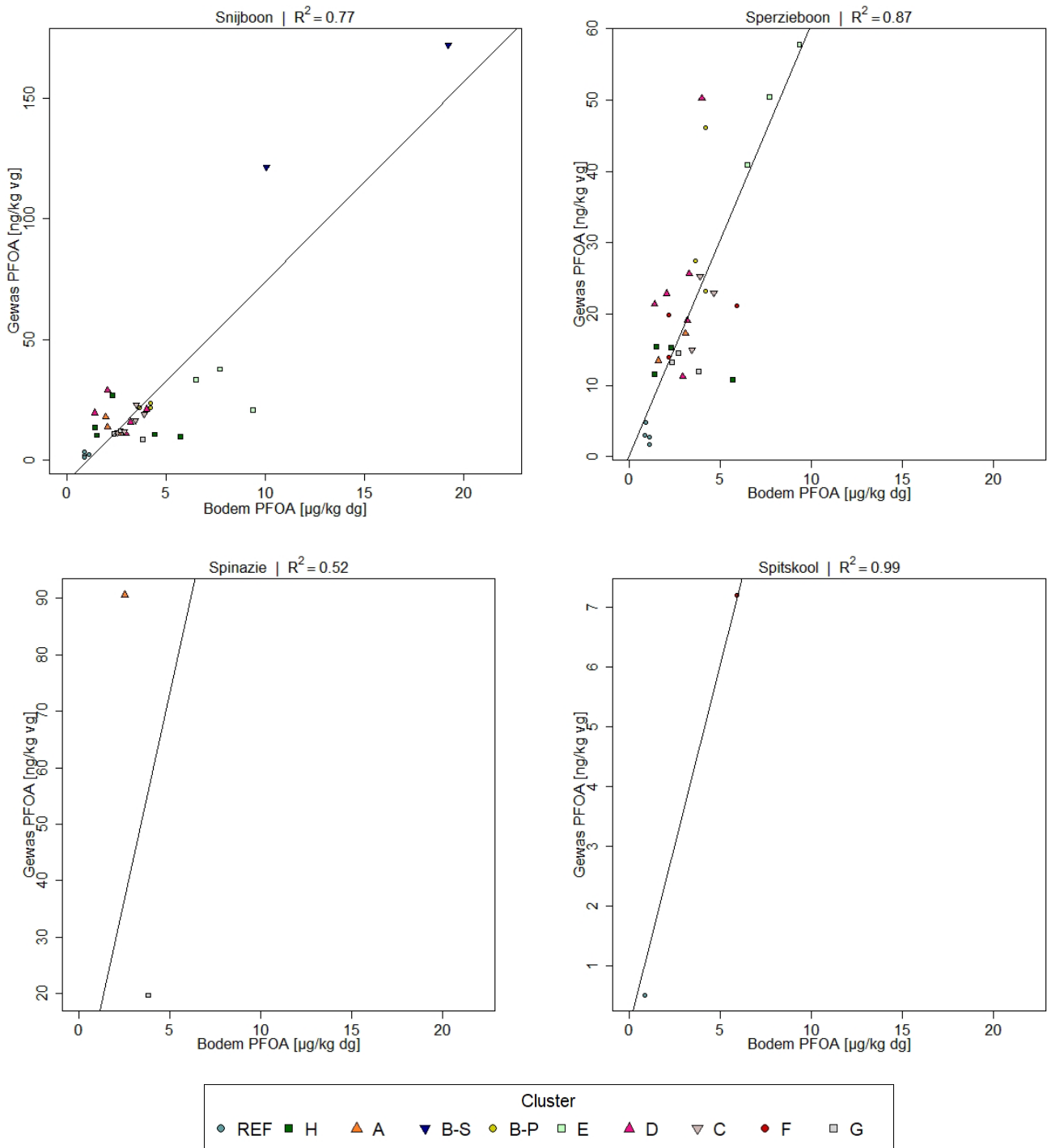
Vervolg Figuur 28. De relatie tussen bodemlaag I PFOA-concentratie en de PFOA-concentratie in het eetbare deel van alle gewassen. De uitkomst van de beoordeling is verwerkt in Tabel 15. Gaat verder op de volgende pagina.



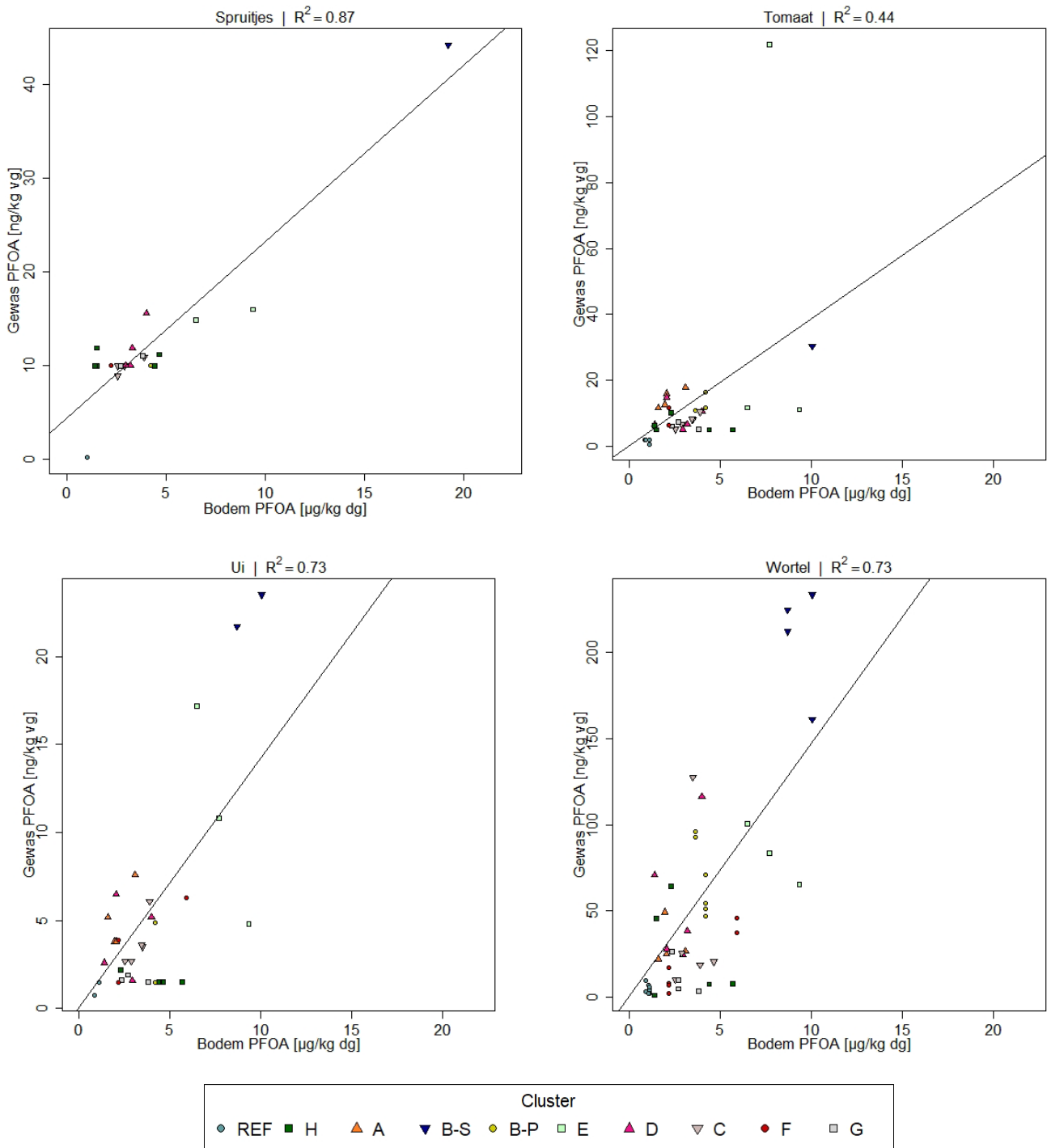
Vervolg Figuur 28. De relatie tussen bodemlaag I PFOA-concentratie en de PFOA-concentratie in het eetbare deel van alle gewassen. De uitkomst van de beoordeling is verwerkt in Tabel 15. Gaat verder op de volgende pagina.



Vervolg Figuur 28. De relatie tussen bodemlaag I PFOA-concentratie en de PFOA-concentratie in het eetbare deel van alle gewassen. De uitkomst van de beoordeling is verwerkt in Tabel 15. Gaat verder op de volgende pagina.



Vervolg Figuur 28. De relatie tussen bodemlaag I PFOA-concentratie en de PFOA-concentratie in het eetbare deel van alle gewassen. De uitkomst van de beoordeling is verwerkt in Tabel 15. Gaat verder op de volgende pagina.



Vervolg Figuur 28. De relatie tussen bodemlaag I PFOA-concentratie en de PFOA-concentratie in het eetbare deel van alle gewassen. De uitkomst van de beoordeling is verwerkt in Tabel 15.

Colofon

PFAS IN GROND EN WATER IN MOESTUINEN
IN DE GEMEENTEN DORDRECHT, PAPENDRECHT, SLIEDRECHT EN MOLENLANDEN

AUTEUR

Elisabeth van Bentum en Tessa Pancras

PROJECTNUMMER

30093127

ONZE REFERENTIE

VFC2TUHHKTHY-2007392473-3574:1.0

DATUM

10 januari 2023

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

H. Slenders
Senior consultant

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende ontwerp- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij helpen onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Wij zijn met 36.000 mensen actief die in ruim zeventig landen meer dan €4,2 miljard aan omzet genereren. Wij helpen UN-Habitat met onze mensen, die kennis en expertise leveren om de moeilijke leefomstandigheden te verbeteren in gebieden die lijden onder de gevolgen van klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 1018
5200 BA 's-Hertogenbosch
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op



[arcadis-nederland](https://www.arcadis-nederland.nl)



[arcadis.nl](https://www.arcadis.nl)



[ArcadisNetherlands](https://www.ArcadisNetherlands.com)