



ORIËNTEREND ONDERZOEK NAAR VERSPREIDING VAN
PFAS IN VLAANDEREN

Afvalwater, oppervlaktewater, waterbodem, biota & grondwater

20 maart 2023

DOCUMENTBESCHRIJVING

Titel

ORIËNTEREND ONDERZOEK NAAR VERSPREIDING VAN PFAS IN VLAANDEREN

Afvalwater, oppervlaktewater, waterbodem, biota & grondwater

Samenstellers

ARCHE Consulting: Karel Vlaeminck, Nathalie Briels, Karel Viaene, Marnix Vangheluwe en Frederik Verdonck

Wijze van refereren

Vlaeminck K, Briels N, Viaene K, Vangheluwe M, Verdonck F. (2023), Oriënterend onderzoek naar verspreiding van PFAS in Vlaanderen: Afvalwater, oppervlaktewater, waterbodem, biota & grondwater. Rapport ARCHE Consulting, Gent, D/2023/3241/110.

Vragen in verband met dit rapport

ARCHE Consulting
Liefkensstraat 35D
B-9032 Wondelgem, Belgium
frederik.verdonck@arche-consulting.be

Vlaamse Milieumaatschappij
Dokter De Moorstraat 24-26
9300 Aalst
Tel: 053 72 62 10
info@vmm.be

Depotnummer

D/2023/3241/110

INHOUD

SAMENVATTING	9
SUMMARY	11
1. INLEIDING	12
2. METHODOLOGIE	12
2.1. BESCHRIJVING VAN DE DATASETS	12
2.2. PFAS-ANALYSE	14
2.3. GESELECTEERDE NORMEN EN TOETSINGSWAARDEN	16
2.4. GEBRUIKTE ANALYSE- EN VISUALISATIETECHNIKEN	20
2.5. VERGELIJKING MET BUURLANDEN	21
3. RESULTATEN PFAS IN VLAANDEREN	22
3.1. AFVALWATER	22
3.1.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?	22
3.1.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?	24
3.1.3. HOEVEEL OVERSCHRIJDINGEN WORDEN WAARGENOMEN?	24
3.1.4. HEBBEN MOTIEVEN (SECTOREN AFVALWATER) IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?	25
3.1.5. HEBBEN LOZINGSWIJZE OF SECTOR IMPACT OP PFAS PROFIEL?	26
3.1.6. VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN	30
3.2. OPPERVLAKTEWATER	33
3.2.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?	33
3.2.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?	34
3.2.3. HOEVEEL OVERSCHRIJDINGEN WORDEN WAARGENOMEN?	35
3.2.4. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?	36
3.2.5. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS PROFIEL (FINGERPRINTING)?	38
3.2.6. VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN	40
3.3. WATERBODEM	45
3.3.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?	45
3.3.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?	46
3.3.3. HOEVEEL OVERSCHRIJDINGEN WORDEN WAARGENOMEN?	47
3.3.4. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?	49
3.3.5. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS PROFIEL (FINGERPRINTING)?	50
3.3.6. VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN	52
3.4. BIOTA	54
3.4.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?	54
3.4.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?	55

3.4.3.	HOEVEEL OVERSCHRIJDINGEN WORDEN WAARGENOMEN?	56
3.4.4.	HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?	57
3.4.5.	HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS PROFIEL (FINGERPRINTING)?	58
3.4.6.	VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN	60
3.5.	GRONDWATER	64
3.5.1.	WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?	64
3.5.2.	WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?	66
3.5.3.	HOEVEEL OVERSCHRIJDINGEN WORDEN WAARGENOMEN?	67
3.5.4.	HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?	69
3.5.5.	HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS PROFIEL (FINGERPRINTING)?	70
3.5.6.	VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN	71
3.6.	RELATIES TUSSEN MATRICES	76
3.6.1.	AFVALWATER EN OPPERVLAKTEWATER	76
3.6.2.	OPPERVLAKTEWATER, WATERBODEM EN BIOTA	77
3.6.3.	RELATIE TUSSEN GRONDWATER EN ANDERE MATRICES	79
3.6.4.	RELATIES TUSSEN ALLE MATRICES	80
4.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	85
4.1.	CONCLUSIES	85
4.2.	AANBEVELINGEN	85
5.	REFERENTIES	86
6.	BIJLAGE 1: MEETSTRATEGIE VLAANDEREN BREED ONDERZOEK PFAS IN 2022	90
6.1.	SITUERING	90
6.2.	BRONNEN VAN PFAS	90
6.3.	OPMAAK MEETSTRATEGIE	90
6.4.	MEETFREQUENTIE EN ANALYSE	95
7.	BIJLAGE 2: DATA MANIPULATIES	96
7.1.	AGGREGATIE PER LOCATIE	96
7.2.	OMREKENING NAAR PFOA-EQUIVALENTEN	97
7.3.	OMGAAN MET GECENSUREERDE GEGEVENS	97
7.4.	DATA VOOR PCA EN CO-INERTIE ANALYSE	99
7.5.	KOPPELING MATRICES EN CO-INERTIE ANALYSE	99
8.	BIJLAGE 3: PCA EN CO-INERTIE ANALYSE	101
8.1.	PCA ANALYSE AFVALWATER	101
8.1.1.	SCREEPLOT	101
8.1.2.	VARIMAX	101
8.2.	PCA ANALYSE OPPERVLAKTEWATER	102
8.2.1.	SCREEPLOT	102

8.2.2. VARIMAX	102
8.3. PCA ANALYSE WATERBODEM	103
8.3.1. SCREEPLOT	103
8.3.2. VARIMAX	103
8.4. PCA ANALYSE GRONDWATER	104
8.4.1. SCREEPLOT	104
8.4.2. VARIMAX	104

 LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht motieven en aantal bemonsteringslocaties per matrix. Verdachte motieven staan in vet gedrukt.	13
Tabel 2: Naam, afkorting en CAS-nr. van de 49 PFAS-verbindingen die gemeten en opgenomen werden in de huidige studie. Voor PFOS, PFOA en PFOSA werd er bijkomend onderscheid gemaakt tussen de vertakte en lineaire vorm.	14
Tabel 3: Ratio lineair/totaal voor PFOA, PFOS, en PFOSA voor de verschillende matrices.....	16
Tabel 4: Overzicht van de beschikbare normen en toetsingswaarden per matrix. De geselecteerde toetsingswaarden in deze studie zijn vetgedrukt.	18
Tabel 5: Synthese analyseresultaten van PFAS in afvalwater. Op basis van de rapporteringsgrens (RG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de RG, werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90 ^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.	22
Tabel 6: Synthese van dominante PFAS per sector.	28
Tabel 7: Synthese analyseresultaten van geanalyseerde PFAS in oppervlaktewater. Op basis van de aantoonbaarheidsgrens (AG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de bepaalbaarheidsgrens (BG), werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90 ^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.	33
Tabel 8: Toetsingswaardeoverschrijding van PFAS in oppervlaktewater.	35
Tabel 9: Synthese van dominante PFAS per motief voor oppervlaktewater.	38
Tabel 10: PFAS concentraties (ng/L) in oppervlaktewater in Vlaanderen en metingen uit naburige regio's. Mediaan (boven, niet cursief) en/of gemiddelde (onder, cursief) of een bereik van deze worden telkens getoond. V verdacht, NV niet verdacht.	43
Tabel 11: Synthese analyseresultaten van geanalyseerde PFAS in waterbodem. Op basis van de aantoonbaarheidsgrens (AG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de bepaalbaarheidsgrens (BG), werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90 ^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.	45
Tabel 12: Toetsingswaardeoverschrijding van PFAS in waterbodem.	47
Tabel 13: Synthese van dominante PFAS per motief voor waterbodem.	50
Tabel 14: Synthese analyseresultaten van geanalyseerde PFAS in biota. Op basis van de aantoonbaarheidsgrens (AG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de bepaalbaarheidsgrens (BG), werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90 ^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.	54
Tabel 15: Toetsingswaardeoverschrijding van PFAS in biota.	57
Tabel 16: Synthese van dominante PFAS per motief voor biota.	58
Tabel 17: PFAS concentraties (ng/g) in vis in Vlaanderen en metingen uit naburige regio's. Mediaan (boven, niet cursief) en/of gemiddelde (onder, cursief) of een bereik van deze worden telkens getoond.	62
Tabel 18: Synthese analyseresultaten van geanalyseerde PFAS in grondwater. Op basis van de aantoonbaarheidsgrens (AG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de bepaalbaarheidsgrens (BG), werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90 ^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.	64
Tabel 19: Toetsingswaardeoverschrijding van PFAS in grondwater (putwater en freatisch grondwater toestandsmeetnet).	68
Tabel 20: Synthese van dominante PFAS per motief voor grondwater.	70

Tabel 21: PFAS concentraties in freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet en putwater (ng/L) in Vlaanderen en metingen uit naburige regio's. Mediaan (boven, niet cursief) en/of gemiddelde (onder, cursief) worden telkens getoond. V verdacht, NV niet verdacht.	74
Tabel 22: Relatieve potentie-factoren (RPFs) ten opzichte van PFOA voor de 24 PFAS-verbindingen ($\sum_{24} \text{PFAS}$) afgeleid door Bil et al. (2021). Enkel de RPF voor C6O4 is afkomstig van het EQS dossier (2021).	97
Tabel 23: Overzicht van het aantal metingen (individueel en per locatie) met percentage niet-aantoonbaar (< AG).....	98
Tabel 24: Overzicht van de data-selectie voor PCA analyses.	99
Tabel 25: Data-selectie voor de co-inertie analyses op de datasets voor gekoppelde matrices.	100

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Overzicht van de staalnamelocaties in Vlaanderen per matrix in de huidige studie.	14
Figuur 2: Percentage locaties met concentraties boven de rapporteringgrens (RG) in afvalwater. Enkel de 23 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplot.	23
Figuur 3: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in afvalwater in Vlaanderen (1 punt is gemiddelde per meetlocatie). De grijze stippellijn: 90 ^{ste} percentiel.	24
Figuur 4: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS in afvalwater in Vlaanderen. Rode punten: gemeten concentraties onder RG. Groene punten: effectief gekwantificeerde concentraties. De paarse lijn: PFAS norm van 100 ng/L. De grijze stippellijn: 90 ^{ste} percentiel.	25
Figuur 5: Boxplot voor PFAS totaal in afvalwater in Vlaanderen per motief (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per tijdstip het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.	25
Figuur 6: Biplot voor afvalwater, per sector. Ellipsen geven aan waar 95% van de metingen per sector zich bevinden.	26
Figuur 7: Fingerprint voor afvalwater per motief. Per PFAS geeft de box het 25ste en 75ste percentiel aan, de lijn de mediane contributie.	27
Figuur 8: Fingerprint voor afvalwater per sector. Per PFAS geeft de box het 25ste en 75ste percentiel aan, de lijn de mediane contributie.	30
Figuur 9: Geografische verspreiding van % gekwantificeerde PFAS (bovenaan), $\sum \text{PFAS}$ concentratie (midden) en aantal overschrijdingen van de VLAREM lozingsnorm voor individuele PFAS (onderaan).	32
Figuur 10: Procentueel aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in oppervlaktewater. Enkel de 22 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplot.	34
Figuur 11: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in oppervlaktewater in Vlaanderen (1 punt is 1 meetlocatie). De grijze stippellijn: 90 ^{ste} percentiel.	35
Figuur 12: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFOS in oppervlaktewater in Vlaanderen. Rode punten: gemeten concentraties onder AG. Groene punten: effectief gekwantificeerde concentraties. De paarse lijnen: de PFOS toetsingswaarden van 0,00065 $\mu\text{g/L}$ (huidige MKN PFOS) en 0,0000045 $\mu\text{g/L}$ (EU conceptnorm PFOS). De grijze stippellijn: het 90 ^{ste} percentiel.	36
Figuur 13: Cumulatieve frequentiegrafiek voor totaal PFAS gehalte van $\sum_{24} \text{PFAS}$ verbindingen, uitgedrukt in PFOA-equivalenten. De paarse lijn: op de PFOA van 0,0044 $\mu\text{g/L}$. De grijze stippellijn: het 90 ^{ste} percentiel	36

Figuur 14: Boxplot voor PFAS totaal in oppervlaktewater in Vlaanderen per motief (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per tijdstip het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.	37
Figuur 15: Biplot voor oppervlaktewater, per motief. Ellipsen geven aan waar 95% van de metingen per motief zich bevinden.	38
Figuur 16: Fingerprint voor stroomafwaarts oppervlaktewater per motief (Achtergrond bovenlopen en Haven van Antwerpen zijn hier niet weergegeven, zie digitale annex). Per PFAS geeft de box het 25 ^{ste} en 75 ^{ste} percentiel aan, de lijn de mediane contributie.	39
Figuur 17: Geografische verspreiding van % gekwantificeerde PFAS (bovenaan), Σ PFAS concentratie (midden) en aantal toetsingswaardeoverschrijdingen (onderaan)	41
Figuur 18: Procentueel aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in waterbodembodem. Enkel de 23 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplotted.	46
Figuur 19: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in waterbodembodem in Vlaanderen (1 punt is 1 meetlocatie). De grijze stippellijn wijst op het 90 ^{ste} percentiel. De paarse lijn wijst op de PFAS-toetsingswaarde van 8 μ g/kg ds (Tabel 12).	47
Figuur 20: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFOS in waterbodembodem in Vlaanderen. Rode punten: gemeten concentraties onder AG. Groene punten: effectief gekwantificeerde concentraties. De paarse lijnen: de PFOS toetsingswaarden van 3 μ g/L en 13,5 μ g/L. De grijze stippellijn: het 90 ^{ste} percentiel.	48
Figuur 21: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFOA in waterbodembodem in Vlaanderen. Rode punten: gemeten concentraties onder AG. Groene punten: effectief gekwantificeerde concentraties. De paarse lijn: de PFOA toetsingswaarde van 3 μ g/L. De grijze stippellijn: het 90 ^{ste} percentiel.	48
Figuur 22: Boxplot voor PFAS totaal in waterbodembodem in Vlaanderen per motief (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per tijdstip het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.	49
Figuur 23: Biplot voor waterbodembodem, per motief. Ellipsen geven aan waar 95% van de metingen per motief zich bevinden	50
Figuur 24: Fingerprint voor waterbodembodem per motief. Per PFAS geeft de box het 25 ^{ste} en 75 ^{ste} percentiel aan, de lijn de mediane contributie.	51
Figuur 25: Geografische verspreiding van % gekwantificeerde PFAS (bovenaan), Σ PFAS concentratie (midden) en aantal toetsingswaardeoverschrijdingen (onderaan)	53
Figuur 26: Procentueel aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in biota. Enkel de 21 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplotted.	55
Figuur 27: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in biota in Vlaanderen (1 punt is 1 meetlocatie). De grijze stippellijn: het 90 ^{ste} percentiel.	56
Figuur 28: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFOS in biota in Vlaanderen. De paarse lijn: de PFOS toetsingswaarde van 9,1 μ g/kg ng. De grijze stippellijn: het 90 ^{ste} percentiel.	57
Figuur 29: Boxplot voor PFAS totaal in biota in Vlaanderen per bemonsterde soort (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per tijdstip het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.	58
Figuur 30: Fingerprint voor biota per motief. Per PFAS geeft de box het 25 ^{ste} en 75 ^{ste} percentiel aan, de lijn de mediane contributie.	59

Figuur 31: Geografische verspreiding van % gekwantificeerde PFAS (bovenaan), Σ PFAS concentratie (midden) en aantal toetsingswaardeoverschrijdingen (onderaan)	61
Figuur 32: Procentueel aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in grondwater. Enkel de 20 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplot.....	65
Figuur 33: Voorkomen gekwantificeerde PFAS stoffen volgens diepte en regime in putwater dataset (freatisch of niet freatisch/gespannen grondwater)	66
Figuur 34: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in putwater en freatisch grondwater van toestandsmeetnet (grondwater in legende) in Vlaanderen. De grijze stippellijn wijst: het 90 ^{ste} percentiel van het totale PFAS-gehalte in grondwater (concentratie die in slechts 10% van de locaties wordt overschreden). De paarse lijn: de PFAS-toetsingswaarde van 0,5 μ g/L (Tabel 19).....	67
Figuur 35: Cumulatieve frequentiegrafiek voor het PFAS gehalte (Σ_{24} PFAS verbindingen) in grondwater in Vlaanderen. De paarse lijn: de Σ_{24} PFAS toetsingswaarde van 0,0046 μ g/L. De grijze stippellijn: het 90 ^{ste} percentiel van het Σ_{24} PFAS-gehalte in grondwater (concentratie die in slechts 10% van de locaties wordt overschreden).....	68
Figuur 36: Boxplot voor PFAS totaal in putwater en grondwater in Vlaanderen (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per filter het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.	69
Figuur 37: Biplot voor grondwater, per motief (met grondwater wordt freatisch grondwater uit toestandsmeetnet bedoeld). Ellipsen geven aan waar 95% van de metingen per motief zich bevinden	70
Figuur 38: Fingerprint voor grondwater (links: freatisch grondwater, rechts: putwater (combinatie freatisch en gespannen grondwater). De mediane contributies (proportioneel) van individuele PFAS-stoffen zijn weergegeven.	71
Figuur 39: Geografische verspreiding van % gekwantificeerde PFAS (bovenaan), Σ PFAS concentratie (midden) en aantal toetsingswaardeoverschrijdingen (onderaan)	72
Figuur 40: Vergelijking van de fingerprints (mediane contributie) van afvalwater en oppervlaktewater stroomafwaarts, per sector.	77
Figuur 41: Verband tussen logBCF en de gemeten visconcentraties (μ g/kg ng). De 90 ^{ste} percentiel per PFAS-stof werd bekeken.....	78
Figuur 42: PFOS relaties tussen oppervlaktewater (OW), waterbodem (WB) en biota (vis). Metingen <AG ($n = 3$ voor WB) zijn hier gelijkgesteld aan de AG. Visconcentraties zijn uitgedrukt in natgewicht (ww).	79
Figuur 43: Relatie tussen K_d coëfficiënt en grondwater concentraties.	80
Figuur 44: Relatie tussen alle matrices, uitgedrukt in mediane Σ PFAS concentraties in Vlaanderen (mediaan refereert naar concentraties die in 50% van de meetlocaties hoger (of lager) zijn).....	81
Figuur 45: Percentage locaties met concentraties boven de rapportagegrens (RG) in afvalwater en boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in oppervlaktewater, waterbodem, biota en grondwater. Enkel de stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplot.	82
Figuur 46. Fingerprint voor de verschillende matrices. De mediane contributies (proportioneel) van individuele PFAS zijn weergegeven.	84
Figuur 47: Gegevensaggregatie voor PFAS totaal.....	96
Figuur 48: Gegevensaggregatie voor relatieve contributie van individuele PFAS	96

SAMENVATTING

Per- en polyfluoroalkylstoffen (PFAS) zijn een grote groep van chemische stoffen die zowel water- als vuilafstotend zijn en waardoor ze worden gebruikt in tal van industriële toepassingen, zoals in brandblusschuim, voedselverpakkingen, textiel, tapijten, verf en meer. Ondanks de voordelen van deze stabiele moleculen voor industriële toepassingen, betekent dit eveneens dat PFAS zeer moeilijk tot niet afbreekbaar zijn in het milieu. Daardoor kunnen ze zich ophopen in het milieu en in het lichaam van mensen en dieren, waardoor ze een bedreiging kunnen vormen voor het ecosysteem en de volksgezondheid. PFAS werd reeds in verband gebracht met een aantal gezondheidsproblemen, waaronder kanker, hormonale veranderingen en immunologische problemen.

Momenteel is er nauwelijks informatie beschikbaar over het algemene voorkomen van PFAS in Vlaanderen. In 2022 werd er daarom door de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) een grootschalige monitoringscampagne opgezet om een beeld te verkrijgen van de verspreiding van de PFAS verontreiniging in Vlaanderen. Meer specifiek werden metingen voorzien in verschillende matrices (afvalwater, oppervlaktewater, waterbodembiota en grondwater). Die bepaalden de aanwezigheid van PFAS-verbindingen in specifieke en willekeurig gekozen verdachte (zowel punt als diffuse bronnen) en niet verdachte meetlocaties van o.a. het monitoringnetwerk van de VMM. De doelstelling van dit rapport is een verkennende data-analyse uit te voeren van de PFAS metingen in de diverse milieu-compartimenten met oog op een beter zicht te krijgen op 1) de concentraties van PFAS in het aquatische milieu in Vlaanderen, zowel het Vlaanderen-breedbeeld, maar ook wat betreft hot-spots en 2) op de impact van mogelijke bronnen/hot-spots naar het watersysteem.

De resultaten van de uitgebreide meetcampagne naar PFAS-verspreiding in Vlaanderen tonen aan dat, hoewel in het merendeel van de stalen de concentratie onder de aantoonbaarheidsgrens ligt, op bijna alle meetlocaties wel minimaal één PFAS component is gedetecteerd. Dit toont aan dat de aanwezigheid van PFAS wijdverspreid is in Vlaanderen. Ruimtelijke analyses bevestigen deze observatie. Wat PFAS concentraties betreft zijn er echter enkele duidelijke hot-spots.

De mediane effluent concentratie van industriële bronnen varieert tussen 50 en 570 ng/L Σ PFAS (afhankelijk van de sector). De mediane effluent concentratie van de RWZIs is circa 50 ng/L Σ PFAS. In Vlaamse oppervlaktewateren ligt de mediane concentratie in dezelfde grootte-orde, namelijk 45 ng/L Σ PFAS. De mediane grondwaterconcentratie ligt een factor 5 lager circa 8.7 ng/L Σ PFAS. Het totale PFAS-gehalte is dus gelijkaardig in de verschillende watercompartimenten, met uitzondering van grondwater, maar er zijn wel duidelijke verschillen in het PFAS-profiel. De mediane concentratie in waterbodembiota bedraagt 1.2 μ g/kg ds Σ PFAS. De waargenomen PFAS concentraties in Vlaanderen zijn van dezelfde grootte-orde als deze in de ons omringende buurlanden en -gewest wanneer de vergelijking wordt gemaakt met sterk geïndustrialiseerde of verstedelijkte gebieden.

Welke PFAS stoffen gemeten worden is duidelijk verschillend tussen zowel de verschillende matrices en de verschillende motieven onderzocht binnen een matrix. Er wordt een duidelijke impact vastgesteld van de verdachte motieven (i.e. bronnen) in vergelijking met de niet-verdachte motieven voor oppervlaktewater en waterbodembiota. Puntbronnen hebben een significante invloed op PFAS concentraties in Vlaanderen. Zo is er voor afvalwater een duidelijke PFAS-fingerprint per sector met kenmerkende PFAS (zowel in aanwezigheid als concentratie). Tegelijk is deze PFAS-fingerprint moeilijk te vertalen of te linken naar oppervlaktewater of andere milieucompartimenten omdat oppervlaktewater en andere milieucompartimenten ook worden gekenmerkt door diffuse PFAS bronnen in Vlaanderen. De diffuse verspreiding wordt vooral geobserveerd in het effluent van RWZIs en grondwater. Daarnaast spelen de specifieke, fysico-chemische karakteristieken van individuele PFAS (mobiliteit, absorptie, bioaccumulatie en degradatie-eigenschappen) een belangrijke rol bij de verdere verspreiding in het milieu, vooral naar waterbodembiota en grondwater. Lange PFAS-ketens degraderen typisch tot de meer stabiele PFOS en PFOA (C8-ketens) die ook zichtbaar meer voorkomen in waterbodembiota en biota. Onder meer adsorptiekarakteristieken bepalen welke PFAS in waterbodembiota (meer adsorptie, langere ketens) en grondwater (minder adsorptie, kortere ketens) terechtkomen.

Voor oppervlaktewater en biota worden in het merendeel (75-100%) van de locaties overschrijdingen van de geselecteerde toetsingswaarden vastgesteld. Voor afvalwater (5-25% van de locaties), waterbodembiota (4-27% van de locaties) en grondwater (2-24% van de locaties voor freatisch en gespannen grondwater en 1-46% voor freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet) zijn er kleine tot matige overschrijdingen van de

geselecteerde toetsingswaarden. Dit is sterk afhankelijk van het type toetsingswaarde en de achterliggende beschermingsdoelstelling. Voor oppervlaktewater en biota zijn de toetsingswaarden milieukwaliteitsnormen die gebaseerd zijn op humane visconsumptie en humane toxiciteit in tegenstelling tot deze voor waterbodembodem en grondwater, die respectievelijk gebaseerd zijn op directe ecotoxiciteit en humane drinkwaterconsumptie.

SUMMARY

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a large group of chemicals that are both water- and dirt-repellent, making them used in numerous industrial applications, such as in fire-fighting foams, food packaging, textiles, carpets, paints and more. Despite the advantages of these stable molecules for industrial applications, it also means that PFAS are very difficult to non-biodegradable in the environment. As a result, they can accumulate in the environment and in the bodies of humans and animals, posing a threat to the ecosystem and human health. PFAS have already been linked to a number of health problems, including cancer, hormonal changes and immunological problems.

Currently, hardly any information is available on the general occurrence of PFAS in Flanders. A large-scale monitoring campaign was therefore launched by the Flemish Environment Agency (VMM) in 2022 to obtain a picture of the distribution of PFAS contamination in Flanders. More specifically, measurements were provided in different matrices (wastewater, surface water, water bottom, biota and groundwater). These determined the presence of PFAS compounds in specific and randomly selected suspect (both point and diffuse sources) and non-suspect measurement locations from, among others, the VMM monitoring network. The objective of this report is to perform an exploratory data analysis of the PFAS measurements in the various environmental compartments in order to gain a better insight into 1) the concentrations of PFAS in the aquatic environment in Flanders, both the Flanders-wide picture but also in terms of hot-spots and 2) the impact of possible sources/hot-spots on the water system.

The results of the extensive measurement campaign on PFAS distribution in Flanders show that, although in the majority of samples the concentration is below the detection limit, at least one PFAS component was detected at almost all measurement sites. This shows that the presence of PFAS is widespread in Flanders. Spatial analyses confirm this observation. In terms of PFAS concentrations, however, there are some clear hot-spots. The median effluent concentration of RWZIs is about 50 ng/L Σ PFAS. In Flemish surface waters, the median concentration is in the same order of magnitude, namely 45 ng/L Σ PFAS. The median groundwater concentration is a factor of 5 lower around 8.7 ng/L Σ PFAS. The total PFAS content is thus similar in the different water compartments, with the exception of groundwater, but there are clear differences in the PFAS profile. The median concentration in water bottom is 1.2 μ g/kg ds Σ PFAS. The observed PFAS concentrations in Flanders are of the same order of magnitude as those in our neighbouring countries and regions when compared to highly industrialised or urbanised areas.

Which PFAS substances are measured is clearly different between both the different matrices and the different motifs investigated within a matrix. A clear impact is observed of the suspected motifs (i.e. sources) compared to the non-suspicious motifs for surface water and water bottom. Point sources have a significant impact on PFAS concentrations in Flanders. Thus, for wastewater, there is a clear PFAS fingerprint per sector with characteristic PFAS (both in presence and concentration). At the same time, this PFAS fingerprint is difficult to translate or link to surface water or other environmental compartments because surface water and other environmental compartments are also characterised by diffuse PFAS sources in Flanders. The diffuse distribution is mainly observed in the effluent of WWTPs and groundwater. In addition, the specific, physicochemical characteristics of individual PFAS (mobility, absorption, bioaccumulation and degradation properties) play an important role in further diffusion in the environment, especially to water bottom and groundwater. Long PFAS chains typically degrade to the more stable PFOS and PFOA (C8 chain), which are also more abundant in water bottom and biota. Among other things, adsorption characteristics determine which PFAS end up in water bottom (more adsorption, longer chains) and groundwater (less adsorption, shorter chains).

For surface water and biota, exceedances of the selected test values are observed in the majority (75-100%) of sites. For wastewater (5-25% of sites), aquatic soil (4-27% of sites) and groundwater (2-24% of sites for phreatic and strained groundwater and 1-46% for phreatic groundwater), there are minor to moderate exceedances of the selected test values. This is highly dependent on the type of test value and the underlying protection objective. For surface water and biota, the test values are environmental quality standards based on human fish consumption and human toxicity in contrast to those for water bottom and groundwater, which are based on direct ecotoxicity and human drinking water consumption, respectively.

1. INLEIDING

Per- en polyfluoroalkylstoffen (PFAS) zijn een grote groep van chemische stoffen die omwille van hun chemische structuur uitzonderlijke eigenschappen vertonen. Hun chemische structuur bestaat uit een hydrofobe gefluoreerde koolstofketen en een hydrofiële functionele groep (e.g. sulfonzuur, carbonzuur). Dit maakt deze moleculen dus zowel water- als vuilafstotend en waardoor ze worden gebruikt in tal van industriële toepassingen, zoals in brandblusschuim, voedselverpakkingen, textiel, tapijten, verf en meer (Glüge et al., 2020). Bovendien bestaat de gefluoreerde koolstofketen uit C-F verbindingen, gekend als de sterkste verbinding in de organische chemie (O'Hagan, 2008). Ondanks de voordelen van deze stabiele moleculen voor industriële toepassingen, betekent dit eveneens dat PFAS zeer moeilijk tot niet afbreekbaar zijn in het milieu. Daardoor kunnen ze zich ophopen in het milieu en in het lichaam van mensen en dieren (Houde et al., 2006), waardoor ze een bedreiging kunnen vormen voor het ecosysteem en de volksgezondheid. PFAS werd reeds in verband gebracht met een aantal gezondheidsproblemen, waaronder kanker, hormonale veranderingen en immunologische problemen (beschreven in EFSA (2020)). Meer over PFAS via <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling>.

Momenteel is er nauwelijks informatie beschikbaar over het algemene voorkomen van per- en polyfluoroalkylstoffen (PFAS) in Vlaanderen. In 2022 werd er daarom door de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) een grootschalige monitoringscampagne opgezet om een beeld te verkrijgen van de verspreiding van de PFAS verontreiniging in Vlaanderen. Meer specifiek werden metingen voorzien in verschillende matrices (afvalwater, oppervlaktewater, waterbodembiota (visweefsel) en grondwater). Die bepaalden de aanwezigheid van PFAS-verbindingen in specifieke en willekeurig gekozen verdachte en niet verdachte meetlocaties van o.a. het monitoringnetwerk van de VMM.

De meetresultaten laten toe een beter beeld te krijgen van de huidige PFAS verspreiding in Vlaanderen. Een deel van de meetlocaties worden vooral gekenmerkt door de mogelijke impact van puntbronnen. Een ander deel wordt vooral gekenmerkt door diffuse. Met diffuse verontreiniging wordt een verspreiding bedoeld waarbij geen directe vervuilingbron kan worden aangeduid, in tegenstelling tot een puntverontreiniging waarbij bv. sprake is van een hotspot aan verontreinigingen afkomstig van een gekende puntbron.

De doelstelling van dit rapport is een verkennende data-analyse uit te voeren van de PFAS metingen in de diverse milieu-compartimenten met oog op een beter zicht te krijgen op 1) de concentraties van PFAS in het aquatische milieu in Vlaanderen, zowel het Vlaanderen-breedbeeld, maar ook wat betreft hot-spots en 2) op de impact van mogelijke bronnen/hot-spots naar het watersysteem. Per matrix worden daarom verschillende onderzoeksvragen behandeld: welke PFAS worden gedetecteerd, welke concentraties PFAS worden waargenomen, hoeveel norm of toetsingswaardeoverschrijdingen worden waargenomen, hebben motieven impact op PFAS concentraties en PFAS profiel en wat is de verspreiding van PFAS in Vlaanderen en hoe verhoudt zich dit tot onze buurlanden en -gewest?

2. METHODOLOGIE

2.1. BESCHRIJVING VAN DE DATASETS

Om de PFAS concentraties in Vlaanderen in kaart te brengen, werd er in 2022 door VMM een verhoogde meetinspanning gerealiseerd waarbij PFAS in diverse matrices (afvalwater, oppervlaktewater, waterbodembiota en putwater) werden geanalyseerd.

In het voorjaar van 2022 werd bijkomend een meetcampagne in ondiep freatisch grondwater uitgevoerd. Deze resultaten werden reeds gerapporteerd (VMM, 2022), maar werden voor de volledigheid ook in deze studie meegenomen. Omwille van hun oorsprong werd freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet samen met putwater bekeken, hetzij als verschillende motieven (zie verder). Putwaters zijn namelijk afkomstig van particuliere locaties die niet over een aansluiting op het drinkwaternet beschikken en dus van putwater afhankelijk zijn voor hun drinkwater. De dieptes van het putwater zijn niet altijd gekend en deze kunnen zowel freatisch als gespannen grondwater betreffen. De kans voor antropogene verontreiniging is veel hoger voor het freatisch grondwater. Ook voor het freatisch grondwater zal de diepte van de putfilter en de kenmerken

van de ondergrond een rol spelen. Wat het freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet betreft gaat dat steeds om freatisch grondwater met een maximale diepte van 34 m-mv. De meeste putfilters liggen op een diepte van 10 m-mv. Biota (vis) geanalyseerd in de huidige studie werden hoofdzakelijk bemonsterd op hotspot locaties (één locatie werd op bovenloop bemonsterd). Bemonsteringslocaties van putwater daarentegen werden willekeurig gekozen en bevatten ook grondwaters die soms gebruikt worden als drinkwater door particulieren.

Daarnaast werden aan de VMM meetcampagne van 2022 ook nog een bijkomende dataset toegevoegd voor drinkwaterwingebieden (VMM, metingen 2021) en waterbodem (Afdeling Maritieme Toegang (AMT)–Beneden-Zeeschelde en Westerschelde, metingen 2020-2022).

Voor iedere matrix worden verschillende motieven onderscheiden. Een motief is een verzameling van meetplaatsen die worden bemeaten met een specifiek doel. De motieven kunnen ingedeeld worden in PFAS-verdachte en niet-verdachte locaties. Tabel 1 geeft een overzicht van de onderzochte matrices en de onderscheiden motieven.

Tabel 1: Overzicht motieven en aantal bemonsteringslocaties per matrix. Verdachte motieven staan in vet gedrukt.

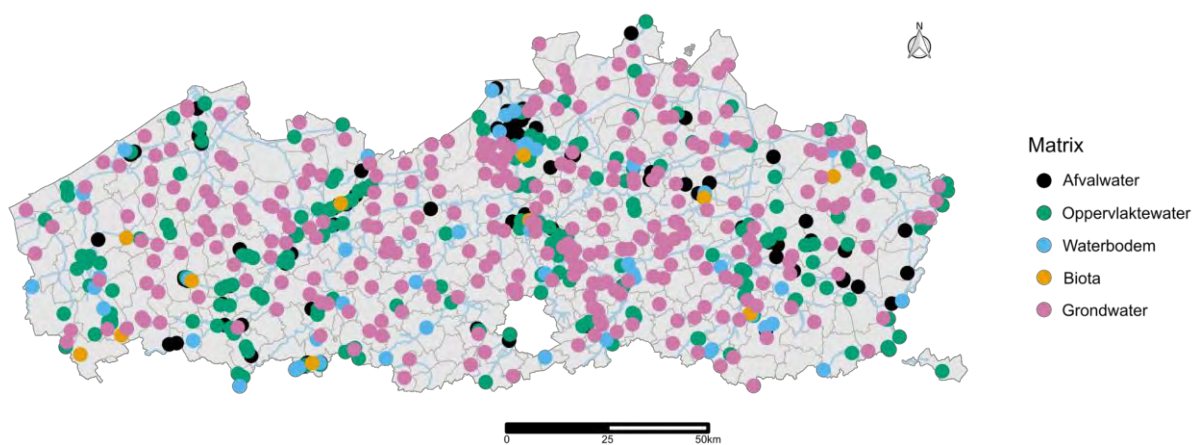
Matrix	Aantal bemonsteringslocaties	Motief
Afvalwater (1) lozingswijze	108	<ul style="list-style-type: none"> • RWZI effluent (OW DIR) • Bedrijven effluent (RWZI) • Bedrijven effluent (OW DIR)
Afvalwater (2) sector		<ul style="list-style-type: none"> • RWZI • Voeding • Papier • Petroleumraffinaderijen • Chemie • Textiel • Metaalnijverheid • Afval- & grondverwerking • Overige industrie
Oppervlaktewater	246	<ul style="list-style-type: none"> • Achtergrond (bovenlopen) • Drinkwaterwingebieden* • SoE (<i>State of the Environment</i>**) • Bedrijven impact oppervlaktewater • Brandweeroefenterreinen • Hot-spots OVAM • Haven van Antwerpen • Hot-spots 3M Zwijndrecht/Opvolging Oosterweel
Waterbodem	119	<ul style="list-style-type: none"> • Slibruiming kernbeheer • Meetnet waterbodem • AMT (Westerschelde)* • AMT (Beneden-Zeeschelde)* • Hot-spot locaties
Biota – species	13	<ul style="list-style-type: none"> • Baars • Paling • 3-doornige stekelbaars • Blankvoorn
Grondwater	328	<ul style="list-style-type: none"> • Putwater • Freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet

* Afkomstig van extra datasets (VMM, 2021)

**Toestandsmeetnet oppervlaktewaterkwaliteit VMM

De meetstrategie betreft een Vlaanderen brede selectie aan locaties in diverse matrices, verspreid over verschillende waterlooptypes en is gebaseerd op de belangrijkste gekende bronnen van PFAS naar het leefmilieu en historische meetgegevens. De meetinspanning werd deels door VMM kern monitoring in eigen beheer uitgevoerd en deels uitbesteed aan een externe opdrachtnemer. Het aantal meetplaatsen varieert van 1 tot 180, afhankelijk van de matrix en het motief. De belangrijkste bronnen van PFAS naar het milieu zijn onder andere de PFAS producerende industrie, inzet van brandblusschuim AFFF, stortplaatsen, waterzuiveringsinstallaties, afvalverbrandingsinstallaties en de verwerkende industrie (waaronder de productie van Teflon en de galvanische, textiel-, halfgeleider-, foto-, papier-, lak- en verfindustrie). Bijlage 1 geeft een vollediger overzicht van de meetstrategie (mbt oppervlaktewater, afvalwater, waterbodembodem en biota).

Figuur 1 geeft een overzicht van de bemonsterde locaties in Vlaanderen in het kader van de PFAS meetcampagne van VMM, alsook de locaties van de drinkwaterwaterwingebieden die meegenomen werden als oppervlaktewater. In Tabel 1 wordt per matrix weergegeven hoeveel locaties bemonsterd werden.



Figuur 1: Overzicht van de staalnamelocaties in Vlaanderen per matrix in de huidige studie.

2.2. PFAS-ANALYSE

Alle stalen voor oppervlaktewater, afvalwater, waterbodembodem en genomen in het kader van de VMM meetcampagne werden geanalyseerd voor 43 PFAS-verbindingen. Voor de matrix grondwater, werden 45 PFAS-verbinding geanalyseerd. Deze bestaan voor een deel uit kwantitatieve stoffen en een deel indicatieve stoffen die opgenomen zijn in het ontwerp van het compendium voor analyse van water (WAC/IV/A/025, 2022). In de grondwater dataset werden MePFBSA, MePFBSAA en PFHxSA niet gemonitord, maar werden wel nog zes extra PFAS gemeten. Hierdoor zijn er in totaal 49 stoffen opgenomen in deze studie. Tabel 2 geeft een overzicht van alle geanalyseerde PFAS-verbindingen met omschrijving, afkorting en CAS-nummer.

Tabel 2: Naam, afkorting en CAS-nr. van de 49 PFAS-verbindingen die gemeten en opgenomen werden in de huidige studie. Voor PFOS, PFOA en PFOSA werd er bijkomend onderscheid gemaakt tussen de vertakte en lineaire vorm.

PFAS	Afkorting	CAS-nr.
<i>Sulfonzuren</i>		
1 Perfluorbutaansulfonzuur	PFBS	375-73-5
2 Perfluorpentaansulfonzuur	PFPeS	2706-91-4
3 Perfluorhexaansulfonzuur	PFHxS	355-46-4
4 Perfluorheptaansulfonzuur	PFHpS	375-92-8
5 Perfluoroctaansulfonzuur	PFOS	1763-23-1
	Perfluoroctaansulfonzuur-lineair	PFOS-lineair

Perfluorooctaansulfonzuur-vertakt		PFOS-vertakt	
6	Perfluoronaansulfonzuur	PFNS	68259-12-1
7	Perfluordecaansulfonzuur	PFDS	335-77-3
8	Perfluorundecaansulfonzuur	PFUnDS	749786-16-1
9	Perfluordodecaansulfonzuur	PFDoDS	79780-39-5
10	Perfluortridecaansulfonzuur	PFTTrDS	791563-89-8
11	Perfluor-4-ethylcyclohexaansulfonzuur	PFECHS	646-83-3
Carbonzuren			
12	Perfluorbutaanzuur	PFBA	375-22-4
13	Perfluorpentaanzuur	PFPeA	2706-90-3
14	Perfluorhexaanzuur	PFHxA	307-24-4
15	Perfluorheptaanzuur	PFHpA	375-85-9
16	Perfluorooctaanzuur	PFOA	335-67-1
Perfluorooctaanzuur-lineair		PFOA-lineair	
Perfluorooctaanzuur-vertakt		PFOA-vertakt	
17	Perfluoronaanzuur	PFNA	375-95-1
18	Perfluordecaanzuur	PFDA	335-76-2
19	Perfluorundecaanzuur	PFUnDA	2058-94-8
20	Perfluordodecaanzuur	PFDoDA	307-55-1
21	Perfluortridecaanzuur	PFTTrDA	72629-94-8
22	Perfluortetradecaanzuur	PFTeDA	376-06-7
23	Perfluorpentadecaanzuur	PFPeDA	141074-63-7
24	Perfluorhexadecaanzuur	PFHxDA	67905-19-5
25	Perfluorooctadecaanzuur	PFODA	16517-11-6
Ether carbonzuren			
26	Hexafluorpropyleenoxidedimeerzuur	HFPO-DA/GenX	13252-13-6
27	4,8-dioxa-3H-perfluoronaanzuur	ADONA	919005-14-4
Fluorotelomeersulfonzuren			
28	4:2 fluortelomeersulfonzuur	4:2 FTS	757124-72-4
29	6:2 fluortelomeersulfonzuur	6:2 FTS	27619-97-2
30	8:2 fluortelomeersulfonzuur	8:2 FTS	39108-34-4
31	10:2 fluortelomeersulfonzuur	10:2 FTS	120226-60-0
Fluorotelomeerfosfaatdiesters			
32	6:2 fluortelomeerfosfaat diester	6:2 diPAP	57677-95-9
33	8:2 fluortelomeerfosfaatdiester	8:2 diPAP	678-41-1
34	6:2/8:2 fluortelomeerfosfaat diester	6:2/8:2 diPAP	943913-15-3
Sulfonamides			
35	Perfluorbutaansulfonamide	PFBSA	30334-69-1
36	N-methyl-perfluorbutaansulfonamide	MePFBSA	68298-12-4
37	N-methyl-perfluorobutaansulfonamido-azijnzuur	MePFBSAA	159381-10-6
38	Perfluorhexaansulfonamide	PFHxSA	41997-13-1
39	Perfluorooctaansulfonamide	PFOSA	754-91-6
Perfluorooctaansulfonamide-lineair		PFOSA-lineair	
Perfluorooctaansulfonamide-vertakt		PFOSA-vertakt	
40	N-methylperfluorooctaansulfonamide	MePFOSA	31506-32-8
41	N-methylperfluorooctaansulfonamido-azijnzuur	MePFOSAA	2355-31-9
42	N-ethylperfluorooctaansulfonamide	EtPFOSA	4151-50-2
43	N-ethylperfluorooctaansulfonamido-azijnzuur	EtPFOSAA	2991-50-6
Extra stoffen (enkel gemeten in grondwater)			
44	7H-perfluorheptaanzuur	HPFHpA	1546-95-8
45	Perfluor-3,7-dimethyloctaanzuur	P37DMOA	172155-07-6
46	2H,2H,3H,3H-perfluorundecaanzuur	4H-PFUnDA	34598-33-9
47	8:2 fluortelomeer onverzadigd carbonzuur	8:2 FTUCA	70887-84-2
48	6:2 gechlloreerde polyfluor ether sulfonzuur	6:2 Cl-PFESA (F-53B)	73606-19-6
49	8:2 gechlloreerde polyfluor ether sulfonzuur	8:2 Cl-PFESA (11Cl-F-53B)	83329-89-9

Voor PFOS, PFOA en PFOSA werd analytisch een onderscheid gemaakt tussen de concentratie van de lineaire component, de vertakte component en de totale concentratie (som van lineaire en vertakte). Voor PFOS en PFOA werd in de meeste gevallen altijd de totale component gemeten. In sommige gevallen, werden ook de lineair en/of vertakte vormen van deze stoffen gemeten. Voor PFOSA werd voor de extra datasets (drinkwaterwingebieden en AMT waterbodern) enkel de lineaire componenten gemeten.

Alle berekeningen in deze studie werden uitgevoerd met de totale concentratie van deze PFAS. Indien de totale concentratie PFOS, PFOA en PFOSA analytisch bepaald was, werd deze dus gebruikt (bijvoorbeeld voor biota werd enkel de totale componenten gemeten), zo niet, werd de totale concentratie afgeleid via het ratio lineair/totaal. Het ratio lineair/totaal werd per stof (PFOS, PFOA en PFOSA) en per matrix (afvalwater, oppervlaktewater, waterbodern, biota en grondwater) afgeleid uit parallele metingen van de lineaire en totale component (zie vergelijking 1). Indien de totale component niet bepaald werd, werd het ratio bepaald uit de concentraties van de lineaire en vertakte component (zie vergelijking 1). Indien geen ratio kon afgeleid worden voor een bepaalde stof in een bepaalde matrix, werd het gemiddelde van de ratio's van de andere stoffen gebruikt.

$$ratio = \frac{C_{lineair}}{C_{totaal}} \quad \text{of} \quad ratio = \frac{C_{lineair}}{C_{lineair} + C_{vertakt}} \quad (1)$$

De afgeleide ratio's per matrix en per stof zijn opgelijst in Tabel 3. Voor afvalwater, werd enkel de afvalwaterdata van VMM gebruikt. Voor oppervlaktewater, werden de ratio's afgeleid met de oppervlaktewaterdata van VMM en de drinkwaterdata van VMM. Voor waterbodern, werd de data voor waterbodern van VMM en AMT gecombineerd. Voor de ratio's voor grondwater werd zowel de putwaterdata als de freatisch grondwater data uit het toestandsmeetnet gebruikt. Voor oppervlaktewater, waterbodern en grondwater waren geen parallele metingen van lineaire en totaal beschikbaar voor PFOSA en kon geen ratio worden afgeleid. Bijgevolg werd het ratio lineair/totaal voor PFOSA voor die matrices gelijkgesteld aan het gemiddelde van de ratio's lineair/totaal van PFOA en PFOS.

Tabel 3: Ratio lineair/totaal voor PFOA, PFOS, en PFOSA voor de verschillende matrices

Matrix	Ratio lineair/totaal		
	PFOA	PFOS	PFOSA
Afvalwater	0,84	0,62	0,62
Oppervlaktewater	0,88	0,73	0,81*
Waterbodern	0,74	0,83	0,78*
Biota	NA	NA	NA
Grondwater	0,74	0,50	0,62*

NA = niet afgeleid. Voor biota werden enkel de totale componenten gemeten.

*Het ratio werd bepaald door het gemiddelde te nemen van de ratio's lineair/totaal van PFOA en PFOS.

2.3. GESELECTEERDE NORMEN EN TOETSINGSWAARDEN

PFAS concentraties in afvalwater, oppervlaktewater, waterbodern, biota en grondwater werden getoetst aan humaan-toxicologische normen/toetsingswaarden en milieukwaliteitsnormen/-toetsingswaarden met als respectievelijk doel het beschermen van de mens en het milieu/biota. Deze toetsingswaarden zijn relevant voor blootstelling via water of via voedsel. Ze maken het mogelijk om te beoordelen of de gemeten PFAS concentraties al dan niet een risico vormen voor mens en/of milieu. Momenteel zijn er nog niet voor alle

milieucompartimenten normen vastgelegd en indien er normen beschikbaar zijn, dan zijn deze enkel opgesteld voor een beperkt aantal PFAS. De afleiding van normen is namelijk gebaseerd op toxiciteitsstudies, die voor de meerderheid van de PFAS schaars of onbestaande zijn. Voor sommige PFAS zijn individuele normen beschikbaar maar vaak worden normen ook afgeleid voor de som van een bepaald aantal PFAS. Deze som kan verschillen per norm of toetsingswaarde.

Tabel 4 geeft, naar onze beste inzichten, een overzicht van de voornaamste huidige en voorgestelde PFAS normen en toetsingswaarden op Vlaams en Europees niveau voor de milieucompartimenten onderzocht in deze studie. Normen en toetsingswaarden zijn onderverdeeld volgens beschermingsniveau, zijnde directe ecotox (lagere zoetwaterorganismen), humaan of doorvergiftiging (predatorische vogels en zoogdieren). Het minimum en maximum van de aantoonbaarheidsgrenzen gerapporteerd in deze studie zijn weergegeven ter vergelijking met de norm en toetsingswaarde. Bij gebrek aan een norm voor HFPO-DA in Vlaanderen werd de Nederlandse norm, opgesteld door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), hier geïnccludeerd.

Tabel 4: Overzicht van de beschikbare normen en toetsingswaarden per matrix. De geselecteerde toetsingswaarden in deze studie zijn vetgedrukt.

Nr.	Matrix	Beschermings-niveau	Norm of toetsingswaarde	PFAS	Aantoonbaarheidsgrens (min-max)	Referentie
1	Afvalwater	-	0,1 µg/L	Individuele PFAS	0 - 1255 µg/L	VLAREM II (2022) (huidig)
2		-	0,02 of 0,05 µg/L	Individuele PFAS	0 - 1255 µg/L	WAC/IV/A/025 (2022) (ontwerp)
3	Oppervlakte-water	Humaan (vis)	0,00065 µg/L	PFOS	0,00165 – 0,015 µg/L	EC (2011) (huidig)
4		Humaan (vis)	0,000045 µg/L	PFOS	0,00165 – 0,015 µg/L	
5		Humaan (vis)	0,00022 µg/L	PFOA	0,001 – 0,005 µg/L	EC (2021) (ontwerp)
6		Doorvergiftiging (vis)	0,002 µg/L	PFOS	0,00165 – 0,015 µg/L	EC (2011) (huidig)
7		Doorvergiftiging (vis)	6,667 µg/L	PFOA	0,001 – 0,005 µg/L	EC (2021) (ontwerp)
8		Doorvergiftiging (mollusk)	0,9 µg/L	PFOA	0,001 – 0,005 µg/L	EC (2021) (ontwerp)
9		Directe ecotox	0,023 µg/L (JG)	PFOS	0,00165 – 0,015 µg/L	EC (2021) (ontwerp)
10		Directe ecotox	25 µg/L (MAC)	PFOS	0,00165 – 0,015 µg/L	EC (2021) (ontwerp)
11		Humaan (drinkwater)	0,0044 µg/L (JG)	Σ₂₄PFAS (PFOA eq.)³	-	EC (2021) (ontwerp)
12		Waterbodembodem	-	8 µg/kg ds	PFAS totaal	-
13	-		3 µg/kg ds	PFOS/PFOA	0,10 – 0,50 µg/kg ds	OVAM (2020) (huidig)
14	Directe ecotox		13,5 µg/kg ds	PFOS	0,10 – 0,50 µg/kg ds	EC (2021) (ontwerp)
15	Biota	Humaan (vis)	9,1 µg/kg ng	PFOS	0,00021 – 0,00021 µg/kg ng	EC (2011) (huidig)
16		Humaan (vis)	0,077 µg/kg ng	Σ₂₄PFAS (PFOA eq.)³	-	EC (2021) (ontwerp)
17		Humaan (vis)	2,6 µg/kg ng	HFPO-DA	0,00021 – 0,00021 µg/kg ng	RIVM (2020) (huidig)
18		Doorvergiftiging (vis)	33 µg/kg ng	PFOS	0,00021 – 0,00021 µg/kg ng	EC (2011) (huidig)
19		Doorvergiftiging (vis)	22,3 µg/kg ng	Σ ₂₄ PFAS (PFOA eq.) ³	-	EC (2021) (ontwerp)
20		Doorvergiftiging (mollusk)	6,2 µg/kg ng	Σ ₂₄ PFAS (PFOA eq.) ³	-	EC (2021)(ontwerp)
21	Grondwater	Humaan	0,5 µg/L	PFAS totaal	-	EU (2020), drinkwaterrichtlijn (huidig)
22		Humaan	0,1 µg/L	Σ₂₀PFAS¹	-	EU (2020), drinkwaterrichtlijn (huidig)
23		Humaan	0,0038 µg/L	Σ₄PFAS²	-	EFSA (2020) (ontwerp)
24		Humaan	0,0044 µg/L	Σ₂₄PFAS (PFOA eq.)³	-	EC (2021) (ontwerp)
25		Humaan	0,120 µg/L	PFOS PFOA	0,0002 – 0,01 µg/L 0,00015 – 0,001 µg/L	OVAM (2020) (huidig)

¹Σ₂₀PFAS: PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDODS, PFTTrDS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDODA, PFTTrDA

²Σ₄PFAS: PFHxS, PFOS, PFOA, PFNA

³Σ₂₄PFAS: PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFDS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDODA, PFTTrDA, PFTeDA, PFHxDA, PFODA, HFPO-DA, ADONA, 6:2 fluorotelomer alcohol (FTOH), 8:2 FTOH, and perfluoro ([5-methoxy-1,3-dioxolan-4-yl]oxy) acetic acid (C6O4).

In het kader van deze studie werden hoofdzakelijk normen en toetsingswaarden geselecteerd ter bescherming van de humane gezondheid (via consumptie van vis of drinkwater). In het algemeen zijn de humane gezondheidstoetsingswaarden ook strenger dan de toetsingswaarden voor milieu (ecotoxiciteit) en doorvergiftiging van de hogere trofische niveau's (vogels en zoogdieren) en worden deze dan ook verondersteld bescherming te garanderen voor de rest van het milieu.

De verscheidenheid aan normen en toetsingswaarden bemoeilijkt echter de interpretatie van overschrijdingen op verschillende vlakken. Vooreerst zijn er bestaande normen en ontwerpnormen of toetsingswaarden. Deze ontwerpnormen zijn vaak strenger dan de huidige normen door nieuwe, recente toxicologische inzichten. Zo is de humane ontwerpnorm voor PFOS in oppervlaktewater bijvoorbeeld ongeveer een factor 100 lager dan de huidige norm (Tabel 4, norm nr. 3 en 4).

Ten tweede, een aantal (geselecteerde) normen en toetsingswaarden liggen onder de aantoonbaarheidsgrens (AG). Dit is bijvoorbeeld het geval voor zowel de huidige als de voorgestelde humane toetsingswaarde voor PFOS in oppervlaktewater (Tabel 4, norm nr. 3 en 4). Dit houdt in dat alle metingen met concentraties onder de aantoonbaarheidsgrens niet betrouwbaar kunnen getoetst worden aan de norm, aangezien de chemische analyse niet altijd gevoelig genoeg is om de PFAS-verbinding in dermate lage concentratie te kunnen detecteren.

Ten derde, sommige normen en toetsingswaarden zijn opgesteld voor een som van PFAS concentraties (absoluut of in PFOA equivalenten) wat, afhankelijk van de PFAS compositie van de som, gemengde conclusies kan opleveren met betrekking tot overschrijding en risico. De volgende sommen zijn gebruikt voor toetsing:

- PFAS totaal (of Σ PFAS): som van alle gemeten PFAS (kan dus verschillen per matrix);
- Σ_{20} PFAS (EU Drinkwaterrichtlijn): PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS, PFTTrDS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA;
- Σ_4 PFAS (EFSA): PFHxS, PFOS, PFOA, PFNA;
- Σ_{24} PFAS als PFOA equivalent (EU Drinkwater- en Grondwaterrichtlijn): PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFDS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA, PFTeDA, PFHxDA, PFOA, HFPO-DA, ADONA, 6:2 FTOH, 8:2 FTOH and C6O4.

Tot slot kan de afleiding van humane toetsingswaarden voor visconsumptie worden uitgedrukt in PFAS in vis of in water. De blootstelling van mensen via visconsumptie wordt meegenomen in de afleiding van waterkwaliteitsnormen volgens de methodiek van de Kaderrichtlijn Water (KRW; EC, 2018). Eén van de doelen van de KRW is namelijk dat de voedselketen wordt beschermd, zodat mensen dagelijks wild gevangen vis kunnen eten zonder gezondheidseffecten te ondervinden. De norm in visconcentratie, een biotanorm genoemd, dient direct te worden getoetst aan effectieve metingen van deze stoffen in vissen. De KRW geeft echter ook de mogelijkheid om de biotanorm om te rekenen naar een bijhorende concentratie in water. Dit wordt gedaan met behulp van gegevens over de opname (bioaccumulatie) van de desbetreffende stof door vissen uit het water. Deze opname wordt uitgedrukt in een bioaccumulatiefactor (BAF). Door de concentratie in vis te delen door de BAF, kan een concentratie in water benaderd worden.

Als er geen meetgegevens zijn voor vis, kunnen dus in principe de concentraties gemeten in oppervlaktewater vergeleken worden met de omgerekende waternorm. Echter, voor bioaccumulatieve stoffen, is het niet ongevoelbaar dat hiermee zeer lage oppervlaktewaternormen worden bekomen, die niet of moeilijk detecteerbaar zijn met huidige analytische technieken. Bovendien kan deze berekening zeer onzeker zijn, aangezien ze gepaard kan gaan met een toepassing van een bioaccumulatiefactor (BAF) in een concentratiebereik waarvoor nooit experimentele BAFs bepaald werden.

Toetsing aan een lagere, omgerekende waternorm kan er dus voor zorgen dat de gemeten waterconcentraties een risico voorspellen, terwijl concentraties in vis als veilig worden beoordeeld. Om deze redenen, wordt er typisch voorkeur gegeven aan het direct vergelijken van concentraties in biota met biotanormen i.p.v. indirect met omgerekende waternormen.

2.4. GEBRUIKTE ANALYSE- EN VISUALISATIETECHNIKEN

Cumulative frequentiegrafieken stellen de effectief waargenomen cumulatieve distributie voor van de frequentie van de gemeten concentraties. De x-as is concentratie; de y-as is de waargenomen cumulatieve frequentie (in %). De cumulatieve waarschijnlijkheid ('cumulative probability') op de y-as geeft de proportie weer van stalen die kleiner dan of gelijk aan een bepaalde concentratie x horen. Eén punt stelt een meetlocatie voor (tenzij voor afvalwater waar de toetsingwaarde per meting moet gedaan worden). Deze grafieken laten bijgevolg gemakkelijk toe om percentielen af te lezen en eveneens om gedetecteerde en niet gedetecteerde resultaten voor te stellen.

Een **box-and-whisker plot** visualiseert de spreiding van de data en geeft duidelijk de beschrijvende statistische waarden weer. De onder-, midden- en bovengrens van een boxplot stelt respectievelijk het eerste kwartiel (of 25^{ste} percentiel), de mediaan (of de 50^{ste} percentiel) en het derde kwartiel (of the 75^{ste} percentiel) voor. De onder- en bovengrens van het lijnstuk stelt respectievelijk het minimum en maximum (zonder outliers) voor. Hiermee kan ook de aanwezigheid van potentiële uitschieters worden gedetecteerd. Uitschieters in deze context kunnen wijzen op technische artefacten tijdens de meting maar potentieel ook op stalen waar uitzonderlijk hoge concentraties gemeten worden. Deze laatste zijn uitermate interessant om meer in detail te bekijken en proberen te koppelen aan andere omgevingsfactoren. De box-and-whisker plots werden gebruikt om impact per motief of bron en/of per PFAS stof te beoordelen. Deze plots kunnen als kenmerkende PFAS **fingerprinting** worden beschouwd om vergelijkingen tussen bronnen en tussen matrices te maken (zoals bijvoorbeeld in Langberg et al. (2022)). PFAS-profielen zijn een handige weergave van welke PFAS dominant zijn in het mengsel en welke minder dominant. PFAS-concentraties worden hierbij voor iedere stof proportioneel berekend t.o.v. alle gedetecteerde PFAS in het mengsel.

Het doel van de **Principale Componenten Analyse (PCA)** is om de onderlinge verbanden na te gaan van de verschillende PFAS binnen een dataset. Door middel van datareductie worden bij de PCA componenten (principale componenten) gebouwd uit een samenstelling van PFAS die sterk met elkaar verbonden zijn. Voor de PFAS analyse geeft de PCA weer welke stalen een gelijkaardig PFAS profiel hebben en welke PFAS stoffen dit profiel bepalen. Bovendien kan gemakkelijk gevisualiseerd worden in welke mate een bepaald motief een rol speelt voor het PFAS profiel.

Om dit alles eenvoudig te visualiseren worden twee principale componenten ten opzichte van elkaar uitgezet in een **biplot**. Wat men leert uit de biplots:

1. De afstand tussen de punten (=stalen): Indien de punten dicht bij elkaar liggen, hebben deze een vergelijkbaar PFAS profiel.
2. Lengte van de vectoren (individuele PFAS stoffen) en de hoeken tussen de vectoren: Kleine hoeken tussen de vectoren impliceren een hoge correlatie terwijl loodrechte hoeken een lage correlatie impliceren. De lengte van de vectoren geeft een maat voor de correlatie.
3. Positie van de punten ten opzichte van de vectoren: Wanneer de punten zich dicht bij de vectoren bevinden, wijst dit erop dat de stalen relatief hoge waarden hebben voor deze PFAS stof en vice versa.

Daarnaast kan de PCA ook gebruikt worden voor een verkennende **clusteranalyse** door de stalen een kleur te geven naargelang een gekozen variabele. In de PFAS analyse is het interessant om na te gaan in hoeverre de stalen clusteren volgens het gekozen motief en, in het geval van afvalwater, de gekozen sector.

Een verdere mogelijkheid met PCA technieken is het uitvoeren van een **co-inertie analyse**. Met deze techniek wordt bekeken hoe gelijkaardig de patronen in twee datasets zijn. Dit wordt gedaan door de PCA analyses van twee datasets te vergelijken. De gelijkheid tussen beide datasets wordt uitgedrukt in de RV coëfficiënt. De RV kan een waarde tussen 0 en 1 zijn. Waardes dichter bij 1 duiden op datasets die meer gelijkaardige trends vertonen. De co-inertie analyse werd gebruikt om na te gaan of individuele PFAS-concentraties tussen verschillende matrices een gelijkaardige trend vertonen m.a.w. vinden we dezelfde PFAS profielen terug tussen gelinkte metingen bv. een afvalwater emissiepunt en het oppervlaktewater stroomafwaarts.

Alle datamanipulaties staan beschreven in Bijlage 2.

2.5. VERGELIJKING MET BUURLANDEN

Om de resultaten van de PFAS-verspreiding in Vlaanderen te plaatsen in een bredere context, worden de concentraties (waar beschikbaar) vergeleken met deze in Wallonië en de buurlanden. Voor een eenvoudige vergelijking worden de resultaten van de literatuurstudie telkens per milieucompartiment weergegeven in een overzichtstabel waarin mediaan en/of gemiddelde uit de verschillende publicaties naast elkaar worden gelegd. Zowel institutioneel gepubliceerde rapporten als internationale wetenschappelijke publicaties (*peer-reviewed*) werden gebruikt. In eerste instantie is de bedoeling van deze literatuurstudie om een vergelijking te maken tussen Vlaanderen en naburige regio's/landen op basis van bemonsteringslocaties die representatief zijn voor het hele land.

Aangezien gemiddeldes sterk beïnvloed worden door extreme waarden, zoals deze gemeten in hotspot locaties, kan dit een vertekend beeld geven van de algemene contaminatiegraad. Daarom werd de voorkeur gegeven aan een vergelijking op basis van mediane waarden.

3. RESULTATEN PFAS IN VLAANDEREN

Per matrix worden de resultaten gegeven van de verschillende onderzoeksvragen: welke PFAS worden gedetecteerd, welke concentraties PFAS worden waargenomen, hoeveel norm- of toetsingswaardenoverschrijdingen worden waargenomen, hebben motieven impact op PFAS concentraties en PFAS profiel en wat is de verspreiding van PFAS in Vlaanderen en hoe verhoudt zich dit tot onze buurlanden en -gewest?

De temporele variatie (looptijd meetgegevens is drie kwart van een jaar) werd ook bestudeerd. De resultaten zijn weergegeven in digitale annex maar niet verder besproken hier (zie Annex "02 Temporele trends"). In de verschillende milieumatrices kon, op enkele uitzonderingen na, geen echte temporale (seizoens)trend worden waargenomen. Voor freatisch grondwater loopt momenteel een vervolgcampagne waarbij de variatie in tijd zal worden nagegaan.

3.1. AFVALWATER

3.1.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?

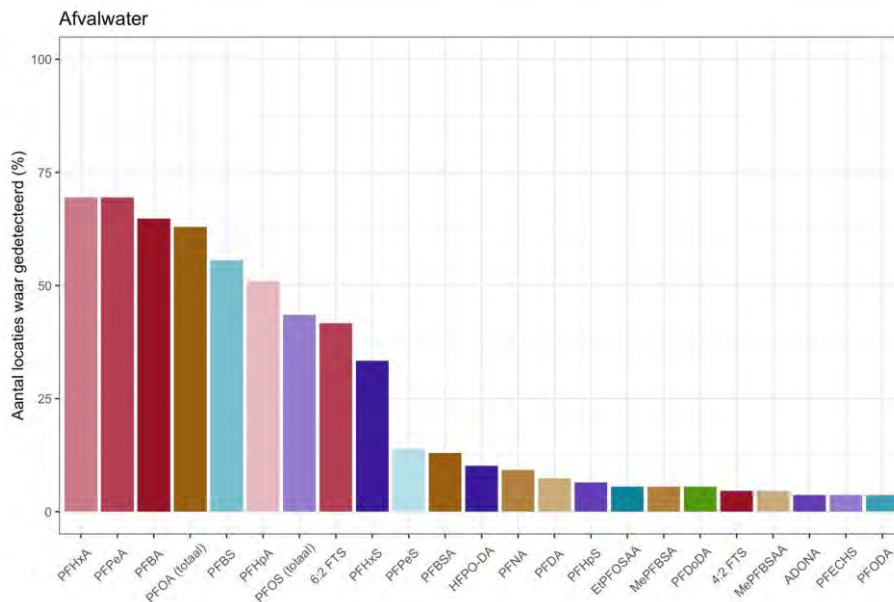
Van de 43 onderzochte PFAS-parameters werden er 34 gedetecteerd in het afvalwater. De 9 stoffen die niet werden teruggevonden, worden gekenmerkt door langere koolstofketens, die minder oplosbaar zijn in water. In Tabel 5 worden de resultaten weergegeven van de gedetecteerde PFAS-verbindingen.

Tabel 5: Synthese analyseresultaten van PFAS in afvalwater. Op basis van de rapporteringsgrens (RG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de RG, werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.

PFAS	Aantal plaatsen gedetecteerd (>RG)	% Aantal plaatsen gedetecteerd (>RG)	P50-concentratie (µg/L)	P90-concentratie (µg/L)	Max concentratie (µg/L)
<i>Sulfonzuren</i>					
PFBS	60	56	<RG	0,4	9,3
PFPeS	15	14	<RG	<RG	1,0
PFHxS	36	33	<RG	0,03	3,0
PFHpS	7	6	<RG	<RG	0,5
PFOS (totaal)	47	44	<RG	0,07	23
PFNS	0	0	<RG	<RG	<RG
PFDS	1	1	<RG	<RG	0,06
PFUnDS	0	0	<RG	<RG	<RG
PFDoDS	0	0	<RG	<RG	<RG
PFTTrDS	0	0	<RG	<RG	<RG
PFECHS	4	4	<RG	<RG	0,09
<i>Carbonzuren</i>					
PFBA	70	65	<RG	0,5	38
PFPeA	75	69	<RG	0,2	19
PFHxA	75	69	0,01	0,3	7
PFHpA	55	51	<RG	0,08	4,9
PFOA (totaal)	68	63	0,01	0,1	14
PFNA	10	9	<RG	<RG	0,3
PFDA	8	7	<RG	<RG	0,7
PFUnDA	3	3	<RG	<RG	0,2
PFDoDA	6	6	<RG	<RG	0,1
PFTTrDA	1	1	<RG	<RG	0,03
PFTeDA	1	1	<RG	<RG	0,1
PFPeDA	1	1	<RG	<RG	0,06
PFHxDA	3	3	<RG	<RG	0,07
PFODA	4	4	<RG	<RG	0,09

<i>Ether carbonzuren</i>					
HFPO-DA	11	10	<RG	<RG	0,7
ADONA	4	4	<RG	<RG	6,4
<i>Fluorotelomeersulfonzuren</i>					
4:2 FTS	5	5	<RG	<RG	0,1
6:2 FTS	45	42	<RG	0,2	4,4
8:2 FTS	2	2	<RG	<RG	0,05
10:2 FTS	0	0	<RG	<RG	<RG
<i>Fluorotelomeerfosfaatdiesters</i>					
6:2 diPAP	0	0	<RG	<RG	<RG
8:2 diPAP	2	2	<RG	<RG	1,9
6:2/8:2 diPAP	0	0	<RG	<RG	<RG
<i>Sulfonamides</i>					
PFBSA	14	13	<RG	<RG	4,7
MePFBSA	6	6	<RG	<RG	4,3
MePFBSAA	5	5	<RG	<RG	27
PFHxSA	2	2	<RG	<RG	5,7
PFOSA (totaal)	2	2	<RG	<RG	3,3
MePFOSA	0	0	<RG	<RG	<RG
MePFOSAA	3	3	<RG	<RG	2,9
EtPFOSA	0	0	<RG	<RG	<RG
EtPFOSAA	6	6	<RG	<RG	2,0

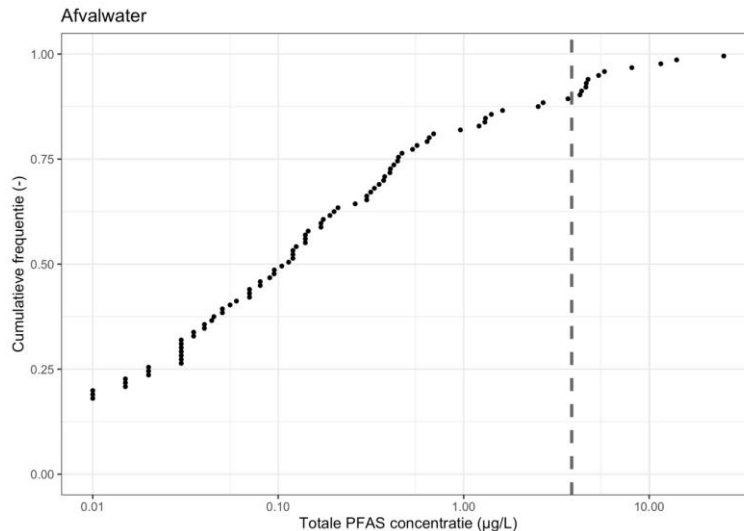
In Figuur 2 wordt per PFAS-parameter het procentueel aantal meetlocaties weergegeven waar de gemeten waarden boven de rapporteringsgrens (RG) ligt. Volgende stoffen komen voor in minstens de helft van de meetlocaties (dus minimaal één meting boven de RG op een locatie): PFPeA (69%), PFHxA (69%), PFOA (63%), PFBA (62%), PFBS (56%) en/of PFHpA (51%). Verder komen PFOS, 6:2 FTS en PFHxS op minstens 25% van de meetlocaties voor. Met uitzondering van PFPeS (14%), PFBSA (13%) en HFPO-DA (10%), komen de andere stoffen die werden gedetecteerd in het afvalwater op minder dan 10% van de meetlocaties voor.



Figuur 2: Percentage locaties met concentraties boven de rapporteringsgrens (RG) in afvalwater. Enkel de 23 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplott.

3.1.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?

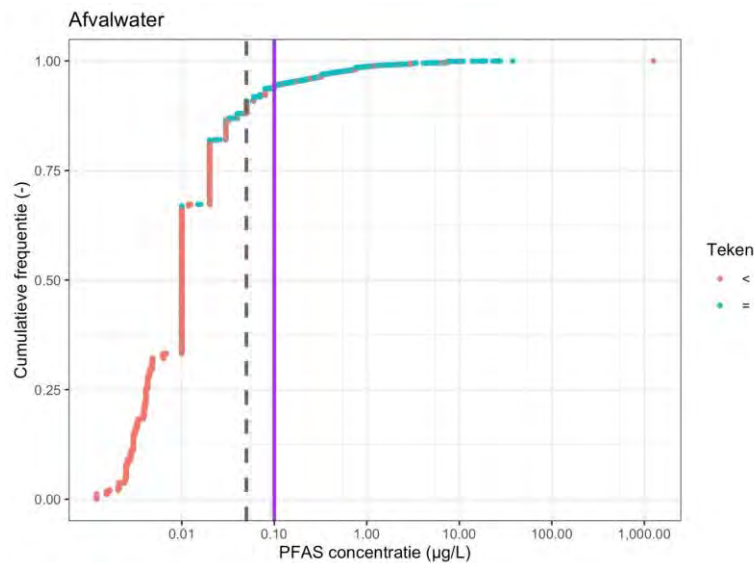
In de helft van de locaties in Vlaanderen wordt een totaal PFAS van meer dan 0,1 $\mu\text{g/L}$ waargenomen. Het 90^{ste} percentiel van het geobserveerde totale PFAS-gehalte bedraagt 3,8 $\mu\text{g/L}$. Dit betekent dat in 10% van de gemeten locaties, een concentratie hoger dan 3,8 $\mu\text{g/L}$ totale PFAS gevonden werd. De maximum waarneming is 25,2 $\mu\text{g/L}$ totaal PFAS (zie Figuur 3).



Figuur 3: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in afvalwater in Vlaanderen (1 punt is gemiddelde per meetlocatie). De grijze stippellijn: 90^{ste} percentiel.

3.1.3. HOEVEEL OVERSCHRIJDINGEN WORDEN WAARGENOMEN?

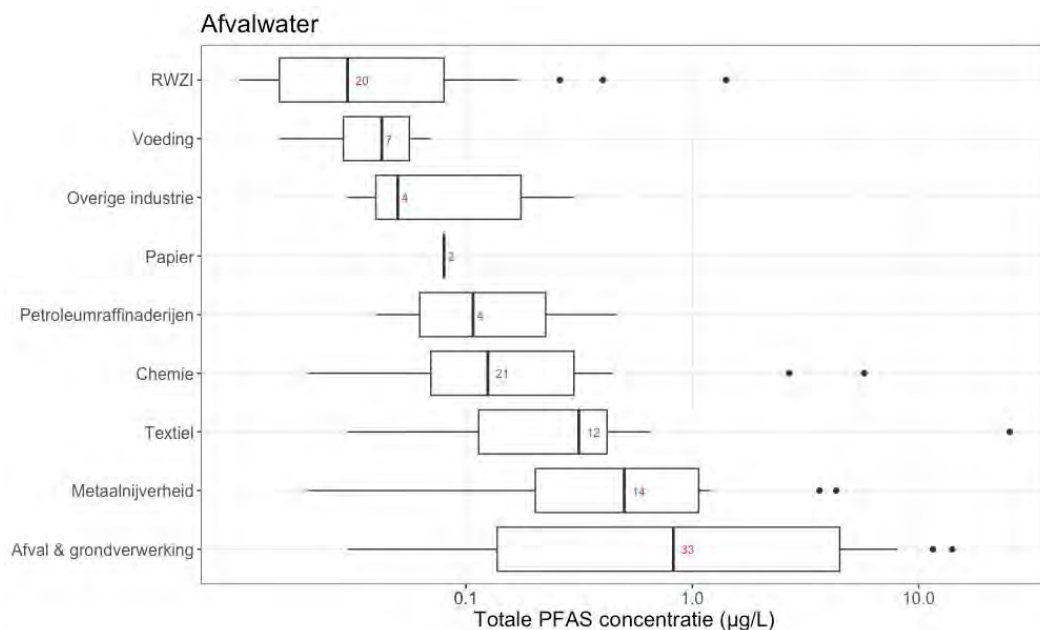
Voor afvalwater is de norm afhankelijk van de vergunning per bedrijf en/of sector. Hier werd getoetst met een algemene norm van 100 ng/L per individuele component. Figuur 4 geeft aan dat slechts een kleine fractie (ca. 5%) van de individuele PFAS componenten werd overschreden. In geval van mogelijke toekomstige toetsingswaarden van 20 of 50 ng/L zal een grotere fractie van de locaties overschreden worden maar blijft nog altijd beperkt tot <25%. In ongeveer 90% van de stalen is PFAS niet aantoonbaar.



Figuur 4: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS in afvalwater in Vlaanderen. Rode punten: gemeten concentraties onder RG. Groene punten: effectief gekwantificeerde concentraties. De paarse lijn: PFAS norm van 100 ng/L. De grijze stippellijn: 90^{ste} percentiel.

3.1.4. HEBBEN MOTIEVEN (SECTOREN AFVALWATER) IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?

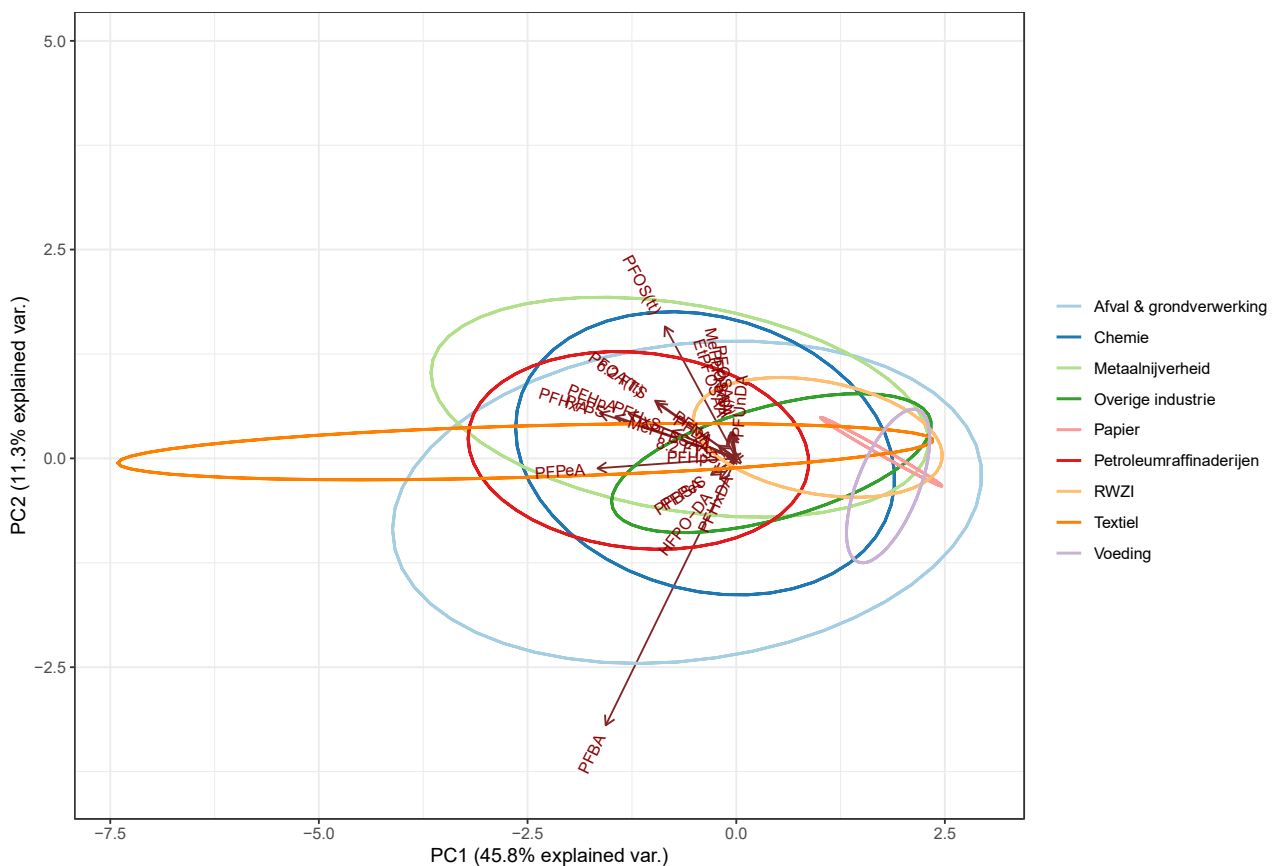
De verschillende motieven tonen gelijkaardige PFAS totaal concentraties. Het verschil tussen de laagste mediaan (voor RWZI of RioolWaterZuiveringsInstallatie) en de hoogste mediaan (voor afval- en grondverwerking) is ongeveer een factor 10x (zie Figuur 5). Afval- en grondverwerking tonen de breedste variantie en de hoogste mediaan.



Figuur 5: Boxplot voor PFAS totaal in afvalwater in Vlaanderen per motief (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per tijdstip het totaal PFAS-gehalte bepaald,

waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.

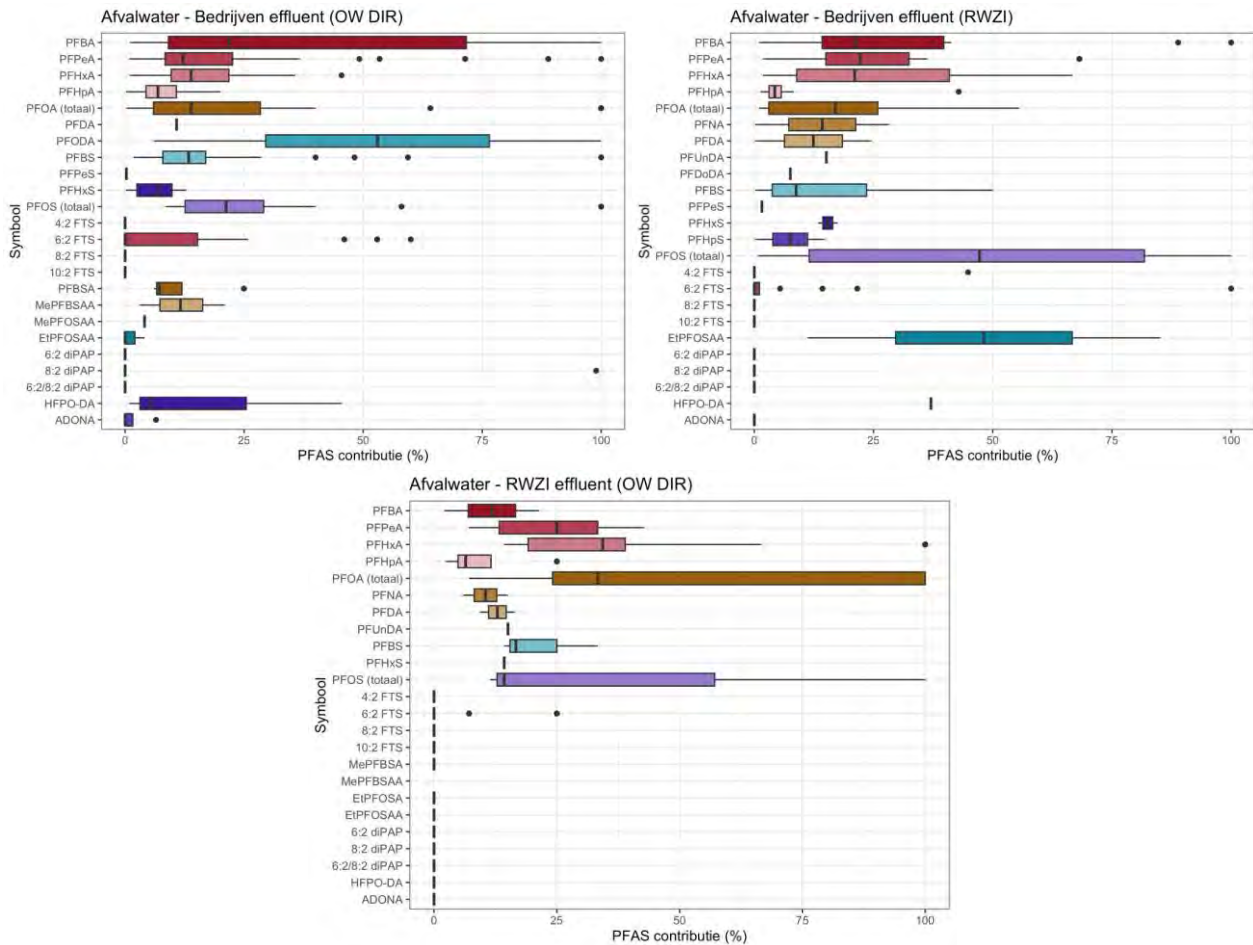
De PCA analyse in Figuur 6 geeft een zelfde beeld, maar laat ons toe ook meer naar individuele PFAS-stoffen te kijken. PC1 is duidelijk de dominante principale component (45,8% variatie verklaard), PC2 verklaart een kleiner aandeel van de variatie (11,3%). De sectoren RWZI, papier, voeding en overige industrie bevinden zich duidelijk aan de rechterkant van de biplot, terwijl de pijlen (PFAS-stoffen) naar links wijzen. Deze sectoren hebben de laagste geobserveerde PFAS stoffen. De andere sectoren bevinden zich meer verspreid en binnen deze sectoren zijn er dus zowel meetlocaties met hoge als lage PFAS concentraties. Er zijn ook enkele duidelijk hogere uitschieters naar links voor textiel, afval- en grondverwerking en metaalnijverheid.



Figuur 6: Biplot voor afvalwater, per sector. Ellipsen geven aan waar 95% van de metingen per sector zich bevinden.

3.1.5. HEBBEN LOZINGSWIJZE OF SECTOR IMPACT OP PFAS PROFIEL?

Tussen de drie motieven (lozingswijzen afvalwater) zijn duidelijke verschillen te merken in Figuur 7. Het motief Bedrijven lozend op effluent RWZI wordt gekenmerkt door hoge contributies van PFOS en EtPFOSAA. Bedrijven effluent (OW DIR, rechtstreeks lozend op oppervlaktewater) heeft duidelijk één dominante PFAS stof: PFODA (en PFBA in sommige gevallen). Voor het motief RWZI effluent (OW DIR, rechtstreeks lozend op oppervlaktewater) zijn er een paar dominante PFAS te zien (PFHxA, PFOA (totaal) en PFPeA; PFOS in sommige gevallen).



Figuur 7: Fingerprint voor afvalwater per motief. Per PFAS geeft de box het 25ste en 75ste percentiel aan, de lijn de mediane contributie.

Voor gedetailleerde fingerprinting per sector, wordt verwezen naar Figuur 8 en de digitale annex: Annex “03 Fingerprinting”. Daar kan voor afvalwater per sector, de contributie van een bepaalde PFAS-verbinding tot het totaalgehalte gevonden worden. Tabel 6 toont welke PFAS-verbindingen dominant zijn in de fingerprinting, d.w.z., welke PFAS-stoffen een hoge contributie hebben tot het totaalgehalte PFAS in het afvalwater van een bepaalde sector.

Duidelijk verschillen zijn zichtbaar in dominante PFAS stoffen in het afvalwater tussen de verschillende sectoren (Tabel 6). Voor de papier-sector is er een duidelijke dominantie van 6:2 FTS. Voor de metaalnijverheid is PFOS vooral dominant. In de afval- en grondverwerking worden ook PFBA, PFOA, 8:2 diPAP en HFPO-DA waargenomen als kenmerkende dominante PFAS verbindingen in het effluent. In de RWZI is er een divers profiel van dominante stoffen, waar naast PFOA en PFOS, ook PFHxA en PFPeA als dominante stoffen aanwezig zijn. In de overige industrie, zijn PFHxA en PFPeA ook dominant aanwezig in het afvalwater. Aangezien informatie over gebruik van PFAS in productieprocessen weinig gekend en niet direct voorhanden is, kan geen verdere verklaring worden gegeven voor de dominante PFAS per sector.

Tabel 6: Synthese van dominante PFAS per sector.

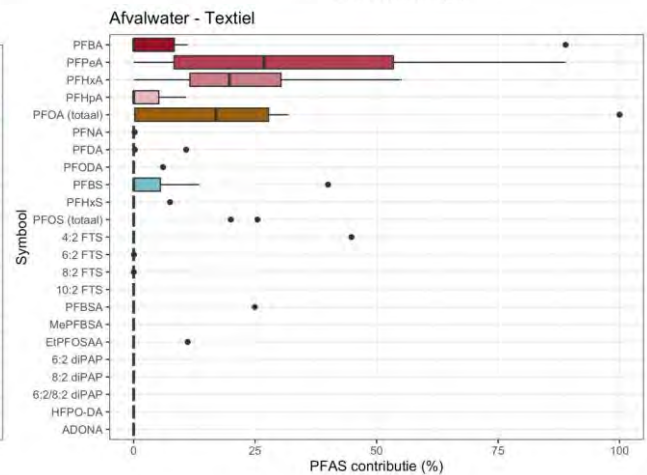
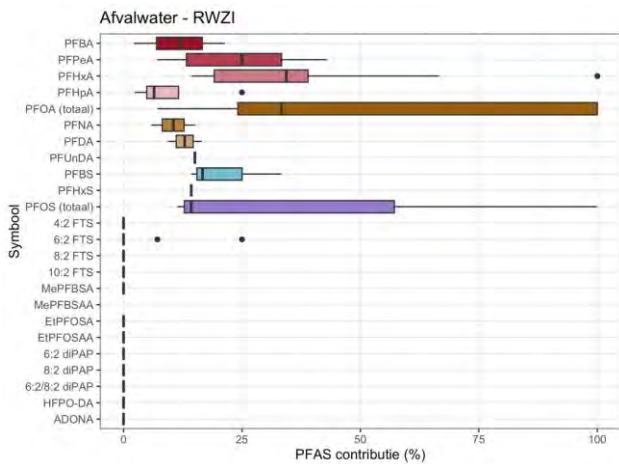
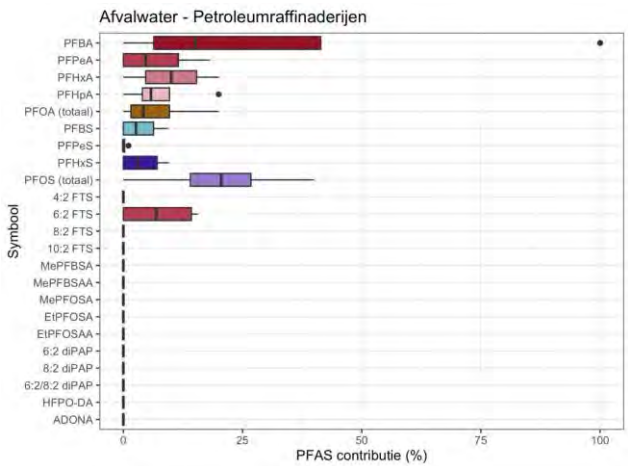
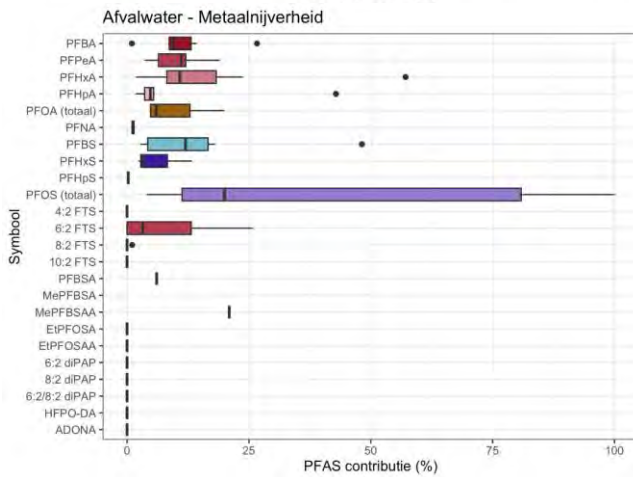
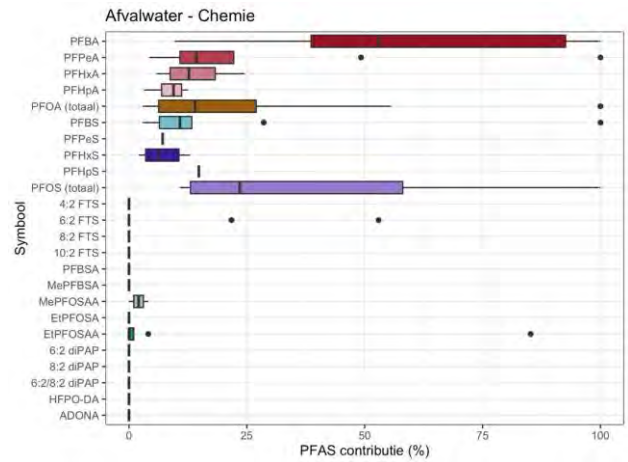
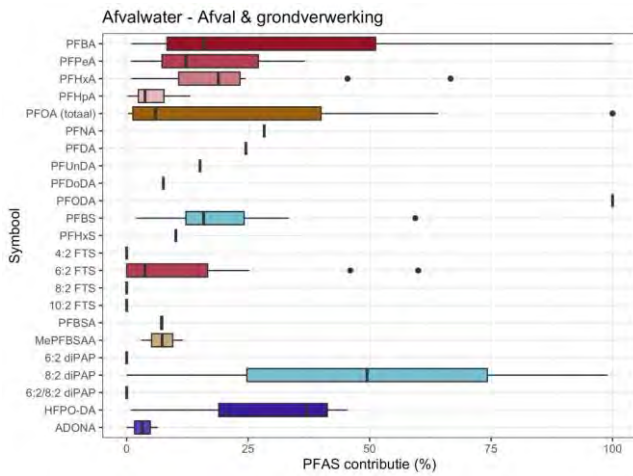
Sector	Dominante PFAS
Afval* & grondverwerking	PFBA, PFOA, 8:2 diPAP, HFPO-DA
Chemie	PFBA, PFOS
Metaalnijverheid	PFOS
Papier	6:2 FTS
Petroleum	PFBA, PFOS
Textiel	PFPeA, PFHxA,...
Voeding	PFBA, PFHxA, PFBS
RWZI	PFOA, PFOS, PFHxA, PFPeA
Overige industrie	PFPeA, PFBA

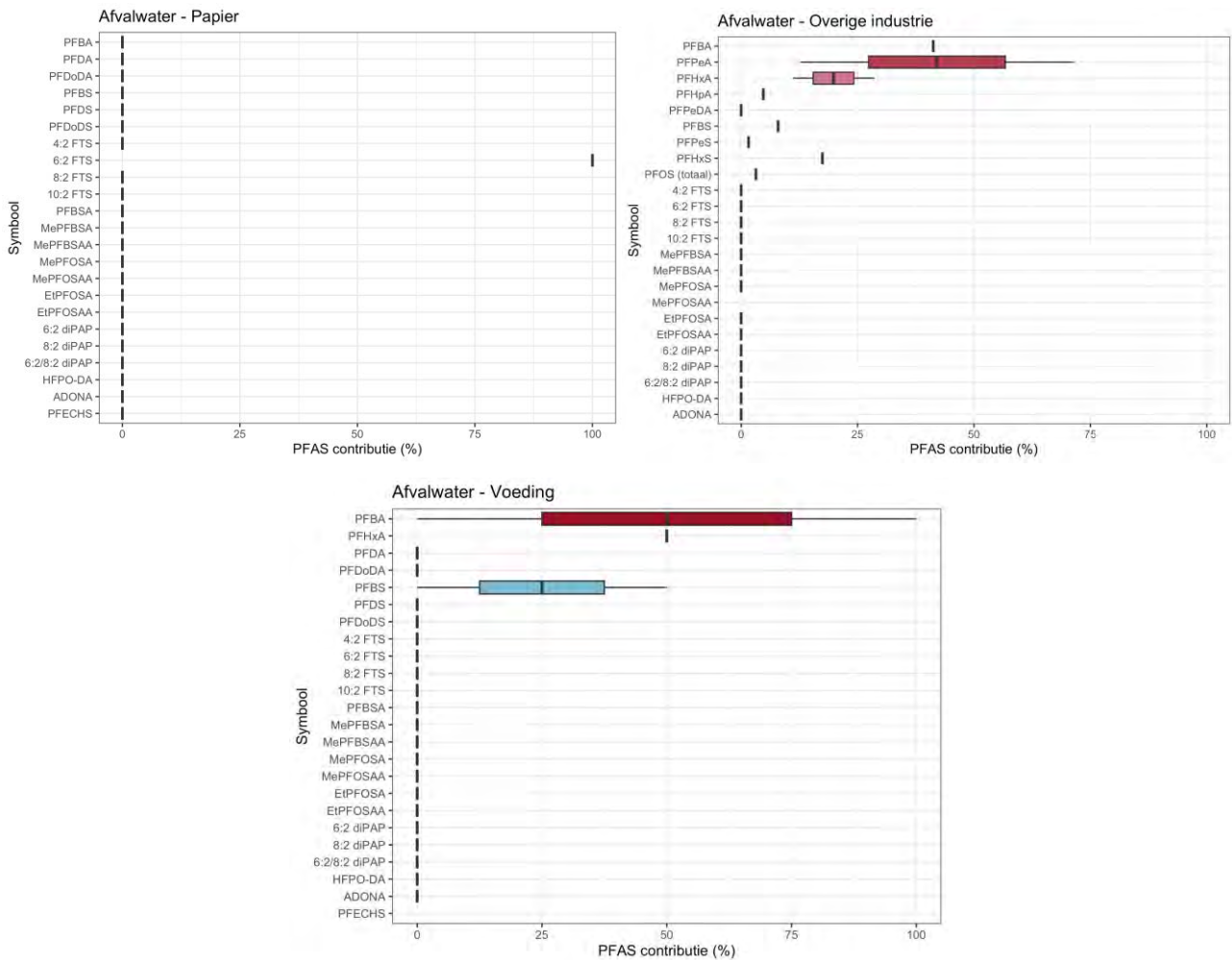
* er werd geen onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire afvalstoffen

Bekeken per individuele PFAS, zijn er een paar opvallende trends.

- PFBA is heel dominant voor de sector voeding, en is ook sterk aanwezig in de sectoren Afval-en grondverwerking en Chemie maar ook in petroleum- en voedingsector. In de PCA is duidelijk dat vooral de afval- en grondverwerkingsector de hoogste PFBA concentraties hebben.
- PFOS (totaal) kan vooral sterke contributie hebben in de metaalnijverheid, de chemie en RWZI.
- PFPeA is dominant in textiel en overige industrie.
- PFOA (totaal) is vooral dominant in RWZIs.
- PFHxA is in de meeste sectoren merkbaar aanwezig (behalve voeding)
- 6:2 FTS, PFBS, PFHpA, PFHxS zijn andere PFAS die merkbaar aanwezig zijn in verschillende sectoren.

De PCA analyse bevestigt dat PFHpA, PFBA, PFBS, 6:2 FTS, PFOA (totaal), PFHxA, PFPeA, PFHxS, PFPeS belangrijke PFAS-stoffen zijn om de verschillend tussen de metingen te verklaren (zie varimax scores in 8.1.2). In mindere mate lijken MePFOSAA, EtPFOSAA, PFHxSA en PFOSA (totaal) ook een apart profiel te vormen, maar in lage concentraties (dus lage percentages contributie aan de totale PFAS concentratie) die niet terug komen in de fingerprint plots (Figuur 7 en Figuur 8).





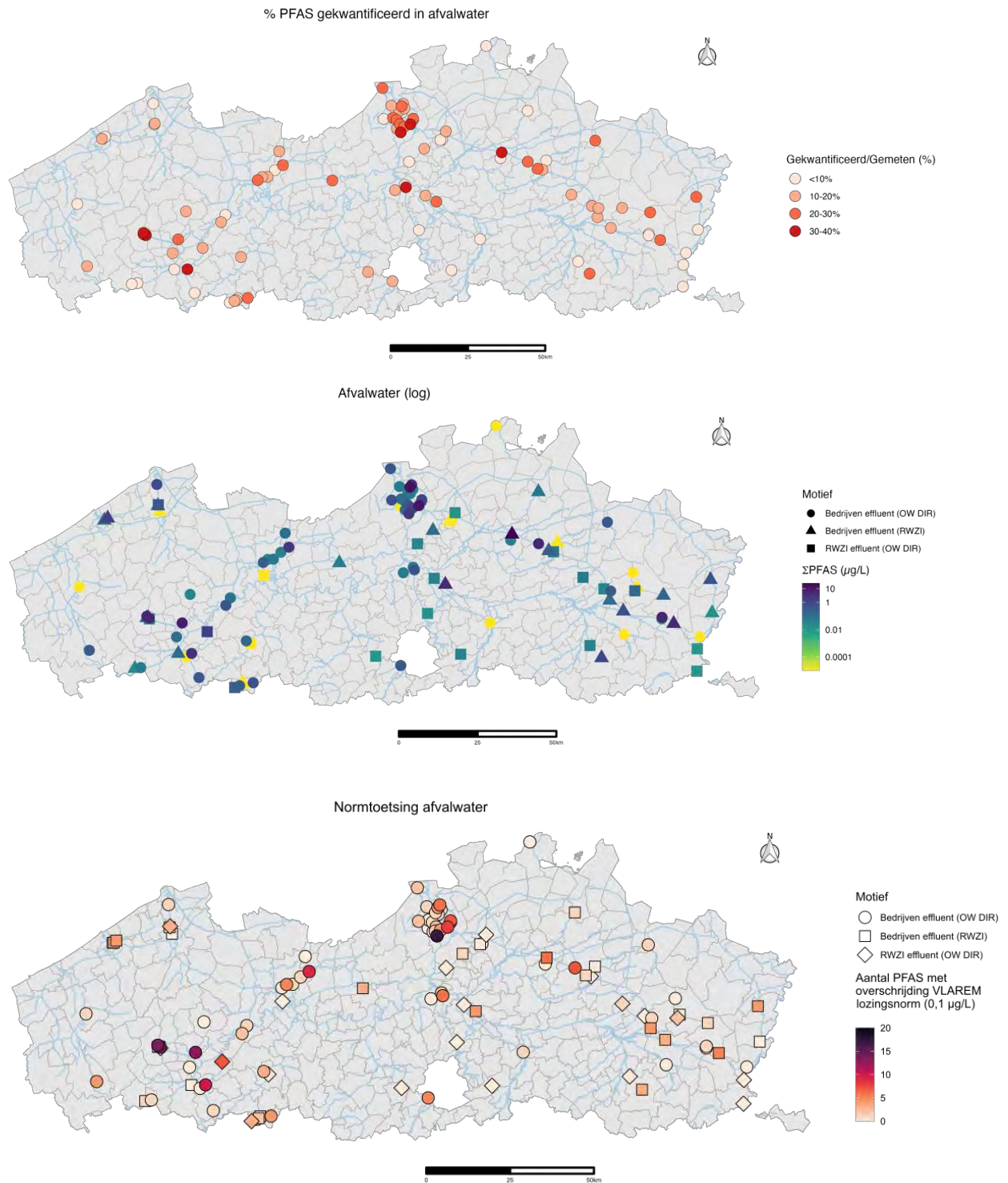
Figuur 8: Fingerprint voor afvalwater per sector. Per PFAS geeft de box het 25ste en 75ste percentiel aan, de lijn de mediane contributie.

3.1.6. VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN

Minimaal werden er in afvalwater 32 PFAS gemeten en maximaal 42. Er werd hoogstens 40 % van de gemeten PFAS gekwantificeerd (Figuur 9 boven). Er werden zeven (van 108) staalnamepunten geïdentificeerd waar meer dan 30 % van de gemeten PFAS werden gekwantificeerd. Deze afvalwaters waren afkomstig van bedrijven gerelateerd aan vervaardiging van andere organische chemische basisproducten (Zwijndrecht), verwerking en verwijdering van ongevaarlijk afval (Roeselare en Antwerpen), activiteiten van industriële wasserijen (Herentals) en terugwinning van metaalafval (Deerlijk en Willebroek). In een derde van alle bemonsterde staalnamepunten kon minder dan 10% van de gemeten PFAS worden gekwantificeerd. Figuur 9 (midden) toont de geografische verspreiding van de Σ PFAS concentraties in afvalwater in Vlaanderen. De hoogste concentraties van Σ PFAS werd gemeten in het effluent van een bedrijf in Herentals (25 $\mu\text{g/L}$; lozing in RWZI), gevolgd door het effluent van twee afvalverwerkingsbedrijven in Antwerpen (14 en 12 $\mu\text{g/L}$, resp.; lozing direct in OW). Andere effluents bevatten Σ PFAS concentraties onder 10 $\mu\text{g/L}$. Voor afvalwater bestaat er een lozingsnorm (i.e. gelijk aan bepalingsgrens voor deze stoffen) van 0,1 $\mu\text{g/L}$ voor individuele PFAS

stoffen. In Fig. 19 (onder) wordt daarom per meetpunt het aantal PFAS getoond die deze lozingsnorm overschrijdt. De meeste individuele overschrijdingen werden teruggevonden in het effluent van een chemiebedrijf in Zwijndrecht (17), twee afvalverwerkingsbedrijven in Roeselare (14) en een afvalwaterverwerkingsbedrijf in Oostrozebeke (13; Σ PFAS: 8 $\mu\text{g/L}$). In 38% van alle meetpunten werd geen enkele overschrijding van de huidige lozingsnorm vastgesteld. De huidige lozingsnorm zal op korte termijn echter dalen van 0,1 $\mu\text{g/L}$ naar 0,02 $\mu\text{g/L}$ voor kwantitatieve stoffen en naar 0,05 $\mu\text{g/L}$ voor indicatieve stoffen. Dit zou het percentage meetpunten zonder overschrijdingen doen dalen naar 16%.

Een vergelijking van PFAS in afvalwater van Vlaanderen met buurlanden wordt bemoeilijkt omwille van verschillen in lozingen en lozingsvergunningen tussen bedrijven, regio's en landen. Er wordt in deze verondersteld dat de verschillen in PFAS concentraties in afvalwater zullen weerspiegeld worden in de ontvangende oppervlaktewateren. In Vlaanderen worden enkele tientallen ng/L voor verschillende PFAS componenten waargenomen, met waarden tot 38 ng/L. Jans en Berbee (2020) rapporteerden analyseresultaten voor meerdere bronnen in Nederland. Dezelfde grootte-orde concentraties kunnen teruggevonden worden.



Figuur 9: Geografische verspreiding van % gekwantificeerde PFAS (bovenaan), Σ PFAS concentratie (midden) en aantal overschrijdingen van de VLAREM lozingsnorm voor individuele PFAS (onderaan).

3.2. OPPERVLAKTEWATER

3.2.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?

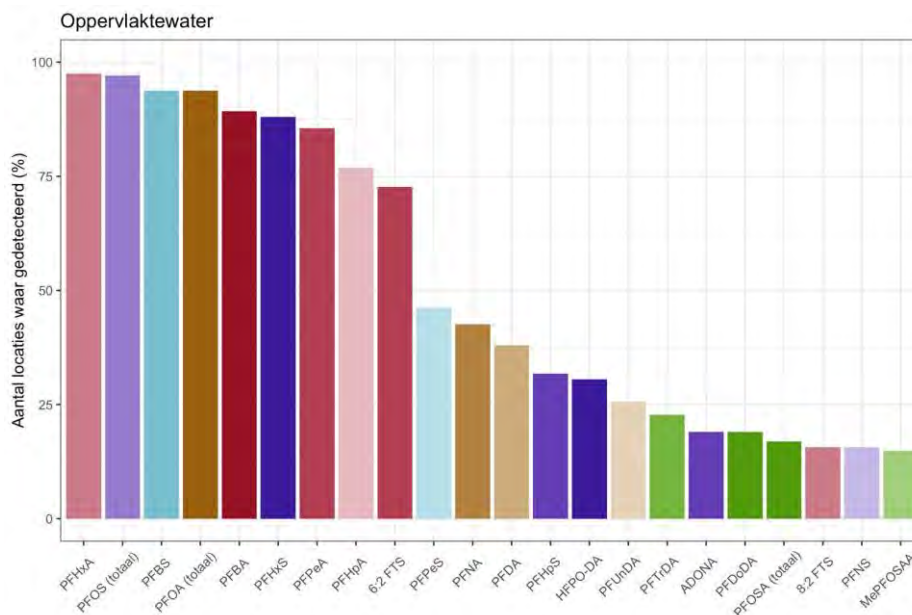
Van de 43 onderzochte PFAS-parameters werden alle verbindingen gedetecteerd in het oppervlaktewater op minstens één locatie. In Tabel 7 worden de resultaten weergegeven van de gedetecteerde PFAS-verbindingen.

Tabel 7: Synthese analyseresultaten van geanalyseerde PFAS in oppervlaktewater. Op basis van de aantoonbaarheidsgrens (AG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de bepaalbaarheidsgrens (BG), werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.

PFAS	Aantal plaatsen gedetecteerd (>AG)	% Aantal plaatsen gedetecteerd (>AG)	P50-concentratie (ng/L)	P90-concentratie (ng/L)	Max concentratie (ng/L)
Sulfonzuren					
PFBS	227	94	2,5	17	7200
PFPeS	112	46	<BG	1,55	3500
PFHxS	213	88	1,35	9,6	34000
PFHpS	77	32	<BG	<BG	1400
PFOS (totaal)	235	97	6	26	48000
PFNS	38	16	<BG	<BG	120
PFDS	29	12	<BG	<BG	160
PFUnDS	4	2	<BG	<BG	230
PFDoDS	3	1	<BG	<BG	320
PFTTrDS	3	1	<BG	<BG	220
PFECHS	32	13	<BG	<BG	71
Carbonzuren					
PFBA	216	89	<BG	84,1	13000
PFPeA	207	86	4,5	27	9700
PFHxA	236	98	5,4	26	27000
PFHpA	186	77	1	11	8500
PFOA (totaal)	227	94	3,85	20	37000
PFNA	103	43	<BG	1,7	210
PFDA	92	38	<BG	3,15	120
PFUnDA	62	26	<BG	<BG	1600
PFDoDA	46	19	<BG	<BG	220
PFTTrDA	55	23	<BG	<BG	800
PFTeDA	33	14	<BG	<BG	78
PFPeDA	13	5	<BG	<BG	420
PFHxDA	31	13	<BG	<BG	72
PFODA	5	2	<BG	<BG	130
Ether carbonzuren					
HFPO-DA	74	31	<BG	<BG	130
ADONA	46	19	<BG	<BG	280
Fluorotelomeersulfonzuren					
4:2 FTS	13	5	<BG	<BG	22
6:2 FTS	176	73	<BG	9,8	2300
8:2 FTS	38	16	<BG	<BG	78
10:2 FTS	7	3	<BG	<BG	3,95
Fluorotelomeerfosfaatdiesters					
6:2 diPAP	10	4	<BG	<BG	31
8:2 diPAP	13	5	<BG	<BG	1900
6:2/8:2 diPAP	1	0	<BG	<BG	11,7
Sulfonamides					
PFBSA	19	8	<BG	<BG	3400
MePFBSA	11	5	<BG	<BG	490
MePFBSAA	16	7	<BG	<BG	1000
PFHxSA	6	2	<BG	<BG	4200
PFOSA (totaal)	41	17	<BG	200	926
MePFOSA	1	0	<BG	<BG	3,8
MePFOSAA	36	15	<BG	<BG	140

EtPFOSA	5	2	<BG	<BG	60
EtPFOSAA	32	13	<BG	<BG	820

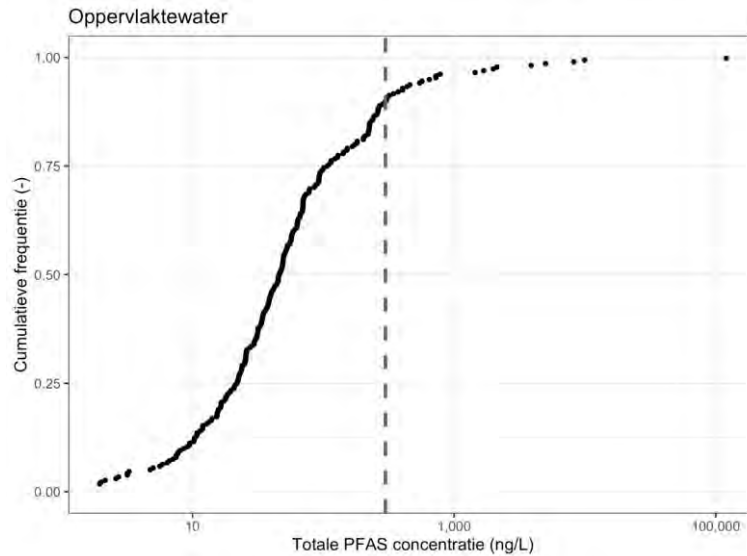
In Figuur 10 wordt per PFAS-parameter het procentueel aantal meetlocaties weergegeven waar de gemeten waarden boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) ligt. Volgende stoffen komen in minstens de helft van de meetlocaties voor (dus minimaal één meting boven de AG op een locatie): PFHxA (98%), PFOS (97%), PFBS (94%), PFOA (94%), PFBA (89%), PFHxS (88%), PFPeA (86%) en/of PFHpA (77%). Verder komen 6:2 FTS, PFPeS, PFNA, PFDA, PFHpS, HFPO-DA en/of PFUnDa op minstens 25% van de meetlocaties voor. De andere stoffen die werden gedetecteerd in het oppervlaktewater komen op minder dan 25% van de meetlocaties voor (Figuur 10).



Figuur 10: Procentueel aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in oppervlaktewater. Enkel de 22 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplot.

3.2.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?

In de helft van de locaties in Vlaanderen wordt een totaal PFAS gehalte van meer dan 45 ng/L waargenomen. In 10 procent van de locaties in Vlaanderen wordt een totale PFAS concentratie van meer dan 293 ng/L waargenomen. De maximum waarneming is 120 µg/L totaal PFAS (Figuur 11).



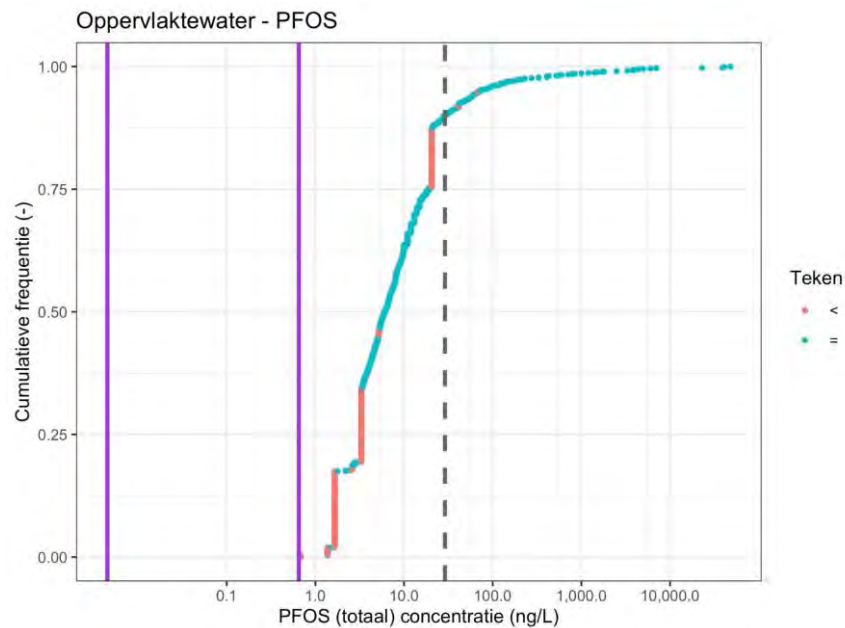
Figuur 11: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in oppervlaktewater in Vlaanderen (1 punt is 1 meetlocatie). De grijze stippellijn: 90^{ste} percentiel.

3.2.3. HOEVEEL OVERSCHRIJDINGEN WORDEN WAARGENOMEN?

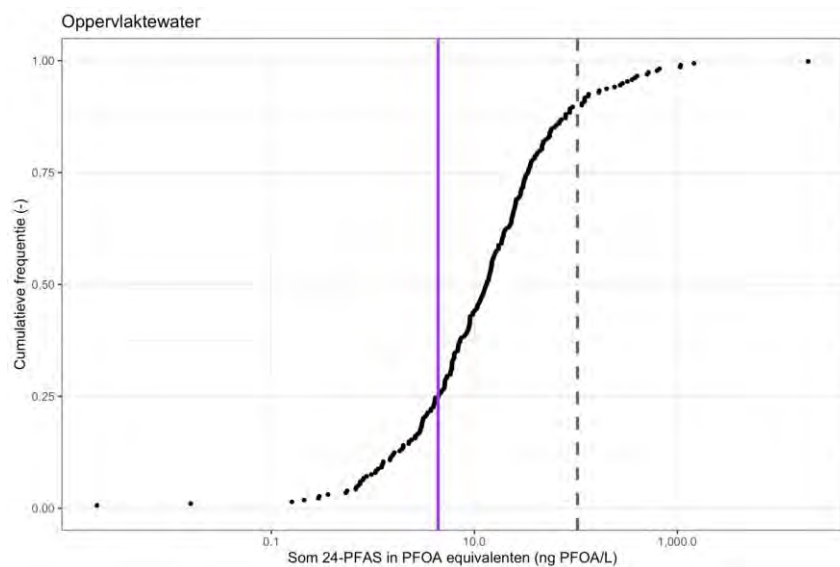
Voor de eerste twee toetsingswaarden (huidige en EU conceptnorm voor PFOS, toepasbaar op humane visconsumptie), zijn er 7 locaties waar de toetsingswaarde niet overschreden wordt. Uit de data blijkt dat voor die locaties de gemeten PFOS-concentraties onder de detectielimiet liggen. Voor de dataverwerking werd de concentratie van deze stoffen op nul gezet. Voor de twee PFOS-toetsingswaarden is er in 97% van de locaties overschrijding (Tabel 8; Figuur 12). De EU conceptnorm van de \sum_{24} PFAS in PFOA-equivalenten (toepasbaar op drinkwaterconsumptie) wordt overschreden in 75% van de gemeten locaties (Tabel 8; Figuur 13).

Tabel 8: Toetsingswaardeoverschrijding van PFAS in oppervlaktewater.

Nr.	Toepasbaar op	Toetsingswaarde	PFAS	Aantal locaties met overschrijdingen	% Aantal locaties met overschrijdingen
1	Humaan (visconsumptie)	0,00065 µg/L	PFOS	235	97%
2	Humaan (visconsumptie)	0,0000045 µg/L	PFOS	235	97%
3	Humaan (consumptie drinkwater)	0,0044 µg/L (JG)	\sum_{24} PFAS (in PFOA eq.)	182	75%



Figuur 12: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFOS in oppervlaktewater in Vlaanderen. Rode punten: gemeten concentraties onder AG. Groene punten: effectief gekwantificeerde concentraties. De paarse lijnen: de PFOS toetsingswaarden van 0,00065 µg/L (huidige MKN PFOS) en 0,000045 µg/L (EU conceptnorm PFOS). De grijze stippellijn: het 90^{ste} percentiel.



Figuur 13: Cumulatieve frequentiegrafiek voor totaal PFAS gehalte van \sum_{24} PFAS verbindingen, uitgedrukt in PFOA-equivalenten. De paarse lijn: op de PFOA van 0,0044 µg/L. De grijze stippellijn: het 90^{ste} percentiel

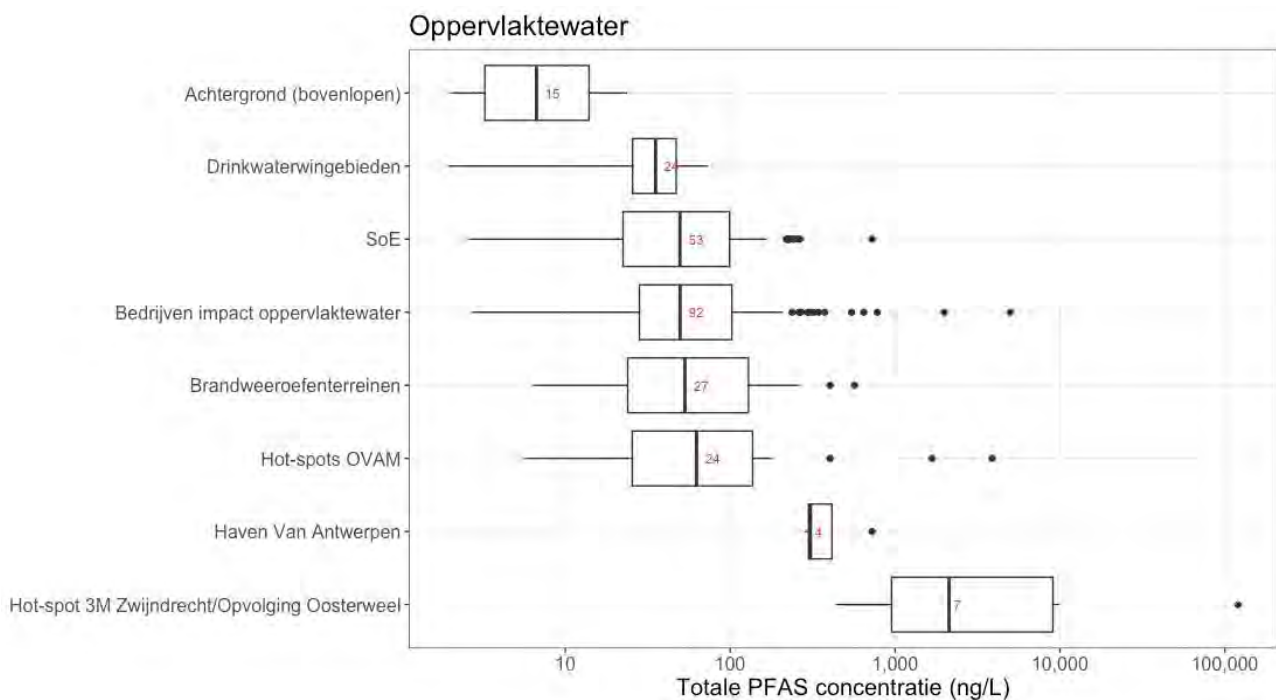
3.2.4. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?

Op basis van de boxplots van het totaal PFAS-gehalte in oppervlaktewaters (Figuur 14), kunnen we de motieven onderverdelen in 3 groepen: de achtergronden (het motief 'Achtergrond (bovenlopen)'), een middengroep ('Drinkwaterwingebieden' tot en met 'Hot-spots OVAM'), en de hot-spots ('Haven Van Antwerpen' en 'Hot-spot 3M Zwijndrecht/Opvolging Oosterweel').

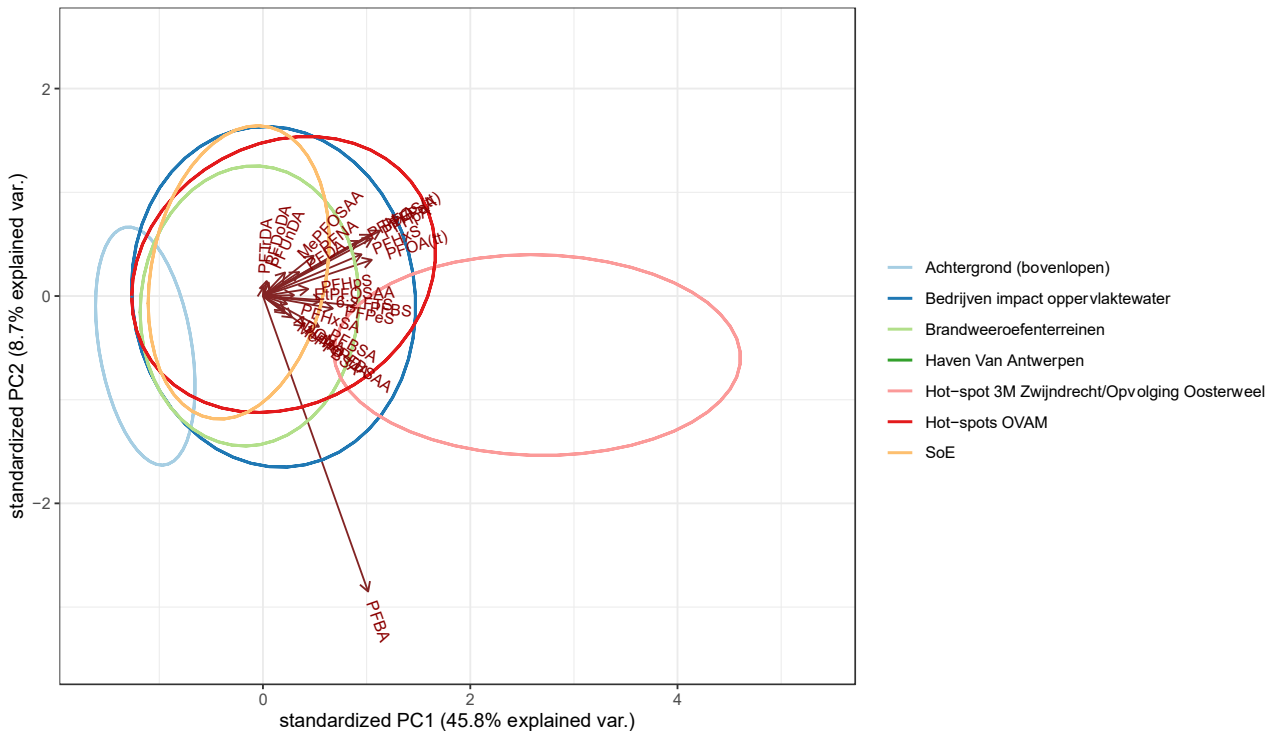
De drie niet-verdachte motieven (Achtergrond (bovenlopen), drinkwaterwingebieden, en SoE) hebben de laagste mediaanconcentraties. SoE heeft gelijkaardige mediaan als bedrijven impact oppervlaktewater, brandweeroefenterreinen en hot-spots OVAM. Het PFAS bereik van drinkwatergebieden overlapt meer met SoE dan met de achtergrond(bovenlopen). Een mogelijke verklaring is dat er geen specifiek beschermingskader is voor oppervlaktewater dat voor drinkwater wordt gebruikt. Merk ook op dat de metingen in drinkwatergebieden gaat over een subset van PFAS parameters (20 ipv 43) (VMM, 2021).

De verdachte motieven, Haven van Antwerpen en Hot-spot 3M Zwijndrecht/Opvolging Oosterweel, hebben beduidend hogere PFAS gehalten vergeleken met de niet-verdachte motieven. Het motief Hot-spot 3M Zwijndrecht/Opvolging Oosterweel heeft de hoogste mediaanconcentratie aan totaal PFAS gehalte: 1976 ng/L. Dit is een factor 300 hoger dan de mediaanconcentratie waargenomen in de achtergronden (bovenlopen): 6.3 ng/L.

De PCA analyse bevestigt deze trends rekening houdende met de individuele PFAS stoffen (Figuur 15). Het motief Hot-spot 3M Zwijndrecht/Opvolging Oosterweel heeft een duidelijke link met hoge concentraties PFAS-stoffen (pijlen naar rechts). Het motief Achtergrond (bovenlopen) wordt duidelijk gekenmerkt door lage PFAS concentraties. De overige motieven zijn vrij gelijkaardig aan elkaar, met enkele uitschieters voor Hot-spots OVAM en Bedrijven impact oppervlaktewater, ook zichtbaar op Figuur 14 door enkele "outliers" voor deze motieven. Na data-selectie (7.4) werden slechts 2 metingen voor het motief Haven van Antwerpen behouden, dit motief kan daarom niet beoordeeld worden in de PCA analyse.



Figuur 14: Boxplot voor PFAS totaal in oppervlaktewater in Vlaanderen per motief (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per tijdstip het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.



Figuur 15: Biplot voor oppervlaktewater, per motief. Ellipsen geven aan waar 95% van de metingen per motief zich bevinden.

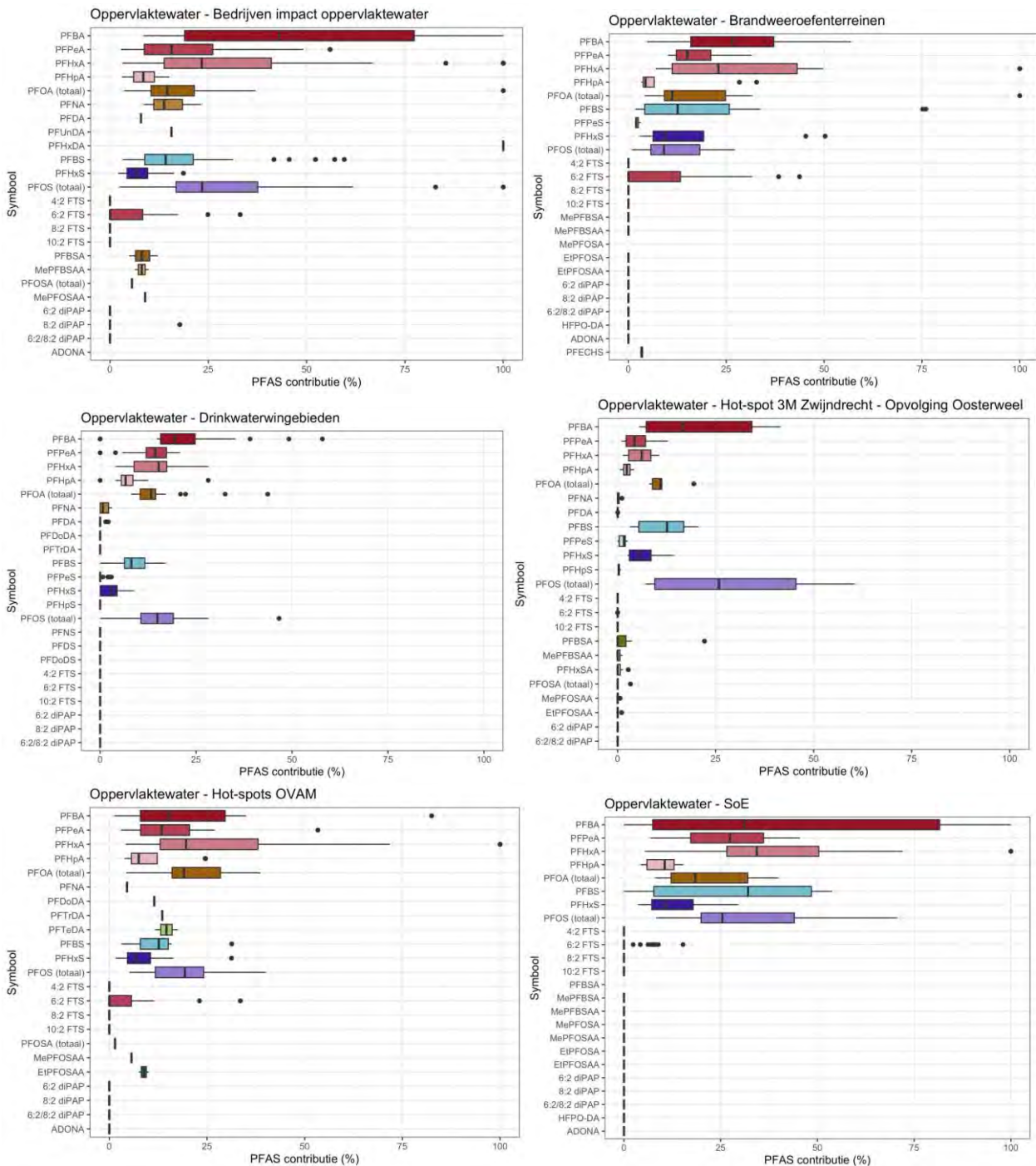
3.2.5. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS PROFIEL (FINGERPRINTING)?

De fingerprints zijn weergegeven in Figuur 16 en de digitale annex. Over het algemeen, zien we PFBA altijd terugkomen als een dominante PFAS verbinding in oppervlaktewater over de motieven heen (Tabel 9 en ook tweede component in PCA, Figuur 15). Daarnaast zien we ook dat PFHxA, de meest gedetecteerde PFAS verbinding in oppervlaktewater, en PFOS vooral dominant zijn bij de bovenlopen (achtergrond) en SoE, maar ook in de brandweeroefenterreinen, de oppervlaktewaters die geïmpacteerd worden door de bedrijven, en de hot-spots geïdentificeerd door OVAM. PFBS is kenmerkend voor de SoE. PFTeDA blijkt ook dominant in de bovenlopen (achtergrond). PFOA wordt dan weer gevonden in de hot-spots geïdentificeerd door OVAM.

Tabel 9: Synthese van dominante PFAS per motief voor oppervlaktewater.

Motief	Dominante PFAS
Achtergrond (bovenlopen)	PFBA, PFHxA, PFTeDA
Drinkwaterwingebieden	PFBA, (PFHxA, PFOS, PFPeA)
SoE (<i>state of the environment</i>)	PFBA, PFHxA, PFBS, PFOS
Brandweeroefenterreinen	PFBA, PFHxA
Bedrijven impact oppervlaktewater	PFBA, PFHxA, PFOS
Hot-spots OVAM	PFBA, PFHxA, PFOS, PFOA
Haven van Antwerpen	PFBA
Hot-spots 3M Zwijndrecht/Opvolging Oosterweel	PFBA, PFOS

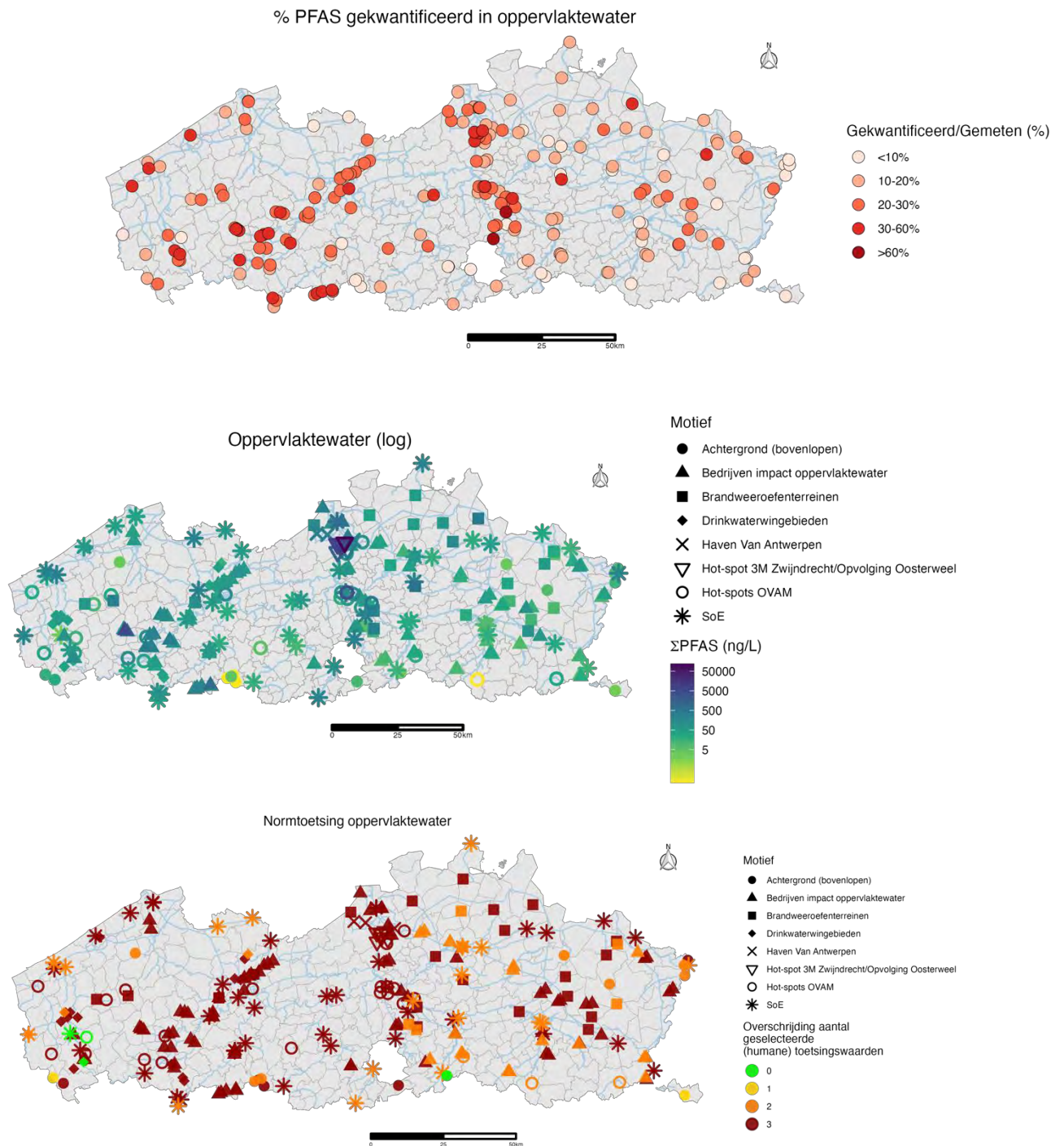
De PCA analyse gaf aan dat PFHpA, PFBS, PFHpS, PFBSA, MePFBSAA, PFHxA, PFPeA, PFHxS, MePFBSA, PFPeS, PFOS (totaal) en PFOA (totaal) de belangrijkste PFAS-stoffen zijn om de PFAS vervuiling te kenmerken (8.2.2).



Figuur 16: Fingerprint voor stroomafwaarts oppervlaktewater per motief (Achtergrond bovenlopen en Haven van Antwerpen zijn hier niet weergegeven, zie digitale annex). Per PFAS geeft de box het 25^{ste} en 75^{ste} percentiel aan, de lijn de mediane contributie.

3.2.6. VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN

In oppervlaktewater werden er minimaal 20 PFAS gemeten (drinkwaterwingebieden) en maximaal 43. In twee staalnamepunten werden meer dan 60% van de gemeten PFAS gekwantificeerd (Figuur 17 boven). Deze bevinden zich beide langs de Zenne (Vilvoorde en Zemst; 86%). In 19% van de staalnamepunten werden er minder dan 10% van de gemeten PFAS gekwantificeerd. Kwantificaties lijken algemeen lager te liggen in het oosten van het land (Limburg, Kempen en het oosten van Vlaams-Brabant). Figuur 17 (midden) toont de geografische verspreiding van de Σ PFAS concentraties in oppervlaktewater in Vlaanderen. De hoogste Σ PFAS concentraties werden teruggevonden in de Palingbeek (Antwerpen; 120144 ng/L), gevolgd door de nabij gelegen vijver in het natuurgebied Blokkersdijk (9926 ng/L; Antwerpen). Er werden ook vier staalnamepunten geïdentificeerd waar bepaalde PFAS ($n= 1 - 3$) tijdens één van de staalnames zijn gekwantificeerd, maar waarbij de mediaan van alle metingen onder de bepaalbaarheidsgrens ligt (in geel op Figuur 17 midden). Dit betreffen de Dormaalbeek (Landen), de Verrebeek (Brakel), de Sassegembeek (Brakel) en de Molenbeek-Terkleppenbeek (Brakel). Uitgezonderd enkele uitschieters zijn de Σ PFAS relatief homogeen in Vlaanderen. Vier staalnamepunten in Oud-Heverlee (Paddenpoel), Lo-Reninge (Grote Kemmelbeek), Langemark-Poelkapelle (Martjevaart – Lekkerboterbeek) en Ieper (Bollaertbeek) overschrijden geen enkel van de geselecteerde toetsingswaarden (Figuur 17 onder). Dit zijn locaties waar PFOS concentraties onder de AG lagen en bovendien de Σ_{24} PFOAeq. onder 4,4 ng/L lag. In de meerderheid van de meetpunten werden minstens twee normen overschreden. Dit is echter een artefact van het feit dat de twee toetsingswaarden gebaseerd op visconsumptie uit oppervlaktewater (0,65 ng/L en 0,0045 ng/L) lager zijn dan de laagste aantoonbaarheidsgrens voor PFOS in de huidige studie (1,65 ng/L). Het is daarom, omwille van analytische beperkingen, niet mogelijk om aan deze waarden te toetsen. In 76% van de meetpunten werd de voorgestelde toetsingswaarde van 4,4 ng/L, gebaseerd op drinkwaterconsumptie, overschreden. Uit deze analyse blijkt wel dat 17 van de 22 onderzochte drinkwaterwingebieden de toetsingswaarde (4,4 ng/L) overschrijden.



Figuur 17: Geografische verspreiding van % gekwantificeerde PFAS (bovenaan), Σ PFAS concentratie (midden) en aantal toetsingswaardeoverschrijdingen (onderaan)

Metingen van PFAS in oppervlaktewater van naburige regio's zijn relatief goed beschikbaar ten opzichte van metingen in de andere milieucompartimenten (Tabel 10). Hoewel sommige industriële gebieden, zoals de Rijn, voor sommige PFAS hogere concentraties vertonen, liggen de centrummaten (mediaan en gemiddelde) van de verschillende regio's in dezelfde grootteorde met ongeveer een factor 10-100 verschil.

In Wallonië werden in 2021 vijf verschillende PFAS geanalyseerd in oppervlaktewater (pers. comm. Service Public Wallonie Environnement, 2022), i.e. PFHxS, PFOS, PFHxA, PFHpA en PFOA. Van de gemeten PFAS lagen alle mediane concentraties onder 1 ng/L en zijn deze lager dan in Vlaanderen met ongeveer een factor 10.

Het jaarrapport van RIWA-Rijn (RIWA - Rijn, 2022) toont een daling van PFOS en PFOA in het Nederlands deel van de Rijn, terwijl PFBS en PFBA geen daling of zelfs een stijging vertonen. In 2008 vond Möller et al (2010) reeds hogere concentraties van PFBS en PFBA in het Nederlandse deel van de Rijn, in vergelijking met PFOS en PFOA.

GenX of HFPO-DA wordt sinds 2012 geproduceerd door Chemours in Dordrecht, Nederland en werd kort daarna ook in verschillende milieucompartimenten gemeten (Gebink et al., 2017; RIVM, 2019). GenX is inmiddels ook opgenomen in de lijst van te analyseren analytische componenten in huidige analyses en concentraties in oppervlaktewater in Nederland zijn daarom redelijk goed gedocumenteerd. Aangezien de productie van deze stof plaatsvindt in Nederland zijn de concentraties daar in oppervlaktewater zoals verwacht hoger dan in Vlaanderen, alsook in vergelijking met metingen verricht in de Thames (VK).

Sommige studies, o.a. Möller et al. (2010) en Munoz et al. (2015) vermelden specifiek filtratie (m.b.v. glasvezelfilters) van waterstalen voorafgaand aan de PFAS extractie. Door hun fysico-chemische eigenschappen, hebben PFAS de neiging om zich vast te hechten aan glas. Een recente studie heeft aangetoond dat een significant verlies van PFAS kan optreden door filtratie van waterstalen, niet enkel door het gebruik van glasvezelfilters (Söregård et al., 2020). Het is daarom mogelijk dat deze studies een onderschatting zijn van de werkelijke concentraties aanwezig in het oppervlaktewater.

Tabel 10: PFAS concentraties (ng/L) in oppervlaktewater in Vlaanderen en metingen uit naburige regio's. Mediaan (boven, niet cursief) en/of gemiddelde (onder, cursief) of een bereik van deze worden telkens getoond. V verdacht, NV niet verdacht.

Locatie	Vlaanderen			Wallonië	Nederland			Duitsland	Frankrijk	Engeland	
	Regionaal			Regionaal	Nationaal	Regionaal	Rijn-Maas delta	Rijn en zijrivieren	Nationaal	Thames	Regionaal
Jaar	2022			2021	2011-2017	2018	2008	2008	2012	2016	2017-2019
Publicatie	Huidige studie			Pers. comm. Wallonie environnement SPW	Expertisecentrum PFAS, 2018a	RIVM, 2019	Möller et al., 2010*	Möller et al. 2010*	Munoz et al., 2015*	Pan et al., 2018	Environment Agency, 2021
ng/L	V, NV	V	NV	Geen info	NV	V	V	V	V, NV	V	Geen info
Sulfonzuren											
PFBS	2,5 39	2,5 56	2,5 3,0		6,9		48	24	0,4	5,3	
PFHxS	1,4 71	1,4 122	0,7 1,3	0,1 0,6			2,0	1,6	0,8	6,4	
PFHpS	<LOD 3,8	<LOD 6,9	<LOD <LOD						<LOD		
PFOS	6,0 167	5,5 345	5,3 6,4	0,5 1,4	3,2		4	3,7		13	<LOQ - 610
linPFOS									0,9		
brPFOS									1,1		
PFDS	<LOD 0,2	<LOD <LOD	<LOD <LOD						<LOD		
Carbonzuren											
PFBA	<LOD 73	2 91	<LOD 5,4		44		78	59	<LOD	6,9	
PFPeA	4,5 35	4,5 51	2,6 4,1				3,5	32	0,6	16	
PFHxA	5,4 69	7,6 102	4,0 5,2	0,9 1,9			3,0	26	0,9	13	
PFHpA	1,0 23	2,6 32	<LOD 1,4	0,3 0,8			0,5	3,1	0,5	4,2	
PFOA	3,9 103	3,9 188	3,9 4,1	0,7 1,3	18		6,0	22	0,9	8,5	<LOQ - 73
PFNA	<LOD 1,4	<LOD 1,5	<LOD 0,17						0,2	1,2	
PFDA	<LOD 1,2	<LOD 0,9	<LOD 0,04						0,1	0,9	
PFUnDA	<LOD 2,2	<LOD 0,4	<LOD <LOD						<LOD	0,1	
PFDoDA	<LOD 0,7	<LOD 0,03	<LOD 0,01						<LOD	0,04	
PFTTrDA	<LOD	<LOD	<LOD						<LOD	<LOQ	

	1,1	0,02	<LOD									
PFTeDA	<LOD 0,5	<LOD 0,04	<LOD 0,3							<LOD	<LOQ	
<i>Ether carbonzuren</i>												
HFPO- DA	<LOD 1,2	<LOD 0,8	<LOD <LOD			25					1,1	
ADONA	<LOD 1,1	<LOD 0,5	<LOD <LOD								<LOQ	
<i>Sulfonamides</i>												
PFOSA	<LOD 27	<LOD 14	<LOD 40							<LOD		
EtPFOSA	<LOD 0,08	<LOD <LOD	<LOD <LOD							<LOD		

*Oppervlaktewater werd gefilterd voorafgaand aan de chemische analyse

3.3. WATERBODEM

3.3.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?

Van de 43 onderzochte PFAS-parameters werden bijna alle verbindingen gedetecteerd in de waterbodem op minstens één locatie, met uitzondering van PFTTrDS (dat niet teruggevonden werd) en PFPeDA (dat niet gerapporteerd werd). In Tabel 11 worden de resultaten weergegeven van de gedetecteerde PFAS-verbindingen.

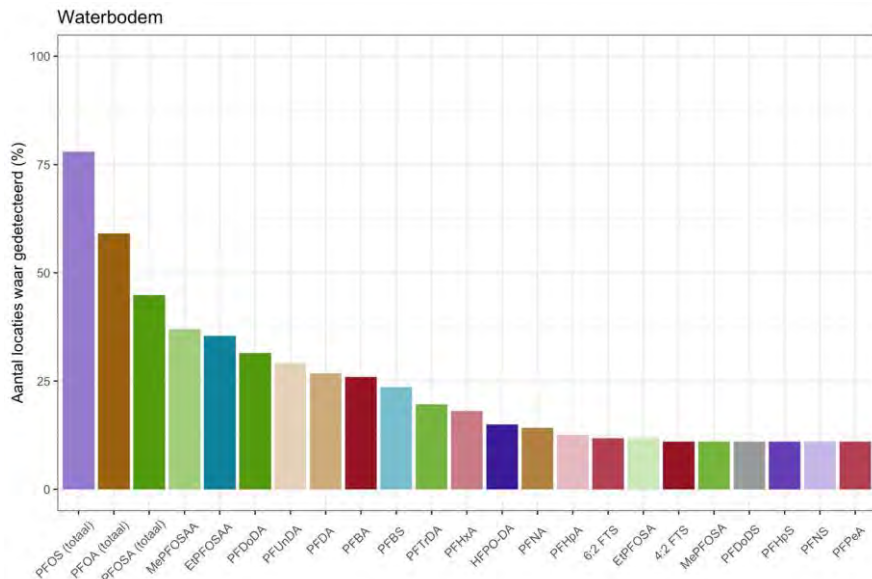
Tabel 11: Synthese analyseresultaten van geanalyseerde PFAS in waterbodem. Op basis van de aantoonbaarheidsgrens (AG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de bepaalbaarheidsgrens (BG), werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.

PFAS	Aantal plaatsen gedetecteerd (>AG)	% Aantal plaatsen gedetecteerd (>AG)	P50-concentratie (µg/kg ds)	P90-concentratie (µg/kg ds)	Max concentratie (µg/kg ds)
Sulfonzuren					
PFBS	30	24	<BG	0,15	7,7
PFPeS	1	1	<BG	<BG	7
PFHxS	11	9	<BG	<BG	120
PFHpS	14	11	<BG	<BG	38
PFOS (totaal)	99	78	0,26	2,9	2300
PFNS	14	11	<BG	0,1	3,8
PFDS	3	2	<BG	<BG	0,2
PFUnDS	1	1	<BG	0,144	0,72
PFDoDS	14	11	<BG	5,7	5,7
PFTTrDS	0	0	<BG	<BG	<BG
PFECHS	5	4	<BG	<BG	0,52
Carbonzuren					
PFBA	33	26	<BG	0,3	660
PFPeA	14	11	<BG	<BG	10
PFHxA	23	18	<BG	0,01	41
PFHpA	16	13	<BG	<BG	40
PFOA (totaal)	75	59	0,1	0,4	320
PFNA	18	14	<BG	<BG	27
PFDA	34	27	<BG	0,2	79
PFUnDA	37	29	<BG	0,2	41
PFDoDA	40	31	<BG	0,2	2,8
PFTTrDA	25	20	<BG	0,1	42
PFTeDA	11	9	<BG	<BG	35
PFPeDA	NR	NR	NR	NR	NR
PFHxDA	2	2	<BG	<BG	14
PFODA	13	10	<BG	<BG	90
Ether carbonzuren					
HFPO-DA	19	15	<BG	<BG	50
ADONA	13	10	<BG	0,1	0,71
Fluorotelomeersulfonzuren					
4:2 FTS	14	11	<BG	<BG	0,1
6:2 FTS	15	12	<BG	<BG	1,2
8:2 FTS	3	2	<BG	<BG	5,2
10:2 FTS	3	2	<BG	<BG	6,4
Fluorotelomeerfosfaatdiesters					
6:2 diPAP	11	9	<BG	<BG	470
8:2 diPAP	13	10	<BG	<BG	2800
6:2/8:2 diPAP	2	2	<BG	<BG	2200
Sulfonamides					
PFBSA	4	3	<BG	<BG	4,4
MePFBSA	3	2	<BG	<BG	15
MePFBSAA	2	2	<BG	<BG	2,5
PFHxSA	11	9	<BG	0,15	140
PFOSA (totaal)	57	45	<BG	0,641	260
MePFOSA	14	11	<BG	<BG	14
MePFOSAA	47	37	<BG	0,6	85

EtPFOSA	15	12	<BG	0,404	160
EtPFOSAA	45	35	<BG	1,7	1300

NR = niet gerapporteerd,

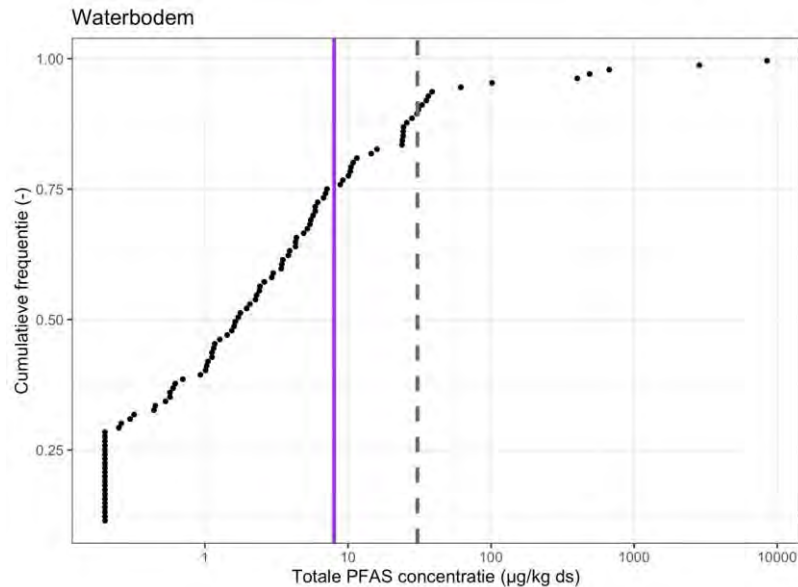
In Figuur 18 wordt per PFAS-parameter het procentueel aantal meetlocaties weergegeven waar de gemeten waarden boven de AG ligt. Maar twee stoffen komen in minstens de helft van de meetlocaties voor (dus minimaal één meting boven de AG op een locatie): PFOS (78%) en PFOA (59%). Verder komen PFOSA, MePFOSAA, EtPFOSAA, PFDoDA, PFUnDA, PFDA en PFBA voor op minstens 25% van de meetlocaties. De andere stoffen die werden gedetecteerd in het oppervlaktewater komen op minder dan 25% van de meetlocaties voor (Figuur 18).



Figuur 18: Procentueel aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in waterbodembodem. Enkel de 23 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplot.

3.3.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?

In de helft van de locaties in Vlaanderen wordt een totaal PFAS-gehalte van meer dan 1,63 µg/kg ds waargenomen. In 90% van de locaties in Vlaanderen wordt een totale PFAS-concentratie van meer dan 30,5 µg/kg ds waargenomen. De maximum waarneming is 8500 µg/kg ds totaal PFAS (Figuur 19).



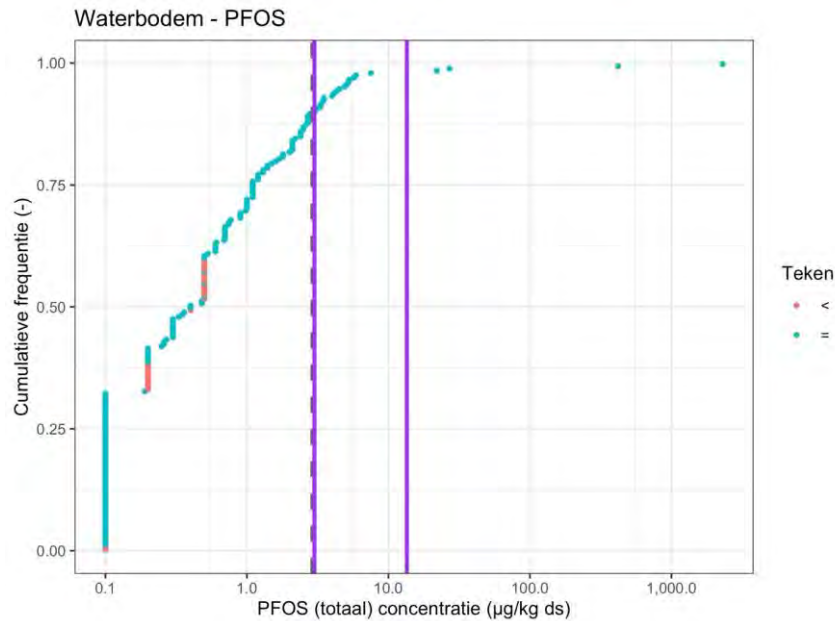
Figuur 19: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in waterbodem in Vlaanderen (1 punt is 1 meetlocatie). De grijze stippellijn wijst op het 90^{ste} percentiel. De paarse lijn wijst op de PFAS-toetsingswaarde van 8 µg/kg ds (Tabel 12).

3.3.3. HOEVEEL Overschrijdingen worden waargenomen?

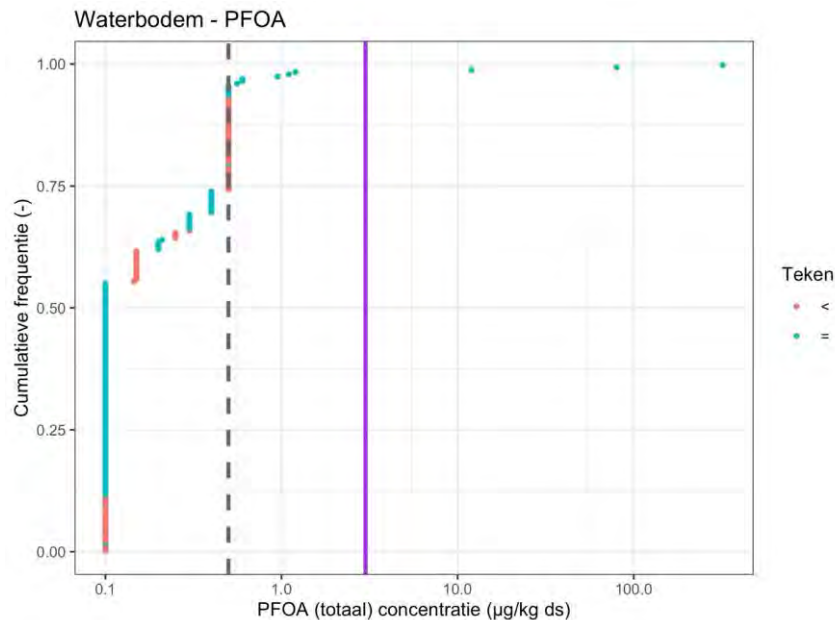
De toetsingswaardeoverschrijding voor PFAS in waterbodem ligt tussen 3% (voor PFOS op basis van de norm voor directe ecotox) en 27% (voor PFAS totaal) (Tabel 12). Er zijn opvallend minder overschrijdingen voor waterbodem in vergelijking met oppervlaktewater. Dit is mogelijk deels te wijten aan het feit dat toetsingswaarden voor oppervlaktewater gebaseerd zijn op humane consumptie.

Tabel 12: Toetsingswaardenoverschrijding van PFAS in waterbodem.

Nr.	Toepasbaar op	Toetsingswaarde	PFAS	Aantal locaties met overschrijdingen	% Aantal locaties met overschrijdingen
1	-	8 µg/kg ds	PFAS totaal	32	27%
2	-	3 µg/kg ds	PFOS	19	16%
3	-	3 µg/kg ds	PFOA	3	3%
4	Directe ecotoxicologie	13,5 µg/kg ds	PFOS	4	4%



Figuur 20: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFOS in waterbodem in Vlaanderen. Rode punten: gemeten concentraties onder AG. Groene punten: effectief gekwantificeerde concentraties. De paarse lijnen: de PFOS toetsingswaarden van 3 µg/L en 13,5 µg/L. De grijze stippellijn: het 90^{ste} percentiel.

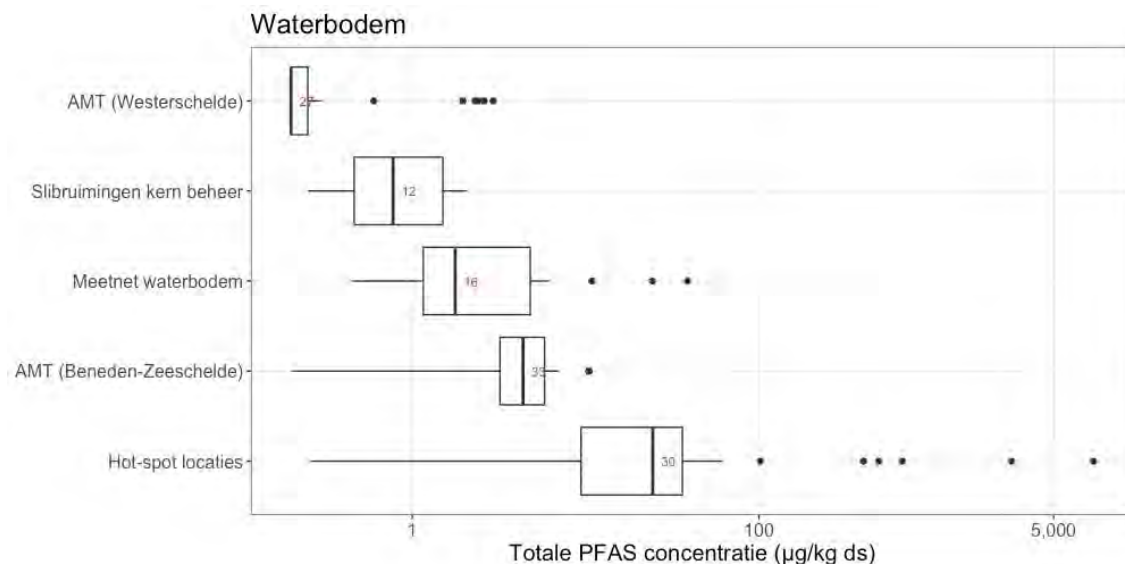


Figuur 21: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFOA in waterbodem in Vlaanderen. Rode punten: gemeten concentraties onder AG. Groene punten: effectief gekwantificeerde concentraties. De paarse lijn: de PFOA toetsingswaarde van 3 µg/L. De grijze stippellijn: het 90^{ste} percentiel.

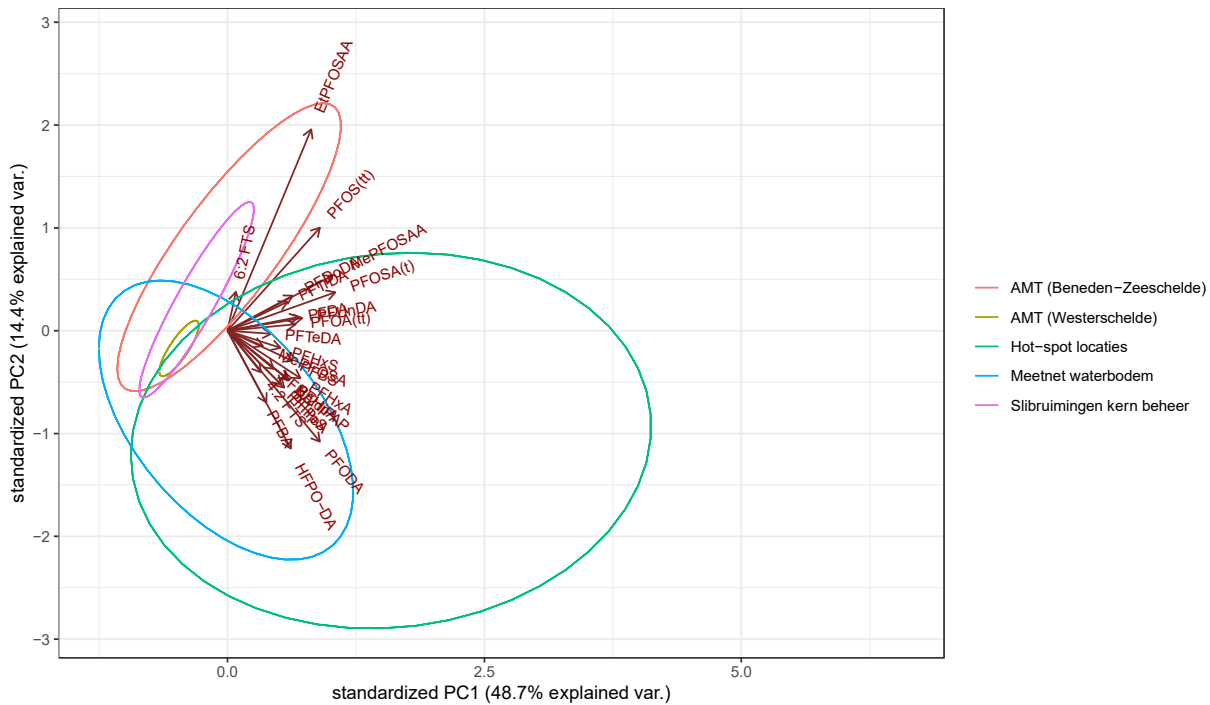
3.3.4. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?

De laagste concentraties aan totale PFAS in waterbodemb worden gevonden in de Westerschelde (op Nederlands grondgebied) (Figuur 22). Het reguliere netwerk (meetnet waterbodemb), dat als niet-verdacht aanschouwd wordt, heeft een mediaanconcentratie aan totaal PFAS van 1,7 µg/kg ds. Deze ligt ongeveer een factor 14 lager dan de mediaanconcentratie totaal PFAS van de 'Hot-spot locaties', die op 24,4 µg/kg ds ligt. De mediaanconcentraties totaal PFAS tussen de Westerschelde en de 'Hot-spot locaties' verschillen ongeveer met een factor 120.

De PCA analyse bevestigt deze trends rekening houdende met de individuele PFAS-concentraties (Figuur 23). Er is een overlap tussen de verschillende motieven, maar de Hot-spot locaties bevatten duidelijk meer meetplaatsen met hoge concentraties (rechterkant van de biplot). Het motief AMT (Beneden-Zeeschelde) en in mindere mate Slibruimingen kern beheer (VMM kern Beheer (Onbevaarbare Waterlopen 1ste categorie)) lijken een ander profiel te hebben (zichtbaar door de verticale spreiding) dan Hot-spot locaties en Meetnet waterbodemb. Metingen voor AMT (Westerschelde) bevinden zich aan de linkerkant van de figuur, wat duidt op lage PFAS-concentraties.



Figuur 22: Boxplot voor PFAS totaal in waterbodemb in Vlaanderen per motief (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per tijdstip het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.



Figuur 23: Biplot voor waterbodem, per motief. Ellipsen geven aan waar 95% van de metingen per motief zich bevinden

3.3.5. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS PROFIEL (FINGERPRINTING)?

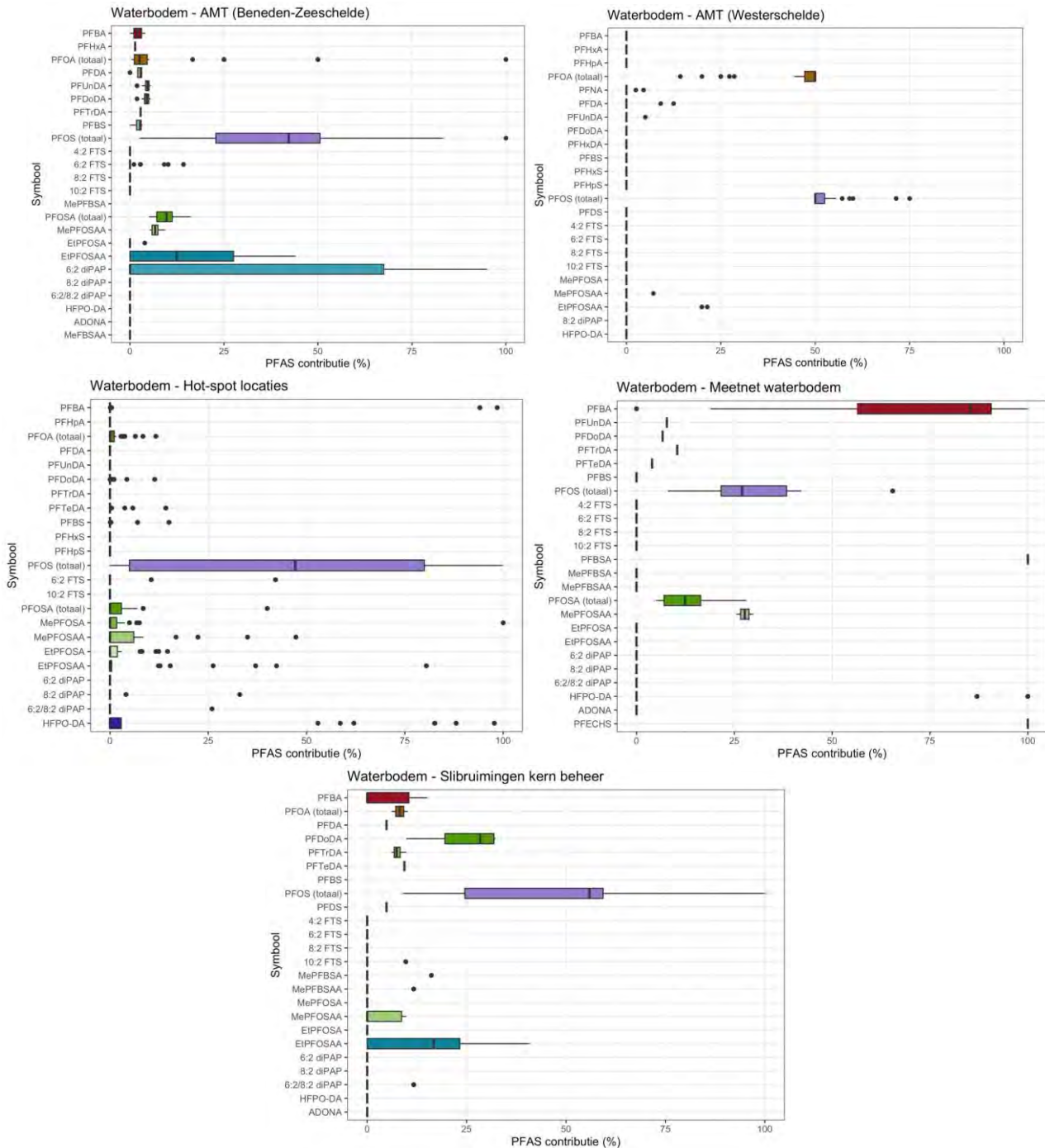
De fingerprints zijn weergegeven in Figuur 16 en de digitale annex. In het brede meetnet voor waterbodem zijn de dominante stoffen PFBA en PFBSA, maar ook PFECHS en HFPO-DA (Tabel 13). PFBA en HFPO-DA komen ook terug in de waterbodem in de hot-spot locaties, samen met PFOS. Naast PFOS, werden ook PFDoDA en EtPFOSAA als dominante stoffen gevonden in waterbodem van de slibruiming kernbeheer. De metingen in de Westerschelde tonen vooral dat PFOS en PFOA dominant. Deze zijn ook dominant in de waterbodem van de Beneden-Zeeschelde, samen met 6:2 diPAP.

Tabel 13: Synthese van dominante PFAS per motief voor waterbodem.

Motief	Dominante PFAS
Meetnet waterbodem	PFBA, PFBSA, PFECHS, HFPO-DA
Slibruiming kernbeheer	PFOS, PFDoDA, EtPFOSAA
Hot-spot locaties	PFBA, PFOS, HFPO-DA
AMT (Beneden-Zeeschelde)	PFOS, PFOA, EtPFOSAA, 6:2-diPAP
AMT (Westerschelde)	PFOS, PFOA

PFOS blijkt veruit het belangrijkste PFAS te zijn in vier van de vijf profielen (Figuur 24). De fingerprints bevestigen een ander profiel voor AMT (Beneden-Zeeschelde) en Slibruiming kern beheer, waarbij EtPFOSA duidelijk aanwezig is. In de AMT (Westerschelde) werden slechts lage concentraties aangetroffen,

met enkel de aanwezigheid van PFOS en PFOA. Het meetnet waterbodembodem heeft een uniek profiel, waarbij vooral PFBA en PFDoDA aanwezig zijn.



Figuur 24: Fingerprint voor waterbodembodem per motief. Per PFAS geeft de box het 25ste en 75ste percentiel aan, de lijn de mediane contributie.

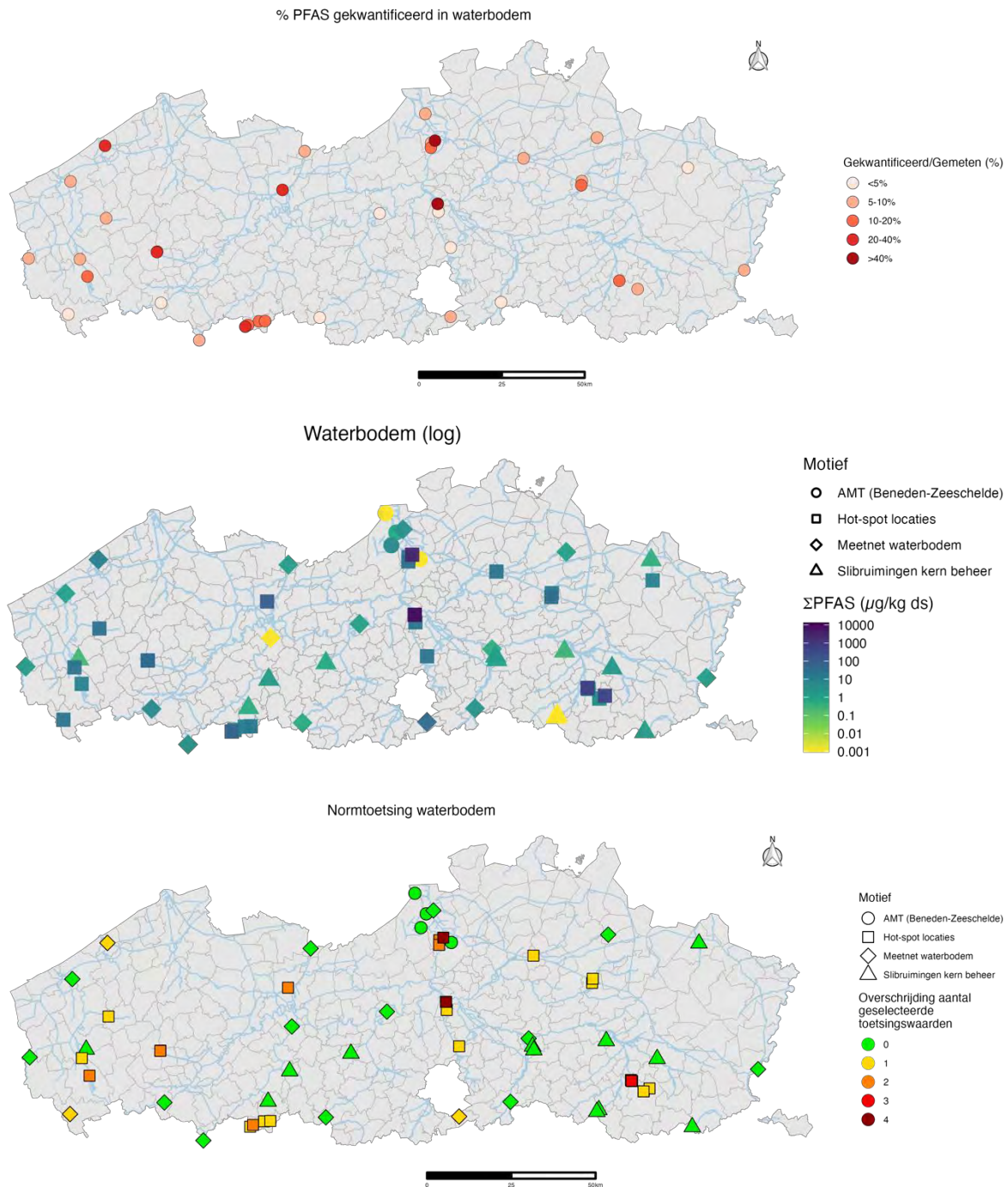
De fingerprints worden gedomineerd door PFAS met hoge concentraties (bv. PFOS, Tabel 11). De PCA analyse geeft een meer genuanceerd beeld o.a. door de log-transformatie van de data. Er worden twee groepen van PFAS-stoffen geïdentificeerd (zie varimax scores in 8.3.2). een eerste groep met PFHxA, PFBA,

PFBS, PFHpS, PFHxA, PFPeA, PFHxS, 8:2 diPAP, 4:2 FTS en PFODA lijkt vooral gelinkt aan de Hot-spot locaties. De tweede groep bevat voornamelijk PFDA, PFUnDA, PFTrDA, MePFOSAA, EtPFOSAA, PFDoDA, PFOS (totaal) en PFOSA (totaal) en is meer in lijn met AMT (Beneden-Zeeschelde).

3.3.6. VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN

Minimaal werden er in waterbodems 24 PFAS gemeten, en maximaal 42. Op twee meetpunten werden meer dan 40% van de gemeten PFAS gekwantificeerd (Figuur 25 boven), i.e. de Fabrieksloop-Geulloop (Willebroek, 66%) en de Palingbeek (Antwerpen, 50%). Figuur 25 (midden) toont de geografische verspreiding van de Σ PFAS concentraties in waterbodems in Vlaanderen. De hoogste concentraties van Σ PFAS in waterbodems werden gemeten in Willebroek (Fabrieksloop-Geulloop, 8500 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$), gevolgd door de Palingbeek (Antwerpen, 2867 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$). Ook de waterbodems in de Melsterbeek (t.h.v. Geetbets en Sint-Truiden; 670 en 489 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$, resp.) en de Zwarte Beek-Waversloop-Agatbeek in Willebroek (400 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$) vertonen relatief hoge concentraties in vergelijking met de rest van Vlaanderen. Het aantal overschrijdingen van de geselecteerde toetsingswaarden voor waterbodems was het hoogst in de Palingbeek (Antwerpen, 4) en Fabrieksloop-Geulloop/Zwarte Beek-Waversloop-Agatbeek (Willebroek, 4), gevolgd door de Melsterbeek (Sint-Truiden, 3). In de Melsterbeek werd PFOA niet gekwantificeerd, waardoor er geen overschrijding was van de OVAM toetsingswaarde voor vrij gebruik van bodem (3 $\mu\text{g PFOA}/\text{kg ds}$). Ongeveer de helft van de bemonsterde waterbodems (54%) overschrijdt geen enkele van de geselecteerde toetsingswaarden.

Mediane concentraties van individuele PFAS in waterbodems in Vlaanderen liggen voornamelijk onder de aantoonbaarheidsgrens, behalve voor PFOS (0,3 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$) en PFOA (0,1 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$). Veel metingen onder de aantoonbaarheidsgrens werden ook gevonden in Frankrijk (Munoz et al., 2015) en Nederland (Deltares, 2019). PFOS werd wel telkens gekwantificeerd, in dezelfde grootteorde (0,2-0,3 $\mu\text{g}/\text{kg ds}$).



3.4. BIOTA

3.4.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?

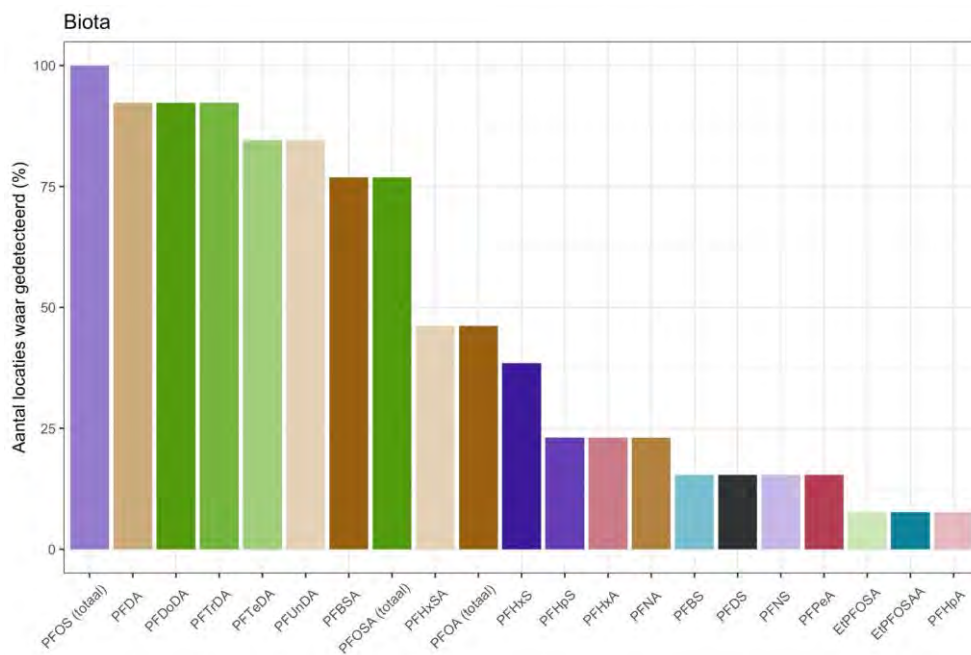
Van de 43 onderzochte PFAS-parameters werden slechts 21 verbindingen teruggevonden in biota op de gemeten locaties. In Tabel 14 worden de resultaten weergegeven van de gedetecteerde PFAS-verbindingen.

Tabel 14: Synthese analyseresultaten van geanalyseerde PFAS in biota. Op basis van de aantoonbaarheidsgrens (AG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de bepaalbaarheidsgrens (BG), werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.

PFAS	Aantal plaatsen gedetecteerd (>AG)	% Aantal plaatsen gedetecteerd (>AG)	P50-concentratie (µg/kg ng)	P90-concentratie (µg/kg ng)	Max concentratie (µg/kg)
Sulfonzuren					
PFBS	2	15	<BG	0,464	0,64
PFPeS	0	0	<BG	<BG	<BG
PFHxS	5	38	<BG	1,42	5,7
PFHpS	3	23	<BG	2,248	7,1
PFOS (totaal)	13	100	16	519	1000
PFNS	2	15	<BG	1,12	2,3
PFDS	2	15	<BG	0,68	1,6
PFUnDS	0	0	<BG	<BG	<BG
PFDoDS	0	0	<BG	<BG	<BG
PFTTrDS	0	0	<BG	<BG	<BG
PFECHS	0	0	<BG	<BG	<BG
Carbonzuren					
PFBA	0	0	<BG	<BG	<BG
PFPeA	2	15	<BG	0,4	0,62
PFHxA	3	23	<BG	0,558	0,58
PFHpA	1	8	<BG	<BG	1
PFOA (totaal)	6	46	<BG	1,2	18
PFNA	3	23	<BG	0,662	1,2
PFDA	12	92	1	2,72	4,3
PFUnDA	11	85	0,77	1,68	2,2
PFDODA	12	92	1,4	3,7	7,2
PFTTrDA	12	92	0,67	2,08	2,5
PFTeDA	11	85	0,68	1,98	2,7
PFPeDA	0	0	<BG	<BG	<BG
PFHxDA	0	0	<BG	<BG	<BG
PFOA	0	0	<BG	<BG	<BG
Ether carbonzuren					
HFPO-DA	0	0	<BG	<BG	<BG
ADONA	0	0	<BG	<BG	<BG
Fluorotelomeersulfonzuren					
4:2 FTS	0	0	<BG	<BG	<BG
6:2 FTS	0	0	<BG	<BG	<BG
8:2 FTS	0	0	<BG	<BG	<BG
10:2 FTS	0	0	<BG	<BG	<BG
Fluorotelomeerfosfaatdiesters					
6:2 diPAP	0	0	<BG	<BG	<BG
8:2 diPAP	0	0	<BG	<BG	<BG
6:2/8:2 diPAP	0	0	<BG	<BG	<BG
Sulfonamides					
PFBSA	10	77	0,78	6,7	53
MePFBSA	0	0	<BG	<BG	<BG
MePFBSAA	0	0	<BG	<BG	<BG
PFHxSA	6	46	<BG	1,78	1,9

PFOSA (totaal)	10	77	0,92	75	260
MePFOSA	0	0	<BG	<BG	<BG
MePFOSAA	0	0	<BG	<BG	<BG
EtPFOSA	1	8	<BG	<BG	5,6
EtPFOSAA	1	8	90	162	180

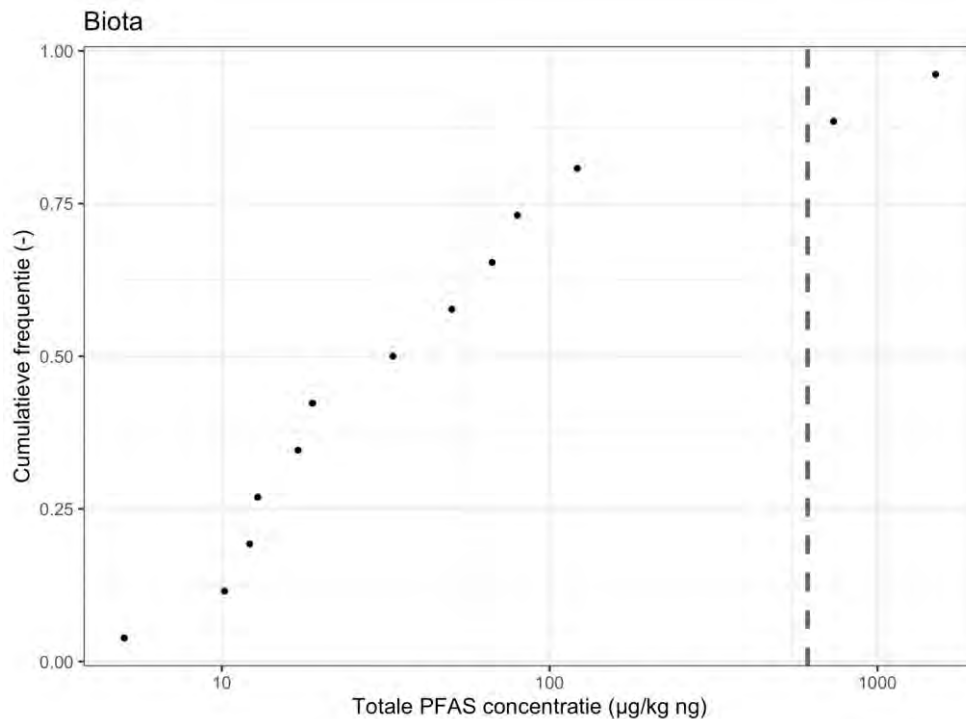
PFOS wordt teruggevonden in biota op alle gemeten locaties (Figuur 26). Daarnaast worden ook PFDA (92%), PFDoDA (92%), en PFTrDA (92%) in meer dan 90% van de locaties teruggevonden (dus minimaal één meting boven de AG op een locatie). In meer dan 75% van de gemeten locaties worden PFTeDA (85%), PFUnDA (85%), PFBSA (77%) en PFOSA (77%) teruggevonden. Alle andere stoffen werden in minder dan 50% van de locaties gedetecteerd.



Figuur 26: Procentueel aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in biota. Enkel de 21 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplotted.

3.4.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?

In de helft van de locaties in Vlaanderen wordt een totaal PFAS-gehalte van meer dan 34 µg/kg ng waargenomen. In 90 procent van de locaties in Vlaanderen wordt een totale PFAS-concentratie van meer dan 205 µg/kg ng waargenomen. De maximum waarneming is 1,5 mg/kg ng totaal PFAS (Figuur 27). Merk op dat deze data set niet het Vlaanderen breed beeld geeft aangezien de metingen vooral gebeurd zijn in de buurt van hot-spot locaties.



Figuur 27: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in biota in Vlaanderen (1 punt is 1 meetlocatie). De grijze stippellijn: het 90^{ste} percentiel.

Een studie in biota uitgevoerd in opdracht van VMM uitgevoerd tussen 2015 en 2018 (Teunen et al., 2020, 2021) op meer locaties in Vlaanderen en met meer vissen, rapporteerde mediane Σ PFAS concentraties in spierweefsel van baars van 21 $\mu\text{g/kg ng}$ (min-max: 5,2 – 68 $\mu\text{g/kg ng}$) en in paling van 22 $\mu\text{g/kg ng}$ (min-max: 5,7 – 69 $\mu\text{g/kg ng}$). Deze concentraties komen desalniettemin overeen met de huidige studie (baars: 18 (5,0 – 67 $\mu\text{g/kg ng}$), paling: 33 $\mu\text{g/kg ng}$; Fig. 31). Voor PFOS waren mediane concentraties gemeten door Teunen et al. (2021) in baars (10 $\mu\text{g/kg ng}$, min-max: 2,7 – 54 $\mu\text{g/kg ng}$) ook van dezelfde grootteorde als deze in de huidige studie (14 $\mu\text{g/kg ng}$, min-max: 4,2 – 53 $\mu\text{g/kg ng}$). Teunen et al. (2021) analyseerden ook twee palingen uit de Melsterbeek (Herk-de-Stad) van 2016 met een PFOS concentratie van 65 $\mu\text{g/kg ng}$, ongeveer dubbel zo hoog dan de meting in de huidige studie (Melsterbeek, Geetbets, 26 $\mu\text{g/kg ng}$).

3.4.3. HOEVEEL OVERSCHRIJDINGEN WORDEN WAARGENOMEN?

De gemeten PFAS concentraties werden vergeleken met twee humane toetsingswaarden voor visconsumptie. Vergelijken met de huidige norm voor PFOS in vissen zien we overschrijding in 9 van de 13 gemeten locaties (69%), gebaseerd op de maximum-concentraties PFOS gemeten per locatie. Op basis van de Σ_{24} PFAS concentraties, zien we 100% overschrijding van de vooropgestelde toetsingswaarde voor biota. Er zijn enkele belangrijke kanttekeningen te maken. Vooreerst, de meeste metingen zijn gebaseerd op metingen in stekelbaars. Echter, stekelbaars zit onderaan de cascade van de voedselketen en wordt door mens niet geconsumeerd. Bijgevolg is een vergelijking met een humane visconsumptie toetsingswaarde minder relevant. Ten tweede zijn er ook vissoort specifieke PFOS toetsingswaarden afgeleid door FAVV:

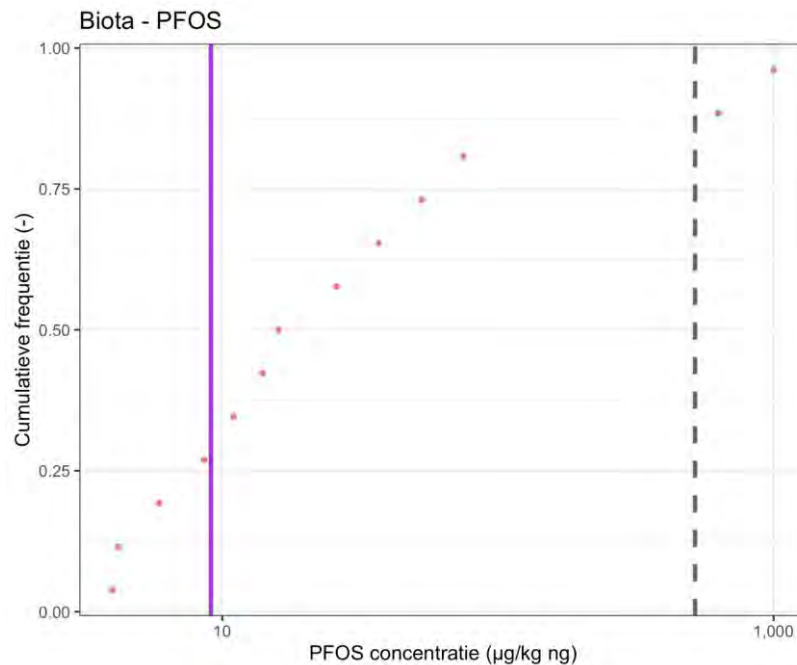
- in kwabaal, bot, snoek, schol, zeebaars, meerval, zeelt, wilde zalm en wilde forel: 7,0 ng/g versgewicht PFOS - (FAVV, 2022)
- in barbeel, brasem, zalmforel, paling, snoekbaars, baars, blankvoorn 35,0 ng/g versgewicht PFOS - (FAVV, 2022)

- andere vissoorten dan de soorten hierboven) 2,0 ng/g versgewicht (FAVV, 2022)

Voor blankvoorn en baars worden de toetsingswaarden ook overschreden. Voor paling is er geen overschrijding maar is er slechts één meting.

Tabel 15: Toetsingswaardeoverschrijding van PFAS in biota.

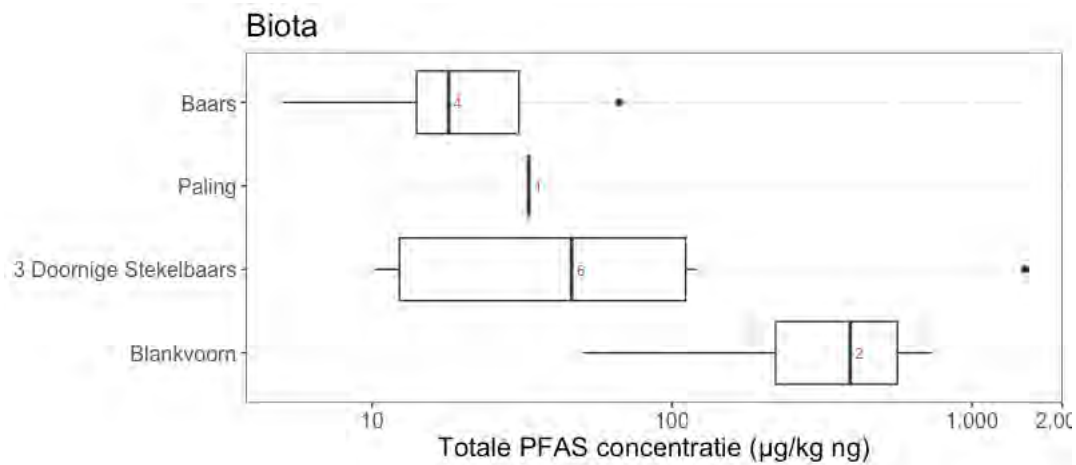
Nr.	Toepasbaar op	Toetsingswaarde	PFAS	Aantal locaties met overschrijdingen	% Aantal locaties met overschrijdingen
1	Humaan (visconsumptie)	9,1 µg/kg ng	PFOS	9	69%
2	Humaan (visconsumptie)	0,077 µg/kg ng	∑ ₂₄ PFAS (in PFOA eq.)	13	100%



Figuur 28: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFOS in biota in Vlaanderen. De paarse lijn: de PFOS toetsingswaarde van 9,1 µg/kg ng. De grijze stippellijn: het 90^{ste} percentiel.

3.4.4. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?

Er zijn verschillen in de mediaanconcentratie tussen de bemonsterde soorten (Figuur 29). Blankvoorn heeft een beduidend hogere mediaanconcentratie dan de andere soorten, hoewel er maar twee locaties zijn waar deze soort werd bemonsterd. Voor paling is er slechts data over één locatie beschikbaar.



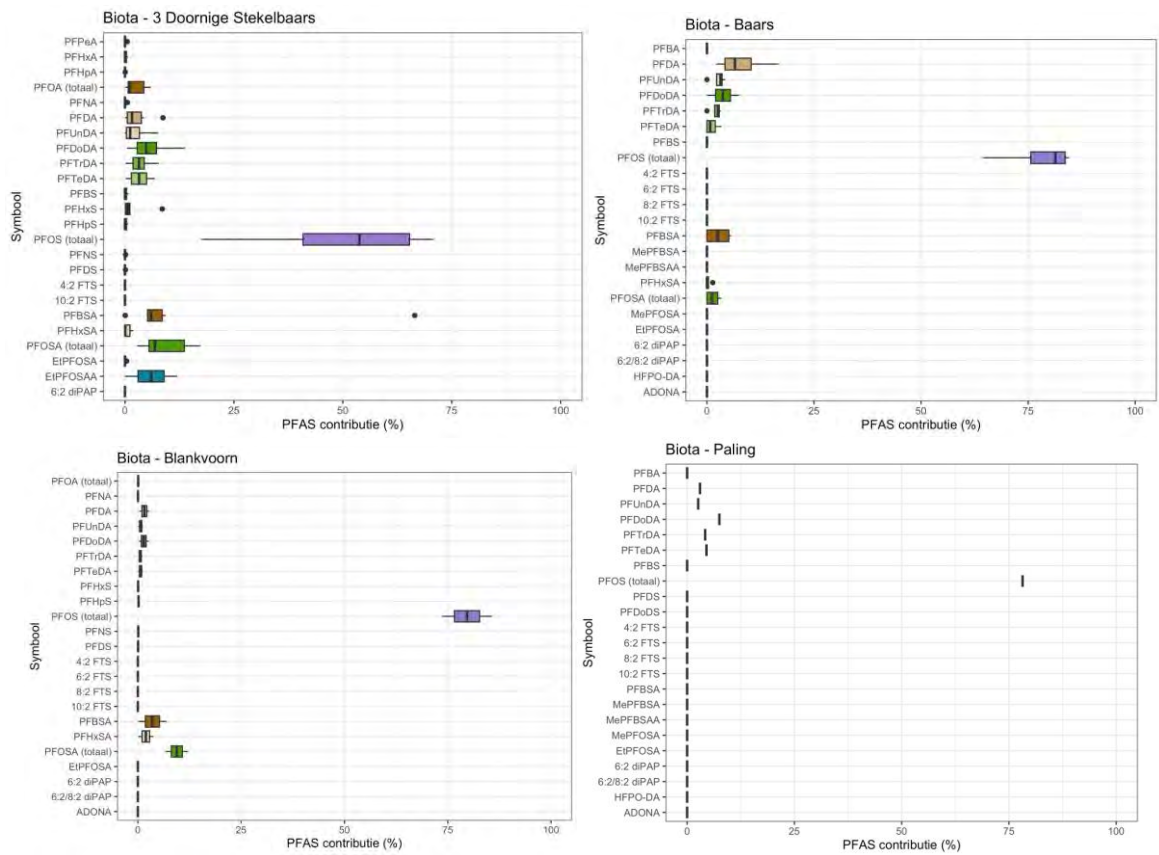
Figuur 29: Boxplot voor PFAS totaal in biota in Vlaanderen per bemonsterde soort (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per tijdstip het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.

3.4.5. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS PROFIEL (FINGERPRINTING)?

De fingerprints zijn weergegeven in Figuur 30 en de digitale annex. Gebaseerd op de fingerprinting is het duidelijk dat voor alle bemonsterde vissoorten PFOS als dominante PFAS-verbinding naar voren komt (Tabel 16). Langberg et al. (2022) bestudeerde PFAS fingerprinting in van Noorse oppervlaktewateren a.d.h.v. PFAS in vis. De fingerprint van brandblusschuimen (gelinkt aan 1 locatie) werd voornamelijk gekenmerkt door PFOS (naast andere geperfluoreerde sulfonzuren). Fingerprints van 8 locaties en papierindustrie (7 locaties) worden geassocieerd met hoge percentages van geperfluoreerd carbonzuren met lange C-keten. In Vlaanderen zijn twee van de acht locaties gekenmerkt door het brandweeroefenterreinen motief.

Tabel 16: Synthese van dominante PFAS per motief voor biota.

Bemonsterde soort	Dominante PFAS
3-doornige stekelbaars	PFOS
Baars	PFOS
Blankvoorn	PFOS
Paling	PFOS



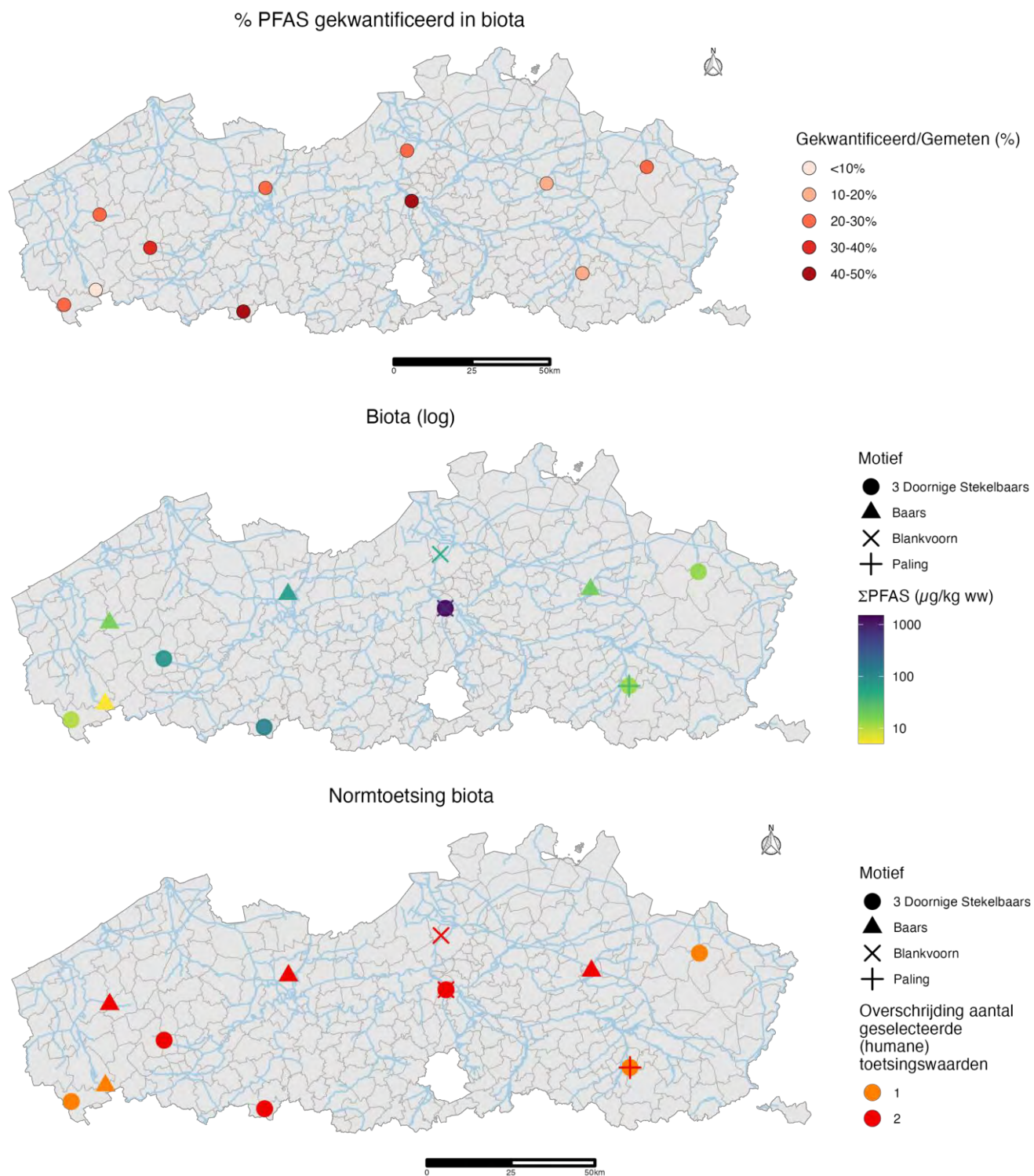
Figuur 30: Fingerprint voor biota per motief. Per PFAS geeft de box het 25^{ste} en 75^{ste} percentiel aan, de lijn de mediane contributie.

3.4.6. VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN

Op 11 verschillende locaties werden vissen (spier) bemonsterd. Het aantal gemeten PFAS in biota varieerde tussen 40 en 43. Hoogstens 49% van de gemeten PFAS werden gekwantificeerd (in 3-doornige stekelbaars uit de Zwarte Beek-Waversloop-Agatbeek, Willebroek). Ook in 3-doornige stekelbaars uit de Molenbeek, Ronse werd 40% van de gemeten PFAS gekwantificeerd. Figuur 31 (midden) toont de geografische verspreiding van de Σ PFAS concentraties in biota in Vlaanderen. Concentraties reiken van 5,0 $\mu\text{g}/\text{kg ng}$ in baars in leper tot 1504 $\mu\text{g}/\text{kg ng}$ in 3-doornige stekelbaars in Willebroek. Ook in blankvoorn werden verhoogde concentraties gemeten in Willebroek (735 $\mu\text{g}/\text{kg ng}$). Figuur 31 (onder) toont de overschrijdingen van de geselecteerde toetsingswaarden. PFOS concentraties werden getoetst aan de huidige EU milieukwaliteitsnorm (MKN) voor biota (9,1 $\mu\text{g}/\text{kg ng}$) en Σ_{24} PFAS (PFOA eq.) werd getoetst aan de analoge ontwerp-MKN (0,077 $\mu\text{g}/\text{kg ng}$). Beide toetsingswaarden zijn gebaseerd op humane visconsumptie. De laatste toetsingswaarde werd in alle monsters overschreden en in 69% van de monsters werden beiden toetsingswaarden overschreden. Hoewel deze resultaten aangeven dat (gebaseerd op de PFAS concentraties) vis uit deze waterlopen niet veilig is voor menselijke consumptie, dient nogmaals vermeld te worden dat biota enkel werden bemonsterd op verdachte locaties en het aantal monsters zeer beperkt is (13 meetpunten). Om een representatief beeld te krijgen van biota in heel Vlaanderen is een uitgebreidere campagne nodig.

Concentraties van negen PFAS gemeten in blankvoorn uit de Nederlands wateren (Jonker, 2021) zijn zeer gelijkaardig aan de concentraties van vis uit Vlaamse wateren (incl. blankvoorn; Tabel 21). Een studie van Rüdél et al. (2022) rapporteerde PFAS concentraties in composietstalen van vissen uit Duitse zoetwaterlichamen. Mediane concentraties in Duitsland waren eveneens van dezelfde grootteorde als deze in Vlaanderen en Nederland. In Rüdél et al. (2022) werd echter wel de volledige vis geanalyseerd wat mogelijk is, door een verdunningseffect, een onderschatting kan zijn van de concentraties in het spierweefsel. Van Engeland werden enkel data van PFOS verkregen en deze gemiddelde concentraties lagen onder het gemiddelde van biota in Vlaanderen).

In vergelijking met zoutwatervissen uit Nederlandse wateren, zijn gemiddelde concentraties van PFAS in Vlaamse zoetwatervissen zeer gelijkaardig. Enkel de gemiddelde PFOS concentratie van vissen in Vlaanderen ligt ongeveer een factor 10 hoger.



Figuur 31: Geografische verspreiding van % gekwantificeerde PFAS (bovenaan), ΣPFAS concentratie (midden) en aantal toetsingswaardeoverschrijdingen (onderaan)

Tabel 17: PFAS concentraties (ng/g) in vis in Vlaanderen en metingen uit naburige regio's. Mediaan (boven, niet cursief) en/of gemiddelde (onder, cursief) of een bereik van deze worden telkens getoond.

Locatie	Vlaanderen	Nederland						Duitsland	Engeland	
	Nationaal – zoetwater	Westerschelde – marien				Stroomgebied Maas – (Haringvliet Oost)	Stroomgebied Rijn (Ijsselmeer en Veluwemeer)	Stroomgebied Schelde (Zoommeer)	Regionaal – zoetwater	Regionaal - zoetwater
Jaar	2022	2021				2019	2019	2019	2016-2017	2019
Publicatie	Huidige studie	Wageningen Marine Research, 2022				(Jonker, 2021)			Rüdel et al., 2022	Environment Agency, 2021
Vissoort	Mediaan/gemiddelde over soorten: 3-doornige stekelbaars, baars, blankvoorn, paling	Bot	Wijting	Spiering	Zeebaars	Blankvoorn	Blankvoorn	Blankvoorn	Mediaan over soorten: Kopvoorn, blankvoorn, brasem, baars en <i>Coregonus renke</i>	Gemiddelde over soorten: Blankvoorn, forel, kopvoorn
Weefsel	Spier	Spier				Geen info			Volledige vis	Volledige vis
Sulfonzuren										
PFBS	<LOD 0,1	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ					
PFHxS	<LOD 0,8	0,6	0,1	<LOQ	0,2	<LOD	<LOD	<LOD	0,1	
PFHpS	<LOD 0,8	0,2	<LOQ	0,1	0,1	<LOD	<LOD	<LOD		
PFOS	16 145	17	2,2	5,6	10	13	28	16	4,5	1,1 - 60,5
PFDS	<LOD 0,2	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ				0,1	
Carbonzuren										
PFHxA	<LOD 0,1	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ					
PFHpA	<LOD 1,0	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ					
PFOA	<LOD 1,7	0,3	0,4	0,3	0,3	<LOD	<LOD	<LOD	0,03	
PFNA	<LOD 0,2	0,6	0,2	<LOQ	0,2	<LOD	0,6	0,8	0,1	
PFDA	1,0 1,5	1,5	0,2	<LOQ	0,5	1,4	4,6	3,9	1,0	
PFUnDA	0,8 0,9	1,4	0,3	<LOQ	0,5	0,9	1,6	2,0	0,6	
PFDoDA	1,4 2,0	1,6	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,4	1,1	1,3	1,0	

PFTrDA	0,7 1,0					<LOD	<LOD	<LOD	0,6	
PFTeDA	0,7 0,9								0,5	
<i>Ether carbonzuren</i>										
HFPO-DA	<LOD	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ					
<i>Fluorotelomeersulfonzuren</i>										
8:2 FTS	<LOD								0,1	
<i>Sulfonamides</i>										
PFOSA	0,9 29								0,2	
<i>PFAS som</i>										
Σ_4 PFAS (EFSA)	<LOD 0,95	18	2,6	5,8	11					

3.5. GRONDWATER

In 2022 publiceerde VMM reeds een oriënterend onderzoek naar diffuse verspreiding van PFAS in het freatisch grondwater in Vlaanderen. Deze resultaten werden reeds gerapporteerd (VMM, 2022), maar werden voor de volledigheid ook in deze studie meegenomen. Omwille van hun oorsprong werd freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet samen met putwater bekeken, hetzij als verschillende motieven. Putwaters zijn namelijk afkomstig van particuliere locaties die niet over een aansluiting op het drinkwaternet beschikken en dus van putwater afhankelijk zijn voor hun drinkwater. De dieptes van het putwater zijn niet altijd gekend en deze kunnen zowel freatisch als gespannen grondwater betreffen.

3.5.1. WELKE PFAS WORDEN GEDETECTEERD?

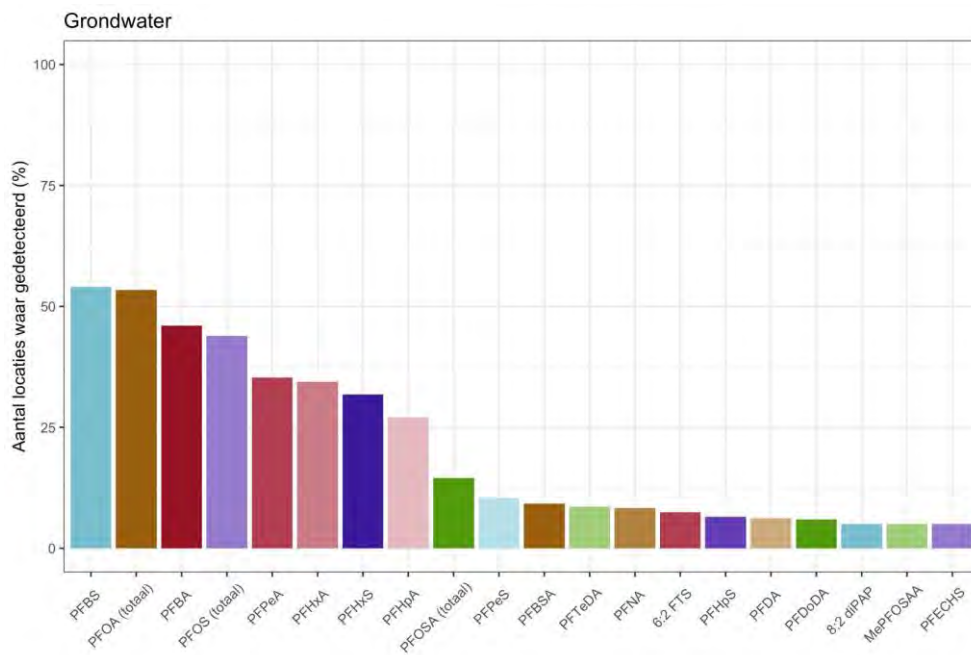
Vier van de 43 stoffen die geanalyseerd werden, werden niet gedetecteerd in grondwater: PFPeDA, PFUnDS, PFTrDS en MePFBS. In Tabel 18 worden de resultaten weergegeven van de gedetecteerde PFAS-verbindingen.

Tabel 18: Synthese analyseresultaten van geanalyseerde PFAS in grondwater. Op basis van de aantoonbaarheidsgrens (AG), werd bepaald of een PFAS-verbinding werd teruggevonden op een bepaalde locatie. Voor stoffen met concentraties boven de bepaalbaarheidsgrens (BG), werd de mediaanconcentratie (P50) bepaald, het 90^{ste} percentiel in concentraties (P90), en de hoogst gevonden concentratie.

PFAS	Aantal plaatsen gedetecteerd (>AG)	% Aantal plaatsen gedetecteerd (>AG)	P50-concentratie (ng/L)	P90-concentratie (ng/L)	Max concentratie (ng/L)
Sulfonzuren					
PFBS	182	54	1,05	18	300
PFPeS	35	10	<BG	1	50
PFHxS	107	32	<BG	3,92	84
PFHpS	22	7	<BG	0,086	3
PFOS (totaal)	148	44	<BG	4	188
PFNS	15	4	<BG	<BG	1
PFDS	15	4	<BG	<BG	1
PFUnDS	0	0	<BG	<BG	<BG
PFDoDS	15	4	<BG	<BG	1
PFTrDS	0	0	<BG	<BG	<BG
PFECHS	17	5	<BG	<BG	1
Carbonzuren					
PFBA	155	46	<BG	53,4	980
PFPeA	119	35	<BG	9	180
PFHxA	116	34	<BG	6,94	190
PFHpA	91	27	<BG	3	21
PFOA (totaal)	180	53	0,32	12	110
PFNA	28	8	<BG	1	7
PFDA	21	6	<BG	<BG	2,3
PFUnDA	15	4	<BG	<BG	1
PFDoDA	20	6	<BG	<BG	7,1
PFTrDA	16	5	<BG	<BG	1
PFTeDA	29	9	<BG	0,612	2,1
PFPeDA	0	0	<BG	<BG	<BG
PFHxDA	15	4	<BG	<BG	1
PFODA	15	4	<BG	<BG	2
Ether carbonzuren					
HFPO-DA	8	2	<BG	<BG	430
ADONA	15	4	<BG	<BG	1
Fluorotelomeersulfonzuren					
4:2 FTS	15	4	<BG	<BG	1
6:2 FTS	25	7	<BG	1	300
8:2 FTS	16	5	<BG	<BG	2
10:2 FTS	15	4	<BG	<BG	4
Fluorotelomeerfosfaatdiesters					

6:2 diPAP	15	4	<BG	<BG	10
8:2 diPAP	17	5	<BG	<BG	6.2
6:2/8:2 diPAP	15	4	<BG	<BG	10
Sulfonamides					
PFBSA	31	9	<BG	<BG	7
MePFBSA	0	0	<BG	<BG	<BG
MePFBSAA	3	1	<BG	<BG	6
PFHxSA	1	0	<BG	<BG	0,33
PFOSA (totaal)	49	15	<BG	2,098	9,355
MePFOSA	15	4	<BG	<BG	2
MePFOSAA	17	5	<BG	<BG	5
EtPFOSA	15	4	<BG	<BG	4
EtPFOSAA	15	4	<BG	<BG	1

In Figuur 32 wordt per PFAS-parameter het procentueel aantal meetlocaties weergegeven waar de gemeten waarden boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) ligt. Maar twee stoffen komen in minstens de helft van de meetlocaties voor (dus minimaal één meting boven de RG op een locatie): PFBS (54%) en PFOA (53%). Verder komen PFBA, PFOS, PFPeA, PFHxS, PFHxA en PFHpA voor op meer dan 25% van de meetlocaties. PFOSA komt op 15% van de meetlocaties voor. De andere stoffen die werden gedetecteerd in het grondwater, komen voor op minder dan 15% van de meetlocaties.

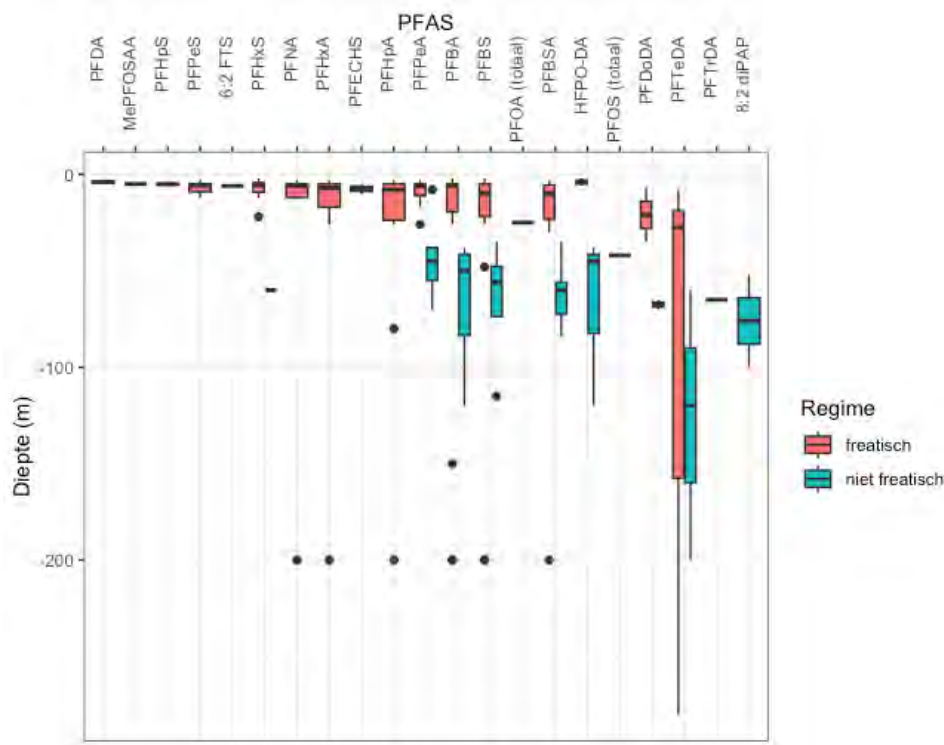


Figuur 32: Procentueel aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in grondwater. Enkel de 20 stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplot.

De migratie van PFAS van de (oppervlakkige) bodem tot in het grondwater wordt beïnvloed door verschillende factoren, waaronder: (1) de gedragseigenschappen van individuele PFAS (bv. meer of minder adsorptievermogen) bepalen of PFAS dieper wordt waargenomen partikels (Higgins and Luthy, 2006) en (2) freatisch water heeft hogere kans voor antropogene verontreiniging tov dieper gelegen gespannen grondwater. Figuur 33 toont het voorkomen van PFAS stoffen volgens diepte en type grondwater. De C4 stoffen PFBS en PFBA zijn gekend mobiler te zijn (o.a. Nguyen et al. (2020), Gellrich et al. (2012)) en worden ook al dieper geobserveerd. Daarnaast worden ook PFPeA, PFBSA, PFTeDA en 8:2 diPAP in dieper en niet

freatisch grondwater geobserveerd. Alle andere PFAS stoffen worden vooralsnog niet geobserveerd in dieper grondwater.

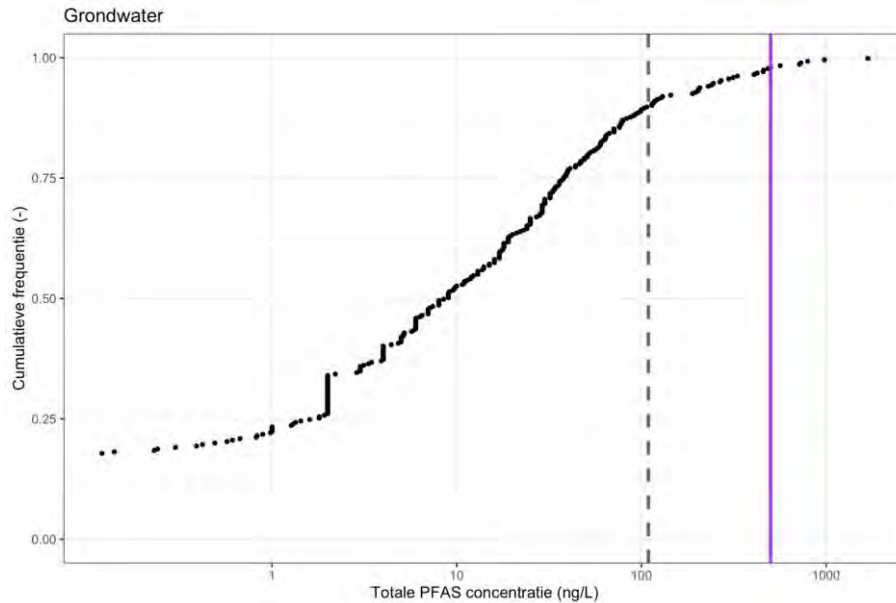
Naast migratie van PFAS stoffen van het oppervlakt tot in het grondwater, kan het voorkomen van PFAS in niet-freatisch grondwater ook mogelijks te wijten zijn aan slecht afgewerkte winningsputten en/of andere contaminatiebronnen via grondwaterputten. Daarboven kon de accurateheid van de opgegeven dieptes in de meetcampagne niet worden bepaald. Bijgevolg kunnen de opgegeven dieptes dan ook niet geverifieerd worden met een boorbeschrijving waardoor er twijfel bestaat over de opgegeven waarden.



Figuur 33: Voorkomen gekwantificeerde PFAS stoffen volgens diepte en regime in putwater dataset (freatisch of niet freatisch/gespannen grondwater)

3.5.2. WELKE CONCENTRATIES PFAS WORDEN WAARGENOMEN?

In de helft van de locaties in Vlaanderen wordt een totaal PFAS-gehalte van meer dan 8,74 ng/L waargenomen. In 10 procent van de locaties in Vlaanderen wordt een totale PFAS-concentratie van meer dan 109,1 ng/L waargenomen. De maximum waarneming is 1,7 µg/L totaal PFAS (Figuur 34).



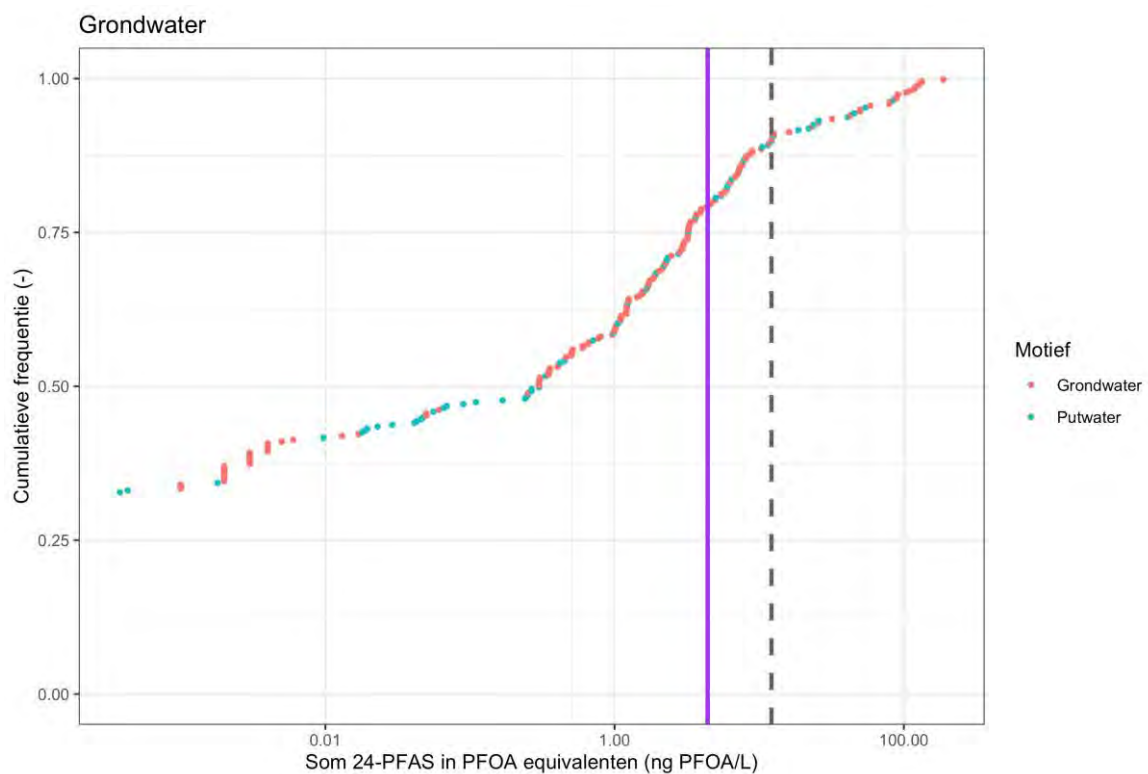
Figuur 34: Cumulatieve frequentiegrafiek voor PFAS totaal in putwater en freatisch grondwater van toestandsmeetnet (grondwater in legende) in Vlaanderen. De grijze stippellijn wijst: het 90^{ste} percentiel van het totale PFAS-gehalte in grondwater (concentratie die in slechts 10% van de locaties wordt overschreden). De paarse lijn: de PFAS-toetsingswaarde van 0,5 µg/L (Tabel 19).

3.5.3. HOEVEEL Overschrijdingen worden waargenomen?

De concentraties PFAS in grondwater werden vergeleken met humane PFAS normen. Gebaseerd op de totale PFAS-concentratie, is er slechts op 2% van de locaties overschrijding van de humane norm voor drinkwaterconsumptie. Als we kijken naar de \sum_{20} PFAS, dan is er overschrijding op 8% van de locaties. Dat aantal ligt hoger (10% van de locaties vertoont overschrijding) als we enkel naar de \sum_{4} PFAS kijken en vergelijken met de beschikbare norm. Het aandeel overschrijdingen komen vooral door de metingen uit het freatisch grondwater van het toestandsmeetnet (want 39% overschrijding voor alleen metingen grondwater toestandsmeetnet). De hoogste overschrijding zien we als we vergelijking met de beschikbare norm voor \sum_{24} PFAS in PFOA-equivalenten. Vergeleken met die norm vinden we in bijna een vierde van de gemeten locaties (24%) concentraties hoger dan de norm (Figuur 35). Ook hier is het aandeel overschrijdingen vooral door de metingen uit het freatisch grondwater van het toestandsmeetnet (want 46% overschrijding voor alleen metingen grondwater toestandsmeetnet). Het aandeel overschrijdingen ligt dus in deze studie iets lager in vergelijking met de vorige grondwaterstudie (VMM, 2022) omdat een extra dataset “putwater” is toegevoegd. Figuur 36 geeft aan dat de PFAS concentraties in putwater over het algemeen ook iets lager zijn dan de gemeten concentraties in freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet. Dit is ook logisch aangezien putwater dataset een mix is van freatisch en gespannen grondwater terwijl de kans voor antropogene verontreiniging is veel hoger voor het freatisch grondwater en dus in de freatisch grondwater dataset. Merk ook op dat de verspreiding van de staalnamepunten putwaters niet goed gekozen zijn.

Tabel 19: Toetsingswaardeoverschrijding van PFAS in grondwater (putwater en freatisch grondwater toestandsmeetnet).

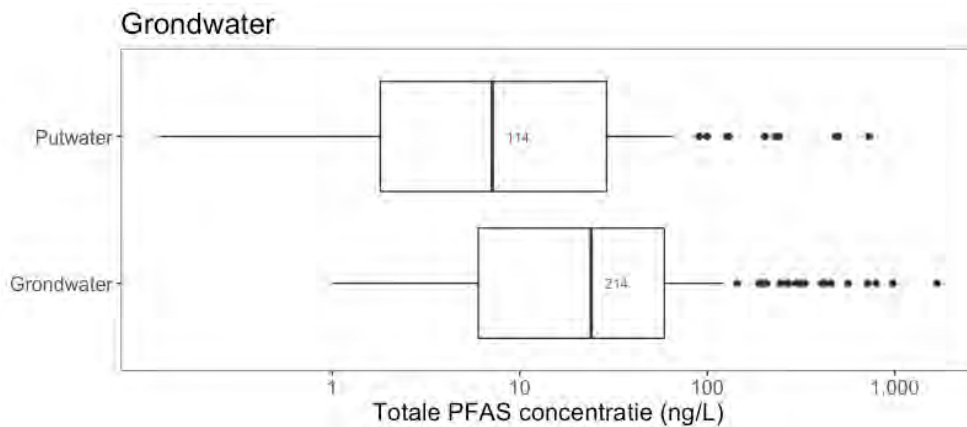
Nr.	Toepasbaar op	Toetsingswaarde	PFAS	Aantal locaties met overschrijdingen Putwater en freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet	% Aantal locaties met overschrijdingen Putwater en freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet	% Aantal locaties met Overschrijdingen Alleen freatisch grondwater toestandsmeetnet (VMM, 2022)
1	Humaan	0,5 µg/L	PFAS totaal	9	2%	<1%
2	Humaan	0,1 µg/L	\sum_{20} PFAS	38	8%	6%
3	Humaan	0,0038 µg/L	\sum_4 PFAS	49	10%	39%
4	Humaan	0,0044 µg/L	\sum_{24} PFAS (in PFOA eq.)	113	24%	46%



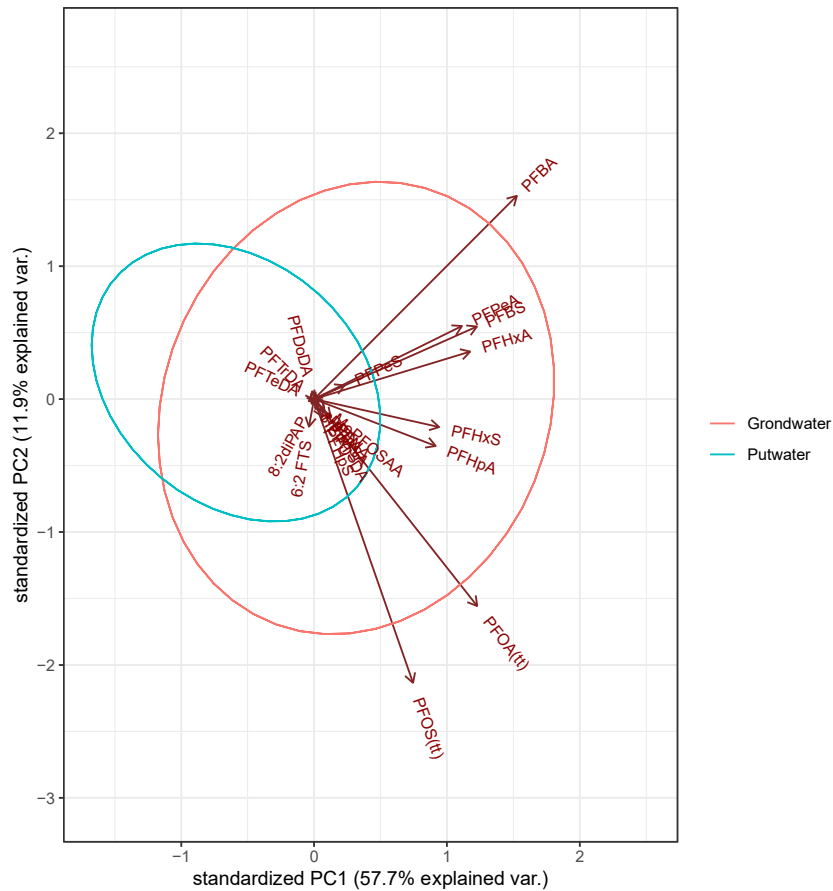
Figuur 35: Cumulatieve frequentiegrafiek voor het PFAS gehalte (\sum_{24} PFAS verbindingen) in grondwater in Vlaanderen. De paarse lijn: de \sum_{24} PFAS toetsingswaarde van 0,0046 µg/L. De grijze stippellijn: het 90^{ste} percentiel van het \sum_{24} PFAS-gehalte in grondwater (concentratie die in slechts 10% van de locaties wordt overschreden).

3.5.4. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS CONCENTRATIES?

Tussen de bemonsterde putwaters en freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet, liggen de mediaanconcentraties aan totaal PFAS een factor 3 uit elkaar: 24 ng/L voor de freatische grondwaters, en 7.1 ng/L voor de putwaters (mix van freatisch en gespannen grondwater). De PCA analyse ligt in lijn hiermee (Figuur 36): grote overlap tussen de twee motieven, met een tendens voor lagere concentraties voor putwater (meer links op de biplots terwijl de PFAS pijlen vooral naar rechts wijzen). De meest aannemelijke hypothese is dat de putwater data set ook dieper grondwater en gespannen grondwater omvat die gekenmerkt worden door minder voorkomen van PFAS (zie Figuur 33).



Figuur 36: Boxplot voor PFAS totaal in putwater en grondwater in Vlaanderen (rode cijfers stellen aantal meetlocaties voor). Het totaal PFAS-gehalte werd per locatie bepaald op basis van de mediaan van de som: eerst werd per filter het totaal PFAS-gehalte bepaald, waarna de mediaan werd afgeleid voor een bepaalde locatie. Deze mediaan wordt als het totaalgehalte PFAS beschouwd voor een bepaalde locatie.



Figuur 37: Biplot voor grondwater, per motief (met grondwater wordt freatisch grondwater uit toestandsmeetnet bedoeld). Ellipsen geven aan waar 95% van de metingen per motief zich bevinden

3.5.5. HEBBEN MOTIEVEN IMPACT OP PFAS PROFIEL (FINGERPRINTING)?

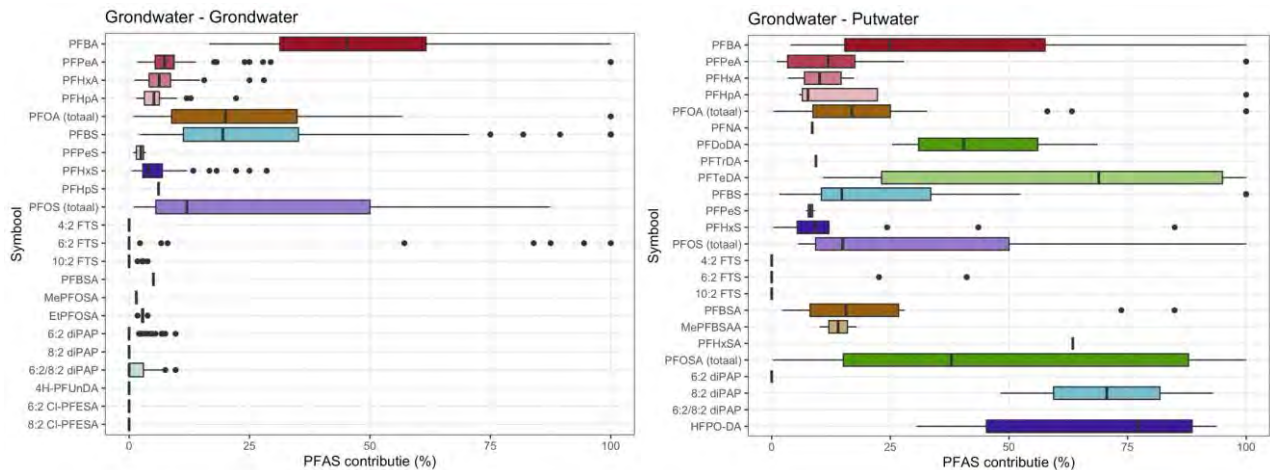
De fingerprints zijn weergegeven in Figuur 38 en de digitale annex. De dominante PFAS-verbindingen die teruggevonden werden verschillen tussen de twee grondwatermotieven (Tabel 20). In de putwaters wordt een meer diverser profiel in dominante PFAS teruggevonden dan in de freatische grondwaters uit het toestandsmeetnet. Bij freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet zijn de dominante stoffen vooral PFOS en PFOA, maar ook PFBA en PFBS. Bij de putwaters vinden we naast PFBA, PFOS en PFOSA, ook PFTeDA, 8:2 diPAP, en HFPO-DA terug als dominante verbindingen.

Tabel 20: Synthese van dominante PFAS per motief voor grondwater.

Motief	Dominante PFAS
Freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet	PFBA, PFOS, PFOA, PFBS

Putwater (mix gespannen en freatisch grondwater)	PFBA, PFOS, PFOSA, PFTeDA, 8:2 diPAP, HFPO-DA
--------------------------------------------------	-----------------------------------------------

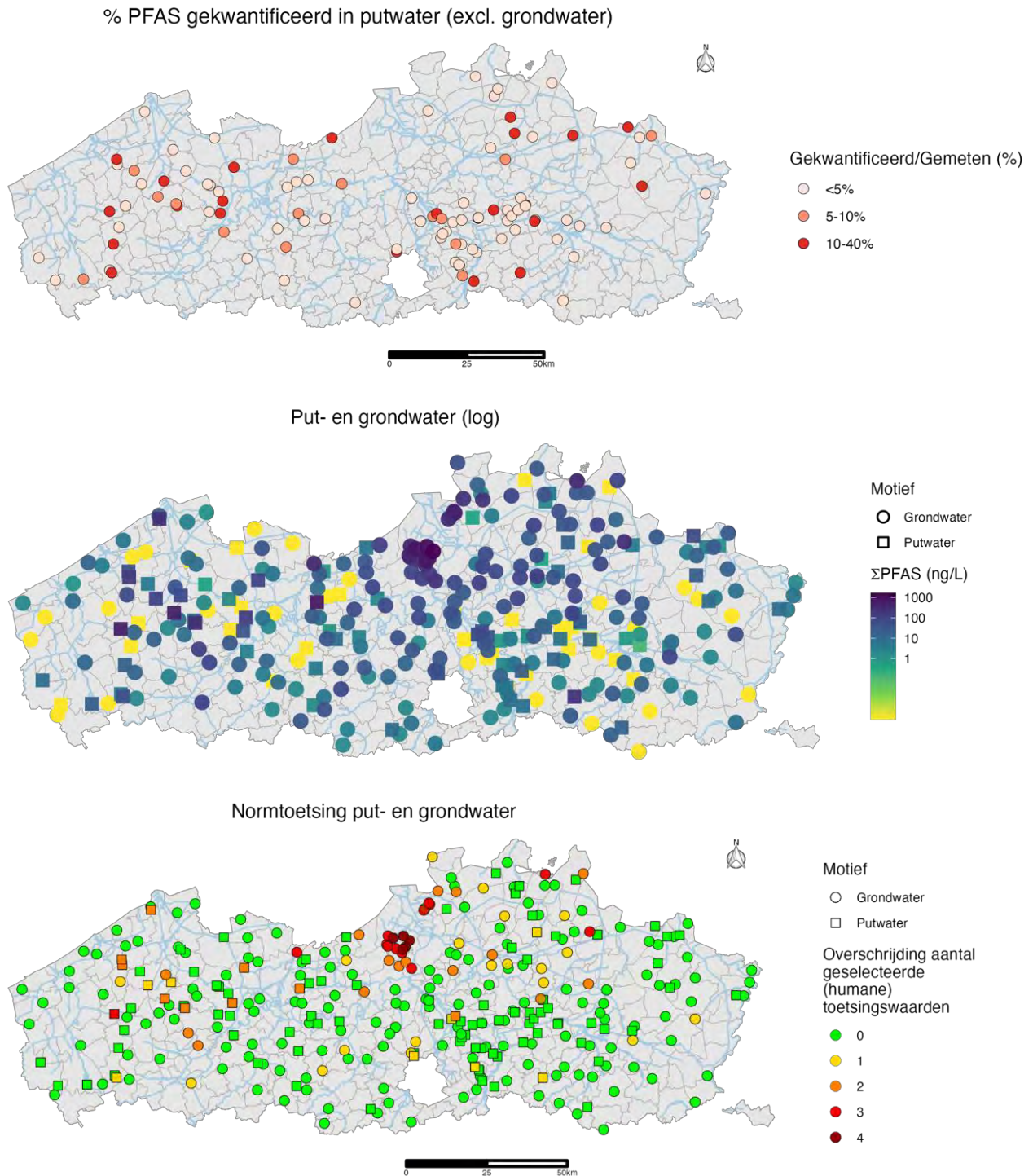
De PCA analyse bevestigde dat PFBA, PFBS, PFOA (totaal) en PFOS (totaal) duidelijk samen voorkomen (8.4.2), samen met enkele andere PFAS-stoffen in lagere concentraties (o.a. PFHpA, PFHxA, PFPeA, PFHxS). Apart van deze PFAS lijken ook een aantal andere PFAS-stoffen samen voor te komen (PFNA, PFDA, PFHpS, PFBSA), maar deze zijn duidelijk van minder belang (Figuur 38).



Figuur 38: Fingerprint voor grondwater (links: freatisch grondwater, rechts: putwater (combinatie freatisch en gespannen grondwater). De mediane contributies (proportioneel) van individuele PFAS-stoffen zijn weergegeven.

3.5.6. VERSPREIDING PFAS IN VLAANDEREN EN VERGELIJKING MET BUURLANDEN

In Figuur 39 (boven) wordt het percentage gekwantificeerde PFAS in putwater voorgesteld. Van de grondwater data zijn geen aantoonbaarheids- of bepaalbaarheidsgrenzen gegeven en deze zijn dus niet afgebeeld. Het aantal gemeten PFAS in putwater varieerde tussen 40 en 43 en er werd hoogstens 40% van de gemeten PFAS gekwantificeerd (Kortemark). Figuur 39 (midden) toont de geografische verspreiding van de Σ PFAS concentraties in freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet en putwater in Vlaanderen. In 18% van alle staalnamepunten werd geen enkele PFAS gedetecteerd/gekwantificeerd (in geel). Op de andere meetpunten reiken Σ PFAS concentraties van 0,12 ng/L (putwater, Lummen) tot 1682 ng/L (grondwater, Zwijndrecht). Enkel het grondwatermonster met de hoogste concentratie in Zwijndrecht overschrijdt 1000 ng/L. In 76% van de put- en grondwatermeetpunten werd geen van de geselecteerde toetsingswaarden overschreden. Vijf grondwatermeetpunten in een straal van 10 km rond de 3M fabriek in Zwijndrecht overschrijden alle vier toetsingswaarden wat duidt op een geconcentreerde contaminatie van put- en grondwaters in die regio (Figuur 39 onder).



In de huidige analyse werden freatisch grondwaters uit het toestandsmeetnet en putwaters in Vlaanderen onderzocht. Grondwaters werden bemonsterd op willekeurige locaties en deze kunnen dus beschouwd worden als combinatie van verdachte en niet-verdachte locaties. Putwaters (freatisch en gespannen

grondwater) omvatten alle locaties waar particulieren niet aangesloten zijn op het drinkwaternet en omvatten eveneens verdachte als niet-verdachte locaties. Mediane concentraties van individuele PFAS kwamen overeen met deze van nationale onderzoeken in Nederland (RIVM 2021) en Engeland (BGS, 2018). PFAS concentraties gemeten op verdachte locaties in Nederland zijn beduidend hoger dan deze in Vlaanderen. Deze locaties omvatten plekken met brandweeroefeningen, brandbluscalamiteiten, industrie, luchtdepositie, metaalbedrijven, afval- en rioolwaterzuiveringsinstallaties, stedelijke gebieden en storten en de veel hogere PFAS concentraties zijn dan ook gerelateerd aan deze bronnen. Andere metingen in Nederland op niet-verdachte locaties zijn daarentegen beduidend hoger dan deze gerapporteerd door het RIVM (2021). Een relatie met mogelijke PFAS bronnen (zoals brandweeroefenplaatsen of vliegvelden) op deze locaties kon echter niet worden gevonden.

Tabel 21: PFAS concentraties in freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet en putwater (ng/L) in Vlaanderen en metingen uit naburige regio's. Mediaan (boven, niet cursief) en/of gemiddelde (onder, cursief) worden telkens getoond. V verdacht, NV niet verdacht.

Locatie	Vlaanderen			Nederland				Engeland	
	Regionaal			Nationaal	Nationaal	Regionaal	Nationaal		Regionaal
Jaar	2022			2015-2016	2016-2017	2018	Geen info		2014-2017
Publicatie	Huidige studie			Expertisecentrum PFAS, 2018a	Expertisecentrum PFAS, 2018b	RIVM, 2019	RIVM, 2021		British Geological Survey, 2018
ng/L	Grondwater + putwater (freatisch en gespannen)	Grondwater (freatisch)	Putwater (freatisch en gespannen)	Grondwater (NV)	Grondwater (V)	Grondwater (V)	Freatisch grondwater (Geen info)	On- en middeldiep – grondwater (Geen info)	Grondwater (Geen info)
Sulfonzuren									
PFBS	1,1 7,2	3,0 7,6	<LOD 1,4		10 220		3,2	0,3	
PFPeS	<LOD 0,6	<LOD 0,4	<LOD 0,1		<LOD 480		0,3	0,3	
PFHxS	<LOD 1,8	<LOD 1,6	<LOD 0,7		10 6560		0,6	0,3	
PFHpS	<LOD 0,1	<LOD 0,1	<LOD 0,02		<LOD 460		0,3		
PFOS	<LOD 2,6	1 2,3	<LOD 1,3	12	10 31710				0,2 3
linPFOS							0,3	0,2	
brPFOS							0,7	0,2	
PFDS	<LOD 0,1	<LOD 0,1	<LOD <LOD		<LOD <LOD				
Carbonzuren									
PFBA	<LOD 23	6,0 20	<LOD 10		10 280		5,5	0,6	
PFPeA	<LOD 3,4	<LOD 3,0	<LOD 0,8		<LOD 710		1,7	0,6	2 3
PFHxA	<LOD 2,9	<LOD 2,4	<LOD 1,1		10 860		1,8	0,3	1 2
PFHpA	<LOD 1,0	<LOD 1,1	<LOD 0,6		10 130		1,4	0,3	
PFOA	0,3 3,7	1,0 4,8	<LOD 1,5	85	30 1100				0,6 1,6
linPFOA							6,0	0,3	
brPFOA							1,6	0,3	
PFNA	<LOD 0,2	<LOD 0,1	<LOD 0,1		<LOD 20		0,6	0,6	
PFDA	<LOD	<LOD	<LOQ		<LOD		0,6		

	0,1	0,1	0,04		10				
PfUnDA	<LOD 0,1	<LOD 0,1	<LOD <LOD		<LOD <LOD				
PfDoDA	<LOD 0,1	<LOD 0,1	<LOD 0,1		<LOD <LOD				
PfTrDA	<LOD 0,01	<LOD 0,1	<LOD 0,001		<LOD <LOD				
PfTeDA	<LOD 0,1	<LOD 0,1	<LOD 0,1		<LOD <LOD				
Ether carbonzuren									
HFPO-DA	<LOD 2,6	<LOD 0,02	<LOD 7,2			2185			
Fluorotelomeersulfonzuren									
6:2 FTS	<LOD 1,4	<LOD 0,4	<LOD 3,5		<LOD 4130		0,3	0,3	
8:2 FTS	<LOD 0,1	<LOD 0,1	<LOD 0,01		<LOD 40				
Fluorotelomeerfosfaatdiesters									
8:2 diPAP	<LOD 0,1	<LOD 0,1	<LOD 0,1				2		
Sulfonamides									
PFOSA	<LOD 0,7	- -	<LOD 0,6		<LOD 40				

3.6. RELATIES TUSSEN MATRICES

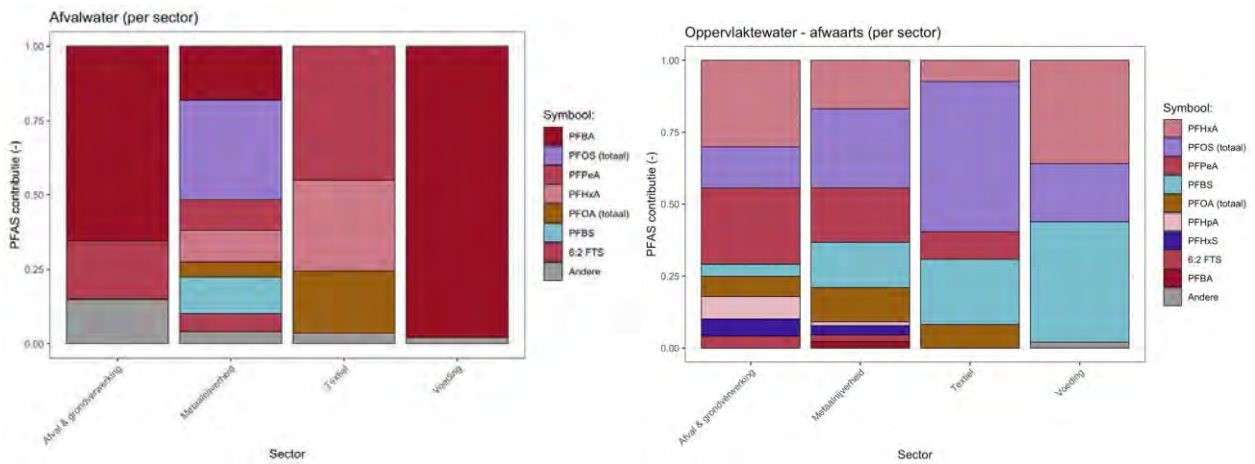
Om na te gaan welke relaties er zijn tussen de matrices, werd gebruik gemaakt van het vergelijken van fingerprints en co-inertie analyses. Wegens het lage aantal datapunten (in vergelijking met het aantal PFAS), werden enkel verkennende co-inertie analyses uitgevoerd voor de gelijkenis van het PFAS profiel tussen oppervlaktewater en waterbodembiota. Daarnaast werd gebruik gemaakt van statistische relaties tussen partitioneringscoëfficiënten en gemeten concentraties om mogelijke bronnen van PFAS vervuiling te detecteren.

3.6.1. AFVALWATER EN OPPERVLAKTEWATER

De co-inertie analyse tussen afvalwater en oppervlaktewater metingen stroomafwaarts gaf een lage co-integratie coefficient aan ($RV = 0,06$). Er is dus niet veel overeenkomst in het PFAS profiel van afvalwater en dat van metingen stroomafwaarts. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat er veel dataverlies is door enerzijds het beperkt aantal overeenkomstige metingen in beide datasets (45 overeenkomstige meetplaatsen o.b.v. de koppelingmatrix) en anderzijds door de verplichting om met complete datasets te werken voor PCA. Hierdoor is er sprake van een sterk dataverlies, aangezien uiteindelijk slechts 96 stalen zijn behouden, met daarin 39 PFAS stoffen (Tabel 25).

Een meer algemeen beeld kunnen we krijgen door het vergelijken van de fingerprints van de individuele sectoren voor het afvalwater en voor de sites downstream. Voor vier sectoren konden overeenkomstige meetplaatsen stroomafwaarts gevonden worden: Afval- en grondverwerking, metaalnijverheid, textiel en voeding. In het algemeen hebben PFOS en PFBS, en in mindere mate PFPeA en PFHxA een hogere contributie in het PFAS profiel voor oppervlaktemetingen stroomafwaarts in vergelijking met het afvalwater (Figuur 40). Voor de sectoren voeding en textiel is het PFAS profiel het meest ingrijpend verschillend: in het oppervlaktewater kan duidelijk een hogere contributie van PFOS (totaal) en PFBS worden vastgesteld, terwijl PFBA wordt niet meer teruggevonden in het oppervlaktewater stroomafwaarts.

Er is dus **geen duidelijk verband te detecteren tussen de PFAS profielen van afvalwater en het oppervlaktewater stroomafwaarts**. Hierbij dienen wel enkele bedenkingen gemaakt te worden. We bekijken hier het algemene beeld over alle meetplaatsen heen a.h.v. mediane PFAS contributies. Mogelijks kunnen er wel verbanden gevonden worden als meer op specifieke plaatsen gefocust wordt. Daarnaast vindt er een sterke data-reductie plaats omdat er maar een beperkt aantal afvalwaters gekoppeld kunnen worden aan stroomafwaartse meetplaatsen.

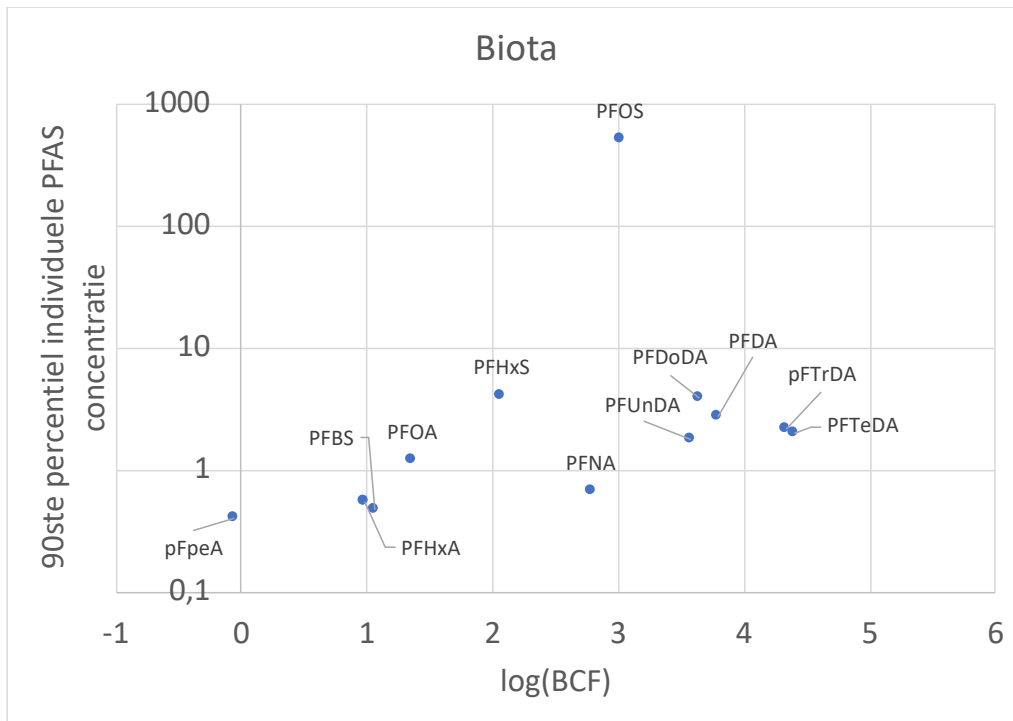


Figuur 40: Vergelijking van de fingerprints (mediane contributie) van afvalwater en oppervlaktewater stroomafwaarts, per sector.

3.6.2. OPPERVLAKTEWATER, WATERBODEM EN BIOTA

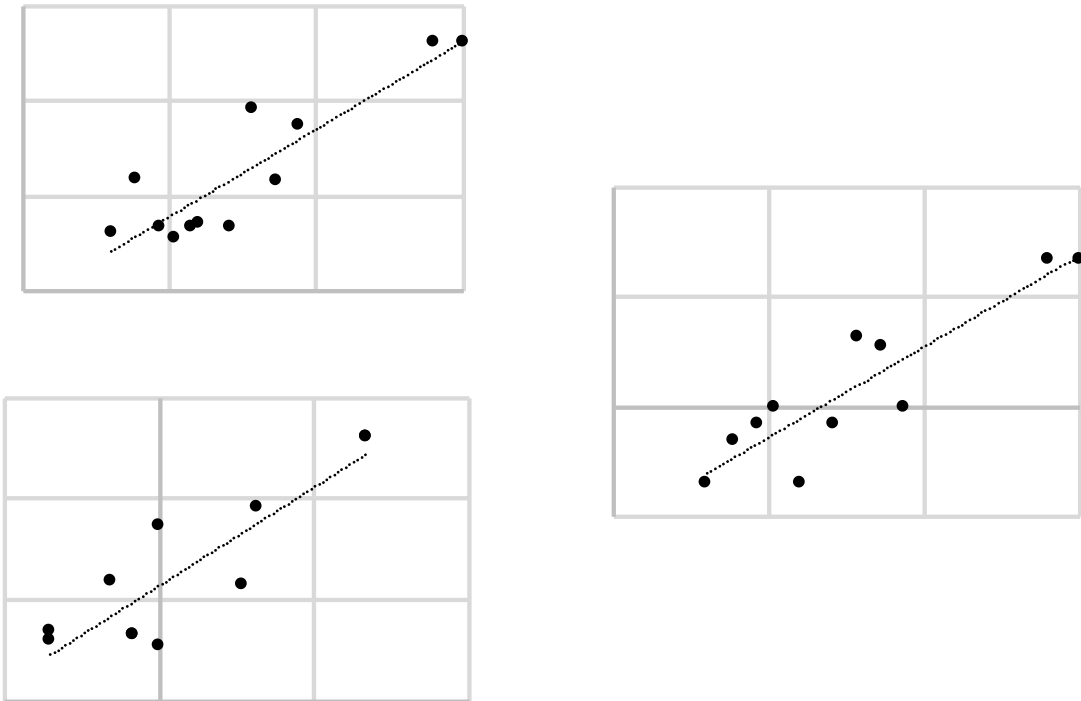
Er werd geen verband gevonden tussen oppervlaktewater en waterbodem ($RV = 0,09$), wat suggereert dat het PFAS profiel in het oppervlaktewater niet rechtstreeks beïnvloed wordt door de PFAS in de waterbodem (en omgekeerd). Voor waterbodem en biota werd een licht verband gevonden ($RV = 0,33$), wat erop kan wijzen dat de PFAS in de waterbodem een invloed hebben op de PFAS die worden teruggevonden in vissen. In beide gevallen **is de dataset te klein om hier veel conclusies** aan te verbinden. Er zijn ook nog verdere variabelen die een duidelijk signaal kunnen verstoren, bijvoorbeeld bij de vissen werden 4 verschillende soorten met een verschillende levenswijze bemonsterd.

Eén van de mogelijke verklaringen voor PFAS vervuiling in vissen is dat PFAS bioconcentreren, d.w.z. dat er meer PFAS via het water opgenomen wordt dan weer uit het lichaam verdwijnt. Om dit te onderzoeken, werden de gemeten concentraties vergeleken met hun BCF (bioconcentration factor) (Burkhard, 2021). De BCF drukt uit hoe sterk stoffen vanuit het water accumuleren in organismen, hoge BCF waarden duiden op hoge accumulatie. Er wordt verwacht dat een statistische relatie tussen BCF en de gemeten concentratie in vissen kan gevonden worden als de stof vooral via water wordt opgenomen. Deze relatie was echter niet statistisch significant (Figuur 41), wat er mogelijk op wijst dat voor PFAS-stoffen **water niet de belangrijkste opnameroute is voor vissen**.



Figuur 41: Verband tussen logBCF en de gemeten visconcentraties (µg/kg ng). De 90^{ste} percentiel per PFAS-stof werd bekeken.

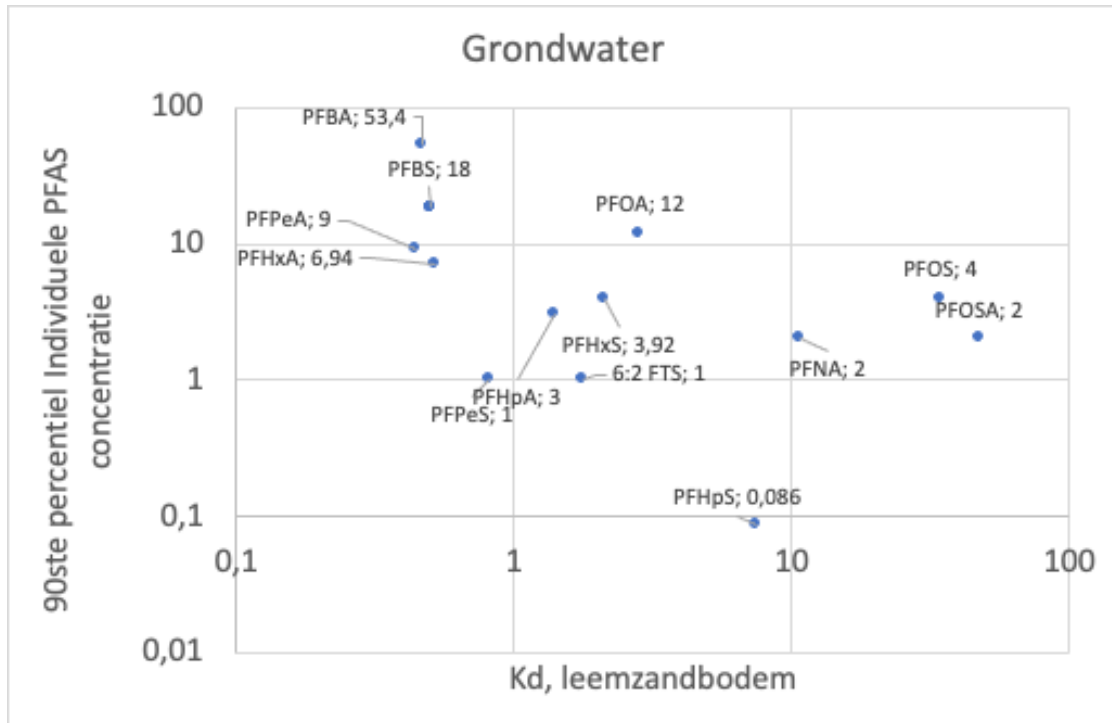
Om de opname van PFOS in biota verder te onderzoeken, werden voor PFOS (de meest frequent gedetecteerde PFAS in biota en waterbodern) in biota relaties gezocht met concentratie oppervlaktewater en waterbodern. Deze correlaties werden beperkt tot de 11 locaties waar biota werd bemonsterd. Figuur 43 toont voor PFOS redelijke, positieve correlaties tussen oppervlaktewater en biota (linksboven, $R^2 = 0,93$), waterbodern en biota (rechts, $R^2=0,94$) en oppervlaktewater en waterbodern (linksonder, $R^2=0,98$). Bijgevolg wordt verwacht dat de geobserveerde variatie in biota eerder een gevolg is van de ruimtelijke variatie tussen hot spots, eerder dan van het bioconcentratiepotentieel van de individuele PFAS stoffen. Teunen et al. (2020) onderzocht ook correlaties tussen PFOS in de waterkolom en in biota en vond een significante correlatie voor baars ($R^2=0,65$) maar niet voor paling ($R^2=0,49$). In de huidige studie werden alle vissoorten meegenomen in de correlatie wat mogelijks de beter correlatie verklaart. De positieve relatie tussen de drie milieucompartimenten suggereert alvast een sterke uitwisseling van PFAS binnen het aquatische systeem.



Figuur 42: PFOS relaties tussen oppervlaktewater (OW), waterbodem (WB) en biota (vis). Metingen <AG ($n = 3$ voor WB) zijn hier gelijkgesteld aan de AG. Visconcentraties zijn uitgedrukt in natgewicht (ww).

3.6.3. RELATIE TUSSEN GRONDWATER EN ANDERE MATRICES

Eén van de belangrijke vragen bij PFAS vervuiling is of de vervuiling van het grondwater kan bijdragen aan de vervuiling van andere matrices, of omgekeerd, of vervuiling in bv. oppervlaktewater of afvalwater zich vertaalt in vervuiling van het grondwater. Op dit ogenblik is er geen éénduidige koppeling tussen de meetplaatsen van het grondwater en andere matrices. Bij gebrek hieraan, werden in Figuur 44 de gemeten concentraties vergeleken met K_d coëfficiënten voor zandleembodem uit Nguyen et al. (2020). De K_d coëfficiënt is een partiticoëfficiënt die beschrijft hoe een stof partitioneert tussen het (poriën)water en (water)bodem. Een logische, omgekeerde relatie kan geobserveerd worden tussen de K_d voor zandleembodem en de 90^{ste} percentiel individuele PFAS concentratie. Hoe hoger de K_d van een individuele PFAS stof, hoe meer adsorptie op de bodem en hoe lager de grondwaterconcentraties. Dit suggereert dat de grondwaterconcentraties naast de bronnen ook sterk afhankelijk zijn van de individuele PFAS stoffeigenschappen.

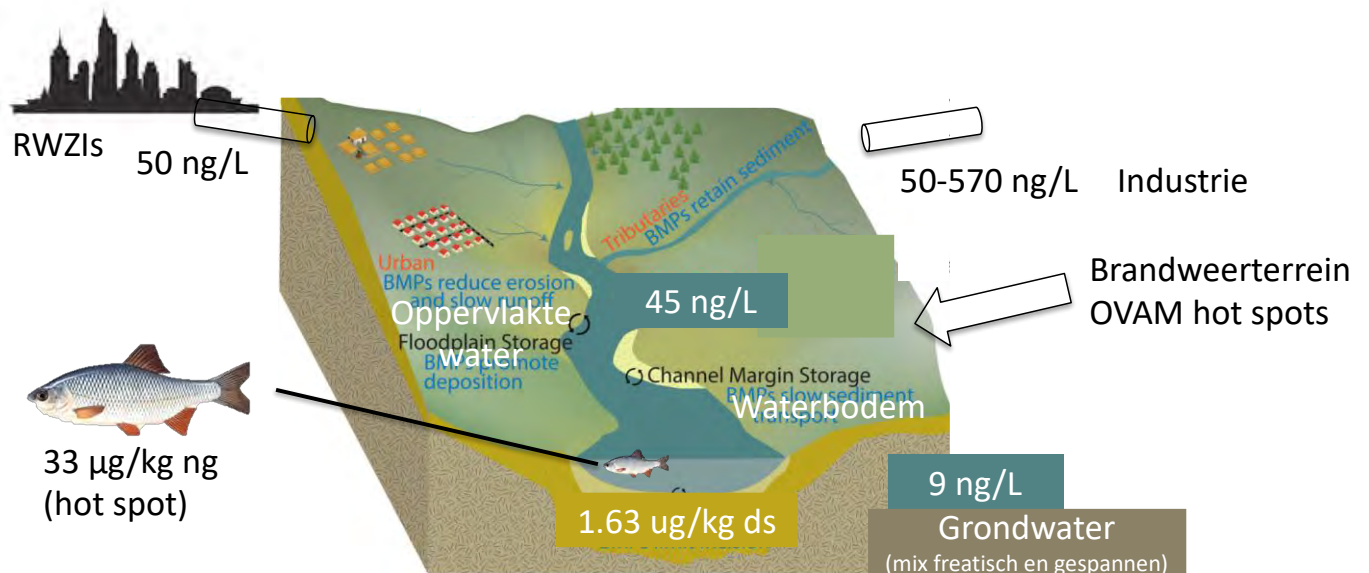


Figuur 43: Relatie tussen Kd coëfficiënt en grondwater concentraties.

3.6.4. RELATIES TUSSEN ALLE MATRICES

Zonder een massabalans (waarbij de emissievrachten van de gemeentelijke RWZIs en industriebronnen en emissievrachten in oppervlaktewater worden gekwantificeerd) is het moeilijk om kwantitatieve relaties te leggen tussen de matrices. Figuur 44 geeft de relatie weer tussen de mediane Σ PFAS concentraties per compartiment. De concentraties zijn indicatief voor de massatransfer. De mediane effluent concentratie van industriële bronnen varieert tussen 50 en 570 ng/L (afhankelijk van de sector). De mediane effluent concentratie van de RWZIs is circa 50 ng/L. De concentratie in RWZIs is misschien lager in vergelijking met de industriële bronnen maar de geloosde debieten zijn wel groter. Een vrachtberekening zou dit meer in perspectief kunnen plaatsen. In Vlaamse oppervlaktewateren wordt een mediaan van 45 ng/L geobserveerd, in dezelfde grootteorde als de effluënten. Dit suggereert dat er slechts beperkt verdunning en degradatie optreedt ofwel dat andere diffuse bronnen ook een belangrijke bijdrage leveren (bvb brandweeroefenterreinen of bodemverontreinigingen). In grondwater (mix van freatisch en gespannen grondwater, mix van putwater en freatisch grondwater toestandsmeetnet) wordt een lager totaalgehalte gevonden, met een mediane concentratie van 8,7 ng/L gemeten. De mediane concentratie in waterbodem is 1,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ds. Gezien het

geringe aantal stalen voor biota (die bovendien vooral in de buurt van hot spot locaties werden genomen), kunnen we geen representatief beeld van heel Vlaanderen krijgen.

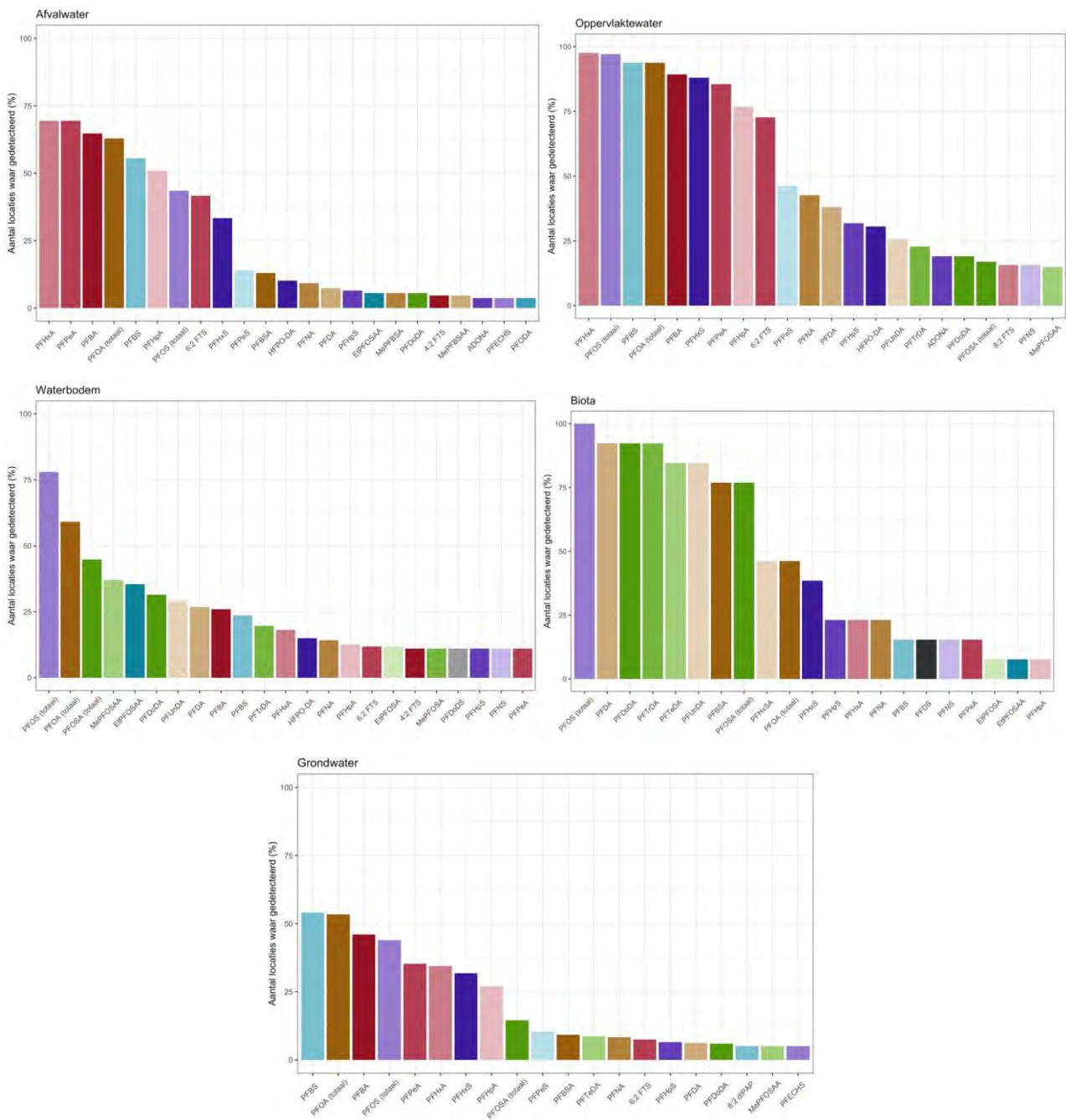


Figuur 44: Relatie tussen alle matrices, uitgedrukt in mediane Σ PFAS concentraties in Vlaanderen (mediaan refereert naar concentraties die in 50% van de meetlocaties hoger (of lager) zijn).

Figuur 45 (meest gedetecteerde PFAS) geeft een algemeen overzicht van de gedetecteerde PFAS stoffen in elk milieucompartment. De meest gedetecteerde PFAS in het afvalwater zijn PFHxA, PFPeA, PFBA, PFOA, PFBS, PFHpA, PFOS, 6:2 FTS en PFHxS. Dezelfde PFAS werden ook het meest gedetecteerd in het oppervlaktewater. In oppervlaktewater worden PFOS en PFOA vaker gedetecteerd in vergelijking met afvalwater. Dit kan mogelijks een gevolg zijn van afbraakprocessen van andere PFAS in oppervlaktewater, waarbij PFOS en PFOA kunnen gevormd worden als stabiele (i.e. persistente) eindproducten (Buck et al., 2011).

PFOS is ook de meest gedetecteerde PFAS in zowel waterbodem als biota. In waterbodem werden typisch de C8 carbonzuren gemeten zoals PFOS en PFOA omwille van hun neiging tot sorptie aan partikels (Higgins and Luthy, 2006), maar opvallend was ook de detectie van C8-sulfonamides en -sulfonamidoacetaten (PFOSA, MePFOSAA, EtPFOSAA), die gekend zijn als precursor en kunnen afbreken tot bvb. PFOA (Plumlee et al., 2009).

In biota werden voornamelijk de langere C-ketens (C8-C14) het vaakst gemeten (PFOS>PFDA>PFDoDA,PFTrDA>PFTeDA>PFUnDA), wat binnen de verwachting ligt gezien het hoge bioaccumulatieve potentieel van de lange PFAS-ketens (Conder et al., 2008). PFBS werd het vaakst gedetecteerd in grondwater. Gezien de hoge mobiliteit en wateroplosbaarheid van korte PFAS-ketens ten opzichte van langere C-ketens, kunnen PFAS zoals PFBA, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHxS en PFHpA makkelijker doordringen tot de diepere waterlagen (Gellrich et al., 2012). Desalniettemin worden PFOA en PFOS ook frequent gedetecteerd in grondwater, hoewel het voor deze langere ketens langer duurt om de diepere grondwaterlagen te bereiken.



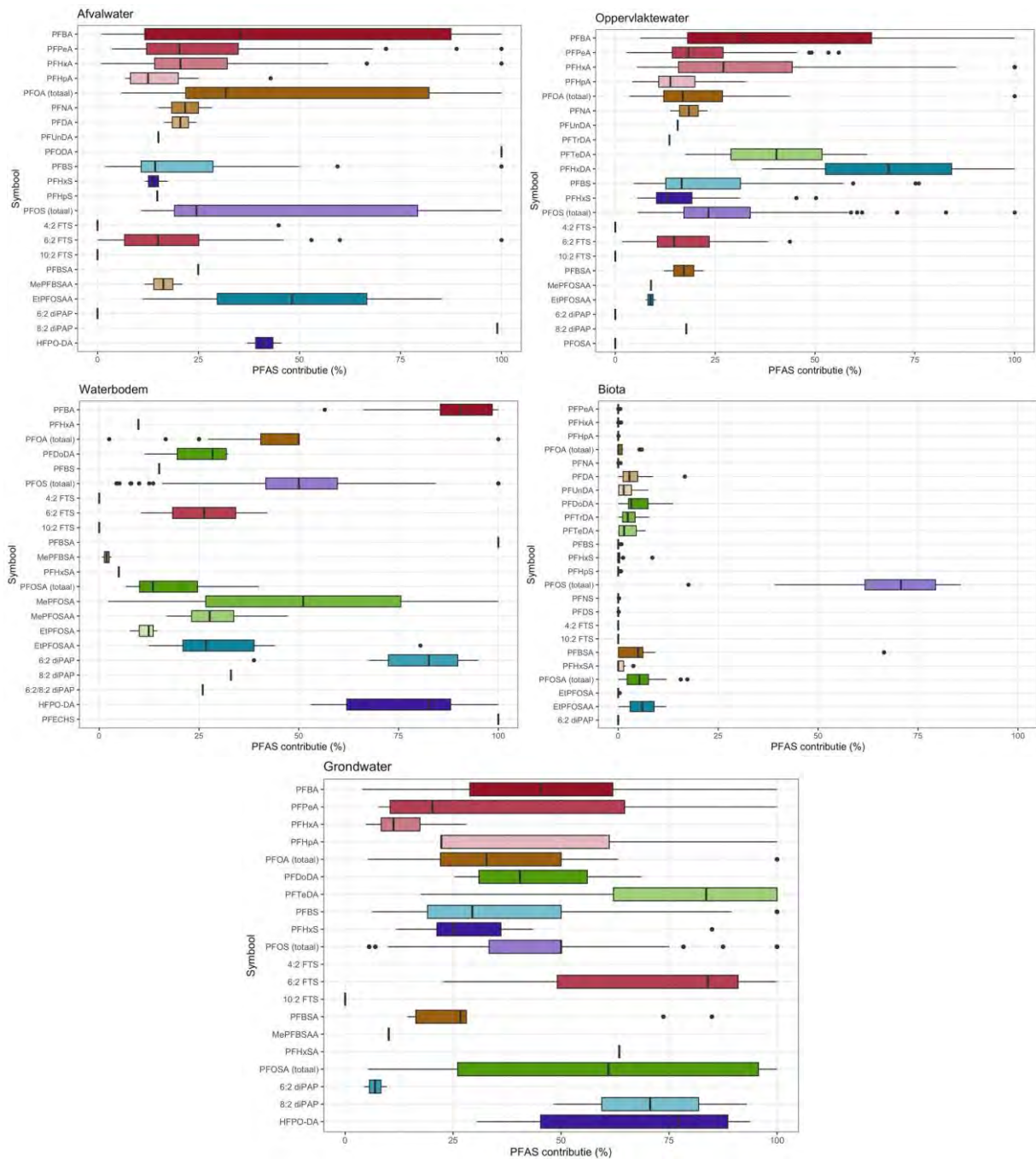
Figuur 45: Percentage locaties met concentraties boven de rapportagegrens (RG) in afvalwater en boven de aantoonbaarheidsgrens (AG) in oppervlaktewater, waterbodern, biota en grondwater. Enkel de stoffen met hoogst aantal locaties met concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens zijn geplot.

Figuur 46 geeft een overzicht van de contributie van verschillende PFAS (fingerprinting) uitgezet per matrix. Deze fingerprinting geeft ons een idee van de contributie van bepaalde PFAS-verbindingen (indien >RG voor afvalwater, en >BG voor de andere matrices) tot het totaal PFAS-gehalte over een bepaalde matrix. Dit geeft dus een heel breed en algemeen beeld weer van de fingerprint (welke stoffen hebben een contributie) in een specifieke matrix. Belangrijk hierbij is dat deze figuren dus enkel distributies voorstellen, en geen correlaties

of causaliteiten tonen. Uit de distributies kan niet worden afgeleid hoe frequent een bepaalde contributie is waargenomen (e.g. in één of meerdere stalen), waar/wanneer die is waargenomen (e.g. op één of meerdere locaties/tijdstippen), en hoe deze linken tussen matrices (de distributies tonen geen relaties).

Op basis van deze fingerprinting, kunnen een aantal gelijkenissen maar ook verschillen in contributies van stoffen doorheen de matrices afgeleid worden:

- Er is een duidelijk contributie van PFOS in alle matrices.
- PFBA heeft een duidelijk contributie in zowel afvalwater, oppervlaktewater, waterbodem, als in grondwater. Analooq vinden we 6:2 FTS ook terug in die vier matrices.
- PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFBS, en PFHxS worden ook gedetecteerd in afvalwater, oppervlaktewater, en grondwater.
- HFPO-DA heeft een contributie in afvalwater, maar ook duidelijk in waterbodem.
- EtPFOSAA heeft een merkbare distributie in afvalwater, en blijkt ook terug te komen in waterbodem en biota.
- PFNA heeft een gelijkaardige distributie in afval- en oppervlaktewater, en komt ook terug in biota.
- PFTeDA heeft een sterke contributie in zowel oppervlaktewater en putwater.
- PFDoDA heeft een merkbare contributie in waterbodem en putwater
- Bepaalde stoffen tonen merkbare contributies die in andere matrices niet naar voor komen, zoals MePFBSAA in afvalwater, PFHxDA in oppervlaktewater, MePFOSA in waterbodem, en 8:2 diPAP in putwater.



Figuur 46. Fingerprint voor de verschillende matrices. De mediane contributies (proportioneel) van individuele PFAS zijn weergegeven.

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1. CONCLUSIES

De resultaten van een uitgebreide meetcampagne naar PFAS-verspreiding in het afvalwater, oppervlaktewater, waterbodembodem, biota en grondwater in Vlaanderen tonen aan dat, hoewel in het merendeel van de stalen de concentratie onder de AG ligt, op de grote meerderheid van alle meetlocaties wel minimaal één PFAS component is gedetecteerd. Dit toont aan dat de aanwezigheid van PFAS wijdverspreid is in Vlaanderen. Ruimtelijke analyses bevestigen deze observatie. Wat PFAS concentraties betreft zijn er echter enkele duidelijke hot-spots in Antwerpen/Zwijndrecht (impact industrie) voor oppervlaktewater en waterbodembodem, in de Fabrieksloop/Geulloop in Willebroek (impact industrie) voor waterbodembodem en biota, de Melsterbeek voor waterbodembodem, het zuiden van West-Vlaanderen voor afvalwater (impact industrie) en Molenbeek in Ronse voor biota. Deze hot-spots zijn vooral gerelateerd worden aan historisch gebruik van PFAS.

De mediane effluent concentratie van industriële bronnen varieert tussen 50 en 570 ng/L Σ PFAS (afhankelijk van de sector). De mediane effluent concentratie van de RWZIs is circa 50 ng/L Σ PFAS. In Vlaamse oppervlaktewateren ligt de mediane concentratie in dezelfde grootte-orde, namelijk 45 ng/L Σ PFAS. De mediane grondwaterconcentratie ligt een factor 5 lager circa 8.7 ng/L Σ PFAS. Het totale PFAS-gehalte is dus gelijkaardig in de verschillende watercompartimenten, met uitzondering van grondwater, maar er zijn wel duidelijke verschillen in het PFAS-profiel. De mediane concentratie in waterbodembodem bedraagt 1,2 μ g/kg ds Σ PFAS. De beperkte gegevens voor biota laten op dit moment niet toe om een breedbeeld voor Vlaanderen te schetsen. De waargenomen PFAS concentraties in Vlaanderen zijn van dezelfde grootte-orde als deze in de ons omringende buurlanden en -gewest wanneer de vergelijking wordt gemaakt met sterk geïndustrialiseerde of verstedelijkte gebieden.

Welke PFAS stoffen gemeten worden is duidelijk verschillend tussen zowel de verschillende matrices en de verschillende motieven onderzocht binnen een matrix. Er wordt een duidelijke impact vastgesteld van de verdachte motieven (i.e. bronnen) in vergelijking met de niet-verdachte motieven voor oppervlaktewater en waterbodembodem. Puntbronnen hebben een significante invloed op PFAS concentraties in Vlaanderen. Zo is er voor afvalwater een duidelijke PFAS-fingerprint per sector met kenmerkende PFAS (zowel in aanwezigheid als concentratie). Tegelijk is deze PFAS-fingerprint moeilijk te vertalen of te linken naar oppervlaktewater of andere milieucompartimenten omdat oppervlaktewater en andere milieucompartimenten ook worden gekenmerkt door diffuse PFAS bronnen in Vlaanderen. De diffuse verspreiding wordt vooral geobserveerd in het effluent van RWZIs en grondwater. Daarnaast spelen de specifieke, fysico-chemische karakteristieken van individuele PFAS (mobiliteit, absorptie, bioaccumulatie en degradatie-eigenschappen) een belangrijke rol bij de verdere verspreiding in het milieu, vooral naar waterbodembodem en grondwater. Lange PFAS-ketens degraderen typisch tot de meer stabiele PFOS en PFOA (C8-keten) die ook zichtbaar meer voorkomen in waterbodembodem en biota. Onder meer adsorptiekarakteristieken bepalen welke PFAS in waterbodembodem (meer adsorptie, langere ketens) en grondwater (minder adsorptie, kortere ketens) terechtkomen.

Voor oppervlaktewater en biota worden in het merendeel (75-100%) van de locaties overschrijdingen van de geselecteerde toetsingswaarden vastgesteld. Voor afvalwater (5-25% van de locaties), waterbodembodem (4-27% van de locaties) en grondwater (2-24% van de locaties voor freatisch en gespannen grondwater en 1-46% voor freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet) zijn er kleine tot matige overschrijdingen van de geselecteerde toetsingswaarden. Dit is sterk afhankelijk van het type toetsingswaarde en de achterliggende beschermingsdoelstelling. Voor oppervlaktewater en biota zijn de toetsingswaarden milieukwaliteitsnormen die gebaseerd zijn op humane visconsumptie en humane toxiciteit in tegenstelling tot deze voor waterbodembodem en grondwater, die respectievelijk gebaseerd zijn op directe ecotoxiciteit en humane drinkwaterconsumptie.

4.2. AANBEVELINGEN

De focus van de analyse in dit rapport was het verkrijgen van een breedbeeld van PFAS in Vlaanderen. Bijkomend aan deze huidige brede analyse, laten de meetgegevens uit deze studie het ook toe om meer lokale

of regionale analyses te maken. Op basis van de huidige resultaten wordt verwacht dat op lokale schaal duidelijkere relaties tussen de verschillende matrices gedetecteerd kunnen worden. Aandacht kan eerst gaan naar de geïdentificeerde hotspots in Vlaanderen.

Ook de mogelijke PFAS bronnen kunnen verder onderzocht worden. Momenteel is er weinig transparantie omtrent het gebruik van PFAS in de productieprocessen van bedrijven of het industrieel effluent. Deze transparantie zou de verschillen tussen sectoren beter kunnen verklaren. In het bijzonder voor de afvalstoffensector is verder onderzoek nodig om de brede variatie van PFAS in het effluent beter te begrijpen (bv. Is er een verschil tussen primaire versus secundaire bron afvalstoffen?). Het is ook zinvol om voor verschillende bronnen de vrachten (of massafluxen) te kwantificeren (i.p.v. concentraties). Immers de concentraties in RWZIs zijn niet zo groot (in vergelijking met industriële lozing) maar de geloosde debieten zijn wel groter. Zo ook is het aandeel van brandweeroefenterreinen als bron nog onvoldoende duidelijk.

Tenslotte is het essentieel om het milieugedrag (degradatie, mobiliteit, bioaccumulatie, adsorptie) van individuele PFAS en hun degradatieproducten in de verschillende milieucompartimenten beter te begrijpen om bronnen zo accuraat mogelijk te kunnen identificeren.

Voor de beleidsmatige context rond PFAS en bij uitbreiding andere zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) wordt verwezen naar het recente PFAS actieplan van de Vlaamse Overheid (<https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/nieuwsberichten/pfas-actieplan-2022-2024-staat-online>) en naar het eindrapport PFAS van opdrachthouder Karl Vrancken dat eind 2022 werd gepubliceerd (<https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/eindrapport-opdrachthouder>). Het beleid rond de restrictie van PFAS en ZZS speelt in op verschillende zaken, waaronder het voorkomen van emissie door o.a. aanpassingen in de vergunning, het beperken van verspreiding en blootstelling en het sanering van vervuilde locaties.

5. REFERENTIES

- Bil, W., Zeilmaker, M., Fragki, S., Lijzen, J., Verbruggen, E., Bokkers, B., 2021. Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. *Environ Toxicol Chem* 40, 859–870. <https://doi.org/10.1002/etc.4835>
- British Geological Survey, 2018. Micro-organic contaminants in groundwater in England: summary results from the Environment Agency LC-MS and GC-MS screening data.
- Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., Voogt, P. De, Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A., van Leeuwen, S.P.J., 2011. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integr Environ Assess Manag* 7, 513–541. <https://doi.org/10.1002/ieam.258>
- Burkhard, L.P., 2021. Evaluation of Published Bioconcentration Factor (BCF) and Bioaccumulation Factor (BAF) Data for Per- and Polyfluoroalkyl Substances Across Aquatic Species. *Environ Toxicol Chem*. <https://doi.org/10.1002/etc.5010>
- Conder, J.M., Hoke, R.A., de Wolf, W., Russell, M.H., Buck, R.C., 2008. Are PFCAs bioaccumulative? A critical review and comparison with regulatory criteria and persistent lipophilic compounds. *Environ Sci Technol* 42, 995–1003. https://doi.org/10.1021/ES070895G/SUPPL_FILE/ES070895G-FILE001.PDF
- Deltares, 2019. Advies voorlopig herverontreinigingsniveau (HVN) PFAS voor waterbodems.
- EC, 2018. Technical Guidance For Deriving EQS (Guidance Document No. 27), updated 2018. European Community Report 11-12 June, 210 pp.
- EC (European Commission), 2021. Draft EQS Dossier PFAS.
- EC (European Commission), 2011. PFOS EQS dossier 2011: Perfluorooctane Sulphonate (PFOS).

- EFSA (European Food Safety Authority), 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* 18. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- Environment Agency, 2021. Poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS): sources, pathways and environmental data - Chief Scientist's Group report.
- EU, 2020. Richtlijn 2020/2184 betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water (herschikking).
- Expertisecentrum PFAS, 2018a. Aanwezigheid van PFAS in Nederland: Deelrapport A - PFAS in grondwater en oppervlaktewater.
- Expertisecentrum PFAS, 2018b. Aanwezigheid van PFAS in Nederland, Deelrapport B, Onderzoek van PFAS op potentiële risicolocaties. 51.
- Gebbink, W.A., Van Asseldonk, L., Van Leeuwen, S.P.J., 2017. Presence of Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in River and Drinking Water near a Fluorochemical Production Plant in the Netherlands. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02488>
- Gellrich, V., Stahl, T., Knepper, T.P., 2012. Behavior of perfluorinated compounds in soils during leaching experiments. *Chemosphere* 87, 1052–1056. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2012.02.011>
- Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I.T., Dewitt, J.C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C.A., Trier, X., Wang, Z., 2020. An overview of the uses of per- And polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environ Sci Process Impacts* 22, 2345–2373. <https://doi.org/10.1039/d0em00291g>
- Higgins, C.P., Luthy, R.G., 2006. Sorption of perfluorinated surfactants on sediments. *Environ Sci Technol* 40, 7251–7256. <https://doi.org/10.1021/es061000n>
- Houde, M., Martin, J.W., Letcher, R.J., Solomon, K.R., Muir, D.C.G., 2006. Biological monitoring of polyfluoroalkyl substances: A review. *Environ Sci Technol* 40, 3463–3473. <https://doi.org/10.1021/es052580b>
- Jans, A.C.H., Berbee, R.P.M., 2020. Bronnen van PFAS voor het Nederlandse oppervlaktewater.
- Jonker, M.T.O., 2021. Poly- en perfluoroalkylstoffen (PFAS) in de Rijkswateren. Concentraties in water en biota tussen 2008 en 2020.
- Langberg, H.A., Hale, S.E., Breedveld, G.D., Jenssen, B.M., Jartun, M., 2022. A review of PFAS fingerprints in fish from Norwegian freshwater bodies subject to different source inputs. *Environ Sci Process Impacts* 24, 330–342. <https://doi.org/10.1039/d1em00408e>
- Möller, A., Ahrens, L., Surm, R., Westerveld, J., Van Der Wielen, F., Ebinghaus, R., De Voogt, P., 2010. Distribution and sources of polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the River Rhine watershed. *Environmental Pollution* 158, 3243–3250. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.07.019>
- Munoz, G., Giraudel, J.L., Botta, F., Lestremau, F., Dévier, M.H., Budzinski, H., Labadie, P., 2015a. Spatial distribution and partitioning behavior of selected poly- and perfluoroalkyl substances in freshwater ecosystems: A French nationwide survey. *Science of the Total Environment* 517, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.043>
- Munoz, G., Giraudel, J.L., Botta, F., Lestremau, F., Dévier, M.H., Budzinski, H., Labadie, P., 2015b. Spatial distribution and partitioning behavior of selected poly- and perfluoroalkyl substances in freshwater ecosystems: A French nationwide survey. *Science of the Total Environment* 517, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.043>
- Nguyen, T.M.H., Bräunig, J., Thompson, K., Thompson, J., Kabiri, S., Navarro, D.A., Kookana, R.S., Grimison, C., Barnes, C.M., Higgins, C.P., Mclaughlin, M.J., Mueller, J.F., 2020. Influences of Chemical Properties, Soil Properties, and Solution pH on Soil-Water Partitioning Coefficients of Per- And Polyfluoroalkyl Substances (PFASs). *Environ Sci Technol* 54, 15883–15892. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05705>

- O'Hagan, D., 2008. Understanding organofluorine chemistry. An introduction to the C-F bond. *Chem Soc Rev* 37, 308–319. <https://doi.org/10.1039/b711844a>
- OVAM (Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij), 2020. Toetsingswaarden voor PFOS en PFOA in bodem en grondwater.
- Pan, Y., Zhang, H., Cui, Q., Sheng, N., Yeung, L.W.Y., Sun, Y., Guo, Y., Dai, J., 2018. Worldwide distribution of novel perfluoroether carboxylic and sulfonic acids in surface water. *Environ Sci Technol* 52, 7621–7629. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00829>
- Plumlee, M.H., Mcneill, K., Reinhard, M., 2009. Indirect photolysis of perfluorochemicals: Hydroxyl radical-initiated oxidation of N-ethyl perfluorooctane sulfonamido acetate (N-EtFOSAA) and other perfluoroalkanesulfonamides. *Environ Sci Technol* 43, 3662–3668. <https://doi.org/10.1021/es803411w>
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), 2019. Verspreiding van GenX-stoffen in het milieu: Metingen in Nederland - 2013-2018, Rapport RIVM.
- RIVM, 2021. Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater.
- RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), 2020. Advies Risicogrenswaarden voor PFOA, PFOS en GenX in zwemwater en vis.
- RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), 2019. Verspreiding van GenX-stoffen in het milieu: Metingen in Nederland - 2013-2018.
- RIWA - Rijn, 2022. Jaarrapport 2021 De Rijn.
- Rüdel, H., Radermacher, G., Fliedner, A., Lohmann, N., Koschorreck, J., Duffek, A., 2022a. Tissue concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in German freshwater fish: Derivation of fillet-to-whole fish conversion factors and assessment of potential risks. *Chemosphere* 292, 133483. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133483>
- Rüdel, H., Radermacher, G., Fliedner, A., Lohmann, N., Koschorreck, J., Duffek, A., 2022b. Tissue concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in German freshwater fish: Derivation of fillet-to-whole fish conversion factors and assessment of potential risks. *Chemosphere* 292, 133483. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133483>
- Söregård, M., Franke, V., Tröger, R., Ahrens, L., 2020. Losses of poly- and perfluoroalkyl substances to syringe filter materials. *J Chromatogr A* 1609. <https://doi.org/10.1016/J.CHROMA.2019.460430>
- Teunen, L., Belpaire, C., Dardenne, F., Blust, R., Covaci, A., Bervoets, L., 2020. Veldstudies naar monitoring van biota in het kader van de rapportage van de chemische toestand voor de Kaderrichtlijn Water 2015-2018 (algemene trends en relaties). Antwerpen, België.
- Teunen, L., Bervoets, L., Belpaire, C., De Jonge, M., Groffen, T., 2021. PFAS accumulation in indigenous and translocated aquatic organisms from Belgium, with translation to human and ecological health risk. *Environ Sci Eur* 33. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00477-z>
- Vlaamse overheid. 2022. PFAS-Actieplan 2022-2024 staat online. <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/nieuwsberichten/pfas-actieplan-2022-2024-staat-online>
- Vlaamse overheid. 2022. Eindrapport PFAS-opdrachthouder. <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/eindrapport-opdrachthouder>
- VLAREM II: Bijlage 4.2.5.2. Controle en beoordeling van de meetresultaten op lozingen van bedrijfsafvalwater en koelwater, 2022. . Geraadpleegd in december 2022.
- VMM, 2022. Oriënterend onderzoek naar diffuse verspreiding van PFAS in het freatisch grondwater in Vlaanderen.
- VMM (Vlaamse Milieumaatschappij), 2021. Perfluorverbindingen in bronnen voor de productie van drinkwater.

WAC/IV/A/025: Bepaling van perfluorverbindingen in water met LC-MS/MS (Ontwerp 03/2022), 2022. ,
Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water (WAC).

WAC/IV/A/025: Bepaling van perfluorverbindingen in water met LC-MS/MS (Ontwerp 12/2022), 2022.

Wageningen Marine Research, 2022. PFAS in de Westerschelde: Meting van PFAS in vis, garnaal,
schelpdier, zeegroente, water en sediment in het najaar van 2021. Wageningen Marine Research.

6. BIJLAGE 1: MEETSTRATEGIE VLAANDEREN BREED ONDERZOEK PFAS IN 2022

6.1. SITUERING

In 2022 wordt door de VMM een grootschalige monitoringscampagne opgezet naar PFAS in Vlaamse waterlopen. Dit om een beeld te krijgen van de concentraties van diverse PFAS in Vlaanderen en de impact van mogelijke bronnen op het oppervlaktewater. Concreet worden metingen voorzien in afvalwater (zowel bedrijfseffluent als dat van RWZI's), oppervlaktewater, putwater, waterbodembodem en in biota (visweefsel). Daarnaast werden ook campagnes opgezet om de aanwezigheid van PFAS na te gaan in het freatisch grondwater in Vlaanderen thv het toestandsmeetnet van de VMM. In 2021 werden metingen uitgevoerd in de ruime omgeving van de 3M-site (Zwijndrecht). In 2022 werd op willekeurige locaties gemeten in het ondiepe freatische grondwater. Deze bijlage beschrijft hoe de meetstrategie voor deze monitoringscampagnes werd opgezet.

6.2. BRONNEN VAN PFAS

Hieronder een overzicht van de potentiële bronnen van PFAS naar het milieu⁵¹. Bronnen in vet worden door de OVAM ingeschat als bronnen met een grote kans voor het vrijkomen van PFAS naar het milieu.

Bronnen van PFAS:

- **PFAS producerende industrie**
- Verwerkende industrie:
 - **Productie Teflon**
 - **Galvanische industrie**
 - Textielindustrie
 - Halfgeleider industrie
 - Foto-industrie
 - Papierindustrie
 - Lak- en verfindustrie
 - Hydraulische vloeistoffen
 - Fabricage van cosmetica en reinigingsmiddelen
- Inzet brandblusschuim AFFF (1970-2011/heden)
 - **Blussen van branden**
 - **Brandweer oefenplaatsen**
 - **Brandweervoorzieningen (industrie)**
 - **Militaire oefenplaatsen en vliegvelden**
 - **Vliegvelden burgerluchtvaart**
- Stortplaatsen
- Waterzuiveringsinstallaties
- Afvalverbrandingsinstallaties

6.3. OPMAAK MEETSTRATEGIE

Voor de opmaak van de meetstrategie werden verschillende motieven geselecteerd, gebaseerd op de belangrijkste gekende bronnen van PFAS naar het leefmilieu, en gebaseerd op de historische meetgegevens

¹ Op basis van info uit PFAS Actieplan en Onderzoek naar aanwezigheid van PFAS in grondwater, bodem en waterbodembodem ter hoogte van risicoactiviteiten in Vlaanderen (OVAM, 2018)

van VMM bij 420 bedrijven de voorbije 10 jaar (2011-2021).

De meetstrategie die hieruit werd opgesteld betreft een Vlaanderen brede selectie aan locaties in diverse matrices, verspreid over verschillende waterlooptypes. Deze sterk uitgebreide meetinspanning voor 2022 wordt deels door VMM kern monitoring in eigen beheer uitgevoerd, en deels uitbesteed aan een externe opdrachtnemer.

a. Matrix afvalwater, oppervlaktewater en grondwater

Matrix	Motief	# Meetpla atsen	Uitvoering Monstername	Uitvoering Analyse
AW	Bedrijven effluent extra	21	Via bestek	Via bestek
AW	Bedrijven effluent	70	Eigen beheer	Eigen beheer
AW	RWZI effluent	17	Eigen beheer	Eigen beheer
OW	Bedrijven/RWZI impact oppervlaktewater	73	Via bestek	Via bestek
OW/AW	RWZI geïntegreerde monstername	9	Eigen beheer	Via bestek
OWIAW	Bedrijven geïntegreerd monstername	9	Eigen beheer	Via bestek
OW	SoE gevaarlijke stoffen	38	Via bestek	Via bestek
OW	SoE toestand en trend 2022	13	Eigen beheer	Eigen beheer
OW	Grensmaas	1	Eigen beheer	Eigen beheer
OW	Haven van Antwerpen	4	Eigen beheer	Eigen beheer
OW	Opvolging lozing 3M	3	Eigen beheer	Eigen beheer
OW	Achtergrond (bovenlopen)	12	Via bestek	Via bestek
OW	Brandweeroefenterreinen	23	Via bestek	Via bestek
OW	Hot-spots OVAM	15	Via bestek	Via bestek
OW	Hot-spot 3M Zwijndrecht/Opvolging Oosterweel	6	Via bestek	Via bestek
GW	Putwaters	180	Eigen beheer	Via bestek
GW	Extra onderzoek hot-spots	50	Eigen beheer	Via bestek

Tabel 1: Overzicht van motieven per matrix afvalwater, oppervlaktewater en putwater en het aantal meetplaatsen.

i. Afvalwater

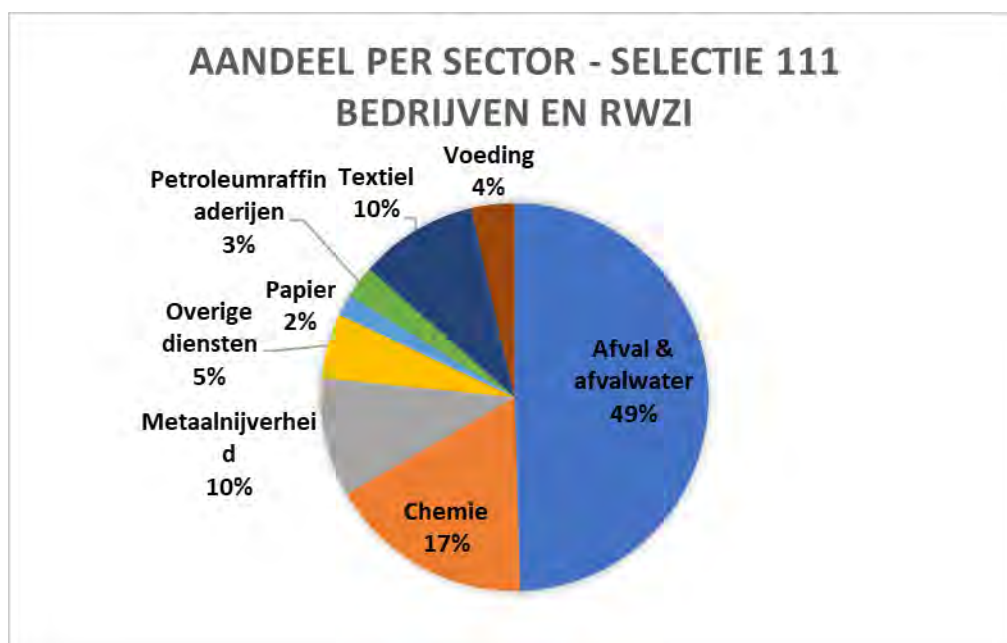
Op vraag van VMM dienst milieuvergunningen wordt het effluent van 70 bedrijven in eigen beheer bemonsterd (motief "Bedrijven effluent"). Daarnaast worden bijkomend 21 bedrijven geselecteerd (motief "Bedrijven effluent extra"). Bedrijven worden geselecteerd op basis van volgende criteria:

- Vaststelling van verhoogde concentraties PFOS of andere PFAS door VMM in het verleden;
- Beperkte meetgegevens van PFAS in effluent beschikbaar de laatste jaren;
- Verhoogde kans op de aanwezigheid van PFAS in het effluent door uitvoering van activiteiten gerelateerd aan PFAS (zie 2. Bronnen van PFAS)

De uiteindelijke selectie met bedrijven omvat zowel bedrijven die nooit eerder door VMM werden bemonsterd, alsook bedrijven waarvan wel reeds meetgegevens beschikbaar zijn (420 bedrijven over een periode van 10 jaar). Bijkomend wordt het effluent van 17 RWZI's bemonsterd. Hiervoor wordt vooral gekeken naar RWZI's met gekende lozers van PFAS (motief "RWZI effluent").

Onderstaande figuur geeft de verdeling per sector weer van de geplande metingen in afvalwater. De RWZI's

worden gerekend bij de sector afvalwater. Deze sector omvat de helft van de geplande monsternames (49%), gevolgd door de chemische sector (17%), textiel en metaalnijverheid (beiden 10%). Overige relevante sectoren vertegenwoordigen allen minder dan 5% van de geplande metingen.



Figuur 1: Metingen PFAS in afvalwater – aandeel per sector.

ii. Oppervlaktewater

Voor de matrix oppervlaktewater worden 12 verschillende motieven onderscheiden.

Bij een selectie van relevante effluentlozingen wordt de impact opgevolgd in de ontvangende waterloop (motief “Bedrijven/RWZI impact oppervlaktewater”). Hiervoor worden bedrijven geselecteerd die werden opgenomen in de meetstrategie voor matrix afvalwater, lozen op oppervlaktewater en waarvan een relevante impact wordt verwacht op het ontvangende watersysteem. Daarnaast wordt ook voor alle geselecteerde RWZI’s de impact in oppervlaktewater gemeten. Voor dit motief wordt telkens op- als afwaarts de effluentlozing gemeten.

Bij een beperkte selectie aan bedrijven en RWZI’s wordt overwogen om een meerdaagse monsternamecampagne uit te voeren in zowel het effluent als de ontvangende waterloop. Dit om zich te krijgen op de temporel spreiding van PFAS in het afvalwater en op- en afwaarts in de waterloop.

Deze metingen worden in de loop van het jaar verder uitgewerkt in een afzonderlijk project (motieven “RWZI geïntegreerd” en “Bedrijven geïntegreerd”).

Daarnaast worden PFAS gemeten op alle 51 meetplaatsen waar gevaarlijke stoffen worden gemeten in kader van het toestandsmeetnet oppervlaktewaterkwaliteit (State of the Environment of SoE meetnet), nl. de meetplaatsen ivf de KRW toestand- en trendmonitoring en hiermee gekoppeld het meetnet bio- accumulatie (motieven “SoE gevaarlijke stoffen” en “SoE toestand en trend 2022”). Normaal gezien wordt deze monitoring gespreid over een cyclus van 3 jaar. Voor het PFAS onderzoek worden alle meetplaatsen in hetzelfde meetjaar bemonsterd.

Verder worden in kader van dit onderzoek een aantal motieven meegenomen, waarbij de VMM jaarlijks ook

PFAS² meet in oppervlaktewater, nl. in kader van de SO met Rijkswaterstaat rond de monitoring van de Grensmaas (motief “Grensmaas”), in kader van de SO met de Haven van Antwerpen (motief “Haven van Antwerpen”) en de monitoring op de beneden-Zeeschelde specifiek voor de opvolging van het bedrijf 3M (motief “opvolging lozing 3M”).

Om een zicht te krijgen op de aanwezigheid van PFAS in weinig tot niet-vervuilde watersystemen werden 10 meetplaatsen opgenomen in waterlopen zonder gekende industriële en/of huishoudelijke emissiebronnen (motief “Achtergrond – bovenlopen”). Vaak betreft het meetplaatsen gelegen in brongebieden of bovenlopen.

Een 20-tal meetplaatsen worden ingelegd voor de monitoring in de buurt van risico-locaties m.b.t het gebruik van brandblusschuim AFFF (motief “Brandweeroefenterreinen”). Voor de selectie van deze meetplaatsen werd beroep gedaan op de OVAM lijst met een overzicht van gekende risicosites in Vlaanderen, waarin o.a. brandweeroefenterreinen en sites van een zware industriële brand werden opgenomen. Voor dit motief werden ook verschillende meetplaatsen opgenomen waar door VAZG reeds no regret-maatregelen werden afgekondigd³. Hiervoor worden meetplaatsen geselecteerd op waterlopen in de nabijheid (straal van 500m) van en/of afwaarts van een gekende risicolocatie.

Daarnaast worden meetpunten ingelegd in de nabijheid van gekende hot-spots. Dit op basis van de inventarisatieoefening van OVAM rond de afbakening van risicosites voor PFAS verontreiniging, waarbij gekende bodemverontreinigingen werden opgenomen (motief “Hot-spots OVAM”). Ook hiervoor worden meetplaatsen geselecteerd op waterlopen in de nabijheid (straal van 500m) van en/of afwaarts van een gekende risicolocatie.

Tot slot worden extra meetlocaties opgenomen in de waterlopen in en rond de gekende bodemverontreiniging van 3M, waar ook grondverzet en -bemaling plaatsvindt in kader van de Oosterweelwerken (motief “Hot-spot 3M Zwijndrecht/Opvolging Oosterweel”). Het gaat hierbij o.a. over de Palingbeek, de Laarbeek en de vijver van Blokkersdijk.

b. Matrix waterbodem en biota

Matrix	Motief	# Meetplaatsen	Uitvoering
WB	Meetnet bioaccumulatie	15	Eigen beheer
WB	Extra meetpunten WB	25	Via bestek
WB	Slibruiming kern beheer	TBA	Eigen beheer
WB	Maritieme toegang	29	Eigen beheer
BIO	Extra meetpunten biota	10	Via bestek
BIO	Meetnet bioaccumulatie	15	Uitbesteding meetnet bioaccumulatie

Tabel 2: Overzicht van motieven per matrix waterbodem en biota en het aantal meetplaatsen. TBA: Nog te bepalen.

i. Waterbodem

Voor de matrix waterbodem worden vier motieven opgenomen. PFAS worden standaard gemeten op de 15 meetplaatsen van het routinematig VMM meetnet waterbodem gekoppeld met het meetnet bioaccumulatie (motief “Meetnet bio-accumulatie”). Daarnaast worden verspreid over Vlaanderen 25 extra

² Tot en met 2021 werd enkel PFOS gemeten in oppervlaktewater. Vanaf 2022 wordt het aantal PFAS uitgebreid naar de 43 stoffen opgenomen in de ontwerp WAC (Bepaling van per- en polyfluorverbindingen in water met LC-MS/MS – versie 12/2021 - VITO).

³ <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/no-regret-maatregelen-brandweeroefenterreinen-en-sites-van-een-zware-industriële-brand>

metingen ingelegd, dit allen op locaties waar reeds metingen in oppervlaktewater gebeuren (o.a. voor impact bedrijfslozingen, brandweeroefenterreinen en achtergrondlocaties) (motief “Extra metingen WB”). Ook worden PFAS gemeten in de monsters die worden genomen in kader van de geplande slibruiming van VMM kern beheer (motief “Slibruiming kern beheer”). Het exacte aantal van deze metingen ligt echter op dit moment nog niet vast. Tot slot wordt ook PFAS gemeten in waterbodem op de Beneden-Zeeschelde in kader van de SO met het Agentschap Maritieme Toegang (motief “Maritieme Toegang”).

ii. Biota

Voor de matrix biota worden twee motieven opgenomen. PFAS worden standaard gemeten op de 15 meetplaatsen van het routinematig VMM meetnet bio-accumulatie gekoppeld met het meetnet waterbodem (motief “Meetnet bio-accumulatie”). Daarnaast worden verspreid over Vlaanderen 10 extra metingen ingelegd, dit allen op locaties waar reeds metingen in oppervlaktewater en waterbodem gebeuren (o.a. voor impact bedrijfslozingen, brandweeroefenterreinen en achtergrondlocaties) (motief “Extra metingen biota”).

c. Matrix grondwater

i. Freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet

Midden 2021 werd de PFAS-verspreiding beperkt gescreend in het ondiepe grondwater op verschillende meetlocaties van het grondwatermeetnet van de VMM in de ruime omgeving van de 3M-site (Zwijndrecht), waar zich een gekende PFAS-vervuiling bevindt. Er werd ter hoogte van 19 meetlocaties 1 tot max 3 filters in het ondiepe freatische grondwater bemonsterd om een analyse uit te voeren op 35 PFAS.

In het voorjaar van 2022 zette de VMM een meetcampagne op met oog op een ruime screening om de diffuse verspreiding door PFAS in het grondwater in Vlaanderen na te gaan. De VMM heeft 2 grondwatermeetnetten⁴, die een goed beeld geven van de grondwaterkwaliteit van de watervoerende lagen in Vlaanderen. Het grondwater uit 197 willekeurig geselecteerde ondiepe putten, vooral uit meetnet 8 en ook een minderheid uit meetnet 1, werd geanalyseerd op 45 PFAS. Door gebruik te maken van beide meetnetten wordt zowel de grondwaterkwaliteit om en rond landbouw- en natuurgebied als van gebieden erbuiten gescreend. Het overgrote deel van de putten hebben meerdere filters op verschillende dieptes. In deze meetcampagne werd telkens maar 1 filter per put bemonsterd, meestal de ondiepste filter. De dieptes van de geselecteerde filters variëren op de meeste meetlocaties binnen de range van 1,3 m tot 10 m. Er werden ook een aantal diepere filters bemonsterd tot max. 34 m-mv.

Matrix	Motief	# Meetplaatsen	Uitvoering Monstername	Uitvoering Analyse
GW	Freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet (PFAS-campagne voorjaar 2022)	197	Via bestek	Via bestek
GW	Freatisch grondwater uit het toestandsmeetnet (straal 10 km rond 3M)	19	Via bestek	Via bestek

ii. Putwater

Voor de matrix putwater worden 2 motieven opgenomen. Op vraag van VAZG worden in 2022 alle monsters putwater bij niet-aansluitbare particulieren geanalyseerd op PFAS (motief “Putwaters”).

⁴ Meetnet 8: freatisch meetnet, vooral ondiepe meetputten in de eerste (freatische) watervoerende laag en hoofdzakelijk in landbouwgebied, maar ook in natuurgebieden, meetnet 1: primair meetnet, vooral diepere meetputten in hoofdzaak in functie van kwantiteitsbeheer

Daarnaast wordt op een selectie van twee sites met gekende bodemverontreiniging bijkomend onderzoek gedaan naar de mobiliteit en verspreiding van PFAS in het grondwater, dit op basis van de grondwaterstroming en via analyses in nabijgelegen waterputten (motief “Extra onderzoek hot-spots”).

6.4. MEETFREQUENTIE EN ANALYSE

Meetplaatsen voor matrix afvalwater worden 6x bemonsterd, met uitzondering van een aantal probleembedrijven met betrekking tot PFAS in afvalwater waar 12x wordt gemeten (o.a. 3M). Dit zowel voor de metingen in eigen beheer als diegene die worden uitbesteed.

De meetplaatsen voor matrix oppervlaktewater worden 12x keer bemonsterd in eigen beheer met maandelijkse frequentie. De meetplaatsen die worden uitbesteed hebben een frequentie van 6x over een periode van negen maand (februari tem oktober).

Putwaters en/of bijkomende recreatiewateren worden éénmalig bemonsterd. Ook voor de matrices waterbodembodem en biota wordt in regel maar één meting per jaar uitgevoerd.

Qua analysepakket worden voor de matrices afvalwater, oppervlaktewater en putwater alle 43 PFAS gemeten die werden opgenomen in de ontwerp WAC⁵. Voor waterbodembodem wordt gekeken naar de 36 PFAS die momenteel werden opgenomen in de ontwerp CMA⁶.

Voor de matrix biota worden voor zover als mogelijk de componenten uit het WAC geanalyseerd.

Ook voor de PFAS analyses die na 2022 worden uitgevoerd wordt gekeken naar de componenten opgenomen in het WAC en CMA.

Het freatische grondwater uit het toestandsmeetnet werd één keer gemeten. In het voorjaar 2023 loopt een vervolgcampagne.

⁵ WAC Bepaling van per- en polyfluorverbindingen in water met LC-MS/MS – versie 12/2021 (VITO)

⁶ CMA Per- en polyfluorverbindingen (PFAS) – versie 11/2021 (VITO)

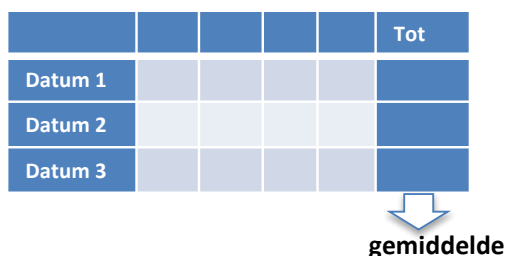
7. BIJLAGE 2: DATA MANIPULATIES

7.1. AGGREGATIE PER LOCATIE

Gezien de soms afwijkende meetfrequentie tussen locaties werden de metingen geaggregeerd per locatie.

PFAS totaal

Per meetnummer:

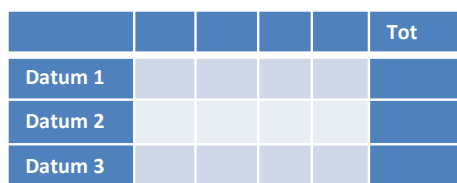


Figuur 47: Gegevensaggregatie voor PFAS totaal

Voor PFAS totaal berekeningen werd eerst, per datum, alle metingen opgeteld. Vervolgens werd het gemiddelde genomen per meetnummer voor normtoetsing (zie Figuur 47). In de Kaderrichtlijn Water worden milieukwaliteitsnormen voor lange termijn effecten ook vergeleken met jaargemiddeldes. Mediaan wordt gebruikt voor Vlaanderen brede voorstelling van data omdat de mediaan een meer robuuste maat is. Voor grondwater werd het PFAS totaal analoog bepaald, maar per filter ipv per datum.

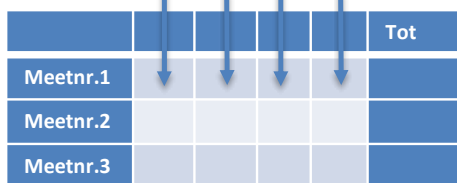
Relatieve contributie van individuele PFAS (tov PFAS totaal) voor fingerprinting

Per meetnummer:



↓ ↓ ↓ ↓
mediaan mediaan
mediaan mediaan

Per motief:



↓ ↓ ↓ ↓ → mediaansom
mediaan mediaan
mediaan mediaan

↓ ↓ ↓ ↓
relatieve
contributie relatieve
contributie

Figuur 48: Gegevensaggregatie voor relatieve contributie van individuele PFAS

Hiervoor werd eerst de mediaan genomen per PFAS en per meetnummer. Vervolgens werd per motief de mediaan genomen (indien relevant). Tenslotte werd de mediaansom berekend om dan de relatieve contributie per mediaansom te berekenen (zie Figuur 48).

In het geval van niet-normaal verdeelde data is de mediaan een meer robuuste schatter om de data voor te stellen dan het gemiddelde, aangezien de mediaan niet sterk beïnvloed wordt door extreme waarden (zoals uitschieters) of door de verdeling van de data. Het gemiddelde daarentegen, werd gebiased door de hotspots en extreme waarden. In deze studie was de voornaamste doelstelling om een breedbeeld van Vlaanderen te krijgen en daarom werd voor de mediaan gekozen.

7.2. OMREKENING NAAR PFOA-EQUIVALENTEN

Ter vergelijking met normen en toetsingswaarden opgesteld voor de som van PFOA-equivalenten, werd de som van 24 PFAS-verbindingen ook berekend op basis van PFOA-equivalenten, volgens de methode beschreven door (Bil et al., 2021). Daarbij worden de gemeten concentraties omgezet naar PFOA-equivalenten via de relatieve potentiefactor (RPF). De RPF-methode drukt de toxische potenties van PFAS-verbindingen uit in verhouding tot PFOA (de referentiestof), waarbij PFOA dus een RPF heeft van 1. Een PFAS-verbinding die minder toxisch is in vergelijking met PFOA, heeft een RPF < 1 en analoog heeft een PFAS-verbinding die toxischer is dan PFOA, een RPF > 1.

De gemeten concentraties van de individuele PFOA-verbindingen worden dus vermenigvuldigd met hun respectievelijke RPF-factor om de concentratie in PFOA-equivalenten te vinden. De som in PFOA-equivalenten wordt dan analoog berekend zoals omschreven in 2.3. De RPF-waarden voor PFAS-verbindingen zoals voorgesteld door Bil et al. (2021) zijn gerapporteerd in Tabel 22 (merk op dat ingeval van een bereik, telkens de maximum waarde werd genomen).

Tabel 22: Relatieve potentie-factoren (RPFs) ten opzichte van PFOA voor de 24 PFAS-verbindingen (Σ_{24} PFAS) afgeleid door Bil et al. (2021). Enkel de RPF voor C6O4 is afkomstig van het EQS dossier (2021).

PFAS	Afkorting	RPF (-)
Sulfonzuren		
Perfluorbutaansulfonzuur	PFBS	0,001
Perfluorpentaansulfonzuur	PFPeS	0,6
Perfluorhexaansulfonzuur	PFHxS	0,6
Perfluorheptaansulfonzuur	PFHpS	2
Perfluoroctaansulfonzuur	PFOS	2
Perfluordecaansulfonzuur	PFDS	2
Carbonzuren		
Perfluorbutaanzuur	PFBA	0,05
Perfluorpentaanzuur	PFPeA	0,05
Perfluorhexaanzuur	PFHxA	0,01
Perfluoroheptaanzuur	PFHpA	1
Perfluoroctaanzuur	PFOA	1
Perfluoronaanzuur	PFNA	10
Perfluordecaanzuur	PFDA	10
Perfluorundecaanzuur	PFUnDA	4
Perfluordodecaanzuur	PFDoDA	3
Perfluortridecaanzuur	PFTrDA	3
Perfluortetradecaanzuur	PFTeDA	0,02
Perfluorhexadecaanzuur	PFHxDA	0,02
Perfluoroctadecaanzuur	PFODA	0,02
Ether carbonzuren		
2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionzuur)	HFPO-DA	0,06
Ammonium 4,8-dioxa-3H-perfluorononanoaat	ADONA	0,03
Perfluoro ([5-methoxy-1,3-dioxolan-4-yl]oxy) azijnzuur*	C6O4	0,06
Telomeer alcoholen		
1H,1H,2H,2H-perfluorocanol*	6:2 FTOH	0,02
1H,1H,2H,2H-perfluordecanol*	8:2 FTOH	0,04

* Niet geanalyseerd in deze studie

7.3. OMGAAN MET GECENSUREERDE GEGEVENS

Gecensureerde gegevens zijn metingen onder de aantoonbaarheidsgrens of de bepaalbaarheidsgrens. De AG (aantoonbaarheidsgrens of LOD=Limit of detection) is de concentratie die het meetinstrument nog met "redelijke zekerheid" kan meten (aanwezigheid of afwezigheid), terwijl de BG (bepaalbaarheidsgrens) of LOQ (Limit of Quantification) de concentratie is waarbij een stof nog met voldoende precisie kan gekwantificeerd

worden. Tabel 23 geeft een overzicht van het aantal metingen (individueel en per locatie) met percentage niet aantoonbaar. Er kan geobserveerd worden dat een groot aantal (75-90%) van de individuele PFAS metingen (in de tijd en ruimte) onder de AG liggen. Echter, wanneer het aantal locaties worden beschouwd met minstens één aantoonbare PFAS, dan is het omgekeerde waar: voor oppervlaktewater, afvalwater en biota worden in groot aantal locaties (91-100%) minstens één PFAS teruggevonden. Voor waterbodembodem, put- en freatisch grondwater worden in 32-35% van de locaties minstens één PFAS teruggevonden.

Tabel 23: Overzicht van het aantal metingen (individueel en per locatie) met percentage niet-aantoonbaar (< AG).

Matrix	Aantal metingen	% aantoonbaar	% niet-aantoonbaar	Aantal (gemeten) locaties	% locaties met minimaal één PFAS aangetoond
Afvalwater	21136	9,8	90,2	108	92,6**
Oppervlaktewater	56423	11,3	88,7	246	90,2*
Waterbodembodem	7997	10,3	89,7	119	31,9*
Biota	524	24,4	75,6	13	100
Put- en grondwater	15430	14,5	85,5	328	29,6*

*Voor grondwater, deels waterbodembodem gegevens (AMT) en deels de drinkwaterdata ontbreken de AG/BG.

**Voor afvalwater werd detectie gebaseerd op het teken (<=) gerapporteerd in de originele data.

Gezien een aanzienlijk deel van de meetwaarden liggen onder de AG en/of BG, kan dit de probabiliteitsverdeling van de data scheeftrekken (links-gecensureerde data). Een waarde onder de AG of BG is onzeker en vergt een gestandaardiseerde aanpak. Voor het uitvoeren van de statistische analyses, moet de dataset volledig zijn, daarom is het belangrijk deze waarden aan te pakken hetzij door ze te verwijderen (deze optie wordt niet verkozen), hetzij door ze te simuleren. Meetwaarden onder de AG of BG kunnen op verschillende manieren worden behandeld. In de literatuur zijn verschillende substitutiemethoden gangbaar, waaronder: de waarden vervangen door 1) nul, 2) AG of BG, 3) AG/2 of BG/2. Substitutie is een makkelijke en snelle methode maar impliceert altijd een zekere afwijking in de data aangezien veel meetpunten dezelfde waarde zullen hebben en dit de spreiding van de data zal beïnvloeden. Substitutie door nul kan daarenboven een onderschatting van de eigenlijke meetwaarde zijn, terwijl substitutie door de AG of BG kan een overschatting zijn. Volgens een andere methode kunnen waarden onder de AG of BG als binair beschouwd worden (aanwezig/afwezig) voor bepaalde analyses of kunnen ze op een meer geavanceerde manier geschat worden door bvb. permutaties. Deze laatste twee methoden zullen minder afwijking in de data veroorzaken. Er werd hier gekozen om een verschillende aanpak te hanteren voor de individuele PFAS metingen versus de totaal PFAS berekeningen.

Individuele PFAS

Voor alle statistische berekeningen voor individuele PFAS stoffen (mediaan, percentielen,...) werd, vanuit een worst-case aanpak, de conservatieve aanname gemaakt dat waarden onder de AG werden gelijkgesteld aan de AG. Resultaten van de statistieken voor individuele PFAS stoffen per matrix kunnen teruggevonden worden in de digitale annex (folder "01 Statistiek", bestand "Statistiek_individuele_PFAS.csv"). De grootte van de rapportagegrenzen worden per PFAS-parameter weergegeven in "Aantoonbaarheidsgrenzen.csv". De cumulatieve waarschijnlijkheidsgrafiek laat gemakkelijk toe een goed beeld te geven van de proportie links-gecensureerde data (alsook hun grootte) en de concentraties per matrix.

Totale PFAS

Voor totaal PFAS en de relatieve bijdragen tot PFAS totaal (bvb in de fingerprinting) is zo'n worst-case aanpak weinig betekenisvol gezien totaal PFAS dan gedomineerd wordt door een optelling van AG/BG. Immers, Tabel 23 toont aan dat een groot aantal (75-90%) van de individuele PFAS metingen (in de tijd en ruimte) onder de AG liggen. Een optelling van de AG resulteert in een, deels, artificiële PFAS totaal concentratie. Daarom werd het volgende toegepast:

- Indien AG en BG gegeven zijn:
 - Indien concentratie < AG : concentratie = 0
 - Indien AG < concentratie < BG: concentratie = AG
- Indien AG en BG niet gegeven zijn: concentratie = 0 (voor afvalwater, put- en grondwater)

7.4. DATA VOOR PCA EN CO-INERTIE ANALYSE

De PCA analyses werden uitgevoerd op datasets waar metingen onder de AG gelijkgesteld werden aan 0. Metingen boven de AG maar onder de BG, werden gelijkgesteld aan AG. Voor afvalwater, put- en grondwater, werden de metingen onder AG/BG gelijkgesteld aan 0. De concentraties werden log10-getransformeerd om een betere spreiding te krijgen tussen hoge en lage concentraties. Om log10-transformaties van nulmetingen mogelijk te maken, werd eerst 0,01 bij alle meetwaarden geteld.

Voor de PCA en co-intertieanalyses zijn complete datasets nodig d.w.z. dat er voor elke PFAS-stof in de finale dataset een meting moet aanwezig zijn voor elk meetpunt. Dit is niet het geval met de oorspronkelijke datasets: er zijn vaak specifieke PFAS-stoffen gemeten in een beperkt aantal stalen. Voor de PCA en co-inertie analyses is per matrix een data-selectie uitgevoerd die een aantal weinig gemeten PFAS stoffen verwijderd alsook stalen met een laag aantal gemeten PFAS-stoffen (Tabel 24). Biota werden niet in aanmerkinge genomen voor de PCA analyses wegens het lage aantal metingen ($n=13$).

Tabel 24: Overzicht van de data-selectie voor PCA analyses.

Matrix	Aantal metingen voor data-selectie	Aantal metingen na data-selectie	Aantal PFAS voor data-selectie	Aantal PFAS na data-selectie)
Afvalwater	543	237	51	40
Oppervlaktewater	1425	902	51	40
Waterbodem	259	172	51	28
Grondwater	333	300	51	38

7.5. KOPPELING MATRICES EN CO-INERTIE ANALYSE

Om de relaties tussen matrices na te gaan, dienen de met elkaar gerelateerde sites gekoppeld te worden.

- Voor oppervlaktewater is het belangrijk te identificeren welke meetpunten stroomopwaarts en stroomafwaarts van de emissiepunten (meetpunten van de matrix afvalwater) liggen om de impact van emissies op de PFAS in het oppervlaktewater na te gaan.
- Om het verband tussen oppervlaktewater, waterbodem en biota na te gaan, dienen stalen geselecteerd te worden die op hetzelfde meetpunt, of minstens dicht bij elkaar, gemeten zijn.

Een aangeleverde koppelingmatrix identificeert welke metingen van welke matrices met elkaar verbonden kunnen worden. Deze bevat vooral info over de meetpunten stroomopwaarts en stroomafwaarts van afvalwater meetpunten (voor 45 meetpunten), maar ook over koppelingen tussen afvalwater en waterbodem (15), afvalwater en biota (7), waterbodem en biota (12), oppervlaktewater en biota (12) en oppervlaktewater en waterbodem (42).

Op basis hiervan werden datasets opgesteld om een co-inertie analyse op uit te voeren. Net als in het geval van PCA analyses, dienen de datasets compleet te zijn (een meting voor elke PFAS-stof voor elke meetplaats). Opnieuw werd een dataselectie uitgevoerd op datasets van de gekoppelde matrices (Tabel 25). De co-inertie analyse werd enkel voor oppervlaktewater – afvalwater en oppervlaktewater – waterbodembodem uitgevoerd omdat er te weinig stalen werden behouden na data-analyse. Voor waterbodembodem – afvalwater bijvoorbeeld werden slechts 6 metingen weerhouden na data-selectie.

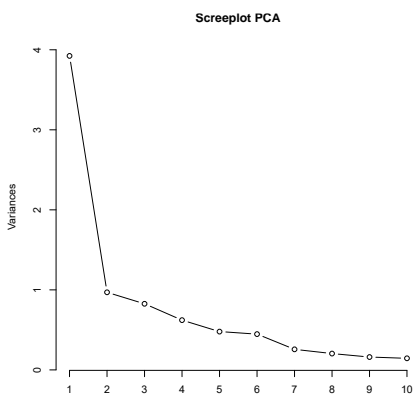
Tabel 25: Data-selectie voor de co-inertie analyses op de datasets voor gekoppelde matrices.

Matrix	Aantal metingen voor data-selectie	Aantal metingen na data-selectie	Aantal PFAS voor data-selectie	Aantal PFAS na data-selectie)
Oppervlaktewater (OW) - afvalwater (AW)	OW = 1425 AW = 453	96	51	36
Oppervlaktewater (OW) - waterbodembodem (WB)	OW = 1425 WB = 259	36	51	40
Waterbodembodem (WB) – afvalwater (AW)	WB = 259 AW = 453	6	51	40

8. BIJLAGE 3: PCA EN CO-INERTIE ANALYSE

8.1. PCA ANALYSE AFVALWATER

8.1.1. SCREEPLOT

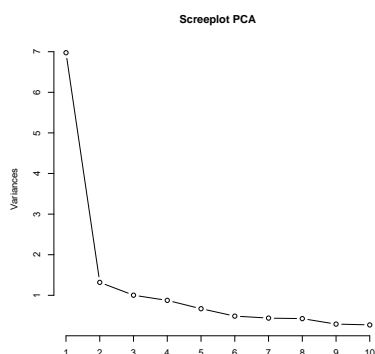


8.1.2. VARIMAX

	RC1	RC2
PFHpA	0,75	0,22
PFNA	0,04	0,02
PFDA	0,01	0,02
PFBA	0,63	-0,03
PFUnDA	-0,23	0
PFBS	0,72	0,21
PFHpS	0,28	0
6:2 FTS	0,52	-0,02
MePFOSAA	-0,04	0,96
EtPFOSAA	-0,02	0,93
PFBSA	0,38	0,02
MePFBSAA	0,13	-0,02
PFHxA	0,81	0,18
PFPeA	0,77	-0,04
PFHxS	0,66	0,4
HFPO-DA	0,32	-0,09
8:2 FTS	0,19	0,02
MePFBSA	0,13	-0,02
PFHxSA	0	0,91
PFPeS	0,63	-0,04
4:2 FTS	0,36	-0,06
PFECHS	0,11	0
PFHxDA	0,19	-0,01
PFDoDA	-0,19	0,02
PFOS (totaal)	0,36	0,4
PFOSA (totaal)	-0,06	0,97
PFOA (totaal)	0,53	0,28
ADONA	0,17	0,01

8.2. PCA ANALYSE OPPERVLAKTEWATER

8.2.1. SCREEPLOT

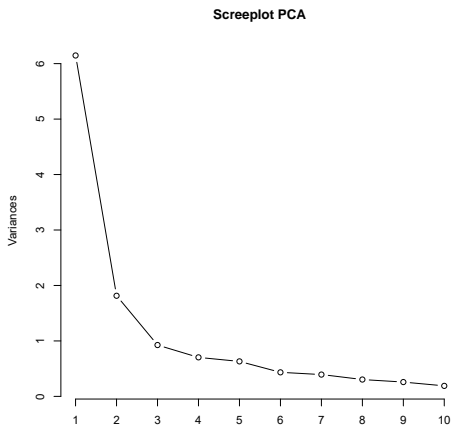


8.2.2. VARIMAX

	RC1	RC2
PFHpA	0,75	0,19
PFNA	0,56	0,48
PFDA	0,41	0,47
PFBA	0,54	0,02
PFUnDA	0	0,72
PFTeDA	-0,12	0,75
PFBS	0,74	0,07
PFTrDA	-0,1	0,77
PFHpS	0,67	0,16
6:2 FTS	0,47	-0,13
10:2 FTS	0,01	0,27
MePFOSAA	0,38	0,22
EtPFOSAA	0,5	0,16
PFNS	0,14	0,02
PFPeDA	0,04	0,05
PFBSA	0,77	-0,06
MePFBSAA	0,75	-0,1
PFUnDS	0,18	-0,07
PFHxA	0,77	0,14
PFPeA	0,72	0,14
PFHxS	0,78	0,13
HFPO-DA	0,54	-0,05
8:2 FTS	0,18	0,1
6:2 diPAP	0	-0,03
MePFBSA	0,64	-0,12
PFHxSA	0,56	0,06
PFDS	0,12	0,01
PFPeS	0,78	0,07
4:2 FTS	0,3	0,03
PFECHS	0,38	0,08
6:2/8:2 diPAP	0,06	0,17
EtPFOSA	0,03	0,02
PFODA	0,18	-0,07
PFDoDA	-0,05	0,78
PFOS (totaal)	0,76	0,2
PFOA (totaal)	0,73	0,15
ADONA	0,48	-0,13

8.3. PCA ANALYSE WATERBODEM

8.3.1. SCREEPLOT

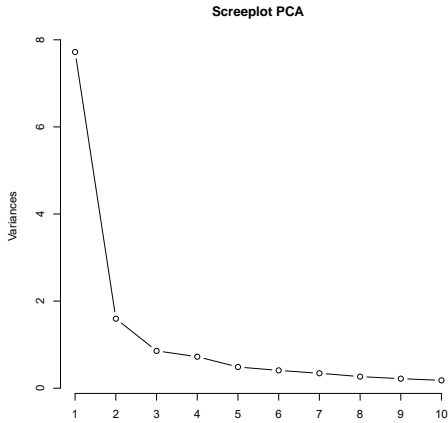


8.3.2. VARIMAX

	RC1	RC2
PFHpA	0,86	0,25
PFNA	0,8	0,2
PFDA	0,44	0,7
PFBA	0,34	0,06
PUnDA	0,4	0,73
PFTeDA	0,33	0,45
PFBS	0,66	0,54
PFTrDA	0,19	0,74
PFHpS	0,94	0,18
6:2 FTS	-0,19	0,5
MePFOSAA	0,34	0,75
EtPFOSAA	-0,01	0,7
PFHxA	0,74	0,41
PFPeA	0,9	0,2
PFHxS	0,7	0,41
HFPO-DA	0,53	0,03
8:2 FTS	0,22	0,16
MePFOSA	0,15	0,22
8:2 diPAP	0,68	0,15
PFDS	0,46	0,22
PFPeS	0,59	0,16
4:2 FTS	0,89	0,13
PFODA	0,89	0,13
PFHxDA	0,13	0,17
PFDoDA	0,19	0,78
PFOS (totaal)	0,29	0,71
PFOSA (totaal)	0,39	0,73
PFOA (totaal)	0,4	0,46

8.4. PCA ANALYSE GRONDWATER

8.4.1. SCREEPLOT



8.4.2. VARIMAX

	RC1	RC2
PFHpA	0,81	0,22
PFNA	0,21	0,82
PFDA	0,14	0,82
PFBA	0,81	0,01
PFTeDA	-0,09	0,02
PFBS	0,78	0,01
PFTrDA	-0,09	0,1
PFHpS	0,15	0,64
6:2 FTS	-0,12	0,16
MePFOSAA	0,15	0,44
PFBSA	0,12	0,75
PFHxA	0,9	0,12
PFPeA	0,85	0,11
PFHxS	0,82	0,16
HFPO-DA	-0,06	0,22
8:2 FTS	0,02	0,52
8:2 diPAP	-0,1	0,14
PFPeS	0,44	0,2
PFDoDA	-0,08	0,07
PFOS (totaal)	0,49	0,31
PFOA (totaal)	0,8	0,13