

Verkenkend onderzoek naar PFAS in omgevingslucht en deposities in Vlaanderen

Studie uitgevoerd in opdracht van:
Vlaamse overheid, beleidsdomein Omgeving

VITO-referentie: 2023/HEALTH/R/3098

Verkennd onderzoek naar PFAS in omgevingslucht en deposities in Vlaanderen

VITO

Boeretang 200

2400 MOL

Belgium

BTW No: BE0244.195.916

vito@vito.be – www.vito.be

IBAN BE34 3751 1173 5490 BBRUBEBB



Vision on technology
for a better world

vito.be

AUTEURS

Jan Peters, VITO
Patrick Berghmans, VITO
Maarten Spruyt, VITO
Jo Van Laer, VITO
Nic Moonen, VITO
Griet Jacobs, VITO
Aline Reis de Carvalho, VITO
Stefan Voorspoels, VITO

DOCUMENTBESCHRIJVING

TITEL VAN PUBLICATIE

Verkennd onderzoek naar PFAS in omgevingslucht en deposities in Vlaanderen

WETTELIJK DEPOT NUMMER

D/2024/3241/348

TREFWOORDEN

PFAS, omgevingslucht, depositie

DATUM PUBLICATIE

oktober 2024

REFERENTIE

Jan Peters, Patrick Berghmans, Maarten Spruyt, Jo Van Laer, Nic Moonen, Griet Jacobs, Aline Reis de Carvalho, Stefan Voorspoels, 2024. Verkennd onderzoek naar PFAS in omgevingslucht en deposities in Vlaanderen.

SAMENVATTING

INLEIDING

Het doel van deze studie is om de PFAS concentratie in omgevingslucht en depositie te bepalen op een aantal typen achtergrondlocaties in Vlaanderen. Door meer inzicht te verkrijgen in de actuele concentraties in de Vlaamse buitenlucht, kan de overheid het te voeren beleid, inzake het verder terugdringen van de emissies van PFAS in het milieu en daarmee de blootstelling aan PFAS te verlagen, meer vorm geven en een aanzet formuleren voor normering. De gegevens die verzameld worden zullen als input dienen om een toetsingskader te ontwikkelen voor PFAS in omgevingslucht en depositie.

MATERIAAL EN METHODE

Bemonstering en analyse van PFAS

Voor het meten van PFAS in de omgevingslucht wordt gebruik gemaakt van een actieve bemonstering op filter en polyurethaanschuim-XAD absorbens (PUF-XAD-PUF sandwich). Zwevende stofdeeltjes worden daarbij opgevangen op een kwartsvezelfilter, terwijl de vluchtige fractie door de PUF gecapteerd wordt. Er werd target-analyse uitgevoerd met LC-MS/MS conform WAC_IV_A_025 voor 56 PFAS-verbindingen, waarvan 32 kwantitatief (meetonzekerheid <50%) en 24 indicatief (meetonzekerheid >50%) gemeten, op filter en PUF. Op basis van de samengetelde hoeveelheid PFAS die op filter en PUF gemeten werd (uitgedrukt in ng/filter of ng/PUF per geanalyseerde PFAS-verbinding) en het bemonsterde volume lucht (wordt geregistreerd met gasteller), wordt de PFAS-massaconcentratie berekend, uitgedrukt in ng PFAS per m³ omgevingslucht, verkort weergegeven als ng/m³.

De depositie wordt bemonsterd met behulp van depositiekruiken. Depositie kan plaatsvinden in de vorm van natte en droge depositie. De totale depositie is de som van beide. Met de depositiekruiken wordt de totale depositie bemonsterd, met de kanttekening dat de droge depositie op de wand of de bodem van de bemonsteringskruiken (glad oppervlak van glas) mogelijks een onderschatting van de reële droge depositie die op ruwere oppervlakken zoals bv. vegetatie voorkomt. De deposities worden typisch gedurende een periode van 28 ± 2 dagen bemonsterd. De PFAS analyse wordt uitgevoerd LC-MS/MS voor 56 PFAS verbindingen waarvan er 36 kwantitatief en 20 indicatief gemeten worden. De gemeten hoeveelheid PFAS wordt genormaliseerd voor bemonsteringsoppervlakte van de kruiken (oppervlakte opening kruik) en de bemonsteringsduur, en wordt uitgedrukt in ng/m²/dag (te interpretern als de gemiddelde depositiehoeveelheid PFAS in ng per dag en per vierkante meter).

Op basis van de concentraties van de individuele PFAS-verbindingen worden twee somparameters berekend, zowel voor omgevingslucht als deposities, met name:

- Σ PFAS : de som van de concentraties van alle PFAS-verbindingen die opgenomen zijn in de scope van de analyse. Het is niet uitgesloten dat andere PFAS-verbindingen kunnen voorkomen en dat de reële Σ PFAS concentratie in werkelijkheid hoger is dan de berekende Σ PFAS.
- EFSA-PFAS : de som van de concentraties van de zgn. EFSA-PFAS, met name perfluorooctaan zuur (PFOA), perfluorooctaansulfonaat (PFOS), perfluornonaan zuur (PFNA) en perfluorhexaansulfon zuur (PFHxS). Voor de EFSA-PFAS is een tijdelijk toetsingskader beschikbaar voor omgevingslucht (toetsingswaarde 0,4 ng/m³), voor depositie is er momenteel nog geen toetsingskader.

In deze studie worden gemiddelde concentraties en deposities van de Σ PFAS en EFSA-PFAS over de looptijd van de meetcampagnes gerapporteerd, alsook het verloop van de concentraties in verloop van de tijd (een meetcampagne omvat een aantal opeenvolgende bemonsteringen). Tenslotte wordt de PFAS-samenstelling verder in detail bestudeerd door het aandeel van verschillende PFAS-verbindingen op de totale Σ PFAS concentratie te berekenen om na te gaan welke PFAS-verbindingen het meest voorkomen.

Overzicht meetcampagnes

Er werden meetcampagnes uitgevoerd op verschillende type locaties verspreid over Vlaanderen, waaronder op landelijke en stedelijke achtergrondlocaties, aan de kust, en op locaties in de buurt van industrie (havenlocaties, locaties in de buurt van 3M en de Oosterweelwerf op Antwerpen Linkeroever (Lantis), en een stortplaats). Per type locatie werden één tot vier meetstations geplaatst die simultaan bemonsterd werden gedurende de looptijd van de campagne. De monitoring op het landelijke achtergrondstation van de VMM (N016) wordt als referentie meegenomen in dit overzicht. De metingen die daar uitgevoerd worden kaderen in de lange-termijn opvolging door de VMM.

Overzicht van de type locaties, aantal en namen van de meetstations.

Type locatie	Aantal locaties	Namen meetstations
Stedelijke achtergrond	1	Borgerhout, R801
Landelijke achtergrond	1	Dessel, N018
Kust	2	Zoute, Duinbergen
Haven	4	R822, R830, R831, R891
Stortplaats	2	site A, site E
3M/Lantis	6	R897, ZD01, ZD07, ZD08, ZD11, ZD12

De meetcampagnes werden uitgevoerd tussen juli 2022 en augustus 2023. De duurtijd van een meetcampagne kan variëren tussen campagnes, maar is minimaal 3 maanden.

RESULTATEN

Omgevingslucht

De PFAS-concentraties in de omgevingslucht vertonen grote verschillen tussen de verschillende type locaties. De gemiddelde Σ PFAS concentratie situeert zich tussen 0,090 en 3,307 ng/m³, en de EFSA-PFAS concentratie tussen 0,010 en 1,319 ng/m³. Op bijna alle meetlocaties ligt de EFSA-PFAS concentratie onder de tijdelijke toetsingswaarde van 0,4 ng EFSA-PFAS/m³, met uitzondering de meetlocaties (ZD08 en ZD11) in de buurt van 3M en Lantis waar een EFSA-PFAS concentratie boven de toetsingswaarde wordt gemeten. Binnen eenzelfde typelocatie zijn de verschillen in luchtconcentratie doorgaans beperkt, met uitzondering van de meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis, waar op meetlocaties ZD08 en ZD11 typisch hogere concentraties gemeten worden dan op andere meetlocaties in de buurt. De verschillen tussen de meetlocaties werden daar eerder beschreven in functie van de afstand tot 3M/Lantis, met afnemende concentraties voor verder afgelegen meetlocaties van 3M en de Lantis werf op Linkeroever.

Er zijn PFAS metingen beschikbaar voor landelijke achtergrond (bemonstering op het VMM meetstation van Dessel (N016), zie <https://www.vmm.be/lucht/lokaal/zwijndrecht-antwerpen-linkeroever/pfas-in-zwevend-stof>). De bemonstering op de achtergrondlocatie is niet volledig identiek aan de bemonstering die in deze studie werd uitgevoerd aangezien er enkel op filter bemonsterd werd en niet op PUF. Hierdoor zijn de landelijke achtergrondconcentratie mogelijks lager, al dient opgemerkt te worden dat – zeker voor de EFSA-PFAS – het aandeel bemonsterd op PUF over het algemeen relatief laag is in vergelijking met de filterfractie. In vergelijking met de landelijke achtergrond wordt vastgesteld dat de Σ PFAS-concentraties op

de stedelijke achtergrondlocatie en de stortplaats gemiddeld ongeveer een factor 10 hoger ligt, in de haven is dat 10 tot 40 keer hoger, en aan de kust tot een factor 60 hoger. In de buurt van Lantis/3M is de $\sum$ PFAS-concentratie 100 tot 2500 keer hoger dan de landelijke achtergrond. Voor de EFSA-PFAS is het beeld hetzelfde, maar is het verschil met de landelijke achtergrond minder groot. Op de stortplaats en stedelijke achtergrond is de EFSA-PFAS-concentratie een factor 3 tot 5 hoger dan het landelijk gemiddelde en een aantal havenlocaties ligt in diezelfde grootteorde. De EFSA-PFAS-concentratie aan de kust is gemiddeld ongeveer 20 keer hoger dan op de landelijke achtergrond. In de buurt van 3M/Lantis ligt de EFSA-PFAS een factor 30 tot 40 keer hoger op drie meetlocaties, en 500 tot 1200 keer hoger op de twee meetlocaties dicht bij 3M/Lantis.

Type locatie	Aantal meetlocaties	Gemiddelde concentratie in de omgevingslucht $\sum$ PFAS (ng/m ³ /dag)	Gemiddelde concentratie in de omgevingslucht EFSA-PFAS (ng/m ³ /dag)
Stedelijke achtergrond	1	0,123	0,018
Landelijke achtergrond	1	0,003	0,001
Kust	2	0,178	0,059
Haven	4	0,089	0,025
Stortplaats	2	0,090	0,010
3M/Lantis	6	3,307	1,319

Wat de PFAS samenstelling in de omgevingslucht betreft, blijken PFCAs en PFSA's het meest voor te komen. Tussen locatietypes zijn er duidelijke verschillen in PFAS samenstelling. Op de meeste locatietypes zijn de PFCAs de meest voorkomende PFAS, met uitzondering van de buurt rond 3M/Lantis en R891 waar het aandeel van PFSA's hoger is (>50% van de totale PFAS concentratie). Dit is vooral het gevolg van de hoge PFOS-concentraties vanwege de historische verontreiniging in die regio's. In de haven en aan de kust ligt het aandeel PFSA's op ca. 25%, in de stad en stortplaats nog lager. De PFAS samenstelling op de verschillende meetlocaties binnen eenzelfde type omgeving zijn over het algemeen vergelijkbaar, met uitzondering van R891, ZD11 en ZD08 waar een hoger aandeel PFSA's gemeten werd in vergelijking met de andere meetlocaties in de omgeving. Aan de kust had één van de meetlocaties een groter aandeel FASAs en een lager aandeel PFSA's in vergelijking met de andere kustlocatie. De meest voorkomende PFAS die werden gemeten in de omgevingslucht in Vlaanderen zijn PFPrA (indicatief), PFBA, PFOA, PFOS en MePFBSA.

Deposities

De PFAS-deposities vertonen grote verschillen tussen de verschillende locatietypes in Vlaanderen. De $\sum$ PFAS-depositie varieert van 27 ng/m²/dag op de stedelijke achtergrondlocatie tot 456 ng/m²/dag in de buurt van 3M/Lantis. De depositie op de landelijke achtergrond was gemiddeld 34 ng/m²/dag, en situeert zich in dezelfde grootteorde als de stad. Aan de kust en in de buurt van het stort werden vergelijkbare deposities gemeten (ca. 75 ng/m²/dag) die ongeveer een factor 2 tot 3 hoger liggen dan op de landelijke en stedelijke achtergrondlocaties. De EFSA-PFAS deposities liggen tussen 2 (stedelijke achtergrond) en 130 (buurt van 3M/Lantis) ng/m²/dag. Het percentage EFSA-PFAS in de totale depositie ligt opmerkelijk hoger aan de kust dan op andere type locaties.

Type locatie	Aantal meetlocaties	Gemiddelde depositie $\sum$ PFAS (ng/m ² /dag)	Gemiddelde depositie EFSA-PFAS (ng/m ² /dag)
Stedelijke achtergrond	1	27	2
Landelijke achtergrond	1	34	16
Kust	2	78	59
Haven	4	204	19
Stortplaats	2	74	34
3M/Lantis	6	453	130

De hoge gemiddelde depositie in de haven van Antwerpen wordt verklaard door een sterk verhoogde depositie op R831 t.o.v. de deposities op andere locatie in de haven, door een hoge uitschieter van PFBA depositie. De EFSA-PFAS depositie daarentegen, is op R831 het laagst van alle havenlocaties.

Het verschil in PFAS depositie tussen de landelijke achtergrond en de verschillende meetlocaties is minder groot dan voor de PFAS-concentraties in omgevingslucht. Voor de Σ PFAS is dat verschil een factor 2 tot 20. De depositie op de stedelijke achtergrondlocatie was lager dan de depositie op de landelijke achtergrondlocatie.

PFCAs en PFASs komen het meest voor in de deposities op alle locaties. De verhouding tussen beide PFAS groepen verschilt wel per type locatie. Op de meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis, op de havenlocatie R891 en aan de kust is het percentage PFASs hoger; op de andere locaties is het percentage PFCAs hoger. De belangrijkste PFAS die in de deposities gemeten worden zijn PFPrA (indicatief), PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFHxS, PFOS, PFNS en PFDS.

Gemiddeld genomen zijn de belangrijkste PFAS de verbindingen PFPrA (indicatief), PFOS, PFBA, en PFOA – zowel in de omgevingslucht als in de deposities in Vlaanderen.

BESLUIT

De belangrijkste vaststellingen uit het onderzoek zijn:

- Overall werd PFAS gedetecteerd in de omgevingslucht. De frequentst voorkomende PFAS zijn: PFOS, PFOA, PFBA en de indicatieve gemeten verbinding PFPrA.
- Over het algemeen vallen alle achtergrondlocaties onder de tijdelijke toetsingswaarde van 0,4 ng EFSA-PFAS/m³, met uitzondering van twee meetlocaties (ZD11 en ZD08) in de buurt van 3m en de Lantis werfzone op Antwerpen Linkeroever.
- Overall werd PFAS gedetecteerd in de depositie. De frequentst voorkomende PFAS zijn: PFOS, PFOA en PFBA.
- Het verschil in PFAS-profiel tussen de locatietypes is opmerkelijk groter voor depositie dan voor omgevingslucht.
- Voor depositie is er nog geen bruikbaar toetsingskader beschikbaar.

INHOUDSTAFEL

AUTEURS	I
DOCUMENTBESCHRIJVING.....	II
SAMENVATTING	III
INHOUDSTAFEL.....	VII
LIJST VAN FIGUREN	IX
LIJST VAN TABELLEN	XI
LIJST VAN AFKORTINGEN EN SYMBOLEN	XII
1 INLEIDING.....	1
1.1 SITUERING VAN DE STUDIE	1
1.2 OPBOUW VAN HET RAPPORT	2
2 BEMONSTERING EN ANALYSE.....	3
2.1 BEMONSTERING EN ANALYSE VOOR DE BEPALING VAN PFAS IN OMGEVINGSLUCHT	3
2.1.1 <i>Bemonstering</i>	3
2.1.2 <i>Analyse</i>	4
2.2 BEMONSTERING EN ANALYSE VOOR DE BEPALING VAN PFAS IN DEPOSITIES.....	5
2.2.1 <i>Bemonstering</i>	5
2.2.2 <i>Analyse</i>	7
2.2.3 <i>Kwaliteitscontrole analyse</i>	8
3 VERWERKING VAN DE MEETRESULTATEN	9
3.1 OMGEVINGSLUCHT	9
3.1.1 <i>Omrekening naar concentraties</i>	9
3.1.2 <i>Berekening van somparameters</i>	9
3.1.3 <i>Sommatie van filter- en PUF fracties</i>	10
3.1.4 <i>Tijdelijk toetsingskader voor de PFAS-concentratie in omgevingslucht</i>	10
3.2 DEPOSITIES	11
3.2.1 <i>Berekening van de depositie</i>	11
3.2.2 <i>Berekening van somparameters</i>	11
3.3 RAPPORTERING VAN DE CONCENTRATIES EN DEPOSITIES PER MEETCAMPAGNE	12
4 OVERZICHT MEETCAMPAGNES	13
4.1 OVERZICHT VAN DE MEETLOCATIES	13
4.2 PERIODE VAN DE MEETCAMPAGNES	14
4.3 OVERZICHT VAN DE BEMONSTERING PER MEETCAMPAGNE.....	15
4.4 METEOROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN	15
5 RESULTATEN VAN DE INDIVIDUELE MEETCAMPAGNES	17
5.1 MEETCAMPAGNE AAN DE KUST	17
5.1.1 <i>Meetlocaties en bemonstering aan de kust</i>	17
5.1.2 <i>Veldblanco's</i>	19
5.1.3 <i>Resultaten</i>	19
5.1.4 <i>Bespreking van de resultaten aan de kust</i>	21
5.2 MEETCAMPAGNE OP STEDELIJKE ACHTERGROND.....	22
5.2.1 <i>Overzicht van de meetlocatie en de bemonstering</i>	22
5.2.2 <i>PFAS-concentratie in de omgevingslucht op stedelijke achtergrond</i>	22
5.2.3 <i>PFAS in de deposities op stedelijke achtergrond</i>	23
5.3 MEETCAMPAGNE IN DE BUURT VAN EEN STORTPLAATS.....	23
5.3.1 <i>Overzicht van de meetlocaties en de bemonstering</i>	23

5.3.2	PFAS-concentratie in de omgevingslucht van een stortplaats	25
5.3.3	Belangrijkste PFAS-verbindingen op de stortplaats	26
5.3.4	PFAS depositie.....	26
5.4	MEETCAMPAGNE IN DE BUURT VAN 3M	27
5.4.1	Meetlocaties	27
5.4.2	Overzicht van de bemonsteringen in de buurt van 3M.....	28
5.4.3	PFAS concentraties in de omgevingslucht rondom 3M.....	28
5.4.4	PFAS deposities rondom 3M	31
5.5	HAVEN VAN ANTWERPEN	32
5.5.1	Meetlocaties	32
5.5.2	Overzicht van de bemonsteringen in havengebied Antwerpen	33
5.5.3	Meteorologische omstandigheden	33
5.5.4	PFAS concentraties in de omgevingslucht in havengebied Antwerpen.....	33
5.5.5	Depositie van PFAS in havengebied Antwerpen.....	36
6	GLOBALE ANALYSE VAN DE MEETRESULTATEN	39
6.1	PFAS IN DE OMGEVINGSLUCHT	39
6.1.1	Concentraties	39
6.1.2	Vergelijking tussen type locaties.....	41
6.1.3	Samenstelling van PFAS in omgevingslucht.....	43
6.2	PFAS IN DE DEPOSITIE.....	45
6.2.1	Deposities gemeten op verschillende type locaties.....	45
6.2.2	Vergelijking tussen type locaties.....	48
6.2.3	Samenstelling van PFAS in deposities	49
6.3	BELANGRIJKSTE PFAS IN DEPOSITIES EN OMGEVINGSLUCHT	50
7	LITERATUURGEGEVENS	53
7.1	PFAS IN DE OMGEVINGSLUCHT: REVIEW ARTIKEL.....	53
7.1.1	Samenvatting.....	53
7.1.2	Vergelijken van gegevens	54
8	BESLUIT	57
	LITERATUURLIJST	58
	BIJLAGE A.....	59
	BIJLAGE B.....	61
	BIJLAGE C.....	62
	BIJLAGE D	63
	BIJLAGE E	66

LIJST VAN FIGUREN

FIGUUR 1: FOTO VAN DE FIJNSTOFBEMONSTERAAR. OMGEVINGSLUCHT WORDT VIA DE BEMONSTERINGSKOP BOVENAAN AANGEZOGEN.....	3
FIGUUR 2: AFMETINGEN VAN DE BERGERHOFF NEERSLAGKRUIK EN OPSTELLING IN HET VELD.	6
FIGUUR 3: OPSTELLING MET DRIE BERGERHOFF-NEERSLAGKRUIKEN IN EEN HOUDER OP PAAL.	6
FIGUUR 4: OPDELING PFCAS EN PFSAS IN ULTRAKORTE, KORTE EN LANGE KETENS.	12
FIGUUR 5: KAART VAN DE MEETLOCATIES IN VLAANDEREN WAAR DE MEETCAMPAGNES WERDEN UITGEVOERD.	13
FIGUUR 6: ACTUEEL BEELD VAN ALLE SITES IN VLAANDEREN DIE MOMENTEEL WORDEN BEHANDELD MET BETREKKING VAN PFAS-VERVUILING (SEPTEMBER 2023). BRON: HTTPS://WWW.VLAANDEREN.BE/PFAS-VERVUILING/MAATREGELEN-PER-GEMEENTE#PFAS-KAART-VLAANDEREN	14
FIGUUR 7: OVERZICHT VAN DE MEETLOCATIES AAN DE KUST.....	17
FIGUUR 8: FOTO'S VAN DE BEMONSTERINGSOPSTELLING OP DE DRIE MEETLOCATIES AAN DE KUST.	18
FIGUUR 9: PROCENTUEEL AANDEEL VAN DE PFAS VERBINDINGEN MET EEN AANDEEL HOGER DAN 1% IN DEPOSITIESTOF OP MEETLOCATIE KNOKE ZOUTE(2).	20
FIGUUR 10: PROCENTUEEL AANDEEL VAN DE PFAS VERBINDINGEN MET EEN AANDEEL HOGER DAN 1% IN DEPOSITIESTOF OP MEETLOCATIE DUINBERGEN.	20
FIGUUR 11: OVERZICHT VAN DE MEETLOCATIES A EN E IN DE BUURT VAN EEN STORTPLAATS.	24
FIGUUR 12: EFSA-PFAS CONCENTRATIES IN DE BUURT VAN DE STORTPLAATS. DE CONCENTRATIES LIGGEN VER BENEDEN DE TOETSINGSWAARDE.	26
FIGUUR 13: DE PFAS DEPOSITIE IN DE BUURT VAN DE STORTPLAATS VARIEERT VAN MAAND TOT MAAND.	27
FIGUUR 14: MEETLOCATIES IN DE BUURT VAN 3M EN DE OOSTERWEELEWERF OP LINKEROEVER.	28
FIGUUR 15: GEMIDDELDE Σ PFAS EN EFSA-PFAS CONCENTRATIE OP MEETLOCATIES IN DE OMGEVING VAN 3M GEDURENDE DE MEETPERIODE (BOVEN). DE EFSA-PFAS CONCENTRATIES LIGGEN OP TWEE MEETLOCATIES BOVEN DE TOETSINGSWAARDE VAN 0,44 NG/M ³ (ONDER).	29
FIGUUR 16: CONCENTRATIEVERLOOP IN DE TIJD VAN DE EFSA-PFAS OP DE MEETLOCATIES R987, ZD01, ZD07, ZD08 EN ZD11 IN DE BUURT VAN 3M.	30
FIGUUR 17: PFAS DEPOSITIE OP MEETLOCATIES IN DE BUURT VAN 3M/LANTIS.	31
FIGUUR 18: OVERZICHT VAN DE MEETLOCATIES IN DE HAVEN VAN ANTWERPEN.....	32
FIGUUR 19: GEMIDDELDE Σ PFAS(T) EN EFSA-PFAS(T) CONCENTRATIE OP MEETLOCATIES IN DE HAVEN GEDURENDE DE MEETPERIODE (BOVEN). DE EFSA-PFAS CONCENTRATIES LIGGEN OP ELKE MEETLOCATIE ONDER DE TOETSINGSWAARDE VAN 0,4 NG/M ³ (ONDER).	34
FIGUUR 20: CONCENTRATIEVERLOOP IN DE TIJD VAN DE EFSA-PFAS(T) OP VIER MEETLOCATIES IN DE HAVEN VAN ANTWERPEN.	35
FIGUUR 21: DE GEMIDDELDE Σ PFAS EN EFSA-PFAS DEPOSITIE OP DE MEETLOCATIES IN DE HAVEN VAN ANTWERPEN (BOVEN). IN DE ONDERSTE GRAFIEK WERD DE HOGE PFBA DEPOSITIE OP R831 TUSSEN 29/06 EN 27/07 NIET WEERHOUDEN.	37
FIGUUR 22: GEMIDDELDE VAN DE LUCHTCONCENTRATIES VAN Σ PFAS EN EFSA-PFAS OP DE VERSCHILLENDE TYPE LOCATIES.	39
FIGUUR 23: GEMIDDELDE Σ PFAS-CONCENTRATIE OP DE VERSCHILLENDE MEETLOCATIES (ANTWERPSE HAVEN, 3M, KUST, STEDELIJKE ACHTERGROND EN STORTPLAATS).	40
FIGUUR 24: GEMIDDELDE EFSA-PFAS CONCENTRATIE OP DE VERSCHILLENDE MEETLOCATIES (ANTWERPSE HAVEN, 3M, KUST, STEDELIJKE ACHTERGROND EN STORTPLAATS).	41
FIGUUR 25: FACTOR VERSCHIL IN Σ PFAS-CONCENTRATIE TUSSEN DE MEETLOCATIES (GEGROEPEERD PER TYPE LOCATIE) EN DE LANDELIJKE ACHTERGROND.	42
FIGUUR 26: FACTOR VERSCHIL IN EFSA-PFAS-CONCENTRATIE TUSSEN DE MEETLOCATIES (GEGROEPEERD PER TYPE LOCATIE) EN DE LANDELIJKE ACHTERGROND.	43
FIGUUR 27: FINGERPRINT VAN DE MEETLOCATIES VOOR WAT BETREFT DE KWANTITATIEF GEMETEN PFAS BINNEN VIJF PFAS KLASSEN PFCAS, PFSAS, FOSAS, FASAAS EN EEN RESTGROEP.....	44
FIGUUR 28: GEMIDDELDE DEPOSITIES OP DE VERSCHILLENDE TYPE LOCATIES.	46
FIGUUR 29: GEMIDDELDE Σ PFAS DEPOSITIE OP DE VERSCHILLENDE MEETLOCATIES (ANTWERPSE HAVEN, 3M/LANTIS, KUST, STEDELIJKE ACHTERGROND EN STORTPLAATS).	47
FIGUUR 30: GEMIDDELDE EFSA-PFAS DEPOSITIE OP DE VERSCHILLENDE MEETLOCATIES (ANTWERPSE HAVEN, 3M/LANTIS, KUST, STEDELIJKE ACHTERGROND EN STORTPLAATS).	47
FIGUUR 31: FACTOR VERSCHIL IN Σ PFAS DEPOSITIE TUSSEN DE MEETLOCATIES (GEGROEPEERD PER TYPE LOCATIE) EN DE LANDELIJKE ACHTERGROND.	48
FIGUUR 32: FACTOR VERSCHIL IN EFSA-PFAS DEPOSITIE TUSSEN DE MEETLOCATIES (GEGROEPEERD PER TYPE LOCATIE) EN DE LANDELIJKE ACHTERGROND.	49

FIGUUR 33: FINGERPRINT VAN DE MEETLOCATIES VOOR WAT BETREFT DE KWANTITATIEF GEMETEN PFAS IN DE DEPOSITIE, OPGEDEELD IN VIJF PFAS KLASSEN: PFCAs, PFSAs, FOSAs, FASAAs EN EEN RESTGROEP.....	49
FIGUUR 34: OVERZICHT VAN PFAS DIE >1% BIJDAGEN TOT DE PFAS DEPOSITIE, GERANGSCHIKT VOLGENS HET GEMIDDELD OVER ALLE MEETLOCATIES. DE OVEREENKOMSTIGE BIJDRAGE AAN DE CONCENTRATIE IN DE OMGEVINGSLUCHT WORDT OOK WEERGEGEVEN. ER ZIJN 3 PFAS VERBINDINGEN DIE IN DE OMGEVINGSLUCHT >1% VERTEGENWOORDIGEN DIE NIET OPGENOMEN ZIJN IN DE FIGUUR, M.N. T-PFOSA, T-PFHxSA EN MePFBSA (HUN BIJDRAGE AAN DE DEPOSITIE IS GEMIDDELD <1%). DE INDICATIEVE GEMETEN PFAS WERDEN WEERHOUDEN, ZIE BIJLAGE A.....	51
FIGUUR 35: PFOA CONCENTRATIES IN TSP (PM FACTIE OMGEVINGSLUCHT): INTERNATIONALE GEGEVENS UIT FAUST (2023) EN METINGEN UIT VLAANDEREN.	55
FIGUUR 36: PFOS CONCENTRATIES IN TSP (PM FACTIE OMGEVINGSLUCHT): INTERNATIONALE GEGEVENS UIT FAUST (2023) EN METINGEN UIT VLAANDEREN.	56

LIJST VAN TABELLEN

TABEL 1: SPECIFICATIES VAN DE BEMONSTERAAR VOOR OMGEVINGSLUCHT	3
TABEL 2: OVERZICHT VAN DE TYPE LOCATIES, AANTAL EN NAMEN VAN DE MEETSTATIONS.	13
TABEL 3: SITUERING VAN DE MEETLOCATIES VAN DEZE STUDIE T.O.V. ACTUELE NO-REGRET ZONE.	14
TABEL 4: OVERZICHT VAN DE MEETPERIODEN VAN DE VERSCHILLENDE MEETCAMPAGNES.	14
TABEL 5: OVERZICHT VAN DE TYPE BEMONSTERINGEN PER MEETCAMPAGNE.	15
TABEL 6: MAANDELIJKE KLIMATOLOGISCHE OVERZICHTEN VAN HET KMI, OPGEMETEN TE UKKEL.	16
TABEL 7: OVERZICHT VAN DE BEMONSTERING OMGEVINGSLUCHT OP DE KUSTLOCATIES.	18
TABEL 8: OVERZICHT VAN DE BEMONSTERING VAN DEPOSITIES OP DE KUSTLOCATIES.	18
TABEL 9: GEMIDDELDE CONCENTRATIE (IN NG/M ³) VAN ΣPFAS EN EFSA-PFAS IN ZWEVEND STOF OP DE TWEE KUSTLOCATIES.	19
TABEL 10: GEMIDDELDE DEPOSITIE IN NG/M ² /DAG VOOR DE ΣPFAS (T) EN DE EFSA-PFAS(T) OP DE 2 KUST LOCATIES.	19
TABEL 11: OVERZICHT VAN DE GEMIDDELDE EN MAXIMUM (TUSSEN HAAKJES) CONCENTRATIES VOOR ΣPFAS EN EFSA-PFAS VOOR ZWEVEND STOF (IN NG/M ³) EN DEPOSITIE (IN NG/M ² /DAG) OP DE 2 KUSTLOCATIES (ZOUTE EN DUINBERGEN) EN 2 ACHTERGROND LOCATIES (BORGERHOUT EN DESSEL).	21
TABEL 12: OVERZICHT VAN DE BEMONSTERINGSPERIODEN OP STEDELIJKE ACHTERGROND.	22
TABEL 13: DE ΣPFAS EN EFSA-PFAS CONCENTRATIES (NG/M ³) OP DE STEDELIJKE ACHTERGRONDLOCATIE.	23
TABEL 14: OVERZICHT VAN DE PFAS DEPOSITIES (NG/M ² /DAG) OP EEN STEDELIJKE ACHTERGROND LOCATIE.	23
TABEL 15: START- EN STOPDATUM VAN DE BEMONSTERING IN DE BUURT VAN DE STORTPLAATS.	24
TABEL 16: OVERZICHT VAN DE BESCHIKBARE MONSTERS VAN DE MEETLOCATIES IN DE BUURT VAN DE STORTPLAATS.	24
TABEL 17: DE ΣPFAS EN EFSA-PFAS CONCENTRATIES (NG/M ³) IN DE BUURT VAN EEN STORTPLAATS.	25
TABEL 18: OVERZICHT VAN DE PFAS-VERBINDINGEN DIE IN DE HOOGSTE CONCENTRATIES GEMETEN WERDEN IN DE BUURT VAN DE STORTPLAATS.	26
TABEL 19: OVERZICHT VAN DE MEEST VOORKOMENDE PFAS IN DE DEPOSITIES IN DE BUURT VAN DE STORTPLAATS.	27
TABEL 20: GEMIDDELDE CONCENTRATIE (NG/M ³) VAN DE ΣPFAS EN EFSA-PFAS IN DE OMGEVING VAN 3M OVER DE PERIODE 12/01/23 TOT 24/08/23.	29
TABEL 21: PROCENTUEEL AANDEEL VAN VERSCHILLENDE PFAS KLASSEN OP HET TOTAAL.	30
TABEL 22: PERCENTUEEL AANDEEL VAN ULTRAKORTE, KORTE EN LANGE KETEN PFCAS EN PFSAS.	30
TABEL 23: GEMIDDELDE CONCENTRATIES VAN DE BELANGRIJKSTE PFAS-VERBINDINGEN OP DE MEETLOCATIES RONDOM 3M.	31
TABEL 24: MAANDGEMIDDELDE DEPOSITIES GEMETEN RONDOM 3M GEDURENDE DE PERIODE 12/01/23 TOT 24/08/23.	31
TABEL 25: OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE PFAS-KLASSEN IN DE DEPOSITIES OP MEETLOCATIES IN DE BUURT VAN 3M.	32
TABEL 26: AANDEEL VAN DE VERSCHILLENDE EFSA-PFAS IN DE DEPOSITIES.	32
TABEL 27: START EN STOP DATUMS VAN DE BEMONSTERING OP DE HAVENLOCATIES.	33
TABEL 28: METEOROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN TIJDENS DE MEETCAMPAGNE IN DE HAVEN.	33
TABEL 29: GEMIDDELDE CONCENTRATIE (NG/M ³) VAN DE ΣPFAS EN EFSA-PFAS OVER HEEL DE MONITORINGSCAMPAGNE.	34
TABEL 30: PERCENTUEEL AANDEEL VAN VERSCHILLENDE PFAS KLASSEN OP HET TOTAAL.	35
TABEL 31: PERCENTUEEL AANDEEL VAN ULTRAKORTE, KORTE EN LANGE KETEN PFCAS EN PFSAS.	35
TABEL 32: GEMIDDELDE CONCENTRATIES (NG/M ³) VAN DE BELANGRIJKSTE PFAS-VERBINDINGEN OP DE MEETLOCATIES IN DE HAVEN.	36
TABEL 33: GEMIDDELDE DEPOSITIE (NG/M ³ /DAG) VAN DE ΣPFAS EN EFSA-PFAS OVER HEEL DE MONITORINGSCAMPAGNE.	36
TABEL 34: MAANDGEMIDDELDE DEPOSITIES OP DE VIER MEETLOCATIES.	38
TABEL 35: PROCENTUELE BIJDRAGE VAN VERSCHILLENDE GROEPEN VAN PFAS-VERBINDINGEN.	38
TABEL 36: DEPOSITIES (NG/M ² /DAG) VAN DE BELANGRIJKSTE PFAS.	38
TABEL 37: FINGERPRINT VAN DE PFAS DIE GEMETEN WORDEN IN DE OMGEVINGSLUCHT OP DE VERSCHILLENDE MEETLOCATIES.	45
TABEL 38: FINGERPRINT VAN DE PFAS DIE GEMETEN WORDEN IN DE DEPOSITIE OP DE VERSCHILLENDE MEETLOCATIES.	50

LIJST VAN AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

AFKORTINGEN

LOD	Limit of Detection
LOQ	Limit of Quantification
NB	Niet beschikbaar
NRM	No regret maatregelen
PFAS	Per- en polyfluoroalkyl verbindingen
Σ PFAS	Som van de geanalyseerde PFAS (in analysescope)
EFSA-PFAS	Som van de 4 EFSA-PFAS (PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS)
PAP	Polyfluoroalkyl Phosphate Esters
PFCAs	Perfluoroalkyl carboxylic acids, geperfluoreerde carbonzuren
PFSAs	Perfluoroalkyl sulfonic acids, geperfluoreerde sulfonzuren
FASAs	Perfluoroalkane sulfonamides (soms afgekort als FOSAs)
FASAAs	Perfluoroalkyl sulfonamido acetic acids
FTS	Fluorotelomer sulfonic acids
RG	Rapporteergrens
TSP	Total suspended particles
PUF	Polyurethaanschuim

SYMBOLEN

ng/m ³	ng per kubieke meter (omgevingslucht)
ng/m ² /dag	ng per vierkante meter per dag (depositie)

1 INLEIDING

1.1 SITUERING VAN DE STUDIE

Een overzicht van de bestaande kennis maakt duidelijk dat de gezondheidseffecten van PFAS en aanverwante producten nog onvoldoende gekend zijn. Een geïntegreerde monitoring is dus wenselijk om bruikbare gegevens te verschaffen voor een blootstellingsbeoordeling.

Geïntegreerde milieumonitoring (gelijktijdige metingen vanuit lucht, bodem, water) is schaars. Deze studie is specifiek gericht op PFAS in de lucht, en meer bepaald op de concentratie van PFAS in omgevingslucht (uitgedrukt in ng/m³ lucht) en de hoeveelheid PFAS in depositie (uitgedrukt in ng/m²/dag). De concentratie drukt uit hoeveel PFAS er in de lucht zit, de depositie hoeveel PFAS op de grond terechtkomen. In tegenstelling tot emissiemetingen, die zich vooral richten op enkele industriële gekende bronnen, kunnen omgevingslucht- en depositiemetingen worden gebruikt om de impact van regionaal gecombineerde bronnen, niet-industriële bronnen, diffuse bronnen en emissies door herverdamping, processen van transport en verspreiding, meer inzichtelijk te maken. Bijkomend kan het bestaan van onbekende bronnen worden vastgesteld. Tijdreeksen zijn absoluut nuttig om de lokale concentratieniveaus van PFAS te kunnen inschatten, de processen van verspreiding en transport beter te begrijpen en tot op zekere hoogte ook om de bronnen te definiëren. Naast luchtmetingen geven depositiemetingen meer inzichten in de flux van PFAS naar de bodem, water- of verhard oppervlak.

Het wordt verwacht dat de omgevingsconcentraties van PFAS sterk kunnen fluctueren in ruimte en tijd. Een belangrijke uitdaging is dus om te bekijken hoe deze variabiliteit in een meetprogramma kan worden aangepakt. Omdat PFAS-verbindingen omvatten met een breed scala aan dampspanningen en scheidingsgedrag tussen gassen en deeltjes, zijn er bijkomende uitdagingen bij het opzetten van een representatieve bemonsteringsstrategie.

Het doel van deze studie is om de PFAS-concentratie in omgevingslucht en depositie te bepalen op een aantal typen achtergrondlocaties in Vlaanderen. Door meer inzicht te verkrijgen in de actuele concentraties in de Vlaamse buitenlucht, kan de overheid het te voeren beleid, inzake het verder terugdringen van de emissies van PFAS in het milieu en daarmee de blootstelling aan PFAS te verlagen, meer vorm geven en een aanzet formuleren voor normering. De gegevens die verzameld worden zullen als input dienen om een toetsingskader te ontwikkelen voor PFAS in omgevingslucht en depositie.

Een aantal onderzoeksvragen die kaderen in deze studie zijn:

- Wat zijn de huidige achtergrondconcentraties aan PFAS in de omgevingslucht en deposities in Vlaanderen: bepaling van huidige concentraties PFAS op achtergrond en in belaste zones (gekende bronnen) en, indien voorhanden, vergelijking van deze resultaten uit de literatuur;
- Hoe verhouden de concentraties zich ten opzichte van de toetsingswaarde: evaluatie huidige concentraties in achtergrond en potentieel belaste zones.

1.2 OPBOUW VAN HET RAPPORT

Het doel van deze studie is de bepaling van de PFAS-concentraties in de omgevingslucht en deposities op een aantal typen achtergrondlocaties in Vlaanderen. Hiertoe werden meetcampagnes uitgevoerd op een aantal locaties in Vlaanderen. Op basis van de bekomen inzichten uit eerdere meetcampagnes in de buurt van 3M en de Lantis werf op Antwerpen Linkeroever (Peters et al., 2022, VITO rapport 2022/HEALTH/R/2680) omtrent bemonsteringsmethoden, werd een meetopzet uitgewerkt m.b.v. beste beschikbare en kostenefficiënte bemonsteringstechnieken voor de bepaling van de PFAS-concentraties (zowel particulaire als vluchtige) in de omgevingslucht en deposities. In HOOFDSTUK 2 worden de bemonsterings- en analysetechnieken toegelicht. Hier wordt ook het overzicht gegeven van PFAS-verbindingen die gemeten worden. In HOOFDSTUK 3 wordt beschreven hoe de analyseresultaten verwerkt werden. Hier wordt beschreven hoe analyseresultaten van individuele PFAS gesommeerd worden om twee somparameters te berekenen, m.n. de EFSA-PFAS (i.e. som van PFOA, PFNA, PFOS en PFHxS, soms gerefereerd als EFSA-4) en de totale som van de PFAS in analysescope, Σ PFAS. De EFSA-PFAS concentratie in omgevingslucht kan afgetoetst worden aan een tijdelijke toetsingswaarde, waarvan de onderbouwing wordt samengevat in HOOFDSTUK 3. Er werden meetcampagnes uitgevoerd op verschillende locaties in Vlaanderen.

Een overzicht van de meetlocaties, meetperiodes en meteorologische omstandigheden tijdens de campagnes wordt in HOOFDSTUK 4 besproken. In HOOFDSTUK 5 worden de individuele meetcampagnes beschreven:

- 5.1 Meetcampagne aan de kust
- 5.2 Meetcampagne op stedelijke achtergrond
- 5.3 Meetcampagne in de buurt van een stortplaats
- 5.4 Meetcampagne in de buurt van 3M
- 5.5 Haven van Antwerpen.

De meetresultaten van de verschillende type locaties worden verder vergeleken en besproken in de globale analyse in HOOFDSTUK 6. In HOOFDSTUK 7 wordt een vergelijking gemaakt van de Vlaamse gegevens voor PFOA en PFOA in omgevingslucht met internationale gegevens. De belangrijkste conclusies van dit onderzoek worden besproken in HOOFDSTUK 8.

2 BEMONSTERING EN ANALYSE

2.1 BEMONSTERING EN ANALYSE VOOR DE BEPALING VAN PFAS IN OMGEVINGSLUCHT

2.1.1 Bemonstering

Voor het meten van PFAS in de omgevingslucht wordt gebruik gemaakt van een actieve bemonstering op filter en PUF (Tabel 1), met een toestel dat 3,5 tot 4,5 m³/u bemonstert en uitgerust is met een TSP-kop die quasi alle zwevende deeltjes doorlaat. Er wordt een gekend volume lucht aangezogen door de filter en de PUF, die achter elkaar gemonteerd zijn. Het stof wordt opgevangen op een kwartsvezelfilter (100 mm diameter), terwijl de vluchtige fractie op de PUF geïncubeerd wordt. Op basis van de samengetelde hoeveelheid PFAS die op filter en PUF gemeten werd (uitgedrukt in ng/filter of ng/PUF per geanalyseerde PFAS-verbinding) en het bemonsterde volume lucht (geregistreerd met een gasteller), wordt de PFAS **massaconcentratie** berekend, uitgedrukt in ng PFAS per m³ lucht, verkort weergegeven als **ng/m³**.

Voor de bemonstering van omgevingslucht wordt een fijnstofbemonsteraar (type high volume sampler) van TISCH Environmental (zie Figuur 1) gebruikt.



Figuur 1: Foto van de fijnstofbemonsteraar. Omgevingslucht wordt via de bemonsteringskop bovenaan aangezogen.

Tabel 1: Specificaties van de bemonsteraar voor omgevingslucht.

Voorafscheider	Geen, TSP bemonstering
Filter	Kwartsvezelfilter (100 mm diameter)
PUF	Methanol pre-cleaned
Bemonsteringsdebiet	Ca. 3,5 tot 4,5 m ³ /u

De filters en PUFs worden periodiek (meestal om de twee weken) gewisseld. Bemonsterde filters en PUFs worden onmiddellijk naar het labo gebracht waar ze worden geëxtraheerd en daarna geanalyseerd op aanwezigheid van PFAS met LC-MS/MS (zie onder).

→ Veldblanco

Gespreid over de volledige looptijd van de metingen, worden veldblanco's voorzien. Veldblanco's zijn filters en PUFs die op dezelfde manier gehanteerd worden als de te bemonsteren filters en PUFs (voorbereiding, transport) en gedurende de bemonsteringsperiode afgesloten bewaard worden ter plaatse, zonder ze te bemonsteren. Veldblanco's worden meegenomen in de kwaliteitscontrole om bv. contaminaties op te sporen.

2.1.2 Analyse

2.1.2.1 Monsterpreparatie en analyse

Een kwart van de filter wordt in een polypropyleen (PP) centrifugebuis gebracht. Hieraan wordt 10 mL basische methanol toegevoegd en een gekende hoeveelheid van de interne standaard (+/- 4 ng). Dit wordt gedurende 1 uur gesoniceerd. Het extract van de filter wordt ingedampt tot 2 mL. Na het verwijderen van het restmateriaal door centrifuge, wordt het extract verder ingedampt tot 500 µL. Dit wordt aangelengd met 500 µL ultrapuur water. Van het extract wordt 10 µL in de LC-MS geïnjecteerd. De instrumentele analyse wordt uitgevoerd door middel van Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC) gekoppeld aan een Waters Xevo TQ-S tandemmassaspectrometer (LC-MS/MS). Kwantificering van de PFAS-verbindingen gebeurt met de interne standaardmethode. De analyse wordt uitgevoerd conform WAC/IV/A/025¹.

De PUF wordt in een beker gebracht en hieraan wordt 450 mL methanol toegevoegd. Hieraan wordt een gekende hoeveelheid van de interne standaard (+/- 40 ng) toegevoegd. De PUF wordt gedurende 2 uur gesoniceerd, om het kwartier wordt de PUF leeg geduwd m.b.v. een stamper. Daarna wordt de PUF uit de beker verwijderd en opnieuw leeg geduwd met een stamper. De juiste hoeveelheid methanol wordt bepaald d.m.v. weging. 1/10 deelstaal van dit methanolextract wordt ingedampt met turbovap tot ca 2 ml en overgebracht in een PP-buis van 15ml, nagespoeld en opnieuw ingedampt tot 5 ml. Na een opzuivering over Envicarb wordt het extract verder ingedampt tot 500 µL. Dit wordt aangelengd met 500 µL methanol. Van het extract wordt 10 µL in de LC-MS geïnjecteerd. De instrumentele analyse wordt uitgevoerd door middel van Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC) gekoppeld aan een Waters Xevo TQ-S tandemmassaspectrometer (LC-MS/MS). Kwantificering van de PFAS-verbindingen gebeurt met de interne standaardmethode. De analyse wordt uitgevoerd conform WAC/IV/A/025.

2.1.2.2 Overzicht van PFAS-verbindingen

In de WAC-scope worden in totaal 56 PFAS-verbindingen gemeten, waarvan 24 indicatief en 32 kwantitatief (zie Bijlage A, voor filter + PUF samen, indien filter of PUF indicatief, dan totaal indicatief). Bij de validatie van de analysemethode werd de meetonzekerheid U ($k=2$) van de methode bepaald. Hieruit blijkt dat een aantal verbindingen slechts indicatief kunnen gemeten worden (i.e. met een meetonzekerheid van >50%). Voor negen PFAS-verbindingen worden zowel de lineaire als de vertakte vorm geanalyseerd (o.a. PFOA, PFHxS, PFOS, PFHxSA, PFOSA, MePFOSA, EtPFOSA, MePFOSAA en EtPFOSAA).

Bij de rapportering van de somparameters wordt een onderscheid gemaakt tussen de som van enkel lineaire verbindingen (i.e. $\sum \text{PFAS (L)}$ en EFSA-PFAS (L)) en de som van de lineair plus vertakte isomeren (i.e. $\sum \text{PFAS (T)}$ en EFSA-PFAS (T)). Als er geen aanduiding is betreft het de som van de totalen (lineair plus vertakt).

In de $\sum \text{PFAS}$ worden zowel kwantitatief als indicatieve PFAS meegerekend. De EFSA-PFAS worden alle vier kwantitatief gemeten.

¹ https://reflabos.vito.be/2022/WAC_IV_A_025.pdf

2.2 BEMONSTERING EN ANALYSE VOOR DE BEPALING VAN PFAS IN DEPOSITIES

Depositie kan plaatsvinden in de vorm van natte en droge depositie² (syn. bulkdepositie). De totale depositie is de som van natte en droge depositie. Natte depositie is de aanvoer van stoffen via regen, sneeuw of hagel. Natte depositie is dus het resultaat van uitregenen of uitwassen en komt dus alleen voor ten tijde van neerslag. Droge depositie is de aanvoer van gasen en deeltjes tijdens droge periodes. Droge depositie gebeurt door het rechtstreeks afzetten van een verontreinigende stof op een oppervlak. Droge depositie is het proces waarbij stoffen door diffusie (Browniaanse beweging), turbulentie (impactie en interceptie) of sedimentatie door zwaartekracht naar het oppervlak getransporteerd worden en daar (deels) opgenomen kunnen worden.

2.2.1 Bemonstering

De depositie wordt bemonsterd met behulp van depositiekruiken (type Bergerhoff³, Figuur 2). De Bergerhoff-kruik is een glazen bokaal met 9,5 cm effectieve binnendiameter, ongeveer 20 cm hoog en met 1,5 liter inhoud. Aangezien de kruik uit glas bestaat, kan ze vooraf zeer grondig worden gereinigd om lage blanco-waarden te bekomen die nodig zijn voor bepalingen op immissieniveau.

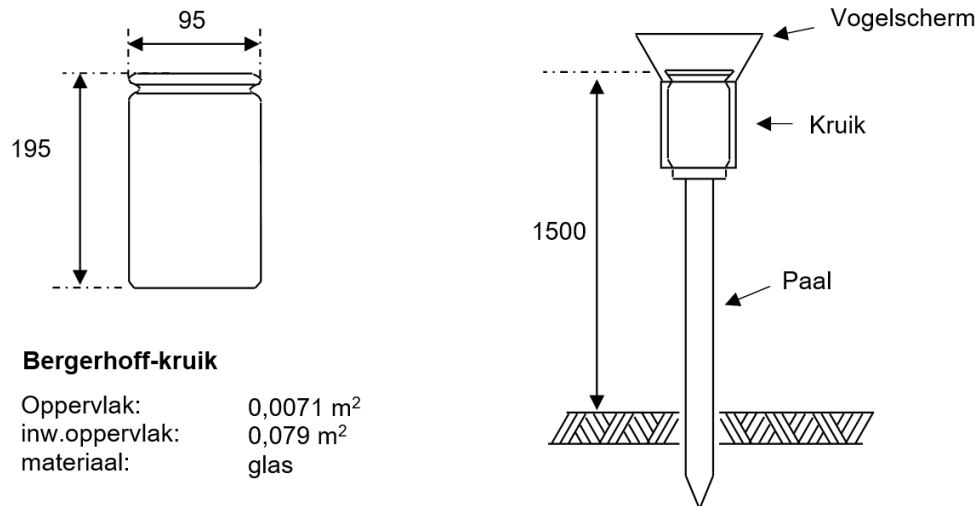
Bij de nabehandeling van de stalen waarbij o.a. wassen wordt toegepast, is een gladde glazen wand het meest geschikt voor volledige recuperatie van het staal, zonder risico van permeatie van solvent of staal in de wand.

De Bergerhoff-kruiken worden voorafgaand aan de bemonsteringen gespoeld met heet water. Nadien worden de wanden afgeveegd met behulp van een zuivere doek (om algenresten en stof te verwijderen). Nadien worden de kruiken nog eens afgespoeld onder warm water. De kruiken worden vervolgens 5x gespoeld met methanol. Na de laatste spoeling laat men de kruiken drogen aan de lucht (onder trekkast) en kunnen deze (opnieuw) gebruikt worden. De kruiken worden in triplo op de meetlocaties geplaatst, op een hoogte van ongeveer 1,5 m (zie voorbeeld in Figuur 2). Na afloop van de bemonstering worden de kruiken afgedekt met een gelabeld glazen deksel en in speciale houders geplaatst, die verwisseling, verlies of contaminatie gedurende het transport voorkomen.

De gereinigde kruiken worden opgesteld in het veld en blijven gedurende ongeveer 1 maand ter plaatse (28 dagen, 4 weken). Per batch wordt een blanco-kruik voorzien (kruik die niet bemonsterd wordt (blijft gesloten) maar voor het overige op identieke manier behandeld wordt als de bemonsterde kruiken).

² zie bv. <https://www.vmm.be/woordenboek/depositie>

³ De Bergerhoff-kruik wordt gebruikt voor het meten van stofneerslag, zoals voorgeschreven in de Duitse norm VDI 2119 Blatt 2. Ook in de VDI 2090 Blatt 1 "Ambient air measurement - Deposition measurement of low volatile organic compounds - Determination of PCDD/F deposition; Bergerhoff sampling device and GC/HRMS analysis" worden Bergerhoff-kruiken gebruikt.



Figuur 2: Afmetingen van de Bergerhoff neerslagkruik en opstelling in het veld.



Figuur 3: Opstelling met drie Bergerhoff-neerslagkruiken in een houder op paal.

De inhoud van de kruiken wordt geanalyseerd op aanwezigheid van PFAS (zie onder). Hiervoor werden de triplo monsters samengevoegd tot één mengmonster. De gemeten hoeveelheid PFAS wordt genormaliseerd voor bemonsteringsoppervlakte van de kruiken (oppervlakte opening kruik) en de bemonsteringsduur, en wordt uitgedrukt in **ng/m²/dag** (ng per vierkante meter per dag).

Met de meetopzet die in deze studie gebruikt is, wordt de totale depositie bemonsterd (som van droge en natte depositie). De meetmethode laat niet toe om een opdeling tussen natte en droge depositie te maken. De totale depositie (of kortweg “depositie”) wordt uitgedrukt in ng per m² per dag (ng/m²/dag), m.a.w. de massa van een bepaalde stof die per vierkante meter per dag neerslaat.

Droge depositie op de wand of de bodem van de bemonsteringskruiken (glad oppervlak van glas) is mogelijk een onderschatting van de reële droge depositie die op ruwere oppervlakken zoals bv. vegetatie voorkomt.

2.2.2 Analyse

2.2.2.1 Opwerking van de stalen

Bij de analyse van de depositiekruiken wordt een opdeling gemaakt tussen de waterige en stofvormige fase. Voor droge kruiken kon enkel de stoffractie bepaald worden. In eerste instantie worden de (organische) onzuiverheden groter dan 5 mm (bladeren, insecten, ...) handmatig verwijderd, met handschoenen en materiaal dat getest is op PFAS en geen contaminatie geeft. De stoffractie bestaat uit de deeltjes aanwezig in het water en de deeltjes die plakken aan de wand van de kruiken. De waterfractie is de vloeistof (al dan niet aanwezig, afhankelijk van de neerslag hoeveelheid) in de kruik.

Het brutogewicht van de kruik wordt voor analyse genoteerd. De volledige inhoud van de 3 kruiken wordt gefiltreerd over een glasvezelfilter. Per kruik wordt, na opschudden, een deelstaal van 20 mL genomen voor de waterfractie (totaal van 60 mL, wat een werkbare hoeveelheid is). De wanden van de lege kruik worden nageveegd met een glasvezelfilter. De filters worden allemaal samengevoegd voor de verdere opwerking van de stoffractie. Finaal worden de laatste stofdeeltjes van de wanden van de kruik gespoeld met ammoniakale methanol (per kruik). Deze methanolfractie wordt gebruikt om de filters te extraheren. Het tarragewicht van de kruik wordt bepaald door de kruik na opwerking terug te wegen.

De stof- en waterfractie worden apart verder opgewerkt en geanalyseerd. De meetresultaten van stof- en waterfase worden dan samengeteld om de totale depositie te berekenen. Hierbij wordt het lower-bound principe toegepast waarbij meetwaarden beneden de rapporteergrens als nul worden meegenomen in de som.

2.2.2.2 Stoffractie

De glasvezelfilters worden overgebracht in een PP centrifugebuis van 50 mL. Een hoeveelheid ammoniakale methanol wordt toegevoegd aan de filters samen met de ammoniakale methanol waarmee de wanden van de kruiken werden gespoeld. Hieraan wordt een gekende hoeveelheid van de isotoop-gemerkte fluorverbindingen toegevoegd (+/- 4 ng). De filters worden gedurende 1 uur geëxtraheerd met basische methanol door middel van ultrasoon sonicatie.

Nadien wordt het extract gecentrifugeerd bij 4000 rpm gedurende 10 minuten en wordt de bovenstaande vloeistof gedecanteerd in een PP proefbuis van 15 mL. Indien nodig wordt nog een centrifugatiestap uitgevoerd. Het extract wordt opgeconcentreerd onder stikstof en wordt overgebracht in een LC-vial voor analyse.

2.2.2.3 Waterfractie

De drie 20 mL deelstalen van de kruiken (= 1 locatie) worden samengevoegd (totaal volume 60 mL). Aan het waterstaal wordt een gekende hoeveelheid isotoop-gemerkte fluorverbindingen toegevoegd (+/- 4 ng). De waterstalen worden vervolgens geëxtraheerd met vaste-fase-extractie (SPE). De vaste fase wordt geëluëerd met methanol en het methanolextract wordt ingedampt tot 500 µL. Aan 500 µL van het extract wordt 500 µL ultrapuur water toegevoegd en in een LC-vial voor analyse gebracht.

2.2.2.4 Instrumentele analyse

De instrumentele analyse wordt uitgevoerd door middel van Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC) gekoppeld aan een Waters Xevo TQ-S tandemmassaspectrometer (LC-MS/MS). Kwantificering van de PFAS-verbindingen gebeurt met de interne standaardmethode. De analyse wordt uitgevoerd volgens WAC/IV/A:025. Zie Bijlage A voor een overzicht van de gemeten PFAS-verbindingen in de deposities. Van de 56 gemeten PFAS worden er 20 indicatief gemeten.

2.2.2.5 Vertakte en lineaire PFAS

Van de meeste perfluorverbindingen komen uitsluitend de lineaire vorm voor. Van een aantal perfluorverbindingen kan ook de vertakte vorm teruggevonden worden. Van negen PFAS-verbindingen worden zowel de lineaire als de vertakte vorm geanalyseerd (o.a. PFOA, PFHxS, PFOS, PFHxSA, PFOSA, MePFOSA, EtPFOSA, MePFOSAA en EtPFOSAA).

Voor de somparameters wordt met (L) of (T) aangeduid of enkel de lineaire (L) of lineaire plus vertakte (T) isomeren samengeteld worden (i.e. $\sum$ PFAS (L of T) en EFSA-PFAS (L of T)). Als er geen aanduiding is betreft het de som van de totalen (lineair plus vertakt).

2.2.2.6 Waterfractie, stoffractie en sommatie van beide (totaal)

De meetresultaten zijn apart beschikbaar voor de waterige- en stoffase. Door de meetresultaten van beide fracties te sommeren wordt het totaal gehalte PFAS per depositiestaal berekend. Bij de bepaling van het totaalgehalte worden meetwaarden onder de rapporteergrens niet meegeteld (dus gelijkgesteld aan 0).

2.2.3 Kwaliteitscontrole analyse

Per analysereeks wordt een procedure blanco en een geaddeerd monster meegenomen om de juistheid te bepalen. De monsters doorlopen de volledige opwerkingsprocedure. Op basis van deze gegevens kan ingeschat worden of de resultaten betrouwbaar zijn of niet.

3 VERWERKING VAN DE MEETRESULTATEN

De analyseresultaten worden verder verwerkt voor de rapportering. Hier wordt een overzicht gegeven van de verschillende stappen voor de verwerking van de analyseresultaten voor omgevingslucht en deposities.

3.1 OMGEVINGSLUCHT

3.1.1 Omrekening naar concentraties

De analyseresultaten, uitgedrukt in ng/staal, worden omgerekend naar concentraties door het bemonsteringsvolume in rekening te brengen. De bemonsteringsvolumes worden geregistreerd bij de bemonstering m.b.v. een gasteller. De concentraties worden uitgedrukt in ng per kubieke meter omgevingslucht (ng/m³). Deze omrekening wordt uitgevoerd voor alle geanalyseerde PFAS-verbindingen. In het geval dat er een aparte analyse op filter en PUF wordt uitgevoerd (wat meestal het geval was), dan wordt deze omzetting uitgevoerd voor beide fracties. De filter en PUF concentratie wordt samengeteld om de totale concentraties te berekenen (zowel particulier als gasvormige fracties).

Analyseresultaten onder de bepalingsgrens (<LOQ) worden eveneens omgerekend op dezelfde wijze (resultaat <LOQ in ng/m³).

3.1.2 Berekening van somparameters

Op basis van de concentraties van de individuele PFAS-verbindingen worden een aantal somparameters berekend, met name:

- Σ PFAS : de som van de concentraties van alle 56 PFAS-verbindingen die opgenomen zijn in de scope van de analyse (noot: dit aantal is vastgelegd in de analysescope, het is niet uitgesloten dat andere PFAS-verbindingen kunnen voorkomen en dat de reële Σ PFAS concentratie in werkelijkheid hoger is). Het aantal verbindingen in de scope kan ook variëren, wat een vergelijking van deze parameter tussen studies kan bemoeilijken. In deze studie werd dezelfde scope gehanteerd, en is de Σ PFAS concentratie tussen de verschillende meetcampagnes wel vergelijkbaar betreffende de meegenomen PFAS verbindingen (uitzondering hier zijn de PFAS T-PFHxSA en BPAF die niet opgenomen waren in de scope ten tijde van de analyses van de meetcampagnes aan de kust en nabij de stortplaats).
- EFSA-PFAS : de som van de concentraties van de zgn. EFSA-PFAS. De vier PFAS waarop de beoordeling van de EFSA⁴ zich richtte, zijn perfluorooctaan zuur (PFOA), perfluorooctaansulfonaat (PFOS), perfluornonaan zuur (PFNA) en perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS). Voor de EFSA-PFAS is een tijdelijk toetsingskader beschikbaar voor omgevingslucht (zie 3.1.4).

Voor de berekening van de somparameters moet op een bepaalde manier omgegaan worden met <LOQ analyseresultaten. In deze studie werd het *lowerbound principle* toegepast, waarbij analyseresultaten beneden de LOQ gelijk gesteld worden aan 0 ng/m³. Aangezien de LOQ zeer laag is, is deze berekeningsmethode te verantwoorden en zal het resultaat niet significant afwijken van bv. de *upperbound* berekeningsmethode waarbij voor analyseresultaten <LOQ de LOQ waarde in rekening wordt gebracht.

De somparameters worden berekend voor zowel filter als PUF indien beide fracties afzonderlijk geanalyseerd werden.

⁴ <https://www.efsa.europa.eu/en/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>

3.1.3 Sommatie van filter- en PUF fracties

Om de totale concentratie in omgevingslucht te berekenen, worden de filter en PUF fracties bij elkaar opgeteld⁵. Bij de sommatie worden analyseresultaten <LOQ niet in rekening gebracht (i.e. gelijkgesteld aan 0 ng/m³). In de evaluatie van de resultaten worden voornamelijk de totaalconcentraties (som van filter en PUF fracties, m.a.w. som van deeltjesvormig en gasvormig) behandeld.

3.1.4 Tijdelijk toetsingskader voor de PFAS-concentratie in omgevingslucht

Er is op dit moment geen wettelijk kader, noch een gezondheidkundig toetsingskader voor evaluatie van PFAS-metingen in lucht voorhanden in Vlaanderen, België of Europa.

Voor een 20-tal andere chemische stoffen in lucht werden de voorbije jaren gezondheidkundige advieswaarden opgesteld en toegepast in bijvoorbeeld milieueffectrapportage (zie 'Gezondheidkundige advieswaarden 'GAW' voor gebruik in MER beschikbaar op [Aandachtsgebieden en humane biomonitoring - Zorg en Gezondheid \(zorg-en-gezondheid.be\)](https://www.vlaanderen.be/nl/gezondheid-en-gezondheid-be)). Deze GAWs werden door VITO opgesteld in opdracht van het Departement Zorg. De VMM (dienst luchtkwaliteit) was betrokken in de stuurgroep van het project waarin deze GAWs werden afgeleid.

Als onderdeel van het opstellen van deze GAWs voor chemische stoffen in lucht, werd een diepte-analyse uitgevoerd waarbij de beschikbare toxicologische informatie grondig bestudeerd werd, en op basis van een expert-oordeel, gekomen werd tot een goed onderbouwde keuze van een gezondheidkundige advieswaarde. Het is aan te bevelen om op korte termijn GAWs voor PFAS te selecteren volgens deze methode, en dit in overleg met de betrokken overheden (Departement Omgeving, Departement Zorg en VMM).

Gezien er momenteel nog geen GAWs voor PFAS afgeleid zijn, werd een tijdelijk toetsingskader voorgesteld. Dit tijdelijk toetsingskader is gebaseerd op de EFSA TWI (2020) voor orale blootstelling (4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week). VITO heeft op 8 oktober 2021 advies gegeven over het tijdelijk toetsingskader dat door Lantis werd voorgesteld op 14 september 2021. Rekening houdend met het advies van VITO, komt men tot volgend tijdelijk toetsingskader :

- **Een waarde tussen 0,4 en 2,2 ng/m³** voor de som van de 4 EFSA-PFAS-verbindingen (PFNA+PFOA+PFHxS+PFOS) (jaargemiddelde concentratie; chronische blootstelling). Deze waarden kunnen dus als **tijdelijk toetsingskader voor de bewoonde zones gebruikt worden.**

Onderbouwing tijdelijk toetsingskader:

- De gezondheidkundige grenswaarde voor chronische orale blootstelling van EFSA (TWI van 4,4 ng (PFNA+PFOA+PFHxS+PFOS per kg lichaamsgewicht per week) werd als vertrekbasis gebruikt (EFSA, 2020)⁶.
- Deze toetsingswaarde voor chronische orale blootstelling werd herrekend naar een inhalatie-equivalent op basis van omrekeningen m.b.t. lichaamsgewicht en inhalatievolume. De omrekeningsfactoren uit de REACH guidance⁷ (nl. inhalatievolume van 20 m³/dag) en een lichaamsgewicht van 70 kg wordt hiervoor toegepast.

⁵ Soms worden beide fracties samen geanalyseerd waardoor er geen afzonderlijk filter- en PUF resultaat bekomen wordt maar wel één geïntegreerd resultaat (filter + PUF). In dat geval vervalt deze sommatiestap.

⁶ <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6223>

⁷ https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r8_en.pdf/e153243a-03f0-44c5-8808-88af66223258

- Men dient ermee rekening te houden dat de volledige 'ruimte' om de GAW EFSA te bereiken niet volledig kan toegekend worden aan lucht, vermits mensen ook via voeding blootgesteld worden aan PFAS. In een vervolgtraject dient een gepaste waarde voor de allocatiefactor bekeken te worden.
 - Voorlopig kunnen we uitgaan van een allocatiefactor ergens tussen 20% en 100% (bv. in context van drinkwater wordt doorgaans een allocatiefactor van 20% gehanteerd)
- Indien men deze omrekeningsfactoren hanteert (volwassenen: 20 m³/dag en 70 kg), en een allocatiefactor tussen 20 en 100 % neemt, komt men tot **een waarde van 0,4-2,2 ng/m³** voor de som van de 4 EFSA-PFAS-verbindingen (PFNA+PFOA+PFHxS+PFOS). Deze waarden kunnen dus als tijdelijk toetsingskader voor de bewoonde zones gebruikt worden.
 - Deze waarde dient gehanteerd te worden om chronische blootstelling aan PFAS (m.a.w. jaargemiddelde PFAS-concentraties) te evalueren. De impact van dag-tot-dag variaties op de PFAS-concentraties i.f.v. de gezondheid is momenteel zeer moeilijk te interpreteren, en wellicht ondergeschikt aan de toetsing van de chronische blootstelling.

Er wordt op gewezen dat dit enkel als **tijdelijk toetsingskader** dient gebruikt te worden, in afwachting van een volwaardige gezondheidkundige advieswaarde voor PFAS in omgevingslucht, volgens de methodiek opgesteld door Departement Zorg en VITO. Hierbij dient zeker gekeken te worden naar studies die expliciet gaan over inhalatoire routes. Indien er onvoldoende inhalatiestudies voor PFAS beschikbaar zijn, kan een GAW voor orale blootstelling als vertrekbasis gebruikt worden, maar moet de argumentatie voor deze route-naar-route extrapolatie wetenschappelijk onderbouwd worden.

Het tijdelijke toetsingskader wordt begrensd door een ondergrens van 0,44 ng/m³ en een bovengrens van 2,2 ng/m³. Er wordt niet met één vaste waarde gewerkt om rekening te kunnen houden met verschillen in allocatiefactor. De meest strenge toetsingswaarde is de ondergrenswaarde.

3.2 DEPOSITIES

3.2.1 Berekening van de depositie

De analyseresultaten van de stof- en waterfracties wordt gesommeerd om de totale depositie per bemonstering (drie kruiken) te berekenen (ng/depositiemonster). Vervolgens wordt er gedeeld door de bemonsteringsoppervlakte (i.e. de som van de oppervlakte van de bemonsteringskruiken in m²) en de bemonsteringsperiode (in dagen) om de depositie per m² per dag te bepalen (in ng/m²/dag of ng m⁻² dag⁻¹).

3.2.2 Berekening van somparameters

Op basis van de deposities van de individuele PFAS-verbindingen worden een aantal somparameters berekend, met name $\sum$ PFAS (inclusief indicatief gemeten PFAS, de lijst van PFAS is vastgelegd in de analysescope, het is niet uitgesloten dat andere PFAS-verbindingen kunnen voorkomen en dat de reële $\sum$ PFAS concentratie in werkelijkheid hoger is) en de EFSA-PFAS.

3.3 RAPPORTERING VAN DE CONCENTRATIES EN DEPOSITIES PER MEETCAMPAGNE

De evaluatie van de meetresultaten is opgebouwd volgens een vast stramien:

- **Gemiddelde concentraties en deposities van de Σ PFAS en EFSA-PFAS** over de looptijd van de meetcampagne. Vergelijking van de gemiddelde concentraties tussen verschillende meetlocaties van eenzelfde meetcampagne.
- **Verloop van de Σ PFAS en EFSA-PFAS concentraties in de tijd** over de looptijd van de meetcampagne. De tijdsresolutie waarop deze evaluatie kan gemaakt worden hangt af van de tijdsresolutie van bemonstering en analyse, meestal tweewekelijks voor omgevingslucht (resultaat is tweewekelijks gemiddelde concentratie) en vierwekelijks voor deposities.
- **Beoordeling van de PFAS samenstelling** door het aandeel van verschillende PFAS-verbindingen op de Σ PFAS concentratie te berekenen. Indicatief gemeten PFAS worden meegenomen in de analyse. De resultaten worden beoordeeld op twee manieren:
 - **Per PFAS klasse**, incl. PFCA (geperfluoreerde carbozuren), PFSA (geperfluoreerde sulfonuren), FTS (fluortelomeer sulfonaten), FASA (perfluoralkaansulfonamides), FASAA (perfluoralkaansulfonamideacetaten), (di)PAP (polyfluoroalkylfosfaatesters), en een rest groep.
 - **Aandeel van de vier EFSA-PAS in de totale EFSA-PFAS concentratie.**
 - **PFAS ketenlengte:** aandeel ultrakorte, korte en lange ketens van de PFCA en PFSA (Figuur 4). De opdeling wordt gebaseerd op Vander Aa et al., 2021 en de referenties daarin. Noot: van de ultrakorte ketens worden enkel de C3 verbindingen gemeten (PFPrA en PFPrS), niet de C2 verbindingen. Bovendien is de PFPrA meting indicatief. Er is een nieuwe methode in ontwikkeling specifiek voor ultrakorte ketens, maar die werd in deze studie nog niet toegepast.
 - **Lineaire en vertakte PFOS isomeren.** Voor de somparameters worden zowel de som van de lineaire (L) als de totale som (T = lineair + vertakte) PFAS gerapporteerd.

	Ultra korte keten PFAS		Korte keten PFAS				Lange keten PFAS			
PFCA	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	>C10
PFSA	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	>C10

Figuur 4: Opdeling PFCAs en PFSA's in ultrakorte, korte en lange ketens.

4 OVERZICHT MEETCAMPAGNES

4.1 OVERZICHT VAN DE MEETLOCATIES

Er werden meetcampagnes uitgevoerd op verschillende type locaties verspreid over Vlaanderen, waaronder:

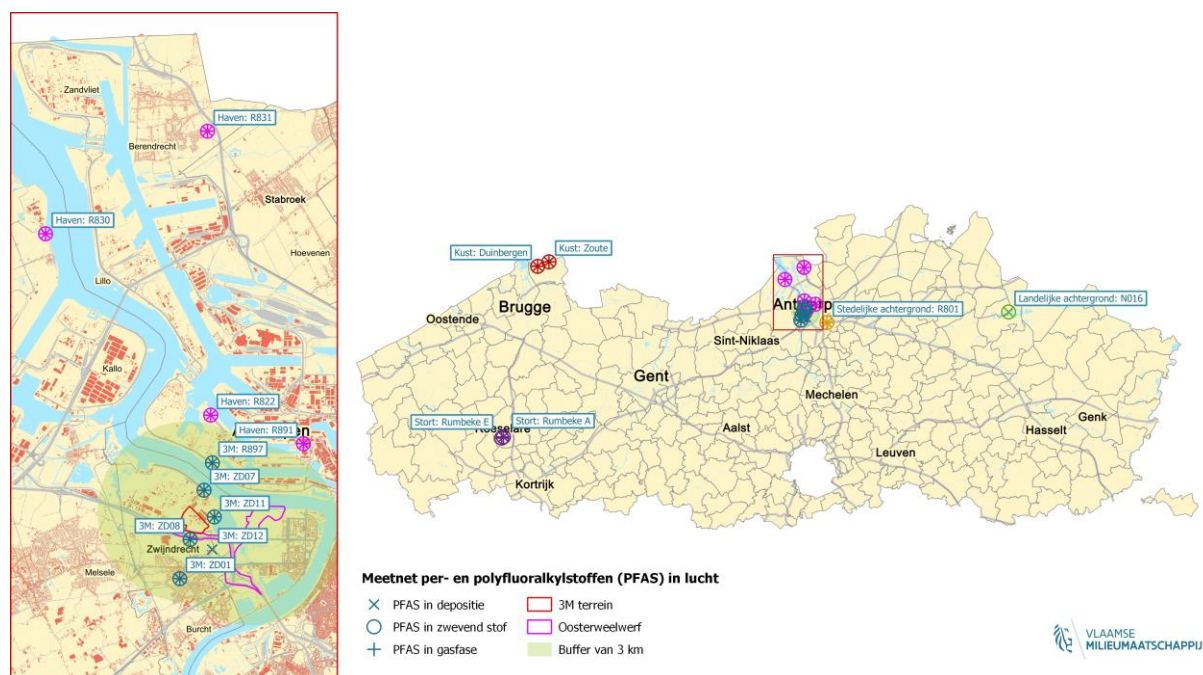
- Landelijke achtergrond
- Stedelijke locatie
- Kustlocaties
- Locaties in / nabij industriële activiteiten:
 - Havenlocaties
 - Locaties in de buurt van een stortplaats
 - Locaties in de buurt van 3M en Lantis werf op Antwerpen Linkeroever.

Per type locatie werden één tot vier meetstations geplaatst waar simultaan bemonsterd werden gedurende de looptijd van de campagne (Tabel 2). De monitoring op het landelijke achtergrondstation van de VMM (N016) wordt als referentie meegenomen in dit overzicht, de metingen die daar uitgevoerd worden kadert in de lange-termijn opvolging door de VMM.

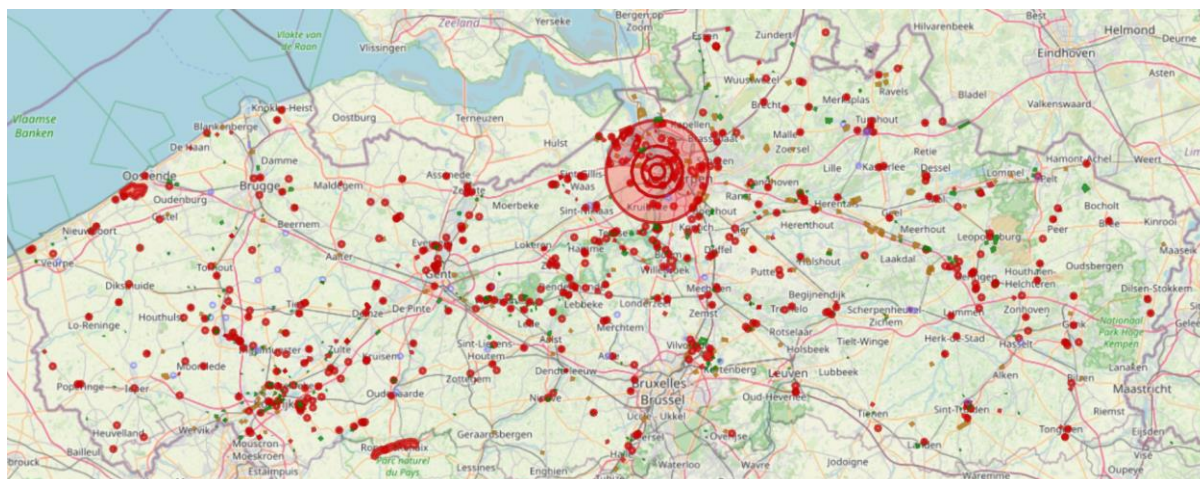
Tabel 2: Overzicht van de type locaties, aantal en namen van de meetstations.

Type locatie	Aantal locaties	Namen meetstations
Stedelijke achtergrond	1	Borgerhout, R801
Landelijke achtergrond	1	Dessel, N018
Kust	2	Zoute, Duinbergen
Haven	4	R822, R830, R831, R891
Stortplaats	2	Site A, site E
3M/Lantis	6	R897, ZD01, ZD07, ZD08, ZD11, ZD12

De plaatsen waar meetcampagnes uitgevoerd werden zijn aangeduid op kaart (Figuur 5). Een aantal meetlocaties bevinden zich in een no-regret zone (Figuur 6 en Tabel 3).



Figuur 5: Kaart van de meetlocaties in Vlaanderen waar de meetcampagnes werden uitgevoerd.



Figuur 6: Actueel beeld van alle sites in Vlaanderen die momenteel worden behandeld met betrekking van PFAS-vervuiling (september 2023). Bron: <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/maatregelen-per-gemeente#pfas-kaart-vlaanderen>

Tabel 3: Situering van de meetlocaties van deze studie t.o.v. actuele no-regret zone.

Type locatie	Meetstation(s)	Gemeente	Actuele no-regret zone (begrenzing)
Stedelijke achtergrond	R801	Antwerpen	Van 5 tot 10 km
Landelijke achtergrond	N016	Dessel	/
Kust	Zoute Duinbergen	Knokke-Zoute Duinbergen	/
Haven	R830	Antwerpen	/
	R822	Antwerpen	Van 3 tot 5 km
	R831	Antwerpen	/
	R891	Antwerpen	Van 3 tot 5 km
3M/Lantis	R897	Antwerpen	Straal van 1,5 km rond 3M
	ZD01	Zwijndrecht	
	ZD07	Zwijndrecht	
	ZD08	Zwijndrecht	
	ZD11	Zwijndrecht	
	ZD12	Zwijndrecht	
Stortplaats	A, E	Rumbeke	/

4.2 PERIODE VAN DE MEETCAMPAGNES

De meetcampagnes werden uitgevoerd tussen juli 2022 en augustus 2023 (Tabel 4). De duurtijd van een meetcampagne is typisch minimaal 3 maanden, en kan variëren tussen campagnes.

Tabel 4: Overzicht van de meetperioden van de verschillende meetcampagnes.

Type locatie	Datum start	Datum stop	Looptijd
Kust	06/07/2022	13/10/2022	99 dagen
Stedelijke achtergrond	2/09/2022	25/11/2022	84 dagen
Stortplaats	28/11/2022	23/02/2023	87 dagen
3M/Lantis	12/01/2023	7/09/2023	238 dagen
Haven	12/05/2023	24/08/2023	104 dagen

4.3 OVERZICHT VAN DE BEMONSTERING PER MEETCAMPAGNE

Er werd een bemonstering van de omgevingslucht (filter en/of PUF) en de deposities uitgevoerd op de verschillende meetlocaties (Tabel 5).

Tabel 5: Overzicht van de type bemonsteringen per meetcampagne.

Type locatie	Omgevingslucht		Deposities kruik
	filter	PUF	
Kust	☒	☒	☒
Stedelijke achtergrond	☒	☒	☒
Stortplaats	☒	☒	☒
3M/Lantis	☒	☒	☒
Haven	☒	☒	☒
Landelijke achtergrond	☒		☒

4.4 METEOROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN

De maandelijkse meteorologische omstandigheden voor de perioden juli-december 2022 en januari-augustus 2023 (Tabel 6, gegevens van het KMI Ukkel) zijn voor de meeste maanden en parameters normaal voor de tijd van het jaar (t.o.v. de referentieperiode 1991-2020), maar er zijn ook enkele extremen te noteren. Juli en augustus 2022 waren uiterst droog en warm (aug). De windsnelheid in juli 2022 was laag. Oktober 2022 was een droge en warme maand.

De neerslag in februari 2023 was de laagste waarde sinds 1991, en bij de 3 hoogste waarden in maart en juli 2023. De gemiddelde windsnelheid in februari was bij de laagste 3 waarden en bij de hoogste 5 waarden in maart 2023.

De wind kwam voornamelijk uit W in juli 2022, uit NO in augustus, en voornamelijk uit Z tot ZW in de herfst van 2022. De windrichting was voornamelijk ZW in de winter en zomer van 2023, en NO in de lente van 2023.

Tabel 6: Maandelijks klimatologische overzichten van het KMI, opgemeten te Ukkel.

2022	juli		aug		sept		okt		nov		dec									
Temperatuur (°C)	19,6		21,4		+++		14,9		14,4		++		9,1		4,2					
Neerslag (mm)	5,2		---		17,8		--		104,8		+		40,7		--		64,6		110,5	
Windsnelheid (m/s)	2,7		---		2,8				3,1		-		3,5				4,2		3,7	
Windrichting	WNW				NNO				ZZW				Z				Z		ZZW	

2023	jan	feb	maart	april	mei	juni	juli	aug			
Temperatuur (°C)	5,2	5,9	7,5	9	14	20,3	+++	18,4	18,1		
Neerslag (mm)	91,1	13,3	---	126,5	++	66,3	48,8	40,5	131,1	++	107,9
Windsnelheid (m/s)	4,6	3,2	--	4,4	+	3,5	3,3	2,9	3,4		2,8
Windrichting	ZW	ZW	ZW	NO	N	ONO	ZW	WZW			

Legende:

Temperatuur en windsnelheid: maandgemiddelde	
Neerslag: maandtotaal	
Windrichting: overheersende windrichting	
Inkleuring opgesteld voor de periode 1991-2023 volgens de definitie:	
+++ ---	Hoogste/laagste waarde sinds 1991
++ --	Bij de 3 hoogste/laagste waarden sinds 1991
+ -	Bij de 5 hoogste/laagste waarden sinds 1991
	Normaal (geen inkleuring)

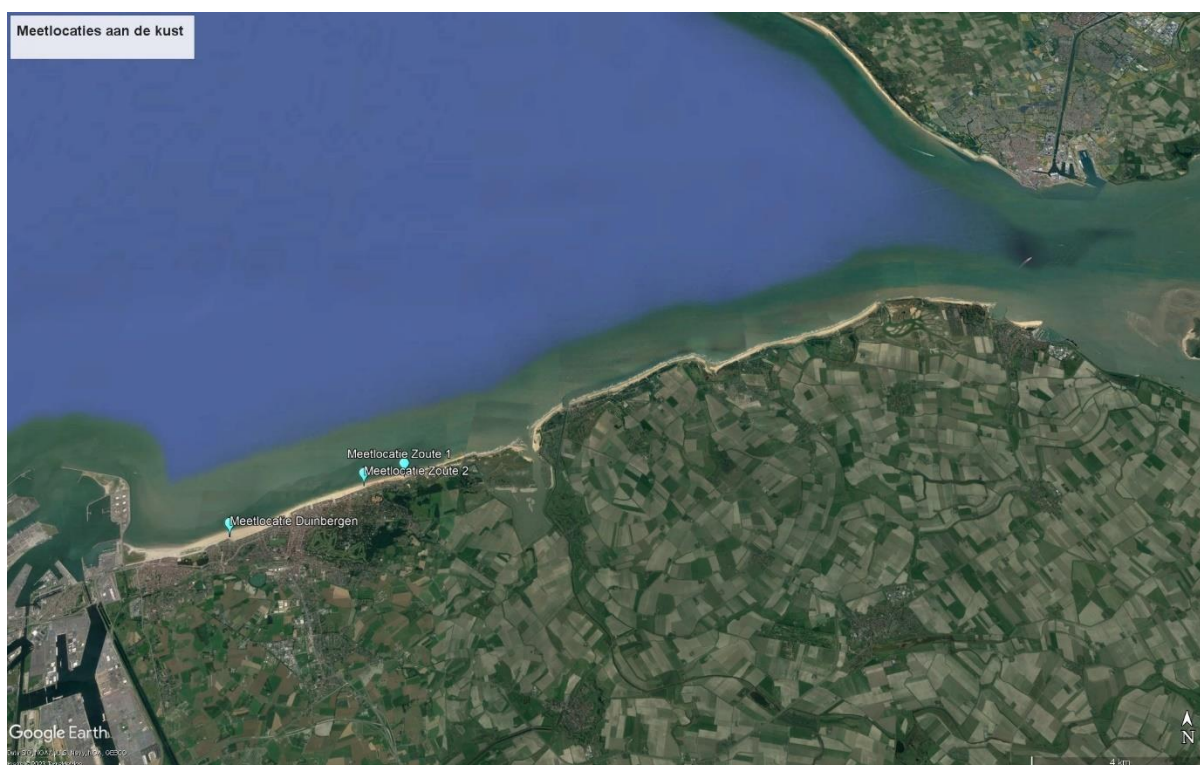
5 RESULTATEN VAN DE INDIVIDUELE MEETCAMPAGNES

5.1 MEETCAMPAGNE AAN DE KUST

5.1.1 Meetlocaties en bemonstering aan de kust

In een bemonsteringscampagne werd omgevingslucht en de depositie bemonsterd aan de kust. Er werd op twee locaties simultaan gemeten (zie Figuur 7), nl. Op Zoute 2 en Duinbergen. Voorafgaand aan de meetcampagne werd een korte screening uitgevoerd op meetlocatie Zoute één gedurende 1 maand (20/04 tot 4/05/2022) om de geschiktheid van de bemonsteringsmethode op deze specifieke locaties te beoordelen.

De bemonsteringstoestellen werden op de drie meetlocaties op het strand geplaatst. De afstand tussen Zoute 2 en Duinbergen is ongeveer 3,5 km. De meetlocaties liggen 15 tot 20 km ten WZW van de monding van de Schelde in de Noordzee, en op 5 tot 8,5 km van de havenmonding van Zeebrugge.



Figuur 7: Overzicht van de meetlocaties aan de kust.

Er werd simultaan bemonsterd op de meetlocaties Zoute 2 en Duinbergen in de periode 6/07 tot 28/09/2022 (Tabel 7). Het volume lucht dat bemonsterd werd in Duinbergen in weken 29 en 30 was te laag om weerhouden te worden (vermoedelijk herhaalde stroomonderbrekingen). De bemonstering voor week 31 werd opgestart op 7/08 i.p.v. 3/08/2022.

Tabel 7: Overzicht van de bemonstering omgevingslucht op de kustlocaties.

Meetlocatie	Startweek*	Duur (dagen)	Startdatum	Stopdatum
Zoute 2	27	13	06/07/2022	19/07/2022
	29	15	19/07/2022	03/08/2022
	31	15	03/08/2022	18/08/2022
	33	14	18/08/2022	01/09/2022
	35	12	01/09/2022	13/09/2022
	37	15	13/09/2022	28/09/2022
Duinbergen	27	13	06/07/2022	19/07/2022
	29***	15	19/07/2022	3/08/2022
	31	12	07/08/2022	18/08/2022
	33	14	18/08/2022	01/09/2022
	35	12	01/09/2022	13/09/2022
	37	waarschijnlijk 7	13/09/2022	28/09/2022 **

* de startdag ligt in deze week van het jaar.

** einddatum niet gekend (vermoedelijk 20/09/2022) door stroomonderbreking.

*** te laag bemonsteringsvolume, niet weerhouden.

De depositie werd bemonsterd op Zoute 2 en Duinbergen gedurende ongeveer 4,5 maanden (Tabel 8). De bemonsteringsduur bedroeg telkens ongeveer 4 weken, behalve de laatste bemonstering die maar gedurende 2 weken werd uitgevoerd.

Tabel 8: Overzicht van de bemonstering van deposities op de kustlocaties.

Meetlocatie	Startweek	Duur (dagen)	Startdatum	Stopdatum
Zoute 2	27	28	06/07/2022	03/08/2022
	31	29	03/08/2022	01/09/2022
	35	27	01/09/2022	28/09/2022
	39	15	28/09/2022	13/10/2022
Duinbergen	27	28	06/07/2022	03/08/2022
	31	29	03/08/2022	01/09/2022
	35	27	01/09/2022	28/09/2022
	39	15	28/09/2022	13/10/2022

De opstelling van de apparatuur op de meetlocaties is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8: Foto's van de bemonsteringsopstelling op de drie meetlocaties aan de kust.

5.1.2 Veldblanco's

Tijdens de bemonsteringen werd voor elke bemonsteringsperiode (i.e. 2 weken voor omgevingslucht, 4 weken voor deposities, met enkele uitzonderingen) een veldblanco meegenomen. Alle PFAS verbindingen op de veldblanco's waren lager dan de LOQ.

	Aantal	Σ PFAS (ng/monster)	Opmerking
Veldblanco's Zoute 2	6	0	Alle individuele PFAS < LOQ
Veldblanco's Duinbergen	6	0	Alle individuele PFAS < LOQ

5.1.3 Resultaten

5.1.3.1 PFAS concentraties in omgevingslucht

Een overzicht van de beschrijvende statistiek van de PFAS resultaten gemeten op de twee kustlocaties, is samengevat in onderstaande tabel (Tabel 24). De gemiddelde Σ PFAS en EFSA-PFAS concentraties liggen hoger (ongeveer factor 2) op meetlocatie Zoute 2 dan op meetlocatie Duinbergen. De EFSA-PFAS vertegenwoordigen 25 (Duinbergen) tot 37% (Zoute 2) van de Σ PFAS concentratie.

Tabel 9: Gemiddelde concentratie (in ng/m³) van Σ PFAS en EFSA-PFAS in zwevend stof op de twee kustlocaties.

	Zoute 2		Duinbergen	
	Σ PFAS	EFSA-PFAS	Σ PFAS	EFSA-PFAS
Gemiddelde (ng/m ³)	0,219	0,082	0,136	0,035
Minimum (ng/m ³)	0,145	0,065	0,101	0,020
Maximum (ng/m ³)	0,387	0,105	0,221	0,075
Mediaan (ng/m ³)	0,167	0,078	0,117	0,022
Aantal metingen boven LOQ (op totaal van)	6 (6)	6 (6)	5 (5)	5 (5)

5.1.3.2 Belangrijkste PFAS-componenten in omgevingslucht

Op de totale concentratie, bepaald als sommatie over alle geanalyseerde verbindingen worden een 9-tal PFAS met elk een aandeel van meer dan 1% teruggevonden. Van de kwantitatief gemeten PFAS verbindingen zijn PFBA, T-PFOA, T-PFOS, PFHxA en PFHpA de componenten die in de hoogste concentraties voorkomen. PFBA, T-PFOA en T-PFOS vertegenwoordigen samen meer dan 50% van de totale PFAS-concentratie.

5.1.3.3 PFAS in de deposities

Per meetlocatie wordt de gemiddelde depositie gerapporteerd (Tabel 10). Voor de berekening van deze statistieken werden meetwaarden beneden de rapporteergrens gelijkgesteld aan nul. De gemiddelde Σ PFAS-concentratie in de deposities is 84 ng/m²/dag in Zoute 2 en 72 ng/m²/dag in Duinbergen. Er zijn grote verschillen in deposities van maand tot maand op beide meetlocaties.

Tabel 10: Gemiddelde depositie in ng/m²/dag voor de Σ PFAS (T) en de EFSA-PFAS(T) op de 2 kust locaties.

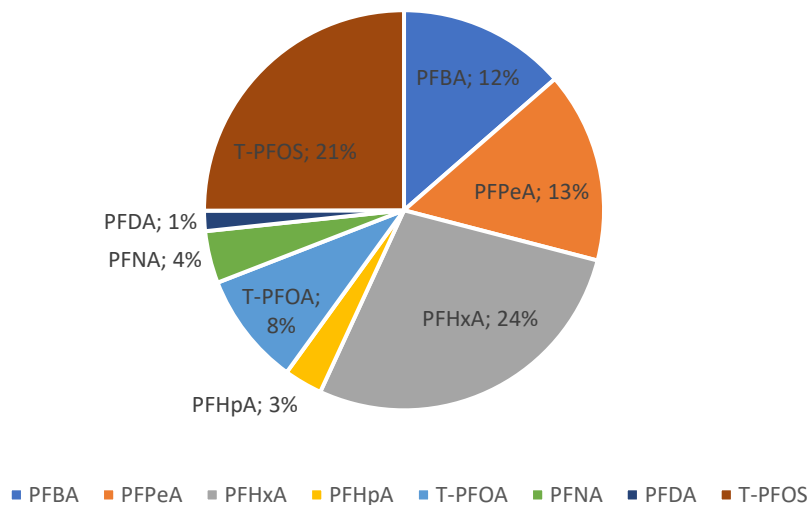
	Zoute 2		Duinbergen	
	Σ PFAS	EFSA-PFAS	Σ PFAS	EFSA-PFAS
Gemiddelde (ng/m ² /dag)	84	60	72	58
Minimum (ng/m ² /dag)	27	8	29	17
Maximum (ng/m ² /dag)	185	160	165	144
Mediaan (ng/m ² /dag)	62	37	47	35
Aantal metingen boven LOQ (op totaal van)	4 (4)	4(4)	4 (4)	4 (4)

5.1.3.4 Belangrijkste PFAS in de deposities aan de kust

Op de totale concentratie, bepaald als sommatie over alle geanalyseerde verbindingen (exclusief de indicatief bepaalde) worden 8 PFAS met elk een aandeel van meer dan 1% teruggevonden (zie Figuur 11 en 12).

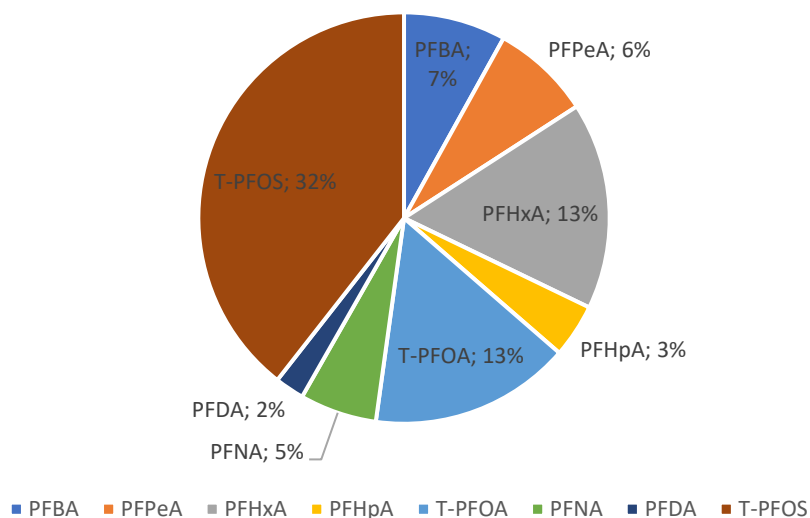
PFBA, T-PFOA, T-PFOS, PFHxA en PFPeA zijn de componenten die in de hoogste concentraties voorkomen. Deze componenten vertegenwoordigen samen ongeveer 78% (Knokke Zoute) en 72% (Duinbergen) van de totale PFAS-concentratie. PFNA en PFDA komen in lagere concentraties voor van resp. 5 en 2 %.

Belangrijkste PFAS in depositie Knokke Zoute



Figuur 9: Procentueel aandeel van de PFAS verbindingen met een aandeel hoger dan 1% in depositiestof op meetlocatie Knokke Zoute(2).

Belangrijkste PFAS in depositie Duinbergen



Figuur 10: Procentueel aandeel van de PFAS verbindingen met een aandeel hoger dan 1% in depositiestof op meetlocatie Duinbergen.

5.1.4 Bespreking van de resultaten aan de kust

Een overzicht van de gemiddelde concentraties gemeten voor Σ PFAS en EFSA-PFAS voor zwevend stof (in ng/m³) en depositie (in ng/m²/dag) op de 2 kustlocaties (Zoute en Duinbergen) en 2 achtergrondlocaties (Borgerhout en Dessel), is weergegeven in onderstaande tabel (Tabel 11). De resultaten worden vergeleken met deze gemeten op de meetlocaties Dessel en Borgerhout (VMM meetstations N016 in Dessel en R801 ter hoogte van Plantin en Moretuslei 163, Antwerpen) en worden gecatalogeerd als ruraal en stedelijk achtergrondgebied.

Tabel 11: Overzicht van de gemiddelde en maximum (tussen haakjes) concentraties voor Σ PFAS en EFSA-PFAS voor zwevend stof (in ng/m³) en depositie (in ng/m²/dag) op de 2 kustlocaties (Zoute en Duinbergen) en 2 achtergrond locaties (Borgerhout en Dessel).

	sum of Total Perfluoroalkyl substances (PFASs)	sum of total (T) EFSA PFAS
Zwevend stof (Σ PFAS ng/m ³)		
Zoute 2	0,219** (0,387)***	0,082 (0,105)
Duinbergen	0,136 (0,221)	0,035 (0,075)
Borgerhout*	0,045 (0,065)	0,018 (0,034)
Dessel****	0,009 (0,057)	0,002 (0,025)
EFSA norm	NB	0,4
Kruiken (Σ PFAS ng/m ² /dag)		
Zoute 2	80 (185)	61 (160)
Duinbergen	68 (165)	56 (144)
Borgerhout	27 (45)	2 (5)
Dessel	18 (44)	2 (30)

*: geen volledige overlap van de bemonsteringsperiode.

** gemiddelde waarde van de verschillende bemonsteringsperiodes

*** maximum waarde van de verschillende bemonsteringsperiodes

****in Dessel werden enkel filters bemonsterd en geanalyseerd

5.1.4.1 Omgevingslucht

De gemiddelde concentratie van de som van de gemeten PFAS (Σ PFAS) in het zwevend stof was voor beide locaties Knokke Zoute (0,219 ng/m³) en Duinbergen (0,136 ng/m³) een factor 3 tot 5 verhoogd t.o.v. de stedelijke achtergrondlocatie Borgerhout (0,045 ng/m³) en een factor 15 tot 24 verhoogd t.o.v. de Vlaamse landelijke achtergrondlocatie Dessel (0,009 ng/m³). De gemiddelde concentratie Σ PFAS bedroeg in Knokke Zoute (0,219 ng/m³) en was hoger dan de gemiddelde concentratie gemeten in Duinbergen (0,136 ng/m³). Tijdens de meetperiode varieerden de concentraties Σ PFAS voor Zoute van 0,145 (minimum) tot 0,387 ng/m³ (maximum) en voor Duinbergen van 0,101 (minimum) tot 0,221 ng/m³ (maximum). Op beide meetlocaties ligt het maximum ongeveer een factor 2 hoger dan het minimum.

Ook de gemiddelde EFSA-PFAS concentraties op de beide kustlocaties waren verhoogd t.o.v. van de locaties Borgerhout en Dessel en bedroegen resp. 0,082 ng/m³ (Knokke Zoute) en 0,035 ng/m³ (Duinbergen) t.o.v. respectievelijk 0,018 en 0,002 ng/m³ voor stedelijke en landelijke achtergrond. Tijdens de meetperiode varieerden de EFSA-PFAS concentraties voor Zoute van 0,065 (minimum) tot 0,105 ng/m³ (maximum) en voor Duinbergen van 0,020 (minimum) tot 0,075 ng/m³ (maximum).

Specifiek voor de EFSA-componenten kan gesteld worden dat de gemiddelde concentraties in Knokke Zoute minimaal een factor 5 en in Duinbergen resp. een factor 12, onder de ondergrens van het tijdelijke toetsingskader van 0,44 ng/m³ liggen. Er werd een verhoging vastgesteld t.o.v. de stedelijke en landelijke achtergrondconcentraties, welke als significant verhoogd wordt beoordeeld.

De gemiddelde “fingerprint” van de meest voorkomende PFAS componenten in zwevend stof is sterk gelijkend voor de beide meetlocaties Zoute en Duinbergen, waarbij PFBA, T-PFOA, T-PFOS, PFHxA en PFHpA de meest voorkomende componenten zijn.

5.1.4.2 Depositie

De gemiddelde concentratie van de som van de gemeten PFAS (Σ PFAS) in de depositie was voor beide locaties Knokke Zoute (80 ng/m²/dag) en Duinbergen (68 ng/m²/dag) een factor 2 tot 3 maal verhoogd t.o.v. de stedelijke achtergrondlocatie Borgerhout (27 ng/m²/dag) en een factor 4 tot 5 maal verhoogd t.o.v. de Vlaamse landelijke achtergrondlocatie Dessel (18 ng/m²/dag). De gemiddelde concentratie Σ PFAS in depositie was hoger in Knokke Zoute ten opzichte van Duinbergen. Tijdens de meetperiode werden grote variaties vastgesteld in de concentraties Σ PFAS, nl. voor Zoute van 28 (minimum) tot 185 ng/m²/dag (maximum) en voor Duinbergen van 21 (minimum) tot 165 ng/m²/dag (maximum). Op beide meetlocaties ligt het maximum ongeveer een factor 7 hoger dan het minimum.

Ook de gemiddelde EFSA-PFAS concentraties in de deposities op de beide kustlocaties waren verhoogd t.o.v. van de locaties Borgerhout en Dessel en bedroegen resp. 68 ng/m²/dag (Knokke Zoute) en 56 ng/m²/dag (Duinbergen) t.o.v. respectievelijk 2 ng/m²/dag en 2 ng/m²/dag voor stedelijke en landelijke achtergrond. Tijdens de meetperiode varieerden de EFSA-PFAS concentraties voor Zoute van 21 (minimum) tot 165 ng/m²/dag (maximum) en voor Duinbergen van 11 (minimum) tot 144 ng/m²/dag (maximum).

De gemiddelde “fingerprint” van de meest voorkomende PFAS componenten in depositie stof is sterk gelijkend voor de beide meetlocaties Zoute en Duinbergen, waarbij PFBA, T-PFOA, T-PFOS, PFHxA en PFPeA de meest voorkomende componenten zijn.

5.2 MEETCAMPAGNE OP STEDELIJKE ACHTERGROND

5.2.1 Overzicht van de meetlocatie en de bemonstering

De bemonstering werd uitgevoerd op het meetstation voor luchtkwaliteit van de VMM in Borgerhout (R801/R802). Het station R802 is een verkeersstation dat zich naast het voetpad van de Plantijn en Moretuslei bevindt, R801 is een stedelijk achtergrondstation dat verder van de weg gelegen is. De bemonsteringen voor PFAS werden uitgevoerd op een meetpunt dat zich tussen beide meetstations bevindt.

De bemonstering (omgevingslucht en depositie) werd opgestart op 2/09/2022 en liep tot 25/11/2022 gedurende ongeveer drie maanden (zie Tabel 12).

Tabel 12: Overzicht van de bemonsteringsperioden op stedelijke achtergrond.

Start	Stop	Omgevingslucht	Depositie
02/09/2022	19/09/2022	+	+
19/09/2022	30/09/2022	+	+
30/09/2022	14/10/2022	+	+
14/10/2022	27/10/2022	+	+
27/10/2022	10/11/2022	+	+
10/11/2022	25/11/2022	+	+

5.2.2 PFAS-concentratie in de omgevingslucht op stedelijke achtergrond

De gemiddelde Σ PFAS(T)-concentratie op de stedelijke achtergrondlocatie is 0,123 ng/m³ (Tabel 13). De gemiddelde EFSA-PFAS(T) concentratie is 0,018 ng/m³. De L-isomeren komen het meest voor (Σ PFAS (L) = 0,117 ng/m³, EFSA-PFAS (L) = 0,016 ng/m³).

De variatie in de tijd is relatief beperkt. Voor de Σ PFAS zijn de metingen gedurende de eerste maand wel aanzienlijk hoger dan in de andere twee maanden, omwille van hogere PFPrA-concentraties in die periode (indicatieve meting). De EFSA-PFAS concentratie varieert van 0,010 tot 0,034 ng/m³.

Tabel 13: De Σ PFAS en EFSA-PFAS concentraties (ng/m³) op de stedelijke achtergrondlocatie.

Site R801	Periode	Σ PFAS (T)	EFSA PFAS (T)
W1+2	02/09 - 19/09/2022	0,273	0,021
W3+4	19/09 - 30/09/2022	0,277	0,010
W5+6	30/09 - 14/10/2022	0,035	0,012
W7+8	14/10 - 27/10/2022	0,065	0,034
W9+10	27/10 - 10/11/2022	0,045	0,022
W11+12	10/11 - 25/11/2022	0,042	0,008
Gemiddelde		0,123	0,018

De PFAS verbindingen die in de hoogste concentraties gemeten worden zijn PFPrA (61% van totaal), PFBA (17%) en PFOA (12%). De PFOS-concentratie is zeer laag (2%, gemiddeld 0,002 ng/m³).

5.2.3 PFAS in de deposities op stedelijke achtergrond

De Σ PFAS-deposities variëren tussen 10 en 45 ng/m²/dag (gemiddeld 27 ng/m²/dag) (Tabel 14). Het aandeel EFSA-PFAS in de deposities is beperkt (maximaal 5 ng/m²/dag, in 2 van de 3 meetperioden geen EFSA-PFAS gemeten).

Tabel 14: Overzicht van de PFAS deposities (ng/m²/dag) op een stedelijke achtergrond locatie.

Periode	Σ PFAS (L)	Σ PFAS (T)	EFSA PFAS (L)	EFSA PFAS (T)
2/09 - 30/09/2022	10	10	0	0
30/09 - 27/10/2022	43	45	3	5
27/10 - 25/11/2022	27	27	0	0
Gemiddelde	27	27	1	2

De meest voorkomende PFAS in de depositie zijn PFPrA (50%), PFBA (24%) (alle PFCAs samen 82%) en MePFBSAA (11%, indicatieve meting, één verhoogde meting in maand 1, 8 ng/m²/dag). Gemiddeld 6% van de totale depositie zijn de EFSA-PFAS (PFOA, PFOS en in mindere mate PFNA in maand 2).

5.3 MEETCAMPAGNE IN DE BUURT VAN EEN STORTPLAATS

5.3.1 Overzicht van de meetlocaties en de bemonstering

De monitoring vond plaats op een operationele stortplaats voor categorie 1 (gevaarlijk) en categorie 2 (niet-gevaarlijk) afval. Geen van beide is geschikt voor recycling of andere verwerkingsmethoden.

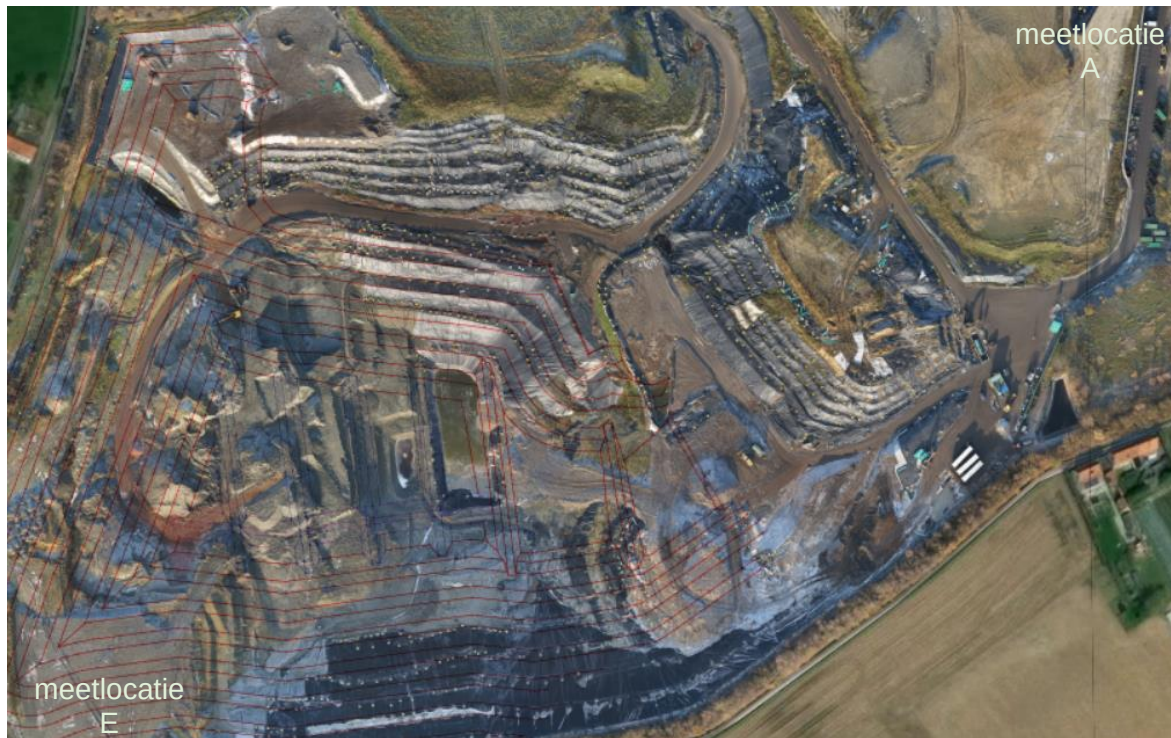
Categorie 1 omvat:

- Vliegias
- Permanent verontreinigde grond
- Asbesthoudend afval
- Niet-brokkelig afval
- Ontwaterd slib

Categorie 2 omvat:

- Niet-brandbaar organisch afval
- Permanent verontreinigde grond
- Recycling van residuen

Er werd bemonsterd op twee meetlocaties (A en E). Beide zijn gelegen langs een NO-ZW-oriëntatie met de stortplaats tussen de locaties in. Aangezien de dominante windrichtingen ZW en NO zijn (tijdens de meetcampagne grotendeels ZW wind), is de kans het grootst dat de locaties zo regelmatig benedenwinds van de stortplaats liggen. De afstand van beide locaties tot het centrum van de stortplaats bedraagt ongeveer 400 meter (Figuur 11).



Figuur 11: Overzicht van de meetlocaties A en E in de buurt van een stortplaats.

De bemonsteringen werden uitgevoerd tussen 28/11/2022 en 23/02/2023 gedurende drie maanden (Tabel 15). Er werd geen depositiemeting uitgevoerd op Site E.

Tabel 15: Start- en stopdatum van de bemonstering in de buurt van de stortplaats.

		Site A	Site E
Omgevingslucht	Start datum	28/11/2022	28/11/2022
	Stop datum	23/02/2023	23/02/2023
Depositie	Start datum	28/11/2022	/
	Stop datum	23/02/2023	/

De actieve bemonstering van de omgevingslucht werd uitgevoerd in periodes van twee weken, de deposities werden per vier weken bemonsterd (Tabel 16). Eén actief bemonsterd luchtstaal is niet beschikbaar.

Tabel 16: Overzicht van de beschikbare monsters van de meetlocaties in de buurt van de stortplaats.

	Start	Stop	Omgevingslucht		Depositie	
			Site A	Site E	Site A	Site E
W1+2	28/11/2022	12/12/2022	+	+	+	-
W3+4	12/12/2022	22/12/2022	+	+	+	-
W5+6	22/12/2022	09/01/2023	+	+	+	-
W7+8	09/01/2023	26/01/2023	-	-	+	-
W9+10	26/01/2023	09/02/2023	+	-	+	-
W11+12	09/02/2023	23/02/2023	+	+	+	-

5.3.2 PFAS-concentratie in de omgevingslucht van een stortplaats

5.3.2.1 Veldblanco's

Elke twee weken werden afzonderlijke filter- en PUF-veldblanco's voorzien en geanalyseerd, dus in totaal zes filter- en zes PUF-veldblanco's.

Alle filter veldblanco's lagen voor alle geanalyseerde PFAS-verbindingen onder de LOQ, behalve één blanco filter (vanaf week 9+10) waar een zeer lage hoeveelheid van twee PFAS-verbindingen (PFPeA en PFHpA) werd gemeten. Deze meetwaarden waren zeer laag, respectievelijk 0,44 en 0,25 ng/monster, wat zou overeenkomen met waarden van minder dan <0,0003 ng/m³.

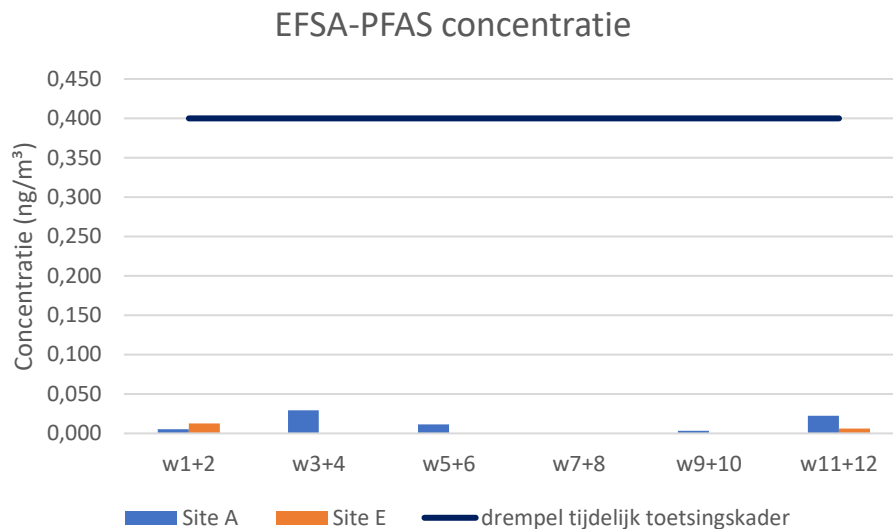
De meeste PFAS verbindingen (41) lagen op de PUF veldblanco's onder de LOQ. Voor 9 PFAS werd een concentratie boven de LOQ gemeten in één van de zes veldblanco's en bij 8 PFAS bij twee van de zes veldblanco's. Blanco meetwaarden van de PUFs waren over het algemeen een orde van grootte hoger dan blanco meetwaarden van de filters. Niettemin werden de veldblanco's van de PUF's als niet significant beschouwd (grootteorde 0,001 ng/m³).

5.3.2.2 Concentratie van de somparameters

De gemiddelde Σ PFAS-concentratie bedraagt 0,108 ng/m³ op locatie A en 0,072 ng/m³ op locatie E (zie tabel 17). De gemiddelde EFSA-PFAS-concentratie bedraagt respectievelijk 0,014 ng/m³ en 0,005 ng/m³ op locatie A en E. Deze concentraties zijn 28 tot 80 keer lager dan de grenswaarden van het tijdelijke beoordelingskader voor EFSA-PFAS (Figuur 12).

Tabel 17: De Σ PFAS en EFSA-PFAS concentraties (ng/m³) in de buurt van een stortplaats.

Site A	Σ PFAS (T)	EFSA PFAS (T)
W1+2	0,080	0,005
W3+4	0,120	0,029
W5+6	0,038	0,011
W7+8	NB	NB
W9+10	0,081	0,003
W11+12	0,220	0,023
<i>Gemiddelde</i>	<i>0,108</i>	<i>0,014</i>
Site E	Σ PFAS (T)	EFSA PFAS (T)
W1+2	0,073	0,013
W3+4	0,012	0,000
W5+6	0,029	0,000
W7+8	NB	NB
W9+10	NB	NB
W11+12	0,173	0,006
<i>Gemiddelde</i>	<i>0,072</i>	<i>0,005</i>



Figuur 12: EFSA-PFAS concentraties in de buurt van de stortplaats. De concentraties liggen ver beneden de toetsingswaarde.

5.3.3 Belangrijkste PFAS-verbindingen op de stortplaats

Omdat de gemeten concentraties zeer laag zijn, is het niet informatief om een screening uit te voeren op de belangrijkste PFAS-verbindingen gemiddeld over de gehele monitoringperiode. In plaats daarvan werd de meting met de hoogste Σ PFAS-concentratie geselecteerd om de PFAS met de belangrijkste bijdrage te identificeren (Tabel 18).

De C3-verbinding PFPrA werd in de hoogste concentratie gemeten (Tabel 18). Merk op dat deze verbinding indicatief wordt gemeten, dus de meetonzekerheid is hoog. Bovendien werd het overeenkomstige blanco monster (PUF) ook verhoogd (0,080 ng/m³), dus waarschijnlijk is de concentratie PFPrA overschat. PFBA (C4) en PFOA (C8) werden gemeten in concentraties van 0,017 en 0,023 ng/m³. PFBA werd vooral aangetroffen in het PUF-monster, PFOA vooral op het filtermonster. Andere PFAS-verbindingen zijn niet gemeten (<LOQ) of in zeer lage concentraties gemeten.

Tabel 18: Overzicht van de PFAS-verbindingen die in de hoogste concentraties gemeten werden in de buurt van de stortplaats.

PFAS	Concentratie (ng/m³)	Percentage van totaal	Opmerking
Σ PFAS, waarvan...	0.220		
PFPrA	0.177	80%	indicatief
PFBA	0.017	8%	
PFOA	0.023	10%	
Andere PFAS	0.003	2%	

5.3.4 PFAS depositie

5.3.4.1 Bepalingsgrens

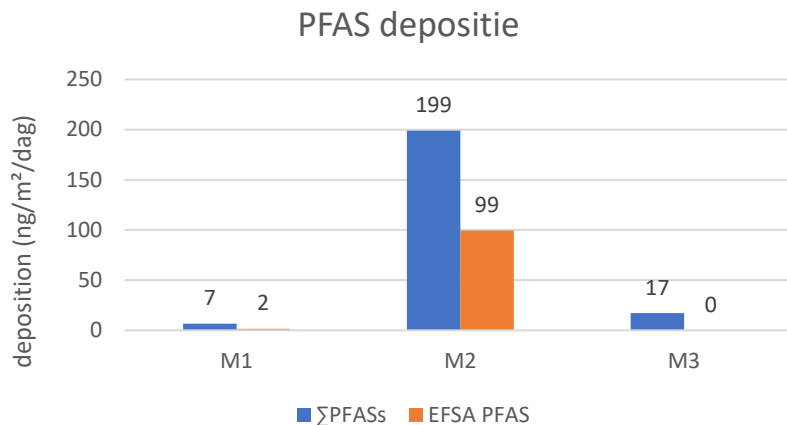
De gemiddelde bepalingsgrens (LOQ) over alle perioden en PFAS-verbindingen was <1,1 ng/m²/dag. Voor de meeste doel-PFAS (47) was de gemiddelde bepalingsgrens over de monitoringperiode <1 ng/m²/dag, voor 6 PFAS lag de bepalingsgrens tussen 1 en 5 ng/m²/dag, en voor 3 PFAS (PFBS, PFOS en MePFBSA) hoger dan 5 ng/m²/dag.

5.3.4.2 Veldblanco's

Alle veldblanco's lagen onder de bepalingsgrens (<LOQ) voor alle geanalyseerde PFAS, behalve voor PFBSA en MePFBSA die werd gemeten in één van de veldblanco's in een concentratie van 1 en 2 ng/m²/dag.

5.3.4.3 Depositie van PFAS in de buurt van een stortplaats

De gemiddelde depositie van Σ PFAS was 74 ng/m²/dag, en van de EFSA PFAS 34 ng/m²/dag. Er kan opgemerkt worden dat de concentraties Σ PFAS in de deposities relatief verhoogd zijn in verhouding tot de concentraties in omgevingslucht in vergelijking tot de andere type locaties. Er is een grote variatie in de tijd (Figuur 13), met een verhoogde depositie in maand 2 van de monitoringcampagne.



Figuur 13: De PFAS depositie in de buurt van de stortplaats varieert van maand tot maand.

5.3.4.4 Meest voorkomende PFAS in de depositie in de buurt van een stortplaats

De meest voorkomende PFAS in de deposities in de buurt van een stortplaats zijn PFCAs (95%) (zie Tabel 19). Vooral C5-C11 PFCAs kwamen relatief veel voor, waaronder PFOA en PFNA. Deze twee stoffen zijn EFSA PFAS (de andere twee EFSA PFAS waren <LOQ). De EFSA-PFAS zijn goed voor 46% van de totale PFAS-depositie. Deze analyse is gebaseerd op de gemiddelde concentraties over de drie maanden van monitoring en is grotendeels beïnvloed door de resultaten van maand 2. In maand 1 en 3 waren enkele van de PFCA's de meest voorkomende PFAS-verbindingen, maar de concentraties waren veel lager vergeleken met maand 2.

Tabel 19: Overzicht van de meest voorkomende PFAS in de deposities in de buurt van de stortplaats.

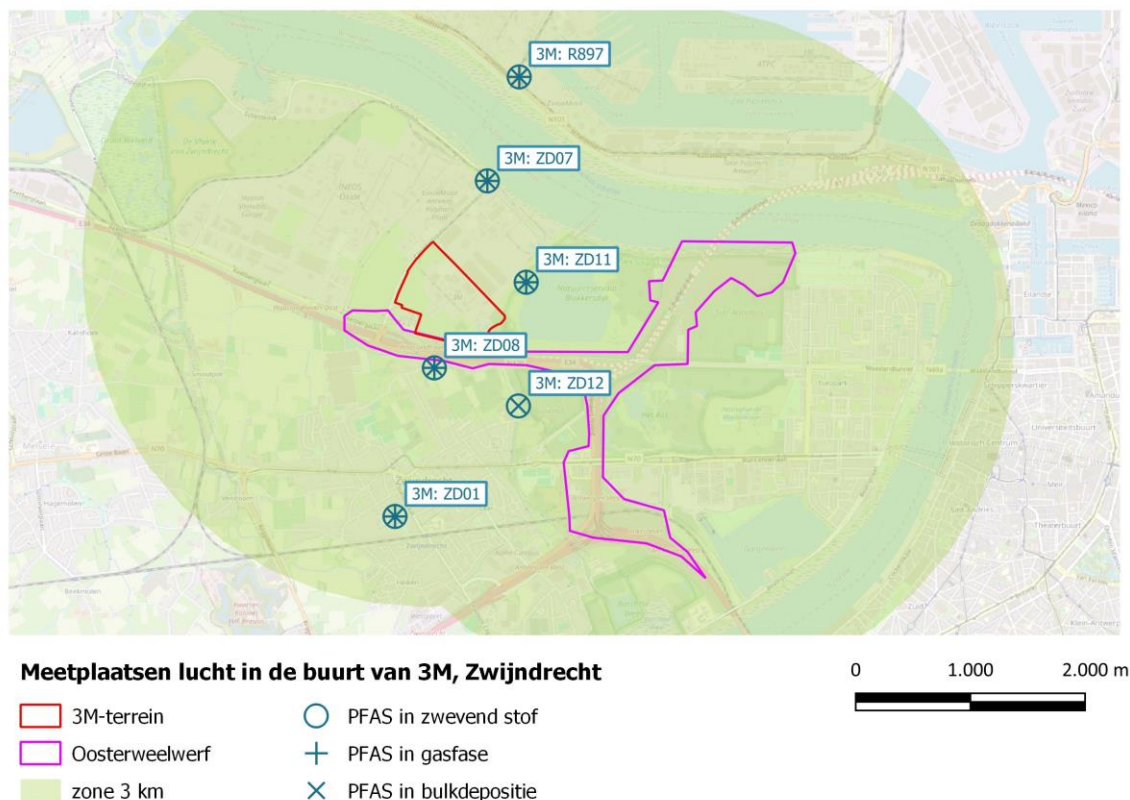
PFAS groep	Depositie (ng/m ² /dag)	Percentage
PFCA	70	95%
PFSA	0	0%
PFCSA	1	1%
PFCSAA	0	0%
FTS	0	0%
PAP	0	0%
Andere PFAS	2	3%
Σ PFAS	74	100%
EFSA PFAS	34	46%

5.4 MEETCAMPAGNE IN DE BUURT VAN 3M

5.4.1 Meetlocaties

De bemonsteringen in omgevingslucht werden uitgevoerd op vijf meetstations van de VMM in de buurt van de 3M site. De meetstations zijn: R897, ZD07, ZD01, ZD08 en ZD11 (Figuur 14).

Voor de deposities werd bemonsterd op de meetstations R897, ZD07, ZD11, ZD12. Een aantal van deze meetlocaties wordt al sinds juli 2021 gemonitord door de VMM⁸.



Figuur 14: Meetlocaties in de buurt van 3M en de Oosterweelwerf op Linkeroever.

5.4.2 Overzicht van de bemonsteringen in de buurt van 3M

In deze rapportering worden de resultaten weergegeven van de bemonsteringen voor de periode van 12/01/2023 tot 24/08/2023, behalve voor ZD07 en ZD11 waar de bemonsteringen op 9/02/2023 van start zijn gegaan. Op meetlocaties ZD01, ZD08 en R987 zijn meetresultaten van 2022 en de tweede helft van 2021 ook beschikbaar, waarvoor verwezen wordt naar de VMM website (<https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/zwijndrecht/pfas-in-de-lucht-metingen-in-zwijndrecht-en-omgeving>).

De omgevingslucht werd in periodes van 14 dagen bemonsterd, de deposities per 28 dagen.

5.4.3 PFAS concentraties in de omgevingslucht rondom 3M

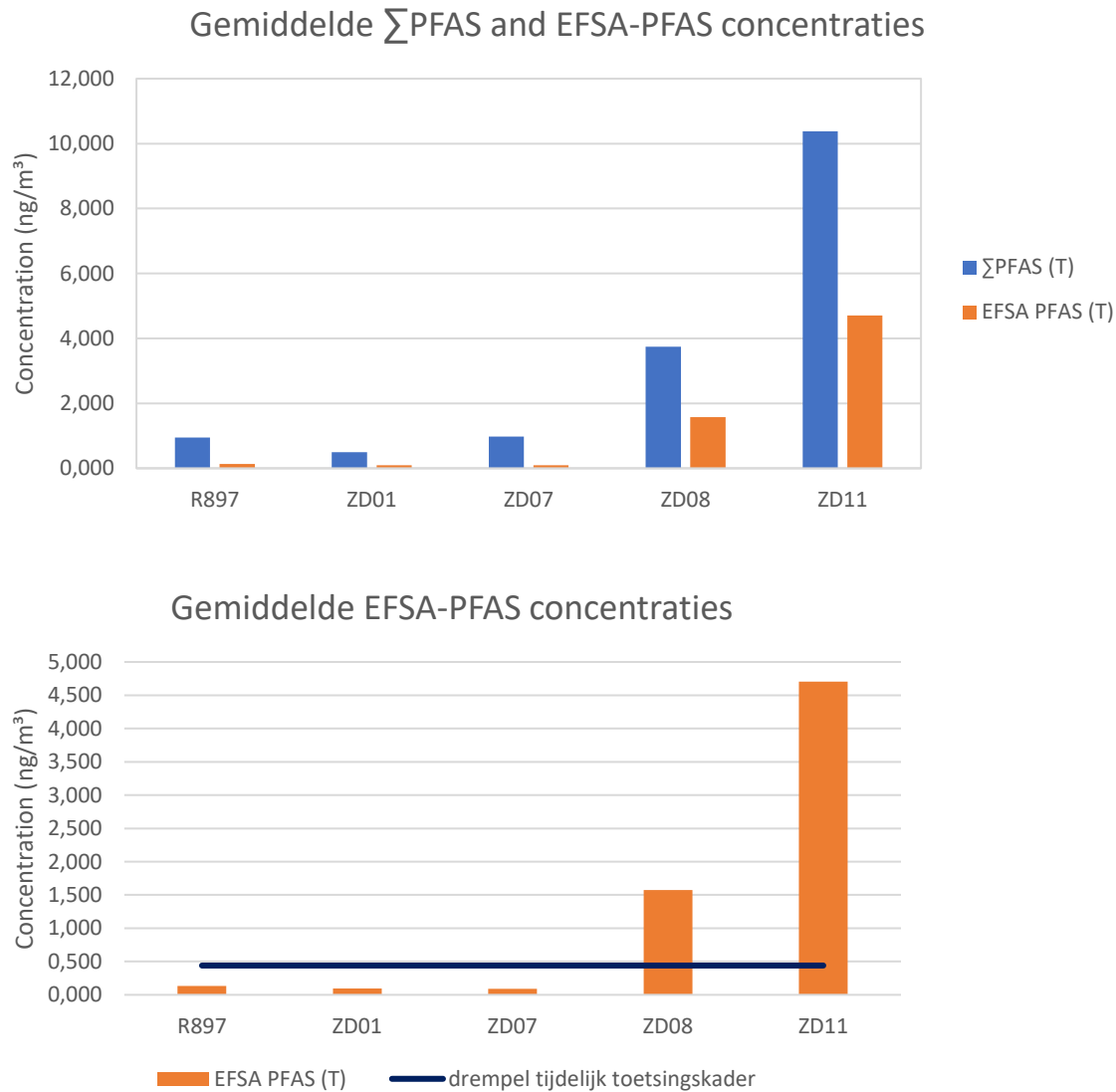
Een overzicht van de gemiddelde PFAS concentraties is weergegeven in Tabel 20 en Figuur 15. De gemiddelde Σ PFAS(T)-concentratie varieert tussen 0,49 en 10,376 ng/m³ afhankelijk van de meetlocatie. De gemiddelde EFSA-PFAS(T) concentratie varieert tussen 0,090 en 4,703 ng/m³. De gemiddelde EFSA-PFAS concentratie is op twee locaties ZD08 en ZD11 hoger dan de grenswaarde van het tijdelijke beoordelingskader voor EFSA-PFAS (0,44 ng/m³).

⁸ <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/zwijndrecht/pfas-in-de-lucht-metingen-in-zwijndrecht-en-omgeving>

Tabel 20: Gemiddelde concentratie (ng/m³) van de Σ PFAS en EFSA-PFAS in de omgeving van 3M over de periode 12/01/23 tot 24/08/23.

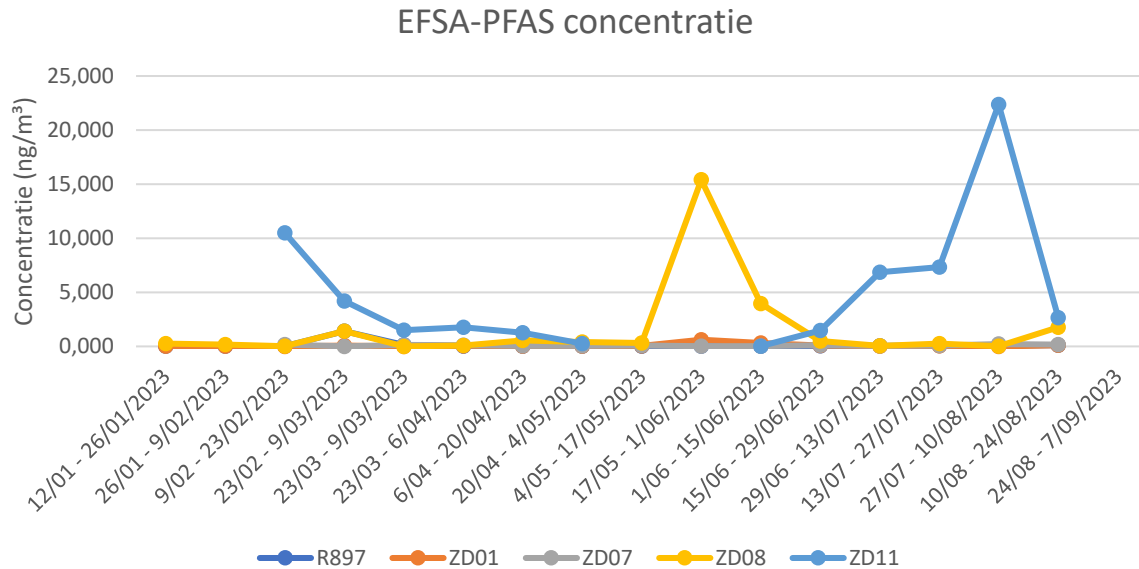
Meetlocatie	Σ PFAS (L)	Σ PFAS (T)	EFSA PFAS (L)	EFSA PFAS (T)
R897	0,878	0,945	0,082	0,133
ZD01	0,459	0,495	0,063	0,094
ZD07	0,932	0,979	0,064	0,090
ZD08	2,862	3,740	0,797	1,574
ZD11	7,510	10,376	2,268	4,703

* waarde in **groen** als onder de toetsingswaarde voor EFSA-PFAS, in het **rood** als hoger dan de toetsingswaarde.



Figuur 15: Gemiddelde Σ PFAS en EFSA-PFAS concentratie op meetlocaties in de omgeving van 3M gedurende de meetperiode (boven). De EFSA-PFAS concentraties liggen op twee meetlocaties boven de toetsingswaarde van 0,44 ng/m³ (onder).

Het concentratieverloop van de EFSA-PFAS voor de periode van 12/01/2023 tot 24/08/2023, kan sterk variëren in de tijd, voornamelijk op ZD08 en ZD11 (Figuur 16). Op meetlocatie ZD08 werd een piekconcentratie van 15,4 ng/m³ gemeten tussen 17/05 en 15/06/2023. Op ZD11 was er een piekconcentratie van resp. 10,5 (9/02/23) en 22,4 ng/m³ (10/08/23). De verhoogde concentraties (tot 15 en 22 ng/m³ op ZD08 en ZD11) liggen significant boven de toetsingswaarde (0,44 ng/m³).



Figuur 16: Concentratieverloop in de tijd van de EFSA-PFAS op de meetlocaties R897, ZD01, ZD07, ZD08 en ZD11 in de buurt van 3M.

Een overzicht van de meest voorkomende PFAS verbindingen, ingedeeld in klassen, is weergegeven in Tabel 21. De belangrijkste PFAS-verbindingen die voorkomen zijn in de PFCAs, nl. 61% op R897 en 70% op ZD07. Op de locaties ZD08 en ZD11 komen voornamelijk de PFASs voor (vertegenwoordigen 39% van de Σ PFAS concentratie). Op deze locaties zijn eveneens FOSAs sterk vertegenwoordigd (33-35%). Andere PFAS komen niet of in zeer lage concentraties voor in de omgevingslucht.

Tabel 21: Procentueel aandeel van verschillende PFAS klassen op het totaal.

Station	Σ PFAS (T) (ng/m ³)	EFSA-PFAS (T) (ng/m ³)	PFCAs (%)	PFASs (%)	FTS (%)	FASA (%)	FASAA (%)	(di)PAP (%)	andere (%)
R897	0,945	0,133	61%	13%	1%	21%	1%	0%	3%
ZD01	0,495	0,094	40%	18%	0%	39%	1%	0%	2%
ZD07	0,979	0,090	70%	9%	0%	16%	3%	0%	2%
ZD08	3,740	1,574	20%	39%	0%	35%	2%	0%	1%
ZD11	9,775	4,428	18%	39%	0%	33%	4%	0%	1%

Van de PFCAs zijn het voornamelijk de ultrakorte (PFPrA) die gemeten worden (Tabel 22). Op ZD08 en ZD11 was de bijdrage van PFASs hoger dan op de andere drie meetlocaties en ook hoger dan de PFCA bijdrage op die locaties. Van de PFASs werden voornamelijk de lange ketens werden gemeten, met name PFOS.

Tabel 22: Percentueel aandeel van ultrakorte, korte en lange keten PFCAs en PFASs.

Station	Σ PFAS (T) (ng/m ³)	EFSA-PFAS (T) (ng/m ³)	PFCAs				PFASs			
			$\geq$ C3	C2*-C3	C4-C7	$\geq$ C8	$\geq$ C3	C2*-C3	C4-C5	$\geq$ C6
			PFCAs	Ultra kort	kort	lang	PFASs	Ultra kort	kort	lang
R897	0,945	0,133	61%	57%	3%	1%	13%	0%	0%	13%
ZD01	0,495	0,094	40%	32%	5%	2%	18%	0%	1%	16%
ZD07	0,979	0,090	70%	64%	4%	2%	9%	0%	1%	7%
ZD08	3,740	1,574	20%	16%	2%	2%	39%	0%	0%	39%
ZD11	9,775	4,428	18%	15%	1%	2%	39%	0%	0%	39%

* C2 PFAS zijn niet opgenomen in de target lijst voor analyse.

Een overzicht van de gemiddelde concentraties van de belangrijkste PFAS-verbindingen, zijn in Tabel 23 weergegeven. Merk op dat PFPrA een indicatieve meting is.

Tabel 23: Gemiddelde concentraties van de belangrijkste PFAS-verbindingen op de meetlocaties rondom 3M.

Station	Σ PFAS (T) (ng/m ³)	PFPrA*	T-PFOS	MePFBSA
R897	0,945	0,537	0,113	0,163
ZD01	0,495	0,158	0,077	0,169
ZD07	0,979	0,630	0,069	0,102
ZD08	3,740	0,602	1,424	0,855
ZD11	9,775	1,460	3,676	2,201

*indicatief

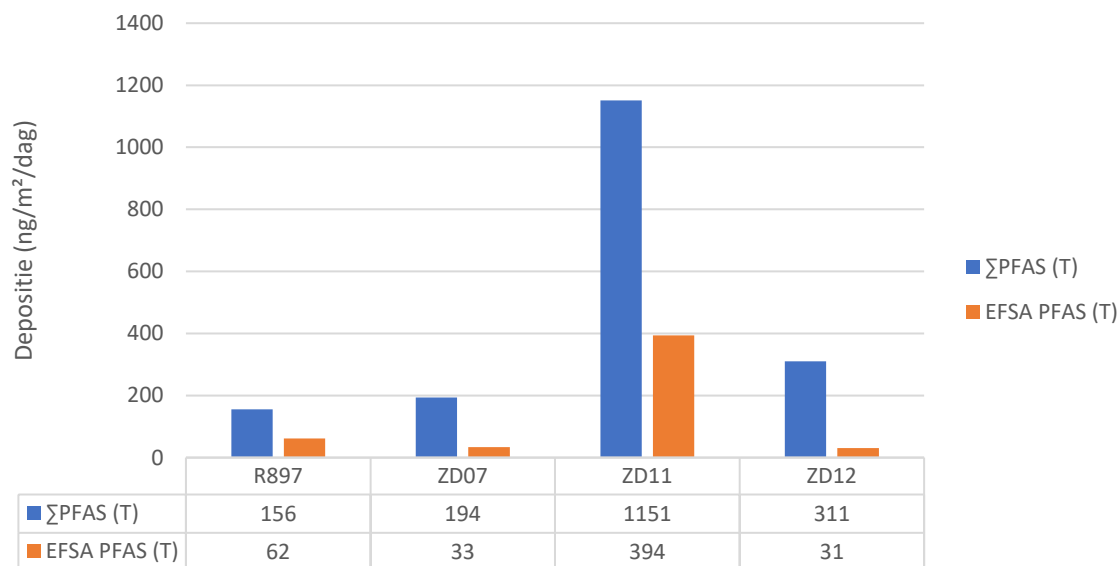
Op ZD08 en ZD11 waar de hoogste PFAS-concentraties gemeten worden, stellen we vast dat PFOS zich grotendeels (90%) in het zwevend stof bevindt. PFPrA zit voornamelijk in de PUF fractie (gemiddeld 11% en 7%). MePFBSA is ongeveer gelijk verdeeld tussen filter en PUF (gemiddeld 57% en 44%).

5.4.4 PFAS deposities rondom 3M

Een overzicht van de gemiddelde depositie concentraties, gemeten in de omgeving van 3M, voor de periode van 12/01/2023 tot 24/08/2023, zijn weergegeven in Tabel 24 en Figuur 17.

Tabel 24: Maandgemiddelde deposities gemeten rondom 3M gedurende de periode 12/01/23 tot 24/08/23.

Site	Σ PFAS (L)	Σ PFAS (T)	EFSA PFAS (L)	EFSA PFAS (T)
R897	134	156	42	62
ZD07	183	194	24	33
ZD11	1003	1151	251	394
ZD12	299	311	20	31



Figuur 17: PFAS depositie op meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis.

De belangrijkste PFAS zijn de PFCAs op alle vier locaties (zie Tabel 25). Het aandeel PFASs is 9-14% op ZD12 en ZD07, en 32 en 37% op respectievelijk ZD11 en R897. PFAS van andere klassen zijn minder aanwezig.

Tabel 25: Overzicht van de belangrijkste PFAS-classes in de deposities op meetlocaties in de buurt van 3M.

Station	Σ PFAS (T) (ng/m ² /dag)	EFSA-PFAS (T) (ng/m ² /dag)	PFCAs	PFSA's	FTS	FASA	FASAA	(di)PAP	andere
R897	156	62	56%	37%	0%	8%	3%	0%	3%
ZD07	194	33	84%	14%	0%	6%	4%	0%	3%
ZD11	1151	394	70%	32%	0%	3%	2%	0%	2%
ZD12	311	31	87%	10%	0%	1%	2%	0%	0%

In de depositie van EFSA-PFAS is PFOS de belangrijkste, gevolgd door PFOA (Tabel 26).

Tabel 26: Aandeel van de verschillende EFSA-PFAS in de deposities.

Station	EFSA-PFAS (T) (ng/m ² /dag)	PFOA	PFNA	PFHxS	PFOS
R897	62,0	5,9	0,2	1,1	35,9
ZD07	33,4	6,3	0,2	0,4	17,6
ZD11	393,8	28,9	0,7	5,3	218,7
ZD12	31,0	4,8	0,0	0,4	17,1

5.5 HAVEN VAN ANTWERPEN

5.5.1 Meetlocaties

De bemonsteringen werden uitgevoerd op vier meetstations in de Haven van Antwerpen die door de VMM uitgebaat worden, nl. de meetstations R822, R830, R831 en R891 (Figuur 18).



Meetnet per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) in lucht

- ✕ PFAS in depositie
- PFAS in zwevend stof
- ✚ PFAS in gasfase
- 3M terrein
- Oosterweelwerf

Figuur 18: Overzicht van de meetlocaties in de haven van Antwerpen.

5.5.2 Overzicht van de bemonsteringen in havengebied Antwerpen

Er werden simultaan actieve bemonsteringen van de omgevingslucht uitgevoerd en depositiemetingen. De start- en stopdata van de bemonsteringen op de vier locaties zijn weergegeven in Tabel 27. De bemonsteringsduur bedroeg 104 dagen. Actieve bemonsteringen werden telkens uitgevoerd gedurende perioden van 14 dagen, behalve voor de eerste monsters direct na de installatie, toen de bemonsteringsduur korter was (1 dag op R822 en vijf dagen op de andere locaties). Stofdeposities werden telkens bemonsterd gedurende perioden van 4 weken (28 dagen).

Tabel 27: Start en stop datums van de bemonstering op de havenlocaties.

Meetstation	Omgevingslucht		Depositie	
	Start datum	Stop datum	Start datum	Stop datum
R822, R830, R831, R891	12/05/2023(a)	17/05/2023(a)		
R822, R830, R831, R891	17/05/2023	01/06/2023		
R822, R830, R831(b), R891	01/06/2023	15/06/2023	01/06/2023	29/06/2023
R822, R830, R831(b), R891	15/06/2023	29/06/2023		
R822, R830(c), R831(c), R891	29/06/2023	13/07/2023	29/06/2023	27/07/2023
R822, R830, R831, R891	13/07/2023	27/07/2023		
R822, R830, R831, R891	27/07/2023	10/08/2023	27/07/2023	24/08/2023
R822, R830, R831, R891	10/08/2023	24/08/2023		

(a) Kortere meetperiode van 5 dagen ipv 2 weken

(b) Stroompanne, geen resultaat

(c) bemonstering op vanaf 4/07 i.p.v. 29/06

5.5.3 Meteorologische omstandigheden

Voor een overzicht van de heersende meteorologische omstandigheden, wordt verwezen naar §4.4. De meetperiode in de Antwerpse haven werd gekenmerkt door een droge periode (midden mei tot midden juni) en een natte periode van eind juni tot begin augustus. De windrichting was vrij gelijkmatig verdeeld over NO en ZW (33 en 31%), gevolgd door NW (26%) en ZO (11%) (Tabel 28).

Tabel 28: Meteorologische omstandigheden tijdens de meetcampagne in de haven.

	Meteo parameter
gemiddelde temperatuur (°C)	18,3
totale neerslaghoeveelheid (mm)	333,8
gemiddelde windsnelheid (m/s)	3,6
windrichting - aandeel NO (%)	33
windrichting - aandeel ZO (%)	11
windrichting - aandeel ZW (%)	31
windrichting - aandeel NW (%)	26

5.5.4 PFAS concentraties in de omgevingslucht in havengebied Antwerpen

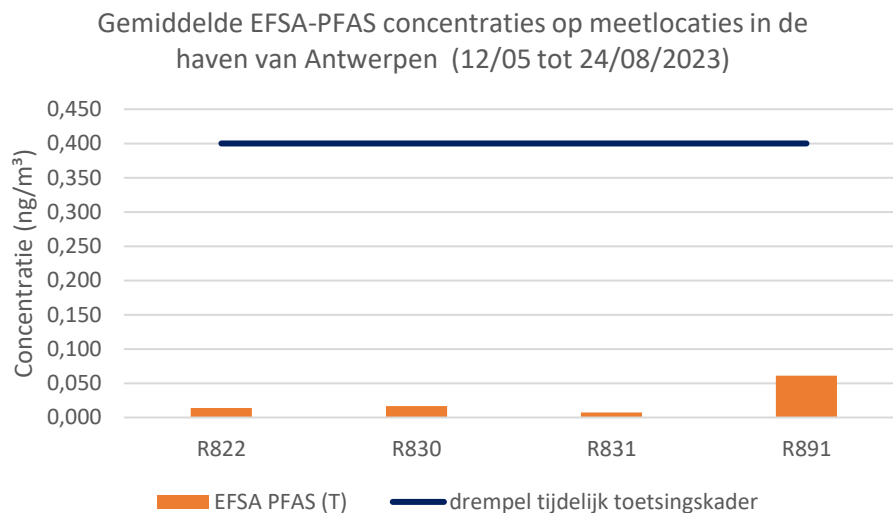
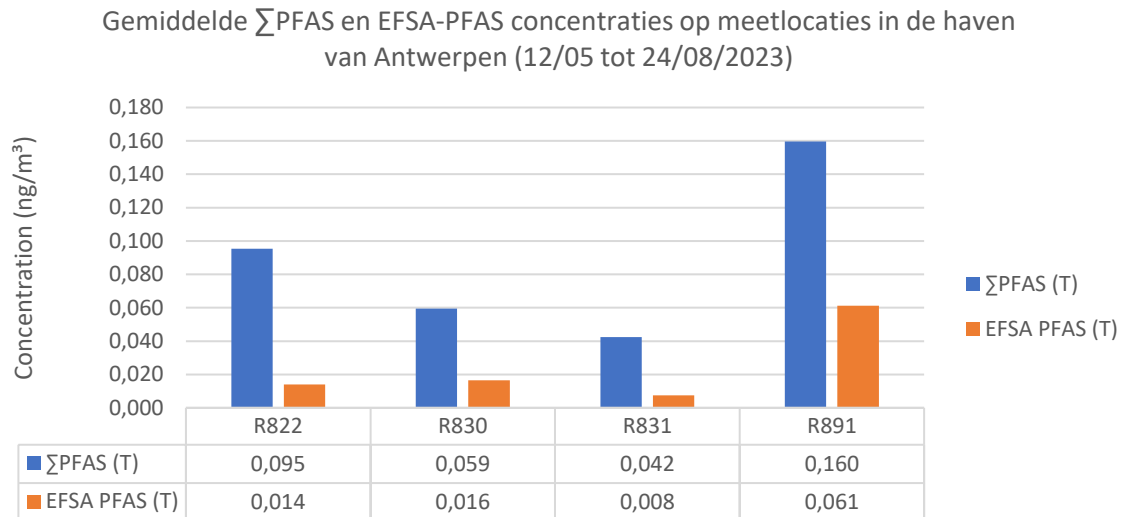
Een overzicht van de gemiddelde PFAS concentraties is weergegeven in Tabel 29 en Figuur 19. De gemiddelde Σ PFAS(T)-concentratie varieert tussen 0,057 en 0,160 ng/m³, afhankelijk van de meetlocatie (Tabel 29, Figuur 19). De gemiddelde EFSA-PFAS (T) concentratie is tussen 0,006 en 0,061 ng/m³. De gemiddelde EFSA-PFAS(T) concentratie is op alle locaties lager dan de grenswaarde van het tijdelijke beoordelingskader voor EFSA-PFAS (0,44 ng/m³).

Tabel 29: Gemiddelde concentratie (ng/m³) van de Σ PFAS en EFSA-PFAS over heel de monitoringscampagne.

Meetlocatie	Σ PFAS (L)	Σ PFAS (T)	EFSA PFAS (L)	EFSA PFAS (T)
R822	0,091	0,095	0,010	0,014
R830	0,055	0,059	0,013	0,016
R831**	0,040	0,042	0,006	0,008
R891	0,136	0,160	0,041	0,061

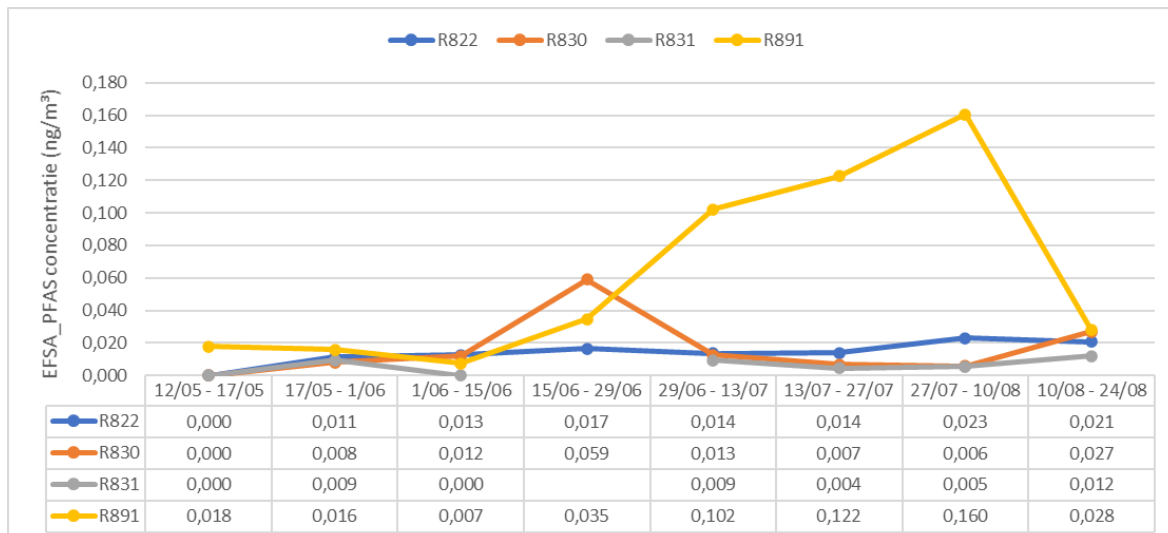
* waarde in groen als onder de toetsingswaarde voor EFSA-PFAS, in het rood als hoger dan de toetsingswaarde.

** kortere periode: zie Tabel 27.



Figuur 19: Gemiddelde Σ PFAS(T) en EFSA-PFAS(T) concentratie op meetlocaties in de haven gedurende de meetperiode (boven). De EFSA-PFAS concentraties liggen op elke meetlocatie onder de toetsingswaarde van 0,4 ng/m³ (onder).

Het concentratieverloop van de EFSA-PFAS(T) in de tijd is vrij constant voor drie van de vier meetlocaties (Figuur 20). Op meetlocatie R891 wordt een verhoogde concentratie vastgesteld in de periode 29/06 tot 10/08/2023 ten opzichte van de concentraties voordien en nadien. De verhoogde concentraties (0,102 tot 0,160 ng/m³) liggen steeds onder de toetsingswaarde (0,44 ng/m³).



Figuur 20: Concentratieverloop in de tijd van de EFSA-PFAS(T) op vier meetlocaties in de haven van Antwerpen.

De belangrijkste PFAS-verbindingen die gemeten worden op de 4 locaties zijn van de klasse PFCAs (+80% op R822, R830 en R831, en 52% op R891) (Tabel 30). De PFASs vertegenwoordigen 12 tot 15% van de Σ PFAS concentratie op R822, R830 en R831, en 35% op R891. Andere PFAS komen niet of in zeer lage concentraties voor in de omgevingslucht.

Tabel 30: Percentueel aandeel van verschillende PFAS klassen op het totaal.

Station	Σ PFAS (T) (ng/m ³)	EFSA-PFAS (T) (ng/m ³)	PFCAs (%)	PFASs (%)	FTS (%)	FASA (%)	FASAA (%)	(di)PAP (%)	andere (%)
R822	0,095	0,014	80%	14%	2%	0%	1%	0%	2%
R830	0,059	0,016	83%	15%	1%	1%	0%	0%	1%
R831	0,057	0,006	86%	12%	0%	1%	0%	2%	1%
R891	0,160	0,061	52%	35%	1%	7%	3%	0%	1%

Van de PFCAs zijn het voornamelijk de ultrakorte (PFPrA) en korte ketens (vnl. PFBA) die gemeten worden (Tabel 31). Op R891 was de bijdrage van PFASs hoger dan op de andere drie meetlocaties, waar voornamelijk de lange ketens werden gemeten, met name PFOS.

Tabel 31: Percentueel aandeel van ultrakorte, korte en lange keten PFCAs en PFASs.

Station	Σ PFAS (T) (ng/m ³)	EFSA- (T) (ng/m ³)	PFCAs				PFASs			
			$\geq$ C3	C2*-C3	C4-C7	$\geq$ C8	$\geq$ C3	C2*-C3	C4-C5	$\geq$ C6
			PFCAs	Ultra kort	kort	lang	PFASs	Ultra kort	kort	lang
R822	0,095	0,014	80%	38%	37%	5%	14%	4%	0%	10%
R830	0,059	0,016	83%	14%	51%	19%	15%	4%	1%	10%
R831	0,057	0,006	86%	37%	41%	8%	12%	7%	1%	5%
R891	0,160	0,061	52%	20%	26%	6%	35%	3%	1%	32%

* C2 PFAS zijn niet opgenomen in de target lijst voor analyse.

De gemiddelde concentraties van de belangrijkste PFAS-verbindingen zijn in Tabel 32 weergegeven. Merk op dat PFPrA een indicatieve meting is.

Tabel 32: Gemiddelde concentraties (ng/m³) van de belangrijkste PFAS-verbindingen op de meetlocaties in de haven.

Station	ΣPFAS (T)	PFPrA*	PFBA	T-PFOA	T-PFOS
R822	0,095	0,036	0,028	0,004	0,009
R830	0,059	0,008	0,026	0,011	0,006
R831	0,057	0,021	0,019	0,003	0,003
R891	0,160	0,032	0,036	0,010	0,049

*indicatief

Op R891, waar de hoogste ΣPFAS concentraties gemeten worden, stellen we vast dat PFOS zich grotendeels in het zwevend stof bevindt (filterfractie bemonstering) en PFBA in de vluchtige fractie (PUF bemonstering). Voor PFPrA en PFOA is deze opdeling minder eenduidig.

Er wordt een significant verschil in PFAS samenstelling waargenomen tussen meetstations R822, R830 en R831 enerzijds, en R891 anderzijds. Op R891 worden hogere concentraties PFOS gemeten. Dit zou kunnen verklaard worden door een bijdrage uit de historische verontreiniging in de regio 3M, die met ZW wind in juli en augustus (zie Tabel 28) een bijdrage levert aan de PFAS concentratie op R891 (en niet op de andere drie meetlocaties).

5.5.5 Depositie van PFAS in havengebied Antwerpen

Nota: In de deposities werd op meetlocatie R831 in de periode 29/06 – 27/07/2023 een depositie van PFBA gemeten (1858 ng/m²/dag) die twee grootteordes hoger lag dan de PFBA depositie die gemiddeld gemeten werd op deze locatie (12 ng/m²/dag). De concentraties in de omgevingslucht werd in die periode bemeaten van 4/07 tot 13/07 en van 13/07 tot 27/07. De gemeten concentraties in de omgevingslucht (respectievelijk 0,025 en 0,021) zijn beperkt hoger dan de gemiddelde PFBA concentratie die op R831 gemeten werd (0,019 ng/m³). De relatie tussen deposities en concentraties in de omgevingslucht is niet noodzakelijk positief. In de rapportering worden resultaten gegeven met en zonder de sterk verhoogde PFBA uitschieter.

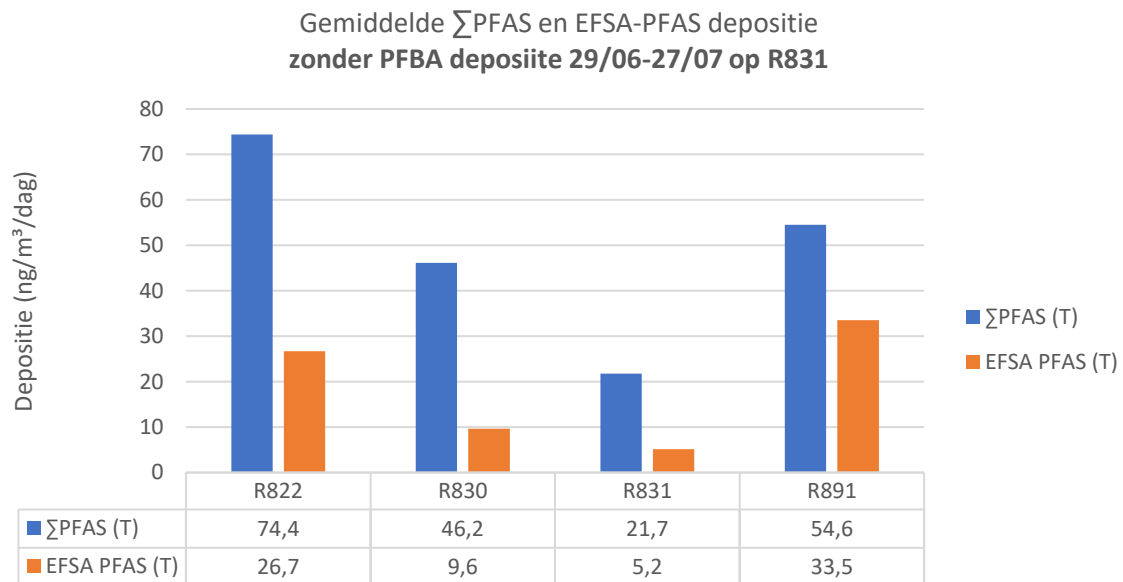
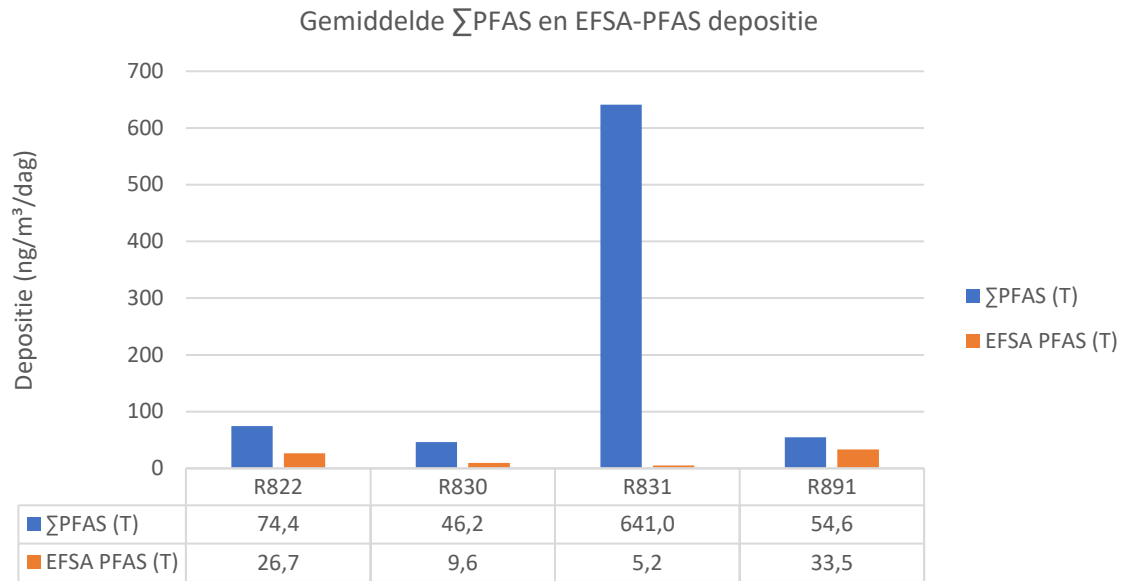
Een overzicht van de gemiddelde PFAS concentraties is weergegeven in Tabel 33 en Figuur 21. De gemiddelde ΣPFAS(T)-depositie varieert tussen 46 en 641 ng/m²/dag, afhankelijk van de meetlocatie. De extreem hoge waarde op meetlocatie R831 is grotendeels toe te wijzen aan de hoge PFBA depositie in één van de meetperiodes. Zonder deze extreme waarde is de gemiddelde ΣPFAS(T)-depositie 21,7 ng/m²/dag op R831 en komt dan de concentratie lager dan de depositieconcentraties op de andere meetlocaties.

De gemiddelde EFSA(T)-PFAS deposities variëren tussen 5,2 en 33,5 ng/m²/dag.

Tabel 33: Gemiddelde depositie (ng/m²/dag) van de ΣPFAS en EFSA-PFAS over heel de monitoringscampagne.

Meetlocatie	ΣPFAS (L)	ΣPFAS (T)	EFSA PFAS (L)	EFSA PFAS (T)
R822	65,0	74,4	17,6	26,7
R830	42,8	46,2	6,2	9,6
R831	639,3 (20,0)*	641,0 (21,7)*	3,4	5,2
R891	41,1	54,6	20,2	33,5

* gemiddelde zonder PFBA depositie van 29/06 tot 27/07 op R831.



Figuur 21: De gemiddelde Σ PFAS en EFSA-PFAS depositie op de meetlocaties in de haven van Antwerpen (boven). In de onderste grafiek werd de hoge PFBA depositie op R831 tussen 29/06 en 27/07 niet weerhouden.

De maandgemiddelde PFAS-deposities (Tabel 34) kunnen sterk variëren. De trends zijn niet altijd consistent over de meetlocaties. De Σ PFAS(T) deposities op R822 en R891 lopen op over de drie meetperioden, terwijl ze afnemen op R830. Op R831 is de depositie in de tweede periode zeer sterk verhoogd ten opzichte van de andere periodes. De EFSA-PFAS(T) depositie trends (verloop maandgemiddelde) volgen de Σ PFAS depositie trend op de meetlocaties R822, R830 en R831. Op R831 was de EFSA-depositie vrij constant over de drie meetperioden.

Tabel 34: Maandgemiddelde deposities op de vier meetlocaties.

Deposities (ng/m ² /dag)	R822	R830	R891	R831	R831*
ΣPFAS					
01/06 - 29/06	13	62	21	15	15
29/06 - 27/07	85	45	55	1881	23*
27/07 - 24/08	125	32	88	28	28
EFSA-PFAS					
01/06 - 29/06	11	14	11	5	5
29/06 - 27/07	21	11	32	5	5
27/07 - 24/08	48	4	58	5	5

* zonder PFBA

De verschillende PFAS-verbindingen werden gegroepeerd in 7 groepen (Tabel 35), met name de geperfluoreerde carbonzuren (PFCA), geperfluoreerde sulfonzuren (PFSA), fluortelomeren (FTS), geperfluoreerde sulfonamides (FASA), geperfluoreerde sulfonamidoacetaten (FASAA), fluortelomeerfosfaat mono/diester ((di)PAP), en een klasse met andere PFAS (o.a. ADONA). De beoordeling is gebaseerd op de gemiddelde concentraties over de gehele monitoringperiode per locatie.

Tabel 35: Procentuele bijdrage van verschillende groepen van PFAS-verbindingen.

Locatie	ΣPFAS (T) (ng/m ² /dag)	PFCAs	PFSA's	FTS	FASA	FASAA	(di)PAP	andere
R822	74	56%	36%	0%	2%	6%	0%	0%
R830	46	72%	22%	0%	1%	0%	0%	5%
R831	641	99% (72%)*	1% (28%)*	0%	0%	0%	0%	0%
R891	55	43%	53%	0%	1%	3%	0%	0%

* resultaat zonder PFBA depositie van 29/06 tot 27/07

De PFCAs en PFSA's zijn het meest vertegenwoordigd in de deposities. De meest voorkomende PFCAs zijn PFPrA, PFBA, PFOA en PFPeA op R822 (Tabel 36). PFOS is de belangrijkste PFSA in de deposities.

Tabel 36: Deposities (ng/m²/dag) van de belangrijkste PFAS.

Station	ΣPFAS (T) (ng/m ³)	EFSA-PFAS (T) (ng/m ³)	PFOA	PFOS	PFPrA	PFBA	PFPeA
R822	74,4	26,7	3,6	20,5	5,7	17,7	10,4
R830	46,2	9,6	2,4	6,1	0,3	23,4	2,2
R831	641,0	5,2	0,5	3,1	2,6	627,3	1,0
R891	54,6	33,5	6,3	26,4	3,6	8,3	0,9

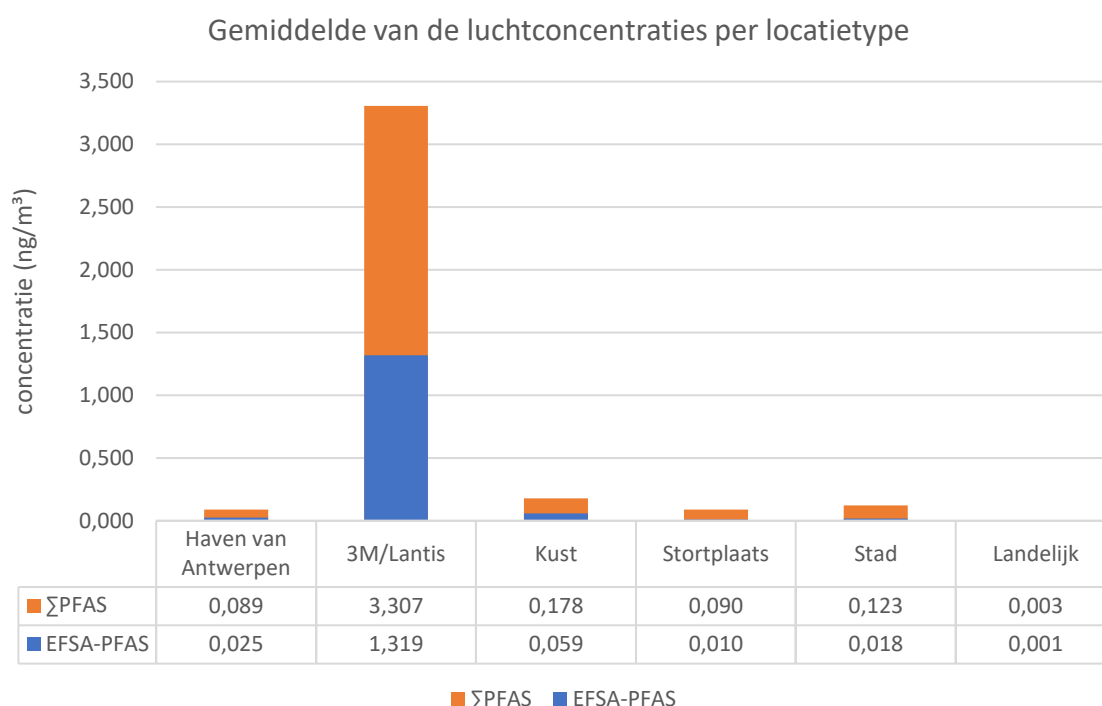
* resultaat zonder PFBA depositie van 29/06 tot 27/07

6 GLOBALE ANALYSE VAN DE MEETRESULTATEN

6.1 PFAS IN DE OMGEVINGSLUCHT

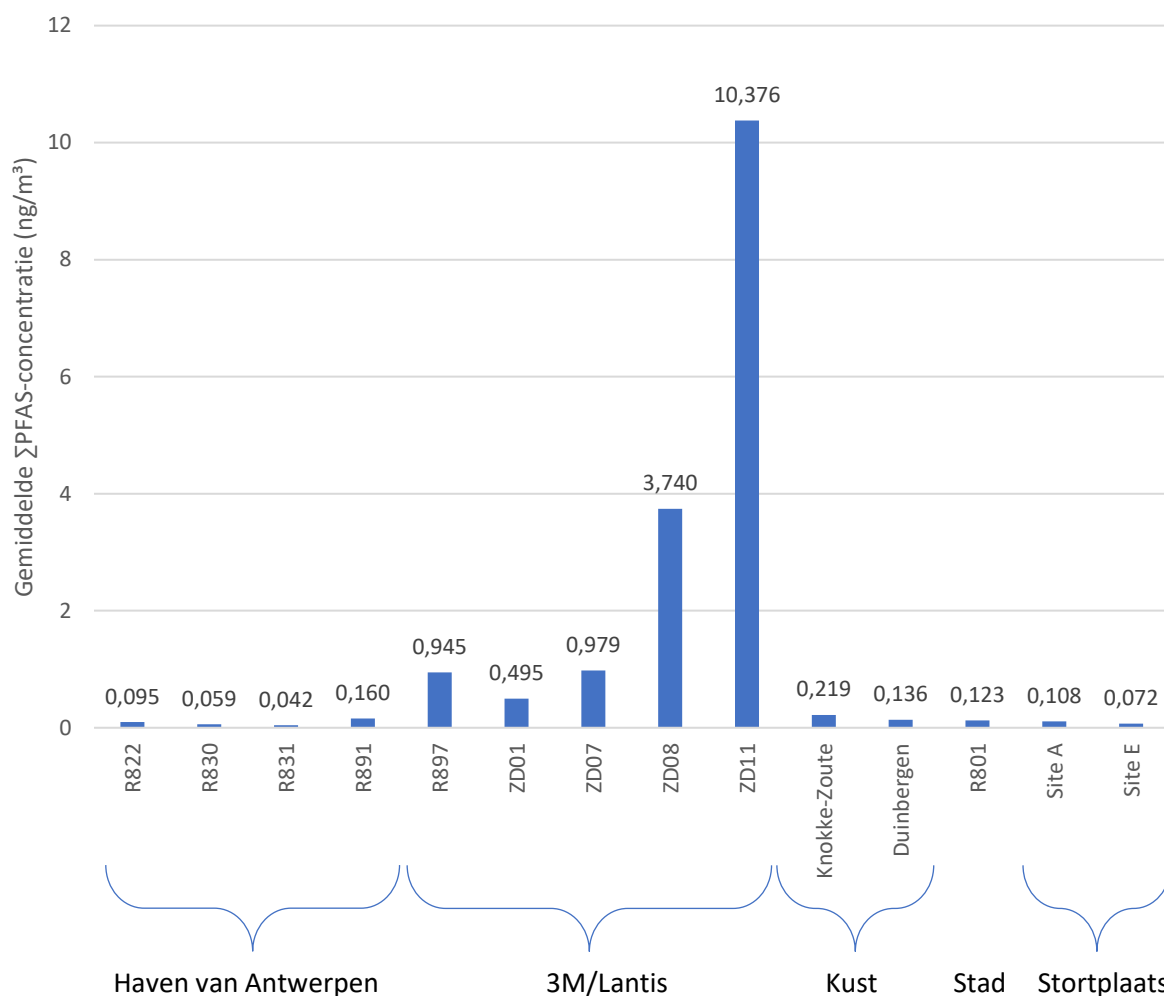
6.1.1 Concentraties

De PFAS-concentraties vertonen **grote verschillen tussen de verschillende type locaties** (Figuur 22, gemiddeldes berekend voor Σ PFAS (T) inclusief indicatief gemeten PFAS; zie Bijlage B voor figuur met enkel kwantitatief gemeten PFAS). Over het algemeen liggen de EFSA-PFAS concentraties onder de tijdelijke toetsingswaarde van 0,4 ng EFSA-PFAS/m³, met uitzondering van 3M/Lantis waar op enkele meetlocaties (ZD08 en ZD11) een EFSA-PFAS concentratie boven de toetsingswaarde wordt gemeten.



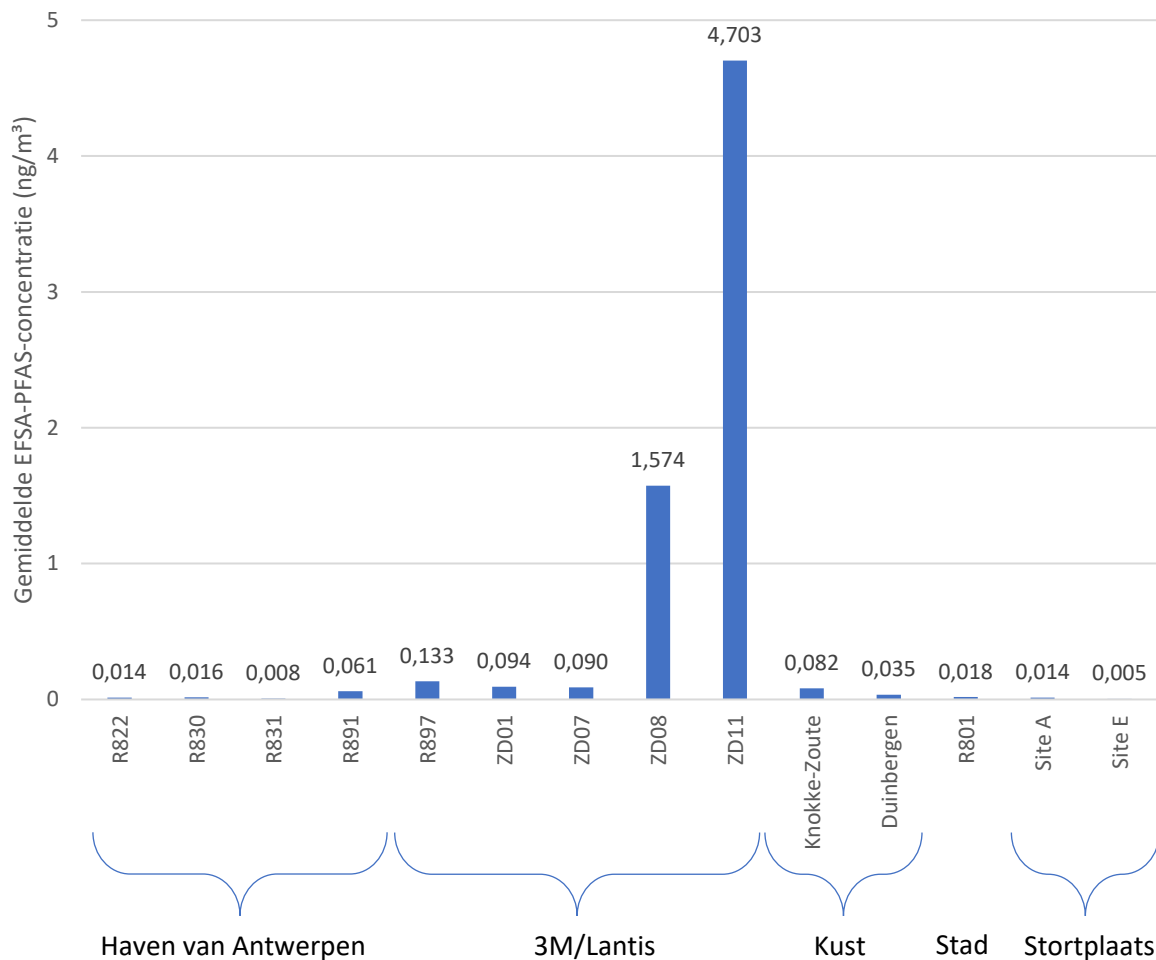
Figuur 22: Gemiddelde van de luchtconcentraties van Σ PFAS en EFSA-PFAS op de verschillende type locaties.

De PFAS-concentratie op de landelijke achtergrondlocatie wijkt sterk af t.o.v. de andere achtergrondlocaties (zie Bijlage B, Figuur zonder 3M/Lantis om verschillen tussen locaties duidelijker te maken). Binnen elke groep van type locaties zijn de verschillen eerder beperkt, met uitzondering van de meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis (zie Figuur 23 voor de Σ PFAS en Figuur 24 voor de EFSA-PFAS). De verschillen tussen de meetlocaties werden daar eerder beschreven in functie van de afstand tot 3M/Lantis, met afnemende concentraties voor verder afgelegen meetlocaties (Peters et al., 2022).



Figuur 23: Gemiddelde ΣPFAS-concentratie op de verschillende meetlocaties (Antwerpse Haven, 3M, Kust, Stedelijke achtergrond en Stortplaats).

De EFSA-PFAS concentratie is op de meeste meetlocaties, behalve op ZD08 en ZD11, onder de grenswaarde van het tijdelijk toetsingskader (0,4 ng/m³). **Op ZD08 en ZD11 wordt de toetsingswaarde overschreden** (Figuur 24).



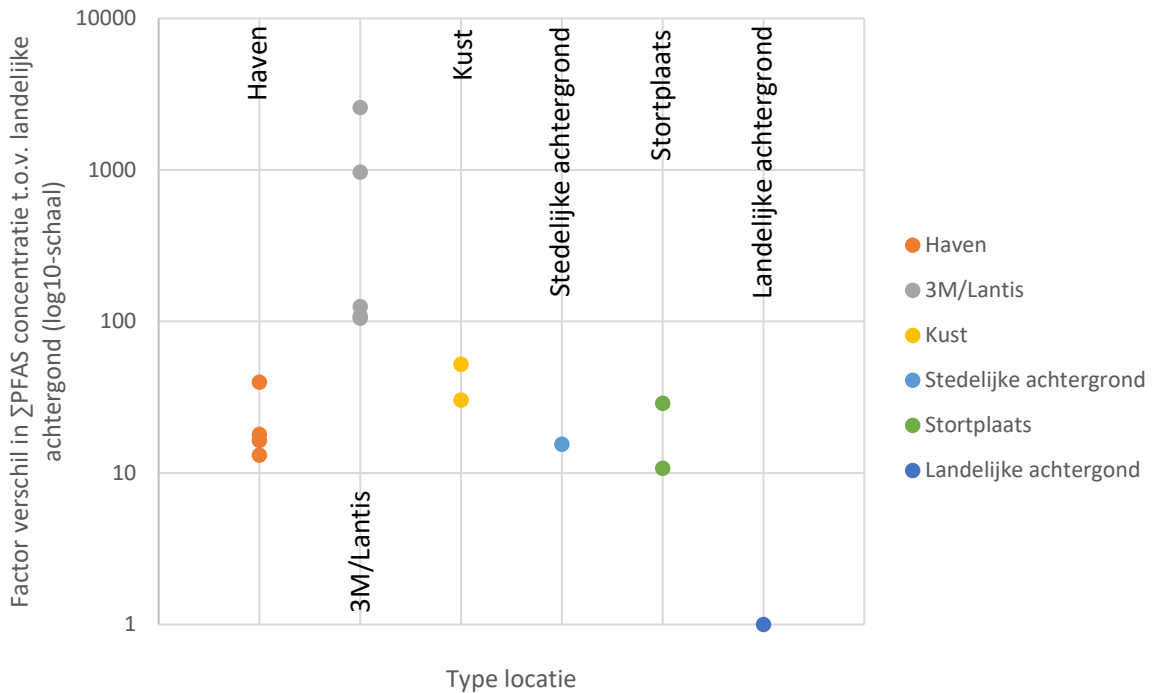
Figuur 24: Gemiddelde EFSA-PFAS concentratie op de verschillende meetlocaties (Antwerpse Haven, 3M, Kust, Stedelijke achtergrond en Stortplaats).

6.1.2 Vergelijking tussen type locaties

Er zijn PFAS metingen beschikbaar voor landelijke achtergrond (bemonstering op het VMM meetstation van Dessel (N016), zie <https://www.vmm.be/lucht/lokaal/zwijndrecht-antwerpen-linkeroever/pfas-in-zwevend-stof>). Voor deze analyse werd de gemiddelde PFAS-concentratie in zwevend stof voor het jaar 2022 als vergelijkingsbasis genomen.

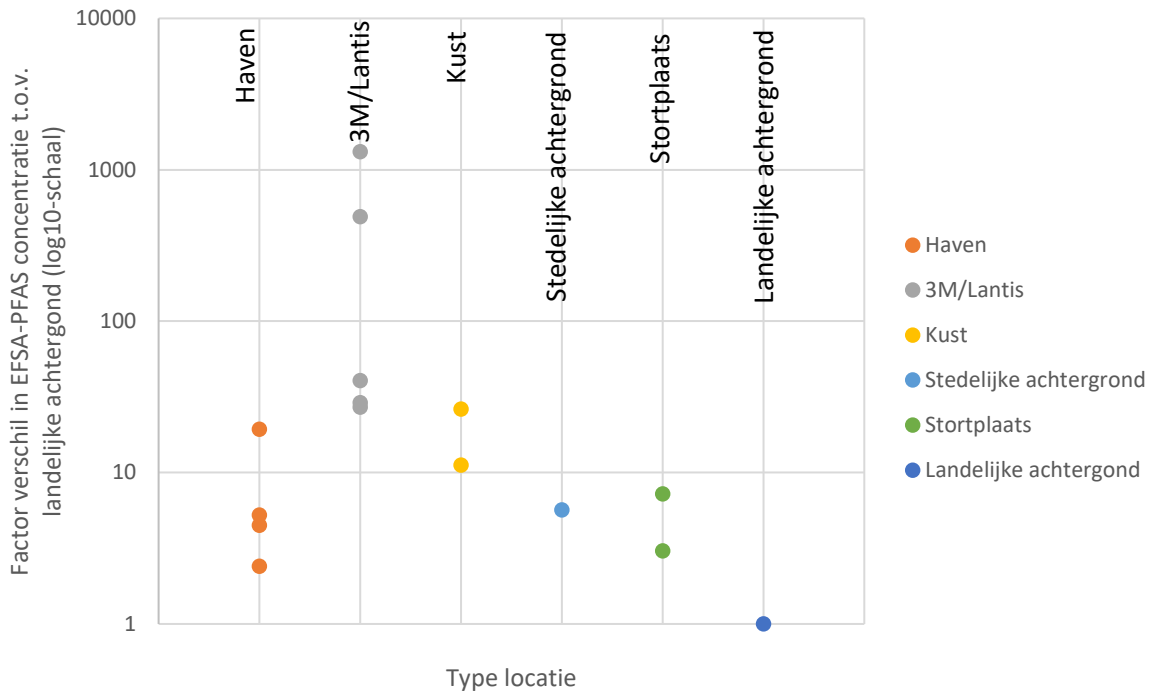
De Σ PFAS-concentraties werden voor alle meetlocaties op identieke wijze berekend zoals de Σ PFAS-concentratie voor Dessel (indicatief gemeten PFAS niet meegerekend, zelfde PFAS verbindingen in de som). Vervolgens werd de ratio tussen Σ PFAS_{meetlocatie}/ Σ PFAS_{dessel} berekend, i.e. de factor dat de Σ PFAS-concentratie hoger ligt op de meetlocaties t.o.v. de landelijke achtergrond. De factoren werden geplot voor de verschillende meetlocaties en gegroepeerd per type locatie (Figuur 25 en Figuur 26).

Samengevat wordt vastgesteld dat de Σ PFAS-concentraties op de stedelijke achtergrondlocatie en de stortplaats locatie ongeveer een factor 10 hoger liggen t.o.v. van de landelijke achtergrond. In de haven locatie is dat 10 tot 40 keer hoger, en aan de kust tot een factor 60 hoger. In de buurt van Lantis/3M is de Σ PFAS-concentratie 100 tot 2500 keer hoger dan de landelijke achtergrond.



Figuur 25: Factor verschil in ΣPFAS-concentratie tussen de meetlocaties (gegroepeerd per type locatie) en de landelijke achtergrond.

Voor de EFSA-PFAS is het beeld hetzelfde, maar is het verschil met de landelijke achtergrond minder groot (Figuur 26). Op de stortplaats en stedelijke achtergrond is de EFSA-PFAS-concentratie een factor 3 tot 5 hoger t.o.v. van het landelijk gemiddelde. Een aantal havenlocaties ligt in dezelfde grootteorde. De EFSA-PFAS-concentratie aan de kust is 20 keer (gemiddelde van beide meetlocaties) hoger dan op de landelijke achtergrond. In de buurt van 3M/Lantis ligt de EFSA-PFAS een factor 30 tot 40 keer hoger op drie meetlocaties, en 500 tot 1200 keer hoger op de twee meetlocaties dichtbij 3M/Lantis.



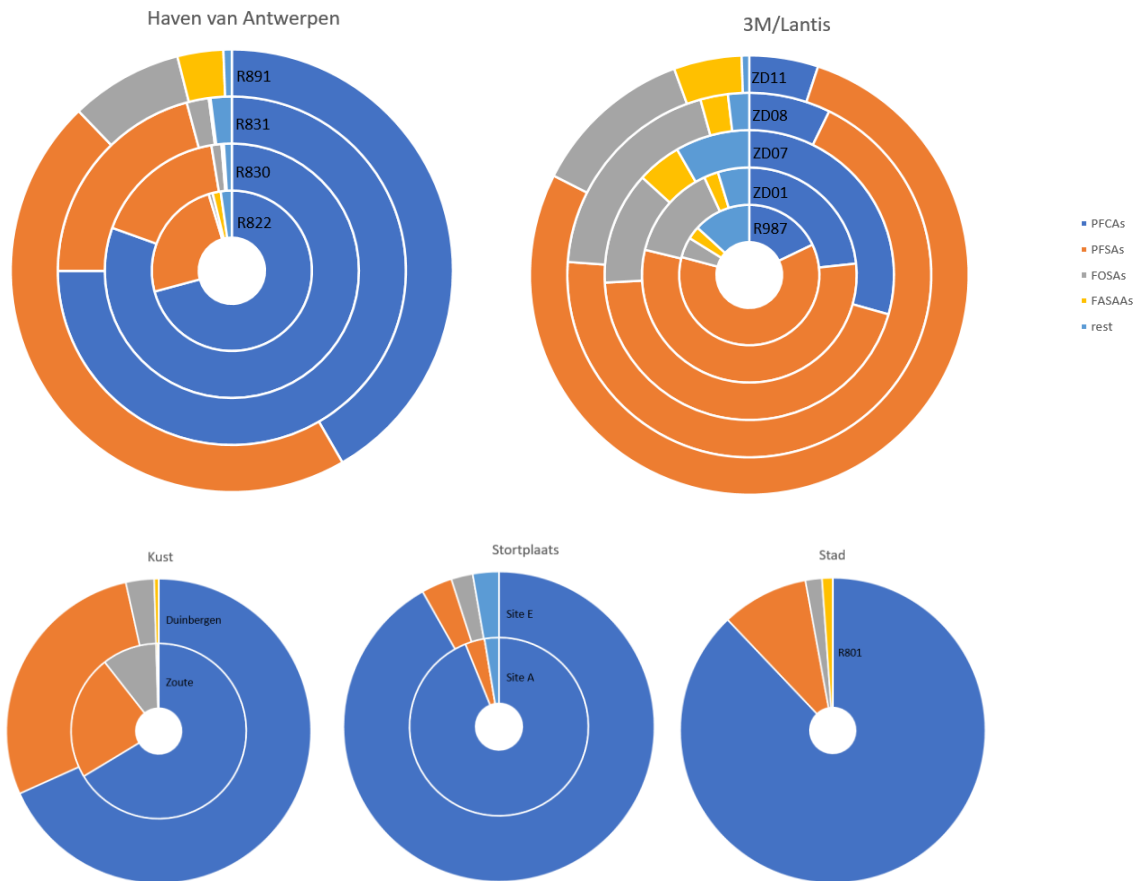
Figuur 26: Factor verschil in EFSA-PFAS-concentratie tussen de meetlocaties (gegroepeerd per type locatie) en de landelijke achtergrond.

6.1.3 Samenstelling van PFAS in omgevingslucht

6.1.3.1 Kwantitatief gemeten PFAS

Deze analyse beperkt zich tot de kwantitatief gemeten PFAS (zie Bijlage A, kwantitatief indien analyse van zowel filter als PUF kwantitatief) en de T-isomeren van PFAS die zowel lineaire als in vertakte vorm gemeten worden. Deze selectie van PFAS werden gesommeerd binnen 5 PFAS-klassen: PFCAs (10 PFAS), PFSA's (6), FOSA's (3), FASAAs (2) en een restgroep (4). Per type omgeving is het percentueel aandeel van de 5 PFAS-klassen weergegeven voor de verschillende meetlocaties (Figuur 27). Op de type locaties met meerdere meetlocaties is de PFAS samenstelling over het algemeen vergelijkbaar tussen de meetlocaties onderling, met uitzondering van R891 t.o.v. andere meetlocaties in de Haven van Antwerpen (groter aandeel PFSA's, vnl. PFOS), ZD08 en ZD11 (groter aandeel PFSA's, vnl. PFOS) t.o.v. andere meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis, en Knokke-Zoute (groter aandeel FOSA's, lager aandeel PFSA's) in vergelijking met de andere kustlocatie.

Tussen de groepen type locaties zijn er duidelijke verschillen in PFAS samenstelling. Op de meetpunten in de buurt van 3M/Lantis zijn de PFSA's veel meer vertegenwoordigd (>50% van de totale PFAS concentratie) dan op andere locaties (met uitzondering van R891). In de haven en aan de kust ligt het aandeel PFSA's op ca. 25%, in de stad en stortplaats locaties nog lager. Op de meeste type locaties zijn de PFCAs de meest voorkomende PFAS, met uitzondering van de locaties in de buurt rond 3M/Lantis en R891. FOSA's komen relatief meer voor op de meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis (met uitzondering van R987), R891 en aan de kust (Zoute).



Figuur 27: Fingerprint van de meetlocaties voor wat betreft de kwantitatief gemeten PFAS binnen vijf PFAS klassen PFCAs, PFSAAs, FOSAs, FASAAAs en een restgroep.

6.1.3.2 Alle PFAS in analysescope

De concentraties van elke gemeten PFAS component (van de analyse scope, zie Bijlage A) werd als percentage uitgedrukt ten opzichte van de $\sum$ PFAS (T) concentratie en dit op elk van de meetlocaties (Tabel 37). Dit overzicht bevat zowel de kwantitatief als indicatief gemeten PFAS.

Er zijn significante verschillen in samenstelling tussen de locatietypes en bij sommige locatietypes ook tussen de meetlocaties onderling– zoals samengevat in §6.1.3.1. Samengevat kan gesteld worden dat:

- PFPrA over heel Vlaanderen gemeten wordt en op verschillende meetpunten een groot aandeel van de $\sum$ PFAS vormt.
- PFBA over heel Vlaanderen gemeten wordt en op verschillende meetpunten een groot aandeel van de $\sum$ PFAS vormt. Ook in de buurt van 3M/Lantis wordt PFBA gemeten, maar het aandeel van deze verbinding is laag omdat andere PFAS in veel hogere concentratieniveaus gemeten worden.
- PFOS in stedelijke omgeving en op de stortplaats een beperkte bijdrage heeft (<2% van totaal), t.o.v. haven, kust, 3M/Lantis locaties waar het PFOS aandeel tussen 8 tot 38% ligt.
- Het PFOA percentage op meetlocaties 3M/Lantis laag is in vergelijking met de andere type locaties (de absolute concentratie is op sommige meetpunten van 3M/Lantis wel hoger dan op andere locaties in Vlaanderen, maar het aandeel is beperkt door hoge concentraties van een aantal andere PFAS, m.n. PFOS en MePFBSA).

De Σ PFAS (L) concentratie van lineaire PFAS ligt op de meeste meetlocatie boven 90% (92,3 tot 99,1%) van het totaal, behalve op R891 (85,5%) en op ZD08 (76,7%) en ZD11 (73,8%). Dit kan op ZD08 en ZD11 verklaard worden door een hogere concentratie van vertakte PFOS isomeren (ca. 50-55% vertakt, op de meeste locaties <40% PFOS vertakt). Op R891 is het beeld minder duidelijk (<40% PFOS vertakt).

Het percentage EFSA-PFAS op de totale som van PFAS ligt tussen ca. 5 en 49%. De hoogste percentages worden gemeten op de meetlocaties ZD08, ZD11, R891, R830 en aan de kust.

Tabel 37: Fingerprint van de PFAS die gemeten worden in de omgevingslucht op de verschillende meetlocaties.

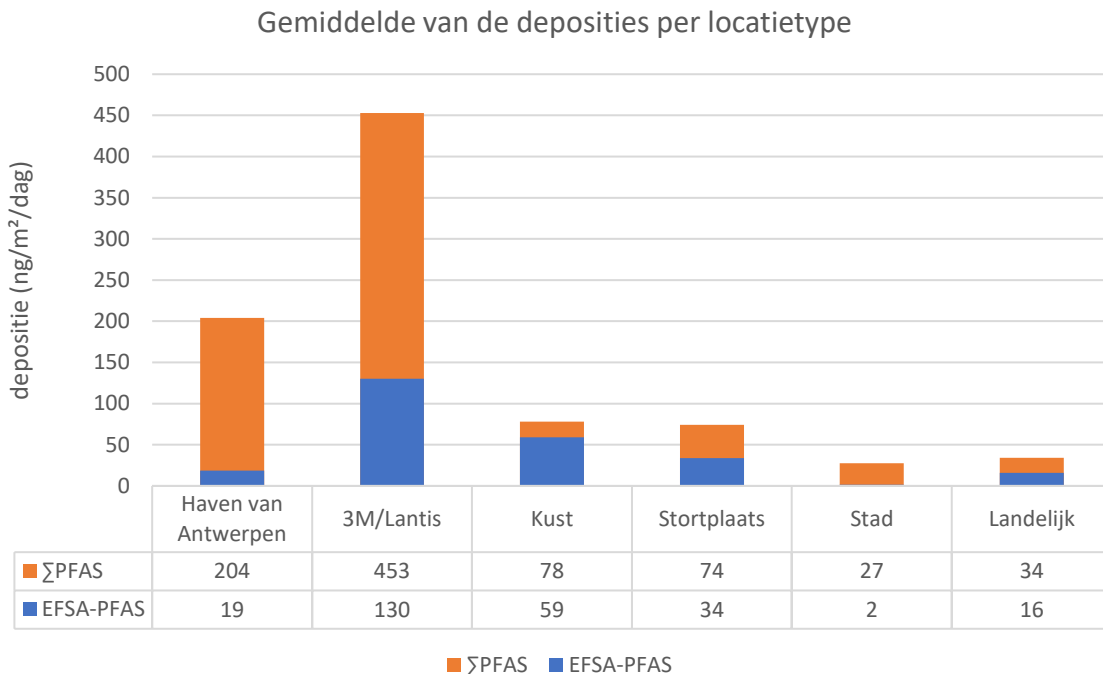
	Haven				3M					Kust		Stedelijk	Stortplaats	
	R822	R830	R831	R891	R897	ZD01	ZD07	ZD08	ZD11	Knokke-Zoute	Duinenbergen	R801	Site A	Site E
Medium bemonstering	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF
Looptijd (dagen)	104	104	104	104	238	238	238	238	238	84	84	84	87	87
Start period	12/05/2023	12/05/2023	12/05/2023	12/05/2023	12/01/2023	12/01/2023	12/01/2023	12/01/2023	12/01/2023	06/07/2022	06/07/2022	02/09/2022	28/11/2022	28/11/2022
Stop period	24/08/2023	24/08/2023	24/08/2023	24/08/2023	07/09/2023	07/09/2023	07/09/2023	07/09/2023	07/09/2023	28/09/2022	28/09/2022	25/11/2022	23/02/2023	23/02/2023
Σ PFAS (L)	95,2%	93,1%	95,3%	85,5%	93,2%	92,8%	95,3%	76,7%	73,8%	92,6%	92,3%	97,8%	98,9%	99,1%
Σ PFAS (T)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
sum of linear (L) EFSA PFAS	10,5%	21,2%	13,5%	26,3%	8,8%	12,8%	6,5%	21,6%	23,5%	30,8%	21,5%	12,7%	8,6%	4,6%
sum of total (T) EFSA PFAS	15,0%	27,7%	17,7%	38,9%	14,3%	19,1%	9,2%	42,7%	48,7%	37,9%	28,9%	14,5%	9,6%	5,2%
PFPrA	38,7%	13,5%	2,9%	20,1%	57,7%	32,3%	64,4%	16,4%	15,9%	25,0%	21,9%	60,5%	40,1%	66,8%
PFBA	30,2%	43,9%	51,1%	23,2%	2,5%	4,3%	3,7%	1,7%	0,7%	16,6%	31,7%	17,0%	10,9%	16,3%
PFPeA	0,6%	0,3%	0,4%	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,4%	0,6%	0,0%	4,0%	0,9%
PFHxA	4,8%	5,1%	5,2%	2,0%	0,3%	0,5%	0,2%	0,1%	0,1%	3,8%	5,3%	2,3%	2,8%	1,0%
PFHpA	1,7%	1,6%	1,8%	0,6%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	2,1%	4,6%	0,3%	1,8%	0,6%
L-PFOA	4,0%	15,4%	7,0%	5,4%	0,8%	2,0%	1,3%	1,8%	1,5%	19,6%	6,0%	11,1%	7,0%	9,2%
T-PFOA	4,6%	17,9%	7,9%	6,1%	0,9%	2,2%	1,4%	2,0%	1,6%	21,4%	6,3%	12,2%	7,6%	10,4%
PFNA	0,1%	0,2%	1,5%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	1,1%	1,6%	0,2%	6,4%	0,0%
PFDA	0,1%	0,4%	1,4%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	1,8%	0,5%	6,7%	0,4%
PFUnDA	0,1%	0,1%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,1%	5,6%	0,0%
PFDoDA	0,1%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,3%	0,2%	3,6%	0,0%
PFTrDA	0,2%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,8%	0,0%
PFTeDA	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,1%	0,0%
PFHxDA	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%
PFODA	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,3%	0,0%
PFPrS	4,0%	4,2%	10,3%	2,6%	0,2%	0,3%	0,2%	0,0%	0,0%	0,6%	0,2%	1,4%	0,7%	1,0%
PFBS	0,3%	0,8%	0,9%	0,8%	0,3%	1,1%	1,1%	0,1%	0,2%	0,3%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
PFPeS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
L-PFHxS	0,3%	0,1%	0,1%	0,8%	0,5%	0,5%	0,2%	0,9%	0,6%	0,8%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%
T-PFHxS	0,4%	0,1%	0,1%	0,9%	0,5%	0,6%	0,2%	1,0%	0,7%	0,9%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%
PFHpS	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
L-PFOS	6,0%	5,5%	4,8%	19,9%	7,2%	9,9%	4,6%	18,4%	18,7%	9,3%	12,9%	1,3%	0,8%	0,0%
T-PFOS	10,0%	9,4%	8,3%	31,5%	12,2%	15,7%	7,0%	38,6%	40,3%	14,4%	19,8%	2,0%	1,3%	0,0%
PFNS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PFDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PFUnDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PFDoDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PFTrDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4:2FTS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6:2FTS	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
8:2FTS	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
10:2FTS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PFBSA	0,3%	0,5%	1,5%	0,6%	0,3%	0,4%	0,5%	1,9%	0,7%	6,2%	2,3%	0,3%	0,0%	0,0%
MePFBSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	17,5%	34,4%	10,5%	23,2%	24,5%	2,4%	0,5%	1,2%	0,8%	0,9%
MePFBSAA	0,2%	0,0%	0,0%	1,3%	0,2%	0,5%	2,1%	0,8%	1,3%	1,7%	0,7%	0,1%	0,5%	0,0%
L-PFHxSA	0,0%	0,0%	0,0%	1,2%	0,2%	3,0%	0,6%	6,5%	1,4%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
T-PFHxSA	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	0,2%	3,3%	0,7%	7,4%	1,6%	NB	NB	NB	NB	NB
L-PFOSA	0,1%	0,4%	0,1%	3,5%	0,4%	0,6%	0,9%	1,3%	3,1%	0,6%	0,0%	0,2%	0,0%	1,1%
T-PFOSA	0,2%	0,6%	0,4%	4,5%	0,5%	0,9%	1,2%	2,0%	4,1%	0,9%	0,1%	0,3%	0,0%	0,7%
L-MePFOSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%	0,4%	0,2%	0,6%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
T-MePFOSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,7%	0,2%	0,8%	0,4%	1,2%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%
L-EtPFOSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,8%	0,1%	1,0%	0,4%	1,7%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%
T-EtPFOSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	1,8%	0,2%	2,0%	0,8%	3,2%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%
PFOSAA	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
L-MePFOSAA	0,2%	0,0%	0,0%	0,8%	0,2%	0,2%	0,3%	0,4%	0,7%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
T-MePFOSAA	0,4%	0,1%	0,0%	1,3%	0,2%	0,3%	0,4%	0,8%	1,3%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
L-EtPFOSAA	0,5%	0,1%	0,1%	1,0%	0,3%	0,2%	0,4%	0,4%	0,9%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%
T-EtPFOSAA	0,6%	0,2%	0,2%	1,3%	0,4%	0,3%	0,5%	0,7%	1,3%	0,2%	0,3%	0,3%	0,0%	0,0%
PFDSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6:2PAP	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
8:2PAP	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
6:2diPAP	0,0%	0,0%	2,8%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6:2/8-2diPAP	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
8:2diPAP	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
HFPO-DA	1,3%	0,9%	1,6%	0,5%	2,9%	1,5%	1,6%	1,1%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	1,4%	0,9%
ADONA	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PFECHS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9CI-PF3ONS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
11CI-PF3OundS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BPAF	0,8%	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%	0,1%	0,8%	0,2%	0,2%	NB	NB	NB	NB	NB

6.2 PFAS IN DE DEPOSITIE

6.2.1 Deposities gemeten op verschillende type locaties

De PFAS-deposities vertonen **grote verschillen tussen de verschillende type locaties** (Figuur 28, gemiddelde berekend voor Σ PFAS (T) inclusief indicatief gemeten PFAS; zie Bijlage C voor Figuren met enkel kwantitatief gemeten PFAS, en met Figuur waarin de uitschieter op R831 in de haven van Antwerpen is aangeduid -zie §5.5.5).

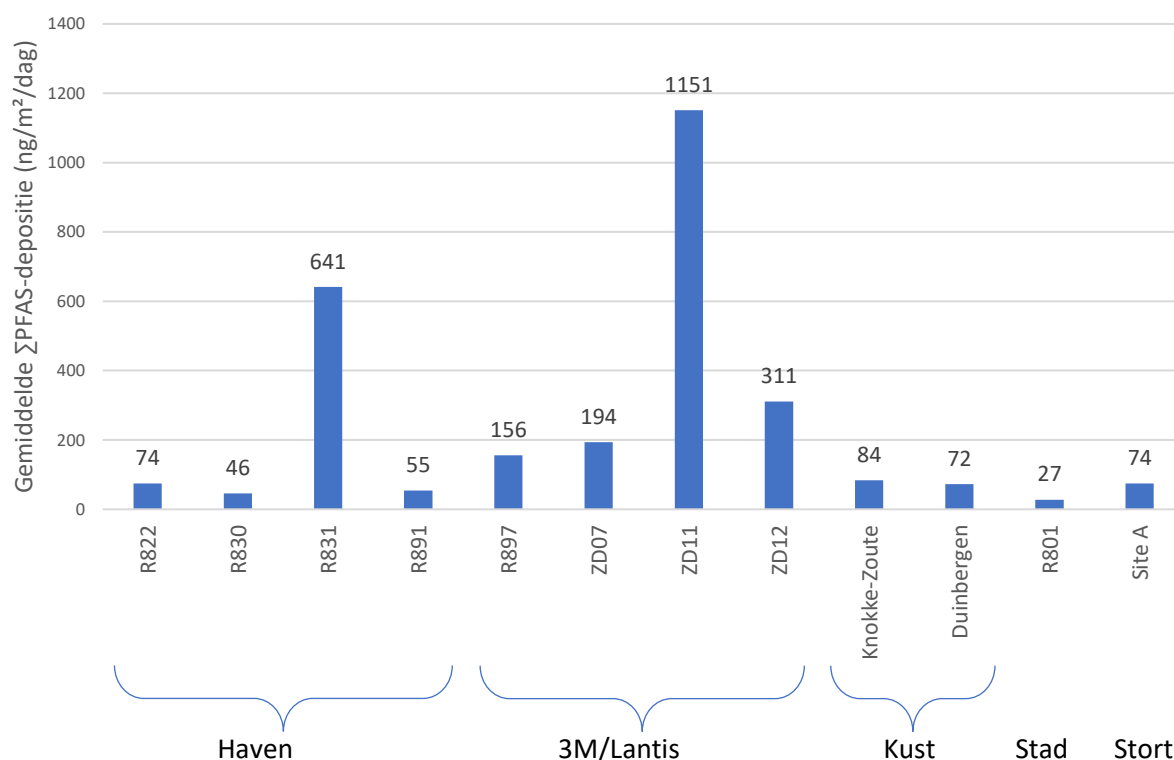
De Σ PFAS-depositie varieert van 27 ng/m²/dag in de stad tot 456 ng/m²/dag in de buurt van 3M/Lantis. De depositie op de landelijke achtergrond was gemiddeld 34 ng/m²/dag, en situeert zich in dezelfde grootteorde als de stad. Aan de kust en in de buurt van een stortplaats werden vergelijkbare deposities gemeten (ca. 75 ng/m²/dag).



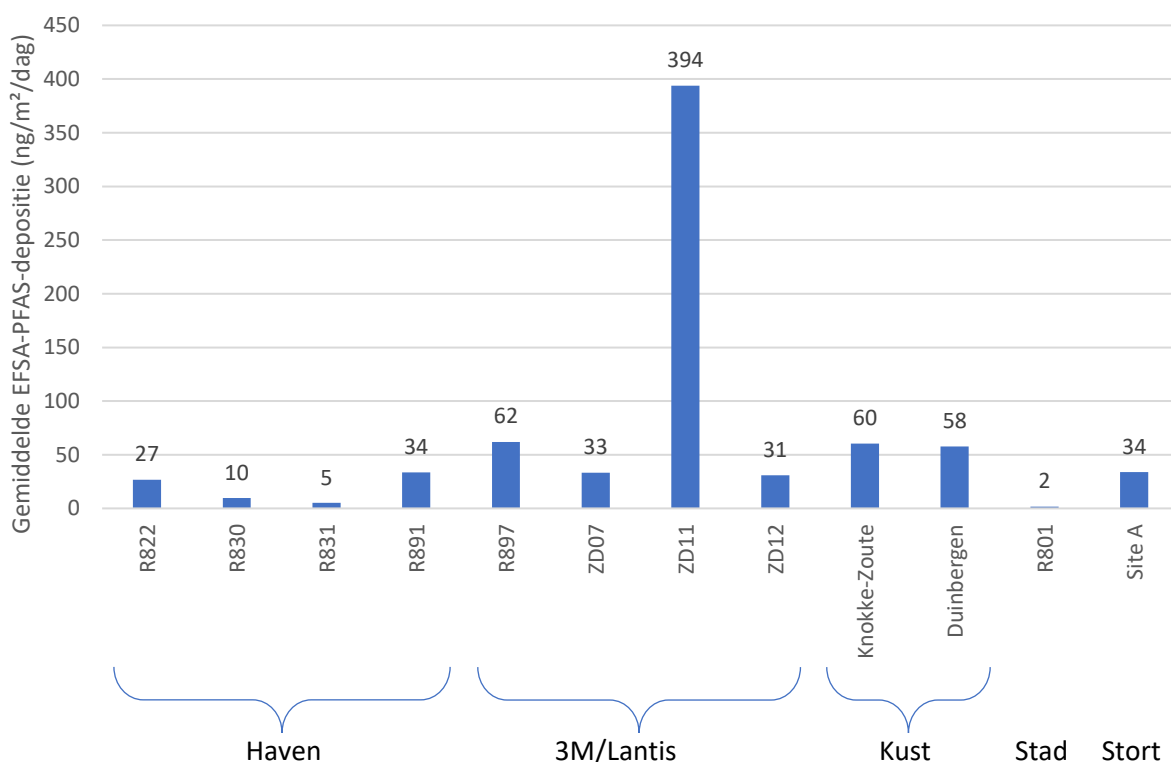
Figuur 28: Gemiddelde deposities op de verschillende type locaties.

Het percentage EFSA-PFAS in de totale depositie ligt opmerkelijk hoger aan de kust dan op andere type locaties.

De deposities op R831 is sterk verhoogd t.o.v. de deposities op andere locaties in de haven van Antwerpen (Figuur 29), door een hoge uitschieter voor PFBA in depositiestof. De EFSA-PFAS depositie is op R831 het laagst voor alle havenlocaties (Figuur 30). Van de meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis is de ZD11 verhoogd voor de Σ PFAS en EFSA-PFAS depositie t.o.v. van de andere meetlocaties in die regio. Aan de kust was de depositie op beide meetlocaties vrij goed vergelijkbaar tussen de meetpunten, op de overige type locaties was er telkens maar één meetpunt.



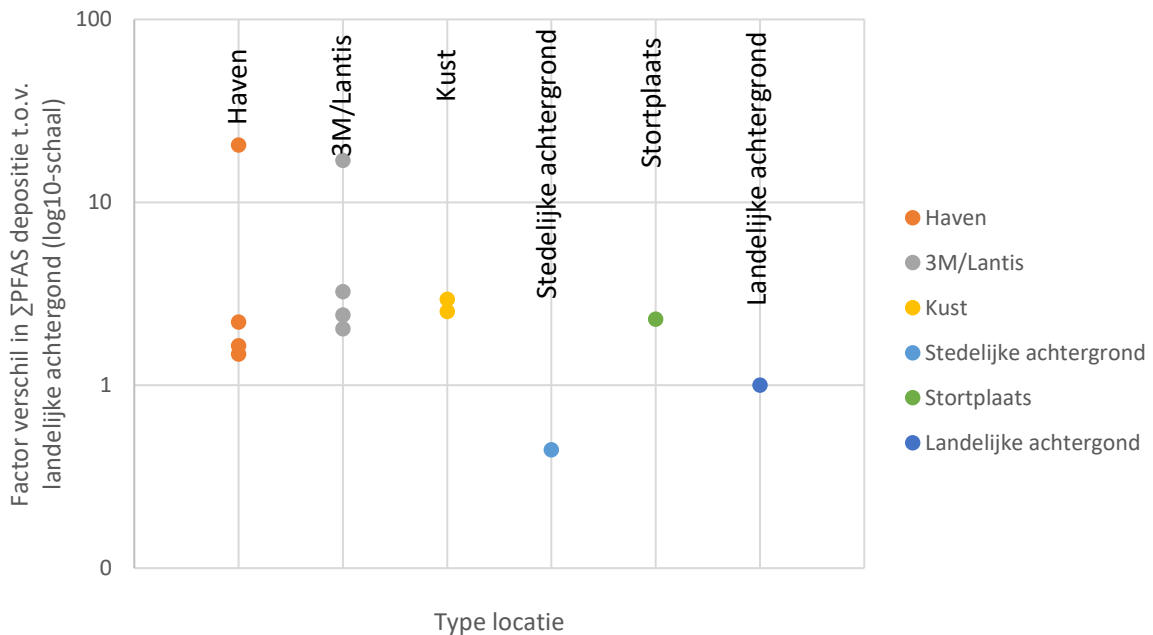
Figuur 29: Gemiddelde ΣPFAS depositie op de verschillende meetlocaties (Antwerpse Haven, 3M/Lantis, Kust, Stedelijke achtergrond en Stortplaats).



Figuur 30: Gemiddelde EFSA-PFAS depositie op de verschillende meetlocaties (Antwerpse Haven, 3M/Lantis, Kust, Stedelijke achtergrond en Stortplaats)

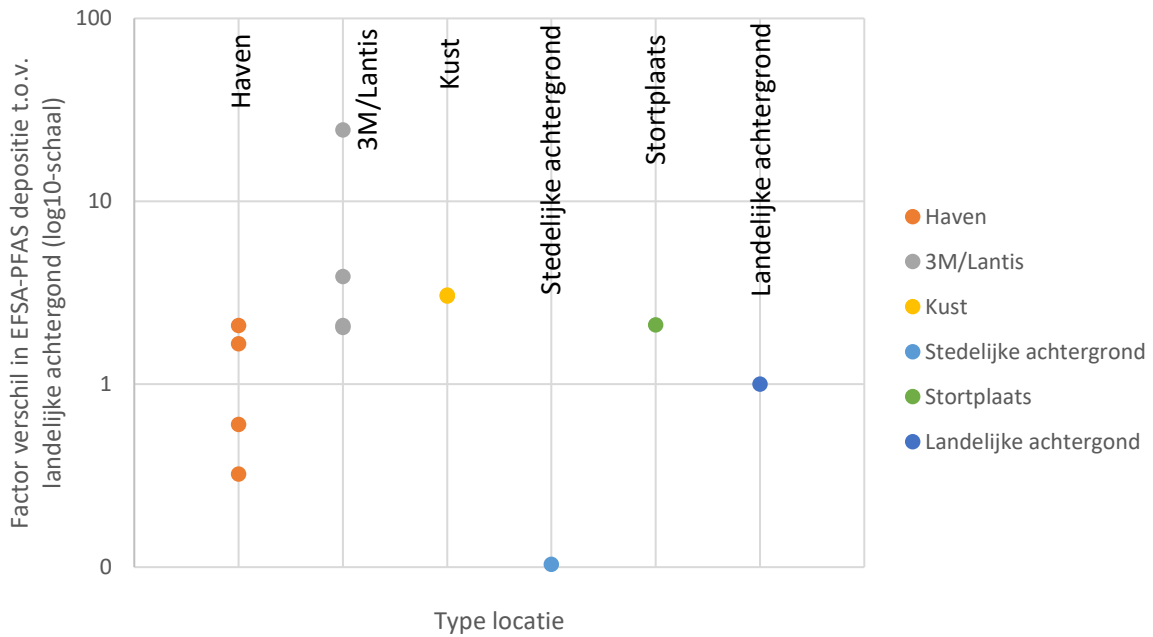
6.2.2 Vergelijking tussen type locaties

Het verschil in Σ PFAS-concentraties gemeten in depositiestof tussen de landelijke achtergrond en de verschillende meetlocaties is minder groot dan deze voor de PFAS-concentraties gemeten in omgevingslucht (zie Figuur 31 en Figuur 25): voor de Σ PFAS deposities is dat verschil een factor 2 tot 20, voor omgevingslucht tot een factor 40 (haven), 60 (kust) en >1000 (3M). De depositie op de stedelijke achtergrondlocatie was lager dan de depositie op de landelijke achtergrondlocatie.



Figuur 31: Factor verschil in Σ PFAS depositie tussen de meetlocaties (gegroepeerd per type locatie) en de landelijke achtergrond.

DE EFSA-PFAS deposities liggen tot ca. 5 keer hoger in de buurt van 3M en aan de kust ten opzichte van de landelijke achtergrond (Figuur 32). Op enkele havenlocaties en op de stedelijke achtergrondlocatie waren de EFSA-PFAS deposities lager dan op de landelijke achtergrondlocatie.

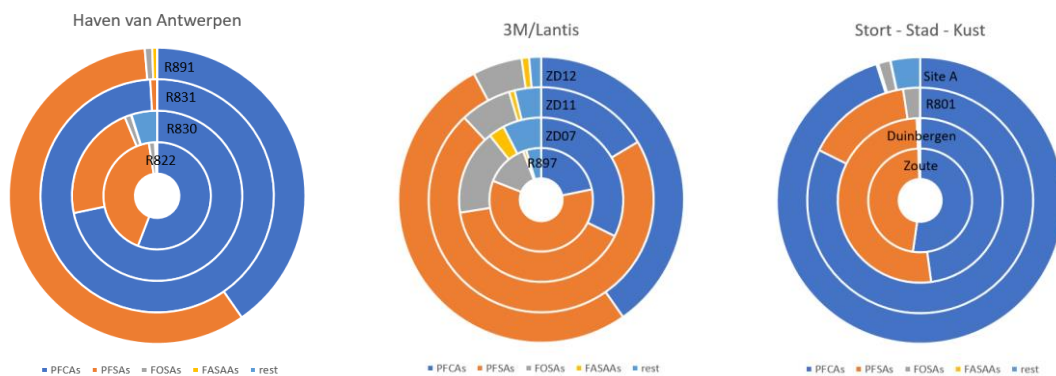


Figuur 32: Factor verschil in EFSA-PFAS depositie tussen de meetlocaties (gegroepeerd per type locatie) en de landelijke achtergrond.

6.2.3 Samenstelling van PFAS in deposities

6.2.3.1 Kwantitatief gemeten PFAS

PFCAs en PFSA's komen het meest voor in de deposities op alle locaties. De verhouding tussen beide PFAS groepen verschilt per type locatie (Figuur 33). Op de meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis, op de havenlocatie R891 en aan de kust is het percentage PFSA's hoger; op de andere locaties is het percentage PFCAs hoger. Op de 3M/Lantis meetlocaties worden vooral FOSAs in de deposities gemeten, wat minder het geval is op andere locaties.



Figuur 33: Fingerprint van de meetlocaties voor wat betreft de kwantitatief gemeten PFAS in de depositie, opgedeeld in vijf PFAS klassen: PFCAs, PFSA's, FOSAs, FASAAs en een restgroep

6.2.3.2 Volledige PFAS analysescope

De belangrijkste PFAS die in de deposities gemeten worden zijn PFPrA, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFHxS, PFOS, PFNS, PFDS, en MePFBSAA en HFPO-DA op sommige locaties (Tabel 38). Samengevat kan gesteld worden dat:

- PFPrA voornamelijk op 3M/Lantis en het stedelijk achtergrond meetpunt een groot aandeel van de Σ PFAS vormt.

- PFBA een relatief belangrijk aandeel heeft in de deposities op de havenlocaties en het stedelijk achtergrondstation.
- PFOS voornamelijk aan de kust, op R891, R897 en ZD11 een belangrijk aandeel hebben.
- Op de stortplaats relatief hoge percentage PFNA en PFOA in de deposities gemeten worden (beide zijn EFSA-PFAS).

Tabel 38: Fingerprint van de PFAS die gemeten worden in de depositie op de verschillende meetlocaties.

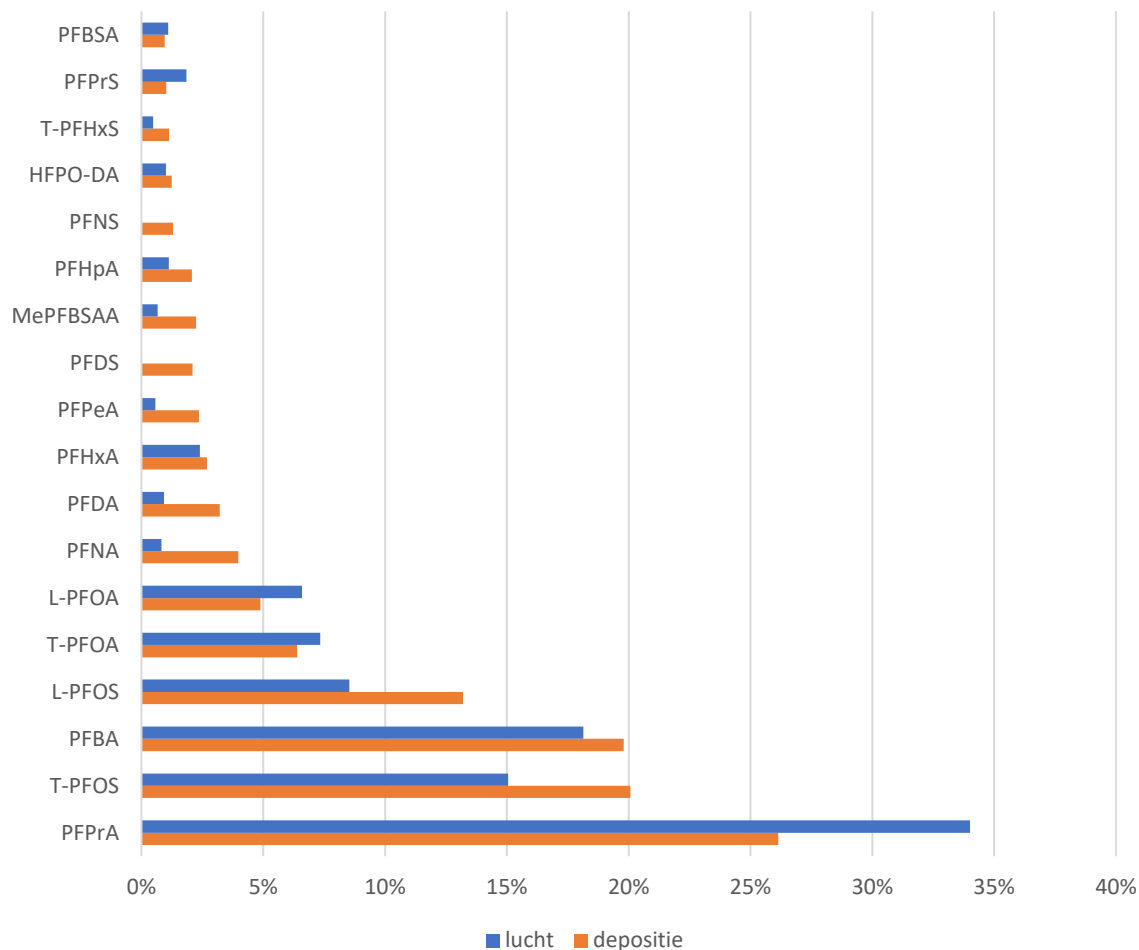
	Haven				3M				Kust		Stedelijk	Stortplaats
	R822	R830	R831	R891	R897	ZD07	ZD11	ZD12	Knokke-Zoute	Duinbergen	R801	Site A
Medium bemonstering	kruik	kruik	kruik	kruik	kruik	kruik	kruik	kruik	filter+PUF	filter+PUF	filter+PUF	kruik
Looptijd (dagen)	104	104	104	104	238	238	238	238	84	84	84	87
Start period	12/05/2023	12/05/2023	12/05/2023	12/05/2023	12/01/2023	12/01/2023	12/01/2023	12/01/2023	06/07/2022	06/07/2022	02/09/2022	28/11/2022
Stop period	24/08/2023	24/08/2023	24/08/2023	24/08/2023	07/09/2023	07/09/2023	07/09/2023	07/09/2023	28/09/2022	28/09/2022	25/11/2022	23/02/2023
ΣPFAS (L)	87,4%	92,6%	99,7%	75,4%	87,3%	94,7%	88,1%	96,3%	87,4%	85,8%	97,8%	100,0%
ΣPFAS (T)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
sum of Linear (L) EFSA PFAS	23,6%	13,5%	0,5%	37,0%	25,5%	11,2%	20,0%	6,4%	47,7%	53,8%	3,8%	45,9%
sum of total (T) EFSA PFAS	35,9%	20,9%	0,8%	61,4%	37,3%	15,5%	31,5%	10,0%	64,5%	72,2%	6,1%	45,9%
PFPrA	7,6%	0,6%	0,4%	6,7%	39,5%	65,1%	57,8%	79,7%	2,7%	1,6%	49,7%	2,1%
PFBA	23,9%	50,7%	97,9%	15,2%	5,4%	5,1%	3,1%	4,4%	3,9%	2,3%	24,1%	1,5%
PFPeA	14,0%	4,8%	0,2%	1,7%	0,8%	0,6%	0,3%	0,4%	2,6%	1,3%	0,0%	1,6%
PFHxA	2,1%	4,3%	0,3%	2,9%	1,3%	1,0%	0,4%	0,8%	7,9%	4,3%	3,7%	3,3%
PFHpA	2,0%	4,2%	0,2%	4,5%	1,3%	0,7%	0,5%	0,3%	2,6%	3,1%	0,0%	5,6%
L-PFOA	2,0%	4,7%	0,1%	4,4%	3,2%	2,6%	2,1%	1,4%	9,3%	12,3%	2,2%	14,3%
T-PFOA	4,9%	5,3%	0,1%	11,6%	3,5%	2,9%	2,3%	1,5%	12,6%	15,5%	2,2%	14,3%
PFNA	0,9%	1,4%	0,1%	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	5,7%	7,0%	0,4%	31,6%
PFDA	0,4%	0,6%	0,0%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	2,4%	2,6%	1,1%	31,0%
PFUnDA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	1,1%	0,1%	4,0%
PFDoDA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,2%	0,3%	0,0%
PFTrDA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%
PFTeDA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
PFHxDA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%
PFODA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%
PFPrS	2,3%	6,1%	0,2%	1,9%	0,1%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	1,0%	0,2%
PFBS	3,3%	1,2%	0,1%	0,8%	0,4%	0,2%	0,1%	0,7%	0,2%	0,1%	1,5%	0,0%
PFPeS	0,2%	0,5%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
L-PFHxS	2,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,6%	0,2%	0,4%	0,1%	2,9%	3,6%	0,0%	0,0%
T-PFHxS	2,5%	0,9%	0,2%	1,1%	0,7%	0,2%	0,4%	0,1%	3,2%	4,3%	0,0%	0,0%
PFHpS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	1,1%	1,8%	0,0%	0,0%
L-PFOS	18,7%	7,4%	0,3%	32,3%	21,6%	8,2%	17,5%	5,5%	22,0%	23,8%	1,2%	0,0%
T-PFOS	27,6%	13,2%	0,5%	48,4%	33,0%	12,4%	28,7%	8,9%	30,8%	34,0%	3,4%	0,0%
PFNS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,1%	7,4%	0,0%	0,0%
PFDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,0%	12,1%	0,0%	0,0%
PFUnDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
PFDoDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PFTrDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4:2FTS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6:2FTS	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
10:2FTS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
PFBSA	0,9%	1,2%	0,0%	0,0%	2,9%	3,4%	1,3%	0,5%	0,1%	0,1%	0,9%	0,0%
MePFBSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
MePFBSAA	5,9%	0,0%	0,0%	2,6%	2,1%	2,3%	1,1%	1,6%	0,0%	0,1%	11,3%	0,0%
L-PFHxSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	0,6%	0,7%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
T-PFHxSA	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	1,9%	0,6%	0,8%	0,2%	NB	NB	0,0%	1,3%
L-PFOSA	0,5%	0,0%	0,0%	0,6%	2,2%	0,9%	0,6%	0,3%	0,1%	0,1%	0,0%	1,3%
T-PFOSA	0,6%	0,0%	0,0%	0,7%	2,9%	1,4%	0,9%	0,4%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
L-MePFOSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
T-MePFOSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
L-EtPFOSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
T-EtPFOSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
PFOSAA	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
L-MePFOSAA	0,2%	0,1%	0,0%	0,2%	0,1%	0,4%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
T-MePFOSAA	0,3%	0,1%	0,0%	0,3%	0,3%	0,5%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
L-EtPFOSAA	0,2%	0,0%	0,0%	0,2%	0,1%	0,4%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
T-EtPFOSAA	0,3%	0,0%	0,0%	0,2%	0,3%	0,5%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
PFDSA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
6:2PAP	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
8:2PAP	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
6:2diPAP	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6:2/8:2diPAP	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
8:2diPAP	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
HFPO-DA	0,0%	4,8%	0,0%	0,0%	2,6%	2,5%	1,6%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	3,2%
ADONA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%	0,0%	0,0%
PFECHS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
9CI-PF3ONS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
11CI-PF3OUnDS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BPAF	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	NB	NB	0,0%	NB

6.3 BELANGRIJKSTE PFAS IN DEPOSITIES EN OMGEVINGSLUCHT

De gemiddelde bijdrage van de verschillende PFAS componenten (inclusief indicatieve metingen) werd berekend over alle meetlocaties voor zowel het compartiment omgevingslucht als depositie.

De PFAS componenten werden geordend volgens aflopende bijdrage in de deposities, en de PFAS verbindingen die gemiddeld meer dan 1% van de PFAS depositie vertegenwoordigen werden samen met de bijdrage aan de PFAS concentratie in de omgevingslucht geplot in Figuur 34.

Gemiddeld genomen zijn de belangrijkste PFAS de verbindingen PFPrA (indicatief), PFOS, PFBA, en PFOA – zowel in de omgevingslucht als in de deposities.



Figuur 34: Overzicht van PFAS die >1% bijdragen tot de PFAS depositie, gerangschikt volgens het gemiddelde over alle meetlocaties. De overeenkomstige bijdrage aan de concentratie in de omgevingslucht wordt ook weergegeven. Er zijn 3 PFAS verbindingen die in de omgevingslucht >1% vertegenwoordigen die niet opgenomen zijn in de figuur, m.n. T-PFOA, T-PFHxSA en MePFBSA (hun bijdrage aan de depositie is gemiddeld <1%). De indicatieve gemeten PFAS werden weerhouden, zie Bijlage A.

Voor de meetlocaties waar simultaan omgevingslucht- en depositiemetingen werden uitgevoerd kan de procentuele bijdrage van PFAS-verbindingen in beide matrices als dataparen geplot worden in een scatterplot (Bijlage D). Het valt op dat dezelfde PFAS componenten in zeer lage concentraties in de omgevingslucht en deposities gemeten worden (of in beide matrices niet voorkomen). Al zijn hier ook uitzonderingen op, bv. voor PFPrA die in veel gevallen relatief gezien meer aanwezig is in omgevingslucht dan in depositie (maar soms ook omgekeerd, zie ZD11). PFAS componenten die in hogere concentraties zowel in de omgevingslucht gemeten worden, komen meestal ook in hogere concentraties in de depositie voor, maar er zit behoorlijk wat spreiding op dit patroon (zie spreiding van datapunten t.o.v. de 0:100% lijn in de figuren).

Ondanks die spreiding kan toch besloten worden dat de PFAS samenstelling in omgevingslucht en depositie vrij goed overeen komt. Dit resultaat suggereert dat dezelfde lokale bronnen bepalend zijn voor de PFAS samenstelling van omgevingslucht en depositie.

7 LITERATUURGEGEVENS

7.1 PFAS IN DE OMGEVINGSLUCHT: REVIEW ARTIKEL

7.1.1 Samenvatting

In 2023 werd een review artikel gepubliceerd over PFAS in atmosferisch aerosol:

Faust, J.A., 2023. PFAS on atmospheric aerosol particles: a review. Environ. Sci.: Processes Impacts, 25, 133.

Abstract

Per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) zijn persistente organische verontreinigende stoffen die zorgwekkend zijn voor de menselijke gezondheid. Deze synthetische chemicaliën worden op grote schaal gebruikt voor consumentenproducten, brandbestrijdingsschuim en industriële toepassingen. Ze zijn over de hele wereld gedetecteerd, ook op afgelegen locaties ver verwijderd van mogelijke puntbronnen. Eén mechanisme voor het transport van PFAS over lange afstanden is via sorptie aan aerosol in de atmosfeer. PFAS kunnen door het breken van golven en het barsten van bellen van het zeeoppervlak worden overgebracht naar *seaspray*-aerosol, en PFAS die in de gasfase naar de atmosfeer worden uitgestoten, kunnen aan deeltjes worden geabsorbeerd. In het artikel wordt een uitgebreid overzicht gegeven van mondiale metingen van PFAS op fijnstof in de omgevingslucht, daterend vanaf de eerste rapporten uit het begin van de jaren 2000. De gegevens zijn samengevat voor de historisch belangrijke C8-soorten, perfluorooctaanzuur (PFOA) en perfluorooctaansulfonzuur (PFOS), inclusief detectie van isomeren en op grootte gescheiden metingen, evenals onderzoeken naar nieuwere en opkomende PFAS. Faust concludeert dat de lange termijn monitoring van PFAS op fijnstof moet worden uitgebreid naar meer meetlocaties in afgelegen regio's en dat verder non-target analyses om nieuwe PFAS-verbindingen te identificeren nodig is naarmate de productie en regelgeving van PFAS zich blijven ontwikkelen.

Enkele belangrijke vaststellingen:

- Bemonsteringstechnieken:
 - Meestal op filter met high-volume sampler
 - Mogelijkheid om deeltjes- en gasfase PFAS apart te bemonsteren
 - Aandacht voor blow-on, blow-off, doorbraak en collectie-efficiëntie (specifiek voor vluchtige PFAS, collectie-efficiëntie van glasvezel en kwartsvezel filters voor PFAS in de deeltjesfractie werd aangetoond)
 - Het review artikel focust enkel op de deeltjesfractie (*particle-phase only*)
- Lineaire versus vertakte PFAS:
 - Isomeric fingerprinting: verhouding voorkomen lineaire en vertakte PFAS isomeren
 - mogelijkheid om PFAS bronnen te traceren
- voorkomen PFAS in gasfase en deeltjesfase
 - Met behulp van verschillende sampling technieken voor gas- en deeltjesfase
 - Metingen bevestigen dat gas naar deeltjesfase toeneemt voor langere ketenlengte en dalende omgevingstemperatuur
- Deeltjesgrootte verdeling
 - Deeltjesgrootte waarop PFAS hechten is PFAS afhankelijk
 - In het algemeen vooral op de fijne en ultrafijne deeltjesfracties, met uitzondering van PFOS dat vooral in de grovere deeltjesfractie wordt gemeten

- PFAS transfer naar lucht via sea spray
 - PFAS is gemeten in zeewater over gans de wereld
 - Sterke aanrijking van PFAS in sea spray in vergelijking met zeewater
 - Sea spray is waarschijnlijk een belangrijk wereldwijd mechanisme voor PFAS emissies naar de lucht
- PFOA en PFOS zijn de meest bestudeerde PFAS
 - PFOS productie in US niet meer gerapporteerd aan de EPA sinds 2002
 - PFOA productie uitgefaseerd in de US, 95% reductie tegen 2010 en volledige stopzetting in 2015
 - Desondanks was PFOS de meest voorkomende PFAS (op totaal van 34) in PM_{2,5} in North Carolina in 2019
 - De concentraties waren wel niet zo hoog als recente gegevens uit China waar nog PFOS en PFOA geproduceerd wordt
- Nieuwe richtingen
 - Non-target analyse is nodig om de veranderende en nieuwe PFAS verbindingen in omgevingslucht te karakteriseren
 - Long-term monitoring in Zuidelijke regio's is ondervertegenwoordigd, nood aan data
 - Focus voor toekomstig onderzoek:
 - Standaardisatie, QA/QC, lineaire en vertakte PFAS
 - Simultane metingen zeewater, microlaag aan het oppervlak van het zeewater, deeltjes- en gasfase in de lucht

7.1.2 Vergelijken van gegevens

In Faust (2023) wordt een overzichtstabel gegeven van studies (30 referenties) waarbij PFOA en PFOS concentraties in PM in omgevingslucht werd bemeaten. De tabel is overgenomen in Bijlage E.

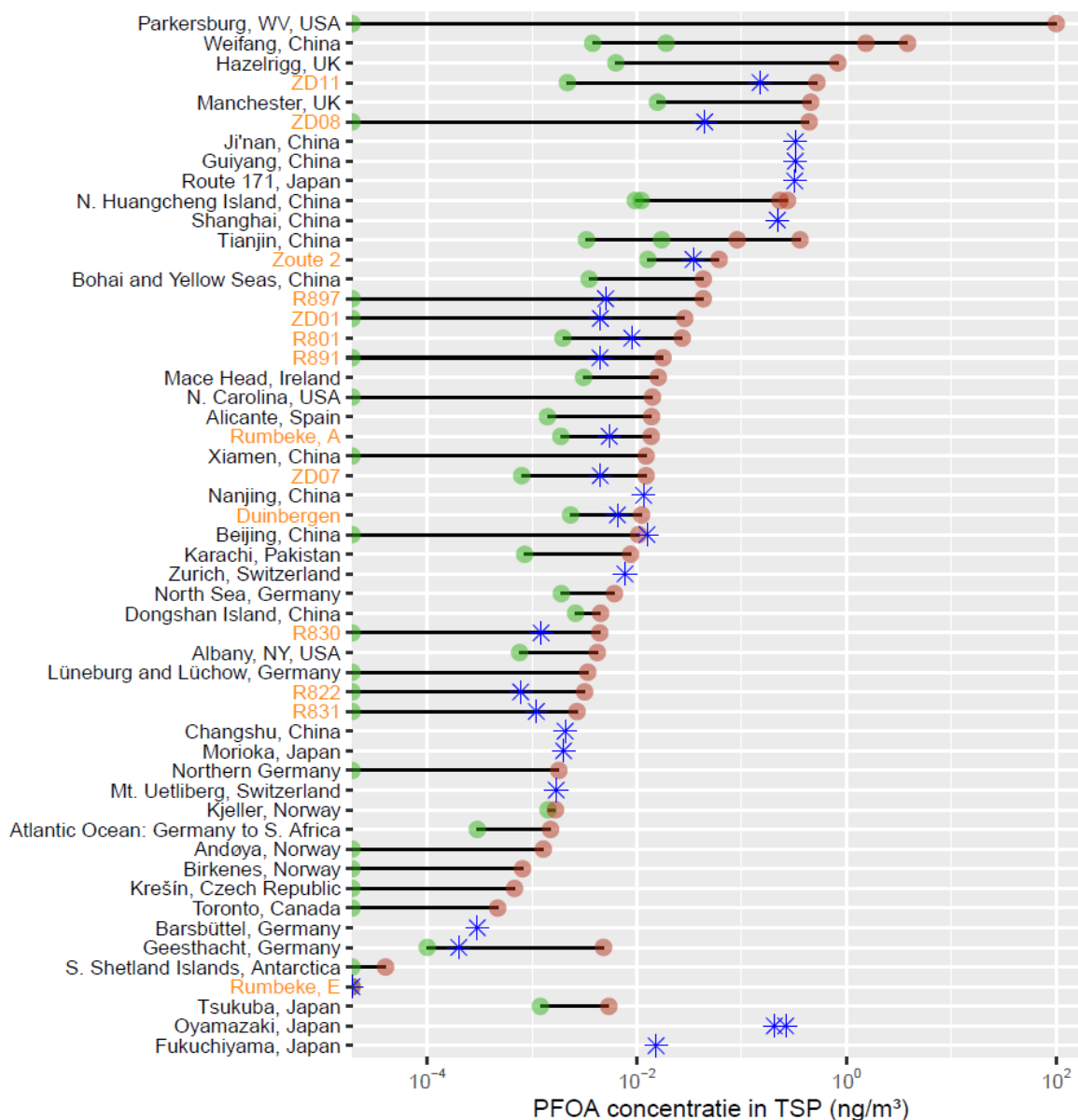
Om de metingen uit Vlaanderen te kunnen vergelijken met de literatuurgegevens, werden volgende aanpassingen gemaakt aan de data: (1) waarden die weergegeven zijn als "<", nd (onder LOD) of nq (onder LOQ) werden gelijk gesteld aan 0 (zowel voor data van deze studie als de internationale gegevens), (2) voor de PFOA en PFOS concentraties uit deze studie werd uitsluitend het meetresultaat op filter (deeltjesfase) weerhouden omdat de internationale gegevens ook enkel de deeltjesfase betreft, en (3) alle concentraties werden uitgedrukt in ng/m³.

Er werd een figuur gemaakt voor PFOA (Figuur 35) en PFOS (Figuur 36) afzonderlijk, waar telkens de internationale en Vlaamse data in geplot zijn. De metingen zijn gegroepeerd per meetplaats (verticaal). De concentraties zijn weergegeven als range (minimum waarde gedurende meetcampagne als groene bol, maximum als rode bol), als gemiddelde (blauwe ster), of als een combinatie van beide (naargelang de data beschikbaarheid). De data zijn gerangschikt volgens oplopende concentratie (enkele afwijkingen hierop wanneer er meerdere data voor eenzelfde meetlocatie beschikbaar zijn). De concentraties zijn geplot in log₁₀ schaal om de leesbaarheid te verbeteren (exacte waarden kunnen bekeken worden in Bijlage E).

Voor de vergelijking van de PFOA-concentraties (Figuur 35) stellen we vast dat op de Vlaamse meetplaatsen de PFOA concentratie sterk kan verschillen, met hogere concentraties op bv. ZD11 en ZD08 en de laagste concentratie nabij de stortplaats (Rumbeke E, geen PFOA gemeten). De ranges en gemiddeldes in Vlaanderen liggen in het bereik van de internationale data, al is de meting in Rumbeke de ondergrens van het bereik (opmerkelijk, want tweede laagste meetplaats ligt op Antarctica).

De meetlocaties ZD11 en ZD08 liggen aan de bovenkant van het bereik, met andere locaties waar maximale PFOA concentraties van boven 0,1 ng/m³ worden gemeten (6 locaties in China, 2 in de UK, 1 in Japan en de USA waar de hoogste concentraties gemeten werden in de buurt van een oude productiefaciliteit van Dupont, minstens twee grootteordes hoger dan de maximale waarde gemeten in Vlaanderen).

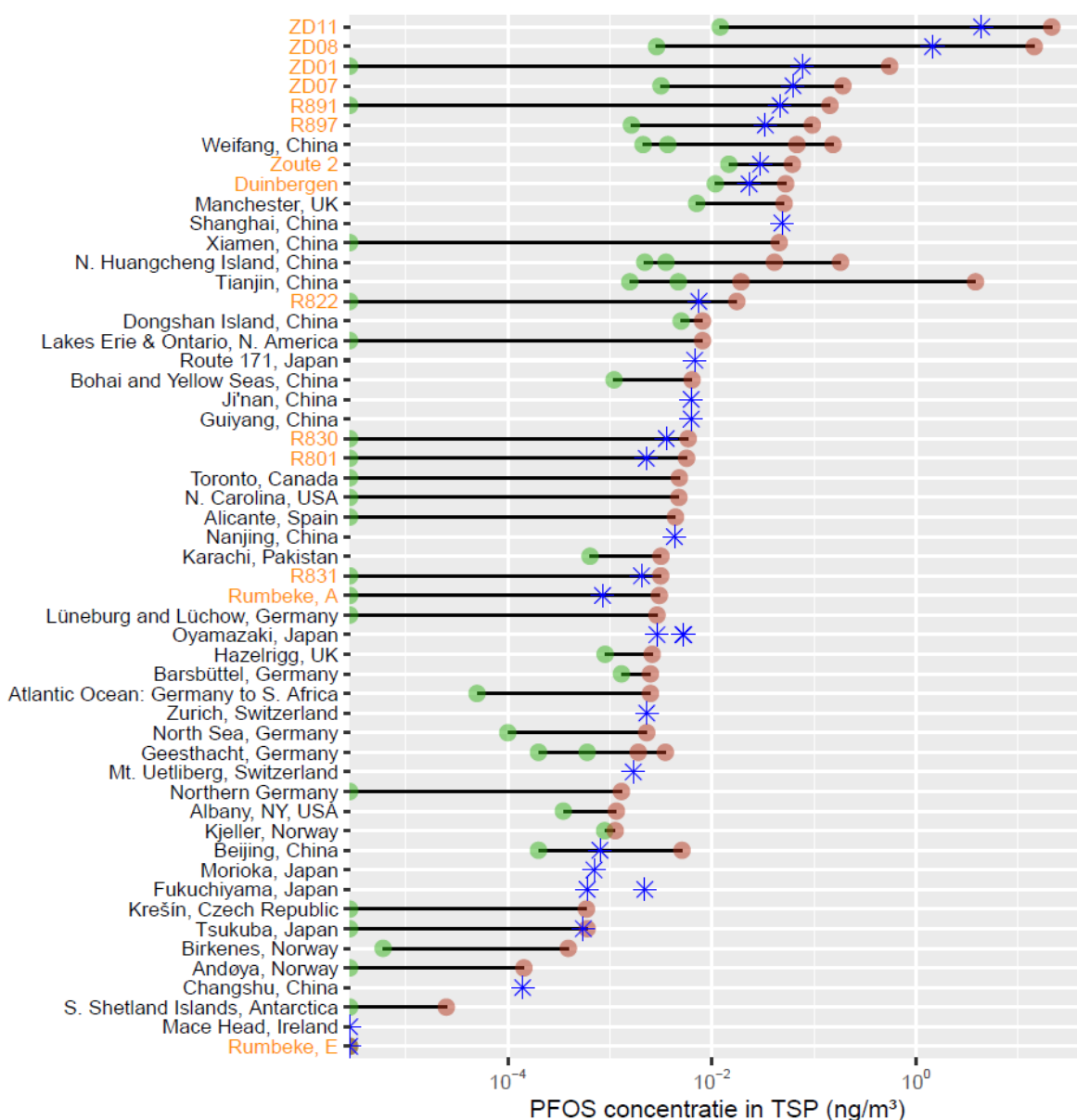
De PFOA concentratie die in de Vlaamse kustregio Zoute gemeten werd (max. 0,06 ng/m³) is hoger dan op andere meetplaatsen aan de zee zoals Macehead (Ierland, 0,016 ng/m³), North Sea, Germany (0,006 ng/m³) en Bohai and Yellow Seas (China, 0.043 ng/m³), maar lager dan Huangcheng Island, China (0,273 ng/m³). In Duinbergen is de maximaal gemeten PFOA concentratie 0,01 ng/m³.



Figuur 35: PFOA concentraties in TSP (PM fractie omgevingslucht): internationale gegevens uit Faust (2023) en metingen uit Vlaanderen.

Voor de vergelijking van de PFOS concentraties (Figuur 36) stellen we vast dat voor een groot aantal meetplaatsen in Vlaanderen, de PFOS-concentraties hoog zijn t.o.v. de internationale gegevens.

Met name op meetlocaties ZD11 en ZD08 worden de hoogste concentraties gemeten, maar ook op andere meetlocaties in de regio Zwijndrecht en haven van Antwerpen en in de kustregio worden verhoogde concentraties gemeten. In vergelijking met de internationale gegevens is het PFOS concentratiebereik op ZD11 en ZD08 te vergelijken met een industriële site van Tianjin (China) die bovendien aan de kust gelegen is. De maximale PFOS concentraties van Weifang (China, industrie) liggen een grootteorde lager dan de ZD11 en ZD08, in een concentratiebereik dat te vergelijken is met wat er op ZD01, ZD07, R897 en R891 gemeten wordt (idem voor Manchester en Shanghai, beide urban sites). De PFOS concentraties op de Vlaamse meetlocaties aan de kust (Duinbergen en Zoute) liggen significant hoger in vergelijking met andere kustregio's zoals Mace Head (Ierland) en North Sea (Duitsland), maar in hetzelfde meetbereik dat in Huangcheng Island (China) gemeten werd.



Figuur 36: PFOS concentraties in TSP (PM fractie omgevingslucht): internationale gegevens uit Faust (2023) en metingen uit Vlaanderen.

8 BESLUIT

De belangrijkste vaststellingen uit het onderzoek zijn:

- Op alle meetlocaties in Vlaanderen voor PFAS in omgevingslucht werd PFAS gedetecteerd. De PFAS verbindingen die frequent voorkomen in omgevingslucht zijn: PFOS, PFOA, PFBA en de indicatief gemeten verbinding PFPrA.
- Over het algemeen vallen alle meetlocaties onder de tijdelijke toetsingswaarde van 0,4 ng EFSA-PFAS/m³, met uitzondering van twee meetlocaties (ZD11 en ZD08) in de buurt van 3M.
- De PFOS-concentraties in omgevingslucht situeren zich op een aantal meetlocaties in de buurt van 3M bovenaan het bereik dat gemeten werd in internationale studies.
- De PFOS-concentraties in omgevingslucht op de Vlaamse meetlocaties aan de kust liggen in dezelfde grootteorde als een kustplaats in China en hoger dan op twee andere kustlocaties in Europa.
- Op alle Vlaamse meetlocaties voor PFAS in depositie werd PFAS in de depositie gedetecteerd. De PFAS verbindingen die frequent voorkomen in depositie zijn: PFOS, PFOA, PFBA en de indicatief gemeten verbinding PFPrA.
- Het verschil in PFAS-samenstelling tussen de locaties onderling in elk type gebied is opmerkelijk groter voor de deposities dan voor omgevingslucht.
- Voor depositie is er nog geen bruikbaar toetsingskader beschikbaar om de gemeten waarden aan af te toetsen.

LITERATUURLIJST

Jan Peters, Patrick Berghmans, Griet Jacobs, Stefan Voorspoels, Maarten Spruyt, Diane Bertels, Katleen De Bouwere, Jelle Hofman, Nady Hufkens, Ellen Poelmans, Masha Van Deun, 2022. STUDIE NAAR PFAS IN LUCHT EN DEPOSITIES IN DE OMGEVING VAN 3M EN ZWIJNDRECHT. VITO rapport 2022/HEALTH/R/2680.

Jennifer A. Faust, 2023. PFAS ON ATMOSPHERIC AEROSOL PARTICLES: A REVIEW. Environ. Sci.: Processes Impact, 25, 133.

Sander Vander Aa, Annouck Lescrauwaet, Tim Goelen, Greet Janssens 2021. BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN (BBT) TER BEPERKING VAN PFAS LUCHTEMISSIES https://emis.vito.be/sites/emis/files/study/resume/nl/BBT-PFAS-lucht_finale_draft_versie_17-11-2023.pdf

BIJLAGE A

LIJST VAN DE GEANALYSEERDE PFAS VERBINDINGEN

Component/Compound	Afkorting	depositie		Omgevingslucht (filter)		Omgevingslucht (PUF)	
		<i>U</i> (<i>k</i> =2)	<i>Opm.</i>	<i>U</i> (<i>k</i> =2)	<i>Opm.</i>	<i>U</i> (<i>k</i> =2)	<i>Opm.</i>
perfluor-n-propaanzuur	PFPrA	>50%	indicatief	>50%	indicatief	>50%	indicatief
perfluor-n-butaanzuur	PFBA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-pentaanzuur	PFPeA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-hexaanzuur	PFHxA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-heptaanzuur	PFHpA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-octaanzuur (lineair)	L-PFOA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-octaanzuur (totaal)	T-PFOA	-		-		-	
perfluor-n-nonaanzuur	PFNA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-decaanzuur	PFDA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-undecaanzuur	PFUnDA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-dodecaanzuur	PFDoDA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-tridecaanzuur	PFTTrDA	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
perfluor-n-tetradecaanzuur	PFTeDA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-hexadecaanzuur	PFHxDA	<50%		<50%		>50%	indicatief
perfluor-n-octadecaanzuur	PFODA	>50%	indicatief	>50%	indicatief	>50%	indicatief
perfluor-n-propaansulfonzuur	PFPrS	>50%	indicatief	<50%		<50%	
perfluor-n-butaansulfonzuur	PFBS	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-pentaansulfonzuur	PFPeS	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-hexaansulfonzuur (lineair)	L-PFHxS	<50%		<50%		<50%	
perfluorhexaansulfonzuur (totaal)	T-PFHxS	-		-		-	
perfluor-n-heptaansulfonzuur	PFHpS	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-octaansulfonzuur (lineair)	L-PFOS	<50%		<50%		<50%	
perfluor-octaansulfonzuur (totaal)	T-PFOS	-		-		-	
perfluor-n-nonaansulfonzuur	PFNS	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
perfluor-n-decaansulfonzuur	PFDS	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
perfluor-n-undecaansulfonzuur	PFUnDS	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
perfluor-n-dodecaansulfonzuur	PFDoDS	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
perfluor-n-tridecaansulfonzuur	PFTTrDS	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
4:2 fluortelomeersulfonzuur	4:2 FTS	>50%	indicatief	>50%	indicatief	>50%	indicatief
8:2 fluortelomeersulfonzuur	8:2 FTS	>50%	indicatief	>50%	indicatief	>50%	indicatief
10:2 fluortelomeersulfonzuur	10:2 FTS	>50%	indicatief	>50%	indicatief	>50%	indicatief
perfluor-n-butaansulfonamide	PFBSA	>50%	indicatief	<50%		<50%	
N-methylperfluor-n-butaansulfonamide	MePFBSA	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
2-N-methylperfluor-n-butaansulfonamide azijnzuur	MePFBSAA	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
perfluor-n-hexaansulfonamide (lineair)	L-PFHxSA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-n-hexaansulfonamide (totaal)	T-PFHxSA	-		-		-	

		depositie		Omgevingslucht (filter)		Omgevingslucht (PUF)	
perfluor-n-octaansulfonamide (lineair)	L-PFOSA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-octaansulfonamide (totaal)	T-PFOSA	-		-		-	
N-methylperfluor-n-octaansulfonamide (lineair)	L-MePFOSA	<50%		<50%		>50%	indicatief
N-methylperfluor-octaansulfonamide (totaal)	T-MePFOSA	-		-		-	indicatief
N-ethylperfluor-n-octaansulfonamide (lineair)	L-EtPFOSA	<50%		<50%		>50%	indicatief
N-ethylperfluor-octaansulfonamide (total)	T-EtPFOSA	-		-		-	indicatief
2-(N-methylperfluor-n-octaansulfonamido)azijnzuur (lineair)	L-MePFOSAA	<50%		<50%		<50%	
2-(N-methylperfluor-octaansulfonamido)azijnzuur (totaal)	T-MePFOSAA	-		-		-	
2-(N-ethylperfluor-n-octaansulfonamido)azijnzuur (lineair)	L-EtPFOSAA	<50%		<50%		<50%	
2-(N-ethylperfluor-n-octaansulfonamido)azijnzuur (totaal)	T-EtPFOSAA	-		-		-	
perfluor-n-decaansulfonamide	PFDSA	>50%	indicatief	>50%	indicatief	>50%	indicatief
6:2 fluortelomeerfosfaat diester	6:2 diPAP	<50%		<50%		>50%	indicatief
6:2/8:2 fluortelomeerfosfaat diester	6:2/8:2 diPAP	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
8:2 fluortelomeerfosfaat diester	8:2 diPAP	<50%		<50%		>50%	indicatief
perfluor-2-propoxypropaanzuur	HFPO-DA	<50%		<50%		<50%	
4,8-dioxa-3H-perfluornonaanzuur	ADONA	<50%		<50%		<50%	
perfluor-4-ethylcyclohexaansulfonzuur	PFECHS	>50%	indicatief	<50%		<50%	
9-chloorhexadecafluor-3-oxanonaan-1-sulfonzuur	9CI-PF3ONS	>50%	indicatief	<50%		<50%	
11-chlooreicosafluor-3-oxaundecaan-1-sulfonzuur	11CI-PF3OUndS	>50%	indicatief	<50%		>50%	indicatief
2,2-bis(4-hydroxyfenyl)hexafluorpropaan	BPAF	>50%	indicatief	>50%	indicatief	>50%	indicatief

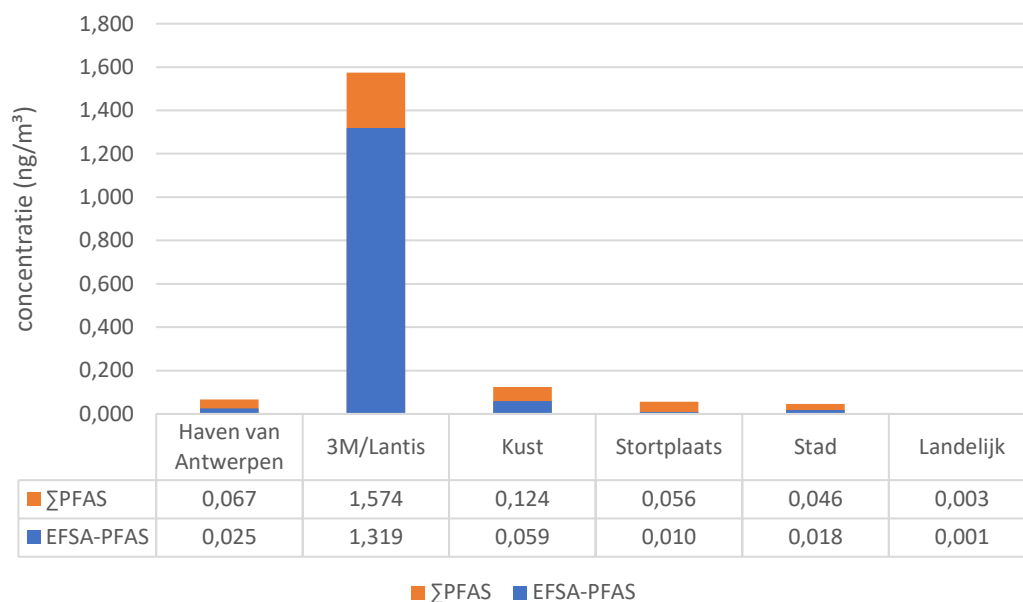
Indicatief/indicative : geen kwantitatief resultaat

U = measurement uncertainty 95% confidence

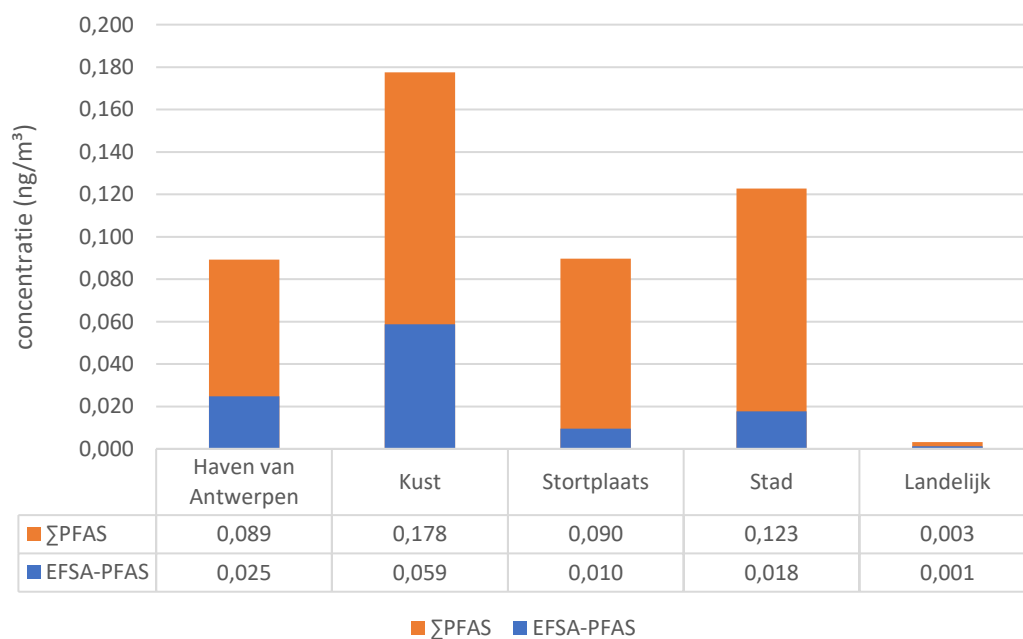
- : geen resultaat

BIJLAGE B

Gemiddelde van de luchtconcentraties per locatietype
(kwantitatief gemeten PFAS)

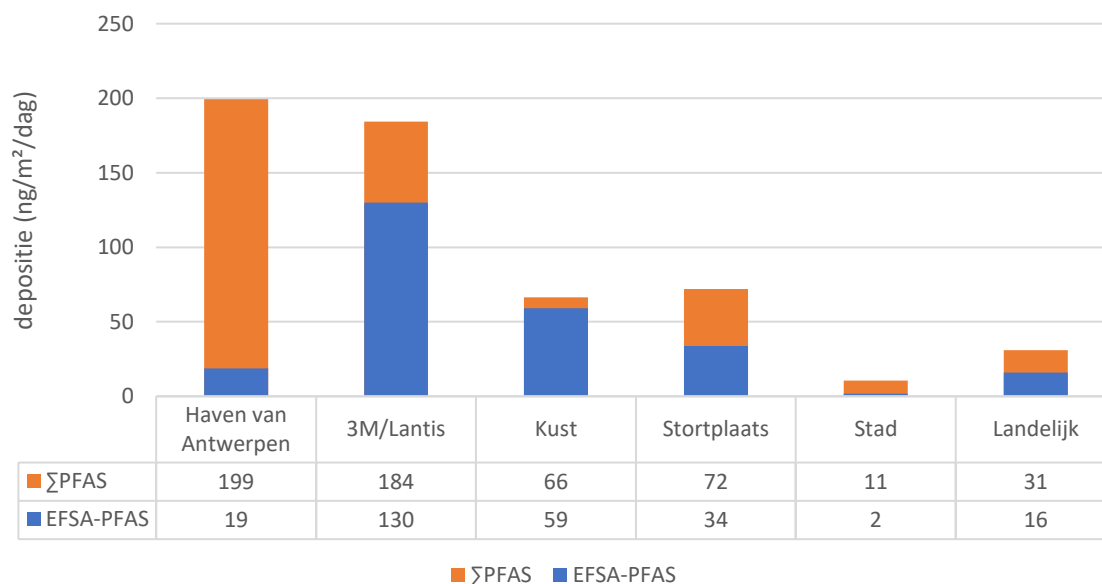


Gemiddelde van de luchtconcentraties per locatietype

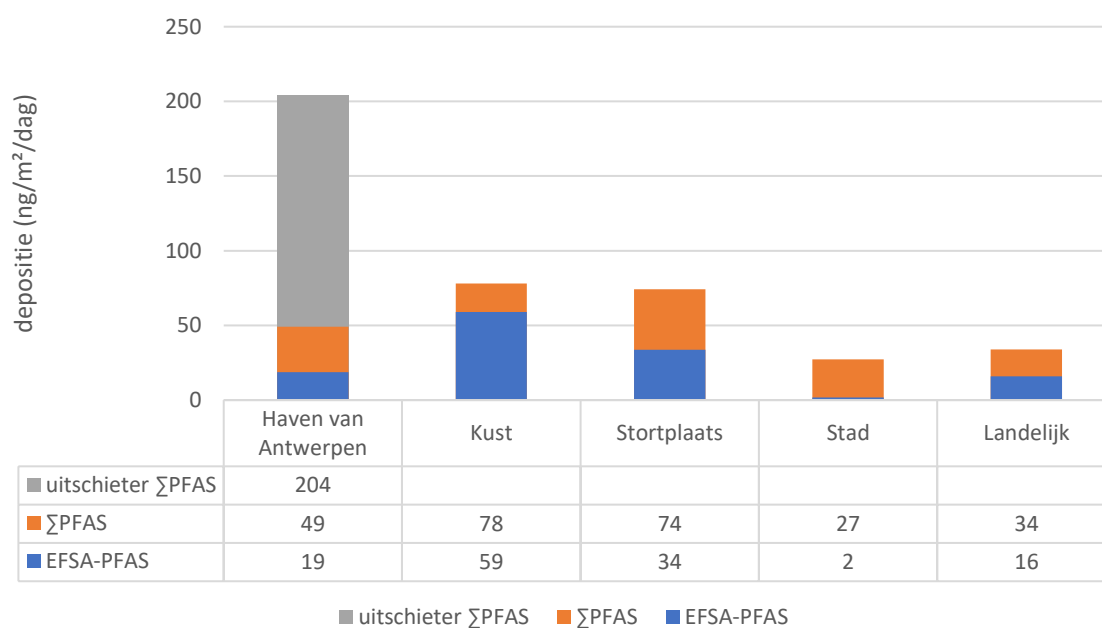


BIJLAGE C

Gemiddelde van de deposities per locatietype
(kwantitatief)



Gemiddelde van de deposities per locatietype

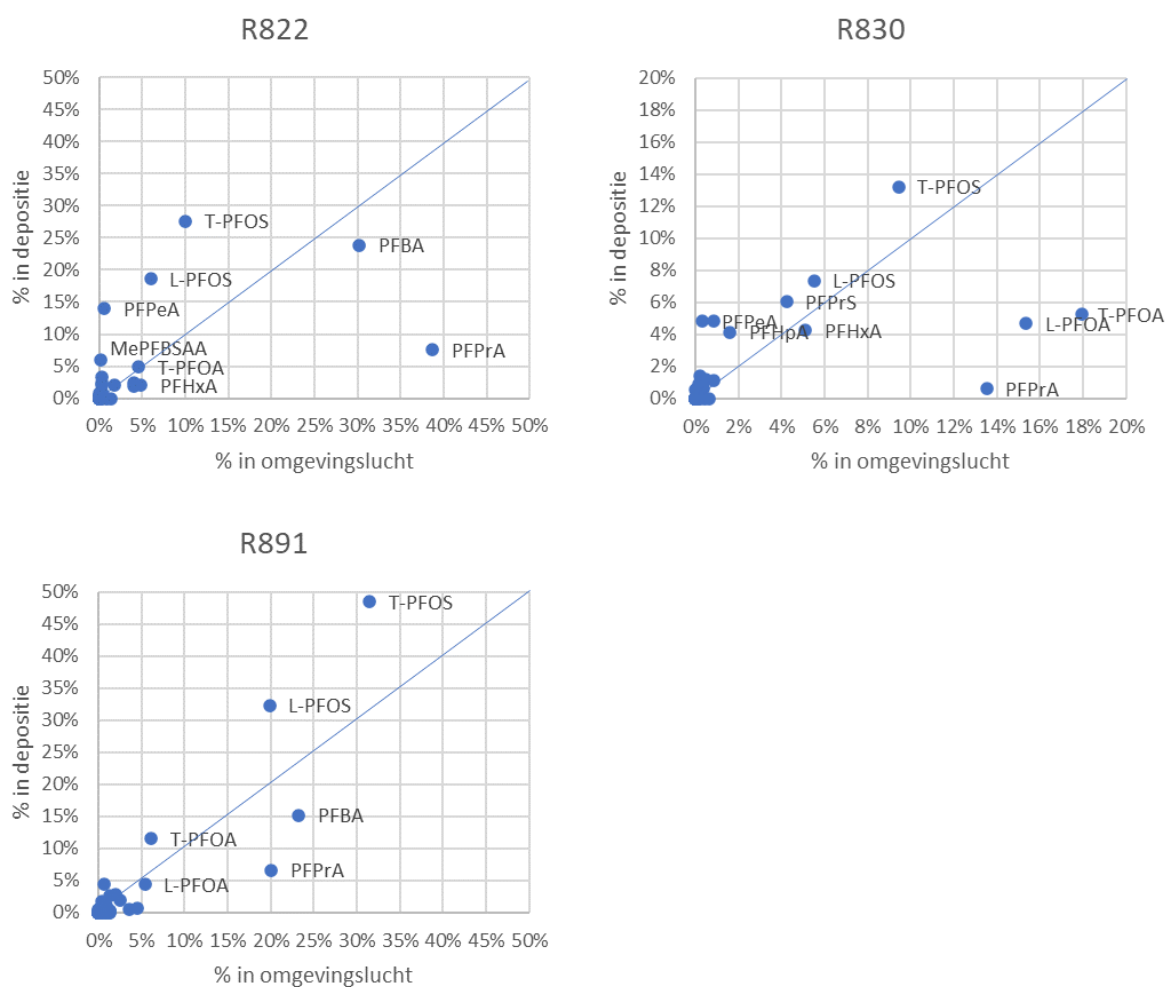


BIJLAGE D

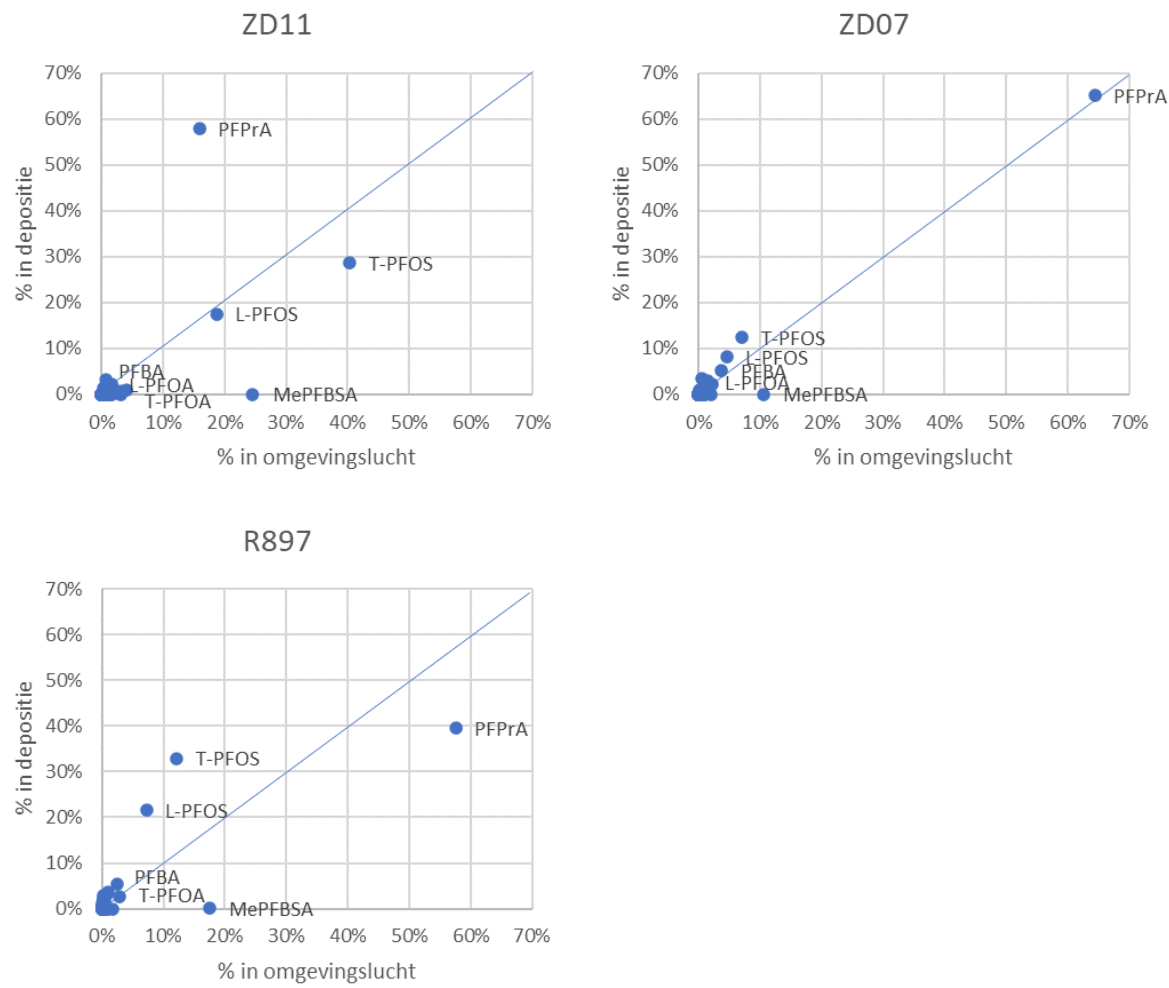
Scatterplots van %PFAS in omgevingslucht en depositie op meetplaatsen waar beide parameters samen bemonsterd werden (op basis van gemiddelden over de meetperiode).

Meetlocaties in de Haven van Antwerpen

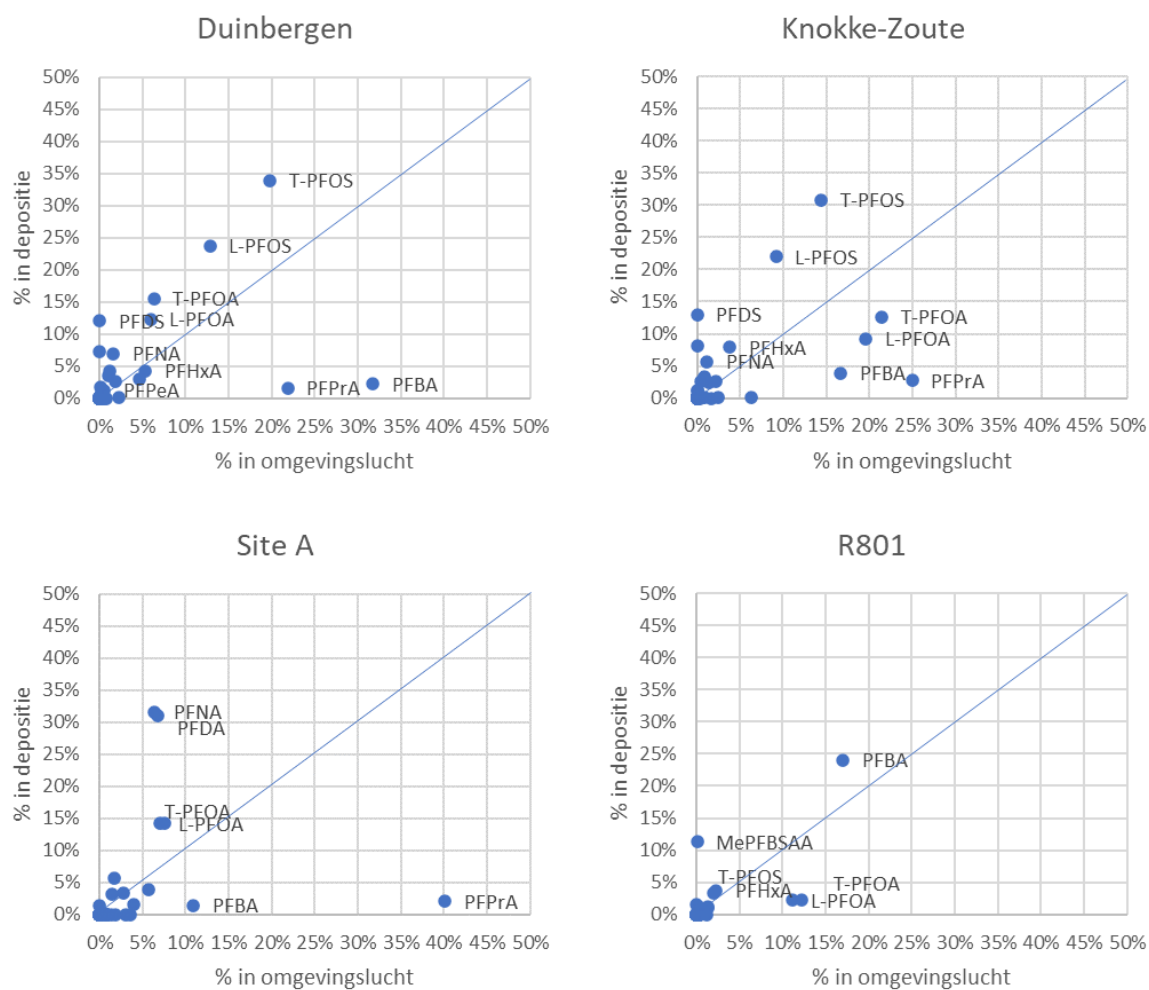
De figuur voor R831 is niet opgenomen wegens de uitschieter voor PFBA in depositie (98%) en andere deposities dicht bij 0%.



Meetlocaties in de buurt van 3M/Lantis



Meetlocaties aan de kust, naast een stortplaats en op stedelijke achtergrondlocatie.



BIJLAGE E

OVERZICHTSTABEL PFOA EN PFOS METINGEN UIT REVIEW ARTIKEL (2023)

PFOA en PFOS concentraties in PM in omgevingslucht. De waarden worden als range gegeven van minimum en maximum als deze beschikbaar zijn, of als gemiddelde (eventueel met standaard deviatie).

Ref	Year	Meetplaats	Type	Size	PFOA (pg/m ³)	PFOS (pg/m ³)
110	2001–2002	Fukuchiyama, Japan	U	—	—	0.6 ± 1.3
110	2001–2002	Oyamazaki, Japan	U	—	—	5.3 ± 1.2
111	2001–2002	Oyamazaki, Japan	U	—	262.7 ± 2.4	5.2
111	2003	Morioka, Japan	U	—	2.0 ± 1.2	0.7
7	2003–2004	Parkersburg, WV, USA	I	<0.28 to >4.0	<3400–1 × 10 ⁵	—
15	2005	Fukuchiyama, Japan	U	<0.46 to 100	15.2	2.2
15	2005	Oyamazaki, Japan	U	<0.46 to 100	205	2.9
15	2005	Route 171, Japan	U	<0.46 to 100	320	6.8
112	2005	Lakes Erie & Ontario, N. America	RM/SU	—	—	nd - 8.1
70	2005	Atlantic Ocean: Germany to S. Africa	M	—	0.3–1.5	0.05–2.5
96	2005	Kjeller, Norway	RR	—	1.42–1.67	0.89–1.13
96	2005	Manchester, UK	U	—	15.7–455	7.1–51
96	2005–2006	Hazelrigg, UK	SR	—	6.3–828	0.9–2.6
96	2006	Mace Head, Ireland	C/RR	—	3.1–16	<1.8
97	2006	Albany, NY, USA	U	—	0.76–4.19	0.35–1.16
99	2007	North Sea, Germany	M	—	1.9–6.1	0.1–2.3
101	2007–2008	Barsbüttel, Germany	SR	—	0.3 ± 0.4	1.3 ± 2.5
101	2007–2008	Geesthacht, Germany	SR	—	0.2 ± 0.4	0.6 ± 1.9
66	2007–2008	Geesthacht, Germany	SR	<0.14 to 11.4	0.1–4.8	0.2–3.5
102	2009	Lüneburg and Lüchow, Germany	SR/SU	—	nd – 3.4	nd – 2.9
10	2009	Northern Germany	I/RR/U	—	nd – 1.8	nd – 1.3
103	2010	Alicante, Spain	I/RR/RS	<2.5	1.4–13.8	<1.4 to 4.4
104	2010	Zurich, Switzerland	U	<70	7.7	2.3
104	2010	Mt. Uetliberg, Switzerland	RM	<70	1.7	1.7
50	2010	Toronto, Canada	SU	1–25	nd – 0.47	nd – 4.8
107	2012–2013	Karachi, Pakistan	C/I/U	—	0.85–8.70	0.64–3.17
52	2012–2014	Křešín, Czech Republic	RR	<10	nd – 0.68	nq - 0.59
58	2013	Beijing, China	U	<2.5	0–10.4	0.2–5.1
64	2013–2015	Shanghai, China	C/U	<0.4 to >9.0	219	48.6
31	2014sg	Weifang, China	I	>0.7	3.79–3820	3.70–68.1
31	2014wh	Weifang, China	I	>0.7	19.0–1530	2.12–154
31	2014s	Tianjin, China	C/I	>0.7	17.2–90.5	4.69–3830
31	2014w	Tianjin, China	C/I	>0.7	3.30–360	1.57–19.3
31	2014s	N. Huangcheng Island, China	M	>0.7	11.0–273	3.55–182
31	2014w	N. Huangcheng Island, China	M	>0.7	9.65–232	2.20–41.2
21	2014–2015	Beijing, China	U	<2.5 and >2.5	12.5	0.8
21	2014–2015	Changshu, China	U	<2.5 and >2.5	2.07	0.14
21	2014–2015	Guiyang, China	U	<2.5 and >2.5	325	6.28
21	2014–2015	Ji'nan, China	U	<2.5 and >2.5	325	6.28

Ref	Year	Meetplaats	Type	Size	PFOA (pg/m ³)	PFOS (pg/m ³)
21	2014–2015	Nanjing, China	U	<2.5 and >2.5	11.6	4.3
71	2016	Bohai and Yellow Seas, China	M	>0.7	3.5–43	1.1–6.4
16	2014–2016	Tsukuba, Japan	SU	<0.5 to >10	1.2–5.4	nd – 0.6
33	2018	S. Shetland Islands, Antarctica	M/RM	0.1–2	nd – 0.04	nd – 0.025
67	2018–2019	Xiamen, China	C/U	<1 to >10	nd – 12.23	nd – 45.66
72	2018–2019	Birkenes, Norway	M	—	<0.003–0.811	0.006–0.392
72	2018–2020	Andøya, Norway	M	—	<0.003–1.28	<0.004–0.144
88	2019	N. Carolina, USA	RS	<2.5	nq – 14.06	nq – 4.75
60	2019–2020	Dongshan Island, China	M	<1 to >10	2.6–4.5	5.0–8.1
108	2020	Tsukuba, Japan	SU	>1 to >10	—	0.55

Ref : referenties, zie Faust, J.A., 2023. PFAS on atmospheric aerosol particles: a review. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 25, 133

Type : C = coastal, I = industrial, M = marine, RM = remote, RR = rural, RS = residential, SR = semirural, SU = semiurban, U = urban.

Size : diameter range of particles sampled

nd = less than limit of detection, nq = less than limit of quantification

vision on technology for a better world

