



AFLEIDEN VAN
STREEFWAARDEN VOOR
PERFLUORVERBINDINGEN EN
ENKELE ANDERE 'EMERGING
CONTAMINANTS'

Deel 2: Afleiden streefwaarden voor
perfluorverbindingen
publicatiedatum / 5.03.2021



DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|---|---|
| 1 <i>Titel van publicatie:</i>
Afleiden van streefwaarden voor
perfluorverbindingen en enkele andere
'emerging contaminants' – Deel 2: Afleiden
streefwaarden voor perfluorverbindingen | 2 <i>Verantwoordelijke Uitgever:</i>
OVAM |
| 3 <i>Wettelijk Depot nummer:</i> D/2021/5024/07 | 4 <i>Trefwoorden:</i>
PFAS
Streefwaarden
Bodemverontreiniging |
| 5 <i>Samenvatting:</i>
Dit rapport beschrijft de afleiding van streefwaarden voor perfluorverbindingen in bodem. PFAS-gehalten werden gemeten in bodemstalen genomen in onverdachte gebieden. Dezelfde bodemstalen werden geanalyseerd voor een aantal andere opkomende stoffen of 'emerging contaminants' om een indicatie te krijgen van de aanwezigheid van deze stoffen in niet-verontreinigde of onverdachte bodems. Hieronder vallen o.a. de chemische bestrijdingsmiddelen of pesticiden, waarvan verschillende intussen niet meer mogen worden toegepast, maar die nog steeds aanwezig kunnen zijn in bodem, sediment en grondwater. Het rapport bestaat uit drie delen: (1) analyses, (2) afleiden streefwaarden voor perfluorverbindingen, (3) beleidsadviezen | |
| 6 <i>Aantal bladzijden:</i> 34 | 7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i> 8 T / 10 F |
| 8 <i>Datum publicatie:</i> 2021 | 9 <i>Prijs*:</i> / |
| 10 <i>Begeleidingsgroep en/of auteur:</i>
Guido Vanermen – VITO
Kaat Touchant – VITO
Johan Patyn – VITO
Jef De Wit – VITO
Griet Van Gestel – OVAM
Dirk Dedecker – OVAM
Karen Van Geert – VEB
Karen Van Campenhout – Dep. OMG | 11 <i>Contactpersonen:</i>
Griet Van Gestel
Dirk Dedecker
Johan Ceenaeme |
| 12 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i>
Deel 1: Analyses
Deel 3: Beleidsadviezen 'emerging contaminants' | |

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden.
U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.
De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website:
<http://www.ovam.be>

* Prijswijzigingen voorbehouden.

INHOUD

Lijst van tabellen.....	5
Lijst van figuren	6
Samenvatting	7
1 Inleiding	8
2 Selectie 50 staalnamelocaties	9
2.1 Voornaamste toepassingen PFAS	10
2.1.1 Industrie: galvanisatie	10
2.1.2 Brandblusschuim	10
2.1.3 Textiel	11
2.1.4 Papier en verpakkingsmateriaal	11
2.1.5 Kookgerei met teflon anti-aanbaklaag	11
2.1.6 Cosmetica	11
2.1.7 Huishoudproducten	11
2.1.8 Vervangers	11
2.2 Gekende productielocaties in Vlaanderen	11
2.2.1 3M-locatie te Zwijndrecht	11
2.2.2 DuPont (de Nemoers) te Mechelen	12
2.2.3 Andere locaties gerelateerd aan PFAS	12
2.3 Verificatie afwezigheid van specifieke bronnen van PFAS	12
3 Veldwerk en analyse	17
4 Statistische verwerking	19
4.1 Omgaan met datasets onder de kwantificatielimiet	19
4.2 Statistische verwerking	20
4.2.1 Statistische kerngetallen	20
4.2.2 Verdeling van de data – controle op normaliteit	20
4.2.3 Cartografische verwerking	21
4.2.4 Geostatistiek	24
4.3 Correlatie-analyse tussen bodemkenmerken en PFBA, PFOA en PFOS onderling	26
5 Streefwaarden PFAS Vlaanderen	29
6 Achtergrondwaarden PFAS in Nederland	30
7 Besluit	33
Literatuurlijst	34

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 – PFAS-analysepakket	18
Tabel 2 – Samenvatting analyseresultaten PFAS-verbindingen ($\mu\text{g}/\text{kg ds}$)	19
Tabel 3 – Statistische kengetallen voor PFBA, PFOA en PFOS en de bodemkenmerken ($\mu\text{g}/\text{kg ds}$)	20
Tabel 4 – Staalnamelocaties met concentraties \geq 95ste percentiel	21
Tabel 5 – Resultaten lineaire regressie	26
Tabel 6 – De 90-percentielwaarde als streefwaarde voor PFBA, PFOA en PFOS ($\mu\text{g}/\text{kg ds}$)	29
Tabel 7 – Kengetallen dataset som-PFOS (boven) en som-PFOA (onder) – Eenheid: $\mu\text{g}/\text{kg droge stof}$ (RIVM,2020)	31
Tabel 8 – Streefwaarden van PFOS, PFOA en PFBA en bijhorende kwantificatielimieten	33

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1 – Spreiding 50 staalnamelocaties over Vlaanderen	9
Figuur 2 – Weergave staalnamelocaties VITO-studie zware metalen en 2 PFAS-productielocaties	13
Figuur 3 – Weergave staalnamelocaties VITO-studie zware metalen en VMM-meetpunten	15
Figuur 4 - Weergave PFAS staalnamelocaties	16
Figuur 5 – Statistische verdeling PFBA, PFOA en PFOS met χ^2 -test	22
Figuur 6 – Concentraties ($\mu\text{g}/\text{kg ds}$) ter hoogte van de staalnamelocaties voor PFBA, PFOA en PFOS	23
Figuur 7 – Componenten van een ideaal variogram	24
Figuur 8 – Variogrammen PFBA, PFOA en PFOS	25
Figuur 9 – Correlogram PFBA, PFOA en PFOS versus TOC (Totaal Organisch Koolstofgehalte)	28
Figuur 10 – Correlogrammen met onderling verband tussen PFBA-PFOA, PFOA-PFOS en PFBA-PFOS	28

SAMENVATTING

Streefwaarden van perfluorverbindingen (PFAS) werden bepaald op 50 onverdachte stalen uit de toplaag (0-20 cm) van Vlaamse bodems. Alle bodemstalen werden op een 40-tal individuele PFAS geanalyseerd conform de methoden besproken in het deelrapport 'Afleiden van streefwaarden voor perfluorverbindingen en andere emerging contaminants – Deel 1: Analyses'. Daarnaast werden tevens de bodemkenmerken bepaald, zijnde pH, het totaal Fe-gehalte, totaal Al-gehalte, percentage klei (< 2 µm) en het percentage organische stof.

Voor de meeste PFAS (met uitzondering van PFBA, PFOA en PFOS) ligt het merendeel van de analyses onder of rond de kwantificatielimiet (bepalingsgrens). Dit wijst erop dat de werkelijke achtergrondwaarden lager liggen. Daarom worden enkel voor PFBA, PFOA en PFOS streefwaarden (achtergrondwaarden) voorgesteld. Voor VLAREBO-genormeerde parameters zijn de streefwaarden in principe gebaseerd op de 90-percentielwaarden. In de datasets zaten geen uitbijters. De streefwaarden zijn gegeven in onderstaande tabel.

	Streefwaarden (µg/kg ds)	Kwantificatielimiet (µg/kg ds)
PFOS	1,50	0,2
PFOA	0,96	0,2
PFBA	1,25	0,2

Streefwaarden PFOS, PFOA en PFBA en bijhorende kwantificatielimieten

Voor PFBA, PFOA en PFOS is er alleen een significante ($p < 0.01$) relatie met het gehalte aan organisch koolstof (TOC). De pH, het Fe-gehalte, het Al-gehalte en het kleigehalte hebben geen significant effect.

Omwille van de beperkte dataset en de daaruit voortvloeiende lage statistische betrouwbaarheid en nauwkeurigheid, werd in overleg met OVAM en de stuurgroep beslist om geen correctie of normalisatie met TOC in te voeren.

1 INLEIDING

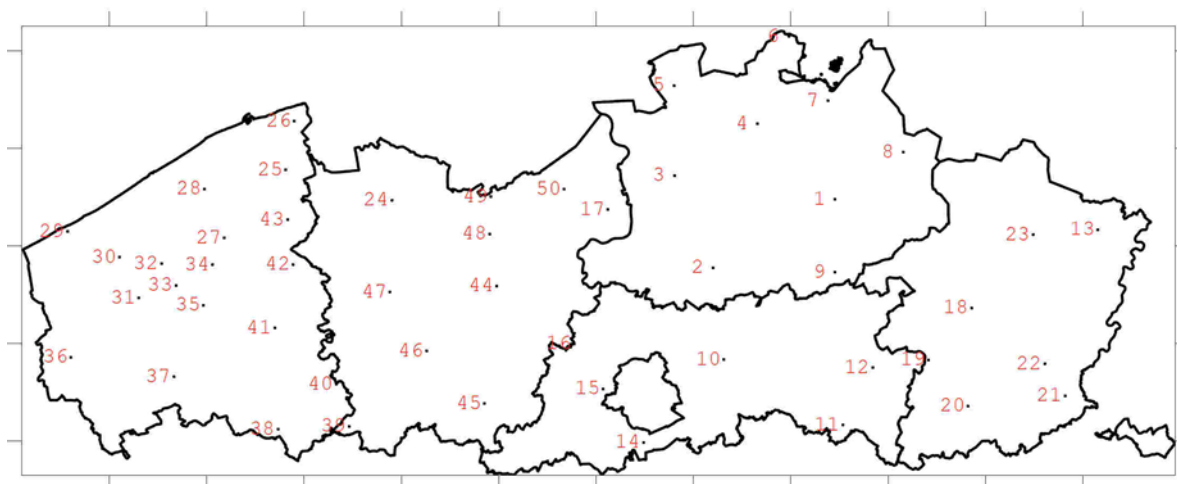
Deze opdracht heeft tot doel de streefwaarden voor PFAS te bepalen, inclusief de relatie met de bodemkenmerken en dit op basis van een gerichte monsternamen- en analysecampagne gericht op staalname van de bovengrond (toplaag 0-20 cm) in Vlaanderen:

- selectie van 50 onverdachte staalnamelocaties voor PFAS verspreid over Vlaanderen.
- analyse van een 40-tal PFAS-componenten waarvan PFOA en PFOS de gekendste zijn (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUDA, PFDoA, PFTTrDA, PFTeDA, PFHxDA, PFODA, PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFDoS, 4:2 FTS, 6:2 FTS, 8:2 FTS, 10:2 FTS, FOSA, MeFOSA, EtFOSA, FOSAA, MeFOSAA, EtFOSAA, 6:2 PAP, 8:2 PAP, 6:2 diPAP, 6:2/8:2 diPAP, 8:2 diPAP, HFPO-DA, ADONA en PFECHS).
- analyse van de bodemkenmerken pH, Fe-gehalte, Al-gehalte, kleigehalte en organische stofgehalte.

2 SELECTIE 50 STAALNAMELOCATIES

PFAS-verbindingen (Poly- en perFluor Alkyl Stoffen) zijn een groep van chemische stoffen die van nature niet in het milieu voorkomen. Door de chemische inertie en andere interessante eigenschappen (hydro- en lipofobe moleculen), kennen zij een brede industriële toepassing. Door hun brede toepassing, maar ook door emissies bij fabricage en incidenten zijn deze stoffen in het milieu terechtgekomen, en worden ze teruggevonden in bodem, sediment en grondwater. PFAS-verbindingen zijn goed oplosbaar en adsorberen weinig aan bodemdeeltjes. OFiguur 1: Spreiding 50 staalnamelocaties over Vlaanderenwille van hun toxiciteit en hun persistentie vormen ze een risico voor de menselijke gezondheid en het milieu.

Over gans Vlaanderen zijn op 50 plaatsen stalen genomen om de PFAS-verbindingen te bepalen. De staalname is gespreid over de gehele oppervlakte, met 1 staalnamelocatie per 275 km². De afstand tussen 2 staalnamelocaties is derhalve 20 km. Gegeven dat de oppervlakte van een (fusie)gemeente ongeveer 45 km² is, betekent dat één staalnamelocatie per 6 gemeenten. De spreiding van de 50 staalnamelocaties is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Spreiding 50 staalnamelocaties over Vlaanderen

Op iedere staalnamelocatie werd in de toplaag (0 – 20 cm) een bodemstaal genomen.

De 50 staalnamelocaties voor de bepaling van de streefwaarden van PFAS in bodem werden geselecteerd op basis van zo weinig mogelijk beïnvloeding door menselijke bronnen van verontreiniging. Voor de selectie van deze staalnamelocaties werd vertrokken van de 45 plaatsen die geselecteerd werden voor het bepalen van achtergrondwaarden van zware metalen (Seuntjens et al.; 2006).

De toenmalige 45 staalnamelocaties werden geselecteerd op basis van :

- afwezigheid van menselijke beïnvloeding (d.w.z. niet in de buurt van metaalverwerkende nijverheid, non-ferro-industrie, niet op landbouwgronden die mogelijk aangerijkt zijn met zware metalen, niet in de buurt van drukke verkeersaders, ...);
- variatie in bodemkenmerken (representatief voor de Vlaamse bodems¹).

Voor de bepaling van streefwaarden van PFAS in de toplaag (0-20 cm) van de Vlaamse bodem werd een extra criterium toegevoegd, namelijk de afwezigheid van specifieke bronnen van PFAS. De toepassing van PFAS-verbindingen in industriële of huishoudelijke producten is zeer breed. Ze zijn toegepast als vlekkenbescherming in tapijten, voor het waterafstotend maken van textiel, voor metaalbewerkingsprocessen, voor de productie van anti-aanbak materiaal, of als hulpstof in bepaalde soorten brandblusschuim. Om de bronnen te achterhalen werd een beroep gedaan op volgende bestaande studies:

- Onderzoek naar aanwezigheid van PFAS in grondwater, bodem en waterbodem ter hoogte van risicoactiviteiten in Vlaanderen' (fase 1; 2018 OVAM).
- Onderzoek naar aanwezigheid van PFAS in grondwater, bodem en waterbodem ter hoogte van risicoactiviteiten in Vlaanderen' (fase 2; 2019 OVAM).
- Aanwezigheid PFAS in Nederland – deelrapport C Diffuse belasting van PFOS en PFOA in de bovengrond' (2018; Expertisecentrum PFAS).
- Aanpak diffuse bodemverontreiniging - Inventarisatie van gegevensbronnen en voorstel van aanpak (lopende OVAM-studie).
- Colles A. et al., 2020. Perfluorinated substances in the Flemish population (Belgium): Levels and determinants of variability in exposure (Colles A. et al.,2020.)

2.1 VOORNAAMSTE TOEPASSINGEN PFAS

2.1.1 Industrie: galvanisatie

Bij galvanisatie wordt PFOS vooral gebruikt bij het verchromen. Bij dit proces kan schadelijk chroom(VI) vrijkomen. Om de werknemers te beschermen, wordt PFOS toegevoegd waardoor er minder chroom(VI) vrijkomt. Alternatieven voor PFOS werken minder goed.

2.1.2 Brandblusschuim

Perfluorverbindingen worden in brandblusmiddelen gebruikt omdat ze zeer snel een afsluitende filmlaag kunnen maken en omdat ze zelfs bij extreem hoge temperaturen stabiel blijven.

¹ Hierbij werd gebruik gemaakt van de bodemdatabank Aardewerk, waarin voor enkele duizenden profielen gegevens ter beschikking zijn m.b.t. opbouw, samenstelling en ligging. Bijkomend werden gegevens van de OVAM bodemdatabank gebruikt, en gegevens van de Grondbank

2.1.3 Textiel

Perfluorverbindingen wordt gebruikt om o.a. kleding, tafelkleden, tapijten, tentzeilen, paraplu's en meubels (zoals sofa's) water- en vuilafstotend te maken, Teflon wordt gebruikt in (buitensport)kleding en tenten om waterafstotend en ademend materiaal te verkrijgen, zoals Gore-Tex en daarnaast wordt het tevens toegepast in sprays en producten voor consumenten om kleding en schoenen waterafstotend te maken.

2.1.4 Papier en verpakkingsmateriaal

Perfluorverbindingen worden gebruikt om papier en verpakkingen van voedsel water-, vet- en vuilafstotend te maken, zoals bijvoorbeeld pizzadozen, fotografisch papier en post-its.

2.1.5 Kookgerei met teflon anti-aanbaklaag

Teflon wordt toegepast als antiaanbaklaag in pannen. Door verhitting en beschadiging van kookgerei met een Teflon-anti-aanbaklaag kunnen perfluorverbindingen vrijkomen en terecht komen in voeding of binnenlucht.

2.1.6 Cosmetica

Perfluorverbindingen worden gebruikt om crèmes zoals zonnebrandcrème en bodylotions waterafstotend te maken en als antiklontermiddel, oplosmiddel, bewaarmiddel, viscositeit-regelaar.

2.1.7 Huishoudproducten

Perfluorverbindingen worden gebruikt in o.a. schoonmaakmiddelen, smeermiddelen, verf, lakken, bestrijdingsmiddelen, wax voor vloeren, auto's en snowboard.

2.1.8 Vervangers

Na het uitfasen van PFOS en PFOA zijn door de producenten alternatieven ontwikkeld, de meest bekende zijn GenX (DuPont/Chemours), Adona (3M) en EEA (vnl. in China). Dit zijn veelal verbindingen die ook volledig of gedeeltelijk gefluoreerd zijn, maar net een andere structuur hebben. De gefluoreerde alternatieven staan momenteel tevens in de belangstelling. De verbindingen zijn minder bioaccumulatief, maar zeker wel persistent vanwege de volledig gefluoreerde keten.

2.2 GEKENDE PRODUCTIELOCATIES IN VLAANDEREN

2.2.1 3M-locatie te Zwijndrecht

De PFAS-productie vóór 2001 werd voornamelijk gedomineerd door het elektrochemische fluoreringsproces van 3M, waarbij als belangrijkste product 30-45% perfluorocetaan sulfonfluoride (POSF) werd gevormd, met daarnaast een verzameling van andere PFCA's en PFSA's. Dit proces is ook op de 3M locatie in Zwijndrecht toegepast. Sinds 2001, is de productie van PFAS door elektrochemische fluorering sterk verminderd vanwege zorgen rondom de milieu-effecten van PFOS en werd telomerisatie de voornaamste manier van PFAS-productie. Hierbij worden geen PFOS of precursors van PFOS gevormd (OVAM, 2018).

2.2.2 DuPont (de Nemoers) te Mechelen

Midden 2015 splitste DuPont de afdeling "Performance Chemicals" (hoogwaardige chemicaliën) af in een afzonderlijk bedrijf, The Chemours Company. Dit beursgenoteerde bedrijf nam drie productgroepen van DuPont over: Titanium Technologies (titaandioxide), Fluoroproducts (fluorhoudende chemicaliën zoals synthetische koudemiddelen en teflon) en Chemical Solutions (oplossingen van onder meer cyanide en zwavelzuur). In België gingen twee bedrijven van DuPont over naar Chemours: te Mechelen (fluorproducten) en Kallo (titaandioxide: geen productie, wel sales & support). In Nederland ging de fluoropolymerenfabriek van DuPont in Dordrecht over naar Chemours.

2.2.3 Andere locaties gerelateerd aan PFAS

De PFAS gebaseerde brandblusschuimen voor het blussen van brandbare vloeistoffen (vloeibare koolwaterstoffen) kunnen gebruikt geweest bij incidenten op vliegvelden, militaire oefenplaatsen/vliegvelden, raffinaderijen en bij bulkopslag van chemicaliën. Ook op oefenterreinen van de brandweer is de kans op verhoogde concentraties groot. Bij elke kazerne is een oefenkoer voorzien en ook op de elf opleidingscentra (o.a. in Emblem, Asse, ...) wordt regelmatig geoefend.

Ter hoogte van stortplaatsen is de kans op de aanwezigheid van PFAS ook groter omwille van de PFAS-houdende gedumpte materialen.

Ook ter hoogte van waterzuiveringsinstallaties (waar afvalstromen samenkomen) is de kans groot op het voorkomen van PFAS en nabij afvalverbrandingsovens.

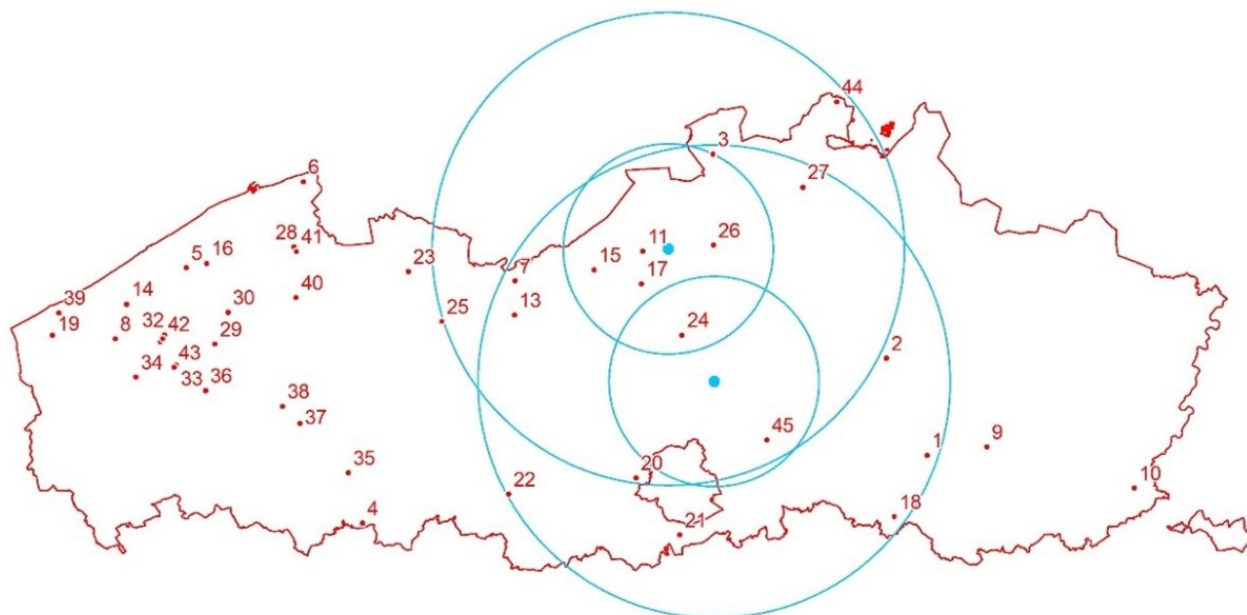
2.3 VERIFICATIE AFWEZIGHEID VAN SPECIFIEKE BRONNEN VAN PFAS

Aan de hand van een recente GIS-overlay met de digitale bodemgebruikskaart en de bodemkaart werd nagegaan of de 45 toenmalige gekozen staalnamelocaties voor het afleiden van streefwaarden voor de zware metalen nog voldoende representatief zijn. De ligging van deze 45 staalnamelocaties wordt weergegeven op figuur 2.

Op deze figuur worden tevens de gekende PFAS productiesites weergegeven (inclusief een cirkel met straal van 40 km en 20 km). In Nederland werd bij het afleiden van de achtergrondwaarden voor PFAS in landbodem beslist om de waarnemingen binnen 50 km van Chemours als potentieel beïnvloed aan te merken en werden geen reservelocaties geselecteerd binnen 50 km van Chemours (RIVM, 2020). Aangezien er weinig gekend is over de afstand tot waar er van de productiesites (3M en Dupont) impact verwacht kan worden, wordt voorgesteld om op basis van dit criterium geen staalnamelocaties te elimineren.

Op basis van beschikbare luchtfoto's (www.Geopunt.be) en informatie m.b.t. relevante risicoactiviteiten zoals stortplaatsen, vliegvelden en militaire domeinen en de nabijheid van drukke verkeerswegen, werd in overleg met de stuurgroep beslist om 12 voormalige locaties (5, 11, 12, 14, 19, 24, 25, 32, 37, 41, 42 en 43) te vervangen door nieuwe staalnamelocaties en dit om volgende redenen:

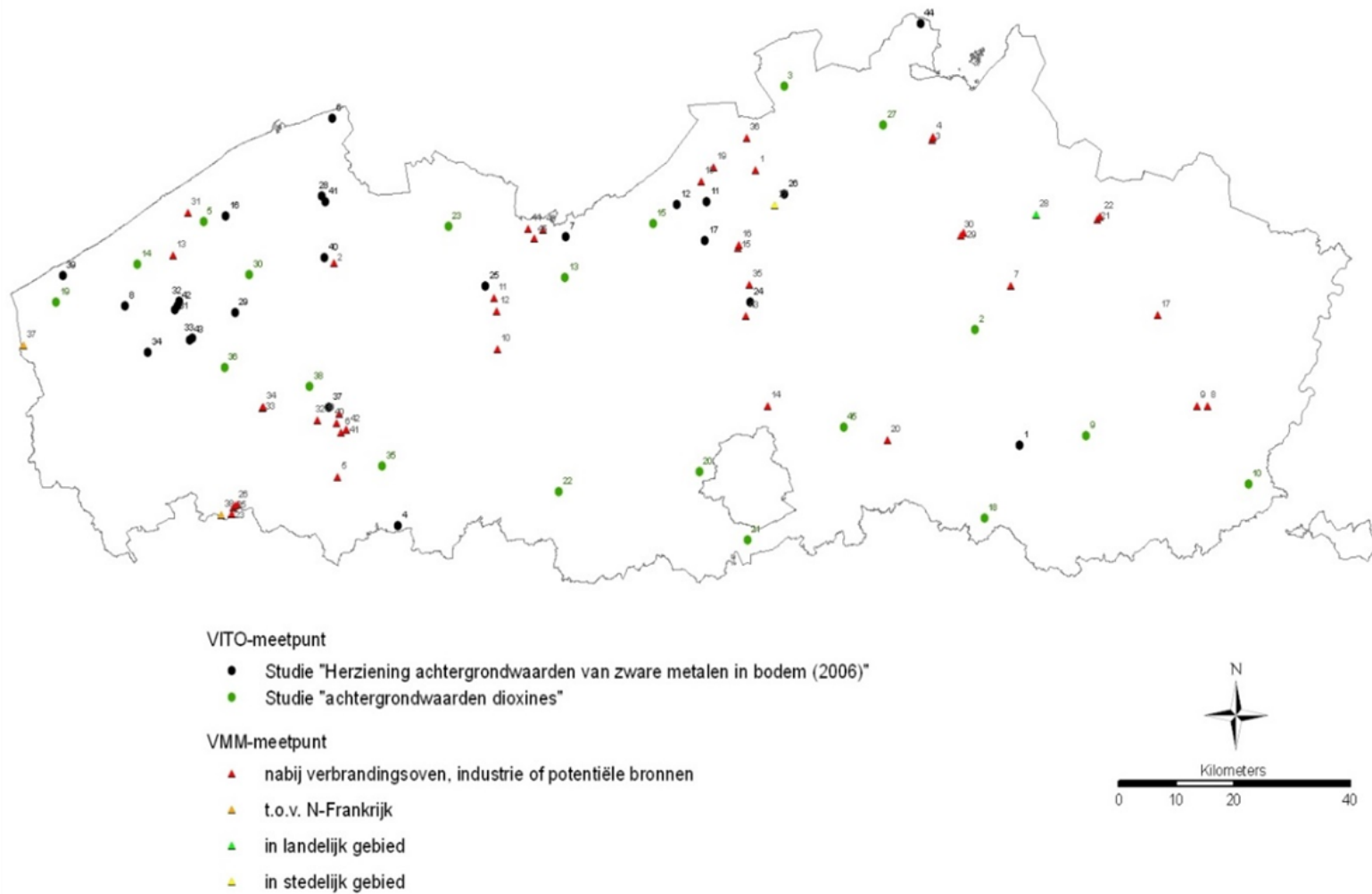
- Locatie 5 omwille van nabijheid industrieel stort en A10.
- Locaties 11 en 12 omwille van het feit dat 3 van de 45 locaties in Beveren gelegen zijn. Aangezien Beveren bovendien binnen de 20 km contour van 3M te Zwijndrecht gelegen is, werd beslist om enkel locatie 17 te weerhouden.
- Locatie 14 omwille van nabijheid industriële stort en drukke weg.
- Locatie 19 omwille van nabijheid vliegveld en industrieel stort.
- Locatie 24 omwille van nabijheid industriële stort en gelegen binnen zowel 20 km contour van 3M te Zwijndrecht als DuPont te Mechelen.
- Locatie 25 omwille van nabijheid R4 en Gent-Zeehaven.
- Locaties 32 en 42 omwille van het feit dat 3 van de 45 locaties in Koekelare gelegen zijn.



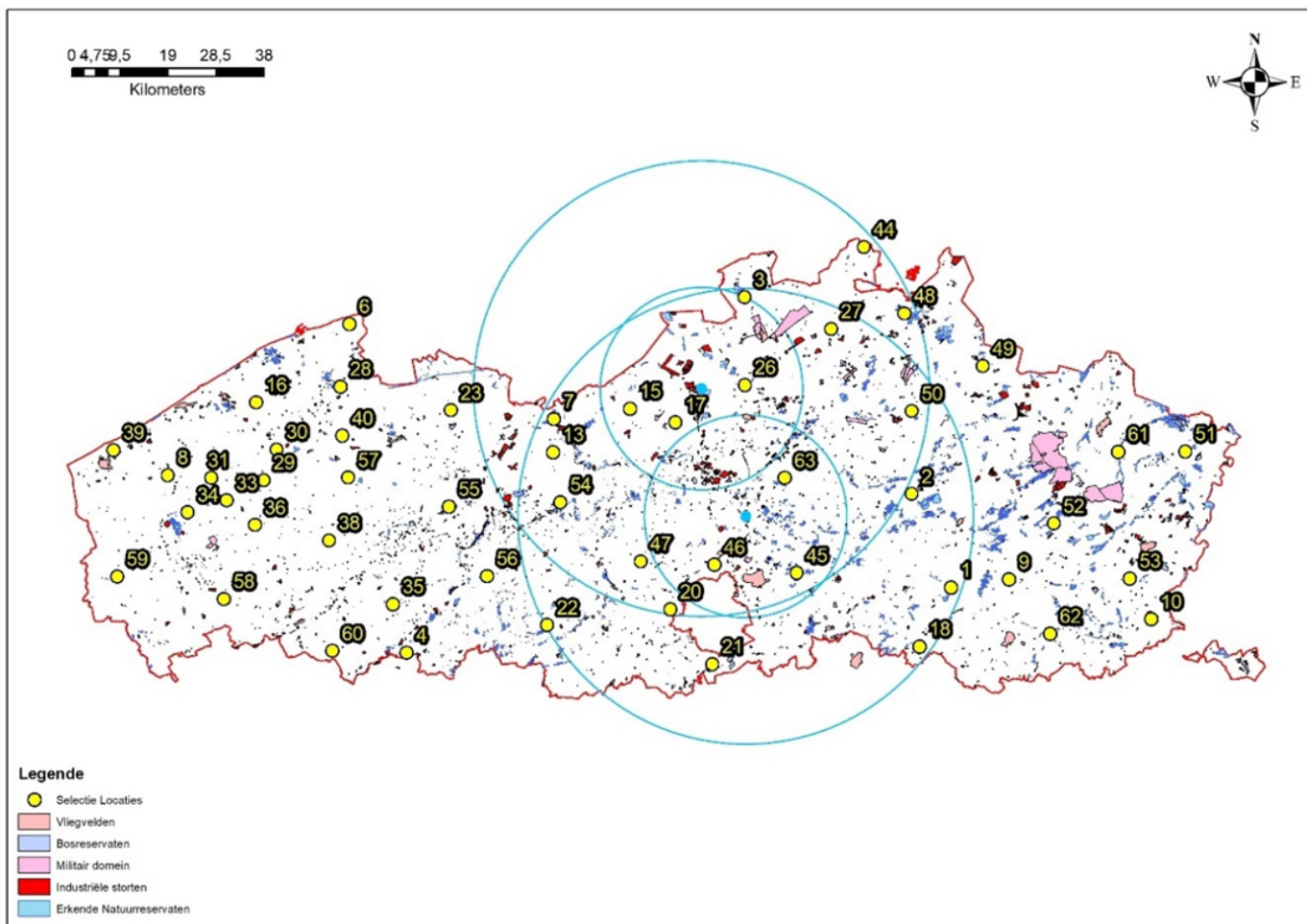
Figuur 2: Weergave staalnamelocaties VITO-studie zware metalen en 2 PFAS-productielocaties

Er werd tevens beslist om nog 5 extra staalnamelocaties te voorzien, zodat in totaliteit 50 staalnamelocaties werden geselecteerd en bemonsterd voor analyse van PFAS (Figuur 1).

In het kader van het bepalen van achtergrondwaarden van zware metalen zijn er in bepaalde regio's weinig staalnamelocaties. De kaart die gehanteerd werd voor de selectie van meetpunten voor de dioxinestudie (Figuur 3) geeft aan dat op die locaties vaak VMM-staalnamelocaties aanwezig zijn, waarbij de meeste VMM-staalnamelocaties gerelateerd zijn aan verbrandingsovens en industrie. Aangezien het hier over andere parameters gaat – die in deze regio's niet verwacht worden – werd in overleg met de stuurgroep beslist om in deze regio's staalnamelocaties te voorzien. Bij de selectie van de 17 nieuwe staalnamelocaties werd eveneens rekening gehouden met de huidige bodem(gebruiks)kaart waarbij voornamelijk geselecteerd werd op de nabijheid van een natuurgebied en het vermijden van overstromingsgevoelige gebieden. De nieuwe staalnamelocaties hebben een nummering van 47 t.e.m. 63 (Figuur 4).



Figuur 3: Weergave staalnamelocaties VITO-studie zware metalen en VMM-meetpunten



Figuur 4: Weergave PFAS staalnamelocaties

3 VELDWERK EN ANALYSE

Nadat de selectie van de 50 staalnamelocaties definitief werd gemaakt, zijn de veldwerkzaamheden uitgevoerd in de periode van 16 tot en met 27 maart 2020. De bodemstalen werden steeds op dezelfde uniforme wijze genomen door onze veldmedewerker conform de CMA-procedure CMA/1/A.1.

Bijzondere aandacht is besteed aan het voorkomen van contaminatie van staalnamemateriaal. Omdat PFAS-verbindingen zeer veel toepassingen hebben en op zeer lage concentraties dienen bepaald te worden, is de kans op contaminatie bij de staalname reëel. Dit dient ten alle prijze vermeden te worden. Het gebruik van monstermateriaal (handschoenen, boormateriaal, recipiënten) met teflon- en andere gefluoreerde bestanddelen dient absoluut vermeden te worden. Andere mogelijke bronnen zijn regenkleding, nieuwe kleding, post-it notes en waterbestendig papier, fast-food verpakkingen, cosmetica (crèmes), ... Er wordt bemonsterd in polypropyleen recipiënten omdat PFAS-verbindingen aan glas adsorberen. Van het recipiënt wordt vooraf nagegaan of deze vrij is van PFAS. De bodemstalen worden diepgevroren bewaard in afwachting van analyse.

Het veldwerk per staalnamelocatie bestaat uit:

- het nemen van een mengstaal van 3 bodemstalen van de bovenste 20 cm over 1m² in niet antropogeen gemanipuleerde bodem;
- het noteren van adresgegevens, X,Y-coördinaten en het nemen van een foto;
- indien er recent wijzigingen hebben plaatsgevonden (ophoging, wijziging in gebruik, ...) wordt dit genoteerd en in de nabije omgeving een andere representatieve locatie geselecteerd.

Voor elk staalnamelocatie werd bovenstaande informatie door de veldwerker genoteerd in het veldwerkformulier en werd een foto van het staalnamelocatie genomen.

De concentraties van een 40-tal PFAS-verbindingen (**Error! Reference source not found.**) werden bepaald op alle 50 bodemstalen. Naast de klassieke parameters als pH, klei (fractie kleiner dan 2 µm) en organisch stof (TOC), werden ook de totaal-concentraties Fe en Al in het ontsluitingsmiddel gemeten. Voor de analysemethoden van de PFAS-verbindingen en de analyseresultaten wordt verwezen naar het deelrapport 'Afleiden van streefwaarden voor perfluorverbindingen en andere emerging contaminants – Deel 1: Analyses'. De kleifraction werd bepaald conform CMA/2/II/A.6 Kleigehalte (pipetmethode van Robinson-Köhn) en het organisch stof conform CMA/2/II/A.7 Totaal organisch koolstofgehalte (TOC).

PFBA	PFBS	MeFOSA
PFPeA	PFPeS	EtFOSA
PFHxA	PFHxS	FOSAA
PFHpA	PFHpS	MeFOSAA
PFOA	PFOS	EtFOSAA
PFNA	PFNS	6:2 PAP
PFDA	PFDS	8:2 PAP
PFUdA	PFDoS	6:2 diPAP
PFDoA	4:2 FTS	6:2/8:2 diPAP
PFTTrDA	6:2 FTS	8:2 diPAP
PFTeDA	8:2 FTS	HFPO-DA
PFHxDA	10:2 FTS	ADONA
PFODA	FOSA	PFECHS

Tabel 1: PFAS-analysepakket

4 STATISTISCHE VERWERKING

4.1 OMGAAN MET DATASETS ONDER DE KWANTIFICATIELIMIET

De bepalingsgrens of kwantificatielimiet (KL) is voor alle PFAS '< 0,2 µg/kg ds', terwijl de detectielimiet '< 0,1 µg/kg ds' is. De reden voor het hanteren van de kwantificatielimiet is dat PFAS nog gedetecteerd kunnen worden bij een concentratie kleiner dan 0,2 µg/kg ds, maar dat de meetwaarde dan niet meer betrouwbaar is.

Enkel voor de verbindingen PFBA, PFOA en PFOS zijn er voldoende resultaten boven de kwantificatielimiet (0,2 µg/kg ds) om streefwaarden af te leiden (**Error! Reference source not found.**). De stoffen PFOS en PFOA werden op respectievelijk meer dan 94% en 72% van alle staalnamelocaties in de toplaag van de Vlaamse bodems boven de kwantificatielimiet aangetroffen (% observaties in **Error! Reference source not found.**). Perfluorbutaanzuur (PFBA) wordt in alle staalnamelocaties boven de kwantificatielimiet aangetroffen (100%).

Voor de andere verbindingen worden soms waarden boven de kwantificatielimiet aangetroffen (6:2 FTS: in 27 van de 50 stalen), sporadisch (in minder dan 10 van de 50 stalen) of worden geen waarden boven de kwantificatielimiet aangetroffen (**Error! Reference source not found.**). Voor deze individuele PFAS-componenten – waarbij het merendeel van de data onder de kwantificatielimiet voorkomen – kunnen geen streefwaarden voorgesteld worden.

Parameter	# > KL	Min.	Max.	Gem.	Geom. gem.	Parameter	# > KL	Parameter	# > KL
PFBA	50	0.35	2.60	0.762	0.688	PFDoA	0	10:2 FTS	0
PFOS	47	0.21	2.10	0.775	0.641	PFTTrDA	0	FOSA	0
PFOA	36	0.19	2.20	0.558	0.469	PFTeDA	0	MeFOSA	0
6:2 FTS	27	0.21	1.00	0.407	0.377	PFHxDA	0	EtFOSA	0
PFPeA	11	0.20	0.36	0.265	0.260	PFODA	0	FOSAA	0
PFHpA	5	0.21	0.27	0.238	0.237	PFPeS	0	MeFOSAA	0
6:2 PAP	5	0.31	1.60	0.942	0.833	PFHxS	0	EtFOSAA	0
PFHxA	2	0.26	0.39	0.325	0.318	PFHpS	0	8:2 PAP	0
PFBS	2	0.20	0.30	0.250	0.245	PFNS	0	6:2 diPAP	0
PFNA	1	0.24	0.24	0.240	0.240	PFDS	0	6:2/8:2diPAP	0
PFDA	1	0.21	0.21	0.210	0.210	PFDoS	0	HFPO-DA	0
8:2 diPAP	1	0.70	0.70	0.700	0.700	4:2 FTS	0	ADONA	0
PFUdA	0	0	0			8:2 FTS	0	PFECHS	0

Tabel 2: Samenvatting analyseresultaten PFAS-verbindingen (µg/kg ds)

4.2 STATISTISCHE VERWERKING

Voor de statistische verwerking is het pakket *Statistica 12* gebruikt. Enkel de dataset van PFOS, PFOA en PFBA laat een statistische verwerking toe met inbegrip van bepaling van de statistische kengetallen en de verdeling van de data, cartografische weergave en trendbepaling.

4.2.1 Statistische kerngetallen

De statistische beschrijving (kengetallen) van de dataset voor PFBA, PFOA en PFOS wordt gegeven in Tabel 3. Als beschrijvende kenmerken werden de volgende parameters opgenomen: aantal analyses boven de kwatificatielimit (N en uitgedrukt als percentage op 50 staalnamelocaties), gemiddelde, geometrisch gemiddelde, mediaan, minimum, maximum, 90- en 95-percentiel en standaardafwijking. Ook de kengetallen voor de bodemkenmerken zijn meegenomen in deze tabel.

Beschrijvende statistiek voor PFBA, PFOA en PFOS in de toplaag van Vlaamse bodems											
	N	% obs.	Gem.	Geom. gem.	Mediaan	Min.	Max.	Per* 90	Per* 95	Std. Dev.	Verdeling°
PFBA	50	100	0.762	0.688	0.620	0.350	2.600	1.250	1.500	0.409	LN
PFOA	36	72	0.558	0.469	0.420	0.190	2.200	0.960	1.400	0.402	LN
PFOS	47	94	0.775	0.641	0.570	0.210	2.100	1.500	1.700	0.488	LN
pH	50	100	5.546	5.362	5.730	2.780	7.760	7.375	7.510	1.384	N
klei	46	92	4.628	4.402	4.300	2.800	10.500	6.300	7.100	1.632	N
TOC	50	100	2.556	2.290	2.180	0.916	6.894	4.308	4.829	1.272	LN
Al	50	100	22885.4	19979.5	21650.0	3690.0	50400.0	39400.0	43100.0	11073.5	N
Fe	50	100	12257.2	10047.3	10750.0	1220.0	29900.0	21700.0	22200.0	6790.4	N

N: # staalnamelocaties > KL

*: Per staat voor Percentielwaarden

°: LN: lognormaal en N: Normaal

Tabel 3: Statistische kengetallen voor PFBA, PFOA en PFOS en de bodemkenmerken ($\mu\text{g}/\text{kg ds}$)

4.2.2 Verdeling van de data – controle op normaliteit

Voor zowel PFBA, PFOA als PFOS is de statistische verdeling voorgesteld op **Error! Reference source not found.** Zoals verwacht geeft de χ^2 -test aan dat de gemeten PFAS-concentraties voor PFBA, PFOA en PFOS lognormaal verdeeld zijn. Omwille van de log-normale verdeling wordt in wat volgt het geometrisch gemiddelde gebruikt:

$$x_g = \sqrt[n]{\prod x_i}$$

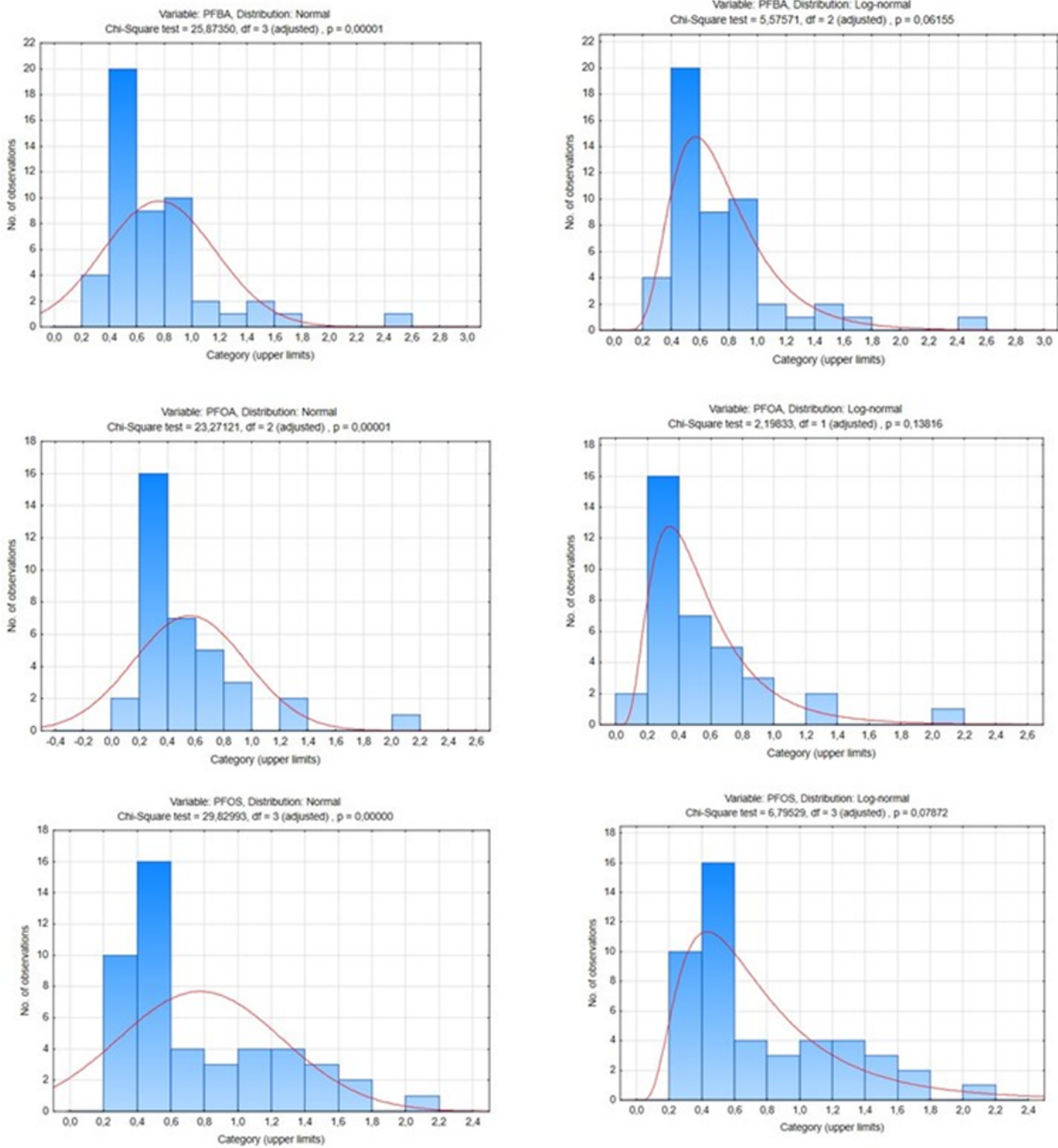
4.2.3 Cartografische verwerking

De concentraties die op de staalnamelocaties zijn gemeten voor PFBA, PFOA en PFOS, worden voorgesteld op **Error! Reference source not found.** Omdat de staalnamelocaties ver uiteen liggen, werd de voorkeur gegeven aan een voorstelling met discrete punten. Een voorstelling met isolijnen veronderstelt immers een ruimtelijk continuüm dat wellicht niet bestaat.

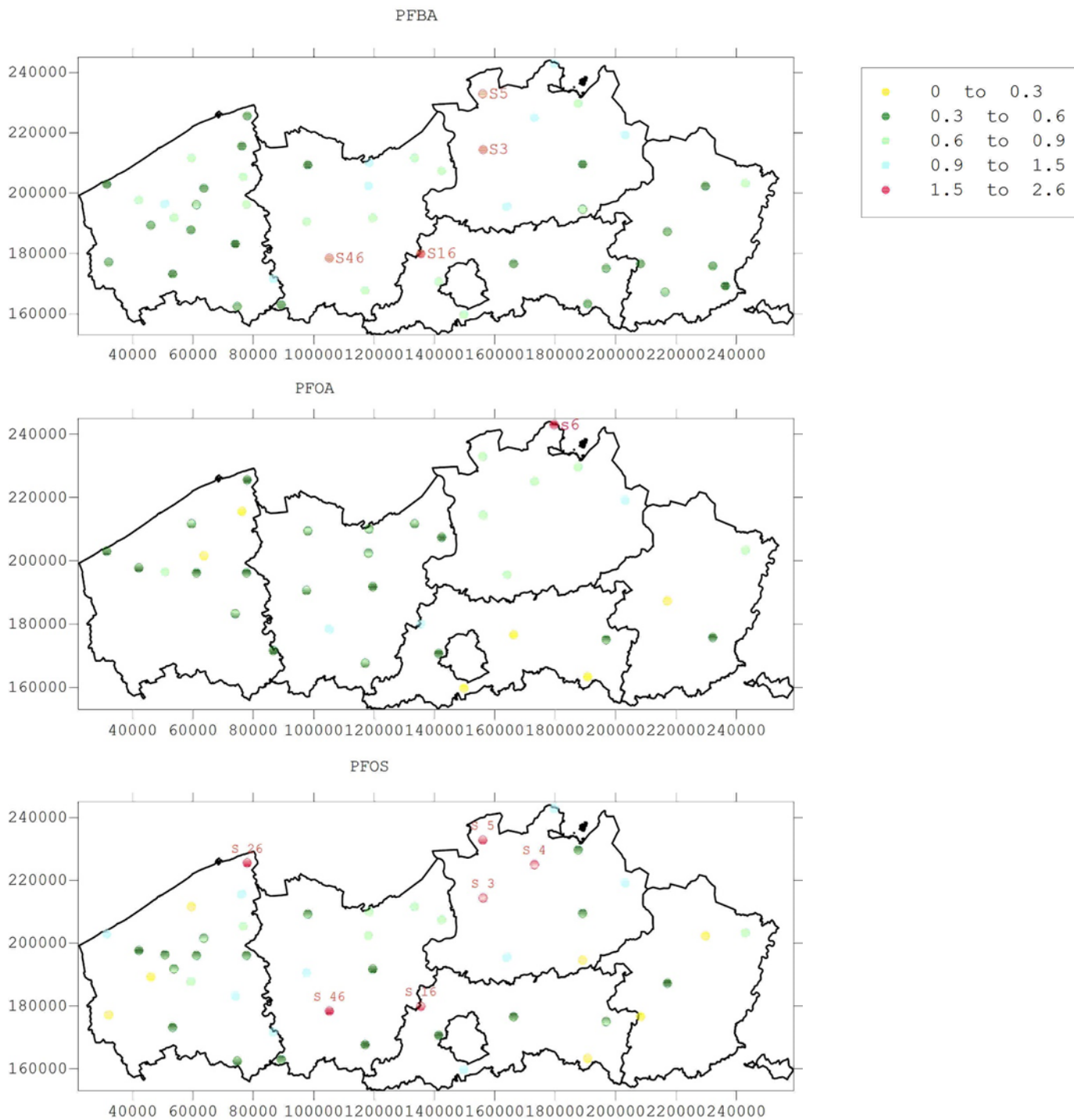
De staalnamelocaties die voor respectievelijk PFBA, PFOA en PFOS hoger of gelijk aan het 95^{ste} percentiel scoren, zijn opgelijst in **Error! Reference source not found.** (i.e. 5% van de data boven de 95^{ste} percentielwaarde). Er wordt opgemerkt dat de plaatsen S5 en S16 opvallend hoog scoren voor PFBA en PFOS. Er werden mogelijke verklaringen toegevoegd, maar deze kunnen niet geverifieerd worden.

Locatie	Gemeente	PFAS	Verklaring ?
S 3	Merksem/Schoten	PFBA en PFOS	Binnen 20 km contour 20 rond Zwijndrecht (3M)?
S 5	Kalmthout	PFBA en PFOS	Binnen 40 km contour rond Zwijndrecht (3M)? Impact vanuit NL?
S 16	Meldert/Asse (Aalst)	PFBA en PFOS	Aanwezigheid van een leerlooierij in de omgeving?
S 46	Gavere	PFBA en PFOS	Voormalige textielindustrie? Meubelindustrie?
S 4	Brecht	PFOS	Binnen 40 km contour rond Zwijndrecht (3M)?
S 26	Knokke Heist	PFOS	Impact zeewater?

Tabel 4: Staalnamelocaties met concentraties \geq 95ste percentiel



Figuur 5: Statistische verdeling PFBA, PFOA en PFOS met χ^2 -test



Figuur 6: Concentraties (µg/kg ds) ter hoogte van de staalnamelocaties voor PFBA, PFOA en PFOS

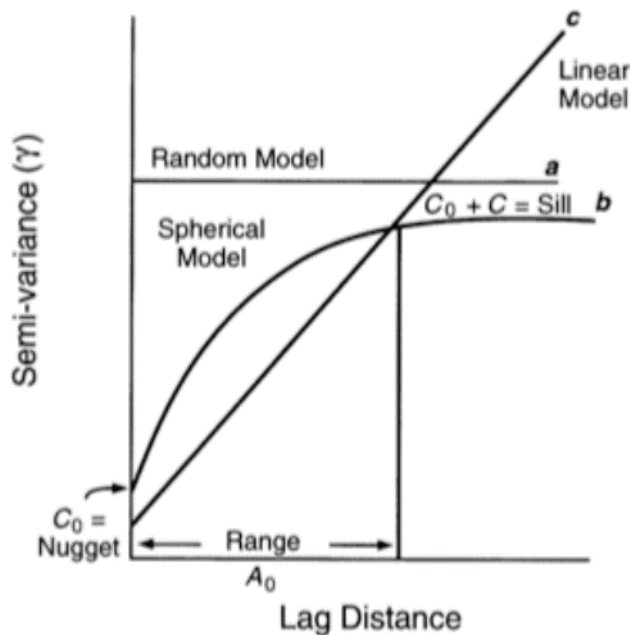
4.2.4 Geostatistiek

Voor de verbindingen PFBA, PFOA en PFOS is met het pakket *Surfer* het experimentele variogram berekend. In een variogram worden de kwadratische verschillen van alle meetparen $\frac{1}{2}(x(u_i) - x(u_j))^2$ uitgezet t.o.v. de afstand tussen de meetparen. Het experimenteel variogram is de lijn die door de puntenwolk gaat.

Een variogram geeft in essentie de ruimtelijke correlatie aan tussen de staalnamelocaties. Grosso modo wordt het variogram door 2 kenmerken bepaald:

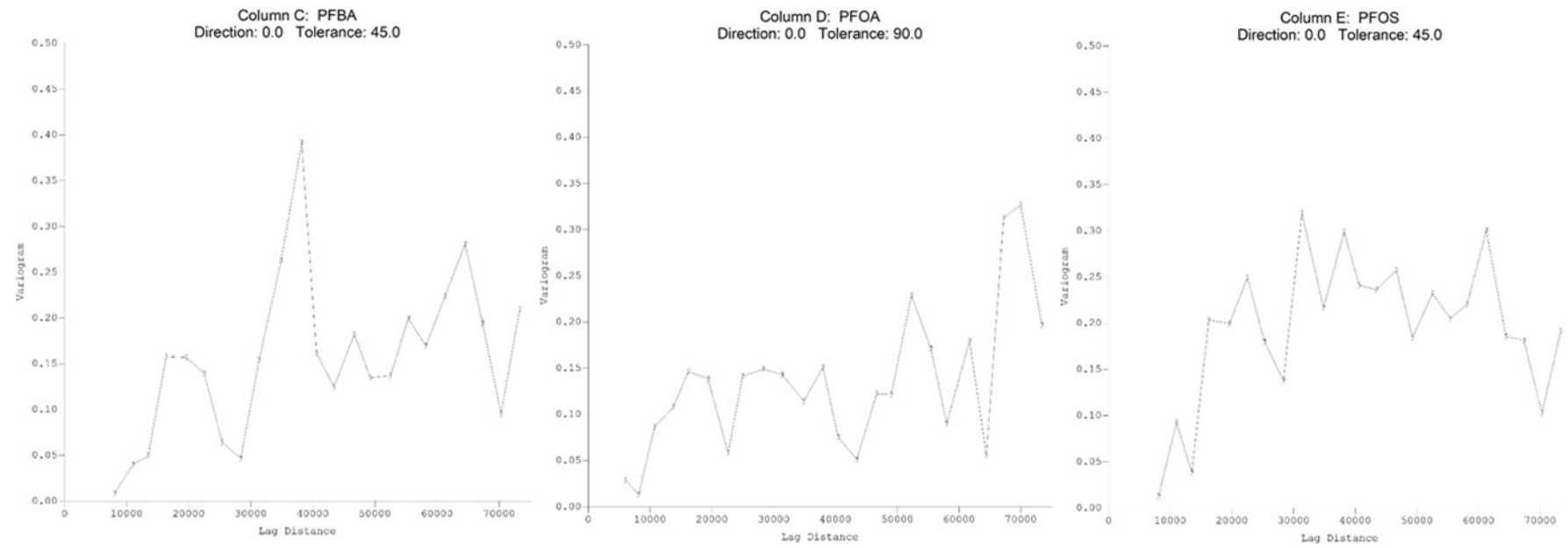
- i) de nugget of startwaarde;
- ii) sill.

De nugget is een maat voor de variatie van de data op zeer korte afstand en sill is een asymptoot van de variantiefunctie die aangeeft dat er voor grote afstanden geen ruimtelijke correlatie is. De asymptoot start in regel op een afstand A_0 , die als range wordt aangegeven. De range geeft de afstand aan waarin de autocorrelatie groot is, i.e. de afstand waarbinnen de waarnemingen ruimtelijk gecorreleerd zijn (Figuur 7).



Figuur 7: Componenten van een ideaal variogram

De variogrammen voor PFBA, PFOA en PFOS geven aan dat er geen ruimtelijke correlatie of regionale trend bestaat voor deze PFAS-verbindingen (Figuur 8). De grote (ruimtelijke) spreiding van de relatief weinig waarnemingen (max. 50 staalnamelocaties met ~ 20 km tussen 2 staalnamelocaties), tesamen met de grote spreiding van de concentraties rond het gemiddelde (i.e. een wijde, afgeplatte verdeling, Figuur 5) maakt het herkennen van regionale patronen binnen Vlaanderen niet evident.



Figuur 8: Variogrammen PFBA, PFOA en PFOS

4.3 CORRELATIE-ANALYSE TUSSEN BODEMKENMERKEN EN PFBA, PFOA EN PFOS ONDERLING

Enkel voor het organische koolstofgehalte (TOC) werd statistisch een significante relatie vastgesteld voor zowel PFBA, PFOA en PFOS in de top laag (0-20 cm) van de Vlaamse bodem (Figuur 9). Er kan geen significant ($\alpha > 0.95$) verband worden aangetoond met de andere bodemkenmerken zijnde pH, kleigehalte, Al- en Fe-gehalte.

Het verband TOC versus PFBA, PFOA en PFOS is bepaald met Statistica 64. De resultaten van de lineaire regressie zijn samengevat in Tabel 5 (r: correlatiecoëfficiënt, Std.Err.: standaardafwijking, b: intercept (boven) en regressiecoëfficiënt (onder), t(n): t-test-grenswaarde voor n vrijheidsgraden en p-value: maat voor de statistische betrouwbaarheid).

N=50		PFBA PFBA = 0.334 + 0.168*TOC				
	r	Std.Err.	b	Std.Err.	t(48)	p-value
Intercept			0.334	0.113	2.952	0.005
TOC	0.521	0.123	0.168	0.040	4.224	0.000
N=36		PFOA PFOA = 0.094 + 0.162*TOC				
	r	Std.Err.	b	Std.Err.	t(34)	p-value
Intercept			0.094	0.138	0.680	0.501
TOC	0.535	0.145	0.162	0.044	3.694	0.001
N=47		PFOS PFOS = 0.354 + 0.161*TOC				
	r	Std.Err.	b	Std.Err.	t(45)	p-value
Intercept			0.354	0.149	2.370	0.022
TOC	0.423	0.135	0.161	0.051	3.131	0.003

Tabel 5: Resultaten lineaire regressie

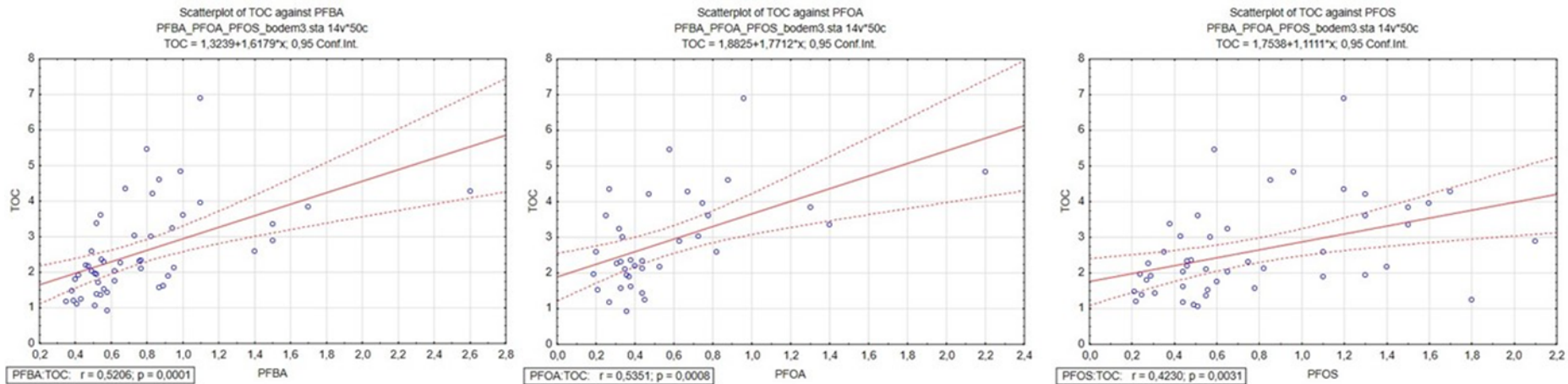
Deze relaties kunnen niet gebruikt worden om een normalisatie door te voeren, daar:

- er te weinig koppels zijn die daarenboven regionaal zeer sterk gespreid zijn. Hierdoor is de spreiding voor zowel PFBA, PFOA en PFOS als voor TOC zeer groot (variatiecoëfficiënt = Std.Dev./Gem. > 0.5).
- er te weinig koppels zijn, waardoor de nauwkeurigheid van de regressiecoëfficiënten (Std.Err.) klein is. De Std.Err geeft aan dat de waargenomen koppels (TOC-PFBA, TOC-PFOA en TOC-PFOS) zich ver van de regressielijn bevinden.
- voor een betrouwbare statistiek aangenomen wordt dat de onzekerheid \geq minstens 0,99 moet bedragen. Bijgevolg is de betrouwbaarheid van het intercept voor PFOA en PFOS te laag om algemeen bindende uitspraken te formuleren.

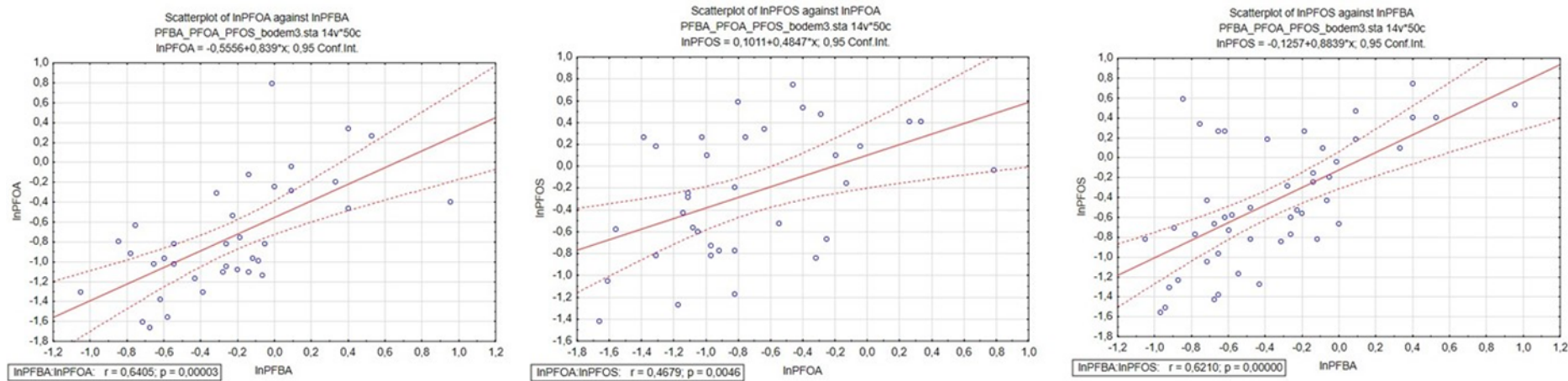
Door de beperkte dataset en de daaruit voortvloeiende lage statistische betrouwbaarheid en nauwkeurigheid, wordt daarom geen correctie of normalisatie met TOC ingevoerd.

Ook in Nederland werden de concentraties voor PFOS en PFOA uitgezet tegen het organisch-stofgehalte, en ook daar werd er geen duidelijk verband zichtbaar tussen het percentage organisch stof en de concentraties PFOS en PFOA (RIVM, 2020).

De PFAS-verbindingen PFBA_PFOA en PFBA_PFOS zijn onderling wel sterk gecorreleerd (Figuur 10), daar p kleiner is dan 0,01.



Figuur 9: Correlogram PFBA, PFOA en PFOS versus TOC (Totaal Organisch Koolstofgehalte)



Figuur 10: Correlogrammen met onderling verband tussen PFBA-PFOA, PFOA-PFOS en PFBA-PFOS

5 STREEFWAARDEN PFAS VLAANDEREN

De streefwaarden werden bepaald als 90 percentiel-waarden van de dataset (Tabel 6). Er zaten geen uitbijters in de dataset en er dient geen correctie voor bodemkenmerken doorgevoerd te worden.

Beschrijvende statistiek (PFBA_PFOA_PFOS_bodem)								
Parameter	N	Geom. gem.	Min.	Max.	Per_5	Per_10	Per_90	Per_95
PFBA	50	0.688	0.350	2.600	0.390	0.415	1.250	1.500
PFOA	36	0.469	0.190	2.200	0.200	0.250	0.960	1.400
PFOS	47	0.641	0.210	2.100	0.240	0.270	1.500	1.700

*: Per staat voor Percentielwaarden

Tabel 6: De 90-percentielwaarde als streefwaarde voor PFBA, PFOA en PFOS ($\mu\text{g}/\text{kg ds}$)

De streefwaarden (90-percentielwaarden) zijn:

- **1,25 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$ voor PFBA**
- **0,96 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$ voor PFOA**
- **1,50 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$ voor PFOS**

6 ACHTERGRONDWAARDEN PFAS IN NEDERLAND

Het RIVM heeft onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid van 29 PFAS-verbindingen in de Nederlandse landbodem (RIVM, 2020).

Bepalen landelijke achtergrondwaarden

Voor het bepalen van de definitieve landelijke achtergrondwaarden heeft nieuw bodemonderzoek plaatsgevonden. De achtergrondwaarden zijn gebaseerd op meer dan 100 monsters die verspreid over Nederland zijn verzameld in landbouw- en natuurgebieden. Daarmee vormt dit onderzoek een afspiegeling van het bereik van de concentraties die kunnen worden aangetroffen in het landelijk (onverdacht) gebied. Dat zijn gebieden waar geen PFAS in grond verwacht kan worden door de nabijheid van puntbronnen.

Op basis van dit onderzoek werden door RIVM volgende achtergrondwaarden vastgesteld (gebaseerd op P95-waarde):

- **1,4 µg/kg ds voor PFOS**
- **1,9 µg/kg ds voor PFOA**

Wanneer de concentraties van PFOS en PFOA in grond of bagger niet hoger zijn dan de achtergrondwaarden, is deze volgens de uitgangspunten van het Besluit bodemkwaliteit geschikt voor elke functie en mag deze overal op de landbodem worden toegepast.

Toetsing aan de door RIVM afgeleide risicogrenzen voor deze PFAS (Wintersen & Otte, 2019) laat zien dat er op het niveau van de achtergrondwaarden geen sprake is van risico's voor de gezondheid of overschrijding van effectniveaus voor het ecosysteem.

Advies met betrekking tot grondverzet voor bodems belast met PFAS

De achtergrondwaarden uit dit rapport zijn gebaseerd op concentraties in relatief onbelaste gebieden. Dit betekent dat op belaste locaties deze achtergrondwaarden overschreden kunnen worden, waardoor toepassing van grond of bagger niet mogelijk is. Dit geldt bijvoorbeeld voor de omgeving van Chemours in Zuid-Holland en voor Helmond. In die gebieden kan met het vaststellen van bodemkwaliteitskaarten en/of regionale achtergrondwaarden het grondverzet worden geregeld.

Op dit moment is nog niet goed bekend hoe PFAS zich verplaatsen door bodem en grondwater. Daarom wordt geadviseerd om bij het verplaatsen van grond en bagger naar grondwater-beschermingsgebieden gebruik te maken van materiaal dat minstens van dezelfde kwaliteit als de bodem die op die plaatsen al aanwezig is.

Overige PFAS

De stoffen PFOS en PFOA werden op meer dan 89% van alle locaties in de bovengrond boven de rapportagegrens van 0,1 µg/kg aangetroffen. Van de overige PFAS wordt Perfluorbutaanzuur (PFBA) het vaakst boven rapportagegrens aangetroffen. De overige PFAS die in dit onderzoek zijn geanalyseerd werden slechts sporadisch in landbouw- en natuurgebieden aangetroffen. Voor deze stoffen worden daarom geen achtergrondwaarden voorgesteld.

Bepalen van diffuse belasting van de bodem met PFAS in bebouwde gebieden

Door ook de aanwezigheid van PFAS in de bodem in bebouwd gebied te onderzoeken wordt een indicatie verkregen van de belasting van de bodem in meer door mensen beïnvloed gebied. Hiervoor is een selectie van 100 locaties in bebouwd gebied (stedelijk en industrie) bemonsterd. Dit aanvullend onderzoek laat zien dat de belasting van de bodem met PFAS in bebouwd gebied hoger is dan die in landelijk gebied (zie kengetallen). Dit geldt zowel voor de toplaag (0-20 cm) van de bodem als voor de wat dieper gelegen laag tot 1 meter beneden het maaiveld.

Kengetallen PFOS en PFOA

Voor de stoffen PFOS en PFOA worden enkele kengetallen uit de dataset weergegeven in Tabellen 4.1a en 4.1b (RIVM, 2020).

Subdataset	Laag	Gemiddelde	StDev	p25	mediaan	p75	p80	p95
Landbouw/ natuur	0-20	0,56	0,46	0,27	0,37	0,80	0,90	1,4
Landbouw/ natuur	50-100	0,17	0,11	0,14 ³	0,14	0,14	0,14	0,40
Bebouwd	0-20	0,89	0,89	0,37	0,53	1,0	1,4	2,7
Bebouwd	50-100	0,30	0,37	0,14	0,14	0,27	0,30	1,1

Subdataset	Laag	Gemiddelde	StDev	p25	mediaan	p75	p80	p95
Landbouw/ natuur	0-20	0,70	0,63	0,34	0,47	0,87	0,97	1,9
Landbouw/ natuur	50-100	0,28	0,60	0,14	0,14	0,17	0,19	0,49
Bebouwd	0-20	1,1	1,4	0,27	0,47	1,3	1,4	3,3
Bebouwd	50-100	0,40	0,53	0,14	0,24	0,37	0,47	1,3

Tabel 7: Kengetallen dataset som-PFOS (boven) en som-PFOA (onder) (eenheid: µg/kg droge stof) (RIVM, 2020)

Conclusie diffuse belasting

De diffuse belasting is hoger in de toplaag en in de bebouwde omgeving. De hoogste concentraties PFOS en PFOA worden aangetroffen in de toplaag van de monsters die zijn verkregen op de locaties in bebouwde omgeving.

Dat de concentraties PFOS en PFOA in de toplaag van de bodem hoger zijn dan in de laag tussen 50-100 cm-mv is vergelijkbaar met vaststellingen voor andere stoffen van antropogene oorsprong zoals persistente bestrijdingsmiddelen (bijvoorbeeld DDT, HCH) waarvoor achtergrondwaarden zijn bepaald in de bodem (Lamé, 2004). Voor andere stoffen, zoals aromatische oplosmiddelen als benzeen en toluen, waren de verschillen in het achtergrondwaardenonderzoek van 2004 tussen de concentraties in de toplaag en de laag daaronder nog groter.

In bebouwd gebied is er sprake van een sterkere samenhang tussen het voorkomen van verschillende PFAS. De stoffen perfluoropentaanzuur (PFPA) en perfluorheptaanzuur (PFHpA) zijn sterk aan elkaar gerelateerd.

7 BESLUIT

Streefwaarden van perfluorverbindingen (PFAS) werden bepaald op 50 onverdachte bodemstalen uit de top laag (0-20 cm) van Vlaamse bodems. Alle bodemstalen werden op een 40-tal individuele PFAS geanalyseerd conform de methoden besproken in het deelrapport 'Afliden van streefwaarden voor perfluorverbindingen en andere emerging contaminants – Deel 1: Analyses'. Daarnaast werden tevens de bodemkenmerken bepaald, zijnde pH, het totaal Fe-gehalte, totaal Al-gehalte, percentage klei (< 2 µm) en het percentage organische stof.

Voor de meeste PFAS (met uitzondering van PFBA, PFOA en PFOS) ligt het merendeel van de analyses onder of rond de kwantificatielimiet (bepalingsgrens). Ze komen met andere woorden niet of slechts sporadisch voor. Dit wijst erop dat de werkelijke achtergrondwaarden lager liggen. Daarom worden enkel voor PFBA, PFOA en PFOS streefwaarden (achtergrondwaarden) voorgesteld. Voor VLAREBO-genormeerde parameters zijn de streefwaarden gebaseerd op de 90-percentielwaarden. In de datasets zaten geen uitbijters. De streefwaarden (90-percentielwaarden) voor PFBA, PFOA en PFOS zijn gegeven in Tabel 8.

	Streefwaarden (µg/kg ds)	Kwantificatielimiet (µg/kg ds)
PFOS	1,50	0,2
PFOA	0,96	0,2

Tabel 8: Streefwaarden van PFOS, PFOA en PFBA en bijhorende kwantificatielimieten

Voor PFBA, PFOA en PFOS is er alleen een significante ($\alpha < 0.01$) relatie met het gehalte aan organisch koolstof (TOC). De pH, het Fe-gehalte, het Al-gehalte en het kleigehalte hebben geen significant effect.

Omwille van de beperkte dataset en de daaruit voortvloeiende lage statistische betrouwbaarheid en nauwkeurigheid, werd in overleg met OVAM en de stuurgroep beslist om geen correctie of normalisatie met TOC in te voeren.

LITERATUURLIJST

CMA/1/A.1 Vaste deel van de aarde

CMA/2/II/A.6 Kleigehalte (pipetmethode van Robinson-Köhn)

CMA/2/II/A.7 Totaal organisch koolstofgehalte (TOC)

Colles A. et al., 2020. Perfluorinated substances in the Flemish population (Belgium): Levels and determinants of variability in exposure (Chemosphere 242, March 2020). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125250>

Expertisecentrum PFAS (2018). Aanwezigheid PFAS in Nederland – Deelrapport C Diffuse belasting van PFOS en PFOA in de bovengrond.

OVAM (2018). Onderzoek naar aanwezigheid van PFAS in grondwater, bodem en waterbodem ter hoogte van risicoactiviteiten in Vlaanderen' (fase 1).

OVAM (2019). Onderzoek naar aanwezigheid van PFAS in grondwater, bodem en waterbodem ter hoogte van risicoactiviteiten in Vlaanderen' (fase 2).

Lamé, F. P. J., Brus, D. J., & Nieuwenhuis, R. H. (2004). Achtergrondwaarden 2000. Hoofdrapport AW2000 fase 1.

Lamé, F. P. J. B., D.J.; Nieuwenhuis, R.H. (2004). Achtergrondwaarden 2000. Bijlage rapport 2 AW2000: Diverse bijlagen.

RIVM (2020). Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem. RIVM-briefrapport 2020-0100 A. Wintersen et al.

P. Seuntjens, J. Bierkens, J. Patyn, K. Tirez, D. Wilczek, R. Smolders, D. Lagrou (2006). Herziening achtergrondwaarden zware metalen in bodem. Eindrapport 2006/IMS/R/367, VITO, Mol.

Wintersen, A. M., & Otte, P. F. (2019). Risicogrenzen voor PFOS, PFOA en GenX voor toepassen van grond en bagger. <https://www.rivm.nl/risicogrenzen-voor-pfos-pfoa-en-genx-voor-toepassen-van-grond-en-bagger>