

Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Rijkswateren

Concentraties in water en biota tussen 2008 en 2020

M.T.O. Jonker



Utrecht University

Institute for Risk
Assessment Sciences (IRAS)

Colofon

Auteur: Dr. ir. Michiel T.O. Jonker
Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht
[REDACTED]@uu.nl

Datum: april 2021

In opdracht van: RWS-WVL
Dr. C. Hogendoorn
Dr. A.C.H. Jans
Drs. M.C. Kotte

Samenvatting

Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) zijn door de mens gemaakte stoffen, die in grote hoeveelheden in het milieu terechtkomen via afvalstromen en het gebruik van PFAS-bevattende producten. De stoffen zijn zeer slecht afbreekbaar, hopen op in organismen en zijn veelal giftig. Ze zijn alom aanwezig in de Rijkswateren, inclusief de Noordzee, waar RWS de stoffen sinds 2008 meet. In dit rapport worden de 2008-2020 PFAS-monitoringsgegevens van RWS geanalyseerd. De analyse toont aan dat de jaargemiddelde PFAS-concentraties in de ng/L range liggen en op de verschillende meetlocaties relatief weinig verschillen ('hot spot' locaties in de Schelde en bij Sas van Gent daargelaten), net als de onderlinge verhoudingen tussen de stoffen (stofprofielen). Dit suggereert dat PFAS in de Rijkswateren hoofdzakelijk diffuse bronnen hebben en dat de aanvoer vooral via de grote rivieren plaatsvindt. Vrachtberekeningen tonen aan dat er via deze route in 2019 zeker tweeëneenhalve ton PFAS het land binnenkwam, met name via de Rijn. Naast deze route zijn er eveneens puntbronnen, zoals bij Chemours in Dordrecht (GenX), waarschijnlijk in het Kanaal van Gent naar Terneuzen en mogelijk in de Maas. Deze bronnen komen naar voren uit de gemeten concentraties rondom de bronnen, uit vrachtberekeningen, of uit afwijkende stofprofielen. Voor de meeste PFAS zijn de jaargemiddelde concentraties door de jaren heen relatief stabiel, zeker gedurende de afgelopen vijf jaar. Voor enkele PFAS zijn er echter langetermijntrends in de concentraties te zien. Dit betreft met name, maar niet uitsluitend, PFOS en PFOA, waarvan de concentraties in de grote rivieren in de loop van enkele jaren met een factor 1,5 tot 3 zijn gedaald. Deze dalingen lijken ingezet te zijn na het instellen van restricties (PFOS) en vervanging door andere PFAS (PFOA), maar zijn circa vijf jaar geleden tot stilstand gekomen. De waarschijnlijke terugdringing van de emissies van GenX door Chemours rond 2018 lijkt zich eveneens vertaald te hebben in een verlaging van de gemeten concentraties van deze stof in de Rijkswateren nabij dit bedrijf. Voor de drie laatstgenoemde PFAS gelden er, als enige PFAS, normen voor oppervlaktewater. De norm voor PFOS (0,65 ng/L voor zoete en 0,13 ng/L voor zoute wateren) wordt op alle meetlocaties overschreden. Voor PFOA en GenX liggen alle gemeten concentraties daarentegen (ruim) onder de geldende normen (48 ng/L en 118 ng/L respectievelijk).

Naast in oppervlaktewater, worden PFAS in opdracht van RWS eveneens in biota (met name vis) geanalyseerd sinds 2017. In biota afkomstig van vijftien locaties, inclusief locaties in de Noordzee, zijn een tiental PFAS aangetroffen, waarbij de meest gecontamineerde vis uit de Westerschelde komt. Deze vis, net als die op acht andere locaties, voldoet niet aan de geldende norm voor PFOS in biota (9,1 µg/kg nat gewicht). Er zijn te weinig gegevens aanwezig om een uitspraak te kunnen doen over eventuele trends in PFAS-concentraties in biota, maar door de gegevens te combineren met gegevens voor de waterfase, zijn wel bioaccumulatiefactoren (BAFs) afgeleid. Deze factoren leveren belangrijke informatie over de ophoping van PFAS in biota, zoals de verschillen tussen verschillende PFAS en het ogenschijnlijk ontbreken van verschillen in bioaccumulatie tussen zoet- en zoutwatersoorten.

De huidige data-analyse benadrukt de noodzaak tot het snel afleiden van normen voor veel meer alom aanwezige PFAS, het in kaart brengen van (binnenlandse) bronnen en het tegelijkertijd inzetten op (inter)nationale maatregelen ter reductie van productie, gebruik en lozingen van de stoffen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Gebruikte afkortingen	4
1. Inleiding	6
2. Data en data-analyse	9
2.1. Gebruikte databases	9
2.2. Selectie stoffen	9
2.3. Selectie bemonsteringslocaties	10
2.4. Data analyse	11
3. PFAS in de waterfase	14
3.1. Jaargemiddelde concentraties	14
3.2. Stofprofielen	16
3.3. Vrachten	18
3.4. Temporele trends	20
3.5. Normtoetsing	23
4. PFAS in biota	26
4.1. Algemene toestand	26
4.2. Stofprofielen	28
4.3. Normtoetsing	29
5. Concentraties in water en biota gelinkt: bioaccumulatie	31
6. Conclusies	35
7. Aanbevelingen	37
Literatuur	39
Bijlagen	41
A. Bemonsteringsfrequenties water	42
B. Grafische weergave jaargemiddelde concentraties PFAS in water	43
C. Locatie-specifieke PFAS-stofprofielen	97
D. Grafische weergave PFAS-vrachten	101
E. Grafische weergave PFAS-concentraties in biota	131
F. Locatie-specifieke bioaccumulatiefactoren	135

Gebruikte afkortingen

Stoffen

PFBA	Perfluorbutaanzuur
PFPeA	Perfluorpentaanzuur
PFHxA	Perfluorhexaanzuur
PFHpA	Perfluorheptaanzuur
PFOA	Perfluoroctaanzuur
PFNA	Perfluornonaanzuur
PFDA	Perfluordecaanzuur
PFUdA	Perfluorundecaanzuur
PFDoA	Perfluordodecaanzuur
PFTDA	Perfluortridecaanzuur
PFBS	Perfluorbutaansulfonzuur (lineaire keten)
PFPeS	Perfluorpentaansulfonzuur (lineaire keten)
PFHxS	Perfluorhexaansulfonzuur (lineaire keten)
PFOS	Perfluoroctaansulfonzuur (som lineaire en vertakte ketens)
GenX	(2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propaanzuur (HFPO-DA, FRD-903)
EtFOSAA	N-ethyl-perfluoroctaan sulfonamidoazijnzuur
6:2 FTS	2-(perfluorhexyl)ethaan-1-sulfonzuur (6:2 fluortelomeersulfonzuur)

Locaties

AMSDM	Amsterdam
ANTWKNPD2	Antwerps kanaalpand
BOCHTVWTM	Bocht van Watum (Eems-Dollard)
BOVSS	Bovensluis (Haringvliet Oost)
BRIENOD	Brienoord (Nieuwe Maas)
DANTZGT	Dantzigat (Waddenzee)
DOGGBK	Doggersbank (Noordzee)
DREISR	Dreischor (Grevelingenmeer)
EIJSDPTN	Eijsden ponton (Bovenmaas)
GOUDVHVN	Gouda Voorhaven (Hollandsche IJssel)
HARVSS	Haringvlietsluis (Haringvliet West)
IJMDN1	IJmuiden (Noordzeekanaal)
IJMDWT80	IJmuiden, 80 km uit de kust
KAMPN	Kampen (IJssel)
KEIZVR	Keizersveer (Bergsche Maas)
KETMWT	Ketelmeer (west)
KNUITHK	Knuitershoek (Westerschelde)
LOBPTN	Lobith ponton (Bovenrijn)
MAASSS	Maassluis (Nieuwe Waterweg)
MARKMMDN	Markermeer (midden)
MIDDGBWPMLPT	Middelgat, Brouwersplaat, Molenplaat (Westerschelde)
NIEUWGN	Nieuwegein (Amsterdam-Rijnkanaal)
NOORDWK2	Noordwijk, 2 km uit de kust (Hollandse kust)
NOORDWWT	Noordwijk-West (Hollandse kust)
PAAPGTGRDPT	Paap, Groote Gat, Reiderplaat (Eems-Dollard)
SASVGT	Sas van Gent (Kanaal van Gent naar Terneuzen)

SCHAARVODDL	Schaar van Ouden Doel (Westerschelde)
STEENBGN	Steenbergen (Volkerak-Zoommeer)
TERSLNWT40	Terschelling, 40 km ten Noord-Westen van de kust
VELWMMDN	Veluwemeer (midden)
VROUWZD	Vrouwezand (IJsselmeer)
WALCRN2	Walcheren, 2 km voor de kust (Zeeuwse kust)

Algemeen

AA-EQS	Annual average environmental quality standard
BAF	Bioaccumulatiefactor
JG-MKN	Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm
logBAF	Logaritme van de bioaccumulatiefactor
RWS	Rijkswaterstaat
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
WMR	Wageningen Marine Research
ZZS	Zeer Zorgwekkende Stof

1. Inleiding

Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) behoeven tegenwoordig nog maar weinig introductie. Het betreft een groep van meer dan 4700 door de mens gemaakte stoffen (OECD, 2018), waarvan enkele al sinds de jaren 40 van de vorige eeuw worden geproduceerd. De afgelopen twee decennia is veel onderzoek verricht naar PFAS, waarbij negatieve effecten voor de gezondheid en het milieu naar voren zijn gekomen. De stoffen staan daardoor steeds meer in de belangstelling, met aandacht in de media en zelfs directe maatschappelijke gevolgen, zoals het in 2019 stilleggen van de Nederlandse bouwactiviteiten, vanwege het overschrijden van PFAS-normen in bodem. Door deze bodemcrisis lijkt in Nederland minder maatschappelijke en beleidsmatige aandacht uit te gaan naar PFAS in oppervlaktewater, terwijl juist dit het milieucompartiment is waar naar verwachting uiteindelijk de meeste PFAS terecht zullen komen. Dit rapport heeft als doel de door RWS gedurende de afgelopen 13 jaren verzamelde gegevens over PFAS in de Rijkswateren algemeen toegankelijk te maken en meer aandacht te vragen voor het probleem 'PFAS in water'.

Eigenschappen en toepassingen van PFAS

PFAS betreft een groep van zeer diverse verbindingen, waaronder zowel polymeren als niet-polymeren vallen. In alle gevallen bezitten de verbindingen koolstofketens, waar fluoratomen aan vast zitten. De exacte definitie van welke stoffen er wel en niet tot de groep behoren, staat momenteel nog ter discussie, maar PFAS bevatten hoe dan ook $-C_nF_{2n+1}$ -fragmenten en volgens sommigen behoren ook stoffen met $-C_nF_{2n}-$ fragmenten tot de PFAS-familie (OECD, 2018). Dankzij de bijzonder sterke binding tussen koolstof- en fluoratomen zijn PFAS chemisch en thermisch zeer stabiel, wat de stoffen aantrekkelijk maakt voor toepassingen in tal van industriële en commerciële producten en processen. Waar PFAS oorspronkelijk zijn ontwikkeld als surfactanten en water- en vuilafstotende middelen, hebben ze tegenwoordig toepassingen in bijna alle industriële takken en in veel consumentenproducten. Hoewel de toepassingen in pannen met anti-aanbaklaag, brandblusschuim en impregneermiddelen voor textiel, tapijten en leer alom bekend zijn, leverde een recente inventarisatie meer dan 200 toepassingen in 64 categorieën op, voor meer dan 1400 individuele PFAS (Glüge et al, 2020). Zo worden PFAS toegepast in elektronische producten (printplaten, LCD schermen, mobiele telefoons), verven en coatings, cosmetica, persoonlijke verzorgingsmiddelen, farmaceutica (bijvoorbeeld oogdruppels), printerinkt, lijmen en kitten, airconditioningssystemen, munitie, medische apparatuur en medische middelen, pesticiden, windmolens, zonnecollectoren, batterijen, boorvloeistof voor de olie- en gasindustrie, in de auto-industrie en zelfs bij bodemsanering. Hoewel het aantal op dit moment bekende toepassingen zeer uitgebreid is, is het werkelijke aantal hoogstwaarschijnlijk nog veel hoger en bestaat er momenteel nog zeer veel onduidelijkheid over productievolumes en gebruik van specifieke PFAS (Glüge et al, 2020). De vele toepassingsmogelijkheden zijn het resultaat van het grote aantal bestaande PFAS, dat een enorme verscheidenheid aan fysisch-chemische eigenschappen, zoals oplosbaarheid in water en vluchtigheid, met zich meebrengt. Dit zorgt ervoor dat er meerdere routes zijn volgens welke PFAS kunnen worden opgenomen in het lichaam en terecht kunnen komen in het milieu, alwaar ook hun gedrag zeer divers kan zijn.

Bronnen voor het (aquatische) milieu

PFAS kunnen in het milieu terechtkomen via (1) afvalwater en -gassen van PFAS-producerende bedrijven, (2) het vrijkomen van de stoffen uit producten tijdens gebruik, door slijtage, uitloging of vervluchtiging, en (3) afvalwater en -stromen van afvalverwerkende bedrijven en installaties, inclusief rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZIs). Hoewel op het eerste gezicht met name afvalwaterlozingen

belangrijk lijken voor het aquatische milieu, is atmosferische depositie een niet te verwaarlozen route voor in ieder geval afgelegen watersystemen (Valsecchi et al, 2021) en is oppervlakkige afspoeling van PFAS vrijkomend via de tweede route eveneens een potentiële bron, bijvoorbeeld bij brandbluslocaties (voor zowel oefeningen als calamiteiten). Een recente verkenning door RWS suggereerde dat binnenlandse bronnen voor het Nederlandse oppervlaktewater met name te vinden zijn bij de afvalverwerkende bedrijven van bouw-, sloop- en bedrijfsafval, RWZIs, zuiveringsinstallaties van industrieel afvalwater, stortplaatsen van met PFAS verontreinigde bodem en bagger, en de papier(verwerkende) industrie (Jans en Berbee, 2020).

Gedrag in het milieu

Fluorpolymeren zijn niet erg mobiel in het milieu en hiervan zijn bovendien weinig schadelijke effecten te verwachten (tenzij zij afbreken tot nano- of microplastics). Het zijn daarentegen hoofdzakelijk de niet-polymeren (monomeren) die alom verspreid in het milieu voorkomen en die schadelijke effecten voor mens en dier veroorzaken. Stoffen als perfluorcarbonsuren, perfluorsulfonzuren en fluortelomeren met ketens van minder dan circa 14 koolstofatomen worden aangetroffen in (water)bodems, water en organismen. Dergelijke stoffen hebben naast hun apolaire (hydrofobe), fluor-bevattende of met fluor verzadigde, koolstofketen ook een polaire kopgroep, zoals een carbonzuur- of sulfonzuurgroep. Hoewel de apolaire keten zorgt voor een zekere mate van hydrofobiciteit, zorgt de polaire kopgroep ervoor dat de stoffen (relatief) goed oplosbaar zijn in water, waardoor de mobiliteit van deze stoffen desondanks groot is. Ook blijken veel van deze stoffen over lange afstanden door de lucht te kunnen worden getransporteerd. Tijdens het transport door water en lucht, maar ook tijdens een verblijf in RWZIs, kunnen PFAS afbreken tot andere PFAS. De uiteindelijke afbraakproducten zijn veelal perfluorcarbonsuren en perfluorsulfonzuren, die zeer persistent in het milieu zijn (Brendel et al., 2018). Deze stoffen hebben echter soms ook een eigen toepassing en zijn daarmee zowel 'precursors' als afbraakproducten. Dit geldt niet voor bijvoorbeeld perfluorcarbonsuren met een koolstofketen van 9-12 koolstofatomen, die geen toepassing kennen in de EU, maar wel veelvuldig worden aangetroffen in het milieu en waarvan dus geconcludeerd mag worden dat ze slechts de stabiele eindproducten zijn van het afbraakproces van fluortelomeer-precursors (Valsecchi et al, 2021). De uiteindelijke concentratie van een specifieke PFAS of de samenstelling van een PFAS-mengsel in een bepaald milieucompartiment, zoals een waterlichaam, hangt daarom af van zowel het emissieprofiel als de degradatiemogelijkheden (biotisch en abiotisch) en de fysisch-chemische eigenschappen van de oorspronkelijk uitgestoten PFAS en de tussen- en afbraakproducten. Met andere woorden, het gedrag van PFAS in het abiotische milieu is zeer dynamisch en moeilijk te voorspellen. Hetzelfde geldt voor de opname van PFAS in organismen; het bioaccumulatieproces. Hoewel er veel kennis over dit proces bestaat voor hydrofobe apolaire stoffen, zoals PCBs, is er nog relatief weinig kennis over bioaccumulatie van PFAS en is het onduidelijk door welke factoren het wordt gestuurd (Burkhard, 2021; Ankley et al., 2021). Duidelijk is wel dat veel PFAS ophopen in aquatische organismen, wat in potentie kan leiden tot ecotoxicologische effecten, humaan toxicologische effecten via de consumptie van vis en schaaldieren, en risico's voor doorvergiftiging in de voedselketen. In meerdere studies is aangetoond dat er voor PFAS met meer dan zes koolstofatomen sprake kan zijn van biomagnificatie, ofwel het toenemen (stapelen) van de PFAS-concentratie als functie van het trofische niveau in een voedselketen (Houde et al., 2006, 2011; Loi et al., 2011).

(Eco)toxicologische effecten

De opname van PFAS in organismen (planten, dieren, mensen) kan leiden tot een breed scala aan toxicologische effecten. Er is inmiddels relatief veel bekend over de mogelijke effecten van helaas slechts een zeer kleine groep PFAS, met name perfluorooctaanzuur (PFOA) en perfluorooctaansulfonzuur (PFOS). De kennis is afkomstig uit proefdierstudies, maar ook uit epidemiologische studies, waarin is

aangetoond dat blootstelling van de mens aan deze PFAS kan leiden tot onder andere nier- en testiskanker, aandoeningen aan de schildklier en lever, immunologische effecten, hoge cholesterolgehalten en reproductie- en ontwikkelingsstoornissen (Fenton et al., 2021). De exacte onderliggende mechanismen zijn echter nog niet ontrafeld. Voor aquatische en terrestrische invertebraten, vis, vogels en amfibieën zijn eveneens vele effecten aangetoond (Ankley et al., 2021). Dit zijn met name aspecifieke effecten op overleving, groei, reproductie en ontwikkeling, maar meer specifieke effecten zijn ook waargenomen, zoals geno- en neurotoxiciteit en veranderingen in enzymlevels. Over het algemeen wordt gevonden dat PFAS met langere ketens giftiger zijn dan PFAS met korte ketens (C₄) en dat perfluorsulfonzuren giftiger zijn dan perfluorcarbonsuren (Ankley et al., 2021).

Normen

Naar aanleiding en op basis van de bovengenoemde toxicologische studies en effecten zijn in vele landen normen afgeleid, die de maximaal toegestane concentraties van enkele PFAS in specifieke milieucompartimenten voorschrijven. In Nederland gelden (Europese) normen voor PFOA, PFOS en het zogenaamde 'GenX' voor oppervlaktewater en drinkwater, waarbij voor PFOS eveneens een norm voor maximaal toegestane concentraties in vis aanwezig is. De Europese normen zijn in vergelijking met de geldende normen in andere werelddelen over het algemeen streng te noemen (Zodrow et al., 2021; Ankley et al., 2021), maar anderzijds mag het duidelijk zijn dat normen voor slechts drie stoffen die behoren tot een groep van meer dan 4700 individuele verbindingen, een enorme onderschatting van een potentieel probleem weerspiegelt. In veel landen klinkt daarom de roep om normen voor meer PFAS en/of zijn inmiddels normen afgeleid voor meer stoffen en/of compartimenten en doelorganismen (Zodrow et al., 2021; Ankley et al., 2021).

Dit rapport

Het huidige rapport is het vervolg op een eerdere rapportage (Jonker, 2017), waarin een data-analyse werd gepresenteerd van PFAS-concentraties in de Rijkswateren, zoals die waren gemeten tussen 2008 en 2016. In het huidige rapport wordt deze data-analyse geactualiseerd, door het toevoegen van vier jaar aan monitoringgegevens. Hierdoor is het beter mogelijk uitspraken te doen over eventuele trends in PFAS-concentraties en vrachten door de jaren heen en kunnen bovendien de actuele concentraties worden getoetst aan de inmiddels van kracht geworden normen voor PFOA en GenX. Daarnaast richt de huidige data-analyse zich op een aangepast stoffenpakket en worden naast concentraties in water ook concentraties in biota gemeten tussen 2017 en 2019 meegenomen in de data-analyse. Dit maakt het mogelijk om te toetsen aan de PFOS-biotanorm en om water en biota aan elkaar te koppelen en zodoende meer inzicht te krijgen in bioaccumulatie van PFAS in de Nederlandse wateren.

2. Data en data-analyse

2.1. Gebruikte databases

Voor de huidige data-analyse is gebruik gemaakt van meerdere databases. PFAS-concentraties in de waterfase (totaal water; inclusief zwevend stof) zijn opgevraagd uit de RWS LIMS-database. In deze database zijn concentraties van alle gemeten PFAS op alle RWS-bemonsteringslocaties opgenomen, zoals die door RWS zijn gemeten sinds 2013. Data zijn opgevraagd in 2021 op het moment dat alle 2020 data reeds aanwezig waren. Concentraties van voor 2013 staan niet in LIMS, maar zijn aanwezig in DONAR; echter, in deze database zijn voor enkele PFAS de gemeten concentraties vervangen door rapportagegrenzen. Ook data van voor 2010 ontbreken in DONAR. Een deel van de 2008 t/m 2013 data is daarom toegevoegd aan de data uit LIMS en DONAR vanuit een oudere database, welke in 2017 is gemaakt ten behoeve van een eerdere data-analyse (Jonker, 2017). Deze oudere database is gemaakt op basis van originele Excelbestanden, zoals die door RWS in 2017 zijn aangeleverd. Een aantal 'cross checks' is uitgevoerd op de overlap van de databases om de correctheid van de uiteindelijke database te waarborgen. Deze uiteindelijke database bevatte zodoende PFAS-concentraties gemeten in de waterfase van 2008 t/m 2020; en beslaat daarmee een periode van 13 jaar. Omdat in de eerste jaren echter alleen PFOS en PFOA zijn gemeten en op bepaalde locaties in specifieke jaren niet is gemeten of RWS pas recentelijk is begonnen met bemonsteren, is er voor de meeste gevallen geen sprake van 13 jaar aan meetgegevens.

PFAS-concentraties in aquatische biota zijn door RWS aangeleverd in de vorm van Excel spreadsheets, zoals die worden opgeleverd door Wageningen Marine Research (WMR), dat de jaarlijkse biota-analyses verzorgt. De bemonsterde biota betreft vis (blankvoorn, bot, schol) en schaaldieren (mosselen, Japanse oester). De aangeleverde data (meetjaren 2017 t/m 2019) zijn gecombineerd, waarbij alleen data boven de bepalingsgrenzen zijn meegenomen. Op het moment van schrijven van dit rapport waren de data voor 2020 nog niet beschikbaar.

Debieten, benodigd voor vrachtenberekeningen, zijn opgevraagd via waterinfo.rws.nl en werden aangeleverd in Excel spreadsheets.

2.2. Selectie stoffen

Waar in 2008 begonnen is met de analyse van twee PFAS, wordt momenteel door RWS een 31-tal PFAS in de Rijkswateren geanalyseerd. Dit betreffen 11 perfluorcarbonzuren, 9 perfluorsulfonzuren (waaronder twee perfluoroctaansulfonzuurisomeren) en 11 overige PFAS, waaronder enkele fluor-telomeren, enkele sulfonamide(azijnzuren), enkele polyfluorsulfonzuren en GenX. Uit deze lijst van 31 stoffen is in overleg met RWS een selectie gemaakt van 14 stoffen, waarvan de beschikbare concentraties in de waterfase in dit rapport nader zijn geanalyseerd. De selectie betreft stoffen waarvoor de bij elkaar opgetelde concentraties meer dan 95% van de totaal gemeten PFAS-concentratie in de waterfase beslaat, maar waaronder zich niet alleen PFAS met de hoogste concentraties bevinden, maar ook stoffen zoals GenX; opkomende PFAS die momenteel volop in de belangstelling staan. Effectief gezien beslaat de lijst van geselecteerde stoffen 13 PFAS, omdat zich onder de geselecteerde stoffen twee isomeren bevinden, die ten behoeve van de data-analyse bij

elkaar worden opgeteld (de lineaire en vertakte vormen van perfluorooctaansulfonzuur). De lijst met geselecteerde PFAS is weergegeven in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Lijst van de PFAS die geselecteerd zijn voor nadere data-analyse in dit rapport.

Naam	Afkorting	Molecuulformule ^a
Perfluorcarbonzuren		
perfluorbutaanzuur	PFBA	C ₄ F ₇ O ₂
perfluorpentaanzuur	PFPeA	C ₅ F ₉ O ₂
perfluorhexaanzuur	PFHxA	C ₆ F ₁₁ O ₂
perfluorheptaanzuur	PFHpA	C ₇ F ₁₃ O ₂
perfluorooctaanzuur	PFOA	C ₈ F ₁₅ O ₂
perfluornonaanzuur	PFNA	C ₉ F ₁₇ O ₂
Perfluorsulfonzuren		
perfluorbutaansulfonzuur	PFBS	C ₄ F ₉ SO ₃
perfluorpentaansulfonzuur	PFPeS	C ₅ F ₁₁ SO ₃
perfluorhexaansulfonzuur	PFHxS	C ₆ F ₁₃ SO ₃
perfluorooctaansulfonzuur ^b	PFOS	C ₈ F ₁₇ SO ₃
Overige PFAS		
2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy) propaanzuur (HFPO-DA)	GenX	C ₆ F ₁₁ O ₃
2-(perfluorhexyl)ethaan-1-sulfonzuur (6:2 fluortelomeersulfonzuur)	6:2 FTS	C ₈ F ₁₃ H ₄ SO ₃
N-ethyl-perfluorooctaansulfonamidoazijnzuur	EtFOSAA	C ₁₂ F ₁₇ H ₇ NSO ₄

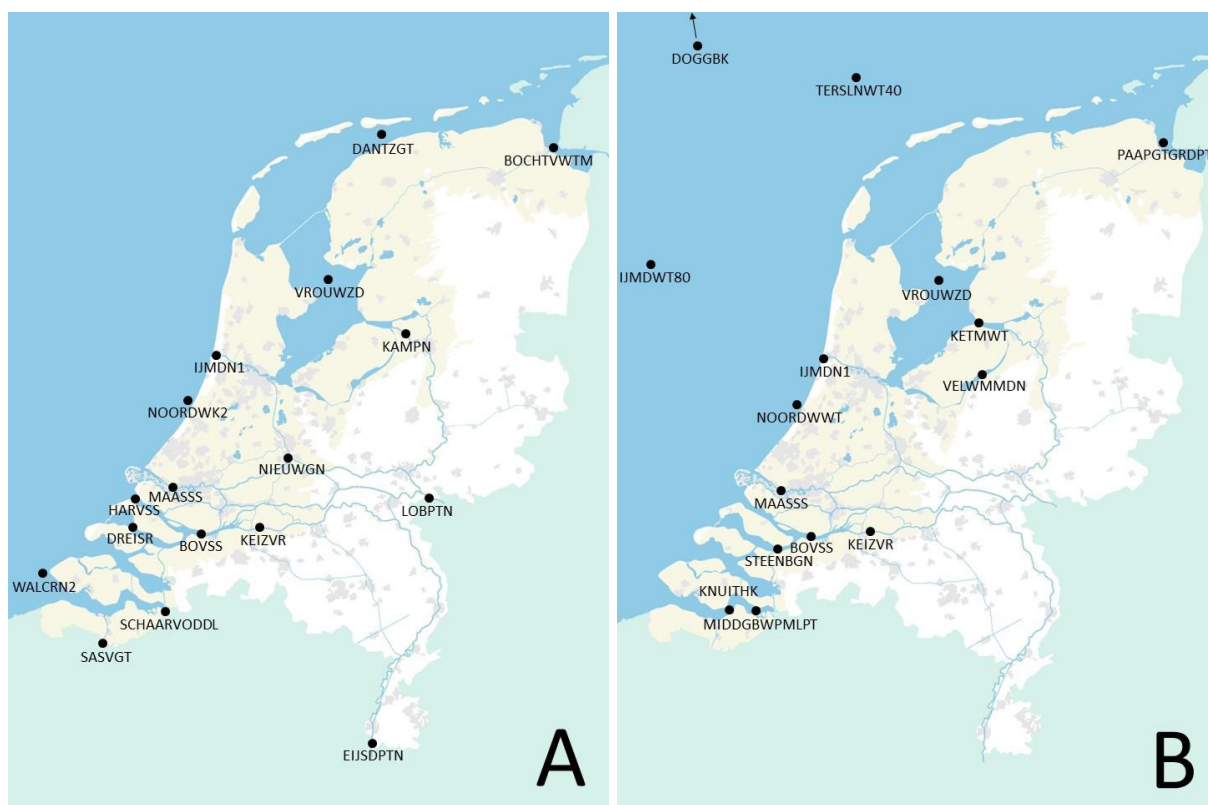
^a Bij een milieu-relevante pH zijn de PFAS gedeprotoneerd. In de weergave van de molecuulformule is hier rekening mee gehouden. ^b Er worden twee isomeren van perfluorooctaansulfonzuur onderscheiden en gemeten sinds 2013: een vertakte (i-PFOS) en een lineaire vorm (n-PFOS). Ten behoeve van de data-analyse zijn de concentraties van beide isomeren bij elkaar opgeteld.

In biota worden door WMR 16 PFAS geanalyseerd. Het betreft 11 perfluorcarbonzuren (perfluorbutaanzuur t/m perfluortetradecaanzuur) en 5 perfluorsulfonzuren (perfluorbutaan-, perfluorhexaan-, perfluorheptaan-, perfluorooctaan- en perfluordecaansulfonzuur). Uit deze lijst is geen selectie gemaakt; alle stoffen die boven de bepalingsgrens in biota zijn aangetroffen, zijn meegenomen in de data-analyse.

2.3. Selectie bemonsteringslocaties

De LIMS-database bevat PFAS-data voor circa 60 locaties, verspreid over het zoete en zoute milieu. Gezien het grote aantal locaties en het feit dat er voor een deel van de gevallen sprake is van niet-recente data en/of concentraties onder de rapportagegrenzen, is ook hier een selectie gemaakt. Criteria bij de selectie waren de locatieligging en de beschikbaarheid van minimaal twee jaar aan

recente data. De procedure resulteerde in een 17-tal locaties, waarvan er vier in het stroomgebied Maas, zes in het stroomgebied Rijn, drie in het stroomgebied Schelde en vier langs de kust liggen. Het aantal jaren waarvoor concentraties beschikbaar zijn, varieert tussen de 2 en 13, waarbij er in het eerste geval sprake is van de jaren 2019 en 2020. In Figuur 2.1-A is een overzichtskaart gegeven waarop de geselecteerde locaties zijn aangegeven. In Bijlage A is voor deze locaties de bemonsteringsfrequentie gegeven, ofwel het aantal keer dat er per jaar bemonsterd is en daarmee het maximale aantal analyseresultaten.



Figuur 2.1 Overzichtskaart van de geselecteerde locaties voor water (A) en biota (B). De pijl bij locatie DOGGBK duidt aan dat deze locatie (ver) buiten de randen van de kaart valt. Voor een verklaring van de locatieafkortingen wordt verwezen naar de lijst met gebruikte afkortingen.

PFAS-concentraties in biota zijn beschikbaar voor 8 locaties bemonsterd in 2017/2018 en voor 11 locaties bemonsterd in 2019. Omdat er gedeeltelijke overlap in locaties is, zijn er gegevens voorhanden voor in totaal 15 locaties. Al deze locaties zijn meegenomen in de data-analyse en zijn weergegeven in Figuur 2.1-B.

2.4. Data-analyse

Voor alle 221 locatie-stofcombinaties in geval van concentraties in de waterfase is allereerst de gemiddelde concentratie in ieder bemonsteringsjaar berekend en de daarbij behorende standaarddeviatie. De resultaten zijn uitgezet voor iedere locatie-stofcombinatie in grafieken, die gebruikt zijn om eventuele temporele trends in de data op te sporen en om 'hot spot locaties' te

identificeren. Eveneens zijn de gemiddelde concentraties met standaarddeviaties voor alle geselecteerde stoffen uitgezet per locatie, wat resulteerde in zogenaamde 'stofprofielen'. Deze zijn alleen gemaakt voor bemonsteringsjaar 2020 en dienden om de relatieve verdeling van de verschillende stoffen in de waterfase in kaart te brengen.

De jaargemiddelde concentraties voor alle bemonsteringsjaren en geselecteerde PFAS zijn verder gebruikt om stofvrachten te berekenen op een 8-tal locaties. Dergelijke berekeningen geven inzicht in de totale massa's (vrachten) van stoffen die Nederland jaarlijks via de grote rivieren inkomen en verlaten. De berekeningen zijn gemaakt volgens de 'recht-toe-recht-aan methode' van de door Deltares in 2015 ontwikkelde VrachtenApp, welke aansluit bij de binnen Europees kader veel toegepaste OSPAR-systematiek. De berekeningen zijn naast op een jaargemiddelde concentratie, gebaseerd op een jaargemiddeld debiet. De berekeningen resulteren daarom voor een specifieke locatie-stofcombinatie in een enkelvoudig getal, hoewel feitelijk gezien bij ieder getal een standaarddeviatie hoort. Er is gekozen voor de 'recht-toe-recht-aan methode', omdat deze methode de meest consistente vrachten opleverde. De andere twee beschikbare methoden van de app resulteerden in specifieke gevallen in opmerkelijke uitschieters. Bovendien konden met de eerstgenoemde methode eenvoudig missende vrachten uit jaren voor 2013 'met de hand' worden berekend en toegevoegd aan de vrachtendatabase. Ook hier zorgden diverse 'cross checks' voor een waarborging van correcte data. Omdat voor de berekeningen een debiet nodig is, kunnen ze niet voor iedere willekeurige locatie worden uitgevoerd en zijn ze slechts voor 8 locaties gedaan. Dit betrof 3 locaties in de Maas, 4 locaties in het Rijnstroomgebied en één locatie in de Schelde. Op de laatste locatie (SCHAARVODDL) passeert zowel de Nederland inkomende als uitgaande vracht, terwijl voor de Maas en Rijn de locaties zijn geselecteerd waar de vrachten Nederland inkomen en weer verlaten (zie voor details Tabel 3.2). Helaas waren op het moment van verschijnen van dit rapport nog geen debieten voor 2020 beschikbaar (met uitzondering voor locaties EIJSPTN en LOBPTN), zodat de meest recente vrachtberekeningen voor het merendeel van de locaties voor 2019 gelden.

De berekende jaargemiddelde concentraties in de waterfase zijn daarnaast getoetst aan de bestaande normen voor oppervlaktewater. Dergelijke normen zijn momenteel slechts beschikbaar voor drie PFAS, zoals besproken in de Inleiding, waarbij voor PFOS een aparte norm voor zoet en zout water geldt.

Voor de PFAS-concentraties in biota is een vergelijkbare, maar meer beperkte analyse uitgevoerd: concentraties voortvloeiend uit meervoudige metingen in biota van dezelfde locatie bemonsterd in hetzelfde jaar zijn gemiddeld en grafisch uitgezet per locatie, met stofprofielen als resultaat. Gezien het gelimiteerde aantal bemonsteringsjaren en metingen boven de bepalingsgrenzen, was het niet mogelijk om de data te analyseren op temporele trends, maar normtoetsing is wel uitgevoerd op de resultaten voor PFOS; de enige PFAS waarvoor een biotanorm is opgesteld.

Als laatste zijn de (jaargemiddelde) concentraties in water en biota vergeleken en gekoppeld, op basis waarvan bioaccumulatiefactoren (BAF) zijn berekend:

$$BAF = C_b / C_w$$

waarin C_b de concentratie in biota (ng/kg natgewicht) en C_w de concentratie in water (ng/L). De eenheid van BAF is daarmee L/kg natgewicht, ofwel L/kg ww (wet weight). Hoewel de BAF voor 'klassieke' stoffen zoals PCBs en dioxines doorgaans wordt uitgedrukt op lipide-basis (eenheid L/kg vet), wordt

dit voor PFAS niet gedaan, omdat deze stoffen niet per definitie ophopen in het vetweefsel. De berekende BAF-waarden zijn uiteindelijk vergeleken met waarden uit de literatuur.

3. PFAS in de waterfase

3.1. Jaargemiddelde concentraties

Alle berekende jaargemiddelde concentraties van de geselecteerde PFAS in de waterfase bemonsterd op de geselecteerde locaties zijn grafisch weergegeven in Bijlage B. Hierbij is gegroepeerd per stof en zijn de locaties ingedeeld naar 'stroomgebied'. De grafieken in Bijlage B laten zien dat vrijwel alle geselecteerde PFAS aanwezig zijn op vrijwel alle locaties. Hoewel PFPeS, GenX, EtFOSAA en 6:2 FTS niet in alle bemonsteringsjaren op alle locaties zijn aangetroffen of slechts in zeer lage concentraties (onder de rapportagegrens), zijn de perfluorcarbonsuren en de overige perfluorsulfonzuren op alle locaties aanwezig in concentraties in de ng/L range. Met andere woorden, deze stoffen zijn overduidelijk alom aanwezig (ubiquitair) in de Nederlandse Rijkswateren, waarbij sommige dat al onveranderd gedurende de afgelopen 13 jaar zijn. Opvallend is verder dat, hoewel er zeker verschillen zijn in concentraties, de concentraties op de verschillende locaties betrekkelijk dicht bij elkaar in de buurt liggen (zie Tabel 3.1). De data in Tabel 3.1, waarin de meest recent (2020) beschikbare meetgegevens zijn gepresenteerd, suggereren daarom dat er sprake is van met name diffuse bronnen van deze stoffen.

Tabel 3.1 Concentratieranges van de geselecteerde PFAS in de waterfase in 2020. Behalve de ranges voor alle locaties, zijn ook ranges gegeven voor alleen kust/zee locaties, binnenlandse locaties en de (uitschieter) locaties SASVGT en SCHAARVODDL. Alle concentraties zijn gegeven in ng/L.

	Alle locaties	Kust/zee locaties ^a	Binnenlandse locaties ^b	Locaties SASVGT en SCHAARVODDL
PFBA	2,5 - 162	2,5 - 3,7	3,6 - 8,1	4,1 - 162
PFPeA	0,74 - 11	0,74 - 2,6	2,8 - 5,1	10 - 11
PFHxA	0,69 - 13	0,69 - 1,8	2,7 - 5,2	12 - 13
PFHpA	0,40 - 4,7	0,40 - 1,0	1,3 - 2,8	4,6 - 4,7
PFOA	0,98 - 9,3	0,98 - 1,7	2,1 - 5,1	6,4 - 9,3
PFNA	0,08 - 1,3	0,08 - 0,19	0,29 - 0,51	0,64 - 1,3
PFBS	1,3 - 91	1,3 - 1,8	3,5 - 11	8,0 - 91
PFPeS	0,05 - 1,2	0,05 - 0,11	0,16 - 0,29	0,92 - 1,2
PFHxS	0,27 - 5,8	0,27 - 0,46	0,62 - 1,5	3,8 - 5,8
PFOS	0,86 - 18	0,86 - 1,3	3,0 - 5,0	11 - 18
GenX	0,01 - 2,2	0,04 - 0,19	0,01 - 2,2 ^c	0,27 - 1,6
EtFOSAA	0,01 - 1,3	0,01 - 0,02	0,02 - 0,13	0,57 - 1,3
6:2 FTS	0,07 - 6,0	0,07 - 1,35	0,42 - 1,6	5,6 - 6,0

^a Hieronder vallen de locaties BOCHTVWTM, DANTZGT, DREISR, NOORDWK2 en WALCRN2.

^b Hieronder vallen de locaties BOVSS, EIJSPTN, HARVSS, IJMDN1, KAMPN, KEIZVR, LOBPTN, MAASSS, NIEUWGN en VROUWZD.

^c Voor GenX zijn 6 extra locaties meegenomen: AMSDM, ANTWKNP2, BRIENOD, GOUDVHVN, MARKMMDN en STEENBGN.

Desalniettemin is er zeker sprake van 'hot spot locaties', die het bestaan van meer lokale (punt)bronnen suggereren. In de huidige dataset zijn dit overduidelijk locaties SASVGT en SCHAARVODDL, die beide input ontvangen vanuit België, via respectievelijk het Kanaal van Gent naar Terneuzen en de Schelde. Op locatie SCHAARVODDL was in 2020 bijvoorbeeld de jaargemiddelde concentratie van PFBA circa 20-45 maal zo hoog als op de andere binnenlandse locaties. In Tabel 3.1 is daarom een driedeling gemaakt, waarbij de concentraties gemeten in 2020 op deze twee locaties apart worden genoemd van de overige binnenlandse locaties en de kust/zee (zoute) locaties. Uit de tabel komt naar voren dat de concentraties in het zoute milieu over het algemeen het laagst zijn (hetgeen verklaarbaar is vanwege de optredende verdunning) en dat de concentraties van in ieder geval de perfluorcarbons en -sulfons op de binnenlandse locaties (uitgezonderd SASVGT en SCHAARVODDL) slechts hooguit een factor 2-3 van elkaar verschillen, ook al ligt een locatie in Zuid-Limburg, Rotterdam of het IJsselmeer. Dezelfde boodschap geldt ook voor eerdere bemonsteringsjaren (zie ook (Jonker, 2017)) en komt verder visueel naar voren uit Figuur 3.1, waarin op de kaart van Nederland de 2020 jaargemiddelde concentraties van PFOS (als representatieve PFAS-vertegenwoordiger) zijn weergegeven.



Figuur 3.1 Relatieve weergave van de 2020 jaargemiddelde PFOS-concentraties op de geselecteerde locaties. De hoogte van ieder staafje correspondeert met de (relatieve) concentratie op de betreffende locatie. Error bars zijn weggelaten vanwege visuele redenen.

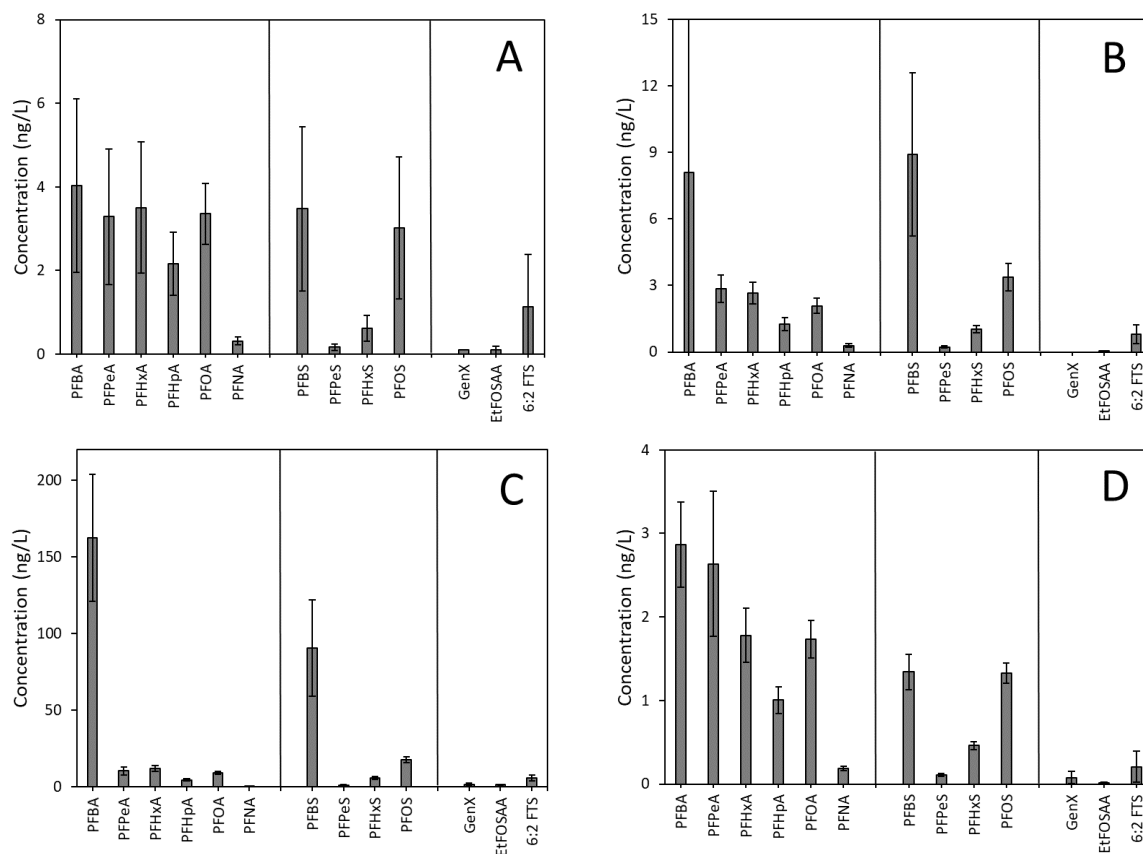
Als laatste valt op dat GenX, feitelijk de vervanger van PFOA, inmiddels op veel locaties wordt aangetroffen in de (lage) ng/L range. Dat de stof niet op alle locaties wordt gevonden (in even hoge concentraties) is te verklaren doordat GenX in Nederland een beperkt aantal bronnen heeft: het komt vrij bij het productieproces van fluoropolymeren door Chemours in Dordrecht (via afvalwater en emissies naar de lucht) en via de verwerking van het afval(water) van de fabriek op andere locaties in het land (De Kort et al., 2019). Uit de huidige data-analyse komt naast de emissie via afvalwater (de hoogste concentraties zijn gemeten op benedenstroomse locaties MAASSS en BRIENOD) ook verspreiding via de lucht naar voren. Relatief verhoogde concentraties worden bijvoorbeeld aangetroffen op de nabijgelegen locaties KEIZVR, IJMDN1, AMSDM en GOUDVHVN en STEENBGN, welke niet in direct contact staan met de lozingslocatie via een watersysteem (of bovenstrooms liggen). Waar de perfluorcarbonsuren en -sulfonuren daarom voornamelijk lijken te worden aangevoerd vanuit het buitenland (of althans een zeer substantiële buitenlandse bron te hebben), heeft GenX dus zijn meest belangrijke bron binnen de landsgrenzen, hoewel wel opgemerkt moet worden dat aanvoer vanuit België via de Schelde eveneens voor de hand ligt (Chemours, Mechelen). Hoe dan ook vindt geen substantiële aanvoer plaats via de Rijn, getuige het feit dat de concentraties op locatie LOBPTN de afgelopen vier jaar onder de detectiegrens lagen.

3.2. Stofprofielen

In plaats van het per locatie weergeven van de jaargemiddelde concentraties in de verschillende bemonsteringsjaren (Bijlage B), kunnen ook de jaargemiddelde concentraties van alle stoffen gemeten in een bepaald jaar op een bepaalde locatie in een grafiek worden gepresenteerd. Op deze manier kan in één oogopslag worden gezien wat de relatieve concentraties zijn van de stoffen, ofwel welke stoffen in hoge en welke in lage concentraties voorkomen op de betreffende locatie. In Figuur 3.2 zijn dergelijke ‘stofprofielen’ gegeven voor bemonsteringsjaar 2020 en vier verschillende locaties in de vier stroomgebieden (Maas, Rijn, Schelde, Eems-Dollard). In Bijlage C zijn dergelijke figuren gegeven voor alle geselecteerde locaties. Uit de stofprofielen komen enkele duidelijke patronen naar voren, welke deels eerder beschreven zijn voor de gegevens uit 2015 en 2016 (Jonker, 2017).

Voor de perfluorcarbonsuren (het eerste ‘blok’ in iedere deelfiguur van Figuur 3.2) geldt voor de locaties in de Rijn, Schelde en Eems-Dollard, dat de concentratie van PFBA het hoogste is en dat de concentraties van de daaropvolgende perfluorcarbonsuren afnemen als functie van de toenemende koolstofketenlengte, maar met uitzondering van PFOA, waarvoor de concentratie in alle gevallen weer hoger is dan voor PFHpA (en PFNA). Dit patroon is het meest ‘vloeiend’ voor de geselecteerde locaties in de Rijn en Eems-Dollard. In de Schelde is de concentratie van PFBA zodanig hoog dat dit patroon minder duidelijk te zien is. De extreem hoge concentratie van PFBA in de Schelde duidt hoogstwaarschijnlijk op een specifieke bron; een situatie die overigens consequent aanwezig is geweest gedurende de afgelopen 10 bemonsteringsjaren. Het geschetste patroon gaat echter niet geheel op voor de locaties in de Maas. Hier zijn de jaargemiddelde concentraties van PFBA, PFPeA en PFHxA (meer) vergelijkbaar. Met andere woorden, de concentraties van PFPeA en PFHxA in de Maas zijn ten opzichte van die op de andere locaties *relatief* hoog (zie Figuur 3.2-A). Merk ook op dat voor deze locatie de concentratie van PFBA vergelijkbaar is met die van PFOA, terwijl voor de andere locaties PFBA uitpiekt boven die van PFOA. Dit ‘afgevlakte’ patroon is zichtbaar voor alle locaties in de Maas (zie Bijlage C). Voor locatie SASVGT, waar PFAS wordt aangevoerd vanuit België via het kanaal van Gent

naar Terneuzen, wordt een nog ander patroon waargenomen: hier zijn de relatieve concentraties van PFPeA en PFHxA nog hoger; zelfs hoger dan die van PFBA. Dit alles suggereert enige mate van verschil in de (buitenlandse) bronnen van de perfluorcarbons zuren in de verschillende grote rivieren en andere aanvoerende watersystemen.



Figuur 3.2 Jaargemiddelde concentraties van de geselecteerde PFAS gemeten in 2020 op vier verschillende locaties in **A:** de Maas (EIJSDPTN), **B:** de Rijn (LOBPTN), **C:** de Schelde (SCHAARVODDL) en **D:** Eems-Dollard (BOCHTVWTM). Error bars geven de standaarddeviatie op de gemiddelde concentraties. De verticale lijnen scheiden de perfluorcarbons zuren, de -sulfonzuren en de overige PFAS.

Voor de perfluorsulfonzuren (het middelste blok in de deelfiguren van Figuur 3.2) wordt een 'omgekeerd' patroon gezien: hoewel ook hier de concentratie van de C₄-verbinding (PFBS) doorgaans het hoogste is van de gemeten perfluorsulfonzuren (of even hoog als de concentratie van PFOS), is de concentratie van de daaropvolgende perfluorsulfonzuur (PFPeS) vele malen lager en neemt de concentratie vanaf deze verbinding juist toe met toenemende koolstofketenlengte tot aan PFOS. Dit patroon wordt consequent waargenomen op alle locaties (zie Figuur 3.2 en Bijlage C).

De PFAS in de laatste groep in Figuur 3.2 (GenX, EtFOSAA en 6:2 FTS) behoren niet tot eenzelfde subgroep waarbinnen alleen de ketenlengte varieert, zoals voor de carbon- en sulfonzuren het geval is, maar ook voor deze stoffen wordt een redelijk vast patroon gezien. De concentratie van 6:2 FTS is op alle locaties, met uitzondering van locatie DREISR, het hoogst, in de meeste gevallen gevolgd door de concentratie van GenX (zie Bijlage C). Ten opzichte van de concentraties van PFBA, PFOA, PFBS en

PFOS zijn de concentraties van deze drie ‘opkomende’ PFAS nog erg laag, maar de concentraties van 6:2 FTS zijn bijvoorbeeld op vrijwel alle locaties (uitgezonderd locatie DREISR) wel al hoger dan die van PFNA en PFPeS, en op locatie SASVGT is de concentratie nota bene zelfs vergelijkbaar met de concentratie van PFOA.

Een verklaring voor de geschetste profielen is waarschijnlijk te vinden in een combinatie van factoren (zie ook (Jonker, 2017)). In de eerste plaats speelt het emissiepatroon uiteraard een belangrijke rol. Stoffen die in hogere mate worden uitgestoten, zullen ook in hogere concentraties in het milieu voorkomen. Concentraties in de waterfase, het onderwerp van de huidige analyse, worden echter vervolgens beïnvloed door de oplosbaarheid van de stoffen en sorptie aan sediment. Een patroon zoals dat wordt gezien op de locaties in de Rijn, Schelde en Eems-Dollard voor de perfluorcarbons, zou op basis hiervan kunnen worden verklaard. Immers, met een toenemende ketenlengte, zal de oplosbaarheid van de PFAS afnemen en sorptie aan sediment toenemen, door een toenemende hydrofobiciteit van de stoffen. Of deze principes ook de actuele concentraties in deze rivieren sturen, is twijfelachtig, omdat voor de locaties in de Maas een dergelijk afnemend patroon niet wordt waargenomen. Bovendien wordt een tegengesteld patroon gezien voor de perfluorsulfonzuren en kunnen oplosbaarheid en sorptie ook de relatieve piek van de PFOA-concentraties niet verklaren, temeer omdat de oplosbaarheden van de stoffen (mg/L range) ver boven de gemeten concentraties liggen. De PFOA piek zou wel verklaard kunnen worden uit vorming van de stof via afbraak van precursor PFAS tijdens hun verblijftijd in de rivieren stroomopwaarts. PFOA is immers een bekend stabiel eindproduct van PFAS-degradatie (zie Inleiding). Concluderend lijken het emissiepatroon en afbraakprocessen daarom de meest logische onderliggende factoren, die de stofprofielen in de grote rivieren bepalen. Het feit dat de stofprofielen op de diverse locaties redelijk tot opmerkelijk goed overeen komen, de uitzonderingen daargelaten, duidt verder opnieuw op algemene, diffuse bronnen van PFAS. Een afwijkend stofprofiel, zoals dat voorkomt op locatie SASVGT, zou daarom in potentie als startpunt gebruikt kunnen worden om bronnen van specifieke PFAS op te sporen.

3.3. Vrachten

De PFAS-vrachten berekend voor de acht locaties op basis van de jaargemiddelde concentraties en debieten zijn grafisch uitgezet in Bijlage D. Hierbij zijn de grafieken gegroepeerd per stroomgebied en per stof. Door gebruik te maken van pijlen is de gang van de vrachten in een stroomgebied duidelijk gemaakt: in de Maas stromen vrachten recht-toe-recht-aan steeds naar een volgende bemonsteringslocatie (EIJSDPTN - KEIZVR - HARVSS), terwijl de in de Rijn bij LOBPTN het land binnenkomende vrachten zich opsplitsen over verschillende takken. De schalen van de y-assen van de grafieken voor een bepaalde stof binnen een stroomgebied zijn gelijk gehouden om zo een directe vergelijking tussen de locaties mogelijk te maken. In iedere grafiek, dus voor iedere locatie-stofcombinatie, zijn alle berekende jaarvrachten weergegeven, zodat ook de trend in de vrachten van de betreffende stof door de jaren heen zichtbaar wordt. De meest recente vrachten, uit 2019, zijn in tabelvorm weergegeven in Tabel 3.2.

Uit Tabel 3.2 blijkt dat de totale vracht van de 13 geselecteerde PFAS, die in 2019 het land binnenkwam (Σ PFAS), bijna tweeëneenhalve ton bedroeg. Hiervan kwam verreweg het grootste deel via de Rijn het land binnen: circa anderhalve ton van de 13 PFAS gezamenlijk. Het grootste deel van deze vracht (circa 70%) verliet het land vervolgens weer via Maassluis. De vrachten van de individuele PFAS die via de

Rijn het land binnenkwamen, waren gemiddeld bijna een factor 10 hoger dan de vrachten die via de Maas het land binnenstroomden en gemiddeld een factor 2,5 hoger dan de via de Schelde aangevoerde vrachten, hoewel er duidelijke verschillen zijn voor individuele PFAS. Zo kwam er juist geen aantoonbare vracht GenX via de Rijn binnen en was de PFBA-vracht, die via de Schelde binnenkwam, juist groter dan die in de Rijn. Het feit dat op basis van de jaargemiddelde concentraties locatie SCHAARVODDL werd aangemerkt als ‘hot spot’ locatie, maar dat op basis van vrachten niet is (met uitzondering voor PFBA), wordt verklaard door het relatief lage debiet op deze locatie, vergeleken met bijvoorbeeld het debiet bij LOBPTN.

Tabel 3.2 Nederland inkomende (IN) en uitgaande (UIT) PFAS-vrachten (kg/jaar) via de drie grote rivieren in 2019.

	Rijn				Maas			Schelde
	LOBPTN	MAASS	IJMDN1	VROUWZD	EIJSDPTN	KEIZVR	HARVSS	SCHAAR VODDL
	IN	UIT	UIT	UIT	IN	UIT	IN + UIT	
PFBA	216	145	17	67	25	40	48	258
PFPeA	174	115	13	61	21	52	47	28
PFHxA	168	115	13	72	24	56	44	36
PFHpA	80	55	6,4	26	14	22	21	14
PFOA	133	115	15	45	25	35	35	28
PFNA	20	13	1,5	5,6	2,3	3,7	4,8	1,8
PFBS	437	232	15	83	24	26	67	152
PFPeS	14	8,0	0,9	3,6	1,1	1,7	2,7	3,1
PFHxS	65	42	4,5	16	4,2	6,5	12	16
PFOS	220	144	15	16	20	26	44	54
GenX	-	59	2,6	-	4,2	23	7,1	3,4
EtFOSAA	2,6	2,9	0,3	-	0,4	1,0	1,1	3,1
6:2 FTS	62	47	3,8	-	11	32	21	17
ΣPFAS	1591	1092	107	396	177	324	355	614

Omdat de vrachten zijn berekend met een jaargemiddeld debiet, dat voor iedere stof op een bepaalde locatie hetzelfde is, gelden de stofprofielen, zoals besproken in paragraaf 3.2, ook hier. Zo neemt bijvoorbeeld de vracht van individuele perfluorcarbonsuren in de Rijn af met een toenemende ketenlengte (met een uitzondering voor PFOA), terwijl de vrachten voor de C₄-C₆ perfluorcarbonsuren

in de Maas onderling vergelijkbaar zijn en de vrachten van PFBA en PFBS in de Schelde vele malen hoger zijn dan die van de andere perfluorcarbonsuren en -sulfonsuren in deze rivier.

Verder blijken de massabalansen, ofwel de verhouding tussen wat het land inkwam en wat het land uitging, opmerkelijk goed te kloppen voor de Rijn, zeker gezien de onzekerheidsmarges die gelden voor de resultaten: de vrachten die het land verlieten in 2019 zijn bij elkaar opgeteld zeer vergelijkbaar met de vrachten die het land inkwamen bij LOBPTN. De belangrijkste uitzondering op deze regel is opnieuw GenX, dat geen aantoonbare invoer had, maar wel een duidelijke uitvoer via MAASSS (zie paragraaf 3.1). De goed kloppende massabalansen lijken te suggereren dat er geen binnenlandse input op de vrachten was; echter hierbij moet worden bedacht dat er wel binnenlandse toevoer van water aan de totale waterafvoer via de rivieren plaatsvindt. Immers, er is sprake van watertoevoer aan de rivieren via met name neerslag en afvalwater van RWZIs, waarbij het water deels niet afkomstig is uit de rivieren zelf. De in balans zijnde in- en uitgaande vrachten duiden daarom mogelijk eerder op een binnenlandse PFAS-input die vergelijkbaar is met de input die plaatsvindt in het land/de landen, waaruit de aanvoerende rivier afkomstig is, zowel in termen van concentraties als in termen van stofprofielen. De gedachte dat in het buitenland tonnen aan PFAS worden toegevoegd aan de rivieren, maar dat dat in Nederland niet gebeurt, is waarschijnlijk niet reëel. Sterker, de gegevens in Tabel 3.2 suggereren zelfs dat de PFAS-vracht in de Maas in 2019 wel toenam tussen binnenkomst en het verlaten van het land: de totale uitgaande PFAS-vracht was een factor 2 keer zo hoog als de bij EIJSPTN inkomende vracht. Opmerkelijk hierbij is dat deze factor gemiddeld voor vrijwel alle individuele stoffen geldt, ook al op locatie KEIZVR. Dit zou suggereren dat er sprake is van een binnenlandse bron die zich bevindt tussen EIJSPTN en KEIZVR. Deze bron zou dan wel niet enkele, maar alle perfluorcarbonsuren en -sulfonsuren in de Maas lozen. Tussen locaties KEIZVR en HARVSS blijven de vrachten van de perfluorcarbonsuren vervolgens redelijk constant, terwijl die van de -sulfonsuren nog verder stijgen. Voor PFBS is er slechts een toename te zien tussen de laatste twee locaties, wat zou duiden op een bron aldaar. Hoewel een factor twee verschil in vrachten wellicht te verklaren zou kunnen zijn uit de foutmarges op de berekeningen (er wordt gebruik gemaakt van jaargemiddelde concentraties en debieten, beide met een aanzienlijke spreiding; zie ook Bijlage B), lijkt het verschil in vrachtoename tussen de verschillende stofgroepen te suggereren dat er wel degelijk sprake is van een toename. Omdat de concentraties van de perfluorcarbonsuren relatief constant zijn op de drie verschillende locaties in de Maas, en die van de -sulfonsuren iets toeneemt stroomafwaarts, is de toename in de vrachten hoofdzakelijk te verklaren op basis van een toename in het debiet. Het is uiteraard mogelijk dat de debieten niet geheel correct zijn; echter voor alle bemonsteringsjaren is een zelfde patroon te zien. Dit zou hooguit kunnen duiden op een structurele fout in de jaardebieten, hetgeen mogelijk, maar niet heel erg waarschijnlijk is. Omdat er ook een redelijk grote spreiding op de jaargemiddelde concentraties zit, vereist een harde conclusie over eventuele binnenlandse bronnen aan de Maas nader aanvullend onderzoek.

3.4. Temporele trends

Uit de grafieken in Bijlage B, waarin de jaargemiddelde concentraties van de afgelopen bemonsteringsjaren zijn weergegeven en de grafieken uit Bijlage D, waarin de jaargemiddelde vrachten door de jaren heen zijn gepresenteerd, is af te leiden hoe de concentraties en vrachten van de individuele PFAS zich de afgelopen jaren hebben ontwikkeld. Omdat de debieten van de watersystemen door de jaren heen redelijk stabiel zijn, zijn in principe vergelijkbare trends voor beide

parameters te zien. Bij het opsporen van eventuele temporele trends heeft het echter de voorkeur te kijken naar de jaargemiddelde concentraties (Bijlage B), omdat de vrachtenpresentatie niet vergezeld gaat van error bars. Op basis van de gepresenteerde staaftogrammen lijken soms trends naar voren te komen, terwijl er vaak sprake zal zijn van overlappende betrouwbaarheidsintervallen en daarmee waarschijnlijk geen significante trends. Een andere reden om vooral te richten op de concentraties, is dat deze voor alle locaties beschikbaar zijn, terwijl vrachten slechts berekend konden worden voor acht locaties.

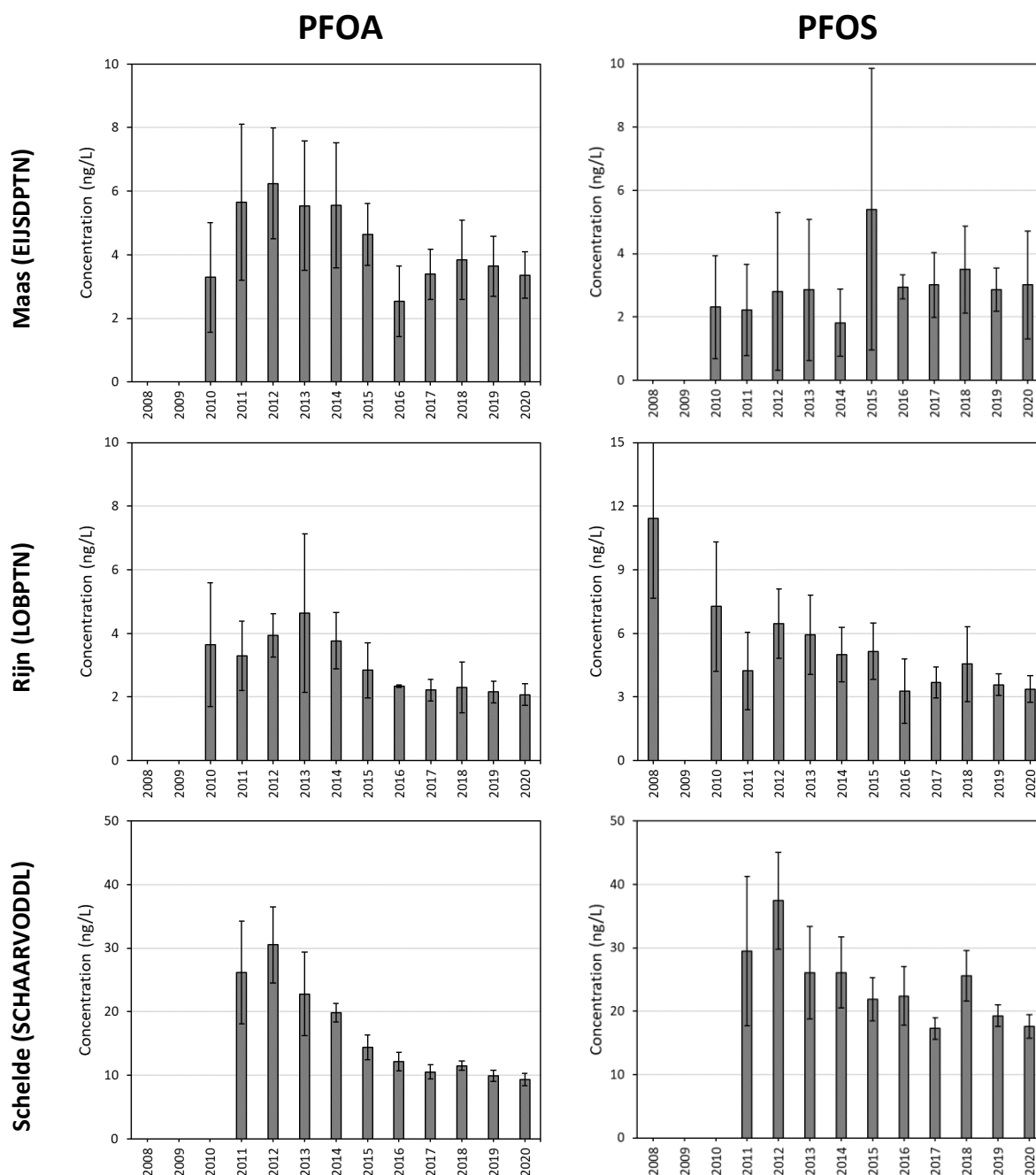
Tabel 3.3 *Samenvatting van de ontwikkelingen in de jaargemiddelde concentraties van de geselecteerde PFAS gedurende de monitoringsjaren.*

Stof	Meerjaren trends/ontwikkelingen*
PFBA	Met name de laatste 6 jaar over het algemeen stabiele concentraties. De piek in 2013-2014 heeft hoogstwaarschijnlijk een analytische oorzaak (Jonker, 2017). Op locatie SASVGT is in 2020 een daling te zien met circa een factor 3 ten opzichte van de 4 jaar daarvoor. Concentraties op SCHAARVODDL zijn zeer hoog en door de jaren heen erg variabel.
PFPeA	Met name de laatste 6 jaar stabiele concentraties. De piek in 2013-2014 heeft hoogstwaarschijnlijk een analytische oorzaak.
PFHxA	Sinds 2017 stabilisering van de concentraties in de Maas en Rijn tot concentraties die circa het dubbele zijn van die in de jaren ervoor (2010-2017). Al circa 10 jaar wat variabele, doch redelijk stabiele concentraties in de Schelde.
PFHpA	In 2013 circa een verdubbeling van de concentraties in de Maas en Rijn t.o.v. de jaren 2010-2012. Vanaf 2013 stabiele concentraties; ook in de Schelde.
PFOA	Daling van de concentraties tussen 2012 en 2017 met circa een factor 1,5 (Maas), 1,5-2 (Rijn en Eems) tot 3 (Schelde), tot stabiele concentraties de afgelopen 4-5 jaar.
PFNA	Redelijk stabiele concentraties gedurende de afgelopen 6 jaar.
PFBS	Over het algemeen: relatief hoge concentraties in 2010-2012, flink lagere concentraties in 2013-2014 en een stabilisatie sindsdien.
PFPeS	Slechts de afgelopen 4 jaar geanalyseerd: zeer stabiele concentraties.
PFHxS	Op alle locaties fluctuaties, maar over het algemeen redelijk stabiele concentraties, met name de afgelopen 5 jaren, na wat (circa factor 1,5) hogere concentraties in 2012-2014.
PFOS	Sinds 2011 een daling met een factor 1,5-2 in de Schelde en sinds 2008 een daling met een factor 3-6 in de Rijn. De afgelopen 5 jaar stabiele concentraties. In de Maas relatief stabiele concentraties sinds 2010.
GenX	Afname na 2017 op enkele locaties. Zie tekst voor verdere discussie.
EtFOSAA	Slechts de afgelopen 4 jaar geanalyseerd: relatief stabiele concentraties.
6:2 FTS	Slechts de afgelopen 4 jaar geanalyseerd: erg fluctuerende concentraties; geen duidelijke trends.

* Wanneer gesproken wordt over de Maas of de Rijn, worden alle locaties in de stroomgebieden van deze rivieren bedoeld.

In Tabel 3.3 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste ontwikkelingen in de PFAS-concentraties in de Rijkswateren gedurende de afgelopen jaren. De overkoepelende conclusie is dat er weinig

belangrijke en/of recente trends zijn te ontdekken. Dat betekent in ieder geval dat er geen overduidelijke toenames in concentraties te zien zijn, met uitzondering van de concentraties van PFHxA op de meeste locaties in de stroomgebieden van de Maas en Rijn, waar de concentraties sinds 2017 circa een factor twee hoger zijn dan in de zeven jaren daarvoor. Daarnaast is er eveneens vrijwel geen sprake van afnamen in concentraties (enkele uitzonderingen daargelaten; zie hieronder). Zeker de afgelopen vijf jaar zijn de PFAS-concentraties over het algemeen redelijk tot zeer stabiel te noemen.



Figuur 3.3 Concentraties van PFOA en PFOS gemeten tussen 2008 en 2020 in de Maas (locatie EIJSDPTN), de Rijn (locatie LOBPTN) en de Schelde (locatie SCHAARVODDL).

Hoewel de laatste conclusie ook geldt voor PFOA en PFOS, is voor beide stoffen wel een langeretermijntrend te zien. In Figuur 3.3 zijn de concentraties van beide stoffen door de jaren heen in de drie grote rivieren weergegeven. De temporele trend voor met name PFOA in de Schelde is overduidelijk: vanaf 2012 is er een vloeiende daling van de concentratie te zien, die in 2017 echter tot stilstand is gekomen, nadat de concentratie met circa een factor 3 is gedaald. Een dergelijk vloeiende trend is niet te zien voor de Maas en de Rijn, maar in beide rivieren is wel sprake van een daling van de concentratie gedurende dezelfde periode: met ongeveer een factor 1,5 in de Maas en een factor 1,5 - 2 in de Rijn. Voor PFOS is er in de Maas daarentegen eerder sprake van een toename in de concentratie met een factor 1,5, maar deze zal gezien de variatie in de concentraties verre van significant zijn. In de Rijn is echter wel sprake van een duidelijke afname in concentratie, met ongeveer een factor 3 sinds het begin van de metingen in 2008. In de Schelde is dit een factor 1,5 - 2.

De daling van de PFOS-concentraties in de Rijn en Schelde is waarschijnlijk het effect van de restricties in productie en gebruik, die voor deze stof zijn ingegaan in 2006, en de plaatsing op de Annex B lijst van de Stockholm Convention in 2009. Verder staat PFOS sinds 2013 eveneens op de lijst van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS), waarvoor een minimalisatieverplichting geldt. Ook PFOA is sinds 2013 aangemerkt als ZZS en sinds juli 2020 geldt een REACH-restrictie voor de stof. Sinds 2012 is PFOA door de fluoropolymeer-producerende industrie Chemours vervangen door andere stoffen (uit het GenX-proces). De dalende trend voor PFOA in Figuur 3.3 valt samen met deze vervanging. Dat de daling voor beide stoffen enkele jaren geleden tot stilstand is gekomen en de huidige concentraties nog steeds relatief hoog te noemen zijn (circa 3 ng/L in de Maas en Rijn en 10-20 ng/L in de Schelde), heeft voor PFOS mogelijk te maken met het feit dat er voor deze stof nog tal van toegestane (essentiële) toepassingen zijn. Daarnaast kunnen beide stoffen nog vrijkomen tijdens de productie van andere PFAS, is het mogelijk dat de stoffen vrijkomen tijdens het gebruik of na afdanking van producten waarin de stoffen zijn verwerkt (Ahrens en Buntschuh, 2014) en worden de stoffen sowieso gevormd tijdens de afbraak van PFAS-precursors (Liu en Avendano, 2013; Avendano en Liu, 2015), waaronder EtFOSAA. Als laatste is het mogelijk dat er aanlevering van de stoffen plaatsvindt vanuit andere milieucompartimenten, waarin de stoffen zijn 'vastgehouden'. Hierbij moet dan voornamelijk worden gedacht aan bodem en sediment. Hoewel concentraties in deze compartimenten geen onderdeel uitmaken van de huidige data-analyse, is het mogelijk dat de door sorptie aanwezige persistente PFAS-pool in (water)bodems als aanleverend reservoir dient en daarmee de concentraties in de waterfase beïnvloedt. Los van de exacte oorzaak moet voor PFOA en PFOS worden geconcludeerd dat de bovengenoemde aanpak nog onvoldoende oplevert om de concentraties en daarmee de potentiële schadelijke effecten van beide persistente stoffen op mens en milieu (verder) te reduceren. De PFOS- en PFOA-concentraties zijn immers aanvankelijk wel gedaald, maar de dalingen zijn niet doorgezet.

Hoewel er voor GenX nog maar maximaal vier jaar aan monitoringdata beschikbaar is en de gemeten concentraties veelal erg laag zijn, is voor deze stof al wel een interessant beeld te zien. GenX is in 2019 op de ZZS-lijst geplaatst, maar Chemours, het bedrijf in Dordrecht dat de stof emitteert, gaf in 2018 in een persbericht aan de emissie in 2020 teruggedrongen te willen hebben met 99%, ten opzichte van het niveau in 2017 (Chemours, 2018). Voor enkele relatief nabij gelegen locaties is er inderdaad sprake van duidelijk lagere concentraties in de Rijkswateren in 2020 ten opzichte van 2017. Dit geldt voor locaties KEIZVR, MAASSS, IJMDN1, NOORDWK2 en AMSDM, waar de jaargemiddelde concentraties zijn gedaald met respectievelijk 88, 96, 93, 98 en 89%. Voor andere/verder weg gelegen locaties, waarvoor 4 jaar aan monitoringdata aanwezig is, waaronder VROUWZD, MARKMMDN, SASVGT en

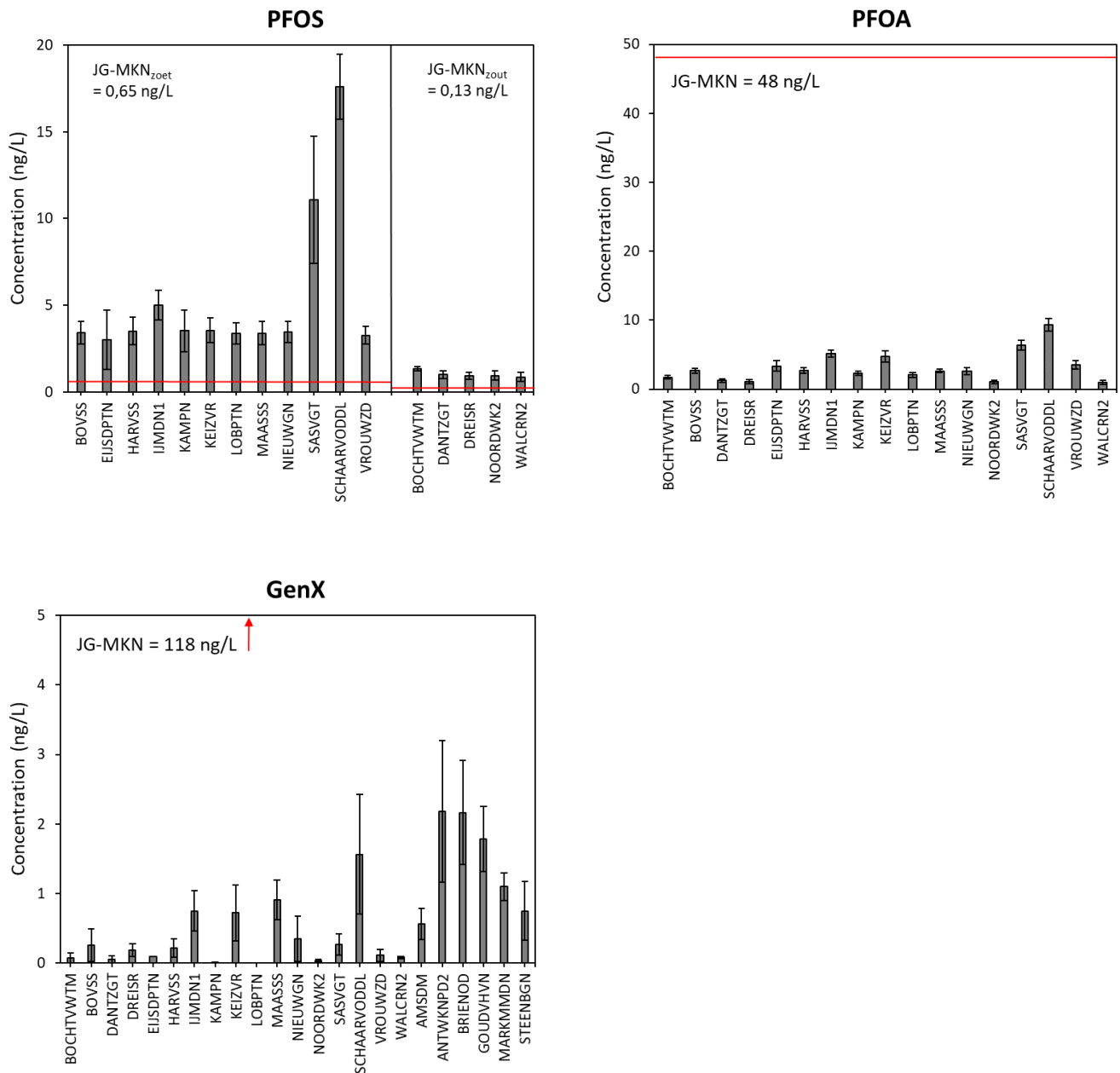
SCHAARVODDL lijkt er geen sprake van een (duidelijke) afname, maar omdat de concentraties geregeld enkelvoudige metingen betreffen, moet men hier voorzichtig zijn met het trekken van conclusies.

3.5. Normtoetsing

Momenteel zijn er voor drie PFAS normen van kracht, die betrekking hebben op de maximaal toegestane jaargemiddelde concentratie in oppervlaktewater (zogenaamde JG-MKN; jaargemiddelde milieukwaliteitsnormen). Het betreft 0,65 ng/L voor PFOS in zoet oppervlaktewater en 0,13 ng/L in zout water, 48 ng/L voor PFOA en 118 ng/L voor GenX. De normen voor PFOS hebben betrekking op de som van de concentraties van de twee isomeren (lineair en vertakt). In Figuur 3.4 worden de meest recente jaargemiddelde concentraties (2020), berekend voor alle geselecteerde locaties, vergeleken met deze normen. De conclusies van deze toetsing zijn helder: voor PFOS wordt op alle locaties, zowel zoet als zout, de norm overschreden (met maximaal een factor 27 op locatie SCHAARVODDL) en voor PFOA en GenX liggen alle jaargemiddelde concentraties ruim onder de norm.

Het feit dat de jaargemiddelde concentratie van PFOS op geen enkele locatie voldoet aan de normen en dat deze situatie al speelt zolang als RWS de metingen uitvoert (maximaal 13 jaar), geeft aan dat het beleid omtrent deze stof onvoldoende tot geen vruchten afwerpt. Hoewel de concentraties van PFOS in de Rijn en Schelde de afgelopen jaren zijn gedaald (zie paragraaf 3.4), ligt het niet in de lijn der verwachting dat de jaargemiddelde concentraties over enkele jaren wel zullen voldoen aan de normen. Het nut van de bestaande normen voor PFOS is daarom twijfelachtig; immers, er zal de komende jaren blijven moeten worden geconcludeerd dat de normen niet gehaald worden. De kans dat de normen voor PFOA en GenX daarentegen zullen worden overschreden in de komende jaren, lijkt vrijwel uitgesloten. De actuele jaargemiddelde concentraties van PFOA, die de afgelopen jaren zijn gestabiliseerd (zie paragraaf 3.4), liggen minimaal een factor 5 onder de norm, terwijl dit voor GenX minimaal een factor 50 is.

Wat betreft normen kan als laatste nog worden opgemerkt dat de aanwezigheid van JG-MKN-waarden voor slechts 3 stoffen behorend tot een groep van meer dan 4700 synthetische verbindingen, vanuit een gezondheids- en milieukwaliteitsperspectief buitengewoon zorgwekkend is. Ook van vele van de andere PFAS kan verwacht worden dat ze worden opgenomen in mensen en dieren en potentieel effecten teweeg kunnen brengen. Voor enkele van de geselecteerde PFAS wordt opname in vis in het volgende hoofdstuk geïllustreerd. Er is daarom een dringende noodzaak tot het afleiden van normen voor andere PFAS in water, bijvoorbeeld in de vorm van een som-PFAS-norm. Anderzijds heeft het instellen van normen voor zeer persistente stoffen zoals PFAS weinig zin als er geen effectief beleid op reductie of eliminatie van de emissies wordt gevoerd. Immers, bij continuerende emissies is het slechts een kwestie van tijd voordat een norm wordt overschreden, tenzij de norm vanwege toxicologische of beleidsmatige redenen zodanig hoog wordt gesteld, dat concentraties in het milieu deze niet zullen overschrijden. In het laatste geval is het nut van de norm uiteraard eveneens twijfelachtig.



Figuur 3.4 Toetsing van de 2020 jaargemiddelde concentraties van PFOS, PFOA en GenX aan de bestaande jaargemiddelde milieukwaliteitsnormen (JG-MKN) voor oppervlaktewater voor de betreffende stof, zoals weergegeven met een horizontale rode lijn. Voor GenX valt de normlijn buiten de schaal van de grafiek.

4. PFAS in biota

4.1. Algemene toestand

Van de 16 target PFAS in de biota-analyse van WMR zijn er 10 boven de rapportagegrens aangetoond in de diverse biotamonsters uit 2017-2019. Dit betreft de perfluorcarbons met een ketenlengte van 8 of meer en de perfluorsulfonzuren met een ketenlengte van 6 of meer. De aangetroffen concentraties lopen ver uiteen: van 0,1 tot 140 µg/kg natgewicht. De verschillen in de concentraties van individuele PFAS tussen de verschillende locaties zijn echter minder groot en in relatieve termen vergelijkbaar met de verschillen gezien voor de waterfase: circa een factor 3 tot 56 voor de perfluorcarbons. Voor PFOS is de range echter aanzienlijk groter: een factor 213. Voor deze stof worden dan ook de hoogste concentraties van alle PFAS gemeten (tot 140 µg/kg natgewicht) en in de biota van alle locaties is de concentratie van PFOS ook consequent het hoogst van alle aangetoonde PFAS. In Tabel 4.1 zijn de ranges in concentraties bepaald in biota in 2019 numeriek weergegeven. In Bijlage E.1 worden de concentraties van de verschillende PFAS grafisch gepresenteerd per locatie, welke opnieuw zijn ingedeeld naar 'stroomgebied'. De data geven duidelijk aan dat de locatie waar de meest PFAS-gecontamineerde vis wordt gevonden in de Westerschelde ligt (MIDDGBWPMMLPT; som van de PFAS-concentraties (ΣPFAS): 170 µg/kg natgewicht), gevolgd door locatie VROUWZD in het IJsselmeer (ΣPFAS: 65 µg/kg natgewicht).

Tabel 4.1 Concentratieranges van de in biota aangetoonde PFAS in 2019.
De concentraties zijn gegeven in µg/kg natgewicht.

Alle locaties	
PFOA	0,10 - 1,2
PFNA	0,10 - 1,9
PFDA	0,25 - 7,9
PFUdA	0,10 - 5,6
PFDaA	0,10 - 2,2
PFTDA	0,80 - 2,6
PFHxS	5,8 *
PFHpS	2,0 *
PFOS	0,66 - 140
ΣPFAS	1,1 - 169

* Enkelvoudige meting in bot (gemengd monster) van locatie MIDDGBWPMMLPT.

Deze resultaten tonen aan dat recent bemonsterde vis uit de Westerschelde een hogere ΣPFAS-concentratie bevat dan vis uit de Great Lakes in Noord-Amerika (Remucal, 2019), waar de hoogste aangetroffen ΣPFAS-concentratie 136 µg/kg bedroeg. Ook vergeleken met vis uit de grote meren in Noord-Italië en Zwitserland (Como, Garda, Maggiore, Geneve), waar de hoogste ΣPFAS-concentraties

circa 60 µg/kg bedroegen (Valsecchi et al., 2021), is de concentratie op locatie MIDDGBWMLPT zeer hoog, terwijl de ΣPFAS-concentratie in het IJsselmeer (locatie VROUWZD) zeer vergelijkbaar is met de genoemde concentraties in andere Europese meren. Op alle andere bemonsterde Nederlandse locaties waren de (Σ)PFAS-concentraties in 2019 aanzienlijk lager. Met name op de locaties in open zee zijn de aangetroffen concentraties vele malen lager, echter, belangrijker om te concluderen is dat zelfs hier PFAS aantoonbaar zijn in vis. Opmerkelijk is ook het grote verschil in concentraties gevonden in vis op locatie MIDDGBWMLPT en in schaaldieren op de enkele kilometers stroomafwaarts in de Westerschelde gelegen locatie KNUITHK (de enige locatie waar schaaldieren - mossels en oesters - zijn bemonsterd; op alle andere locaties is er sprake van vismonsters). Omdat aangenomen mag worden dat de concentraties in de waterfase op beide locaties niet extreem veel verschillen, duidt dit resultaat waarschijnlijk op een verschil in bioaccumulatiepotentie tussen vis en schaaldieren (zie hoofdstuk 5).

Om de spatiële verdeling van PFAS te illustreren, zijn in Figuur 4.1, analoog aan Figuur 3.1, de concentraties van PFOS aangetroffen in biota in 2019 op de verschillende locaties weergegeven op de kaart van Nederland.

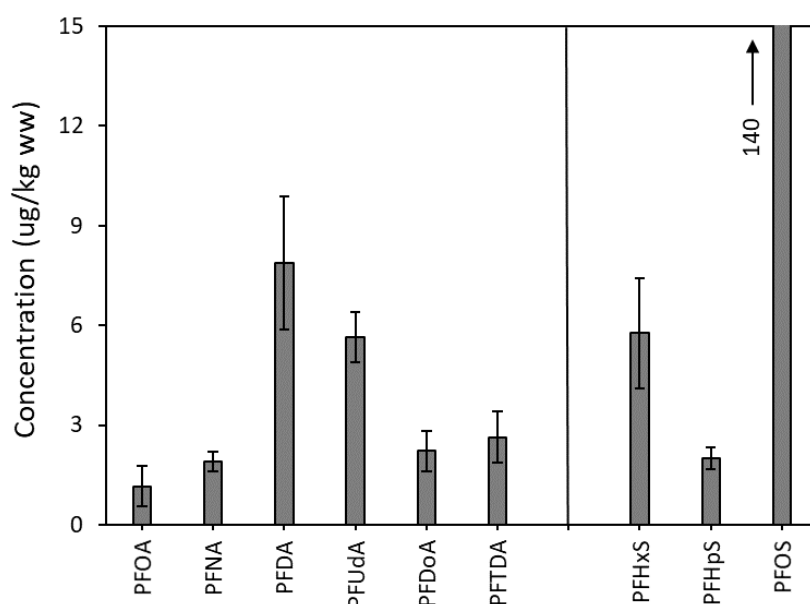


Figuur 4.1 Relatieve weergave van de PFOS-concentraties in biota op 11 locaties in 2019. De hoogte van ieder staafje correspondeert met de (relatieve) concentratie op de betreffende locatie. Error bars zijn weggelaten vanwege visuele redenen.

Er zijn momenteel data beschikbaar uit drie bemonsteringsjaren, waarbij de meeste PFAS-concentraties in biota zijn bepaald in 2019 (zie boven); de metingen in 2017 leverden bijvoorbeeld maar 9 concentraties op. Voor geen van de bemonsterde locaties zijn concentraties voorhanden uit alle drie de bemonsteringsjaren; slechts voor drie locaties is er sprake van 'overlap' voor specifieke PFAS gemeten in 2018 en 2019. De betreffende concentraties zijn grafisch weergegeven in Bijlage E.2. De resultaten laten zien dat de PFAS-concentraties over het algemeen hoger zijn in vis bemonsterd in 2019 (met name op locatie MIDDGBWPMMLPT; een factor 3-4), maar vergelijkbare en lagere concentraties in vergelijking met bemonsteringsjaar 2018 komen eveneens voor. Gezien de variabiliteit van het 'compartiment biota' zijn dergelijke variabele concentraties niet verwonderlijk. Al met al ontbreekt het hoe dan ook aan gegevens om een uitspraak te kunnen doen over temporele trends van PFAS-concentraties in biota in de Rijkswateren.

4.2. Stofprofielen

Omdat concentraties zijn gemeten van meerdere PFAS in de biotamonsters, kunnen ook hier stofprofielen worden gemaakt. Feitelijk staan deze al vermeld in Bijlage E voor alle locaties, maar in Figuur 4.2 is voor vis bemonsterd in 2019 op locatie MIDDGBWPMMLPT een 'uitvergroting' gemaakt. De staaf voor PFOS is afgekapt, zodat het stofprofiel voor de andere PFAS beter naar voren komt.



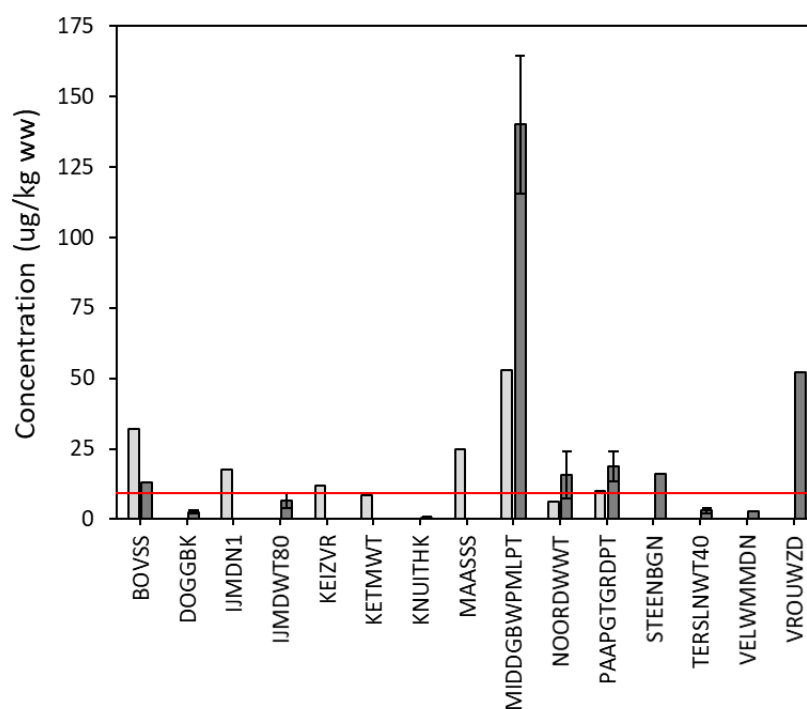
Figuur 4.2 Concentraties (µg/kg natgewicht vis) van negen PFAS (zes perfluorcarbons in het linkervak en drie perfluorsulfonaten in het rechtervak) in bot bemonsterd op locatie MIDDGBWPMMLPT (Westerschelde) in 2019. De staaf voor PFOS is afgekapt om het stofprofiel voor de overige PFAS zo duidelijk mogelijk weer te geven.

Het profiel dat ontstaat is totaal verschillend van de profielen voor de waterfase (zie Figuur 3.2 en Bijlage C), maar zeer vergelijkbaar met de stofprofielen voor biota bemonsterd op de andere locaties (blankvoorn, bot, schol, mosselen; zie Bijlage E). Het deelprofiel voor de perfluorcarbonszuren wordt hierbij gekarakteriseerd door een 'piek' (de hoogste concentratie) voor PFDA en een aan beide 'kanten' afnemende concentratie. Dit profiel wordt niet alleen ook gezien op de andere locaties, maar een soortgelijk patroon, met de hoogste concentratie voor PFDA, is ook af te leiden uit data voor vis uit Europese meren (Valsecchi et al., 2021). Het profiel voor de perfluorsulfonzuren wordt niet teruggevonden op andere locaties, omdat PFHxS en PFHpS alleen op locatie MIDDGBWPMLPT in biota zijn aangetroffen. Hetzelfde profiel geldt echter ook voor biota bemonsterd op dezelfde locatie in 2018 (zie Bijlage E) en is daarmee wel reproduceerbaar. Terwijl de oorzaak of sturende factoren voor de profielen met betrekking op de waterfase waarschijnlijk met name moeten worden gezocht in emissie- en afbraakpatronen (zie paragraaf 3.2), spelen deze bij de biotaprofielen hoogstwaarschijnlijk alleen een indirecte rol. Stofprofielen in biota zullen hoofdzakelijk worden gestuurd door de affiniteit van de betreffende PFAS voor het biologische compartiment. Een stof 'kiest' er namelijk voor hoe graag hij in biota aanwezig wil zijn. Dit aspect wordt nader belicht in hoofdstuk 5. De absolute hoogte van de concentraties in biota wordt wel gestuurd door de externe concentraties (in de waterfase) en daarmee dus indirect door de emissies en afbraakprocessen in het milieu.

4.3. Normtoetsing

Terwijl er op dit moment voor drie individuele PFAS normen voor oppervlaktewater gelden, is er voor organismen die in dit oppervlaktewater leven, slechts voor één PFAS een norm. Het betreft PFOS, waarvoor de Europese norm (Environmental Quality standard for biota; EQS_{biota}) 9,1 µg/kg natgewicht bedraagt. De norm heeft betrekking op de som van de concentraties van PFOS met een lineaire keten en PFOS met vertakte ketens. In Figuur 4.3 zijn de PFOS-concentraties, die bepaald zijn in biota in 2018 en 2019, getoetst aan deze norm. Hoewel de situatie niet zo extreem is als voor de waterfase, waar op alle locaties de PFOS-norm wordt overschreden (zie Figuur 3.4), blijkt uit Figuur 4.3 dat in 12 van de 19 gevallen, ofwel op 9 van de 15 locaties, de PFOS-concentraties in biota boven de norm liggen. Het betreft hier alle binnenlandse locaties (behalve die in het Veluwemeer (VELWMMDN)), de locatie in het Eems-Dollard (PAAPGTGRDPT) en de locaties dicht langs de kust (NOORDWWT). De concentratie in bot bemonsterd in 2019 in de Westerschelde (locatie MIDDGBWPMLPT) is hierbij de uitschieter en overstijgt de norm met een factor 15. PFOS-concentraties in vissen (schol) bemonsterd op locaties verder op zee (DOGGBK, IJMDWT80, TERSLNWT40) en schaaldieren bemonsterd in de Westerschelde (KNUITHK) liggen een factor 1,4 tot 14 onder de norm.

De zorg met betrekking tot het gebrek aan normen voor andere PFAS, zoals die beschreven is in paragraaf 3.5 voor de waterfase, is hier uiteraard eveneens van toepassing. De noodzaak tot het afleiden en instellen van normen voor biota is zeker zo hoog, gezien de potentie tot directe ecotoxicologische effecten op de biota zelf, daarmee indirecte effecten voor het ecosysteem, ook via doorvergiftiging; en mogelijke effecten voor de mens via consumptie van gecontamineerde vis. Normen voor perfluorcarbonszuren met een ketenlengte van boven de acht koolstofatomen hebben hierbij prioriteit, gezien de hoge potentie tot bioaccumulatie van deze verbindingen (zie hoofdstuk 5).



Figuur 4.3 Concentraties van PFOS (som vertakt en lineair) in biota bemonsterd op 15 locaties en toetsing aan de bestaande norm ($EQS_{biota} = 9.1 \mu\text{g/kg ww}$), weergegeven door de rode horizontale lijn. Lichtgrijze staven vertegenwoordigen data uit 2018; donkergrijze uit 2019. Error bars geven de standaarddeviatie op de gemiddelde waarden aan; de afwezigheid van een error bar impliceert een enkelvoudige meting.

5. Concentraties in water en biota gelinkt: bioaccumulatie

Hoewel de PFAS-stofprofielen voor de waterfase en biota totaal verschillend zijn, is er op het niveau van individuele stoffen een duidelijke relatie tussen de concentraties in beide fasen. Stoffen, ook PFAS, verdelen zich namelijk volgens de regels van de thermodynamica tussen de verschillende milieucompartmenten (water, lucht, (water)bodem, biota). De verdeling wordt hierbij gestuurd door de 'affiniteit' van de betreffende stof voor de fasen waartussen de verdeling plaatsvindt. Voor de waterfase wordt deze affiniteit gekarakteriseerd en gekwantificeerd met behulp van de oplosbaarheid in water, terwijl dit voor (water)bodem gebeurt met behulp van een sorptiecoëfficiënt en voor biota op basis van een bioaccumulatiefactor (BAF; zie paragraaf 2.4). Een bioaccumulatiefactor kwantificeert het bioaccumulatieproces, waarbij stoffen vanuit het omringende milieu partitioneren naar organismen. Over bioaccumulatie van stoffen zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), polychloorbifenylen (PCBs), dioxinen en organochloorbestrijdingsmiddelen is veel bekend en voor dergelijke stoffen zijn veel BAFs beschikbaar. Deze stoffen zijn hydrofoob en hopen op in het vetweefsel van organismen (in celmembranen en opslagvet). Daarom worden BAF-waarden altijd genormaliseerd op het vetgehalte van organismen, om zo een eenduidige vergelijking tussen organismen mogelijk te maken. Over bioaccumulatie van PFAS is daarentegen nog relatief weinig bekend. Deze verbindingen hebben zowel hydrofobe als hydrofiele eigenschappen en de factoren die het bioaccumulatieproces van PFAS sturen zijn tot op heden nog onduidelijk. Wel duidelijk is dat alleen vetnormalisatie weinig zin heeft voor PFAS en dat de stoffen een hoge affiniteit voor eiwitten hebben (Ankley et al., 2021). Om deze redenen worden BAFs voor PFAS tot op heden maar gegeven op basis van natgewicht. Omdat bioaccumulatie de link is tussen het abiotische en het biotische milieu en daarmee de brug naar (eco)toxicologische effecten, is het essentieel meer kennis over het proces voor PFAS te verkrijgen. In een recente publicatie wordt zelfs gesteld dat in het veld van blootstellingskarakterisatie van PFAS, het goed in kaart brengen van bioaccumulatie waarschijnlijk de grootste uitdaging is (Ankley et al., 2021).

Het combineren van de in deze data-analyse onderzochte datasets biedt mogelijkheden om informatie te verzamelen over bioaccumulatie van PFAS in de Nederlandse Rijkswateren. Daartoe zijn, zoals in paragraaf 2.4 beschreven, BAFs berekend voor de PFAS die zijn aangetroffen in biota. Niet voor alle gevallen waarin concentraties in biota beschikbaar zijn, was het echter mogelijk een BAF te berekenen, omdat niet in alle gevallen een bijbehorende jaargemiddelde concentratie in de waterfase aanwezig is; bijvoorbeeld omdat die niet gemeten was in het betreffende jaar op de betreffende locatie of omdat er überhaupt geen concentraties in de waterfase worden bepaald op de betreffende locatie (bijvoorbeeld de locaties ver uit de kust). In vier gevallen zijn voor de berekeningen jaargemiddelde concentraties gebruikt van nabijgelegen locaties, omdat er op de exacte locatie van biotabemonstering geen waterbemonstering plaatsvindt. Deze informatie is te vinden in Bijlage F, waar tevens alle berekende individuele BAF-waarden zijn gegeven. Dit is gedaan in de vorm van logaritmische waarden, wat gebruikelijk is met BAF-waarden, omdat dit een onderlinge vergelijking vereenvoudigt. Een samenvatting van de data is te vinden in Tabel 5.1, waarbij de waarden zijn uitgesplitst in waarden voor blankvoorn en voor bot. Voor schol zijn geen BAF-waarden berekend, omdat deze vissoort alleen

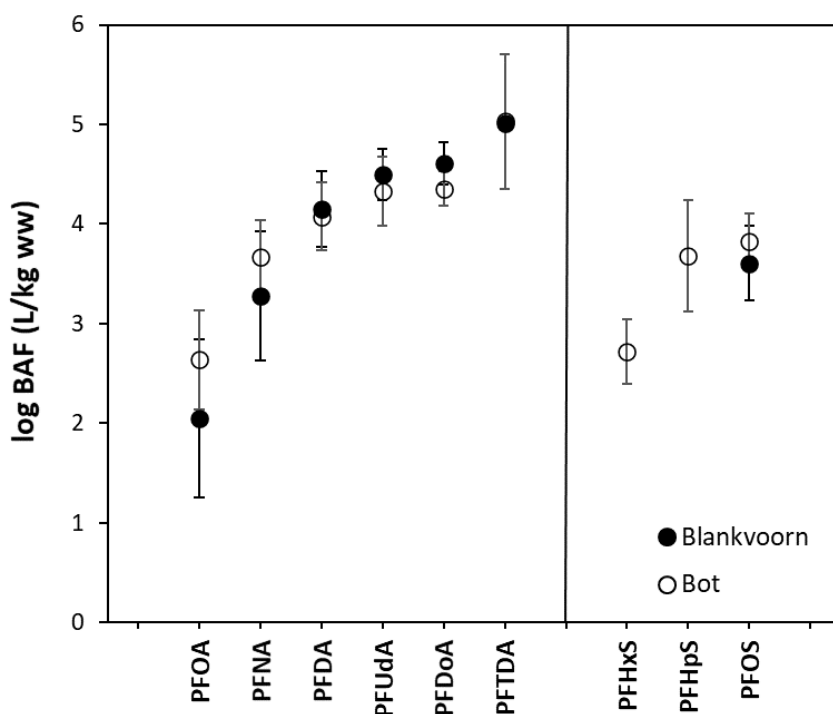
ver uit de kust is bemonsterd, op locaties waarvoor geen concentraties in de waterfase beschikbaar zijn.

Tabel 5.1 Logaritmische bioaccumulatiefactoren (logBAF) voor blankvoorn en bot. Tussen haakjes zijn respectievelijk gegeven de standaard deviatie en het aantal waarnemingen.

	Blankvoorn	Bot	Gemiddeld
PFOA	2,05 ($\pm 0,80$; 2)	2,64 ($\pm 0,50$; 3)	2,40 ($\pm 0,62$; 5)
PFNA	3,27 ($\pm 0,65$; 3)	3,67 ($\pm 0,36$; 7)	3,55 ($\pm 0,47$; 10)
PFDA	4,15 ($\pm 0,38$; 7)	4,08 ($\pm 0,35$; 8)	4,11 ($\pm 0,35$; 15)
PFUdA	4,50 ($\pm 0,25$; 6)	4,33 ($\pm 0,35$; 8)	4,40 ($\pm 0,31$; 14)
PFDaA	4,61 ($\pm 0,21$; 4)	4,36 ($\pm 0,17$; 3)	4,50 ($\pm 0,23$; 7)
PFTDA	5,01 (1)	5,03 ($\pm 0,67$; 2)	5,02 ($\pm 0,48$; 3)
PFHxS		2,72 ($\pm 0,32$; 3)	2,72 ($\pm 0,32$; 3)
PFHpS		3,69 ($\pm 0,56$; 3)	3,69 ($\pm 0,56$; 3)
PFOS	3,61 ($\pm 0,38$; 7)	3,83 ($\pm 0,28$; 8)	3,73 ($\pm 0,34$; 15)

In een recente review (Burkhard, 2021) zijn alle PFAS-BAF-waarden, die bepaald zijn in het laboratorium of in het veld en die gepubliceerd zijn in de wetenschappelijke literatuur, geïnventariseerd en geëvalueerd. Tabel 5.1 voegt interessante data toe aan de bestaande PFAS-BAF-database. Zo zijn er momenteel 105 BAF-waarden voor PFOS in vis gepubliceerd. De 15 waarden in Tabel 5.1 breiden deze pool bijvoorbeeld al uit met 14%. Belangrijk om te vermelden is ook dat gegevens voor zoute species zeer beperkt zijn (Burkhard, 2021), terwijl in de huidige dataset juist de nadruk ligt op data voor (zoute) bot. De data in Tabel 5.1 komen verder goed overeen met het beeld dat uit de literatuur naar voren komt. Zo is de mediaan logBAF voor PFOS in de literatuurwaarden 3,47 ($\pm 0,78$) en voor PFOA 2,16 ($\pm 0,85$), waarden die zeer vergelijkbaar zijn met de huidige waarden. Voor de andere PFAS zijn de verschillen tussen de huidige waarden en de gerapporteerde mediaan BAF-waarden wat groter, hoewel in alle gevallen de standaarddeviaties overlappen, en de verschillen daardoor hoogstwaarschijnlijk niet significant zijn. Hoewel de spreiding in de data in Tabel 5.1 groot lijkt, is dit een spreiding die niet ongebruikelijk is voor PFAS. Een deel van die spreiding is volgens Burkhard (Burkhard, 2021) mogelijk te verklaren doordat logBAF-waarden lijken af te nemen met toenemende blootstellingsconcentratie. In de huidige dataset is dit beeld eveneens zichtbaar voor PFNA en PFDA, maar niet voor PFOS en PFUdA (de vier stoffen met een aanzienlijke hoeveelheid data; resultaten niet getoond). Of een dergelijke relatie een mechanistische oorzaak heeft, is overigens niet duidelijk. Ook experimentele artefacten zouden een dergelijke relatie kunnen verklaren. De huidige dataset toont verder aan dat er geen significante verschillen zijn in BAFs voor zoutwater- en zoetwatervissen. In de literatuur bestaat grote onduidelijkheid over deze kwestie; zowel lagere als hogere waarden worden gevonden voor zoute species (Burkhard, 2021). De huidige gemiddelde waarden voor PFOA en PFNA voor bot (zout) zijn dan wel beduidend hoger dan die voor blankvoorn (zoet), maar de verschillen zijn, gezien de grote betrouwbaarheidsintervallen, niet significant. Voor de andere PFAS liggen de gemiddelde waarden voor blankvoorn en bot opmerkelijk dicht bij elkaar.

Als laatste is het interessant te kijken naar de BAFs voor de verschillende PFAS. In Figuur 5.1 zijn de waarden uit Tabel 5.1 grafisch uitgezet, waarbij de perfluorcarbonzuren op volgorde zijn gezet en waarbij iedere stap daarmee een toename met een $-CF_2-$ fragment vertegenwoordigt. Hetzelfde is gedaan voor de perfluorsulfonzuren in het rechterblok van de figuur. De figuur laat zien dat met een toenemende ketenlengte, de BAF eveneens toeneemt. Dit patroon ligt enigszins voor de hand, omdat met een toenemende ketenlengte de hydrofobiciteit van het molecuul toeneemt en daarmee de affiniteit voor een apolaire matrix, zoals een organisme. Deze toename in BAF met de lengte van de koolstofketen is dan ook eveneens af te leiden uit de literatuurbedata. Onduidelijk is wel waarom de toename in de BAF niet uniform verloopt: de toename tussen PFOA en PFNA is groot (ook in literatuurbedata (Burkhard, 2021)), terwijl de daaropvolgende stappen af lijken te nemen. Een vergelijkbaar patroon geldt voor de perfluorsulfonzuren, waarvoor echter minder duidelijke conclusies kunnen worden getrokken, omdat hier slechts sprake is van data voor drie stoffen. De oorzaken van het afvlakken van de toename in BAF is onduidelijk en toekomstig onderzoek zal hier uitsluitsel moeten brengen. Het is mogelijk dat er specifieke sorptiemechanismen aan ten grondslag liggen (associatie van de PFAS met specifieke organismefracties of biomoleculen), maar experimentele artefacten zouden eveneens dit patroon kunnen verklaren (bijvoorbeeld een toenemende onderschatting van de BAF voor PFAS met een toenemende ketenlengte door een toenemende overschatting van de concentratie in water, door een toenemende fractie stof die geassocieerd is met zwevend stof (Jonker en Van der Heijden, 2007)).



Figuur 5.1 Logaritmische bioaccumulatiefactoren ($\log BAF$) voor PFAS in blankvoorn en bot. BAF-waarden zijn berekend uit concentraties gemeten in vis en concentraties bepaald in water op dezelfde of nabijgelegen locatie.

Het verzamelen van meer bioaccumulatiegegevens is belangrijk, omdat dit in potentie leidt tot meer mechanistische kennis over het proces, waarmee (i) verschillen in bioaccumulatie tussen verschillende soorten, zoals vis en schaaldieren in de Westerschelde (zie paragraaf 4.1), kunnen worden verklaard en (ii) er gekomen kan worden tot betere toekomstige mogelijkheden voor het voorspellen van gehalten in biota op basis van modelwaarden, en een daarmee samenhangende verminderde noodzaak tot het opofferen van vis voor wetenschappelijke/beleidsmatige doeleinden.

6. Conclusies

PFAS zijn alom aanwezig in de Rijkswateren. Reeds sinds het begin van de metingen door RWS in 2008 worden ze op alle geselecteerde bemonsteringslocaties in de waterfase aangetroffen; ook op locaties op zee. De hoogste concentraties worden over het algemeen gevonden in de Schelde en het Kanaal van Gent naar Terneuzen, maar op de overige binnenlandse locaties liggen de concentraties van specifieke PFAS opvallend dicht bij elkaar. Dit suggereert voornamelijk diffuse bronnen, een beeld dat ondersteund wordt door een vrij constante relatieve verdeling van de concentraties van de verschillende PFAS ('stofprofielen'). De stoffen in de Rijkswateren lijken voornamelijk te worden aangevoerd vanuit het buitenland via de grote rivieren. Uit vrachtberekeningen blijkt dat bijvoorbeeld in 2019 zeker tweeëneenhalve ton aan PFAS werd aangevoerd via deze route, voornamelijk via de Rijn. Omdat stroomafwaarts de PFAS concentraties feitelijk niet dalen en er in Nederland netto water aan de rivieren wordt toegevoegd, is er waarschijnlijk ook sprake van binnenlandse PFAS-input, bijvoorbeeld via atmosferische depositie en afvalwaterlozingen. Puntbronnen bevinden zich verder in het Kanaal van Gent naar Terneuzen, specifiek voor GenX in Dordrecht (Chemours) en mogelijk in de Maas. De emissie van GenX in Dordrecht is terug te zien in de concentraties van de stof in de Rijkswateren, net als de afname van deze concentraties na een waarschijnlijke sanering door het bedrijf in 2018. Ook voor enkele andere PFAS is een ontwikkeling in de concentraties door de jaren heen te zien. Het betreft hierbij met name (i) PFHxA, waarvoor sinds 2017 een circa tweemaal hogere concentratie in de Maas en Rijn wordt gemeten dan in de jaren daarvoor, (ii) PFOA, waarvoor vanaf 2012 in alle grote rivieren een daling in de concentratie met een factor 1,5-3 is te zien, en (iii) PFOS, waarvoor de concentraties in de Rijn en Schelde sinds 2008-2012 eveneens met een factor 1,5-3 zijn afgenomen. De twee laatstgenoemde concentratiedalingen lijken samen te vallen met de voor deze twee stoffen ingestelde restricties, maar zijn circa 5 jaar geleden tot stilstand gekomen, wat aangeeft dat de huidige aanpak nog onvoldoende oplevert om de concentraties en daarmee de potentiële (eco)toxicologische effecten van beide persistente stoffen (verder) te reduceren. Mogelijke oorzaken van de stagnatie in de concentratiedalingen zijn de nog steeds toegestane (essentiële) toepassingen van de stoffen, het vrijkomen bij de productie van andere PFAS en uit PFAS-houdende producten, de vorming uit PFAS-precursors in het milieu en nalevering uit andere milieucompartmenten. Voor de andere onderzochte PFAS zijn er geen duidelijke temporele trends waarneembaar in de database. Er is over het algemeen sprake van enige variatie, maar de afgelopen 5 jaar zijn vrijwel alle jaargemiddelde concentraties redelijk tot zeer stabiel te noemen. Slechts voor drie PFAS (PFOS, PFOA en GenX) gelden normen voor oppervlaktewater. Op alle geselecteerde locaties wordt de norm voor PFOS overschreden, terwijl alle concentraties van PFOA en GenX onder de van kracht zijnde normen liggen.

In biota bemonsterd in de Rijkswateren tussen 2017 en 2019 zijn een tiental PFAS aangetroffen op 15 locaties, waaronder locaties op open zee. De gemeten concentraties liggen tussen de 0,1 en 140 µg/kg natgewicht, waarbij de hoogste concentraties zijn gemeten in vis uit de Westerschelde, die binnen een internationale context als bijzonder PFAS-gecontamineerd kan worden gezien. Op alle locaties zijn de relatief hoogste concentraties gemeten voor PFOS, die voor 9 van de 15 locaties boven de geldende norm voor biota liggen. De aangetroffen stoffen komen, net als in de waterfase, voor in een min of

meer vast onderling patroon. Dit patroon wordt enerzijds gestuurd door het stofprofiel in de waterfase en anderzijds door de affiniteit van de stoffen voor biota. Door de concentraties in de waterfase en die in biota te combineren, zijn bioaccumulatiefactoren (BAFs) afgeleid, die het bioaccumulatieproces kwantificeren. De berekende BAFs zijn in overeenstemming met waarden uit de literatuur en tonen aan dat bioaccumulatie van PFAS in vis toeneemt met een toenemende koolstofketenlengte en dat waarden voor zoete en zoute vis vergelijkbaar zijn. Deze resultaten dragen daarmee bij aan de relatief beperkte kennis over bioaccumulatie van PFAS.

7. Aanbevelingen

Op basis van de in deze rapportage beschreven data-analyse kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan.

De afgelopen twee jaar is op de geselecteerde locaties 9 – 16 keer per jaar water bemonsterd ten behoeve van PFAS-analyse. Om kosten te besparen zou de meetfrequentie veilig teruggebracht kunnen worden tot *maximaal* 10 keer, zonder dat de kwaliteit van de database daar onder lijdt. Het ligt niet in de lijn der verwachting dat de concentraties van PFAS in de Rijkswateren snel zullen veranderen en temporele trends zullen ook opgepikt worden met een lagere meetfrequentie.

Hoewel er overlap is in locaties voor water- en biotabemonstering, worden zeker niet op alle biotabemonsteringslocaties ook watermonsters genomen. Dit zou echter wel de kwaliteit van de overall PFAS-database ten goede komen, omdat wanneer er concentraties in zowel water als biota beschikbaar zijn, deze aan elkaar gekoppeld kunnen worden, waardoor informatie over bioaccumulatie van PFAS beschikbaar komt. Het is daarom aan te bevelen om, indien mogelijk, de biota- en waterbemonsteringslocaties beter op elkaar af te stemmen. Het gaat dan met name over de locaties in de Schelde (MIDDGBWPMLPT vs. SCHAARVODDL), Eems-Dollard (PAAPGTGRDPT vs. BOCHTVWTM), Noordwijk (NOORDWWT vs. NOORDWK2) en Grevelingen/Volkerak-Zoommeer (STEENBGN vs. DREISR).

Op het moment van schrijven van deze rapportage waren de meetgegevens biota 2020 nog niet beschikbaar. Zodra dit wel het geval is, is het aan te bevelen deze in combinatie met de concentraties in water uit te werken. Het monitoren van PFAS-concentraties in biota is, in ieder geval de komende jaren, belangrijk, deels om meer inzicht te krijgen in de bioaccumulatie van PFAS, maar met name om de ontwikkelingen in de concentraties in vis nauw te volgen, met het oog op mogelijke ecotoxicologische effecten, doorvergiftiging in de voedselketen en gevolgen voor en door de consumptie van aquatische biota door de mens.

RWS analyseert momenteel 31 PFAS in de waterfase, terwijl WMR 16 PFAS in biota bepaalt. Hoewel dit analytisch-chemisch gezien redelijk uitgebreide analysepakketten zijn, betreft het in beide gevallen minder dan 1% van de mogelijke PFAS. Het blijft daarom belangrijk de ontwikkelingen in ‘opkomende’ PFAS bij te houden en, indien nodig, de analysepakketten aan te passen en/of uit te breiden. Hiernaast zou ook een ‘totaalfluoranalyse’ kunnen worden overwogen, waarmee veel breder wordt gekeken dan naar een beperkte set van PFAS. Het uitbreiden van de biota-PFAS-set met PFAS anders dan de perfluorcarbonsuren en -sulfonzuren kan bovendien belangrijke informatie opleveren over bioaccumulatie van (andere) PFAS.

Het afleiden en implementeren van veilige normen in water, maar zeker ook biota, voor meer PFAS dan de huidige drie heeft hoge prioriteit. Er zou hierbij gedacht kunnen worden aan ‘som-normering’, waarbij normen voor bepaalde groepen PFAS worden ingesteld (Cousins et al. 2020). Aan de andere kant zijn vele PFAS inmiddels ubiquitair en zijn er in geval van normoverschrijding, vanwege de hoge persistentie van de stoffen, weinig middelen om de contaminatiestatus terug te dringen. De verbindingen zijn immers moeilijk uit het milieu te verwijderen en af te breken. Een eerste stap om de

verontreinigingsniveaus niet verder op te laten lopen is daarom, waar mogelijk, de uitstoot van PFAS uit puntbronnen te verminderen. Dit vereist nader onderzoek naar dergelijke bronnen en een mogelijke rol voor de vergunningverlening. De GenX-casus bij Chemours laat zien dat het saneren van een puntbron zich direct doorvertaalt in een verlaging van de concentraties in het omliggende milieu. Een andere belangrijke route om de nadelige effecten van PFAS op het ecosysteem en de humane gezondheid te minimaliseren vraagt om vergaande (inter)nationale samenwerking, waarbij wordt ingezet op restricties en uitfasen van, in ieder geval of in de eerste instantie, niet-essentiële PFAS of niet-essentiële toepassingen.

Literatuur

Ahrens L. 2011. Perfluoroalkyl compounds in the aquatic environment: a review of their occurrence and fate. *J. Environ. Monit.* 13 (20), 20-31.

Ahrens L., Bundschuh M. 2014. Fate and effects of poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: a review. *Environ. Toxicol. Chem.* 33(9), 1921-1929.

Ankley GT, Cureton P, Hoke RA, Houde M, Kumar A, Kurias J, Lanno R, McCarthy C, Newsted J, Salice CJ, Sample BE, Sepulveda MS, Sreevens J, Valsecchi S. 2021 Assessing the ecological risks of per- and polyfluoroalkyl substances: Current state of the science and a proposed path forward. *Environ. Toxicol. Chem.* 40(3), 564-605.

Avendano S.M., Liu, J. 2015. Production of PFOS from aerobic soil biotransformation of two perfluoroalkyl sulfonamide derivatives. *Chemosphere*. 119, 1084-1090.

Brendel S, Fetter E, Staude C, Vierke L, Biegel-Engler A. 2018. Short-chain perfluoroalkyl acids: Environmental concerns and a regulatory strategy under REACH. *Environ. Sci. Eur.* 30, 9.

Burkhard LP. 2021. Evaluation of published bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) data for per- and polyfluoroalkyl substances across aquatic species. Accepted for publication in *Environ. Toxicol. Chem.*

Chemours, 2018-1. Persbericht Chemours: Chemours neemt belangrijke stappen om uitstoot te minimaliseren. Dordrecht, 10 september 2018.

Cousins IT, DeWitt JC, Glüge J, Goldenman G, Herzke D, Lohmann R, Miller M, Ng CA, Scheringer M, Vierke L, Wang Z. 2020. Strategies for grouping per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) to protect human and environmental health. *Environ. Sci.: Process Impacts*. 22(7), 1444-1460

De Kort MJ, De Jong CJ, Ng-A-Tham JJE, Verhoeven JK, Boon PE, Verschoor AJ. 2019. Verspreiding van GenX-stoffen in het milieu; Metingen in Nederland - 2013-2018. RIVM Rapport 2019-0083.

Fenton SE, Ducatman A, Boobis A, DeWitt JC, Lau C, Ng C, Smith JS, Roberts SM. 2021. Per- and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: Current state of knowledge and strategies for informing future research. *Environ. Toxicol. Chem.* 40(3), 606-630.

Glüge J, Scheringer M, Cousins IT, DeWitt JC, Goldenman G, Herzke D, Lohmann R, Ng CA, Trier X, Wang Z. 2020. An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environ. Sci.: Process Impacts*. 22(12):2345-2373.

Houde M, De Silva AO, Muir DCG, Letcher RJ. 2011. Monitoring of perfluorinated compounds in aquatic biota: an updated review. *Environ. Sci. Technol.* 45, 7962-7973.

Houde M, Martin JW, Letcher RJ, Solomon KR, Muir DCG. 2006. Biological monitoring of polyfluoroalkyl substances: A review. *Environ. Sci. Technol.* 10, 3463-3473.

Jans ACH, Berbee RPM. 2020. Bronnen van PFAS voor het Nederlandse oppervlaktewater. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van IenW DGWB voor de werkgroep Aanpak Opkomende Stoffen. RWS. 49 p.

Johnson MS, Buck RC, Cousins IT, Weis CP, Fenton SE. 2021 Estimating environmental hazard and risks from exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): Outcome of a SETAC focused topic meeting. *Environ. Toxicol. Chem.* 40(3), 543-549.

Jonker MTO. 2017. Perfluorverbindingen in de Rijkswateren. Een meerjarenanalyse (2008-2016). Universiteit Utrecht. 38 p.

Jonker MTO, Van der Heijden SA. 2007. Bioconcentration factor hydrophobicity cutoff: An artificial phenomenon reconstructed. *Environ. Sci. Technol.* 41(21), 7363–7369.

Liu J., Avendano S.M. 2013. Microbial degradation of polyfluoroalkyl chemicals in the environment : a review. *Environ. Int.* 61, 98-114.

Loi EI, Yeung LW, Taniyasu S, Lam PK, Kannan K, Yamashita N. 2001. Trophic magnification of poly- and perfluorinated compounds in a subtropical food web. *Environ. Sci. Technol.* 45(13), 5506-5513.

OECD. 2018. Towards a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): Summary report on updating the OECD 2007 list of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Series on risk management. 39. Paris, France.

Remucal CK. 2019. Spatial and temporal variability of perfluoroalkyl substances in the Laurentian Great Lakes. *Environ. Sci. Process Impacts.* 21, 1816-1834.

Valsecchi S, Babut M, Mazzoni M, Pascariello S, Ferrario C, De Felice B, Bettinetti R, Veyrand B, Marchand P, Polesello S. 2021 Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in fish from European lakes: Current contamination status, sources, and perspectives for monitoring. *Environ. Toxicol. Chem.* 40(3), 658-676.

Zodrow JM, Frenchmeyer M, Dally K, Osborn E, Anderson P, Divine C. 2021. Development of per- and polyfluoroalkyl substances ecological risk-based screening levels. *Environ. Toxicol. Chem.* 40(3), 921-936.

Bijlagen

Bijlage A. Bemonsteringsfrequenties water.

Locatie	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BOCHTVWMTM	-	-	12	12	12	-	-	-	2	2	2	14	9
BOVSS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	13
DANTZGT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12
DREISR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	14
EIJSDPTN	-	-	12	13	13	13	4	4	2	2	2	16	14
HARVSS	-	-	-	13	14	13	4	4	-	-	-	13	13
IJMDN1	5	4	14	11	13	13	4	4	2	2	2	15	13
KAMPN	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	13
KEIZVR	-	-	-	13	14	13	4	4	2	2	2	16	13
LOBPTN	7	8	14	14	13	13	4	4	2	2	2	16	13
MAASSS	8	8	-	13	13	13	4	4	2	2	2	15	13
NIEUWGN	-	-	13	13	13	13	4	4	2	2	2	15	13
NOORDWK2	-	-	-	2	2	-	-	-	2	2	2	14	12
SASVGT	-	-	-	-	1	-	-	-	2	2	2	15	13
SCHAARVODDL	-	-	-	13	14	13	4	4	2	2	2	15	13
VROUWZD	-	-	10	11	11	13	4	4	2	2	2	15	13
WALCRN2	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	12	12

Bijlage B. Grafische weergave jaargemiddelde PFAS-concentraties in water.

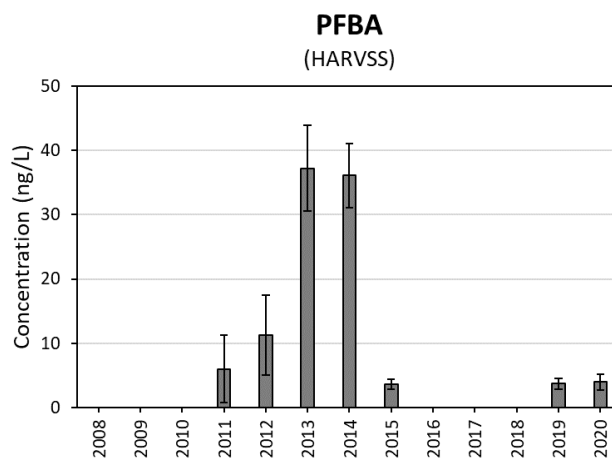
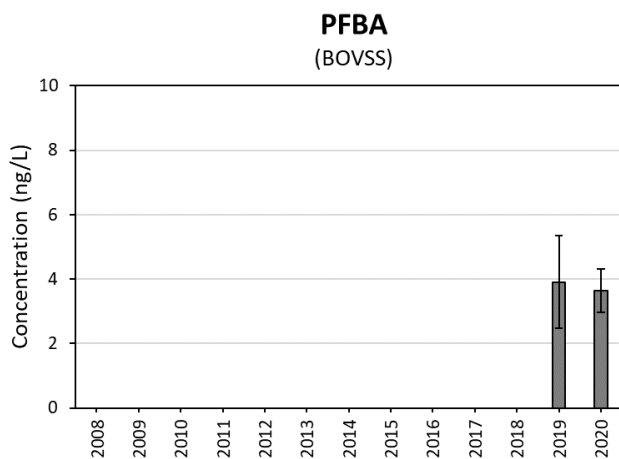
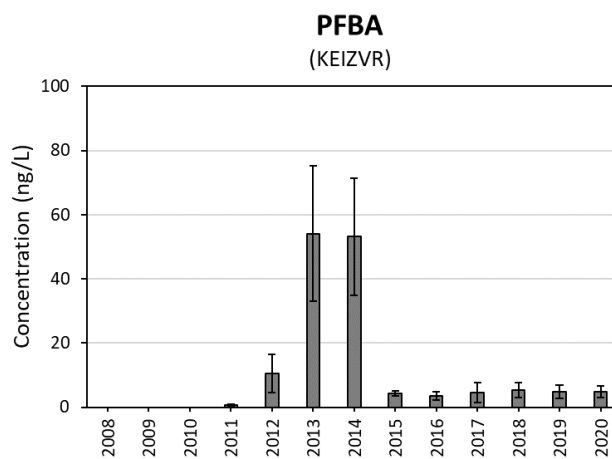
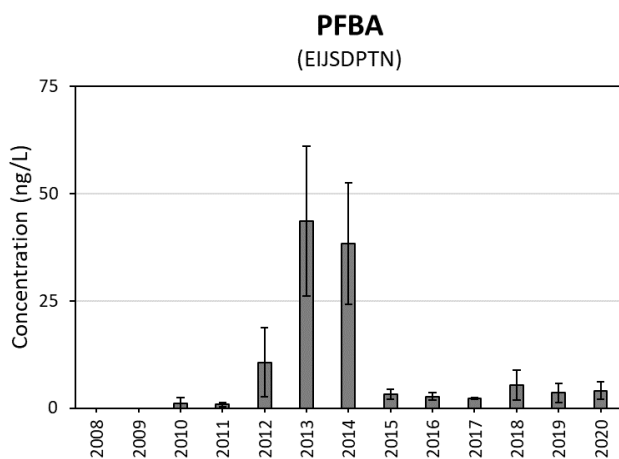
Bij het overzicht op de volgende pagina's gelden enkele algemene opmerkingen:

- De jaargemiddelde concentraties zijn weergegeven voor 13 geselecteerde stoffen en 17 geselecteerde locaties, waarbij gegroepeerd is per stof (Bijlagen B.1 t/m B.13).
- De locaties zijn ingedeeld naar 'stroomgebied' (Rijn, Maas, Schelde en Eems + zee).
- Het aantal metingen per jaar verschilt per locatie en jaar; en varieert tussen de 1 en 16 (zie Bijlage A).
- Het aantal monsterjaren verschilt per stof en locatie; en varieert tussen de 2 en 13.
- 'Error bars' in de grafieken geven de standaarddeviatie op het jaargemiddelde weer.
- De afwezigheid van een error bar impliceert een enkelvoudige meting in het betreffende jaar.
- De y-as schaal verschilt noodgedwongen per stof en locatie.

Bijlage B.1 Perfluorbutaanzuur

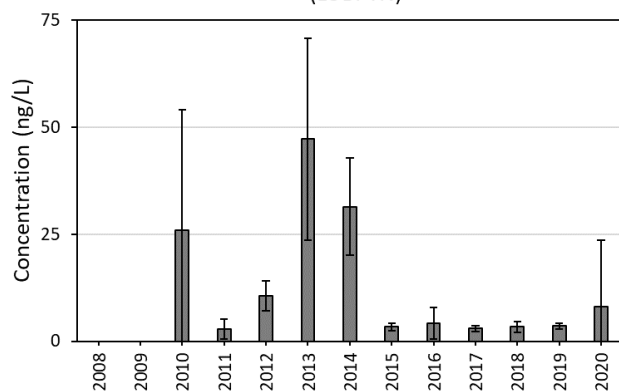
Op alle locaties waar in 2013 en 2014 PFBA is gemeten (m.u.v. op locatie SCHAARVODDL), is een verhoogde jaargemiddelde concentratie te zien. In deze jaren zijn de metingen uitgevoerd door een ander laboratorium (niet RWS) en de verhoogde concentraties hebben daarom hoogstwaarschijnlijk geen bron-gerelateerde, maar een chemisch-analytische oorzaak (matrix-effecten tijdens de analyse).

Stroomgebied Maas

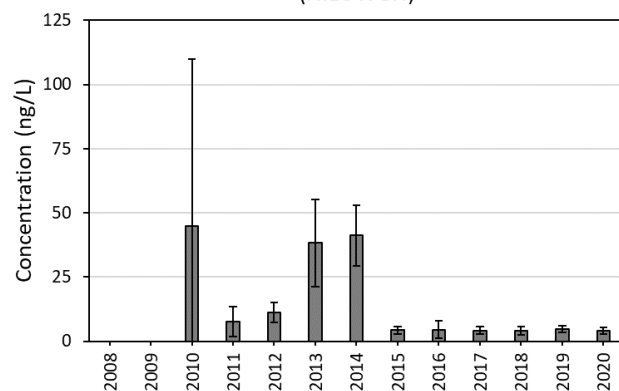


Stroomgebied Rijn

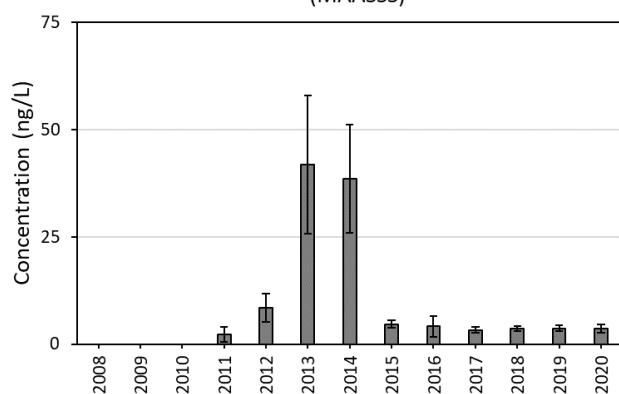
PFBA
(LOBPTN)



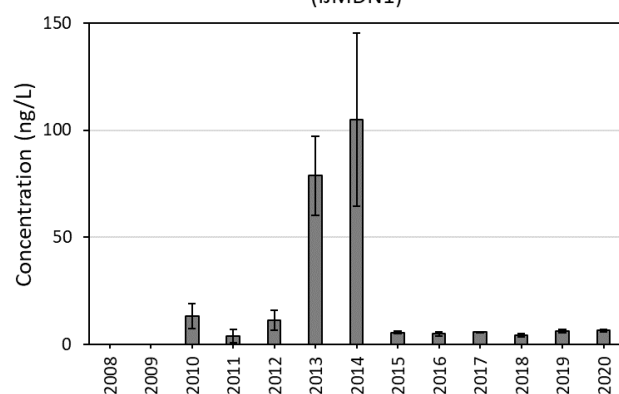
PFBA
(NIEUWGN)



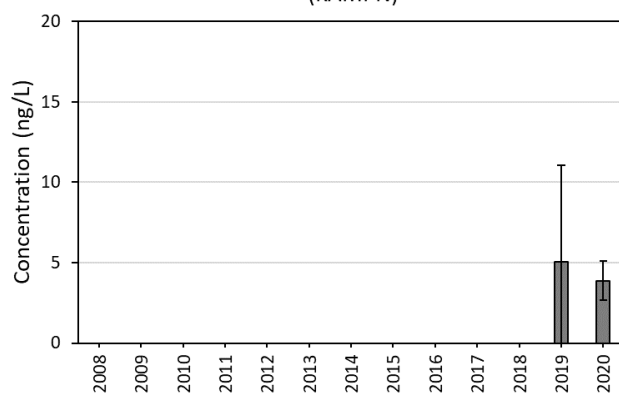
PFBA
(MAASSS)



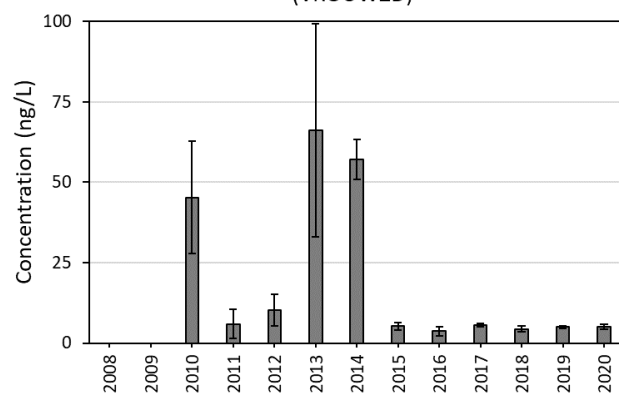
PFBA
(IJMDN1)



PFBA
(KAMPN)

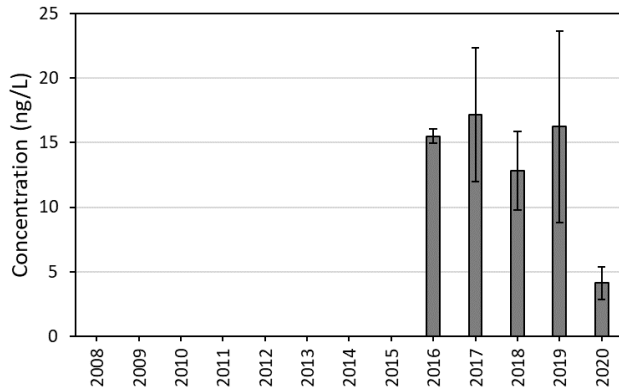


PFBA
(VROUWZD)

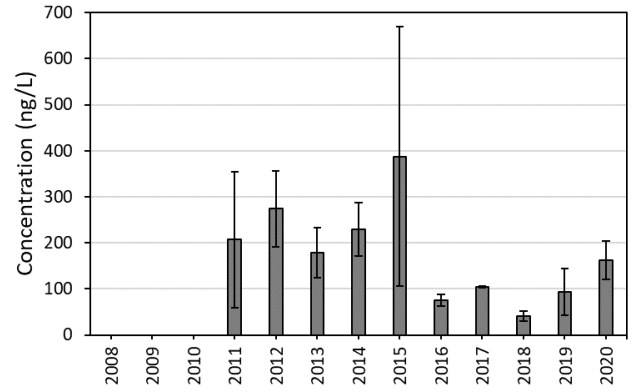


Stroomgebied Schelde

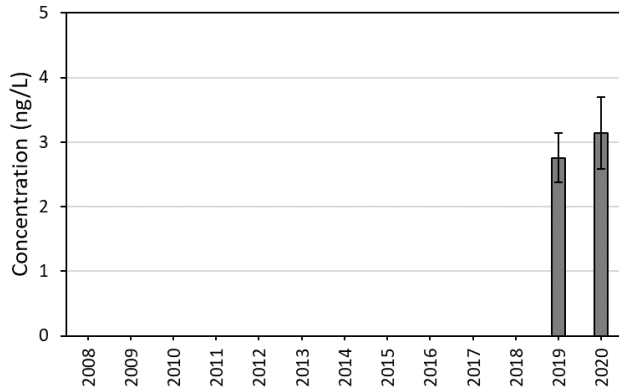
PFBA
(SASVGT)



PFBA
(SCHAARVODDL)

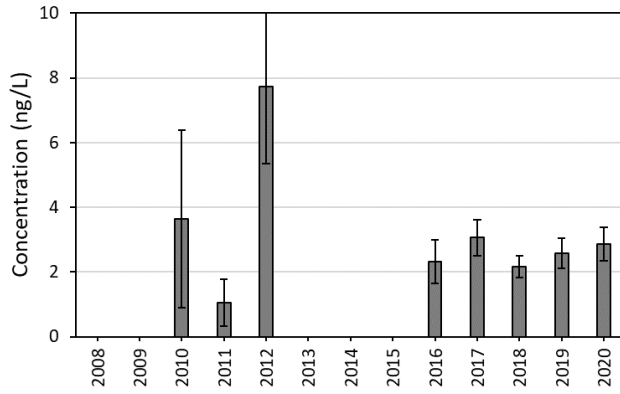


PFBA
(DREISR)

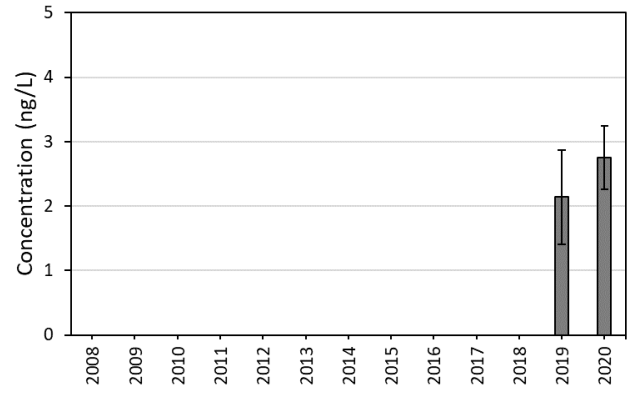


Eems + zee

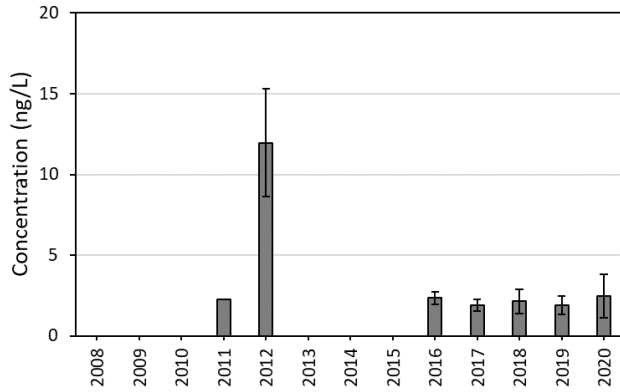
PFBA
(BOCHTVWTM)



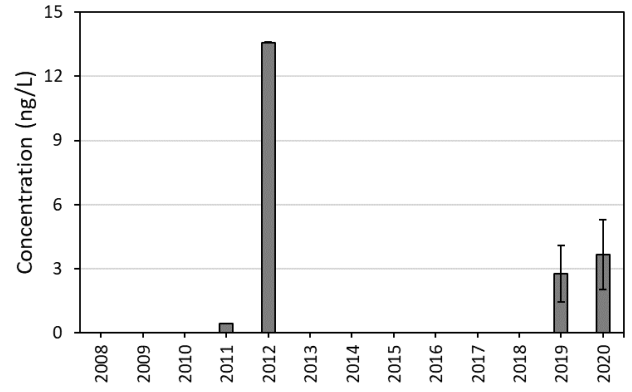
PFBA
(DANTZGT)



PFBA
(NOORDWK2)



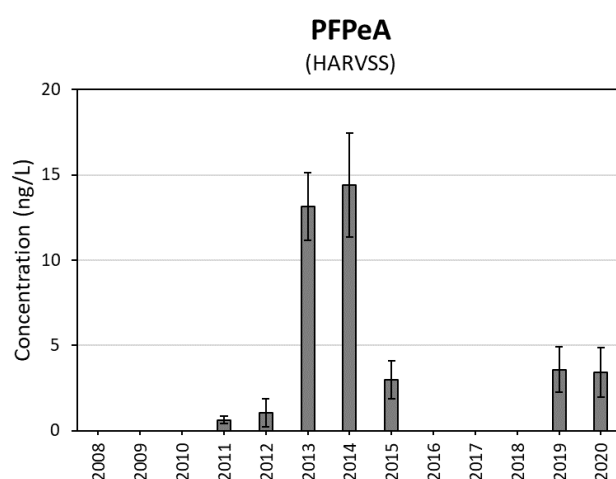
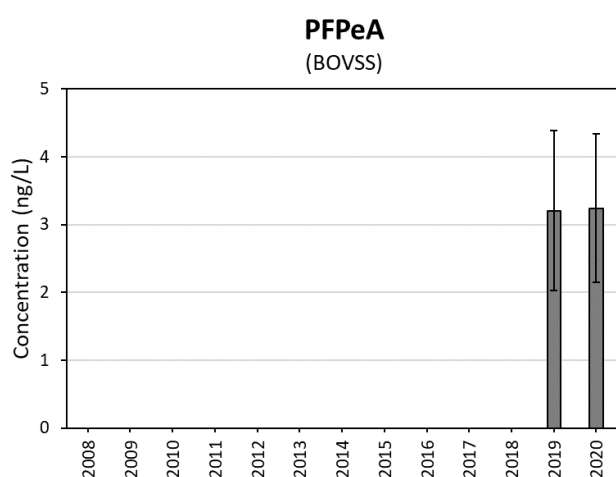
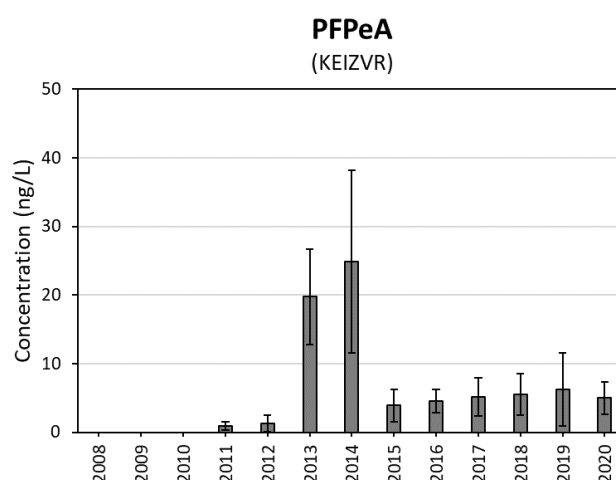
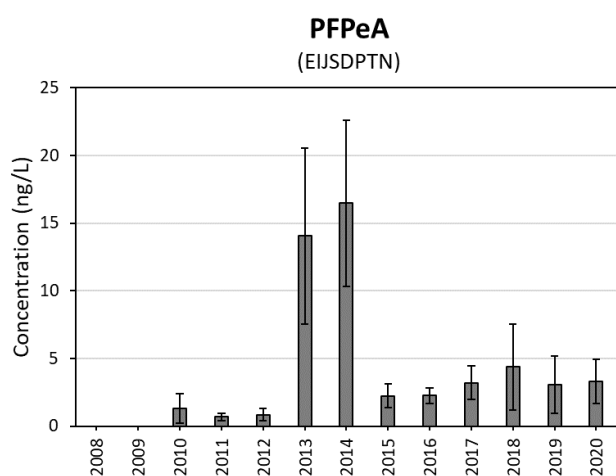
PFBA
(WALCRN2)



Bijlage B.2 Perfluoropentaanzuur

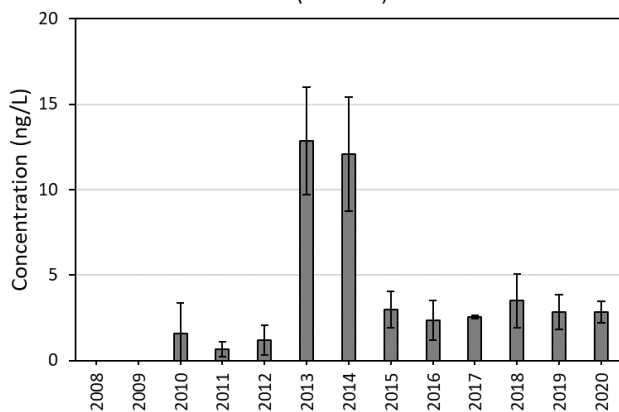
Op alle locaties waar in 2013 en 2014 PFPeA is gemeten, is een verhoogde jaargemiddelde concentratie te zien. In deze jaren zijn de metingen uitgevoerd door een ander laboratorium (niet RWS) en de verhoogde concentraties hebben daarom hoogstwaarschijnlijk geen bron-gerelateerde, maar een chemisch-analytische oorzaak (matrix-effecten tijdens de analyse).

Stroomgebied Maas

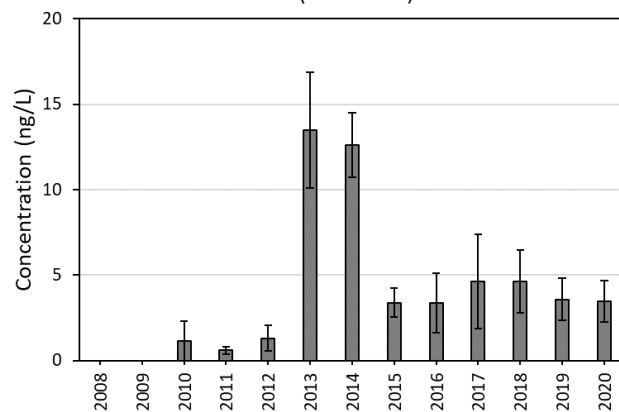


Stroomgebied Rijn

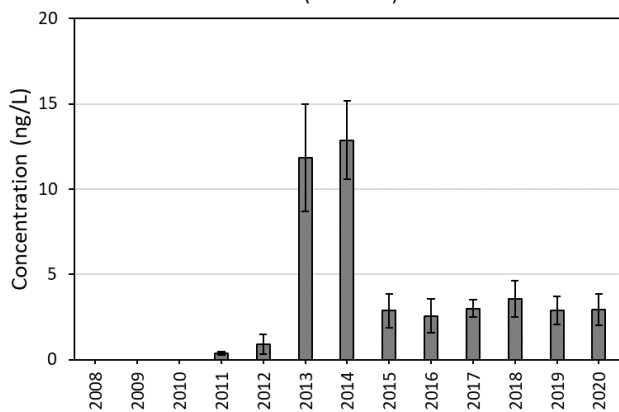
PFPeA
(LOBPTN)



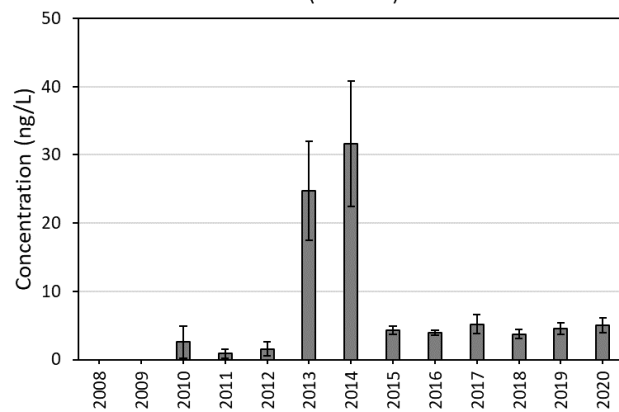
PFPeA
(NIEUWGN)



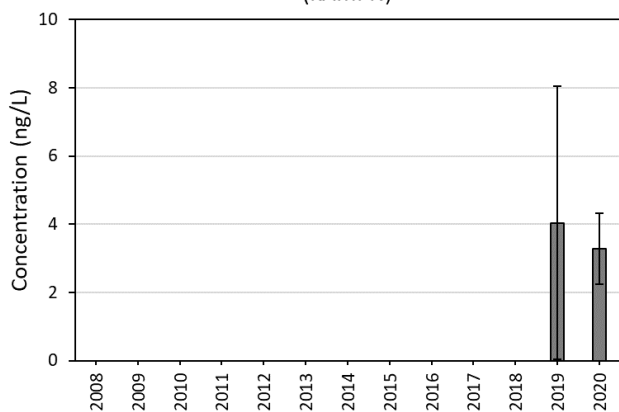
PFPeA
(MAASSS)



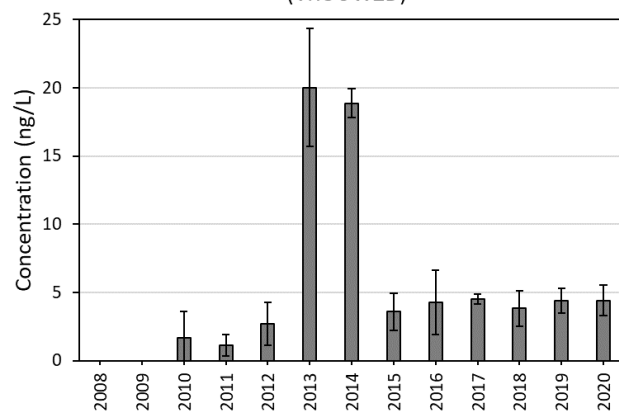
PFPeA
(IJMDN1)



PFPeA
(KAMPN)

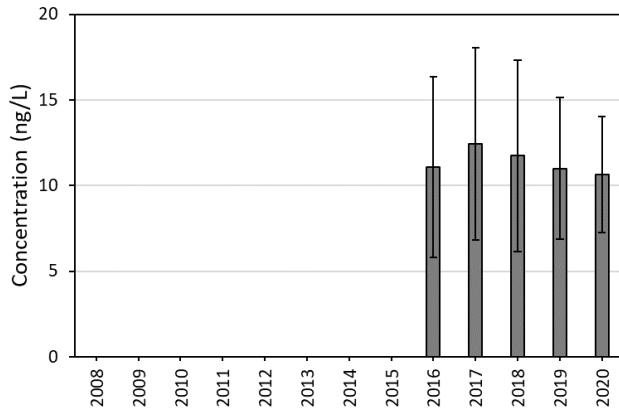


PFPeA
(VROUWZD)

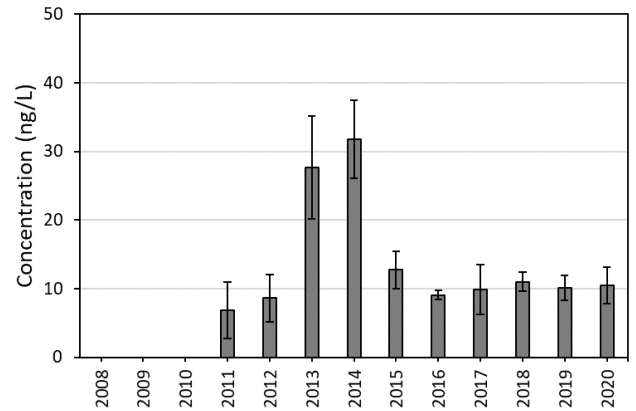


Stroomgebied Schelde

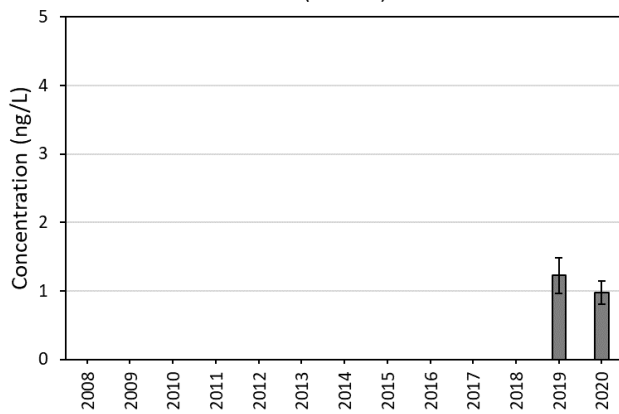
PFPeA
(SASVGT)



PFPeA
(SCHAARVODDL)

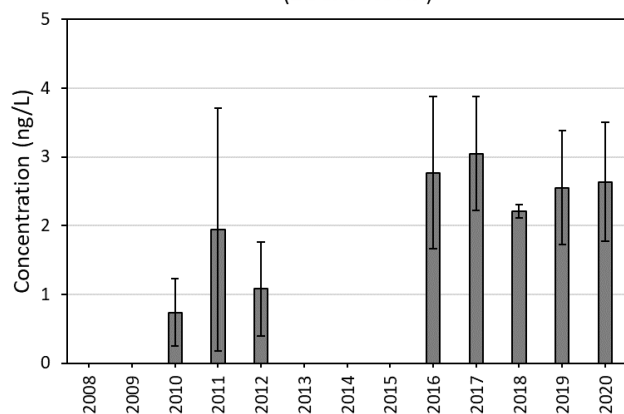


PFPeA
(DREISR)

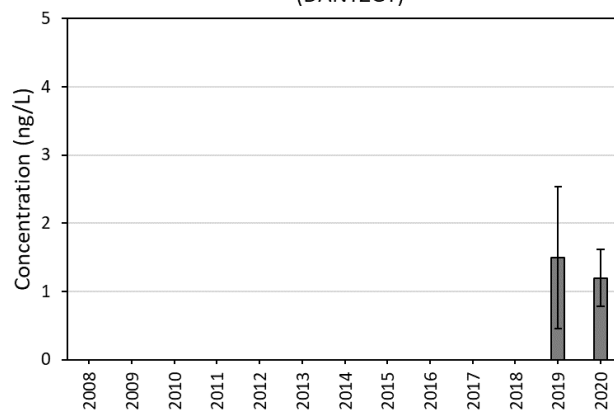


Eems + zee

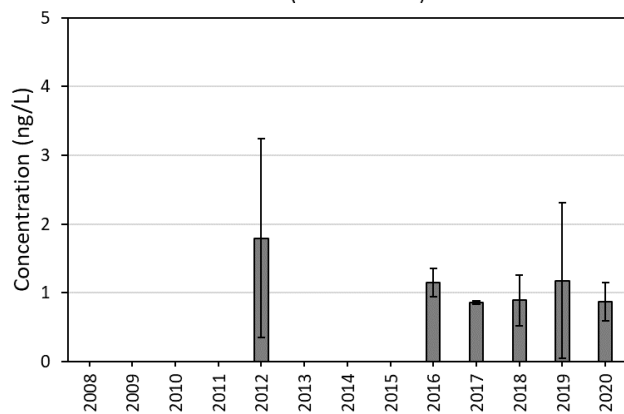
PFPeA
(BOCHTVWTM)



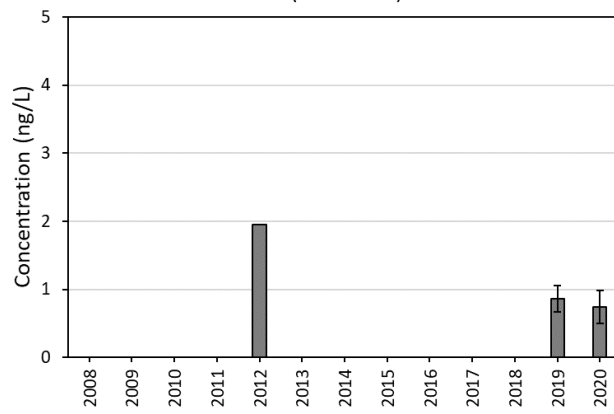
PFPeA
(DANTZGT)



PFPeA
(NOORDWK2)



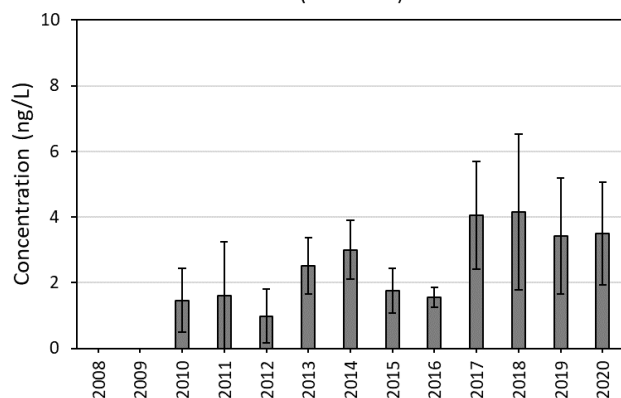
PFPeA
(WALCRN2)



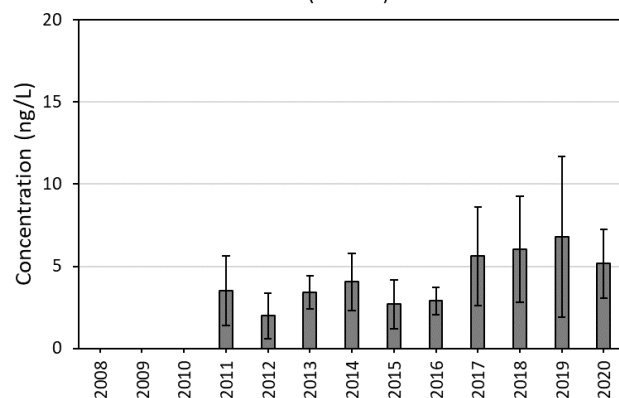
Bijlage B.3 Perfluorhexaanzuur

Stroomgebied Maas

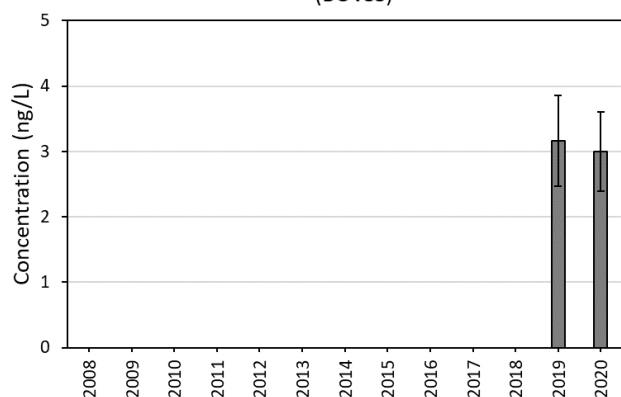
PFHxA
(EIJSDPTN)



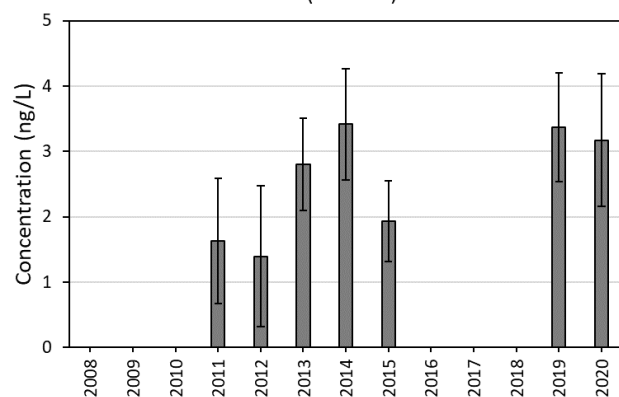
PFHxA
(KEIZVR)



PFHxA
(BOVSS)

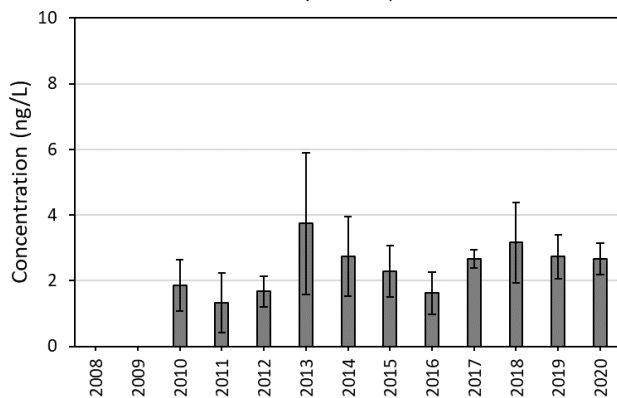


PFHxA
(HARVSS)

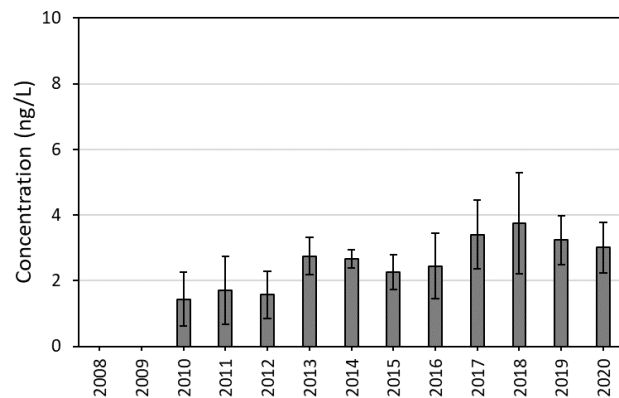


Stroomgebied Rijn

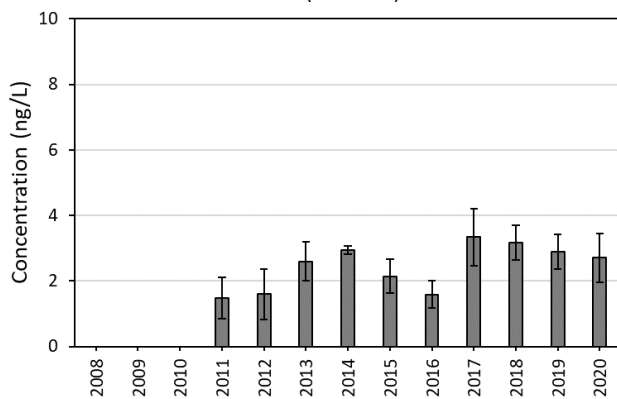
PFHxA
(LOBPTN)



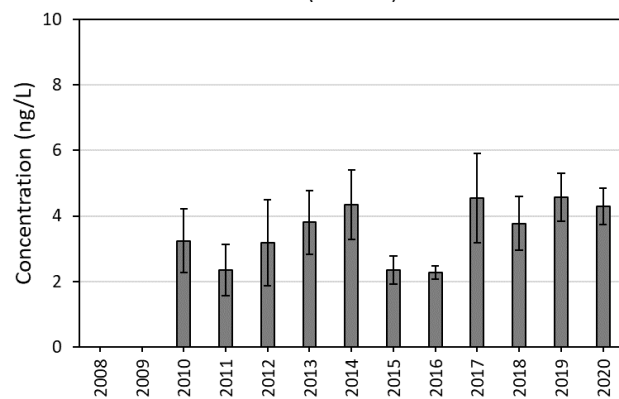
PFHxA
(NIEUWGN)



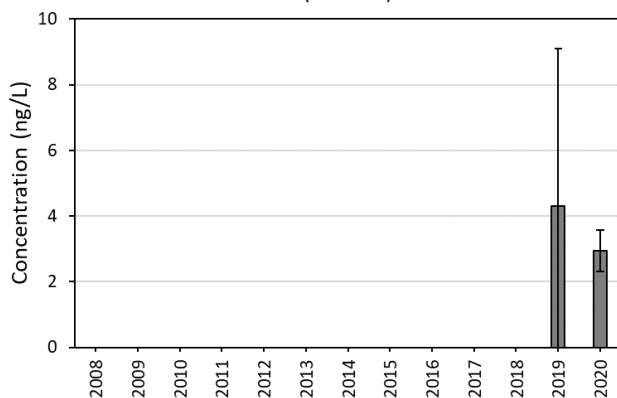
PFHxA
(MAASSS)



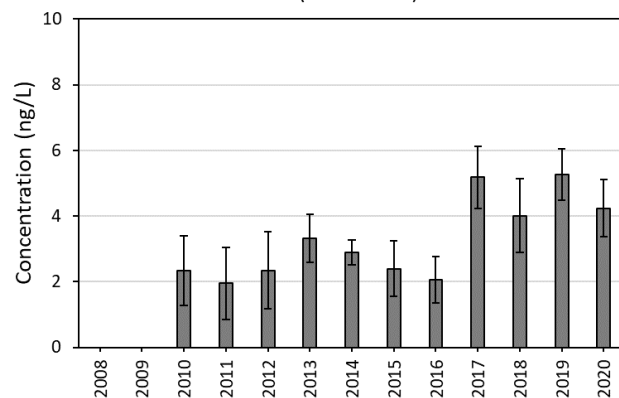
PFHxA
(IJMDN1)



PFHxA
(KAMPN)

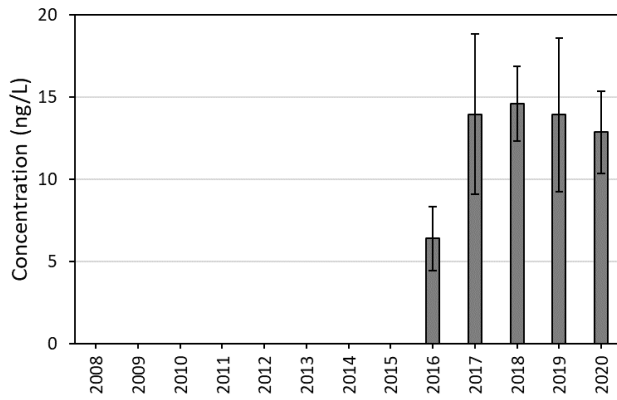


PFHxA
(VROUWZD)

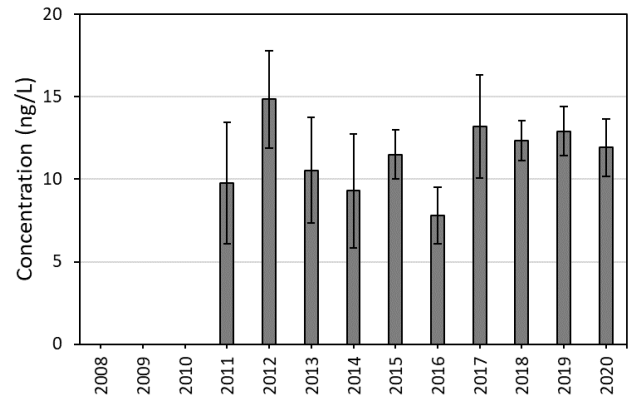


Stroomgebied Schelde

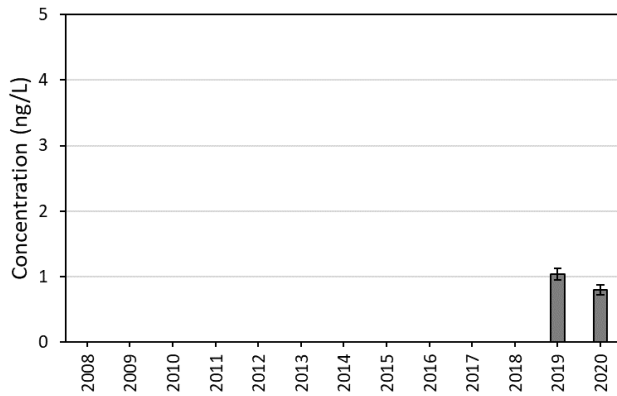
PFHxA
(SASVGT)



PFHxA
(SCHAARVODDL)

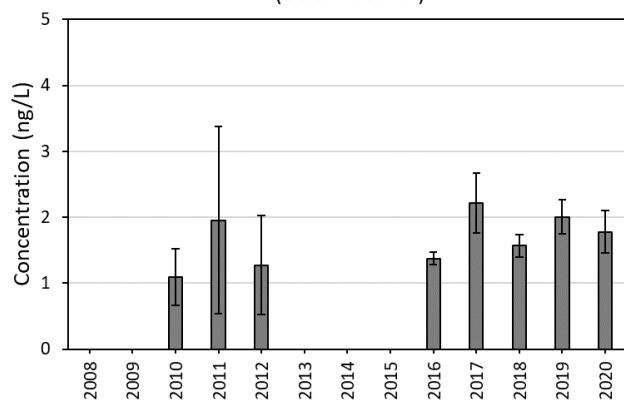


PFHxA
(DREISR)

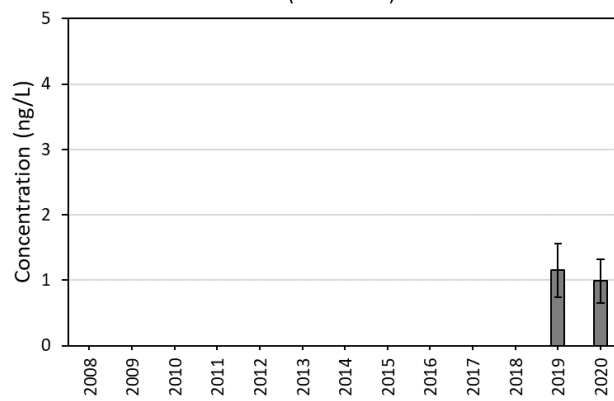


Eems + zee

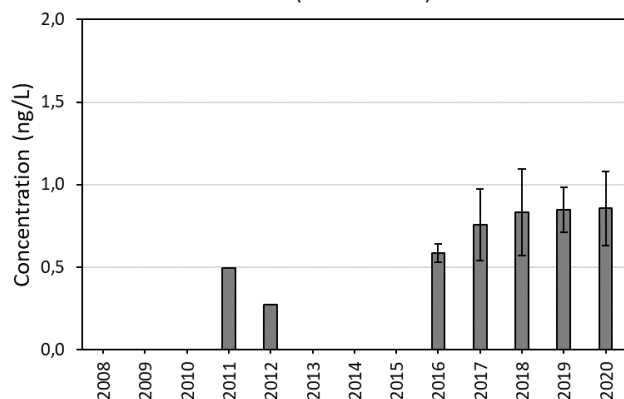
PFHxA
(BOCHTVWTM)



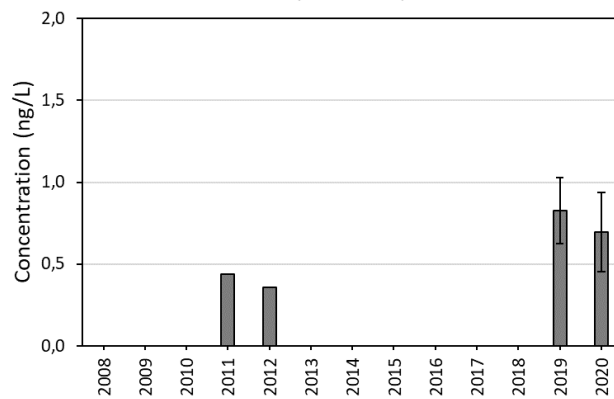
PFHxA
(DANTZGT)



PFHxA
(NOORDWK2)

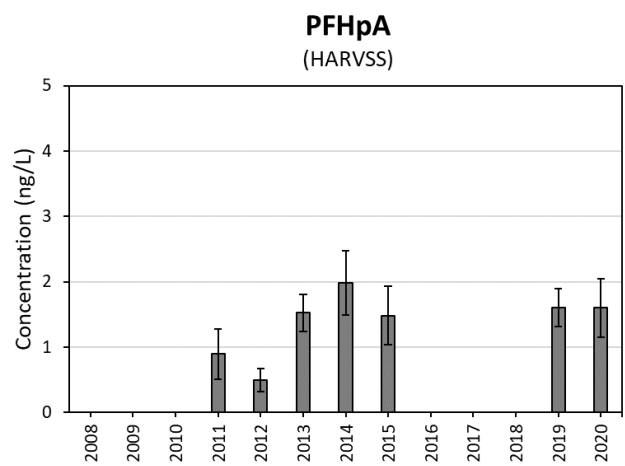
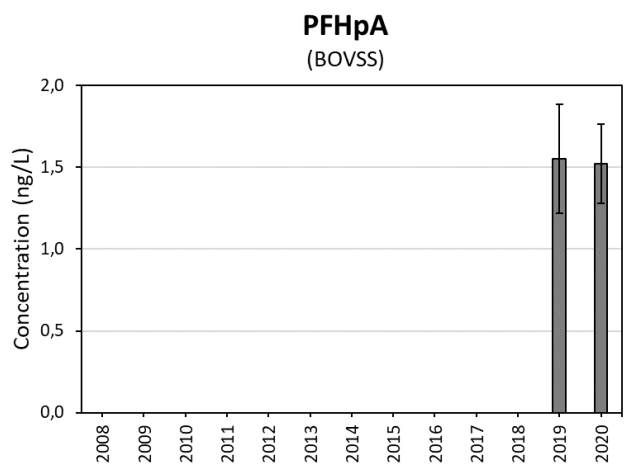
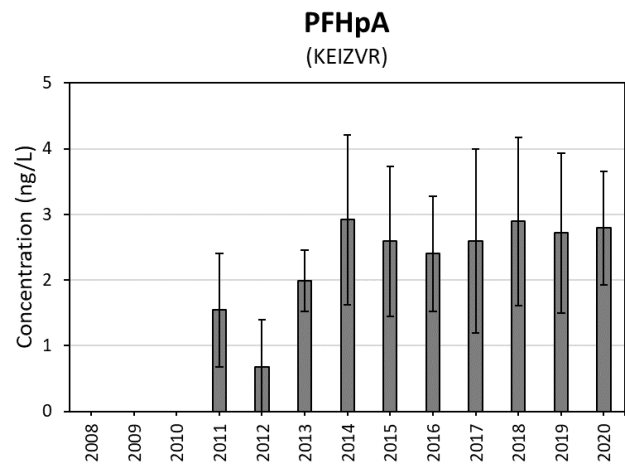
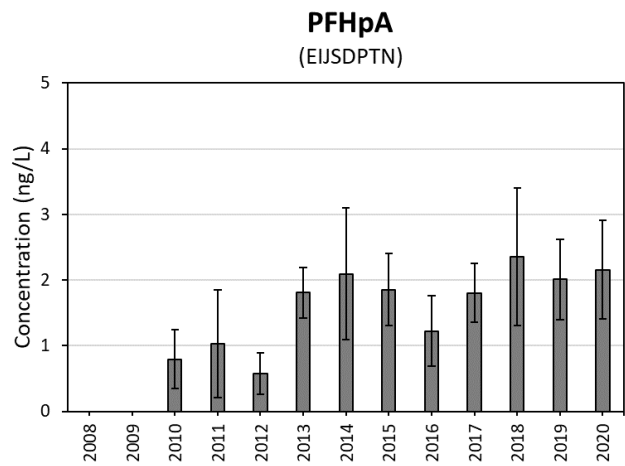


PFHxA
(WALCRN2)



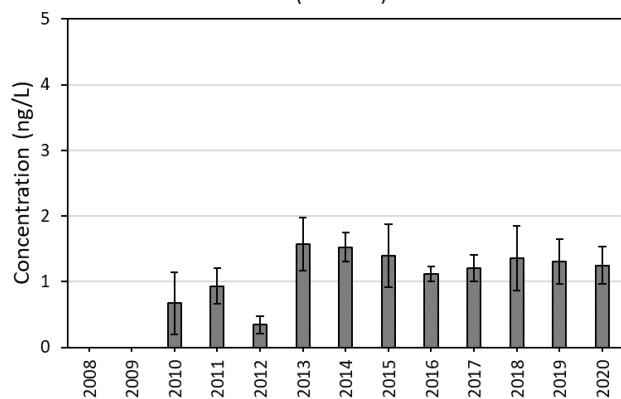
Bijlage B.4 Perfluorheptaanzuur

Stroomgebied Maas

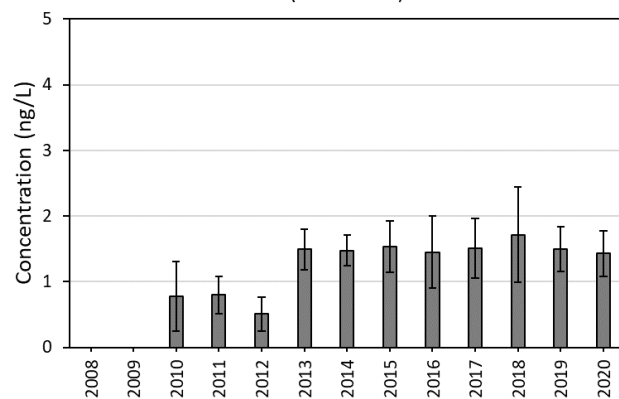


Stroomgebied Rijn

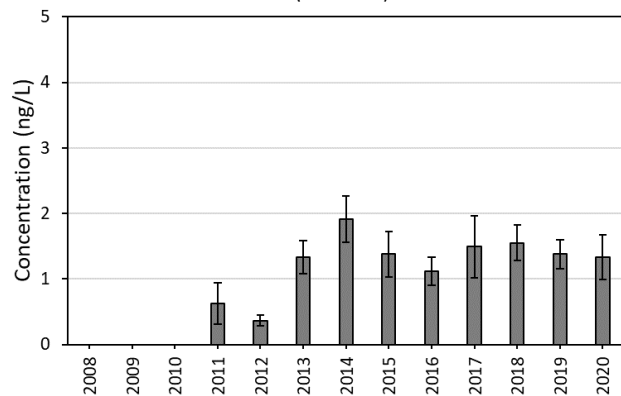
PFHpA
(LOBPTN)



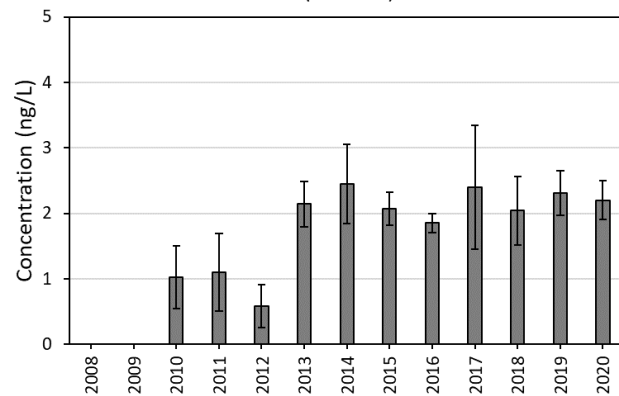
PFHpA
(NIEUWGN)



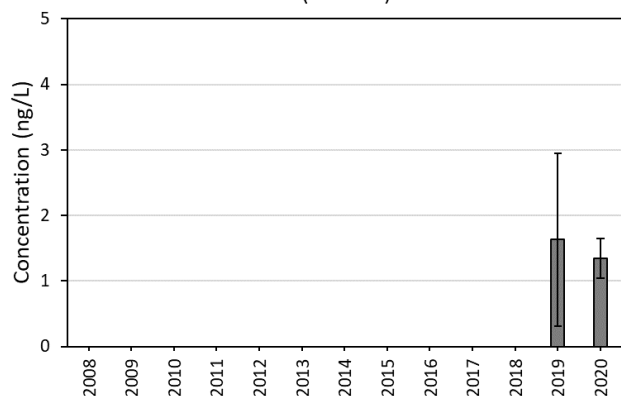
PFHpA
(MAASSS)



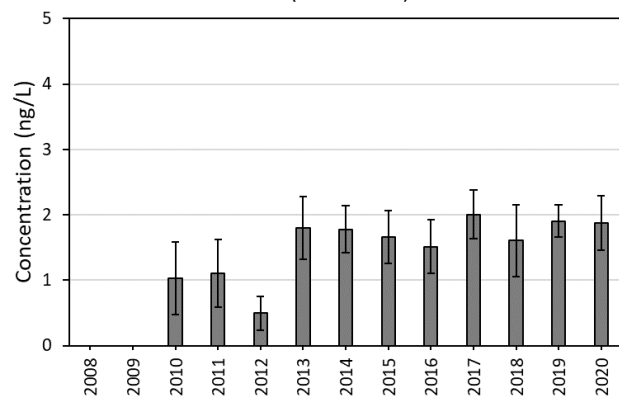
PFHpA
(IJMDN1)



PFHpA
(KAMPN)

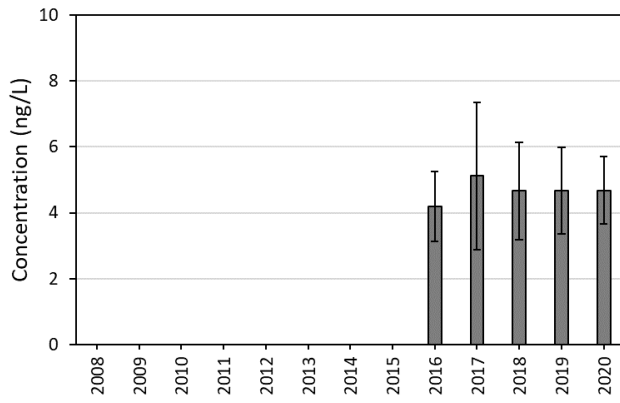


PFHpA
(VROUWZD)

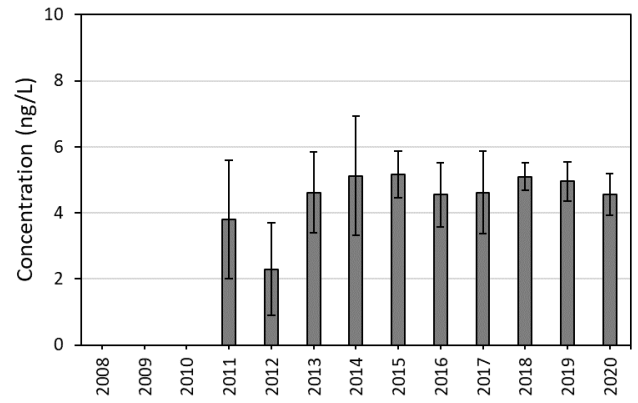


Stroomgebied Schelde

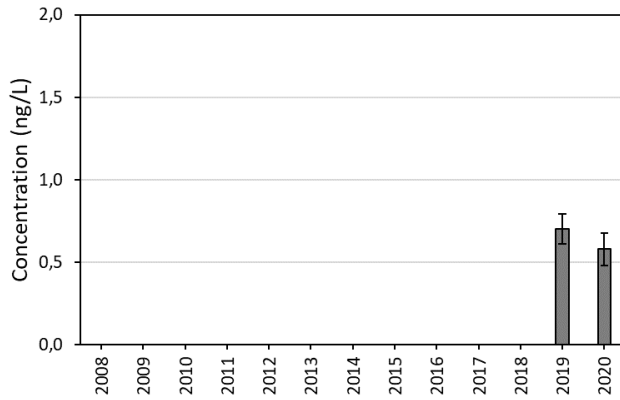
PFHpA
(SASVGT)



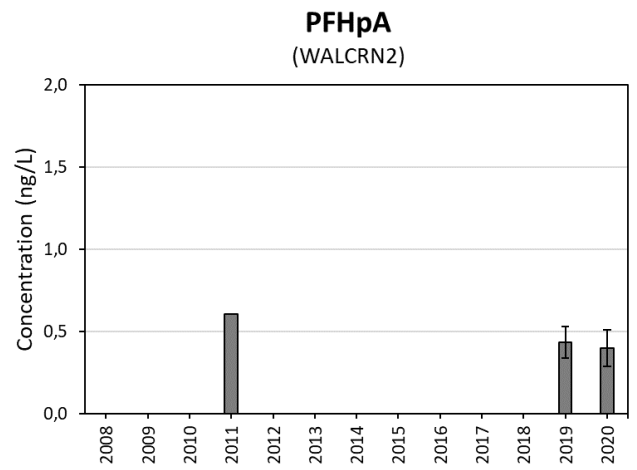
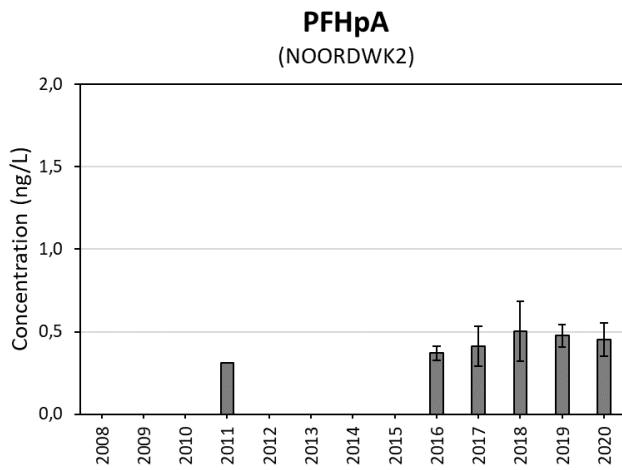
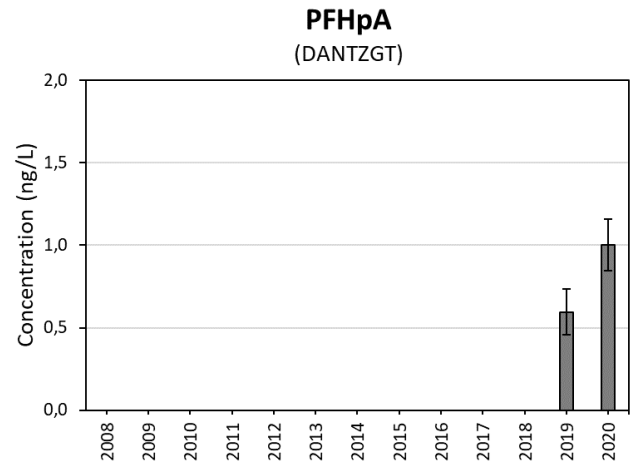
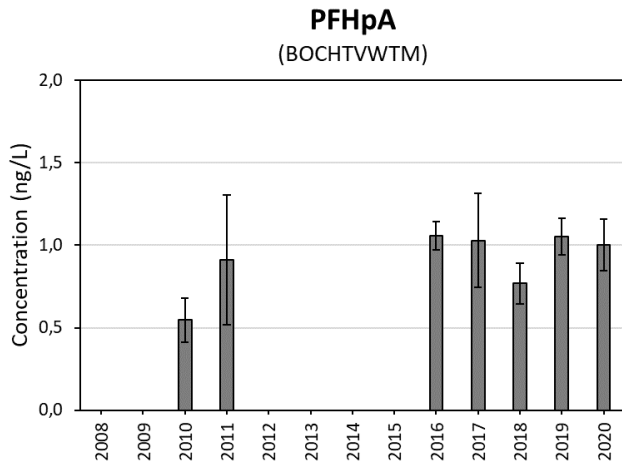
PFHpA
(SCHAARVODDL)



PFHpA
(DREISR)

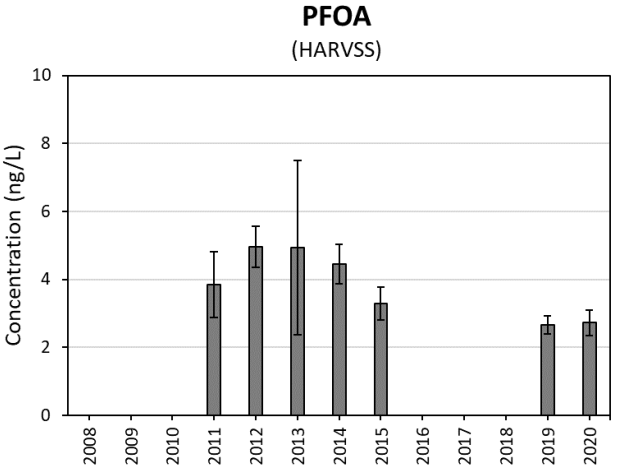
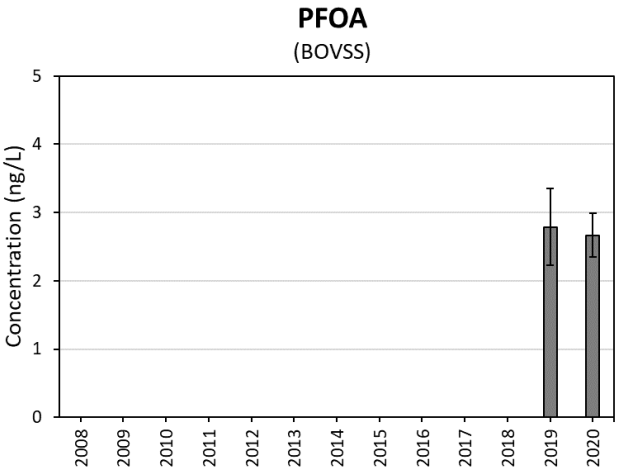
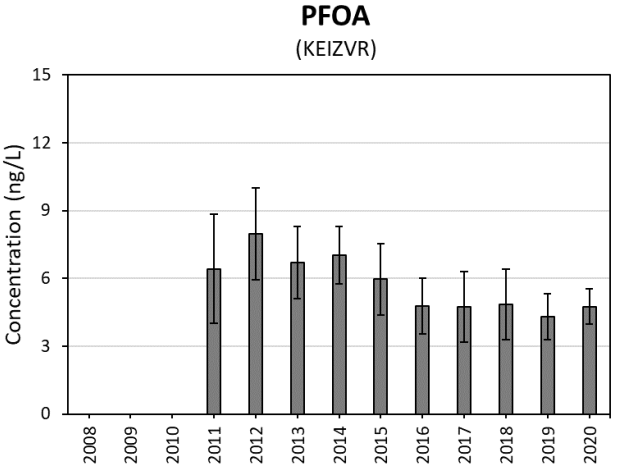
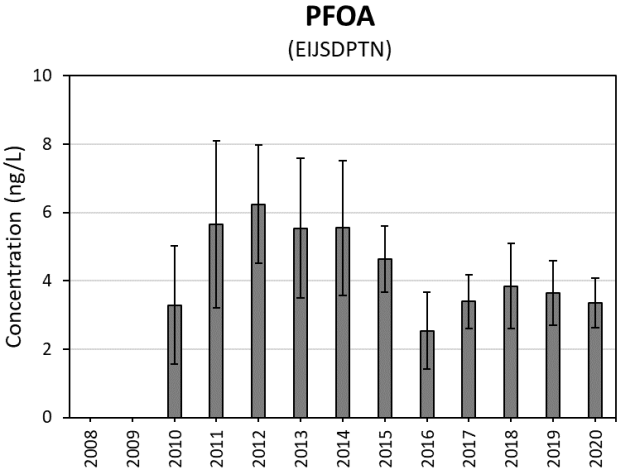


Eems + zee



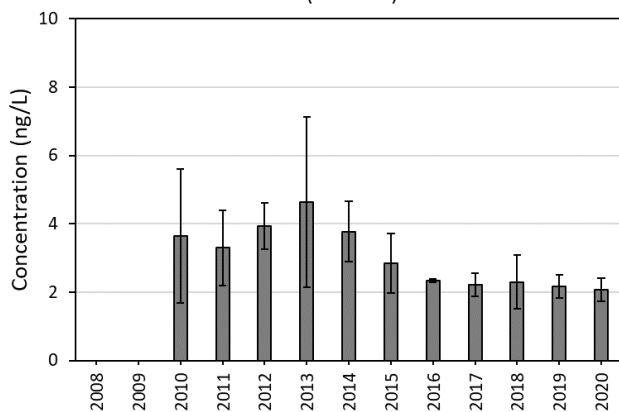
Bijlage B.5 Perfluorooctaanzuur

Stroomgebied Maas

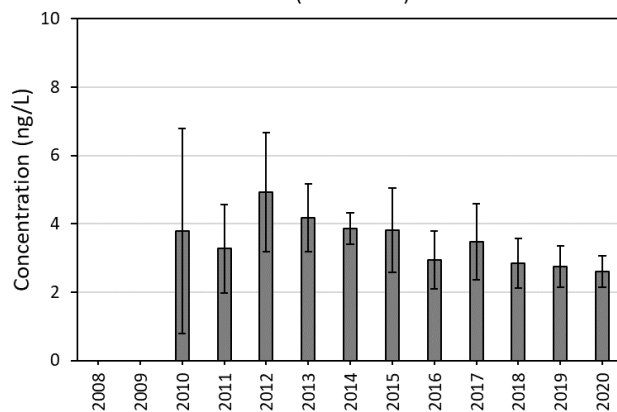


Stroomgebied Rijn

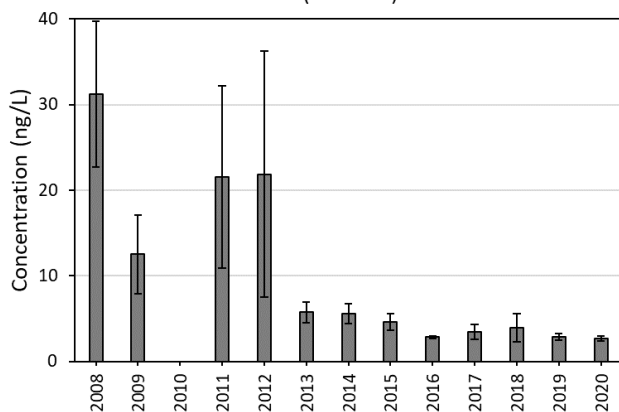
PFOA
(LOBPTN)



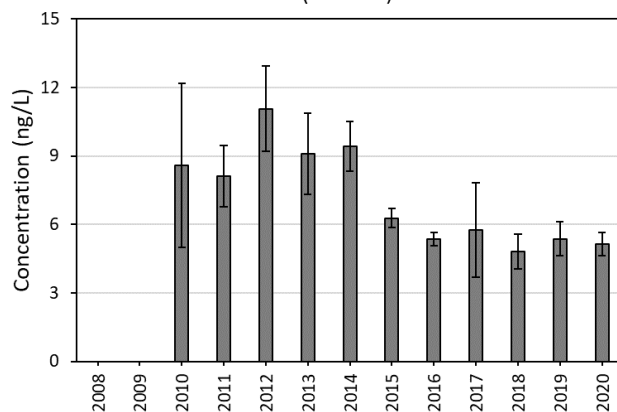
PFOA
(NIEUWGN)



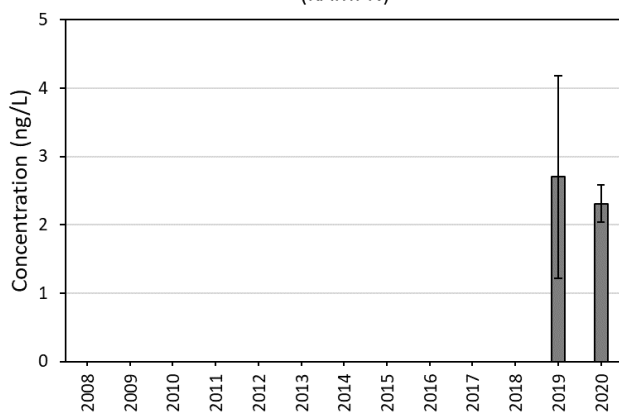
PFOA
(MAASSS)



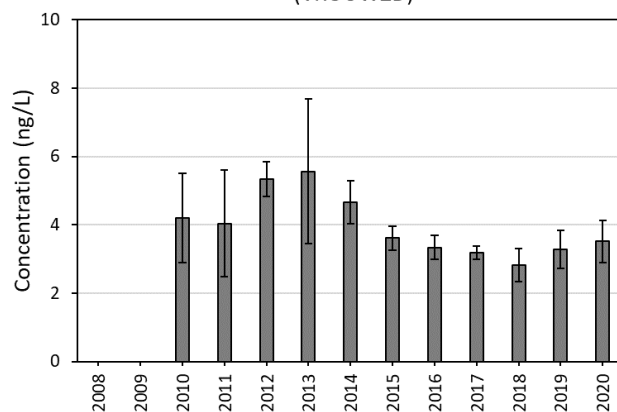
PFOA
(IJMDN1)



PFOA
(KAMPN)

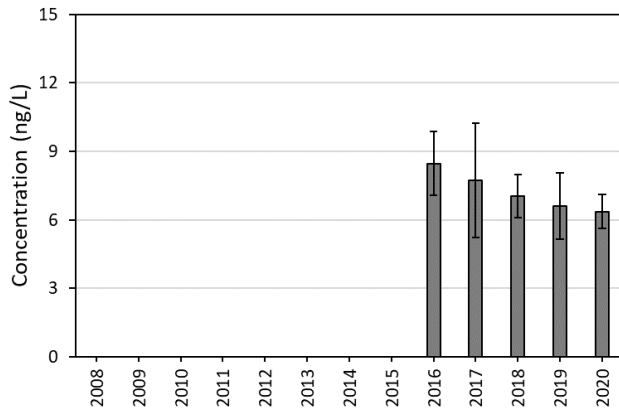


PFOA
(VROUWZD)

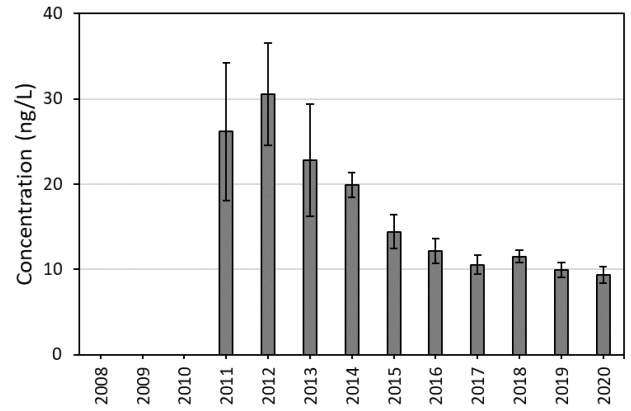


Stroomgebied Schelde

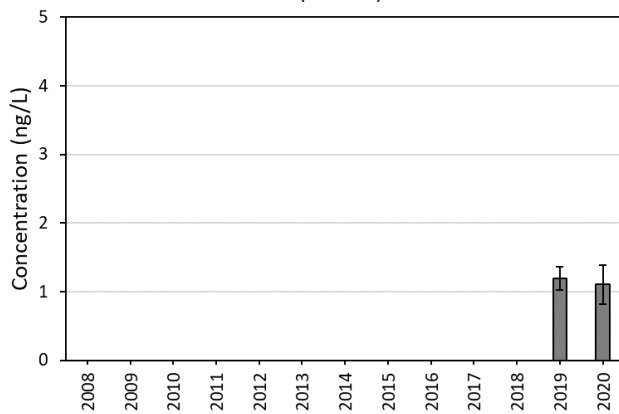
PFOA
(SASVGT)



PFOA
(SCHAARVODDL)

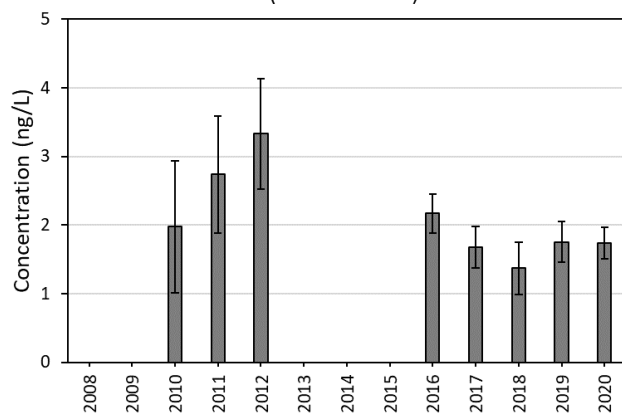


PFOA
(DREISR)

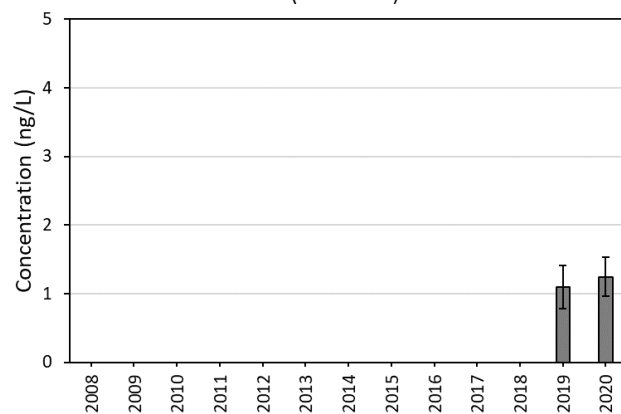


Eems + zee

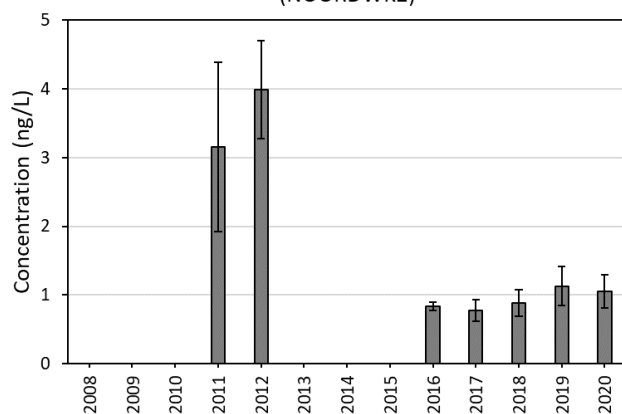
PFOA
(BOCHTVWTM)



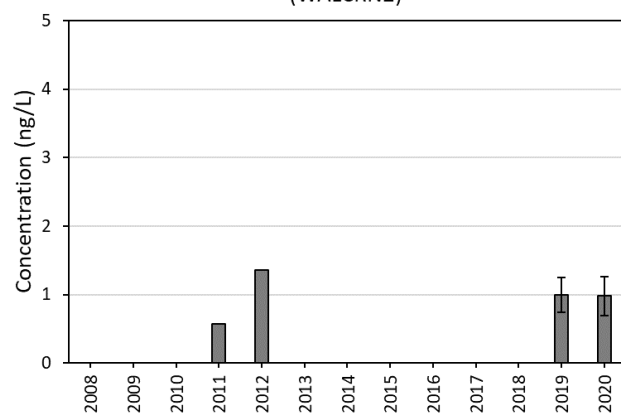
PFOA
(DANTZGT)



PFOA
(NOORDWK2)



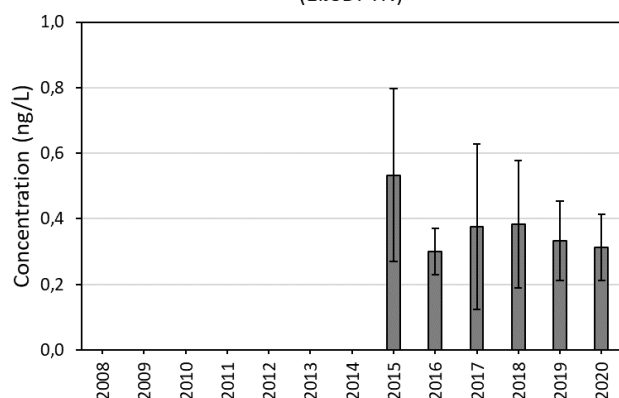
PFOA
(WALCRN2)



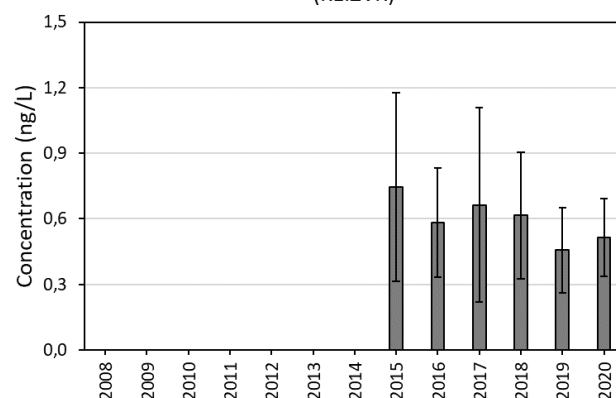
Bijlage B.6 Perfluornonaanzuur

Stroomgebied Maas

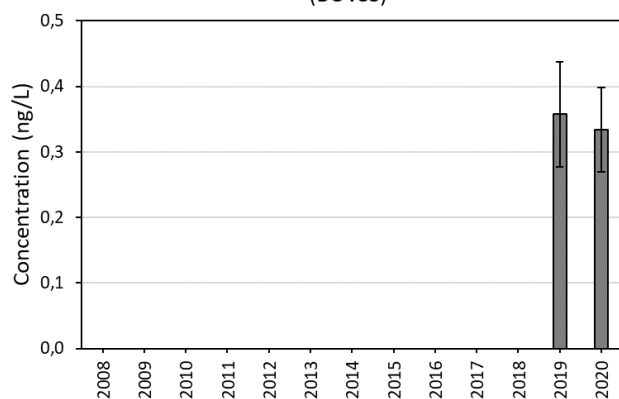
PFNA
(EIJSDPTN)



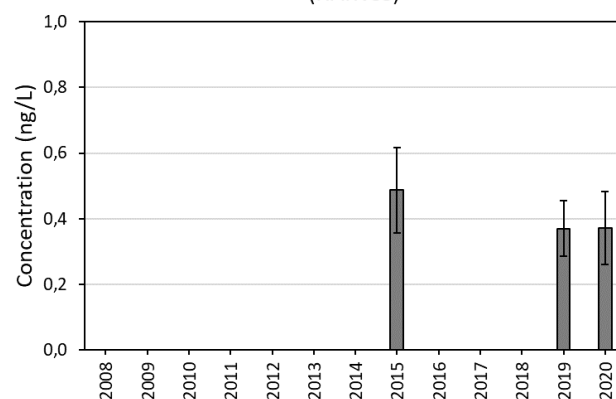
PFNA
(KEIZVR)



PFNA
(BOVSS)

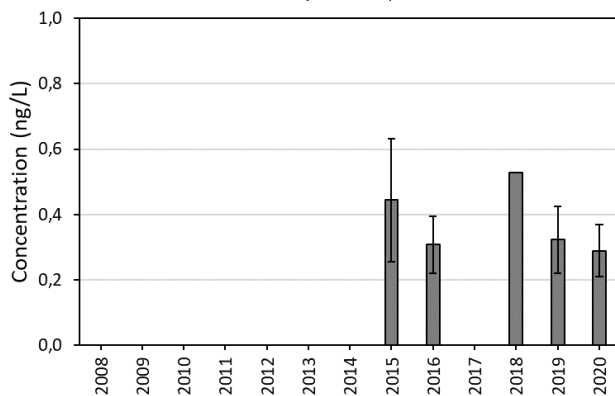


PFNA
(HARVSS)

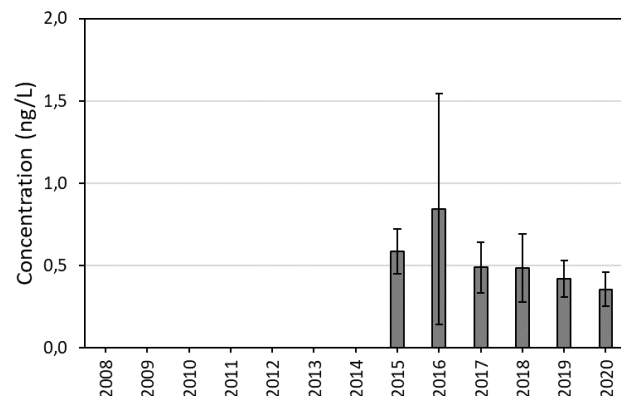


Stroomgebied Rijn

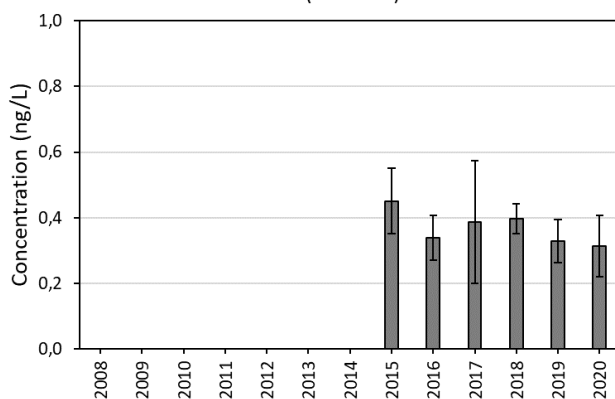
PFNA
(LOBPTN)



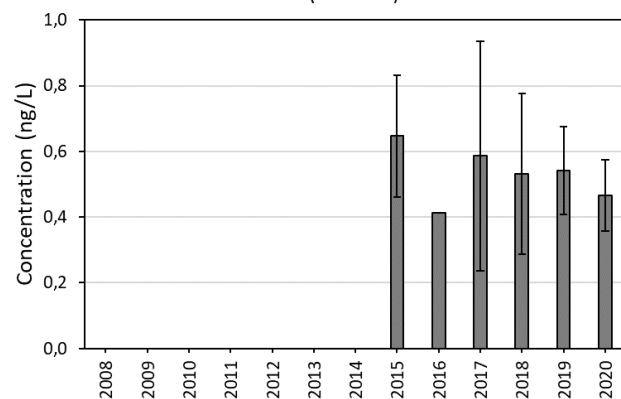
PFNA
(NIEUWGN)



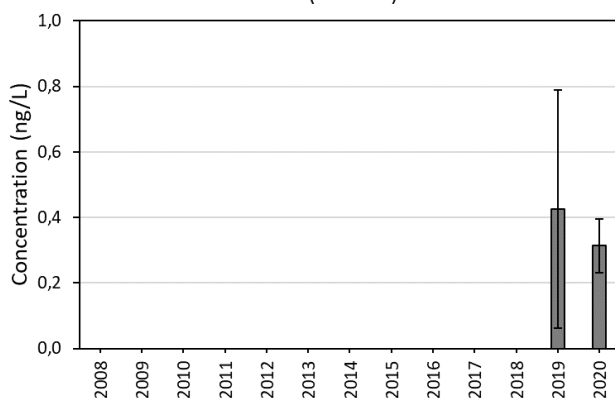
PFNA
(MAASSS)



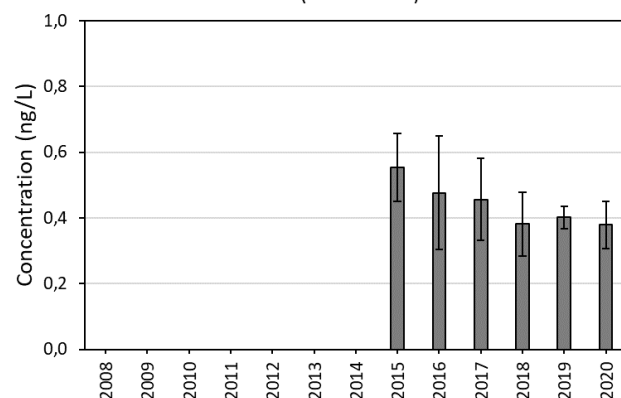
PFNA
(IJMDN1)



PFNA
(KAMPN)

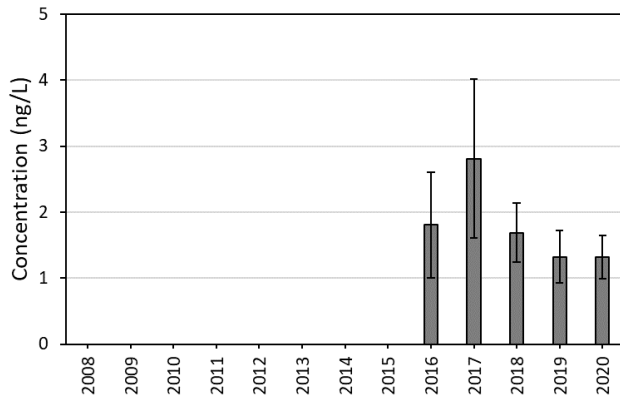


PFNA
(VROUWZD)

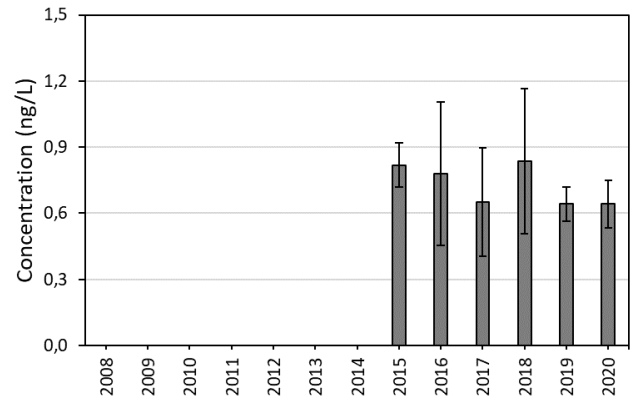


Stroomgebied Schelde

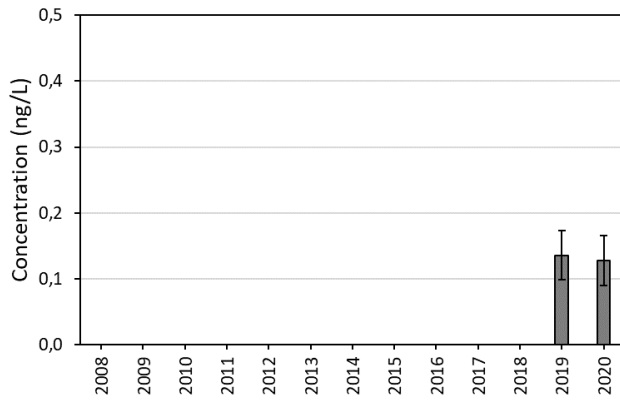
PFNA
(SASVGT)



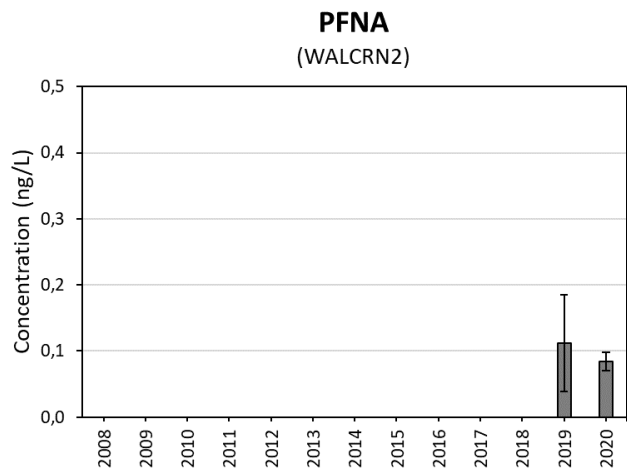
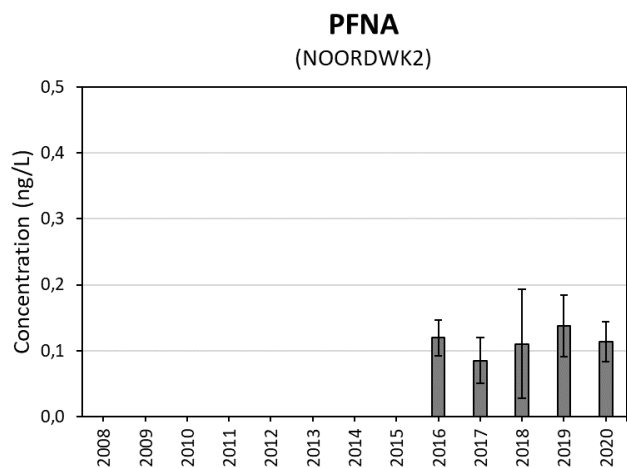
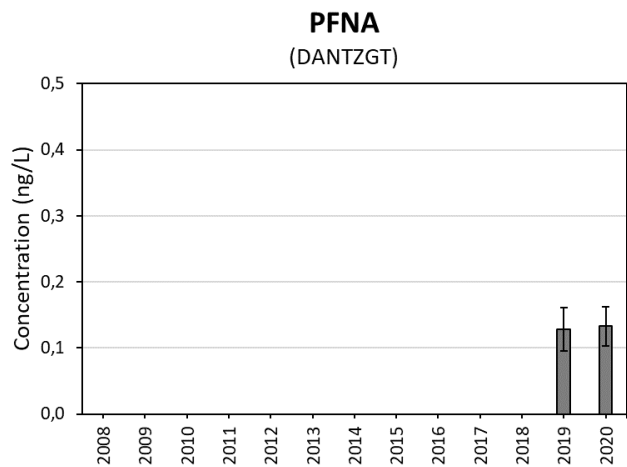
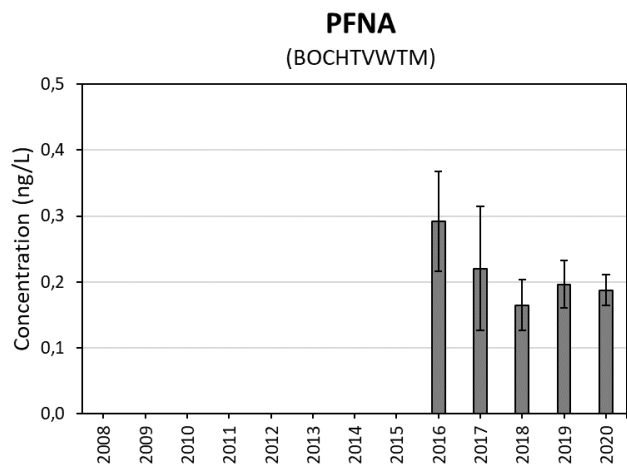
PFNA
(SCHAARVODDL)



PFNA
(DREISR)

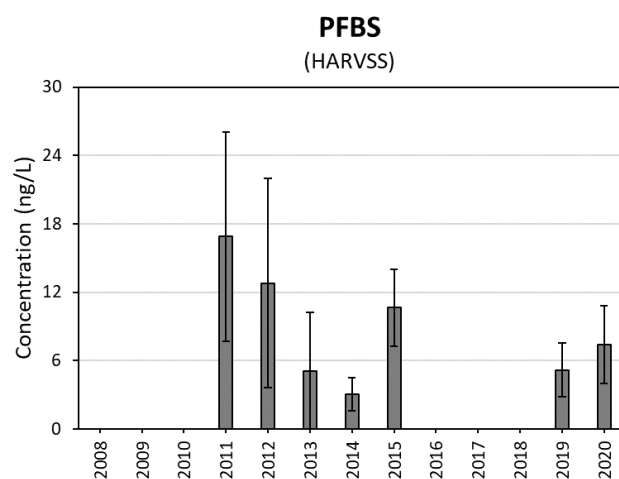
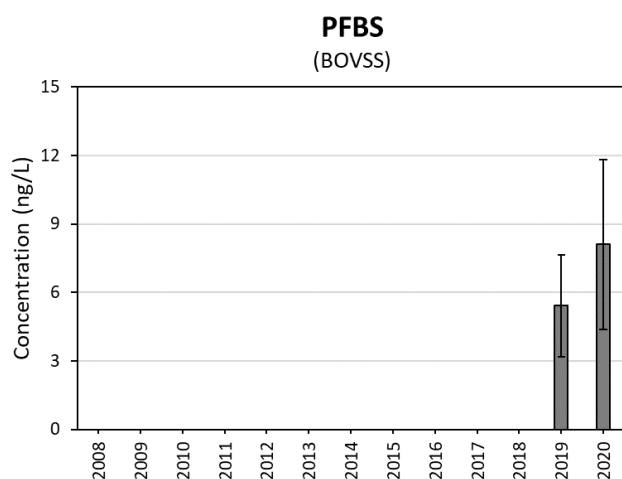
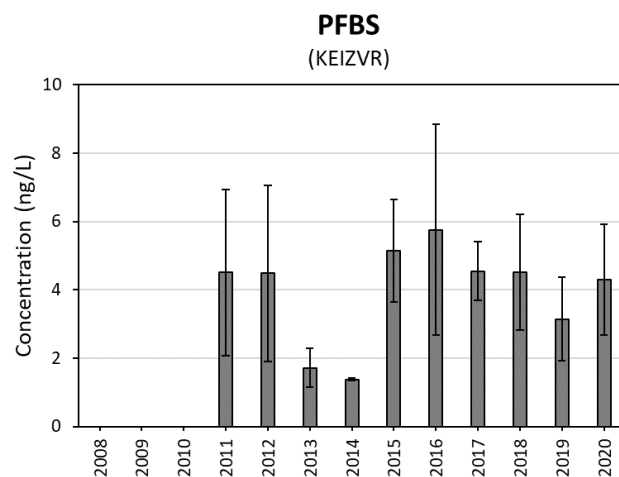
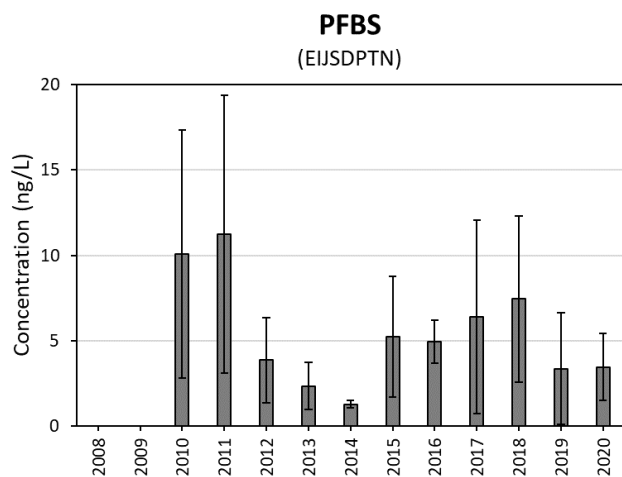


Eems + zee



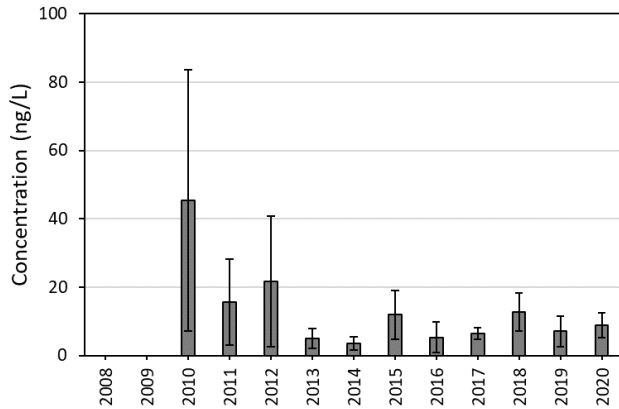
Bijlage B.7 Perfluorbutaansulfonzuur

Stroomgebied Maas

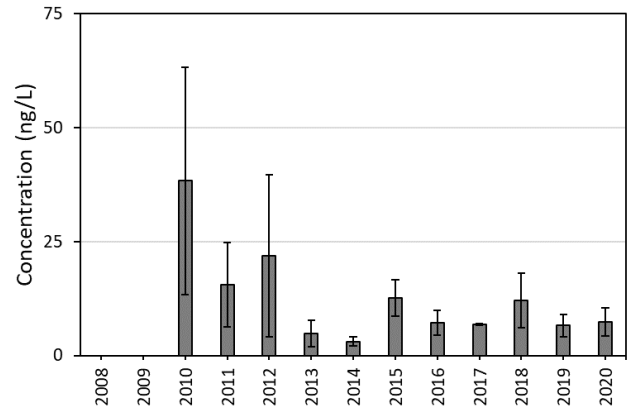


Stroomgebied Rijn

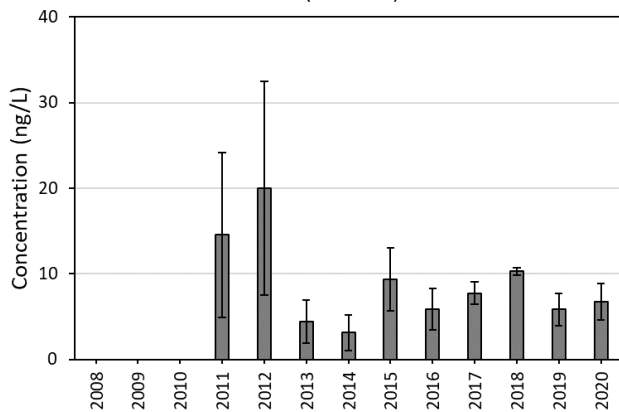
PFBS
(LOBPTN)



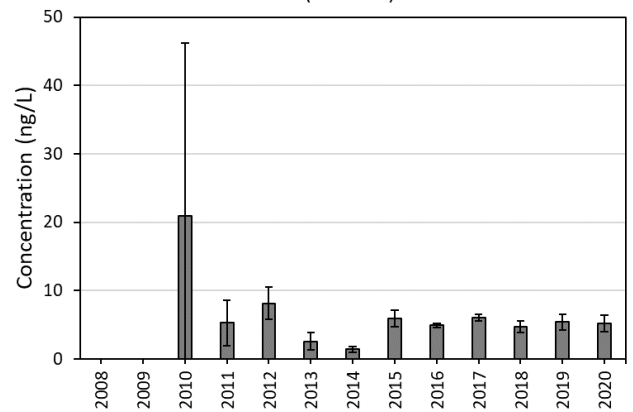
PFBS
(NIEUWGN)



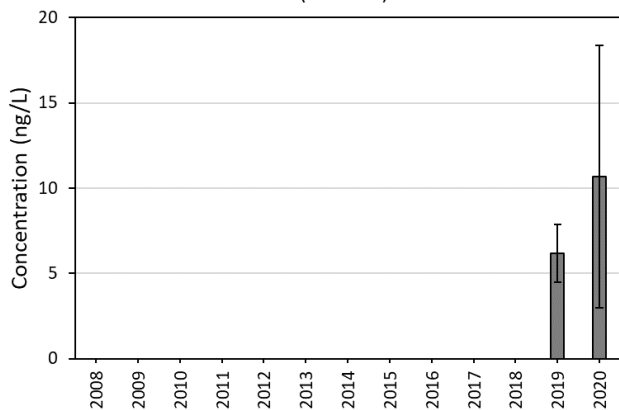
PFBS
(MAASSS)



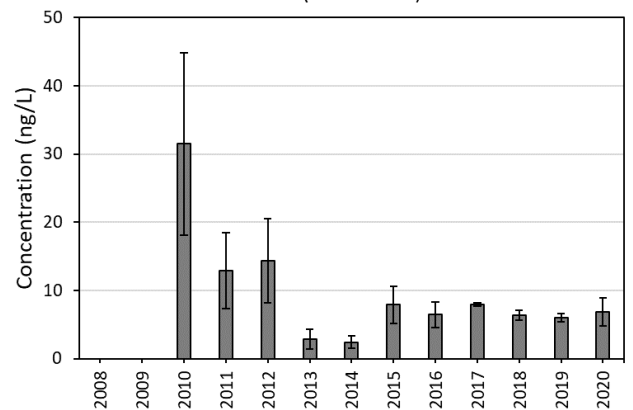
PFBS
(IJMDN1)



PFBS
(KAMPN)

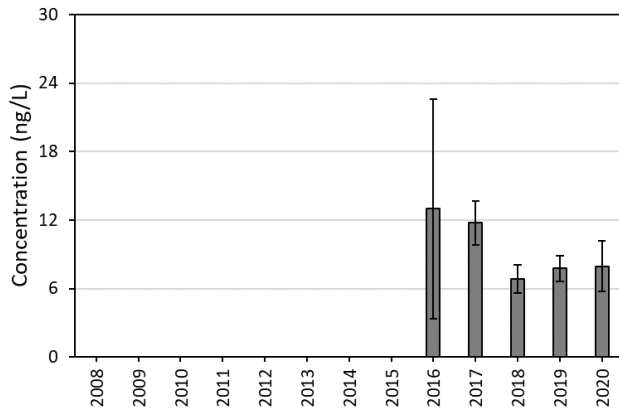


PFBS
(VROUWZD)

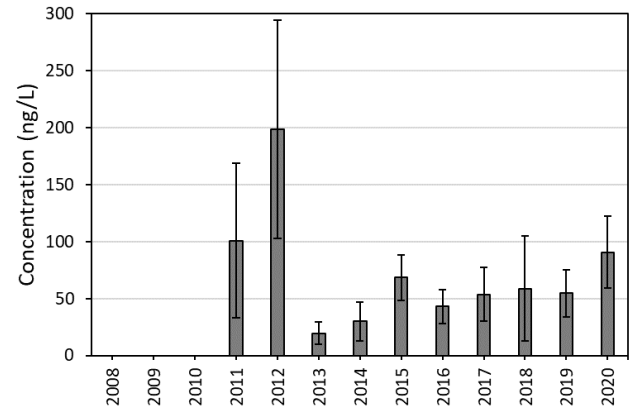


Stroomgebied Schelde

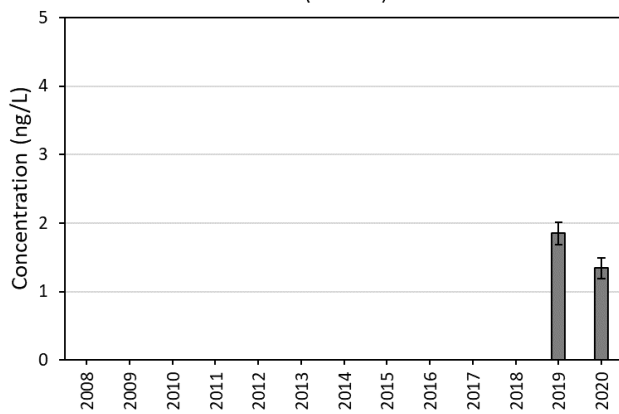
PFBS
(SASVGT)



PFBS
(SCHAARVODDL)

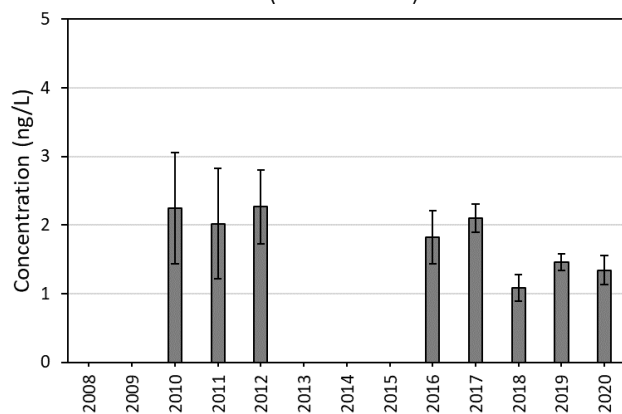


PFBS
(DREISR)

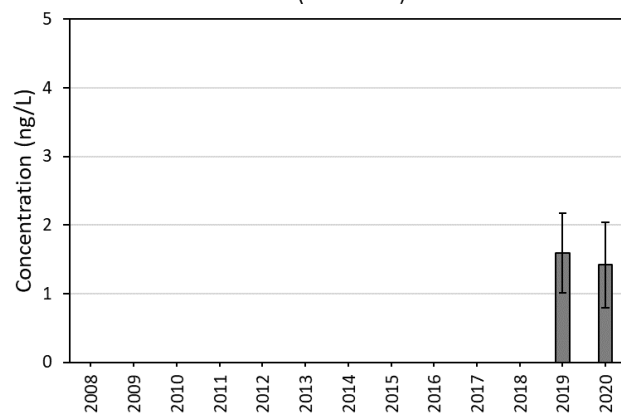


Eems + zee

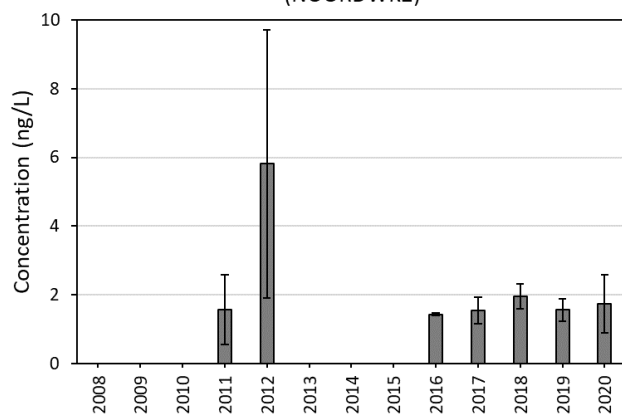
PFBS
(BOCHTVWTM)



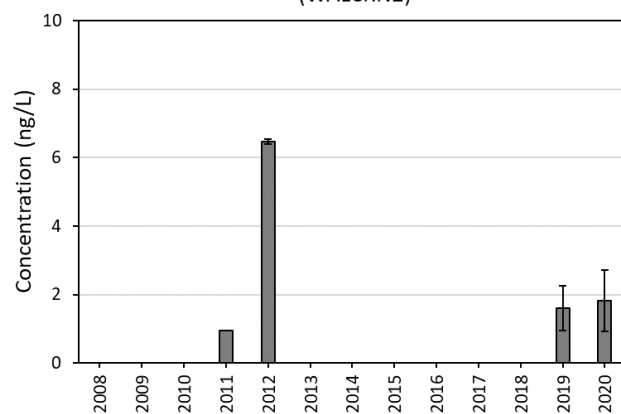
PFBS
(DANTZGT)



PFBS
(NOORDWK2)



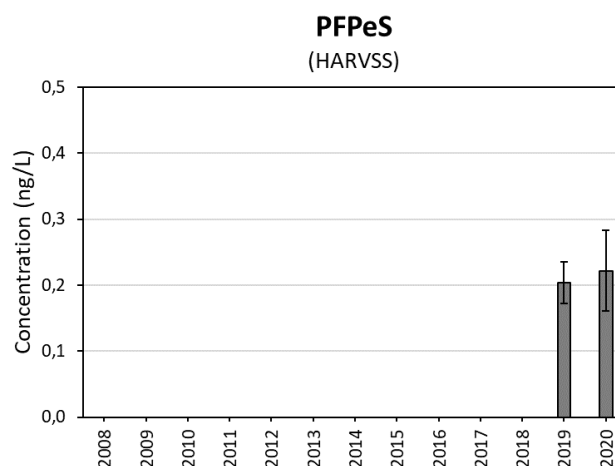
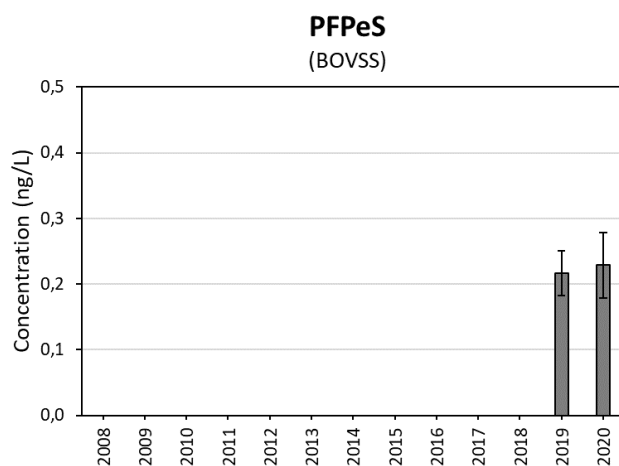
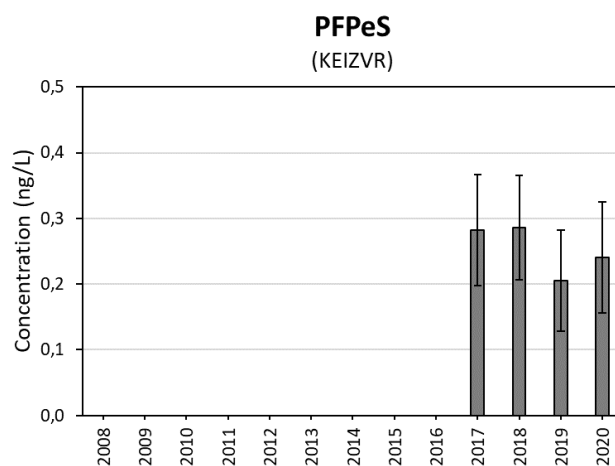
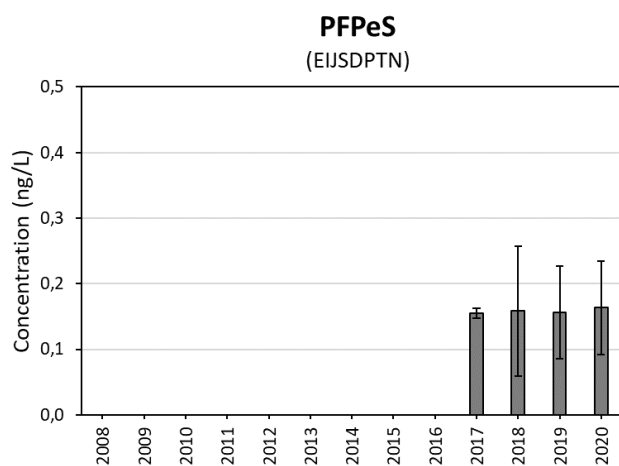
PFBS
(WALCRN2)



Bijlage B.8 Perfluorpentaansulfonzuur

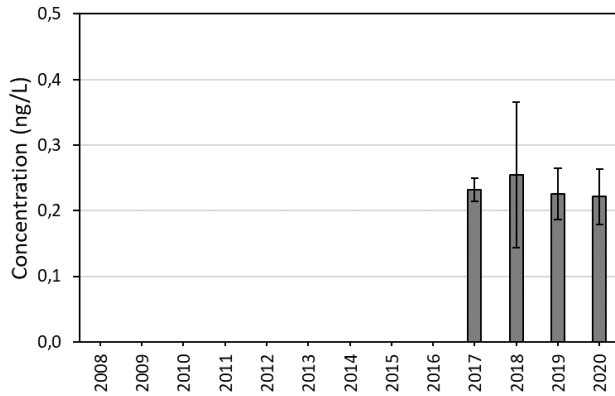
De rapportagegrens voor PFPeS is **0,1 ng/L**. De jaargemiddelde concentraties voor 1/3 van de geselecteerde locaties liggen rond/onder deze grens. De onzekerheid op de resultaten voor deze locaties is daarom groot.

Stroomgebied Maas

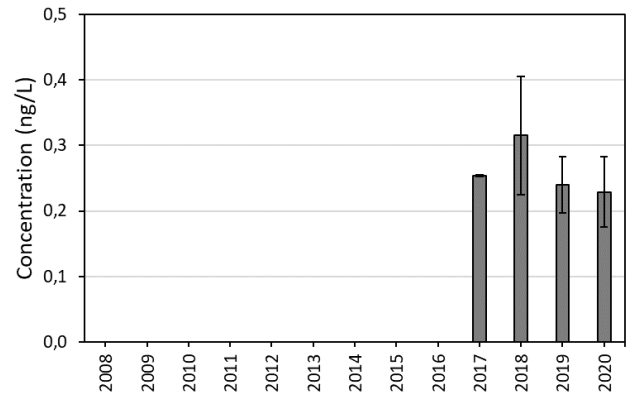


Stroomgebied Rijn

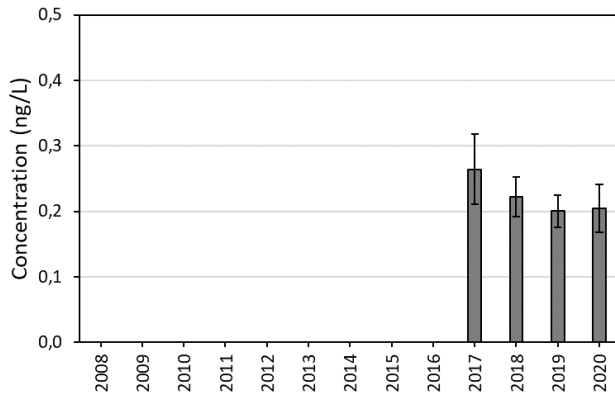
PFPeS
(LOBPTN)



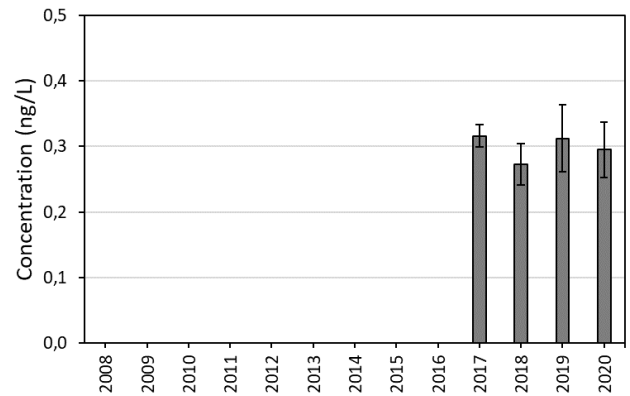
PFPeS
(NIEUWGN)



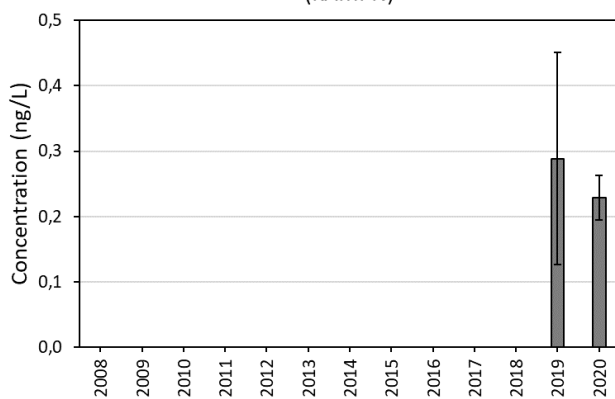
PFPeS
(MAASSS)



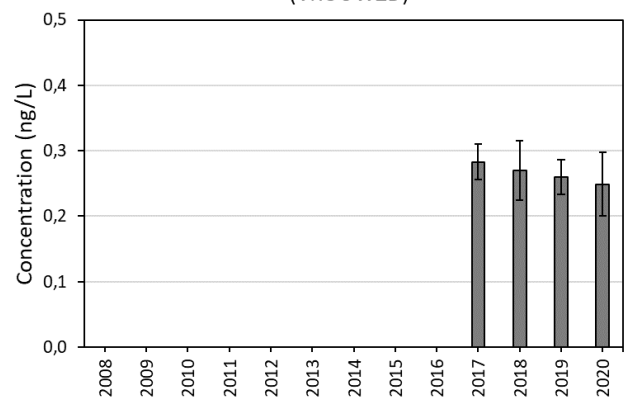
PFPeS
(IJMDN1)



PFPeS
(KAMPN)

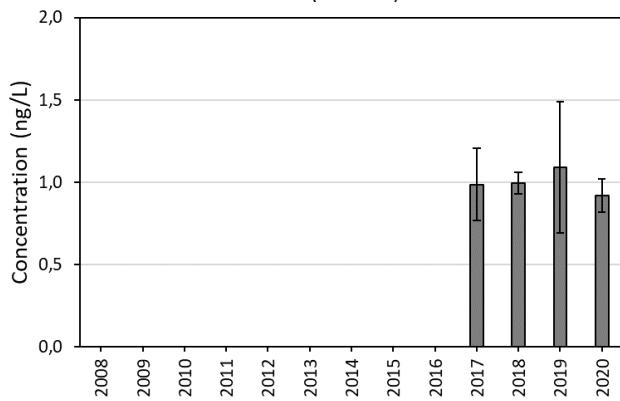


PFPeS
(VROUWZD)

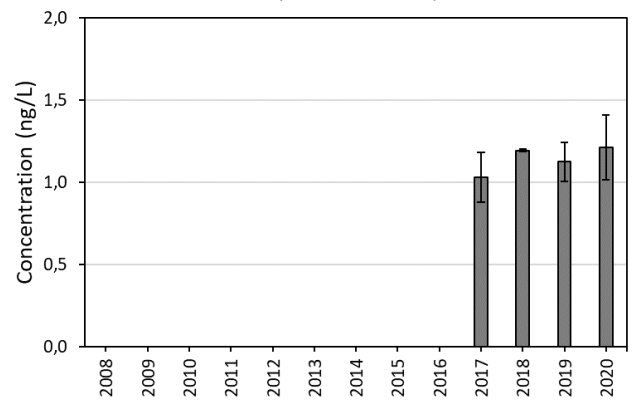


Stroomgebied Schelde

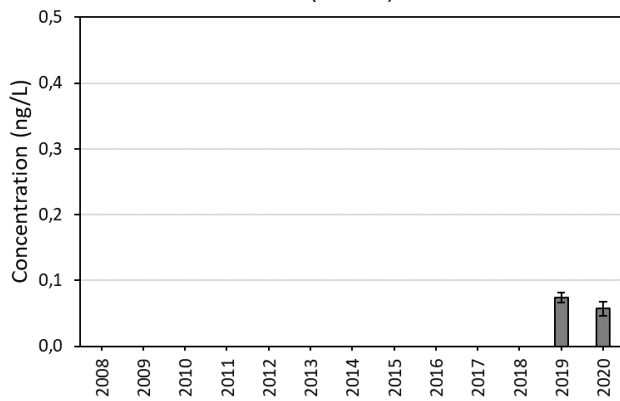
PFPeS
(SASVGT)



PFPeS
(SCHAARVODDL)

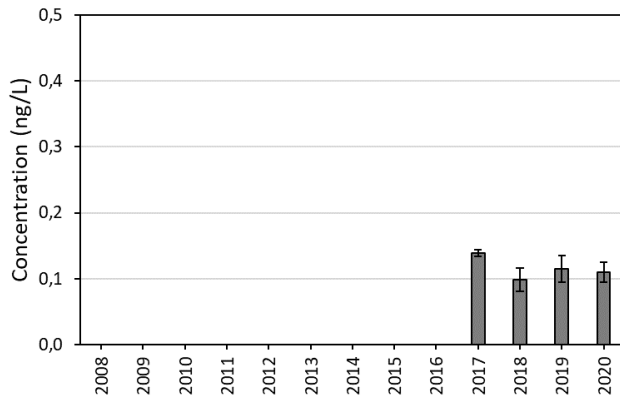


PFPeS
(DREISR)

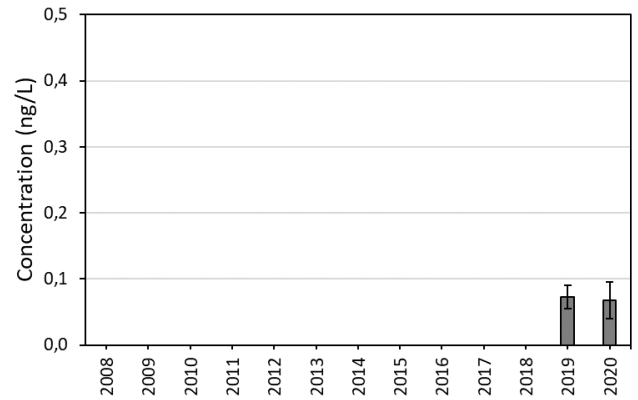


Eems + zee

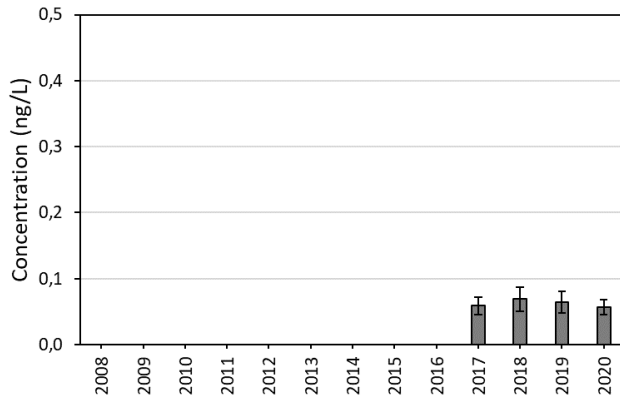
PFPeS
(BOCHTVWTM)



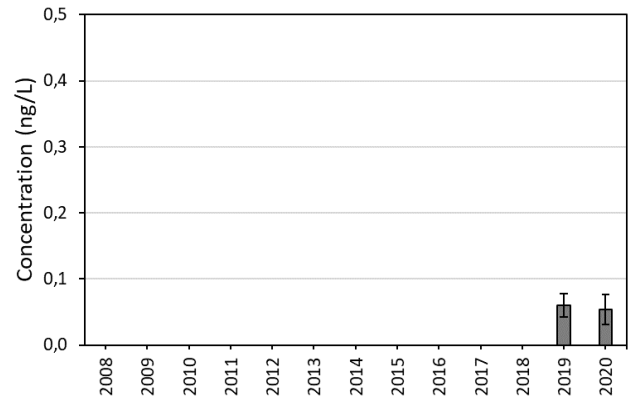
PFPeS
(DANTZGT)



PFPeS
(NOORDWK2)

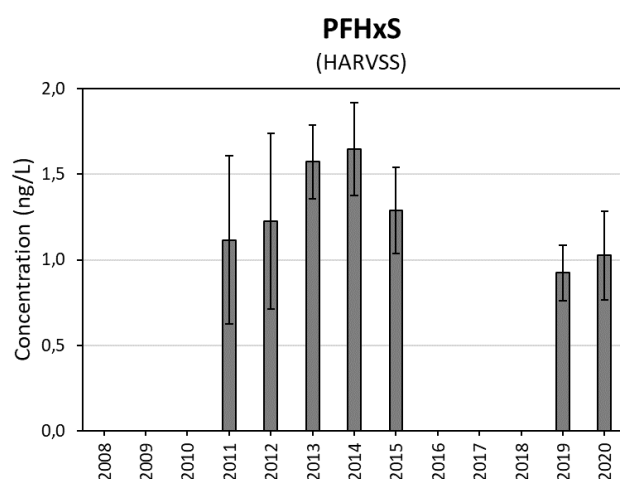
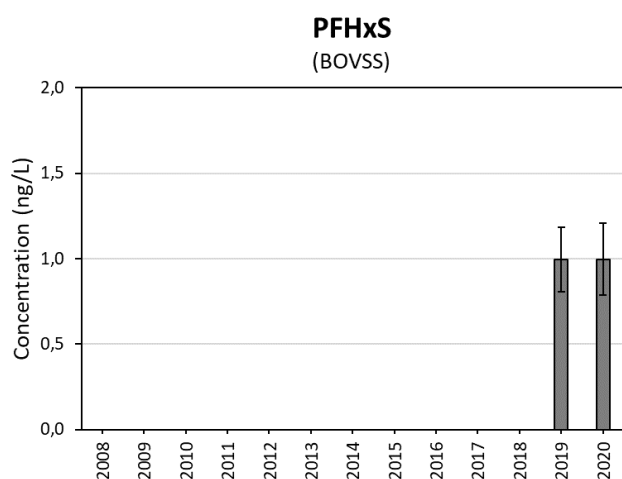
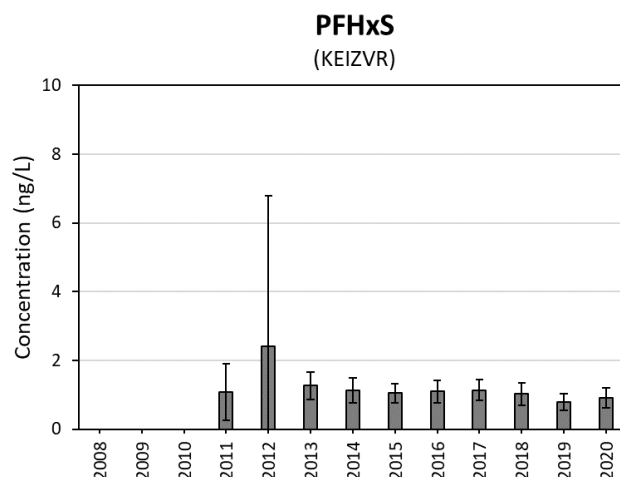
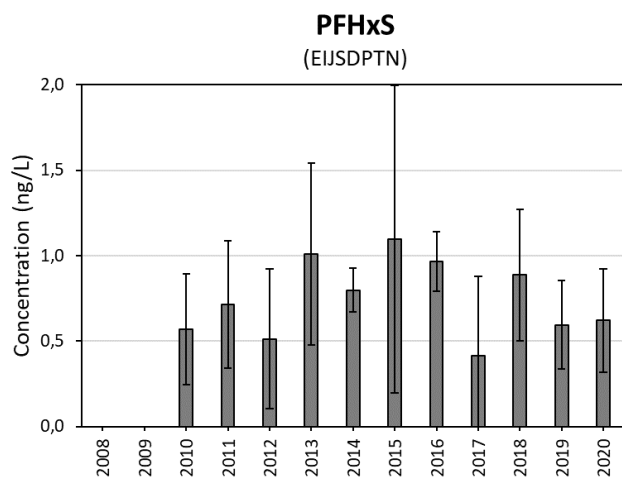


PFPeS
(WALCRN2)



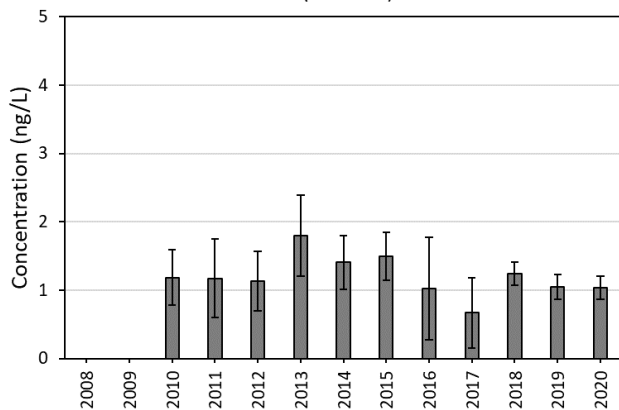
Bijlage B.9 Perfluorhexaansulfonzuur

Stroomgebied Maas

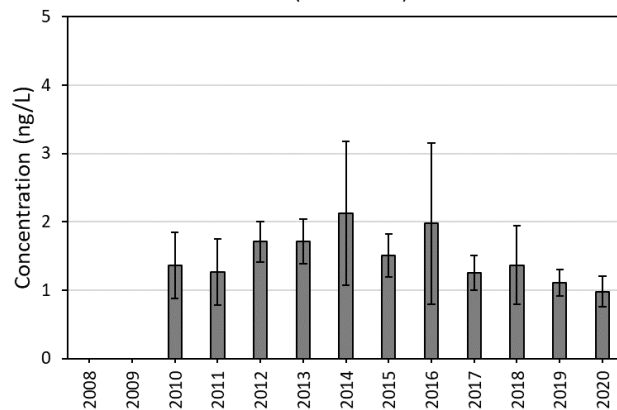


Stroomgebied Rijn

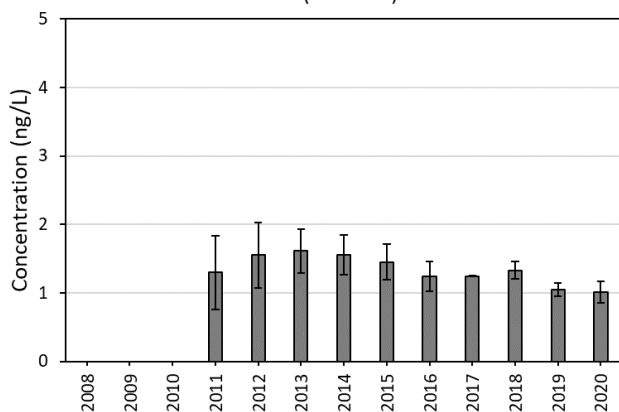
PFHxS
(LOBPTN)



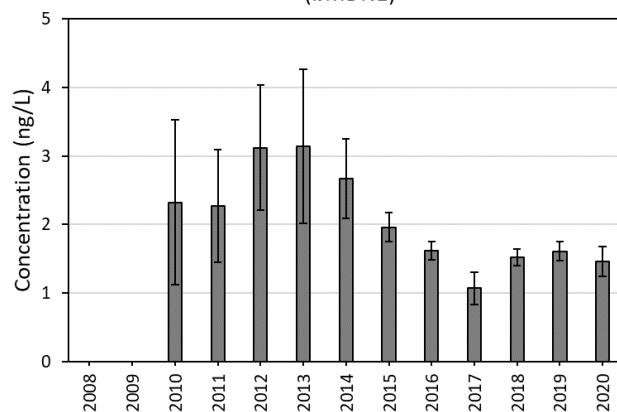
PFHxS
(NIEUWGN)



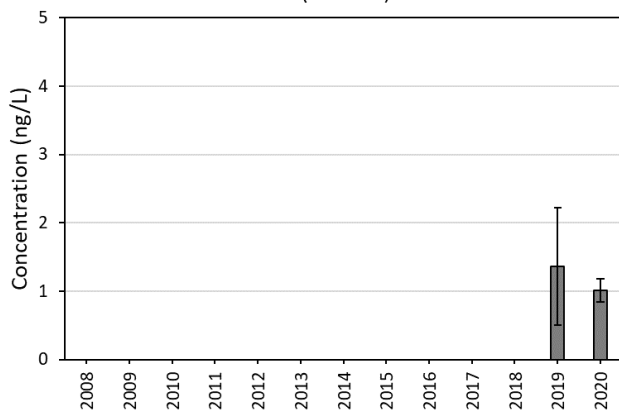
PFHxS
(MAASSS)



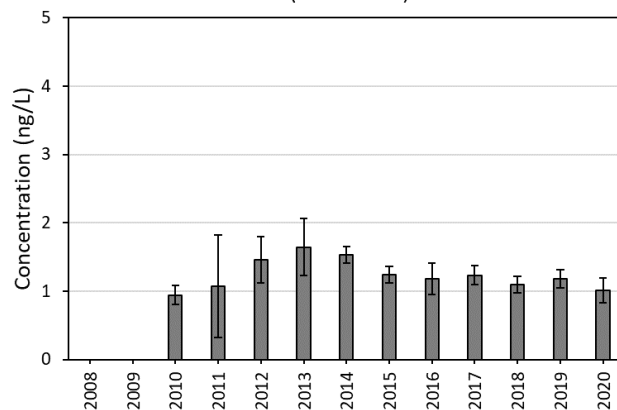
PFHxS
(IJMDN1)



PFHxS
(KAMPN)

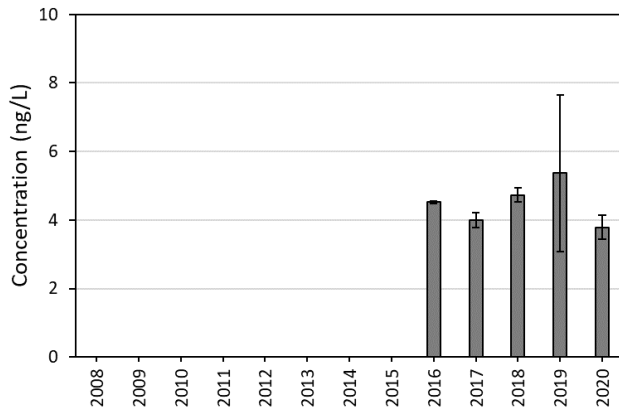


PFHxS
(VROUWZD)

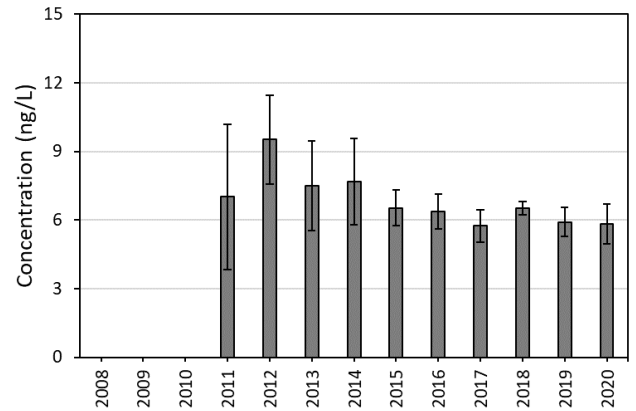


Stroomgebied Schelde

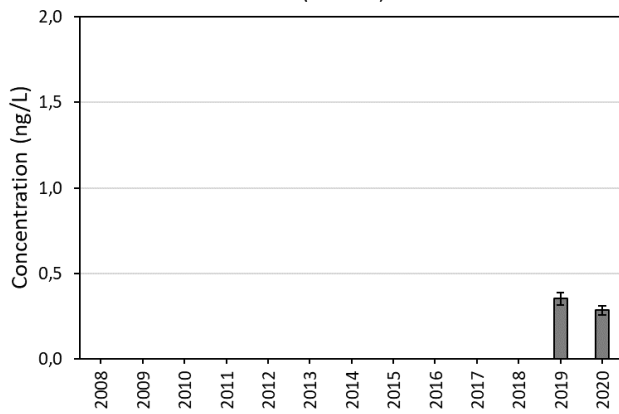
PFHxS
(SASVGT)



PFHxS
(SCHAARVODDL)

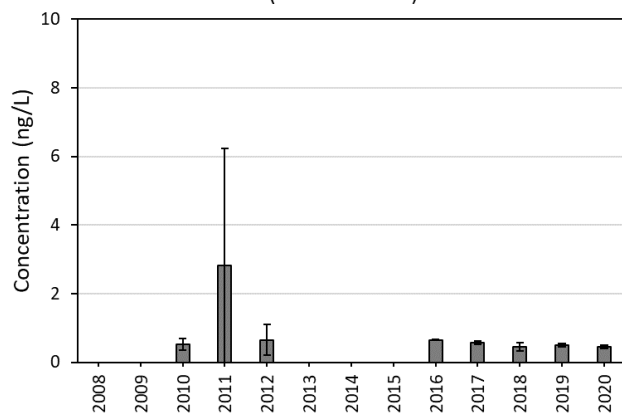


PFHxS
(DREISR)

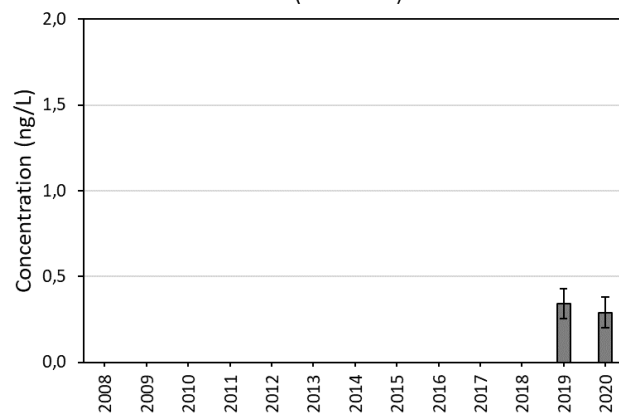


Eems + zee

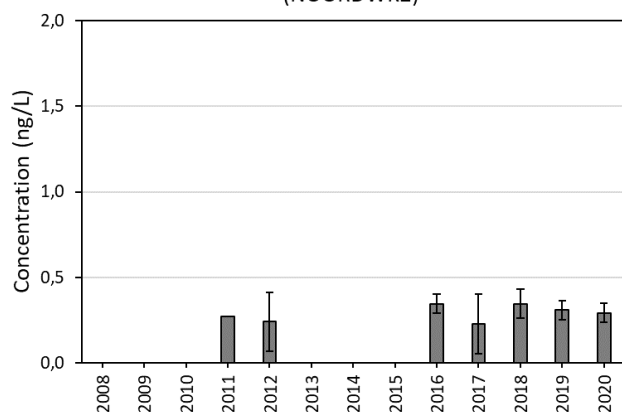
PFHxS
(BOCHTVWTM)



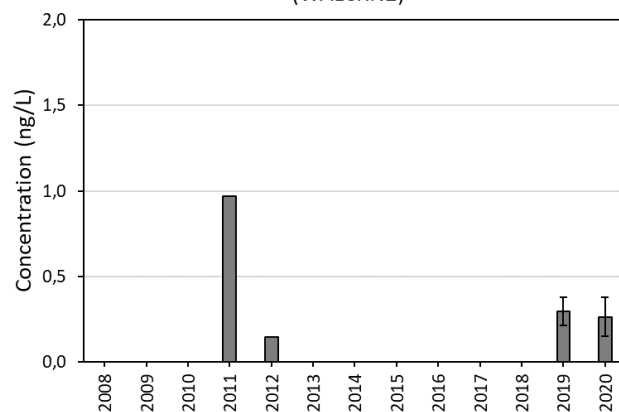
PFHxS
(DANTZGT)



PFHxS
(NOORDWK2)

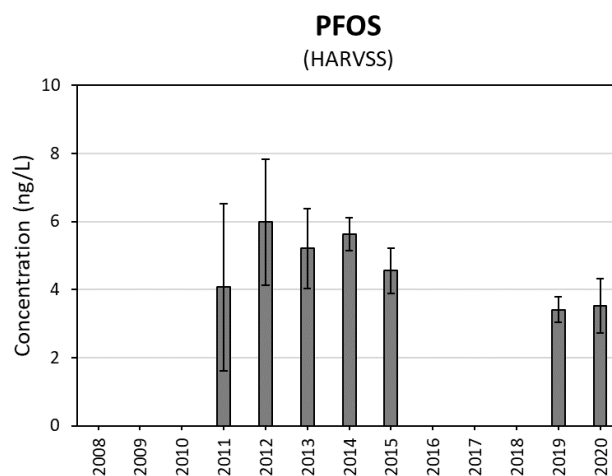
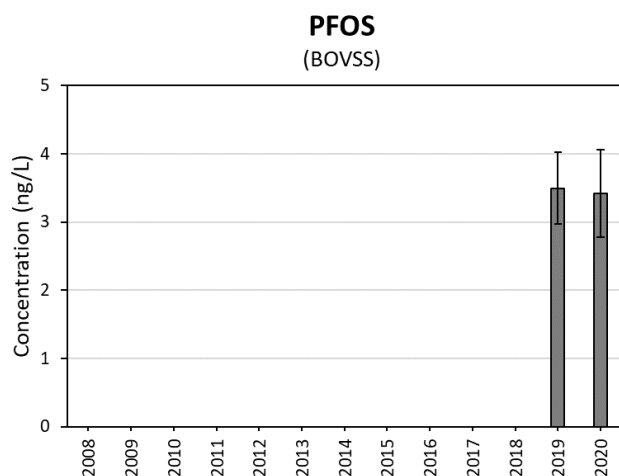
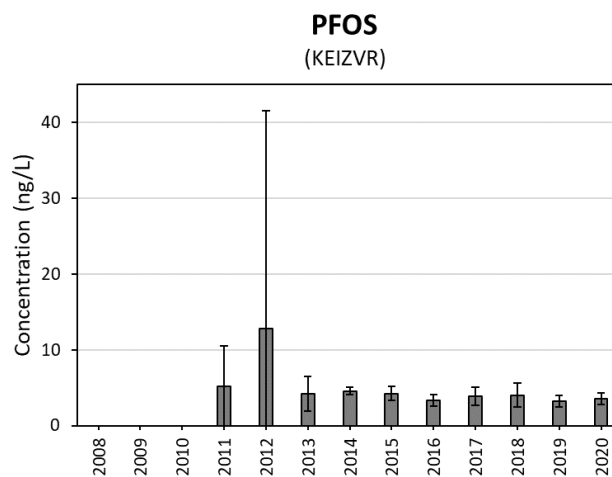
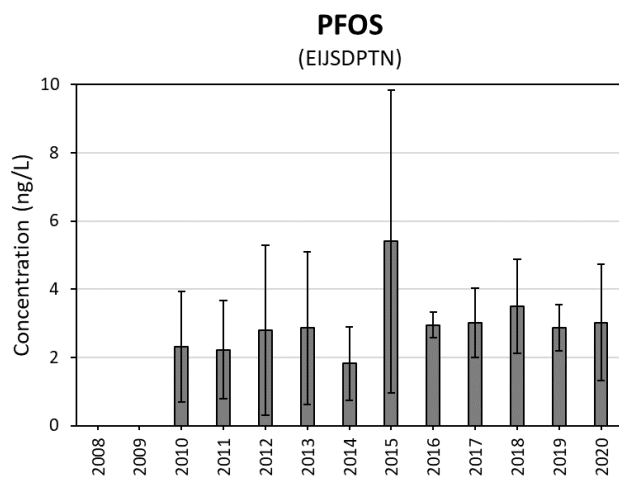


PFHxS
(WALCRN2)



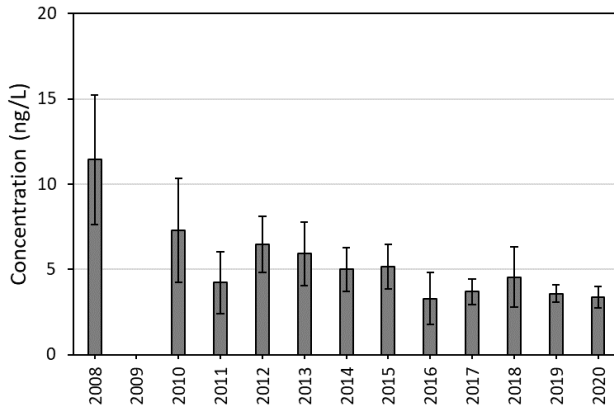
Bijlage B.10 Perfluorooctaansulfonzuur (som vertakt en lineair)

Stroomgebied Maas

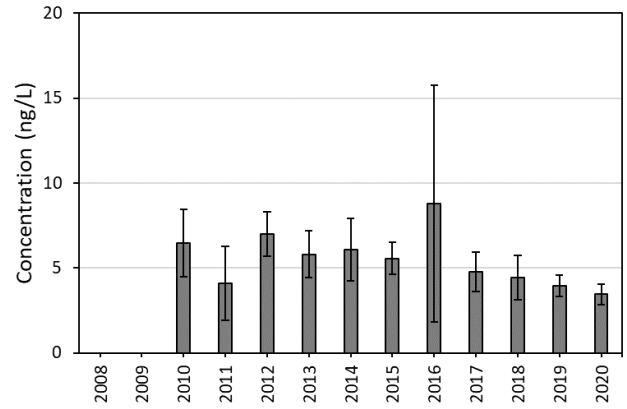


Stroomgebied Rijn

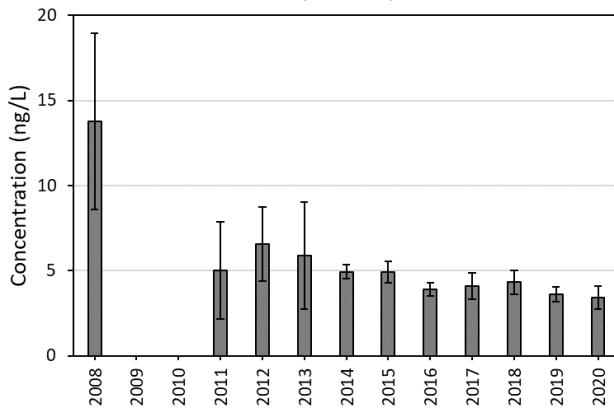
PFOS
(LOBPTN)



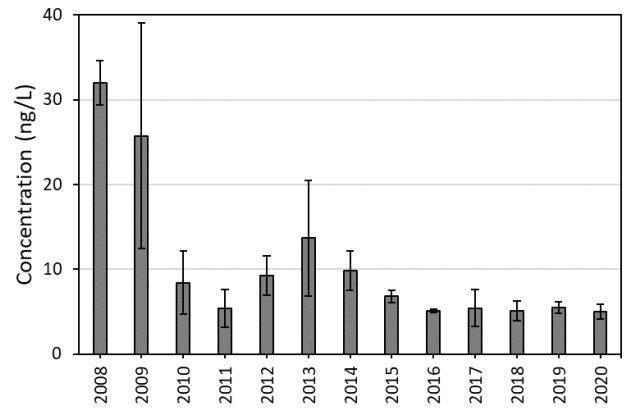
PFOS
(NIEUWGN)



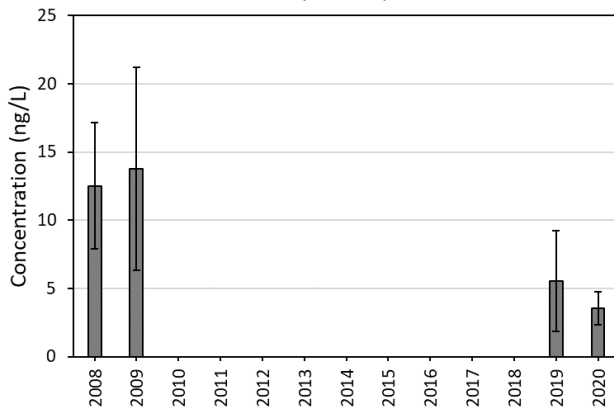
PFOS
(MAASS)



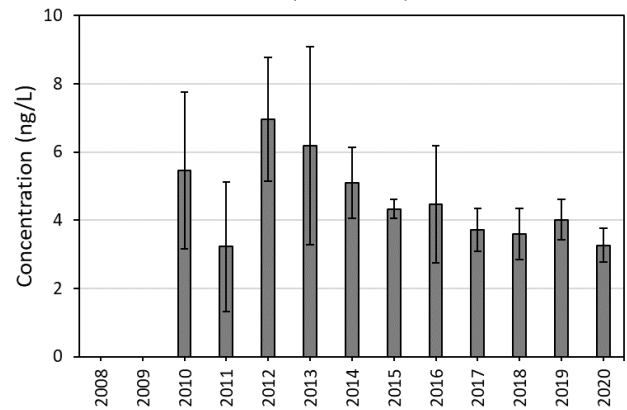
PFOS
(IJMDN1)



PFOS
(KAMPN)

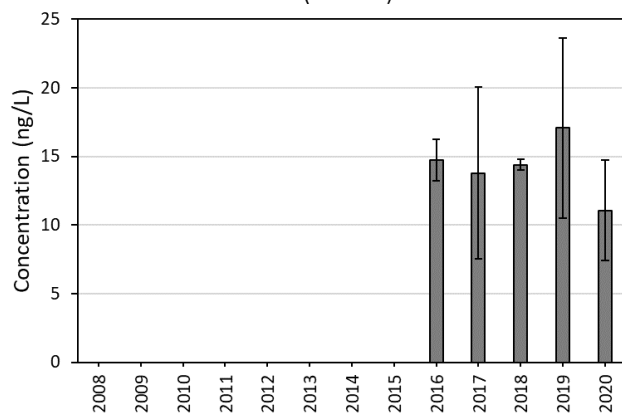


PFOS
(VROUWZD)

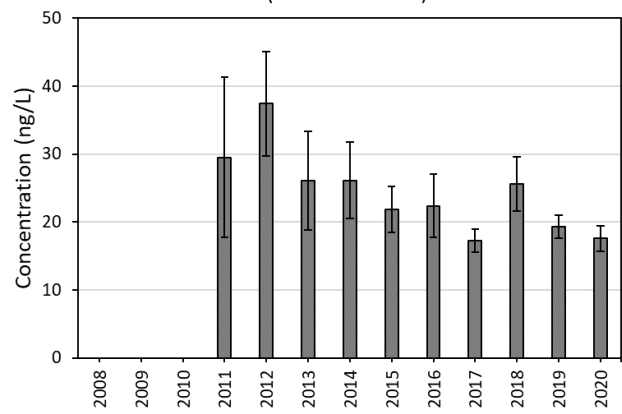


Stroomgebied Schelde

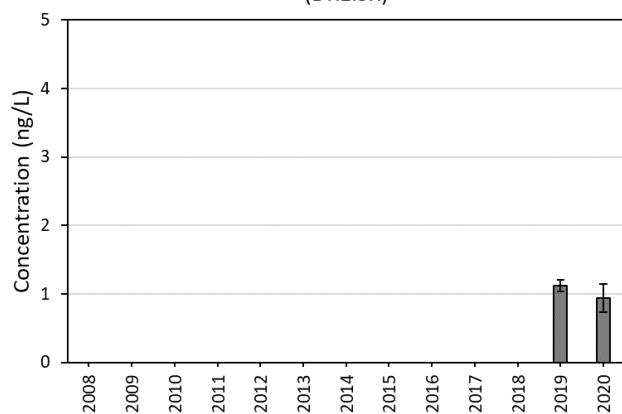
PFOS
(SASVGT)



PFOS
(SCHAARVODDL)

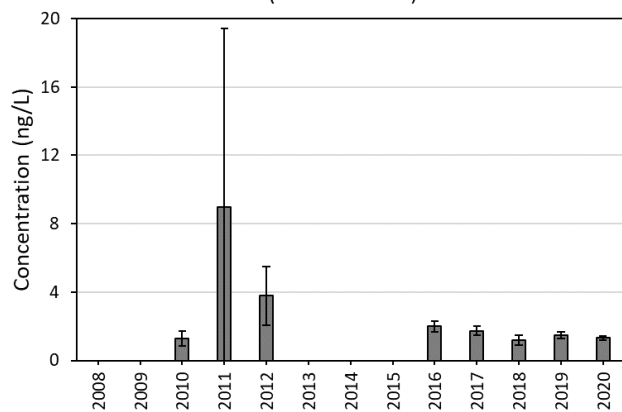


PFOS
(DREISR)

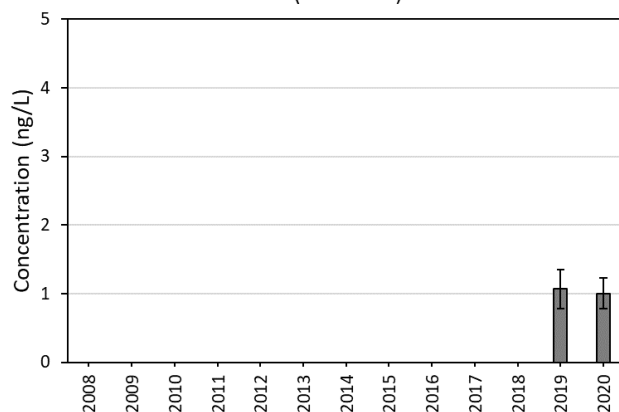


Eems + zee

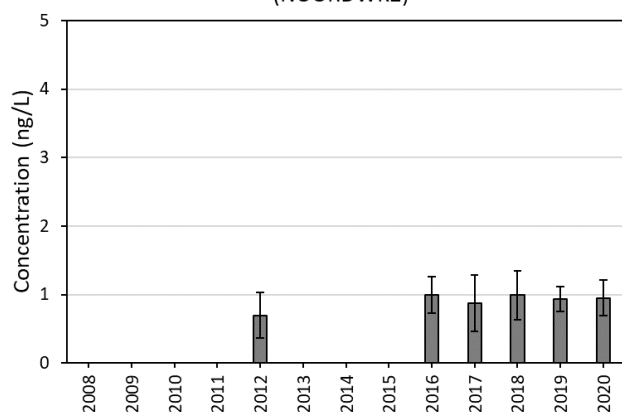
PFOS
(BOCHTVWTM)



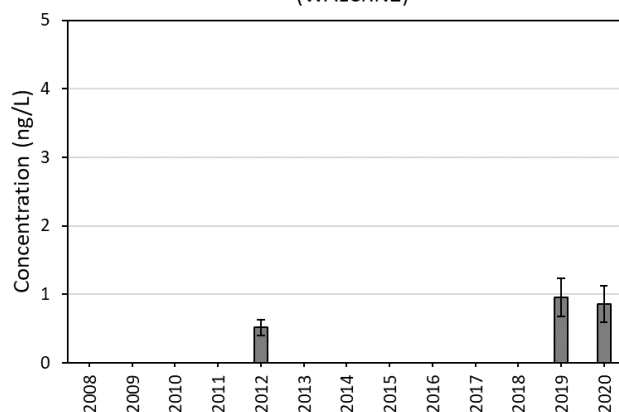
PFOS
(DANTZGT)



PFOS
(NOORDWK2)



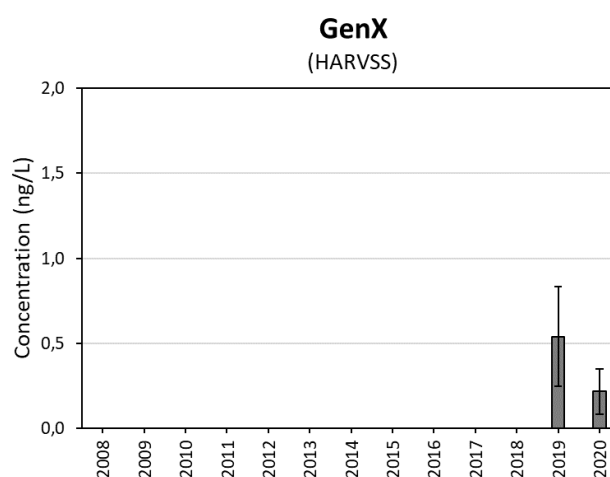
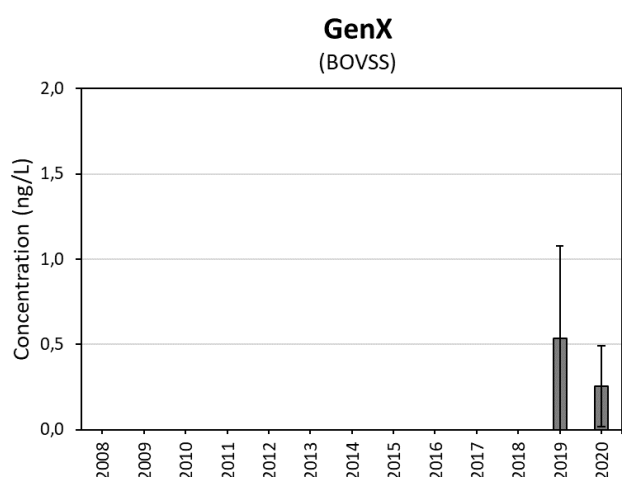
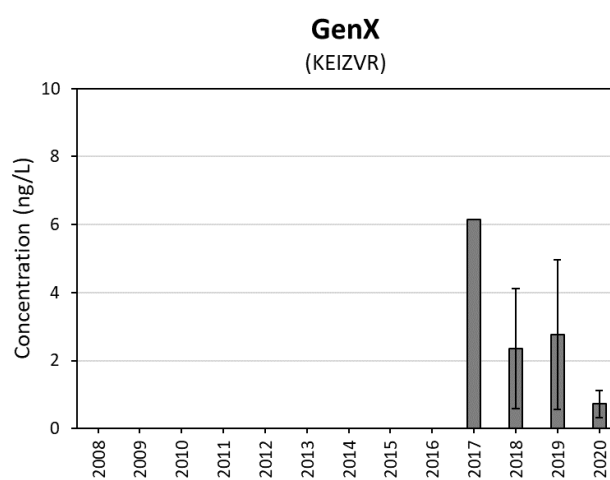
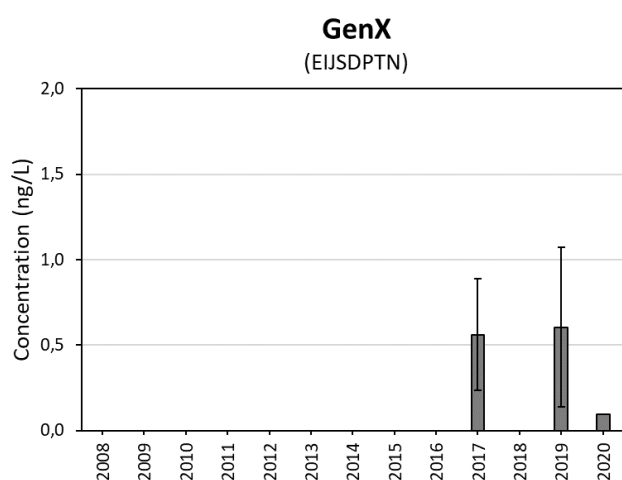
PFOS
(WALCRN2)



Bijlage B.11 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propaanzuur ("GenX")

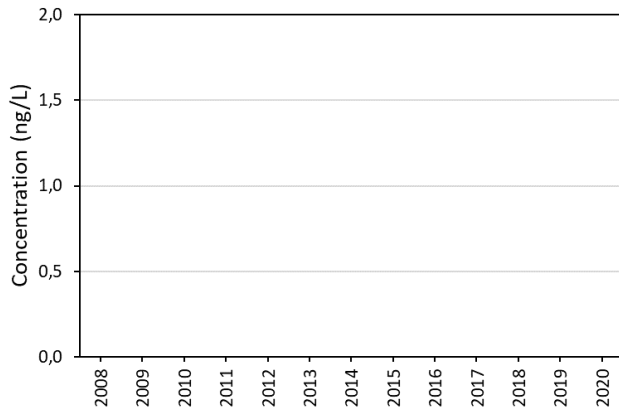
De rapportagegrens voor GenX is **1 ng/L**. De jaargemiddelde concentraties voor alle geselecteerde locaties (met uitzondering van die voor KEIZVR en SCHAARVODDL) liggen rond/onder deze grens. De onzekerheid op de getoonde resultaten is daarom groot. Op enkele meetlocaties elders in het land zijn de jaargemiddelde concentraties van GenX iets hoger. Voor deze (zes) locaties zijn daarom eveneens resultaten getoond.

Stroomgebied Maas

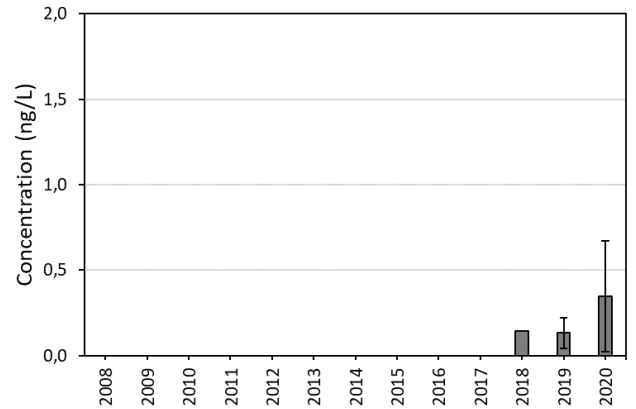


Stroomgebied Rijn

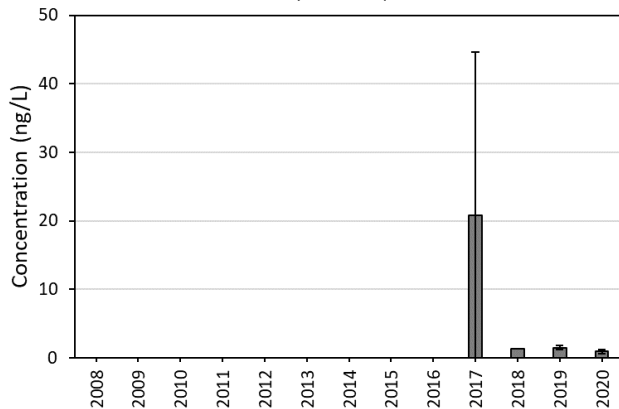
GenX
(LOBPTN)



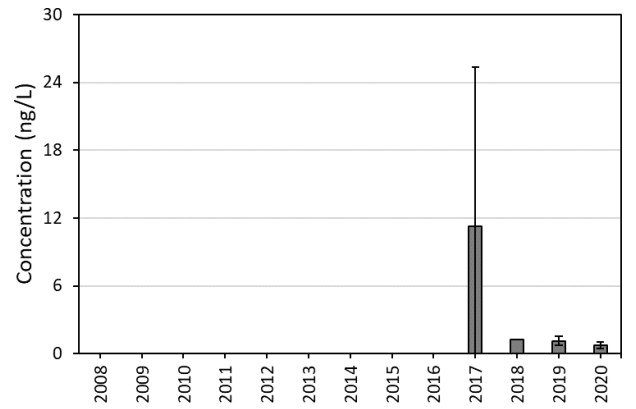
GenX
(NIEUWGN)



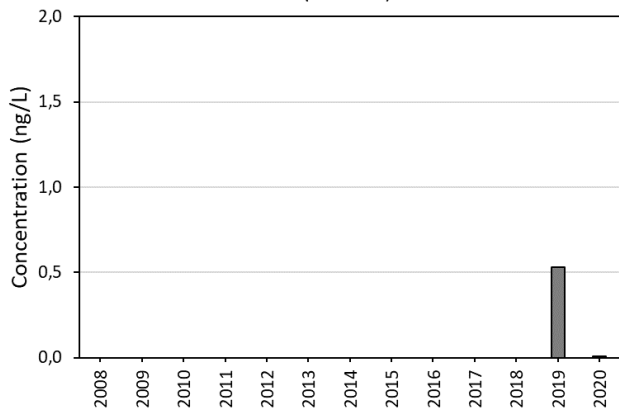
GenX
(MAASSS)



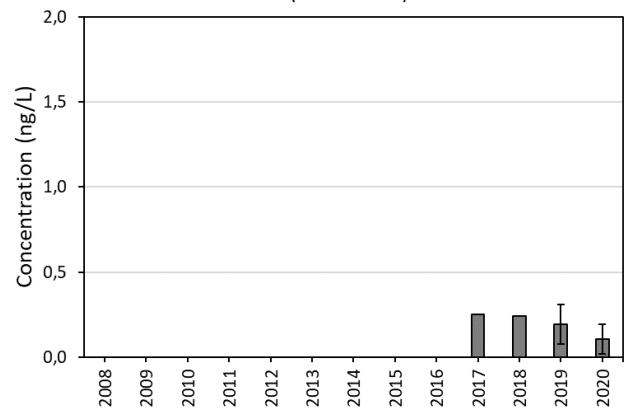
GenX
(IJMDN1)



GenX
(KAMPN)

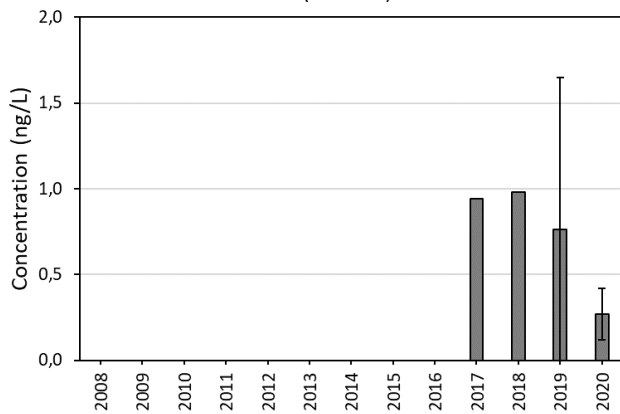


GenX
(VROUWZD)

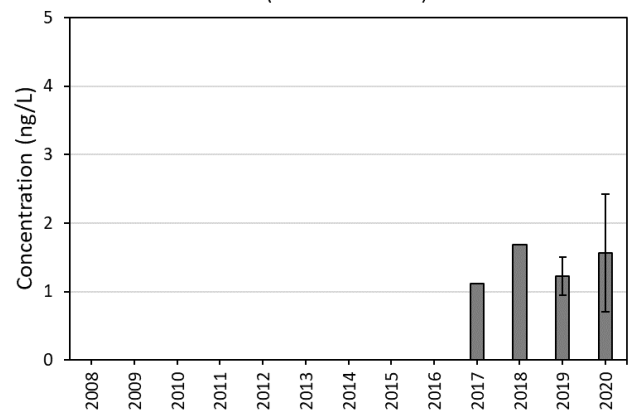


Stroomgebied Schelde

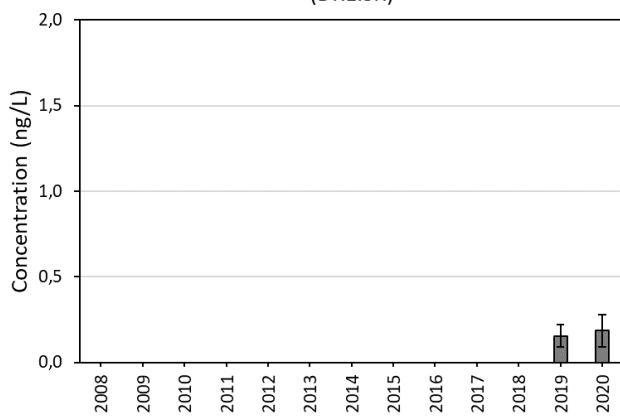
GenX
(SASVGT)



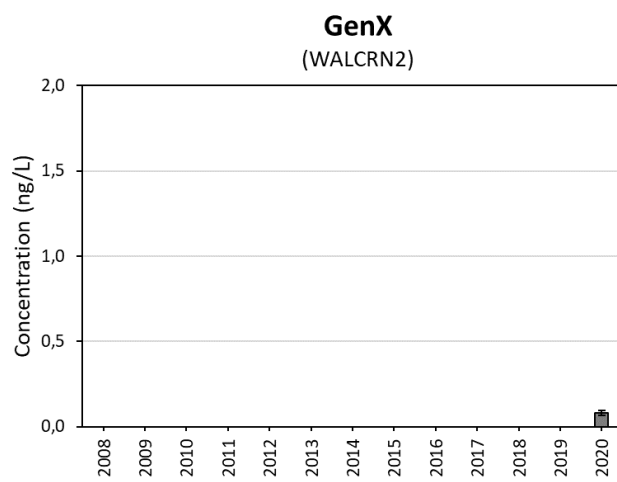
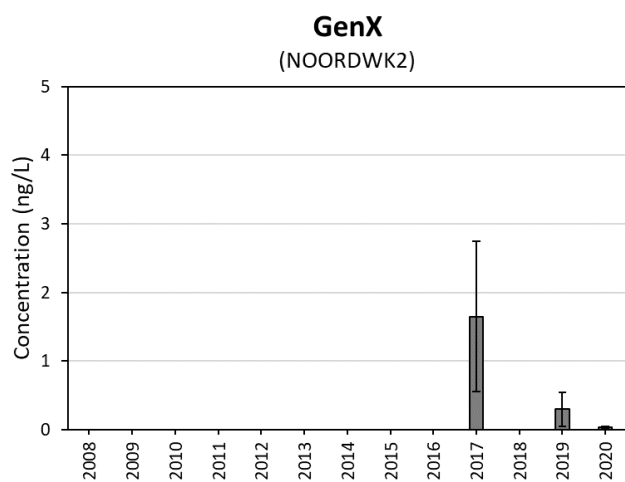
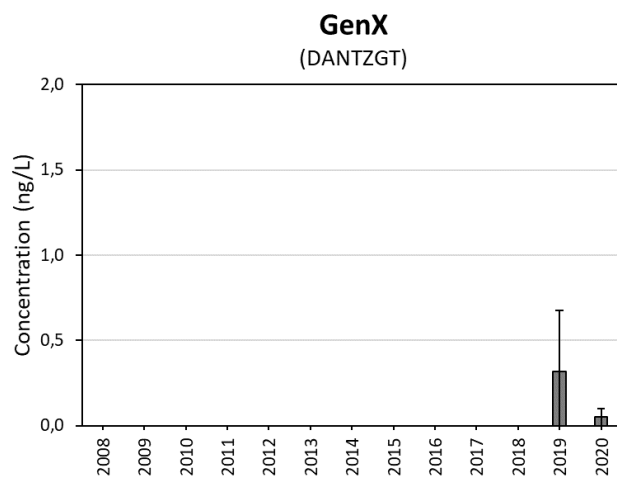
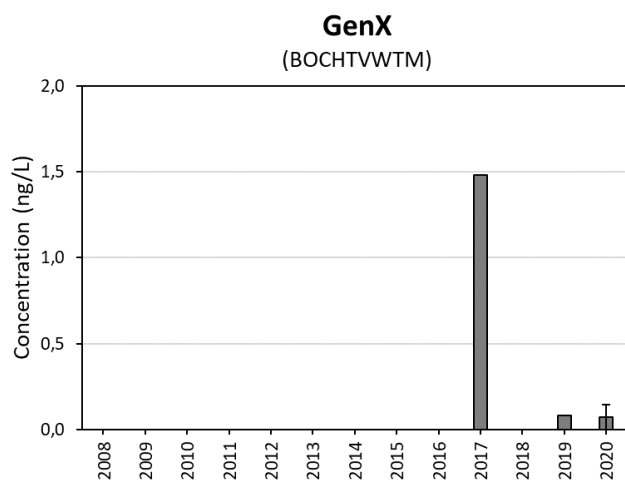
GenX
(SCHAARVODDL)



GenX
(DREISR)

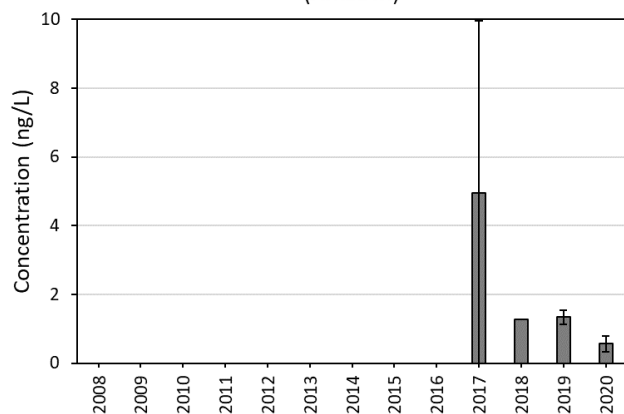


Eems + zee

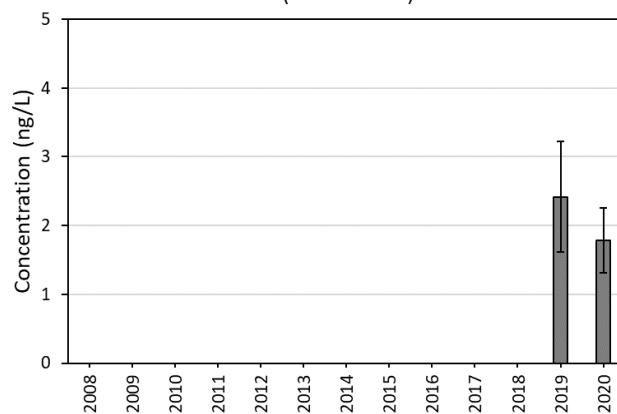


Extra locaties

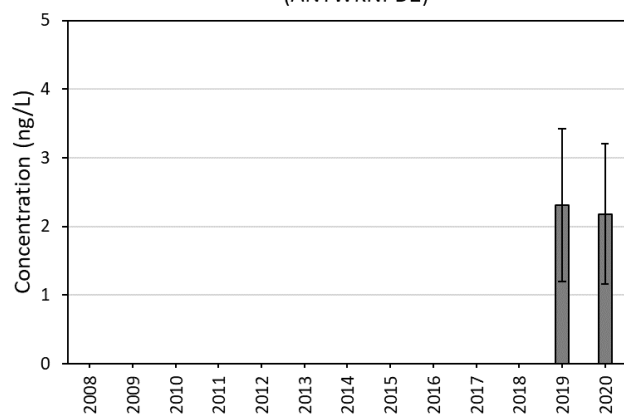
GenX
(AMSDM)



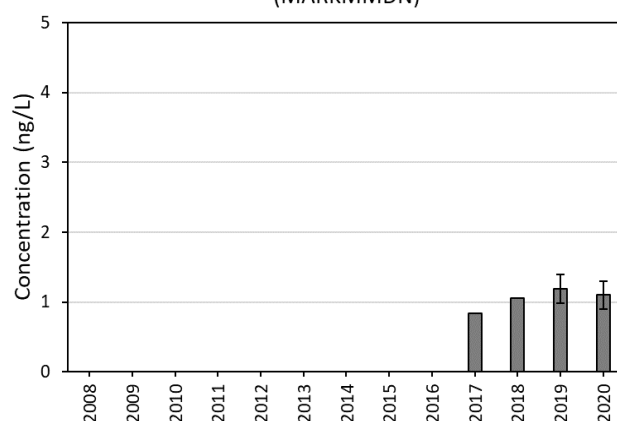
GenX
(GOUDVHVN)



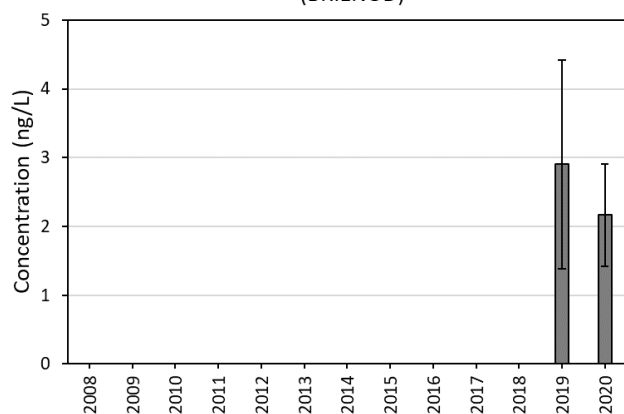
GenX
(ANTWKNPD2)



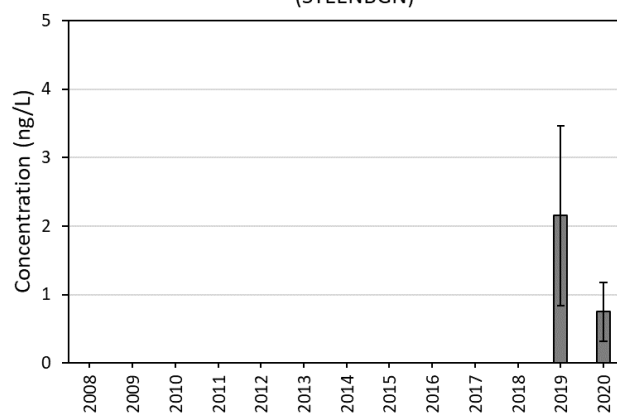
GenX
(MARKMMDN)



GenX
(BRIENOD)



GenX
(STEENBGN)

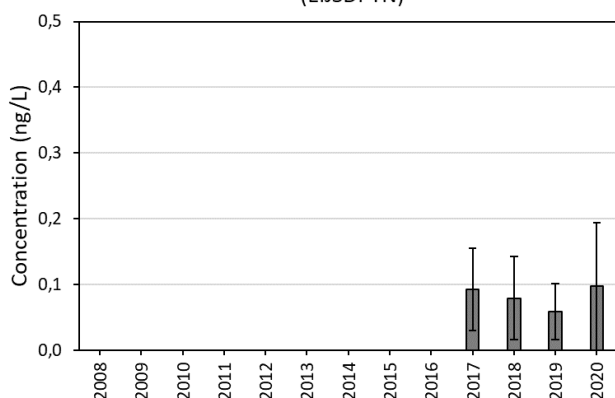


Bijlage B.12 N-ethyl-perfluorooctaan sulfonamidoazijnzuur

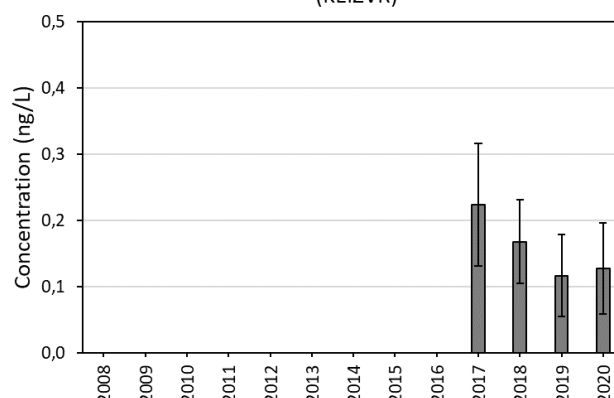
De rapportagegrens voor EtFOSAA is **0,1 ng/L**. De jaargemiddelde concentraties voor vrijwel alle geselecteerde locaties liggen rond/onder deze grens. De onzekerheid op de getoonde resultaten is daarom groot. Uitzonderingen zijn de locaties SASVGT en SCHAARVODDL, waar de jaargemiddelde concentraties een factor 6 tot 14 hoger zijn.

Stroomgebied Maas

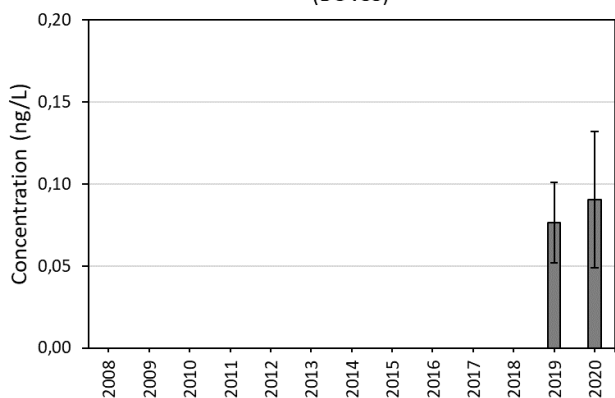
EtFOSAA
(EIJDPTN)



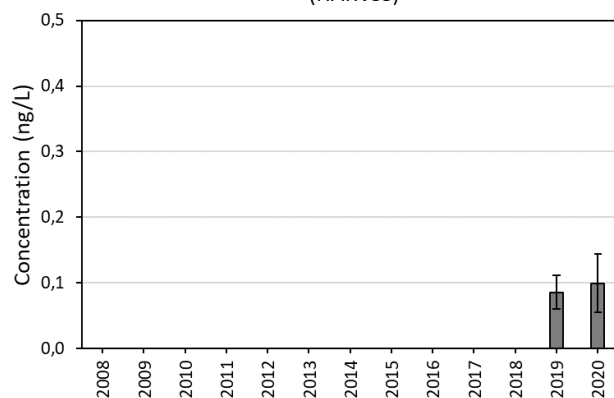
EtFOSAA
(KEIZVR)



EtFOSAA
(BOVSS)

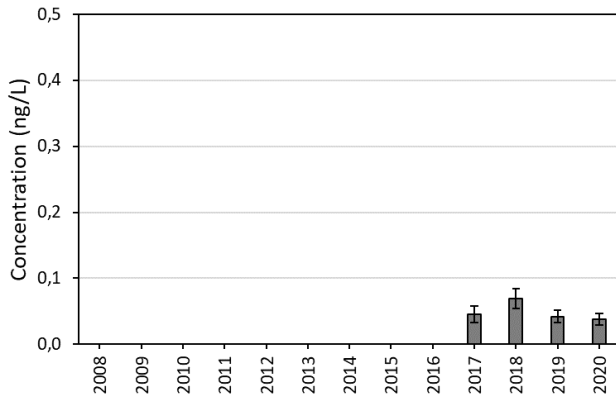


EtFOSAA
(HARVSS)

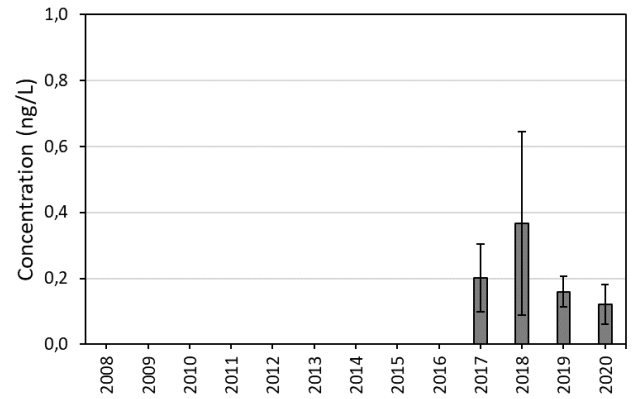


Stroomgebied Rijn

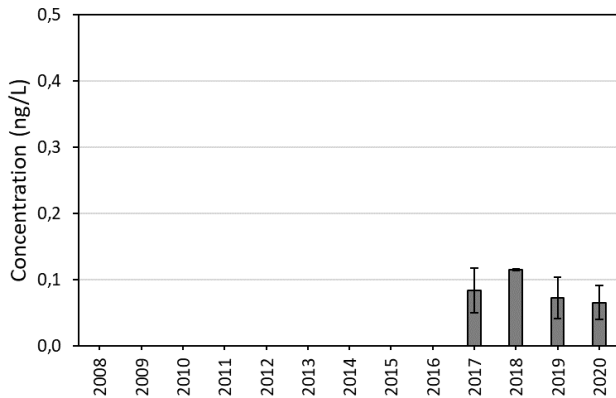
EtFOSAA
(LOBPTN)



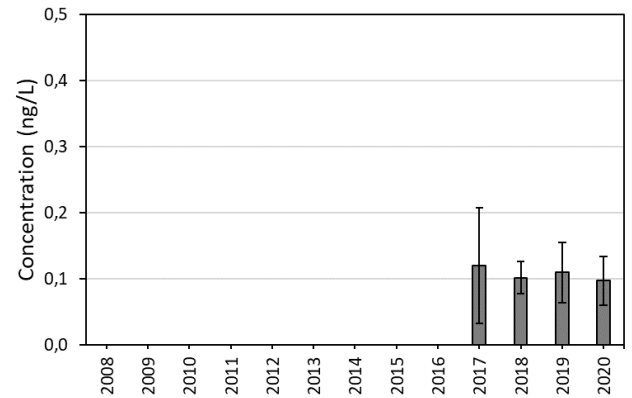
EtFOSAA
(NIEUWGN)



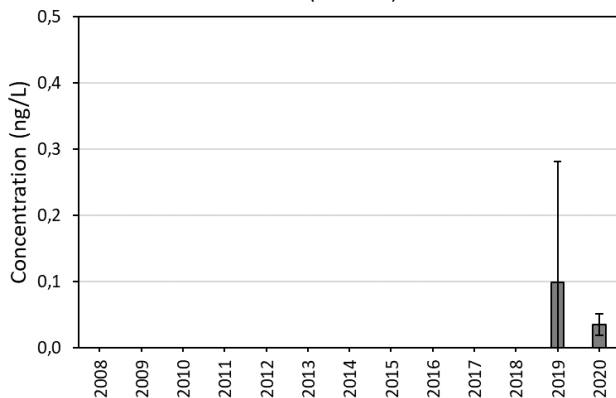
EtFOSAA
(MAASSS)



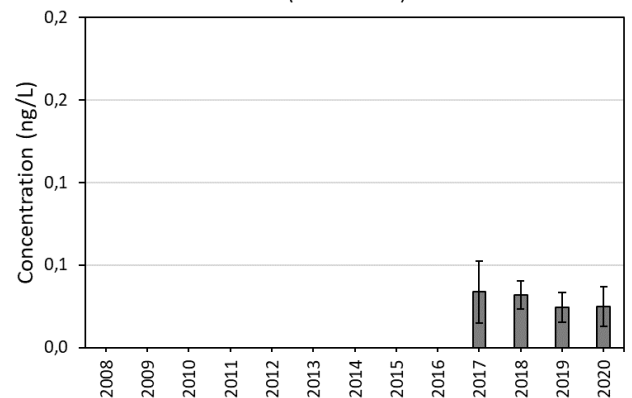
EtFOSAA
(IJMDN1)



EtFOSAA
(KAMPN)

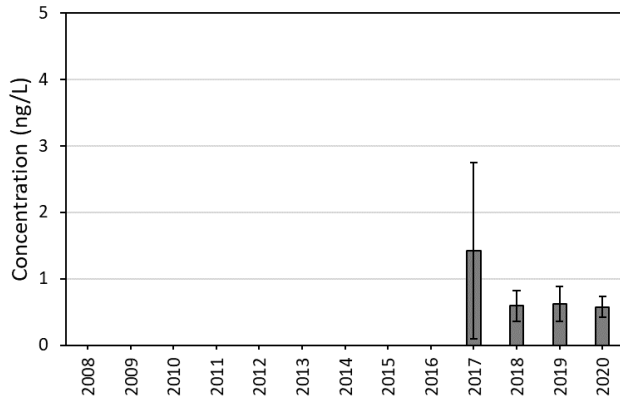


EtFOSAA
(VROUWZD)

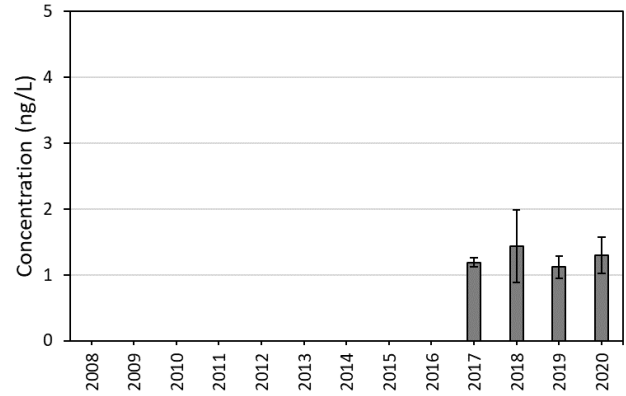


Stroomgebied Schelde

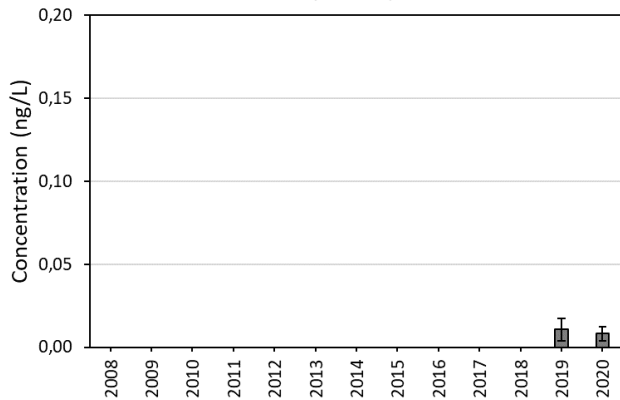
EtFOSAA
(SASVGT)



EtFOSAA
(SCHAARVODDL)

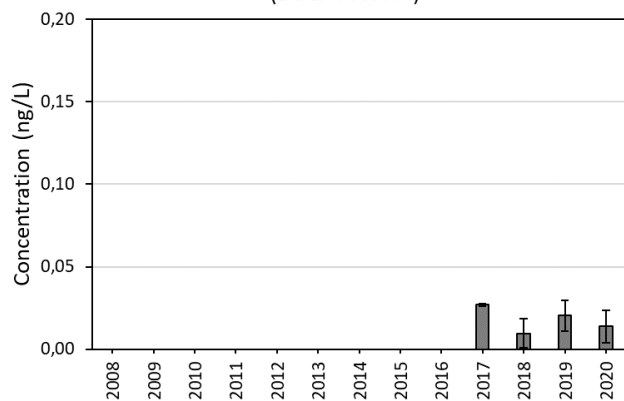


EtFOSAA
(DREISR)

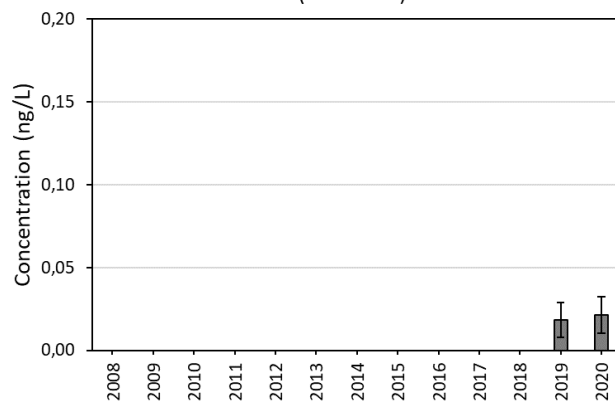


Eems + zee

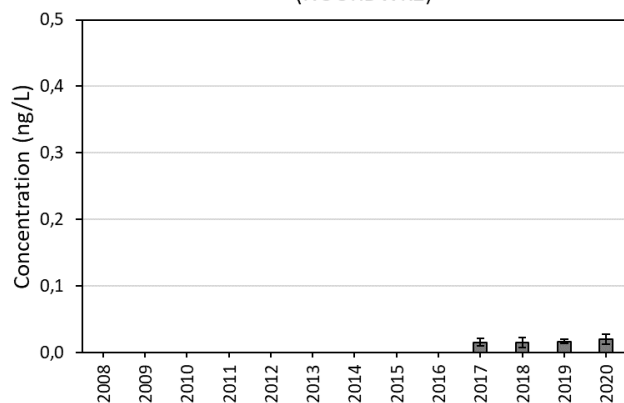
EtFOSAA
(BOCHTVWTM)



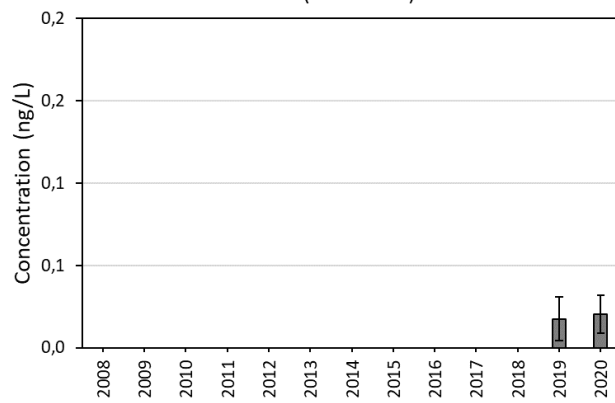
EtFOSAA
(DANTZGT)



EtFOSAA
(NOORDWK2)



EtFOSAA
(WALCRN2)

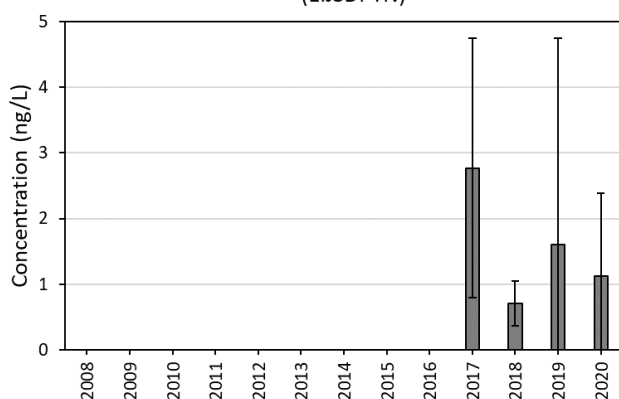


Bijlage B.13 6:2 Fluortelomeersulfonzuur

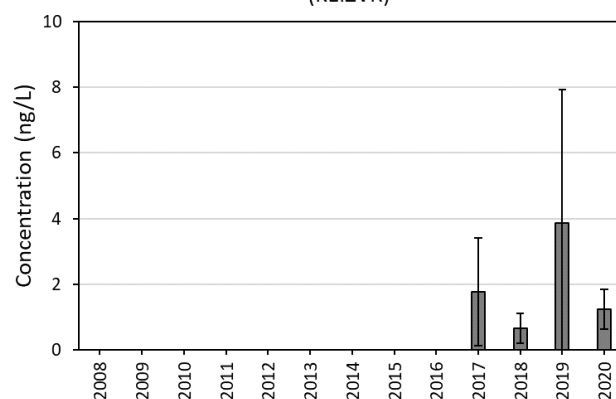
De rapportagegrens voor 6:2 FTS is **1 ng/L**. De jaargemiddelde concentraties voor 2/3 van de geselecteerde locaties liggen rond/onder deze grens. De onzekerheid op de resultaten voor deze locaties is daarom groot.

Stroomgebied Maas

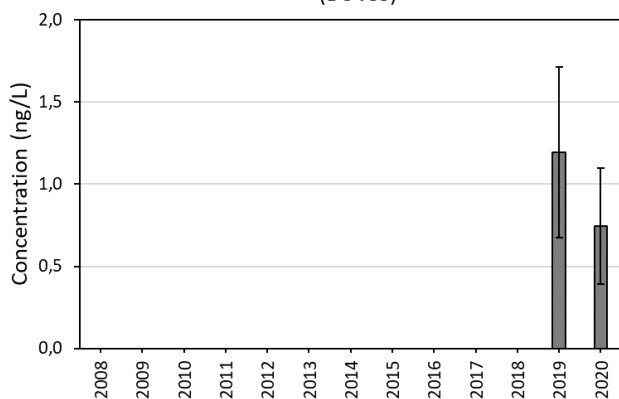
6:2 FTS
(EIJSDPTN)



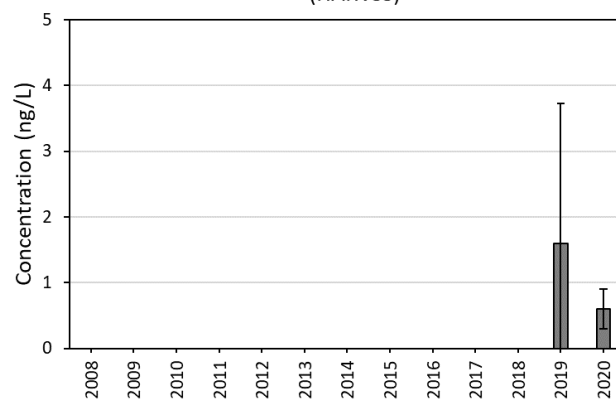
6:2 FTS
(KEIZVR)



6:2 FTS
(BOVSS)

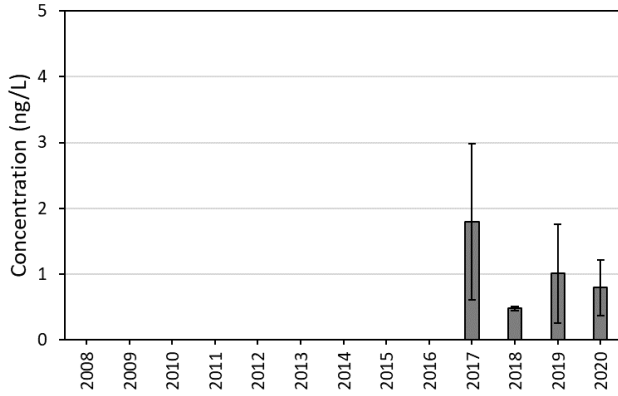


6:2 FTS
(HARVSS)

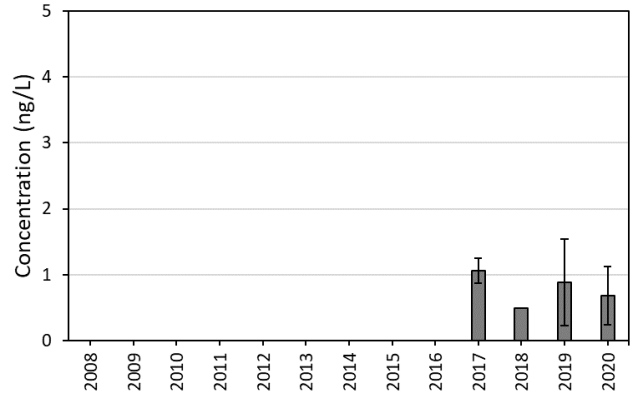


Stroomgebied Rijn

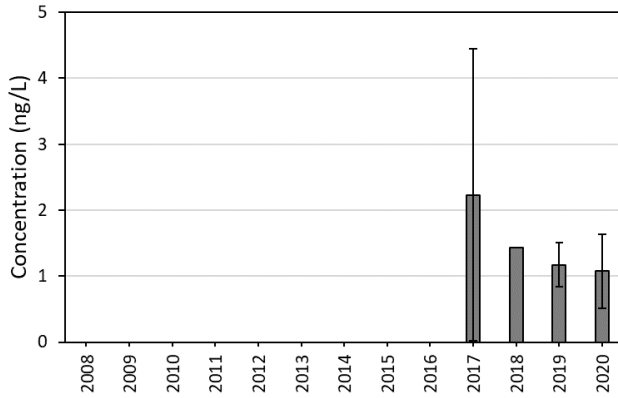
6:2 FTS
(LOBPTN)



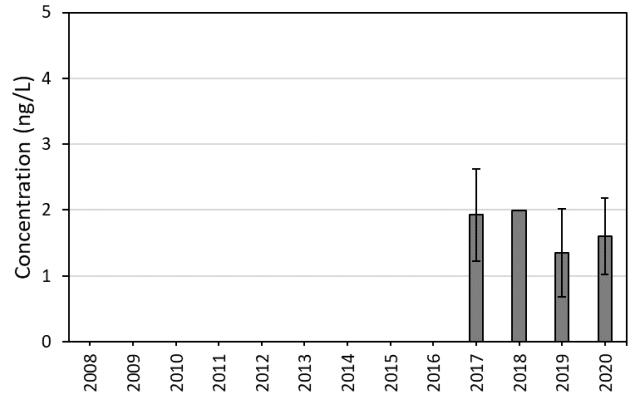
6:2 FTS
(NIEUWGN)



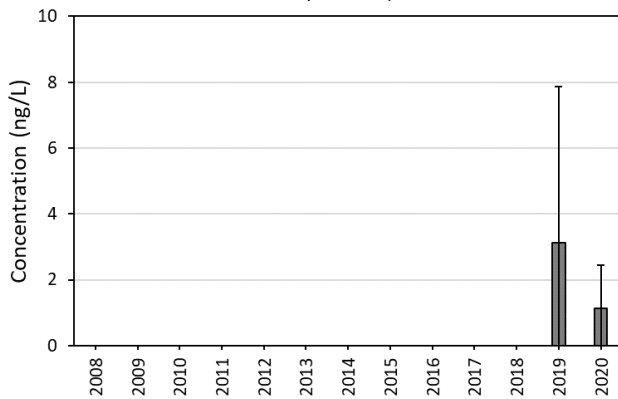
6:2 FTS
(MAASSS)



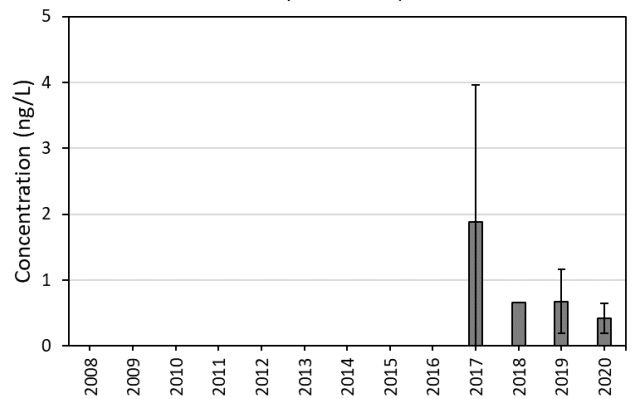
6:2 FTS
(IJMDN1)



6:2 FTS
(KAMPN)

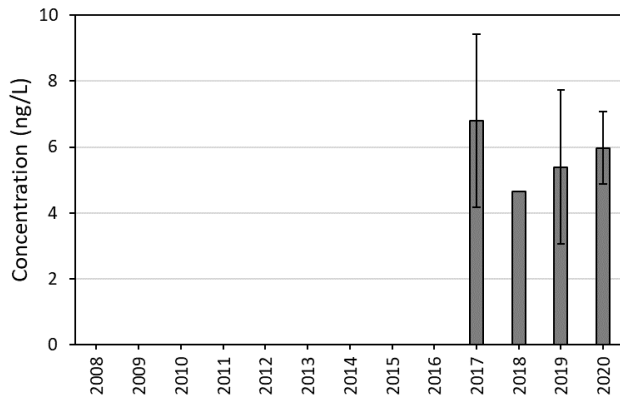


6:2 FTS
(VROUWZD)

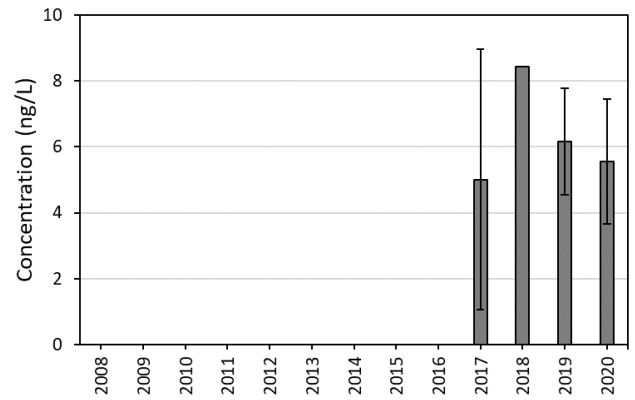


Stroomgebied Schelde

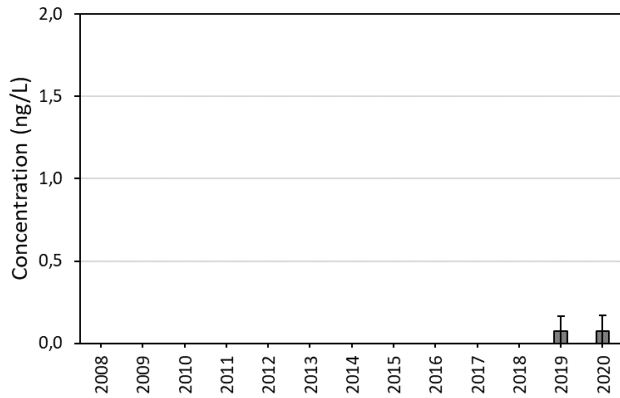
6:2 FTS
(SASVGT)



6:2 FTS
(SCHAARVODDL)

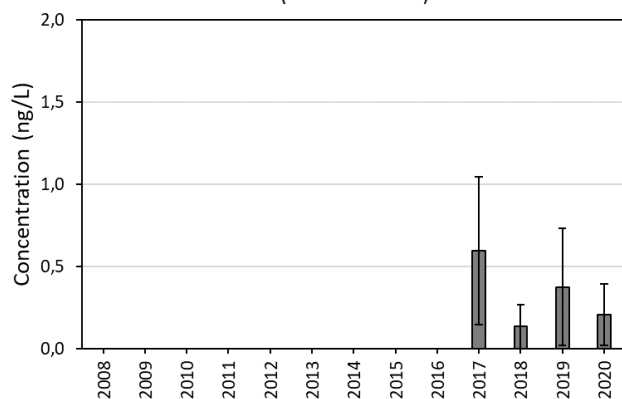


6:2 FTS
(DREISR)

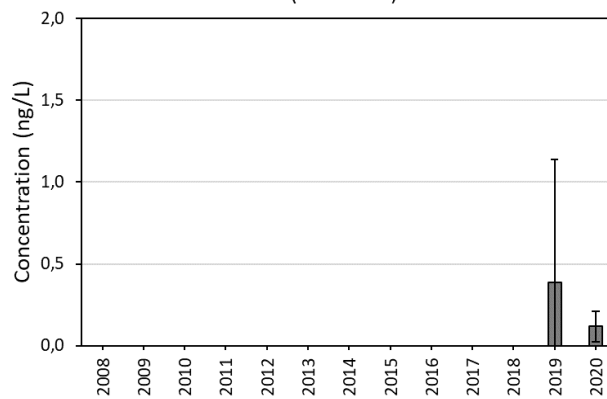


Eems + zee

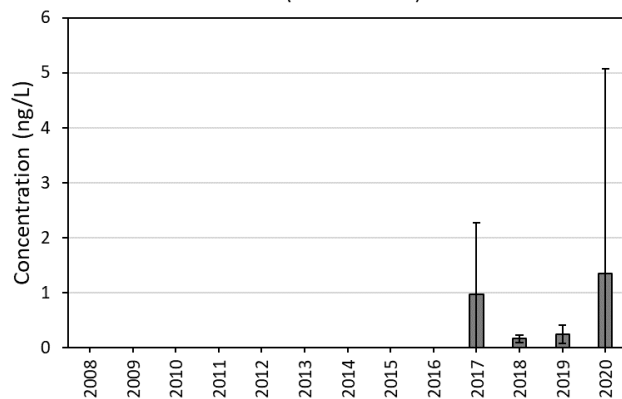
6:2 FTS
(BOCHTVWTM)



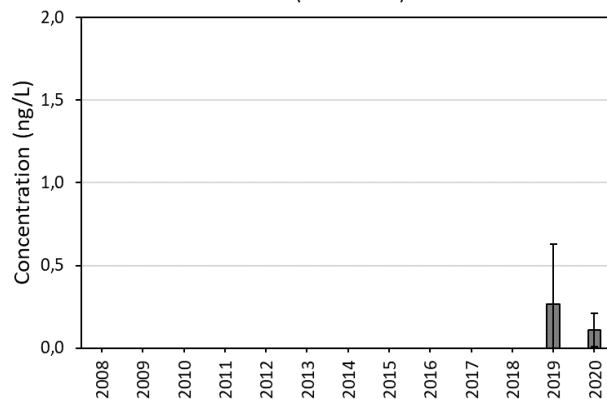
6:2 FTS
(DANTZGT)



6:2 FTS
(NOORDWK2)



6:2 FTS
(WALCRN2)

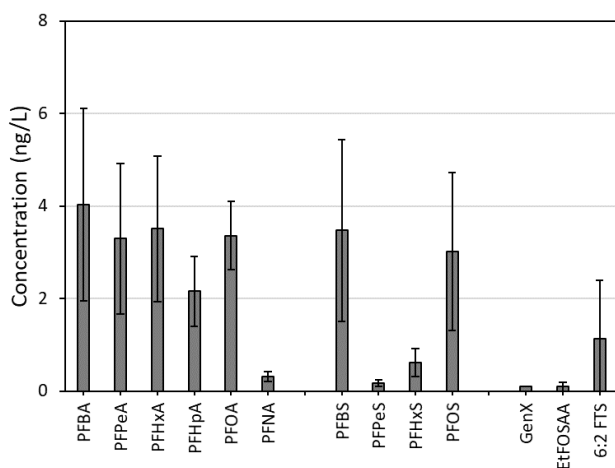


Bijlage C. Locatie-specifieke PFAS-stofprofielen.

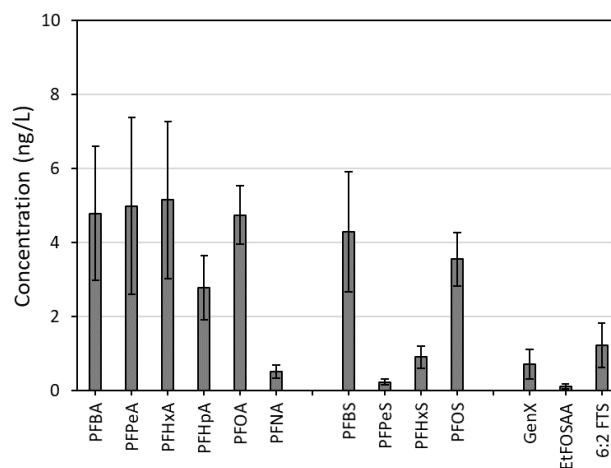
Overzicht van de concentraties van de geselecteerde PFAS, gemeten in **2020** op de geselecteerde locaties, waarbij de locaties zijn gegroepeerd naar 'stroomgebied'. De onderlinge PFAS-verhoudingen leveren een zogenaamd 'stofprofiel'.

Stroomgebied Maas

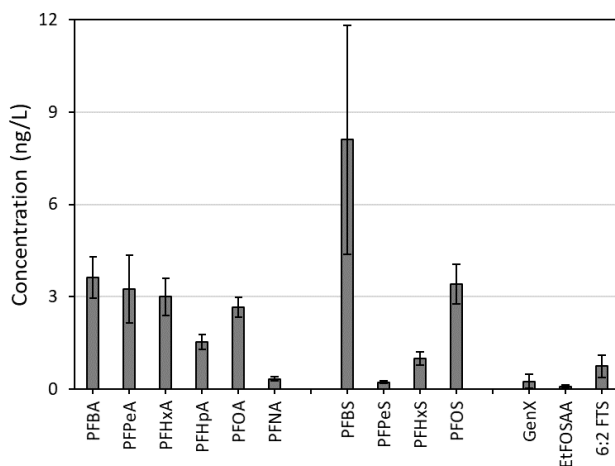
ElISDPTN



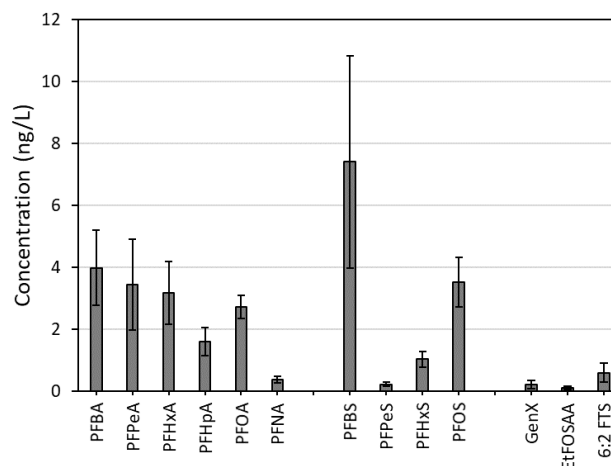
KEIZVR



BOVSS

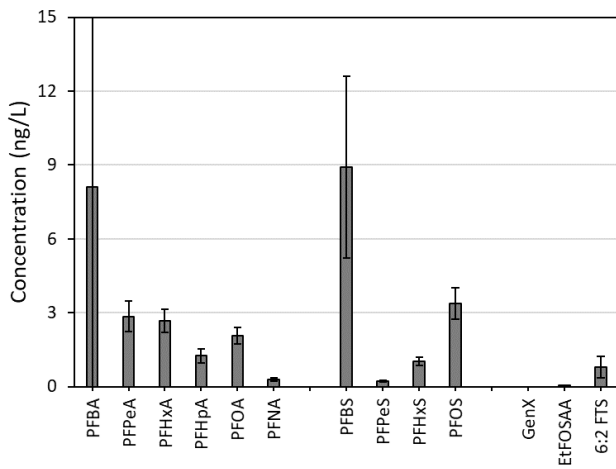


HARVSS

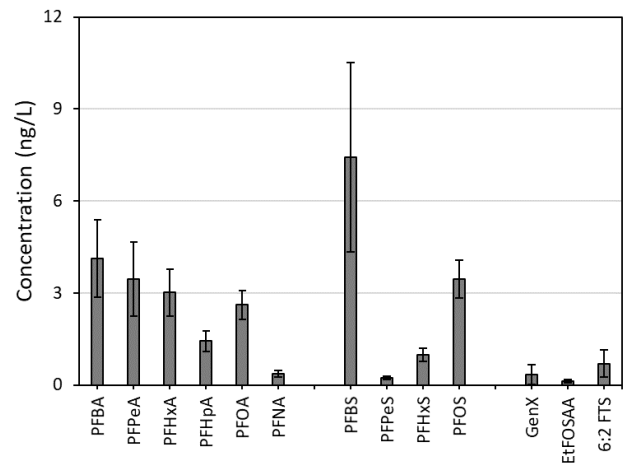


Stroomgebied Rijn

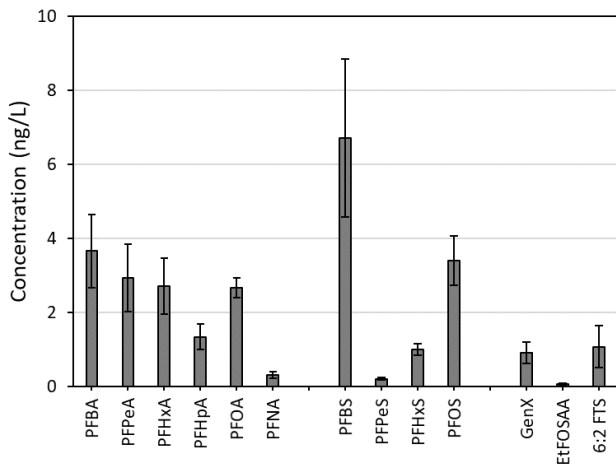
LOBPTN



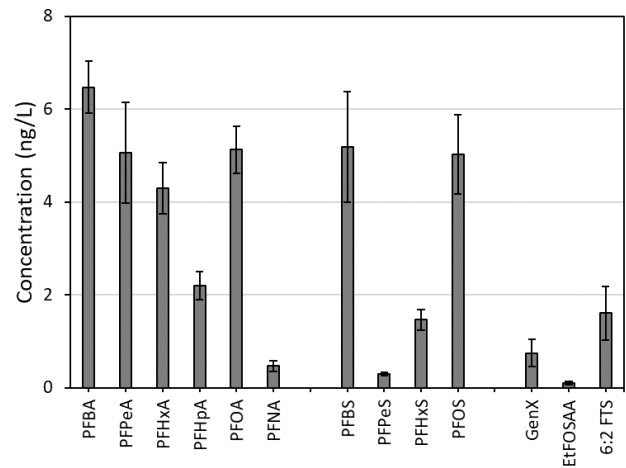
NIEUWGN



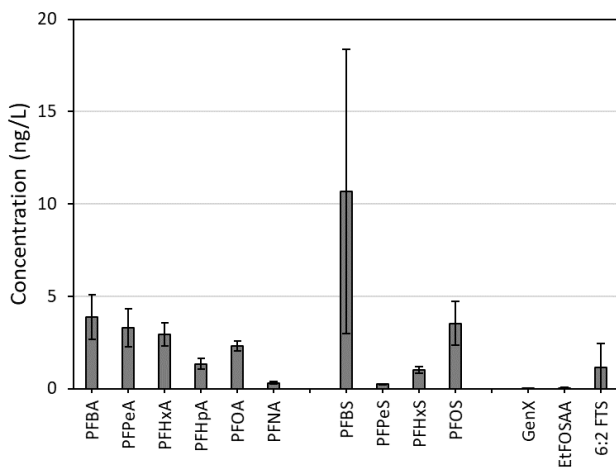
MAASSS



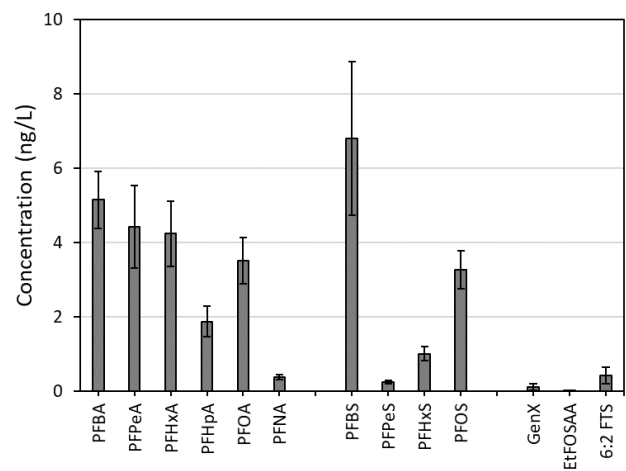
IJMDN1



KAMPN

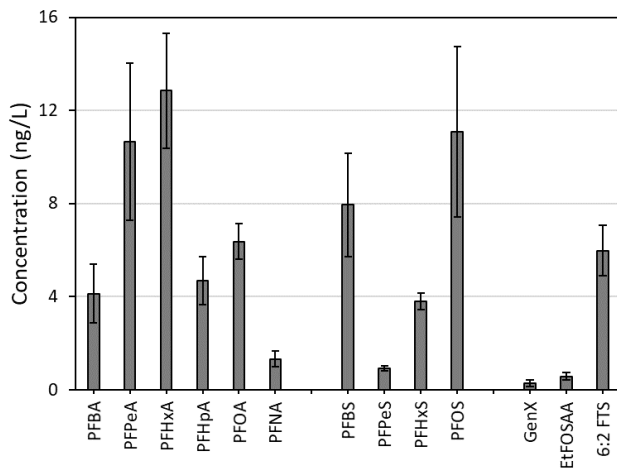


VROUWZD

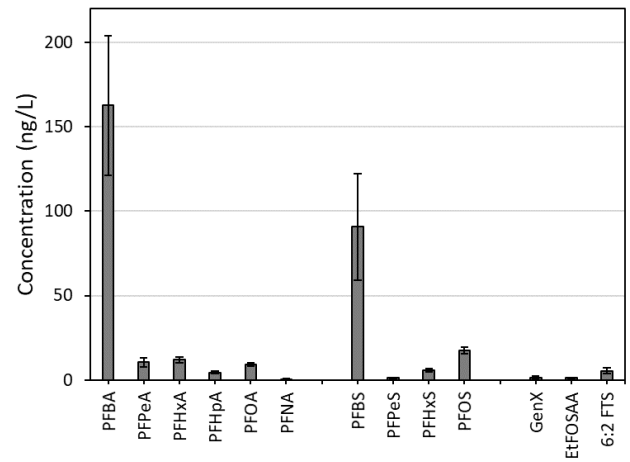


Stroomgebied Schelde

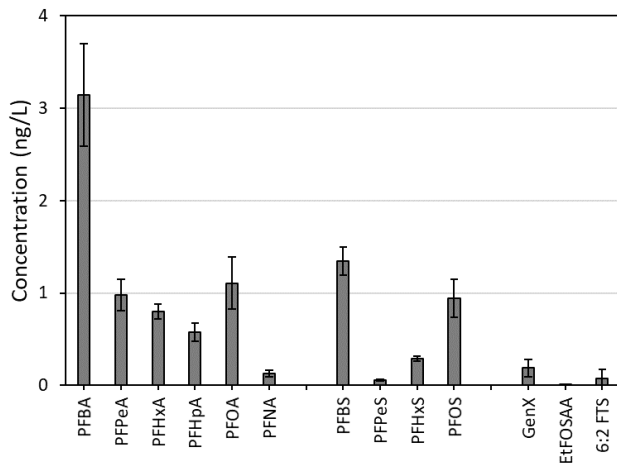
SASVGT



SCHAARVODDL

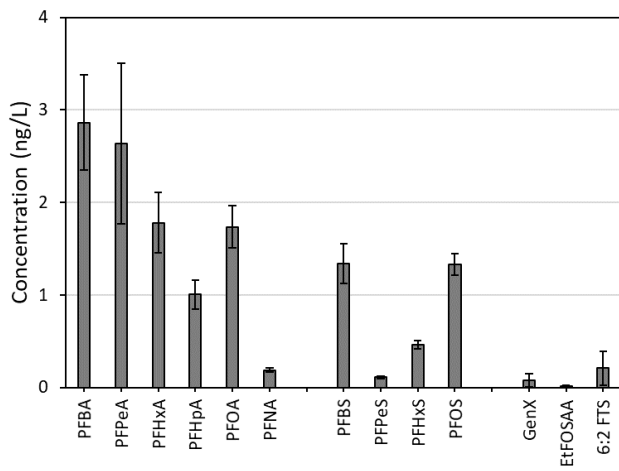


DREISR

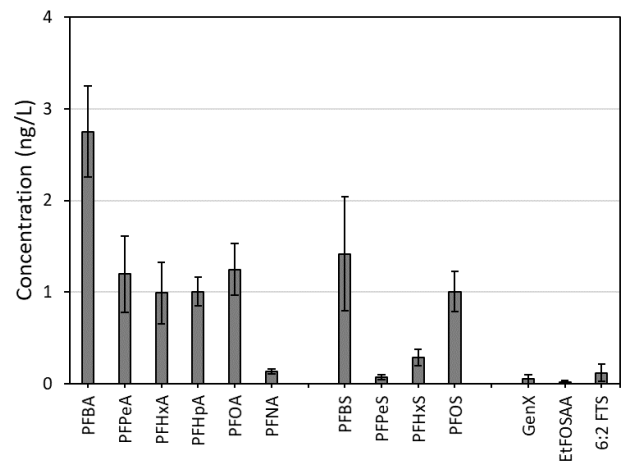


Eems + zee

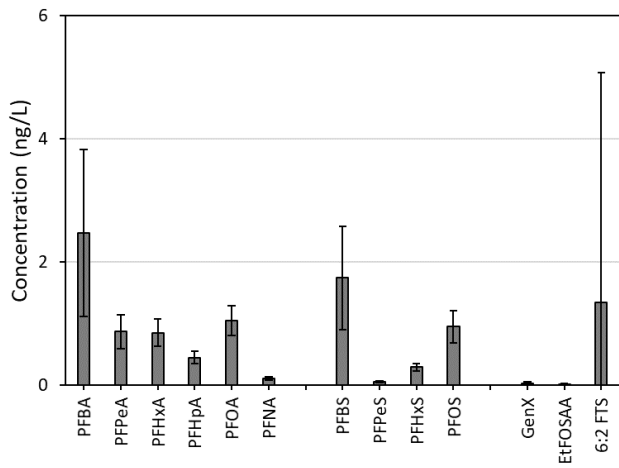
BOCHTVWTM



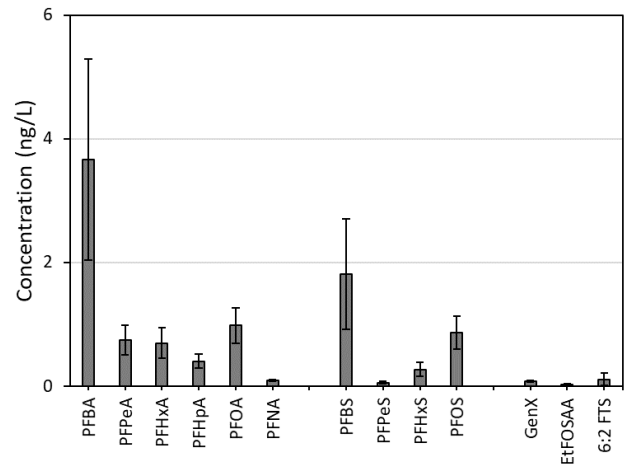
DANTZGT



NOORDWK2



WALCRN2



Bijlage D. Grafische weergave jaargemiddelde PFAS-vrachten in water.

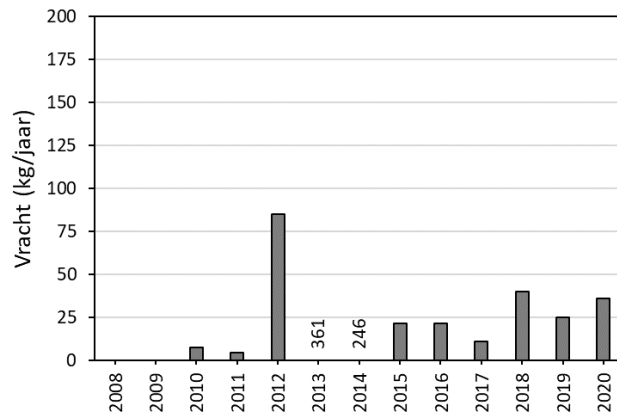
Bij het overzicht op de volgende pagina's gelden enkele algemene opmerkingen:

- De vrachten (kg/jaar) zijn berekend als het product van de jaargemiddelde concentratie en het jaargemiddelde debiet op de betreffende locatie.
- De vrachten zijn weergegeven voor 13 geselecteerde stoffen en 8 geselecteerde locaties, waarbij gegroepeerd is per stroomgebied (Maas, Rijn, Schelde) en daarna per stof.
- Om een directe vergelijking tussen locaties binnen een stroomgebied mogelijk te maken, is de y-as schaal van grafieken voor verschillende locaties binnen een specifiek stroomgebied voor een bepaalde stof gelijkgesteld.
- De y-as schaal voor verschillende stoffen en verschillende stroomgebieden is noodgedwongen verschillend.
- De vrachten voor PFBA en PFPeA uit 2013 en 2014 zijn niet grafisch, maar numeriek weergegeven, omdat deze vrachten het beeld verstoren. Ze zijn onrealistisch hoog, wat naar alle waarschijnlijkheid te maken heeft met een overschatting van de concentraties door matrixeffecten tijdens de analyse in deze jaren (zie ook de opmerkingen bij deze stoffen in Bijlage B).

Stroomgebied Maas

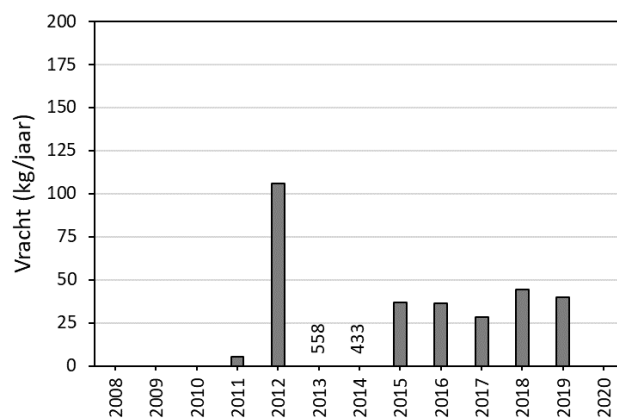
PFBA

EIJSPTN



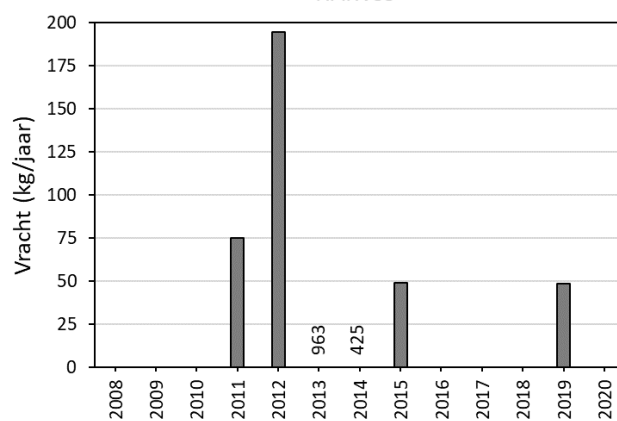
PFBA

KEIZVR



PFBA

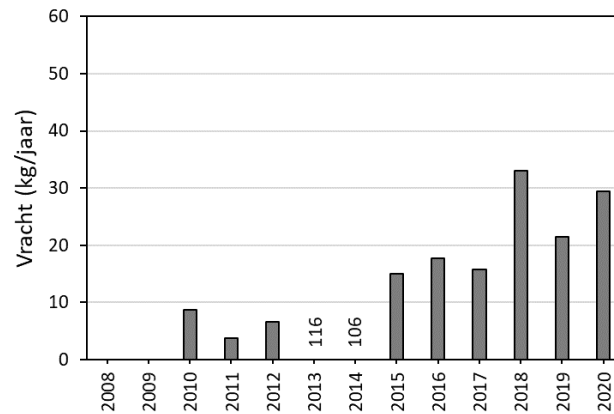
HARVSS



Stroomgebied Maas

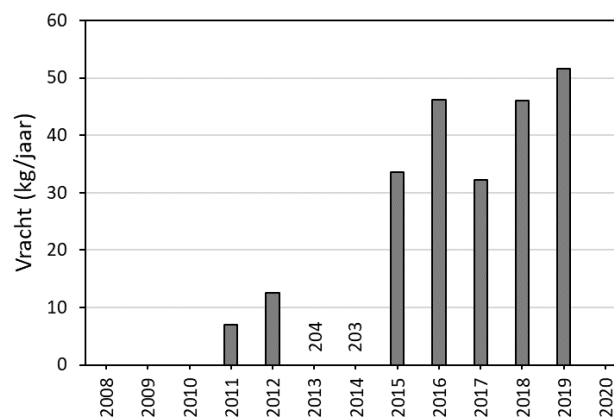
PFPeA

EIJS DPTN



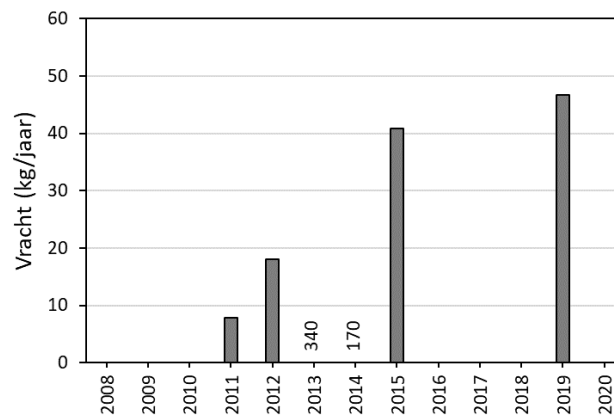
PFPeA

KEIZVR



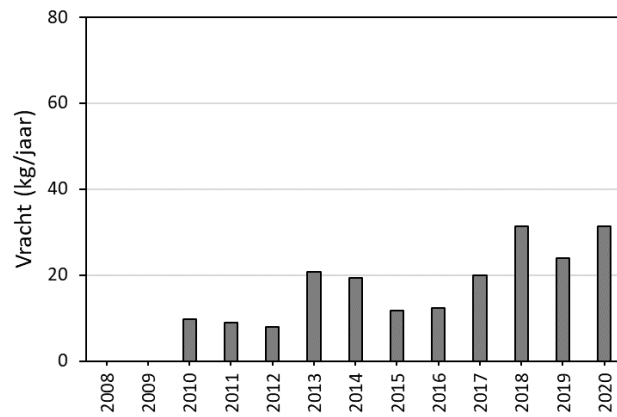
PFPeA

HARVSS

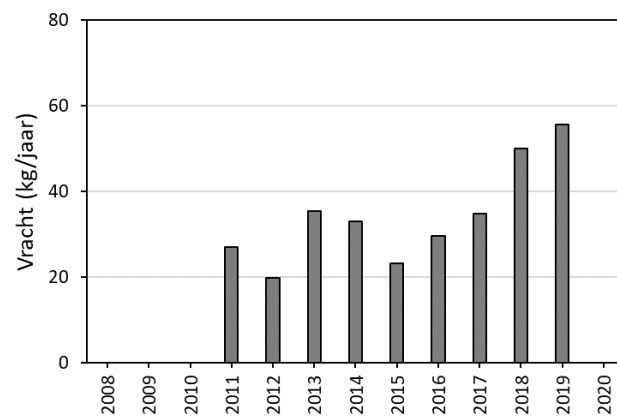


Stroomgebied Maas

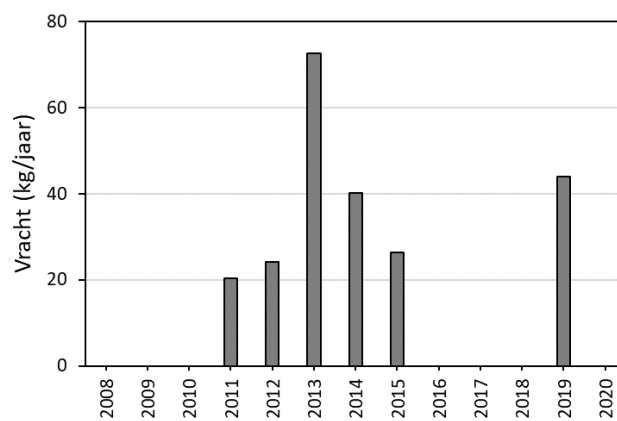
PFHxA
EIJSDPTN



PFHxA
KEIZVR

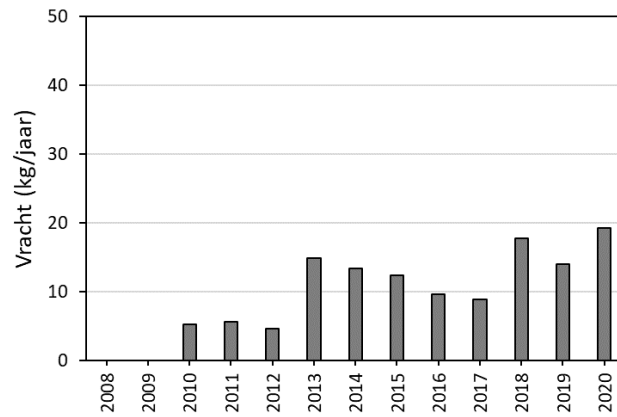


PFHxA
HARVSS

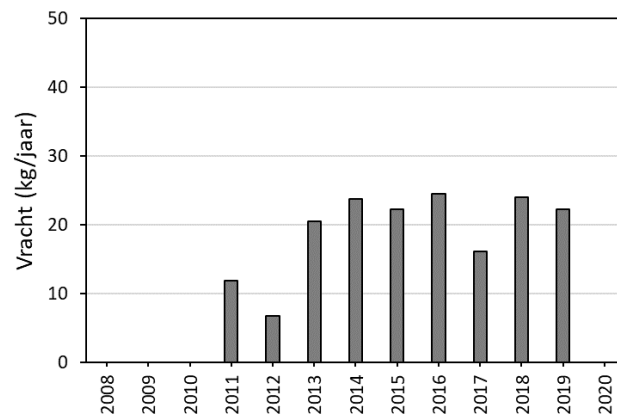


Stroomgebied Maas

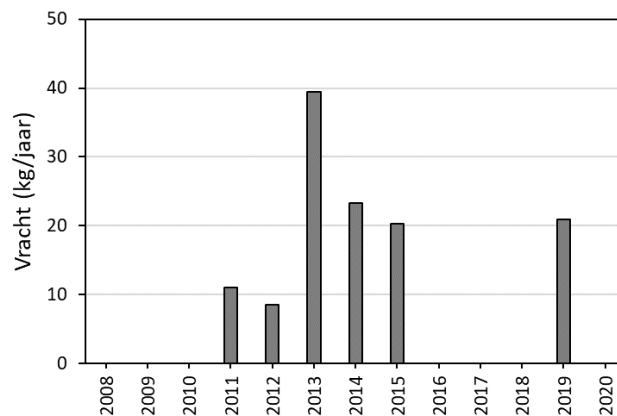
PFHpA
EIJSDPTN



PFHpA
KEIZVR

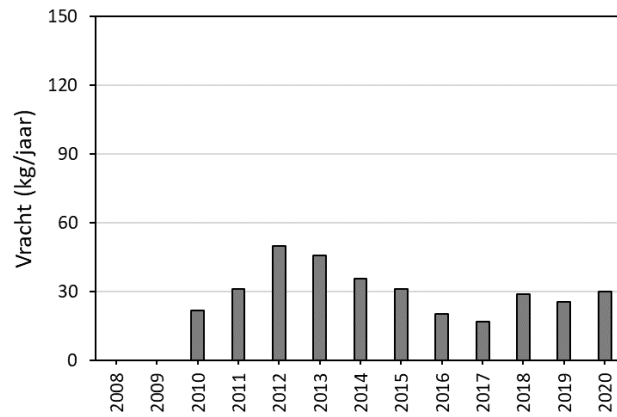


PFHpA
HARVSS

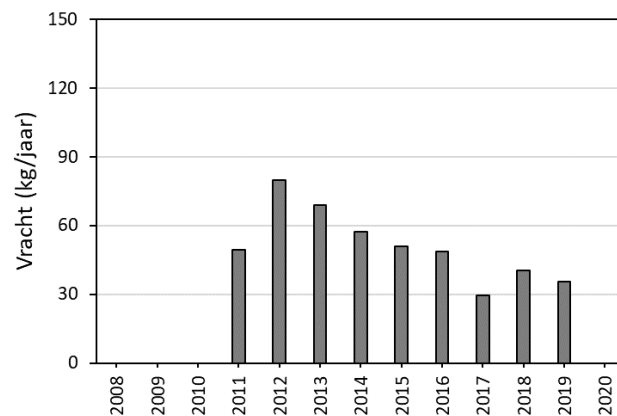


Stroomgebied Maas

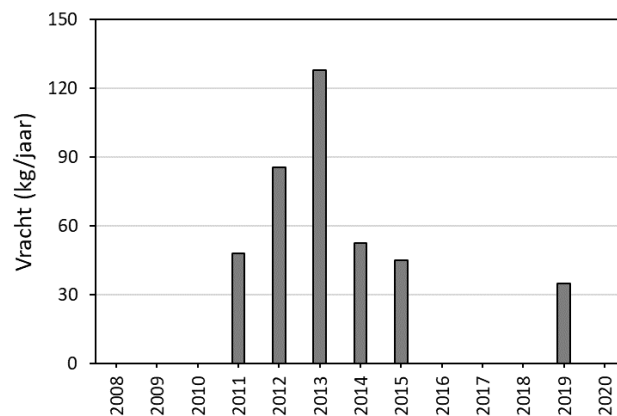
PFOA
EIJSDPTN



PFOA
KEIZVR

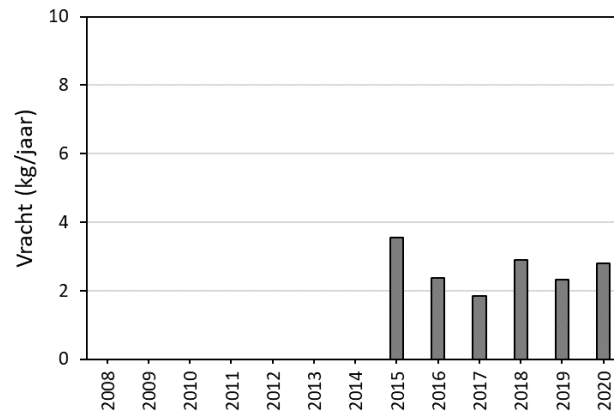


PFOA
HARVSS

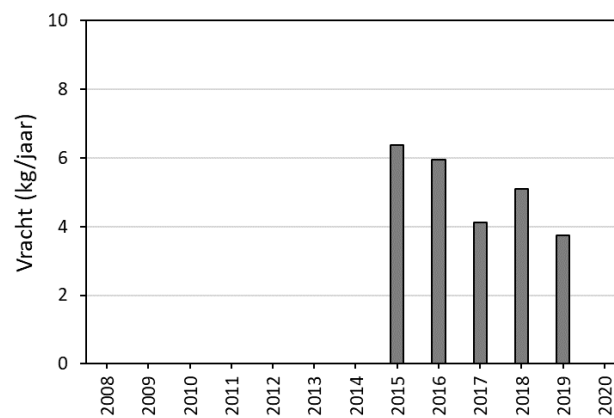


Stroomgebied Maas

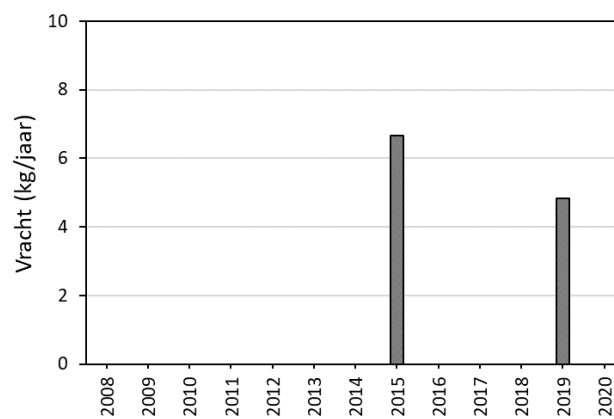
PFNA
EIJSDPTN



PFNA
KEIZVR



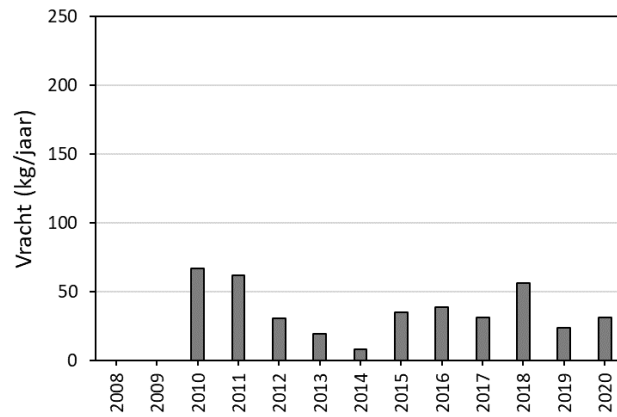
PFNA
HARVSS



Stroomgebied Maas

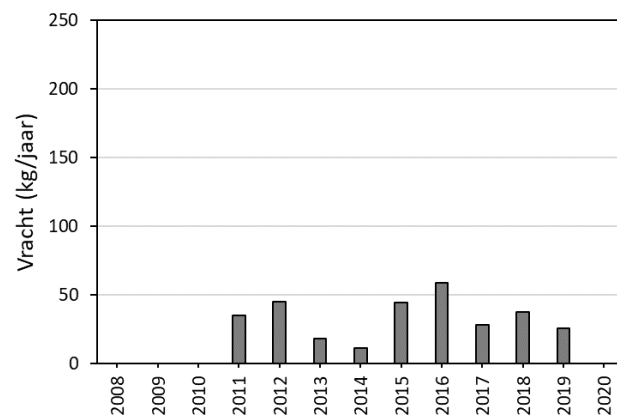
PFBS

EIJS DPTN



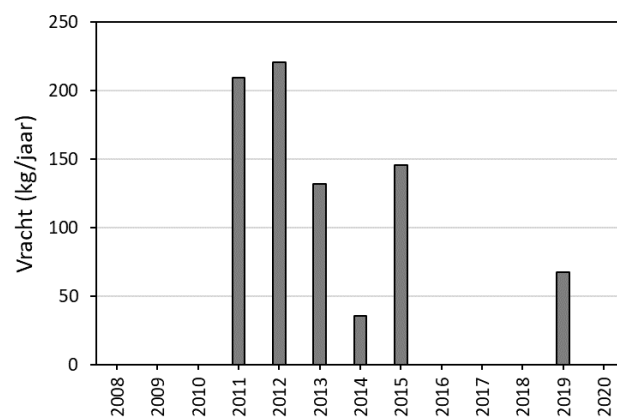
PFBS

KEIZVR



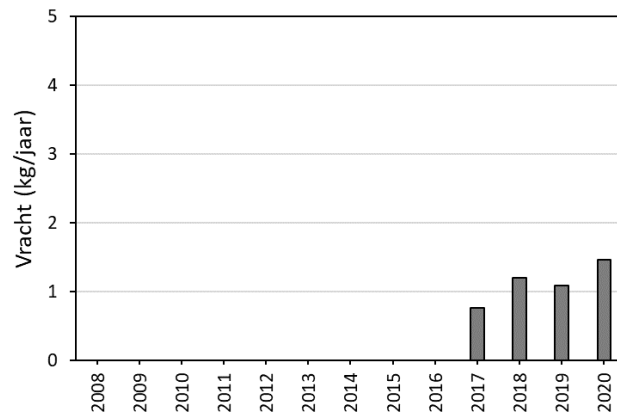
PFBS

HARVSS

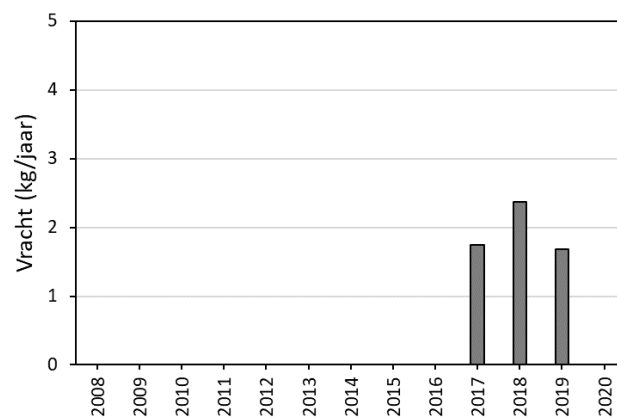


Stroomgebied Maas

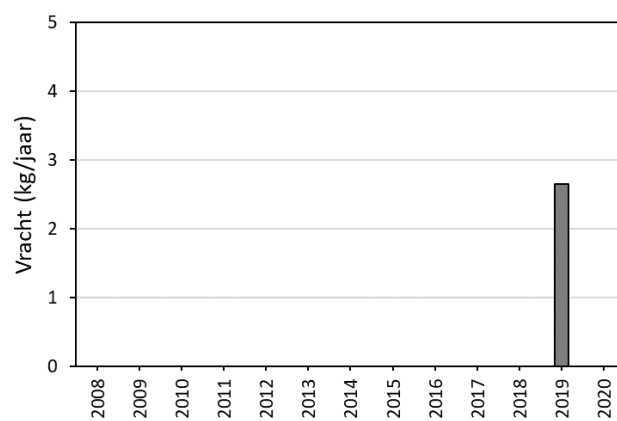
PFPeS
EIJSDPTN



PFPeS
KEIZVR

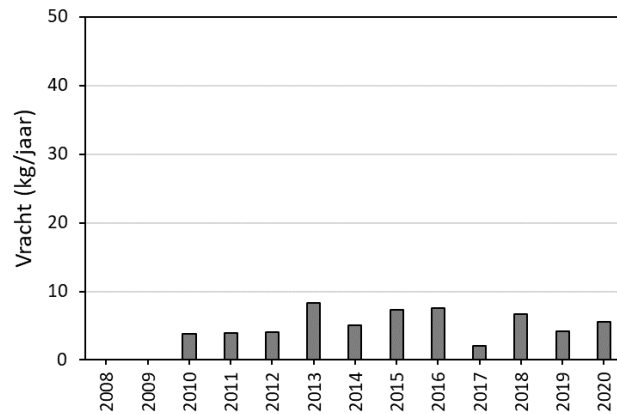


PFPeS
HARVSS

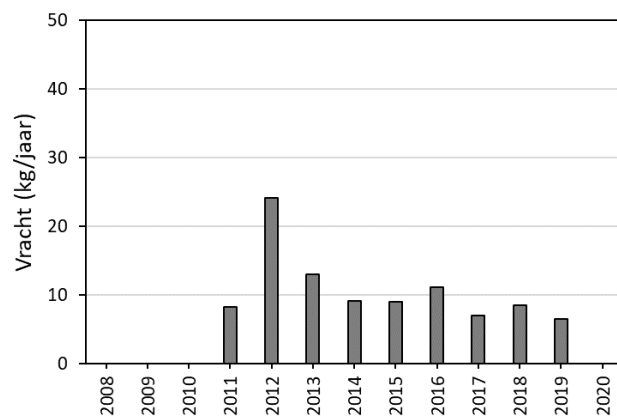


Stroomgebied Maas

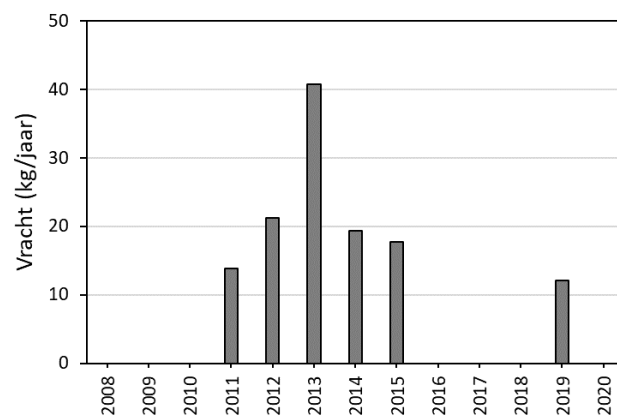
PFHxS
EIJSDPTN



PFHxS
KEIZVR



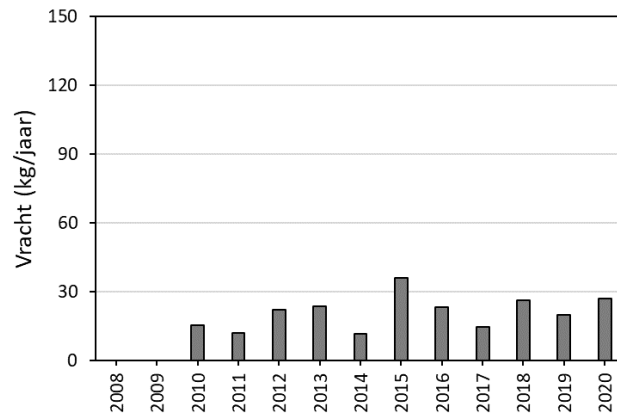
PFHxS
HARVSS



Stroomgebied Maas

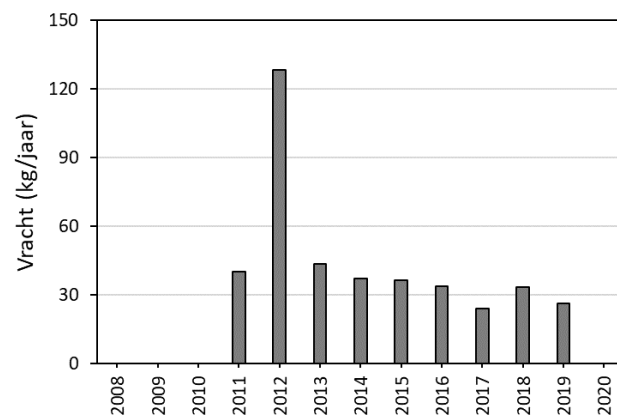
PFOS

EIJS DPTN



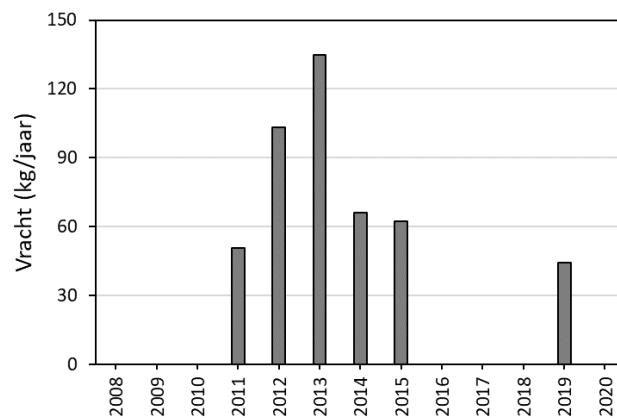
PFOS

KEIZVR



PFOS

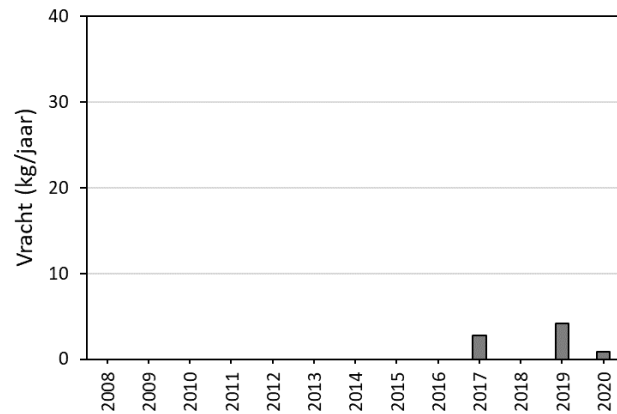
HARVSS



Stroomgebied Maas

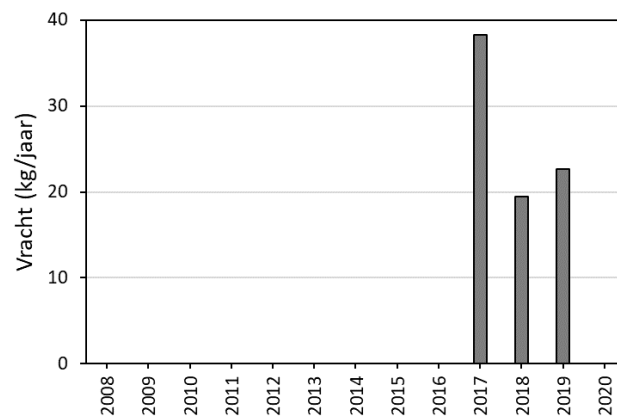
GenX

EIJSDPTN



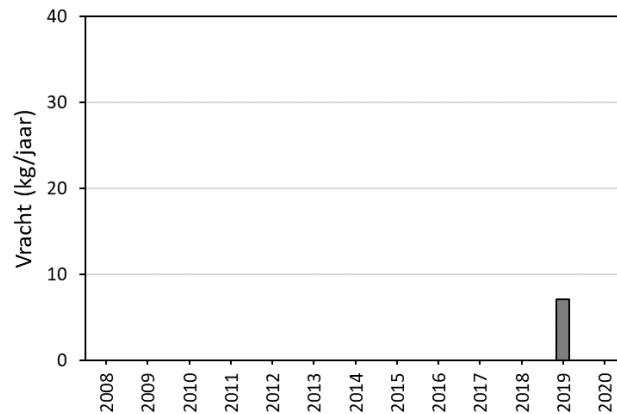
GenX

KEIZVR



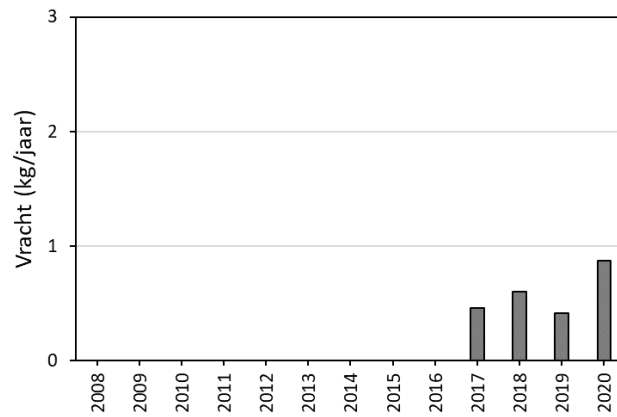
GenX

HARVSS

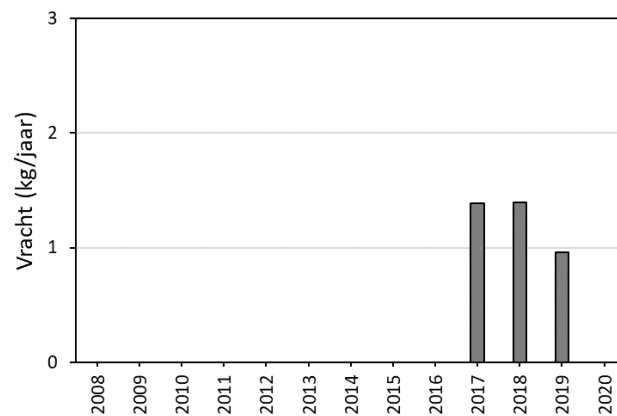


Stroomgebied Maas

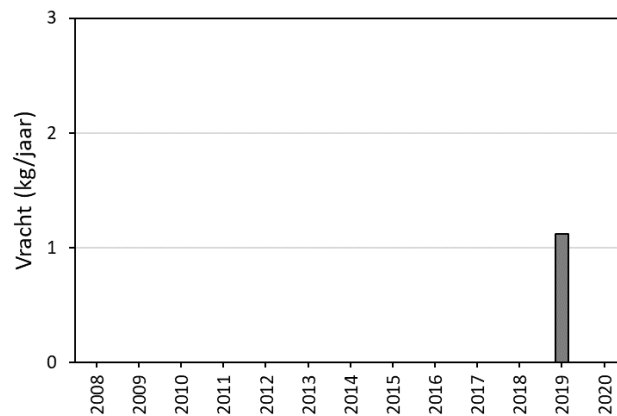
EtFOSAA
EIJSDPTN



EtFOSAA
KEIZVR



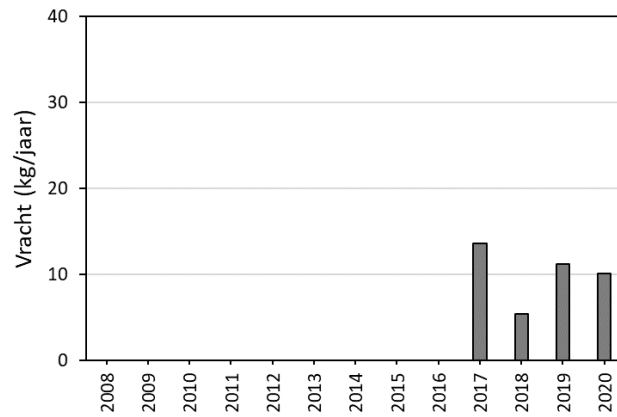
EtFOSAA
HARVSS



Stroomgebied Maas

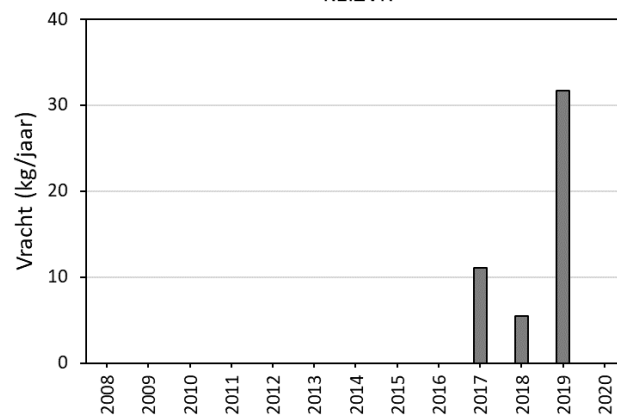
6:2 FTS

EIJS DPTN



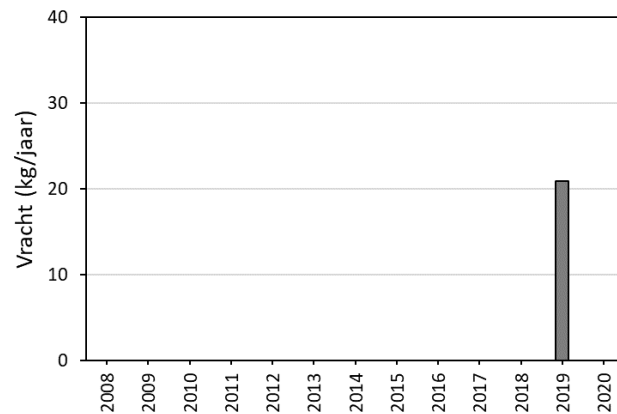
6:2 FTS

KEIZVR



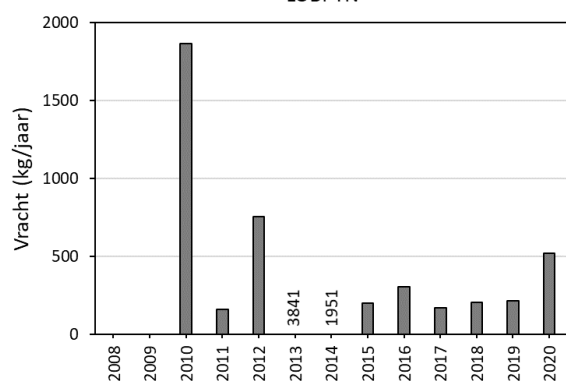
6:2 FTS

HARVSS

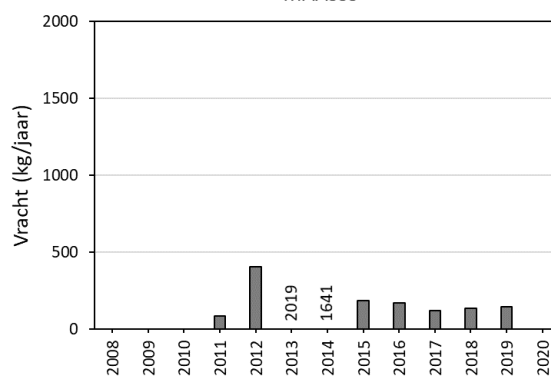


Stroomgebied Rijn

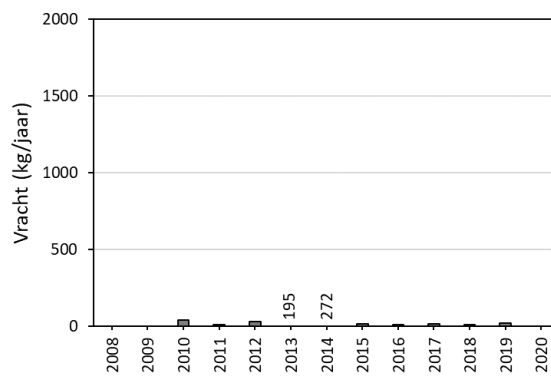
PFBA
LOBPTN



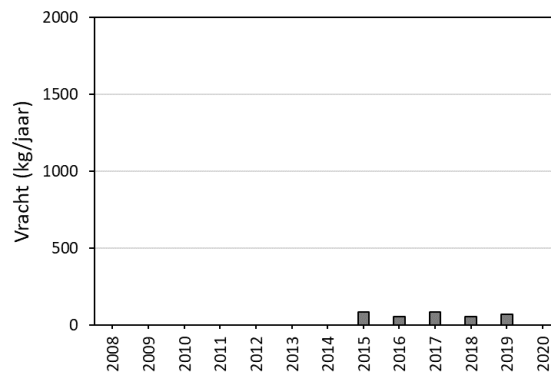
PFBA
MAASS



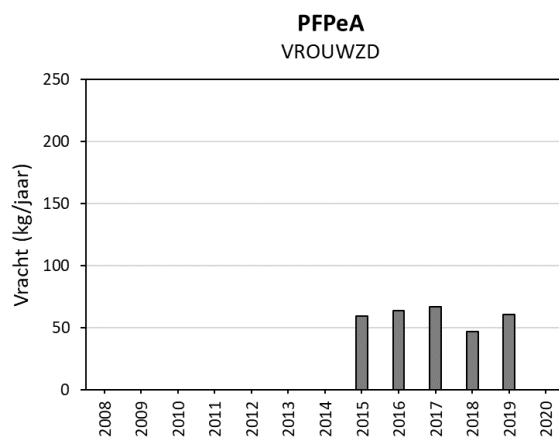
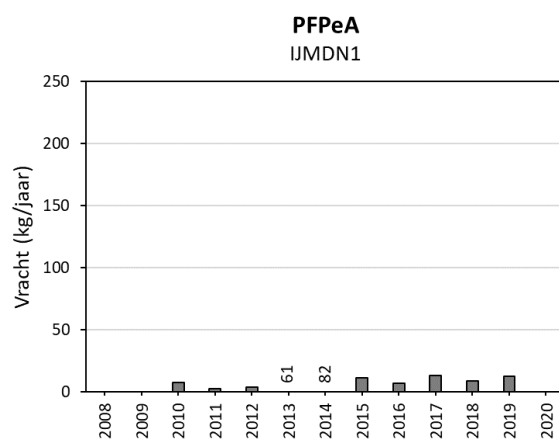
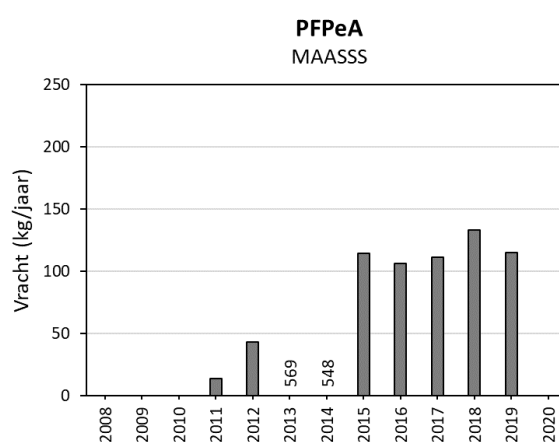
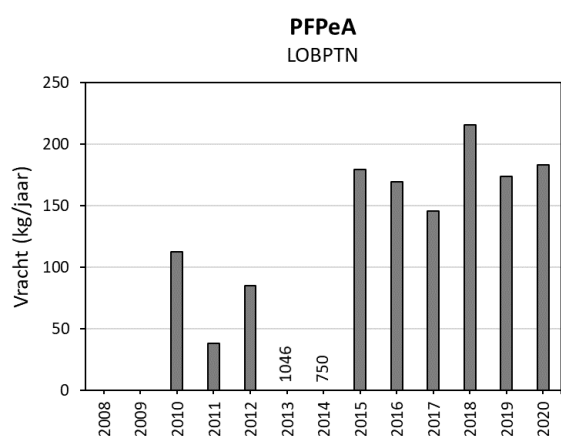
PFBA
IJMDN1



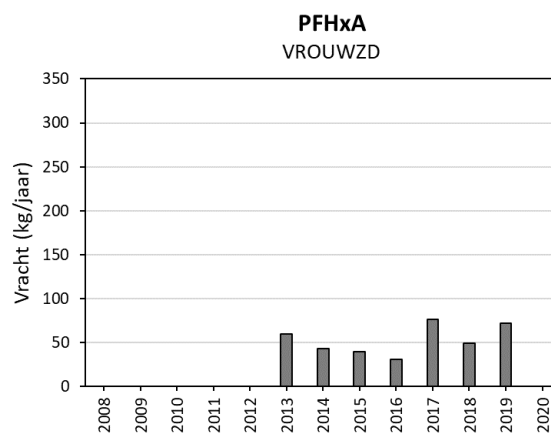
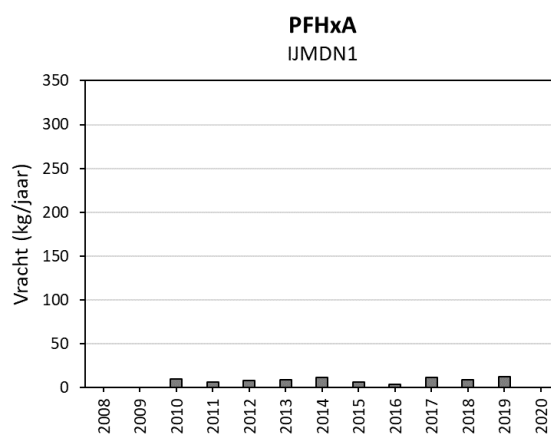
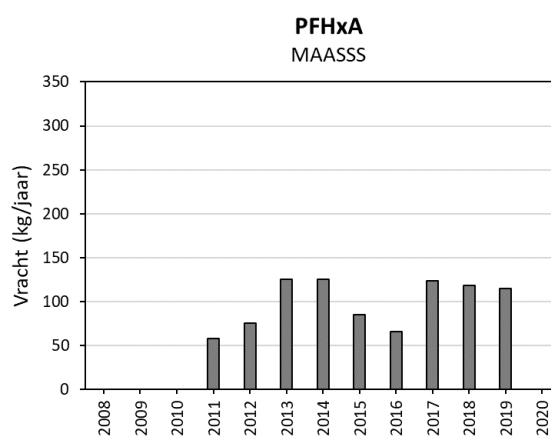
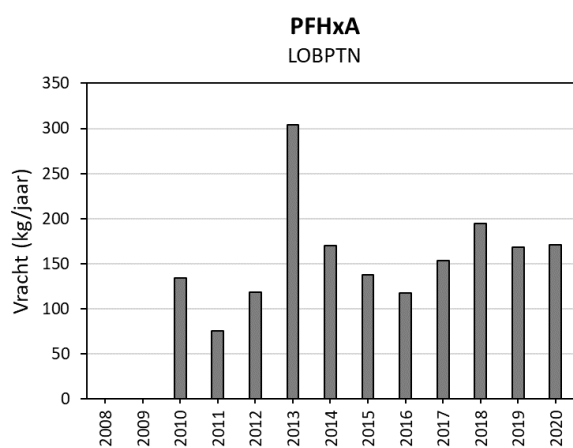
PFBA
VROUWZD



Stroomgebied Rijn

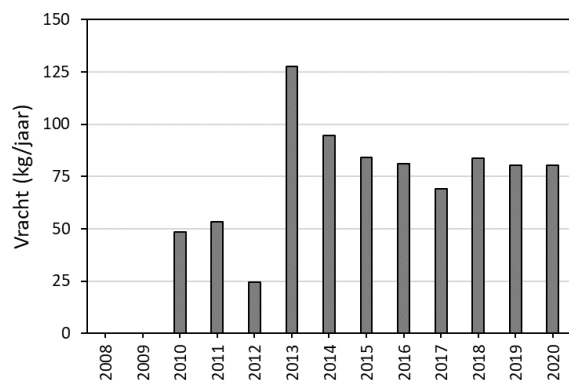


Stroomgebied Rijn

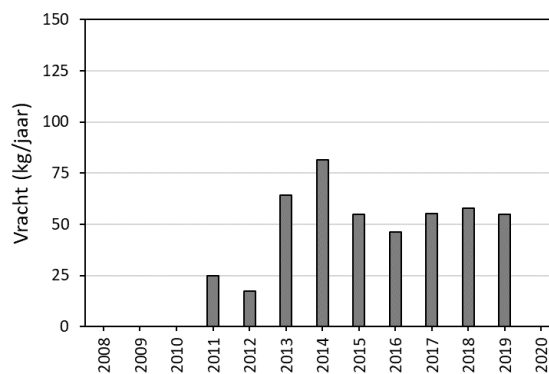


Stroomgebied Rijn

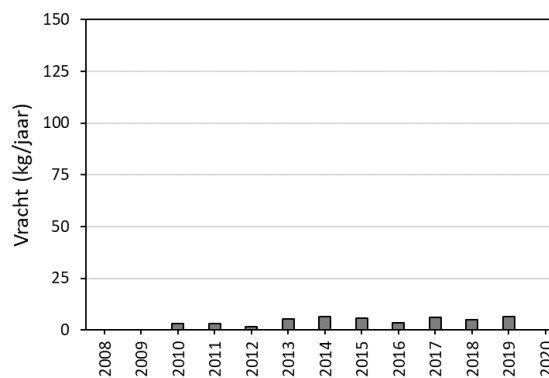
PFHpA
LOBPTN



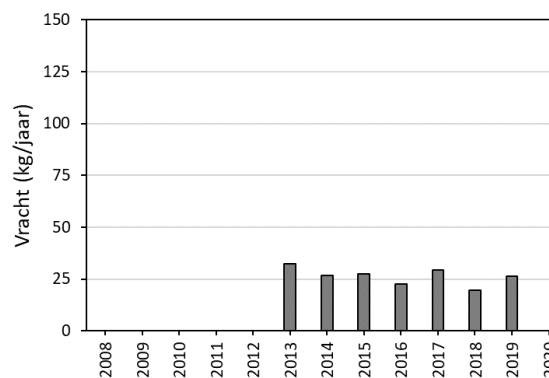
PFHpA
MAASSS



PFHpA
IJMDN1

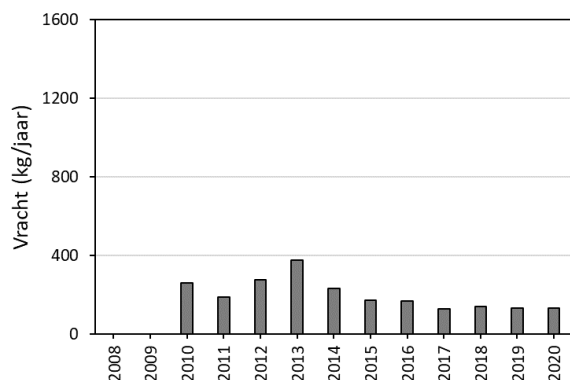


PFHpA
VROUWZD

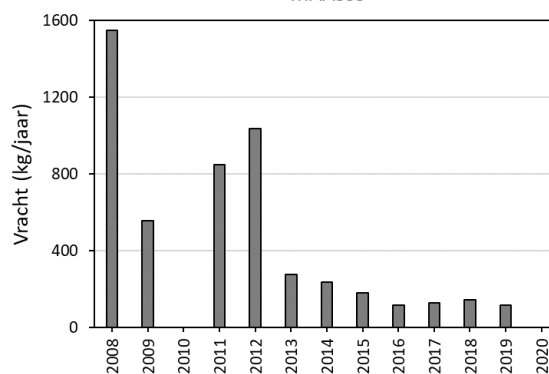


Stroomgebied Rijn

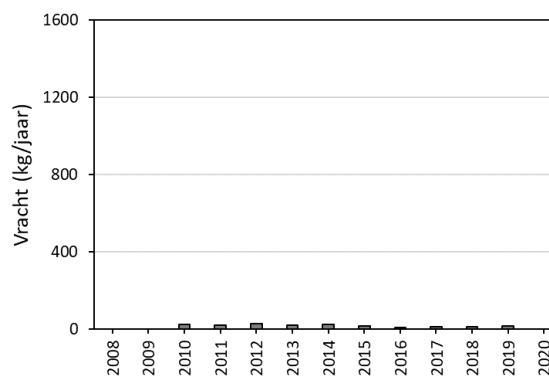
PFOA
LOBPTN



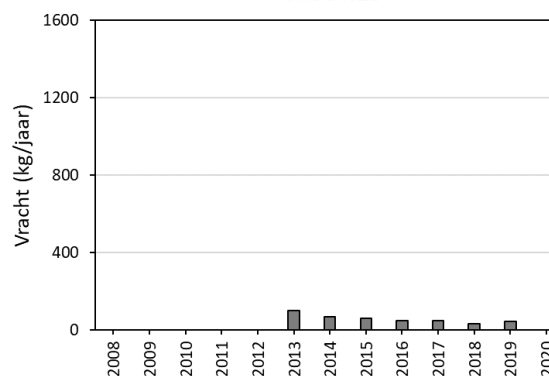
PFOA
MAASSS



PFOA
IJMDN1

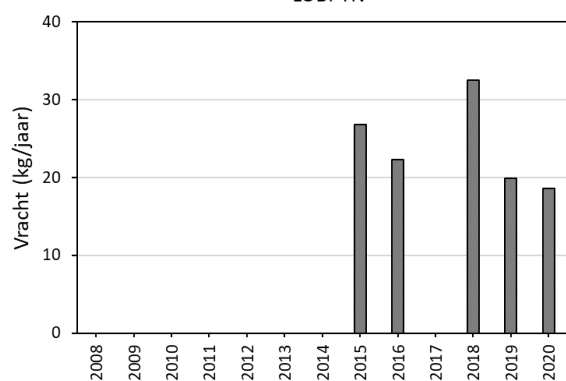


PFOA
VROUWZD

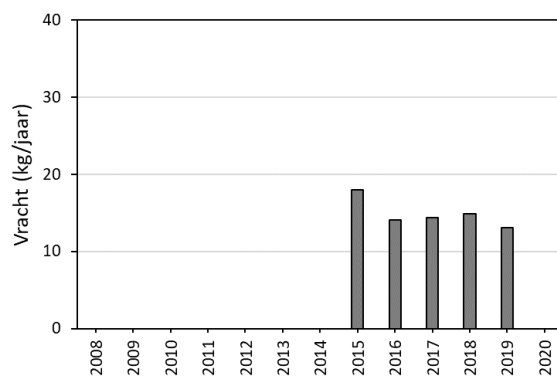


Stroomgebied Rijn

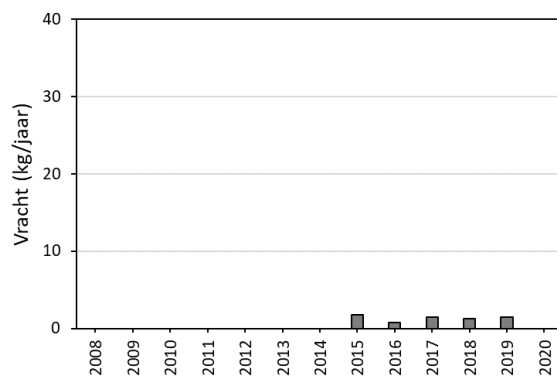
PFNA
LOBPTN



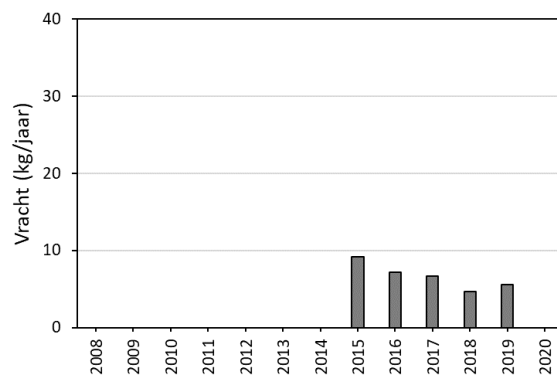
PFNA
MAASSS



PFNA
IJMDN1

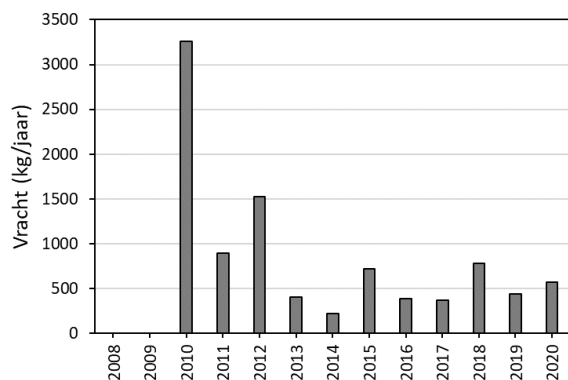


PFNA
VROUWZD

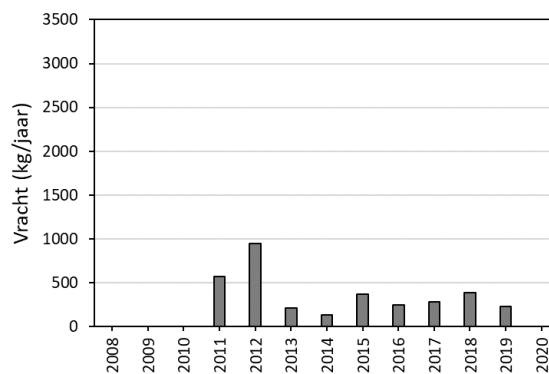


Stroomgebied Rijn

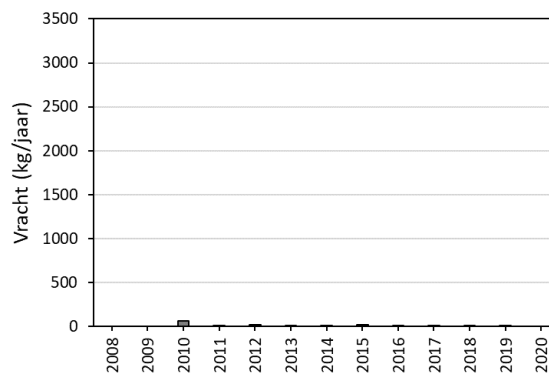
PFBS
LOBPTN



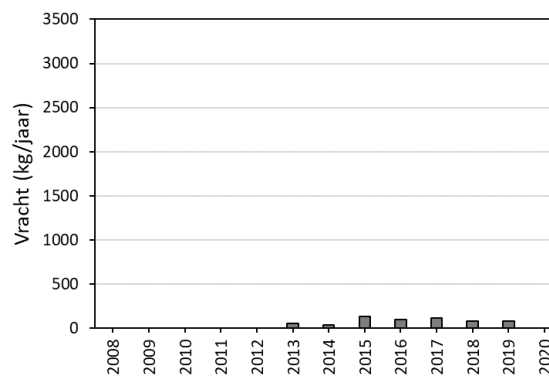
PFBS
MAASS



PFBS
IJMDN1



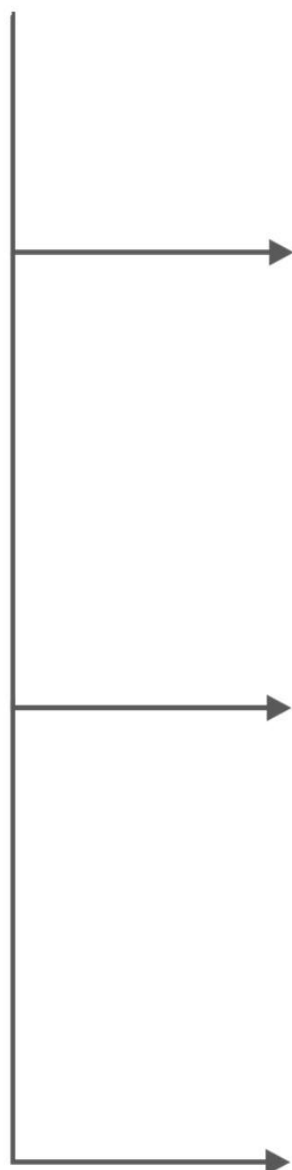
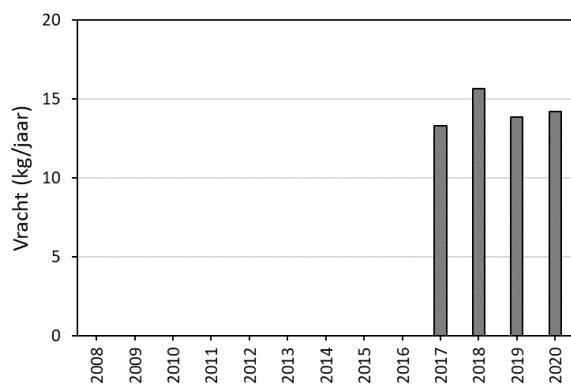
PFBS
VROUWZD



Stroomgebied Rijn

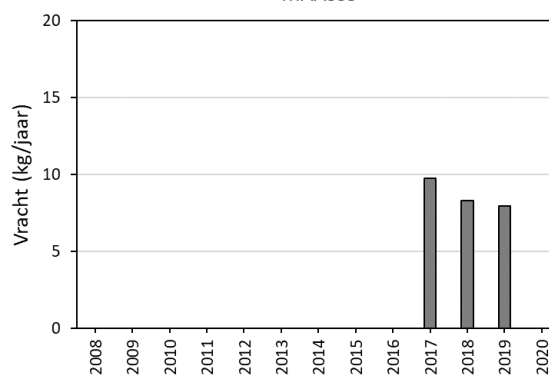
PFPeS

LOBPTN



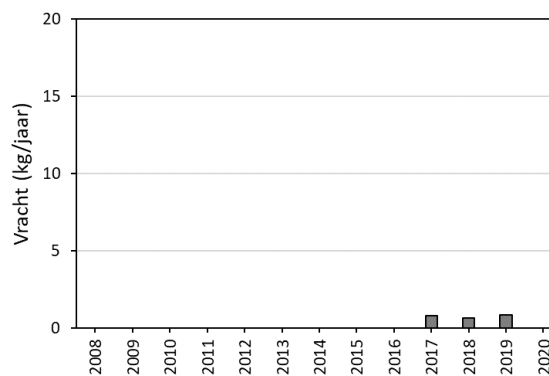
PFPeS

MAASSS



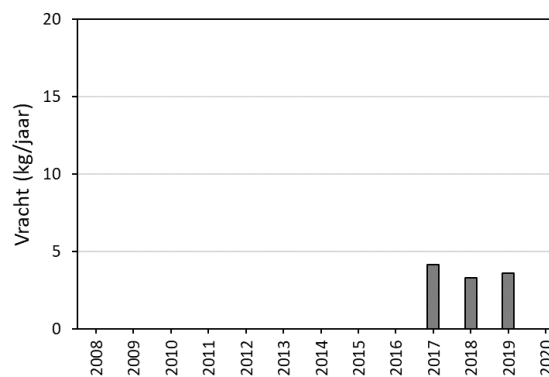
PFPeS

IJMDN1



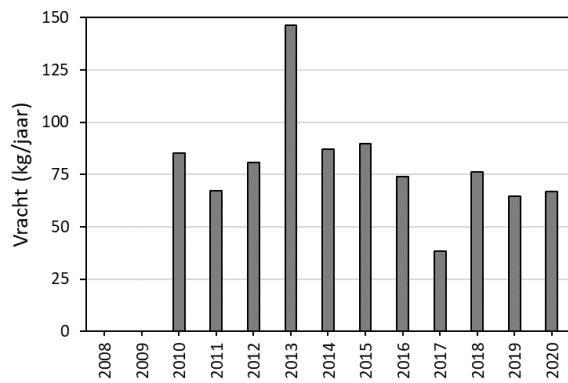
PFPeS

VROUWZD

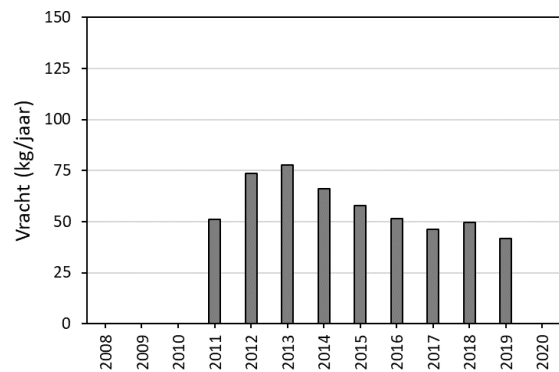


Stroomgebied Rijn

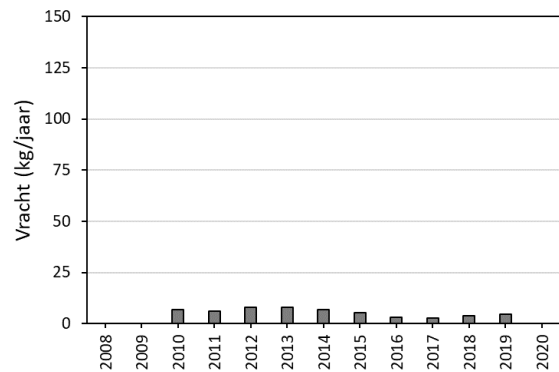
PFHxS
LOBPTN



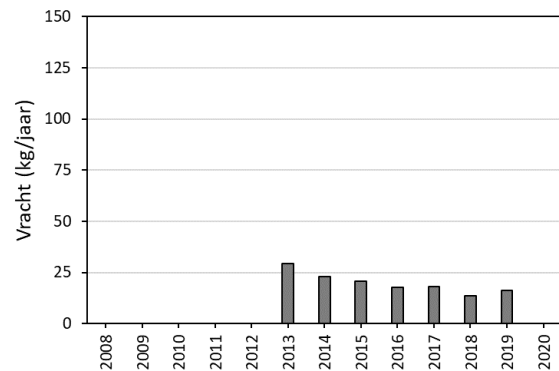
PFHxS
MAASSS



PFHxS
IJMDN1

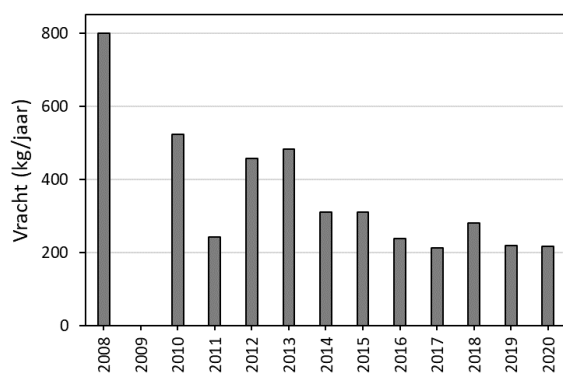


PFHxS
VROUWZD

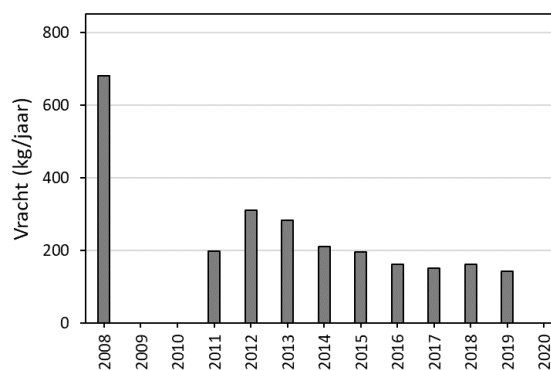


Stroomgebied Rijn

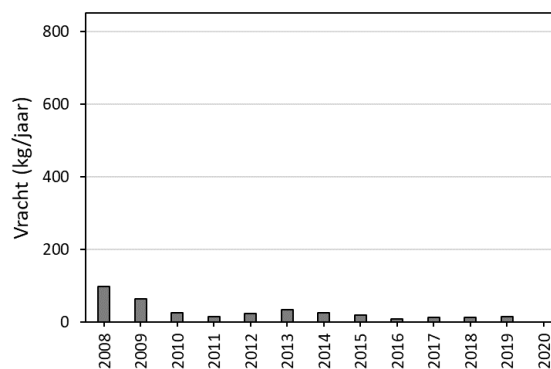
PFOS
LOBPTN



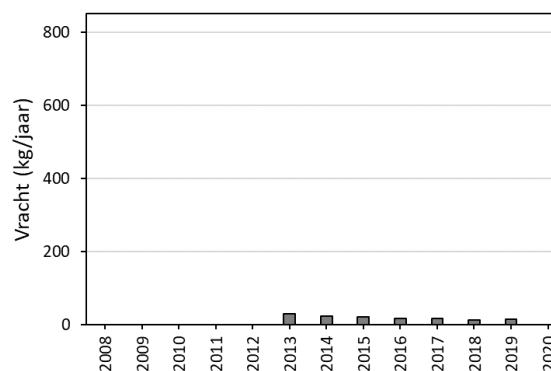
PFOS
MAASSS



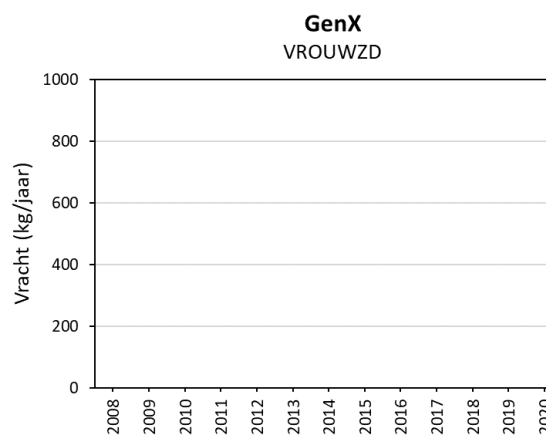
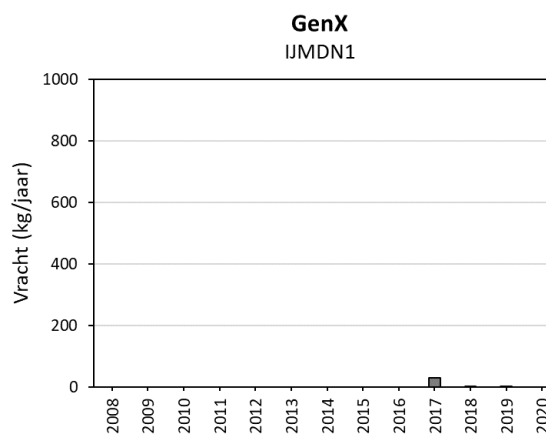
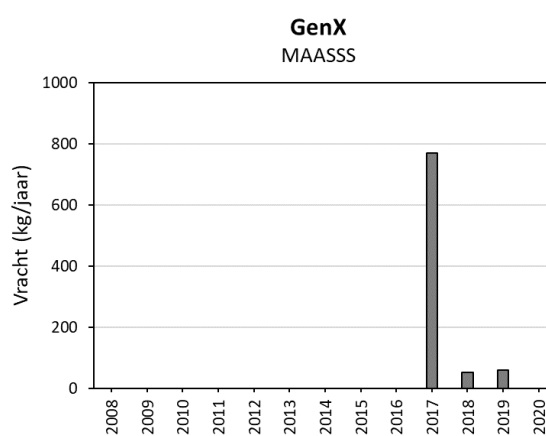
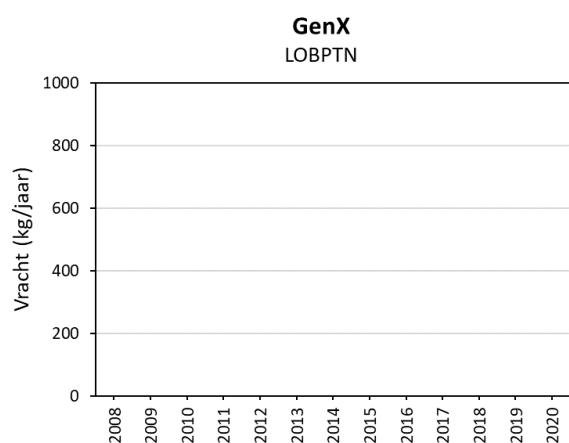
PFOS
IJMDN1



PFOS
VROUWZD

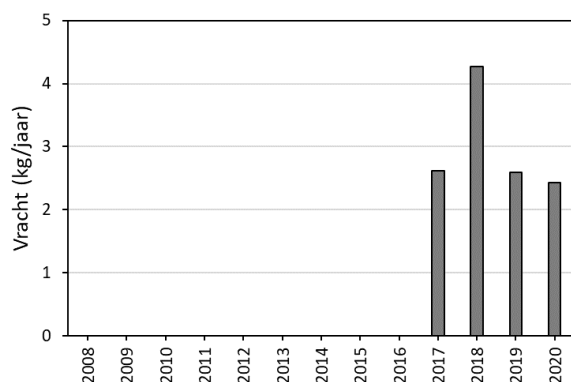


Stroomgebied Rijn

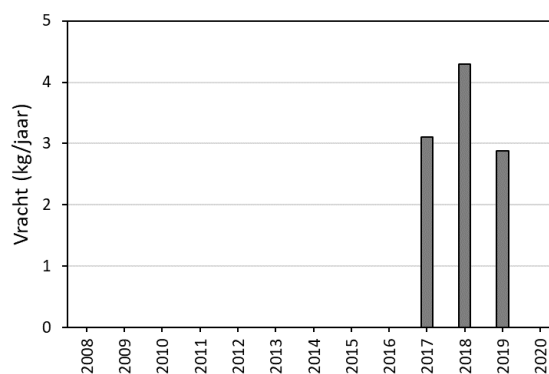


Stroomgebied Rijn

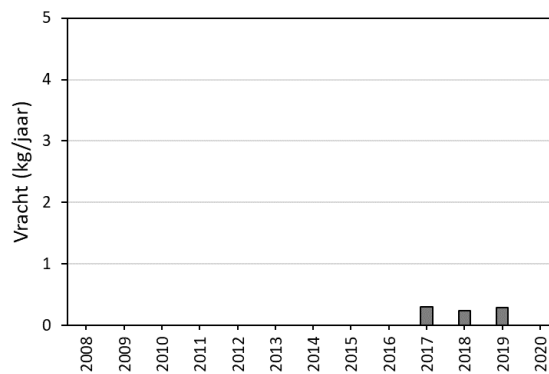
EtFOSAA
LOBPTN



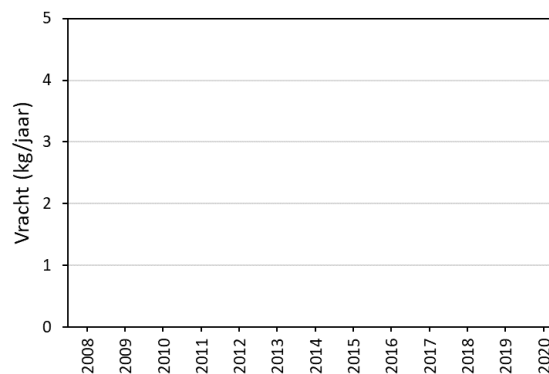
EtFOSAA
MAASSS



EtFOSAA
IJMDN1

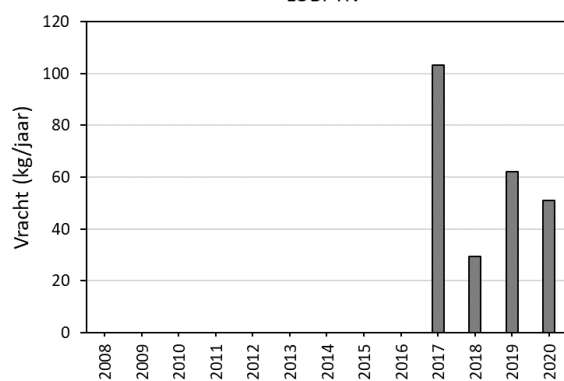


EtFOSAA
VROUWZD

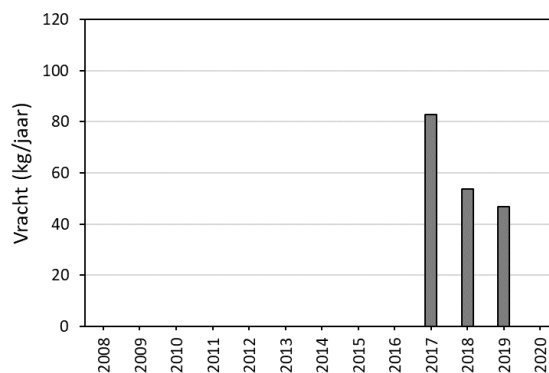


Stroomgebied Rijn

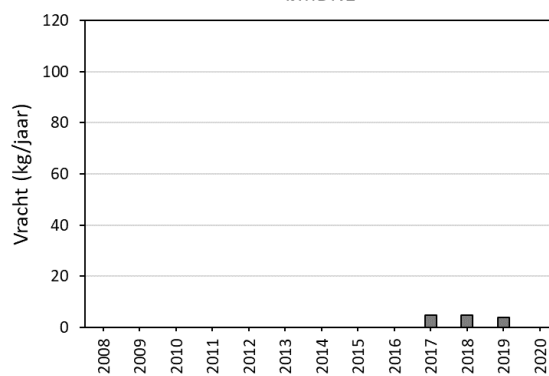
6:2 FTS
LOBPTN



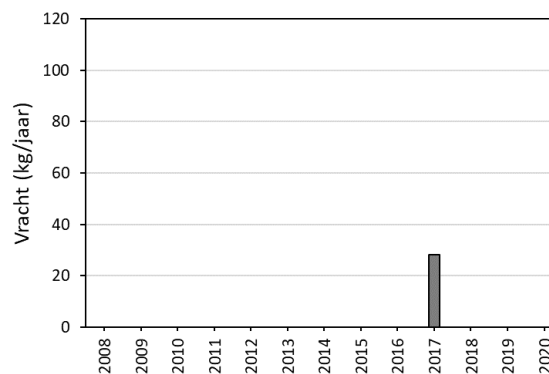
6:2 FTS
MAASS



6:2 FTS
IJMDN1

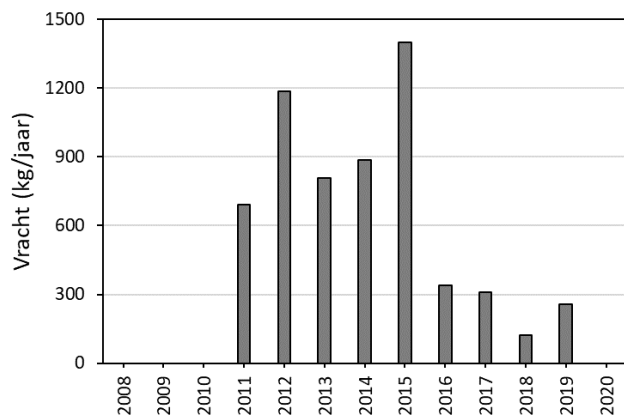


6:2 FTS
VROUWZD

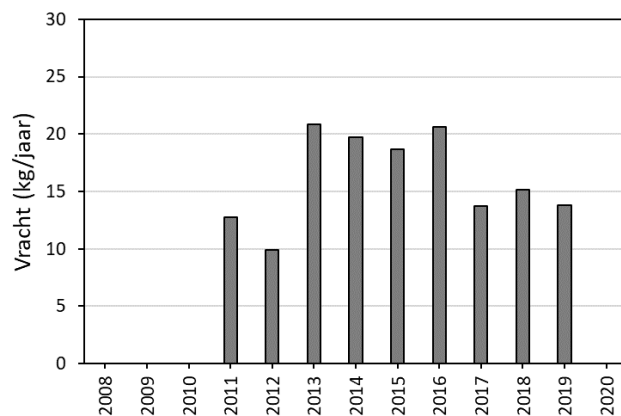


Stroomgebied Schelde

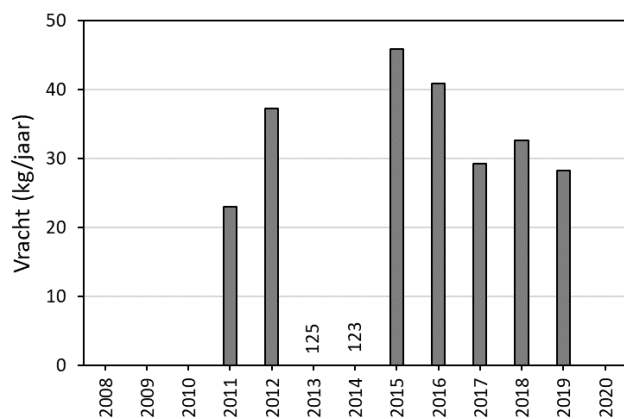
PFBA
SCHAARVODDL



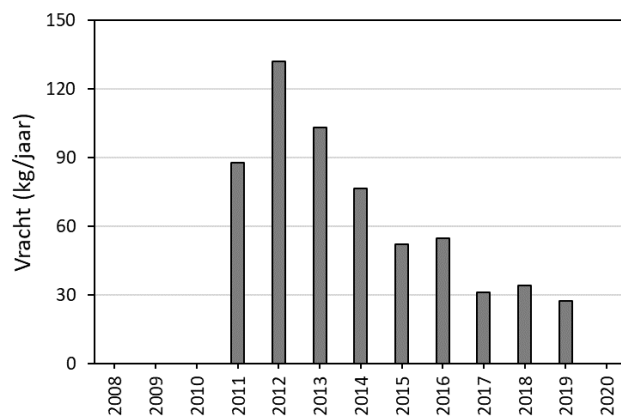
PFHpA
SCHAARVODDL



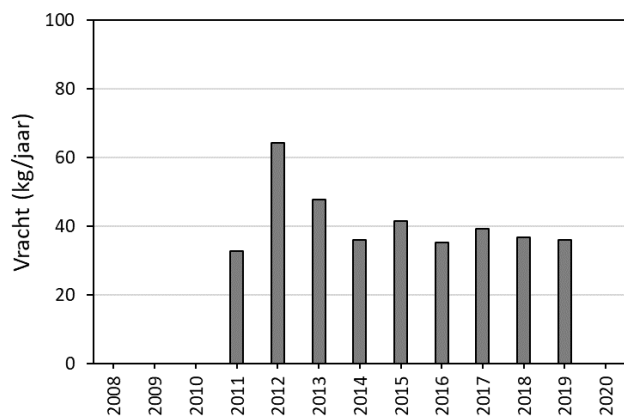
PFPeA
SCHAARVODDL



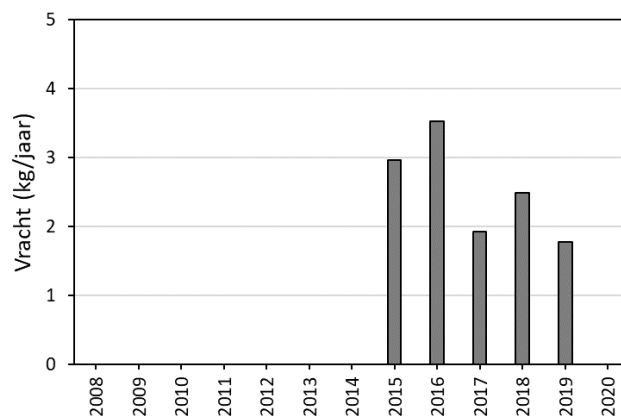
PFOA
SCHAARVODDL



PFHxA
SCHAARVODDL



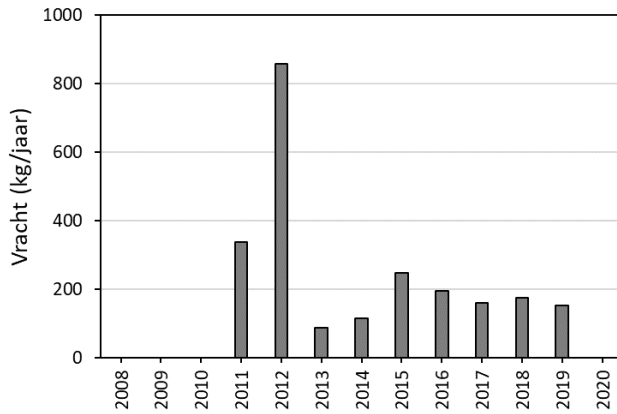
PFNA
SCHAARVODDL



Stroomgebied Schelde

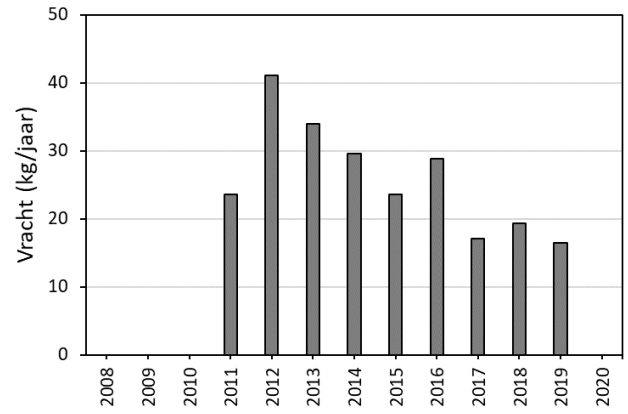
PFBS

SCHAARVODDL



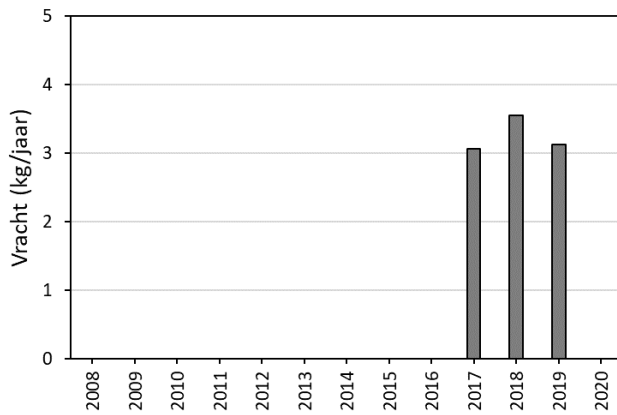
PFHxS

SCHAARVODDL



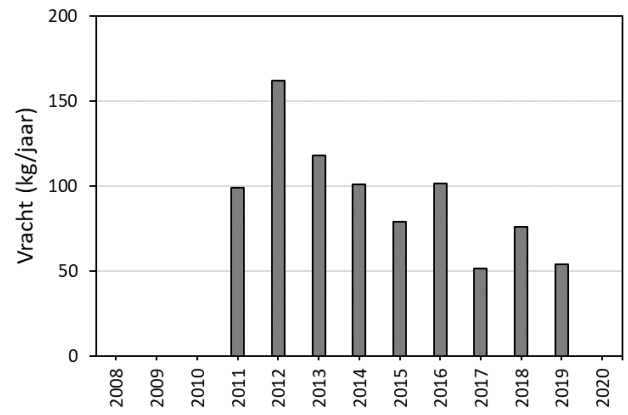
PFPeS

SCHAARVODDL



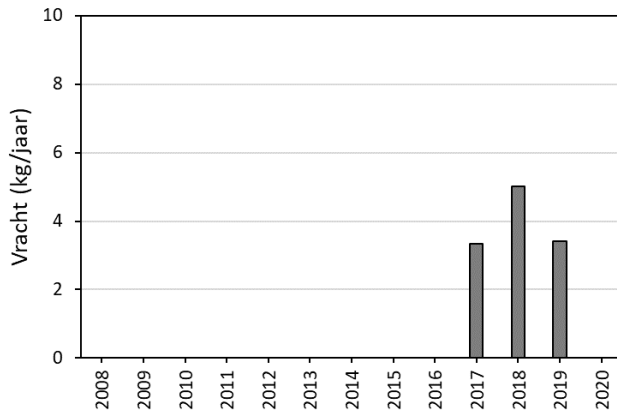
PFOS

SCHAARVODDL

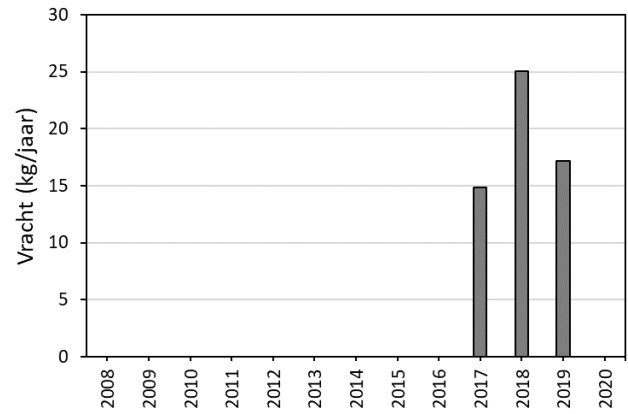


Stroomgebied Schelde

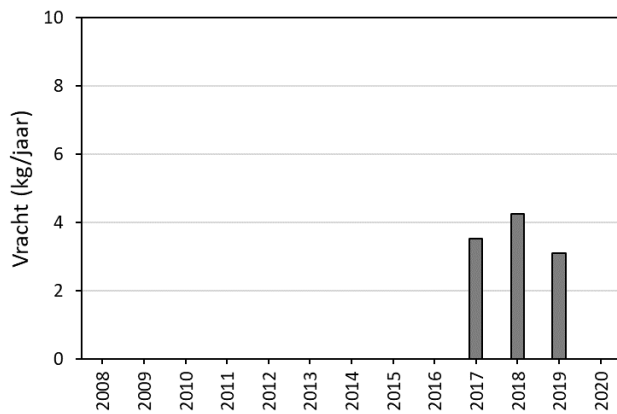
GenX
SCHAARVODDL



6:2 FTS
SCHAARVODDL



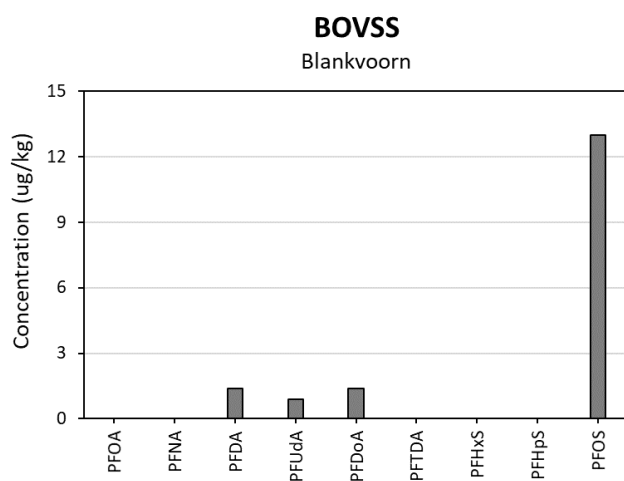
EtFOSAA
SCHAARVODDL



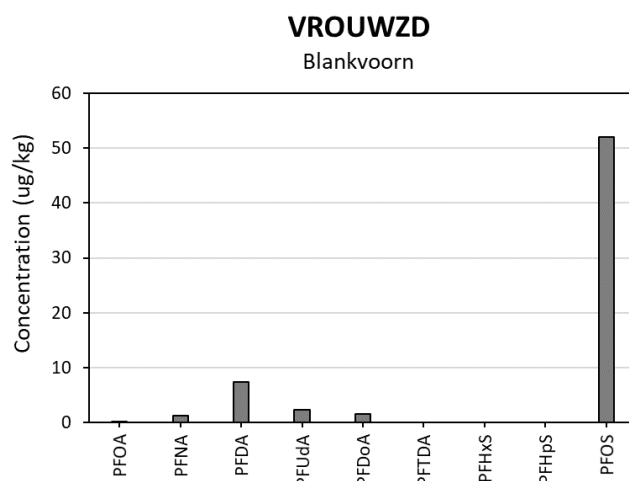
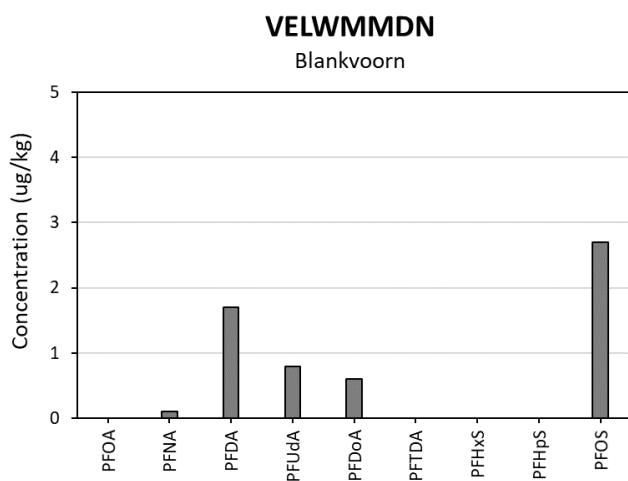
Bijlage E. Grafische weergave PFAS-concentraties in biota.

E.1: Concentraties van 9 PFAS gemeten in biota (blankvoorn, bot, schol, mossel) bemonsterd op 11 locaties in **2019**. De locaties zijn opgedeeld naar 'stroomgebied'.

Stroomgebied Maas



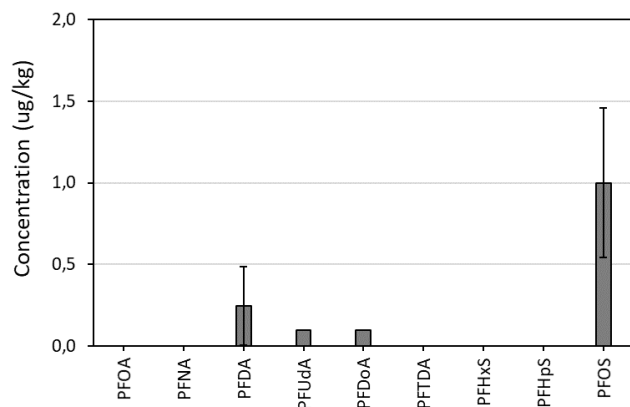
Stroomgebied Rijn



Stroomgebied Schelde

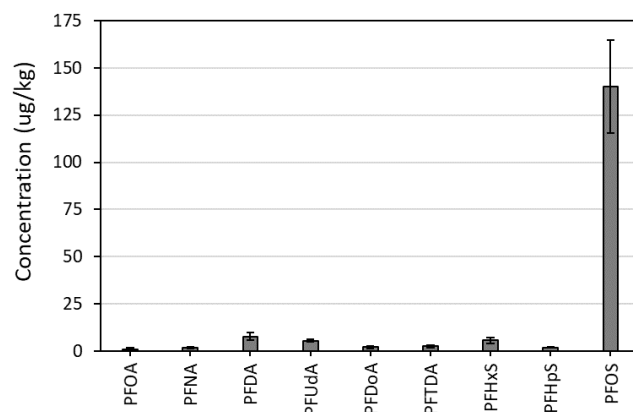
KNUIHTK

Mossel



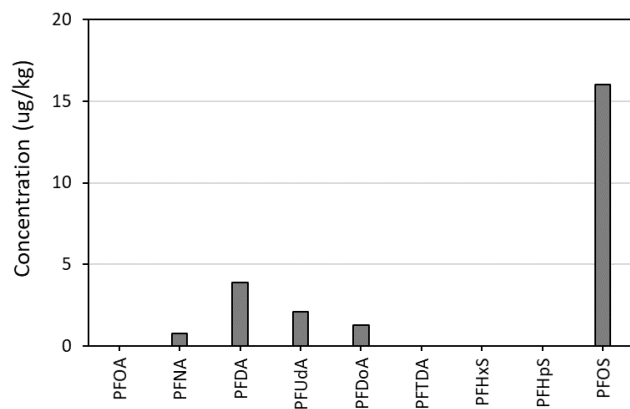
MIDDGBWPMMLPT

Bot



STEENBGN

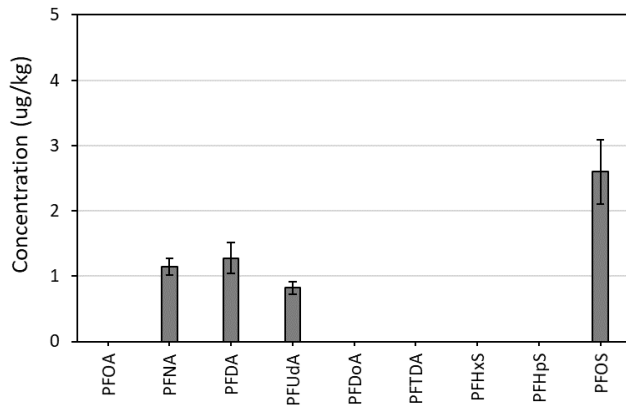
Blankvoorn



Eems + zee

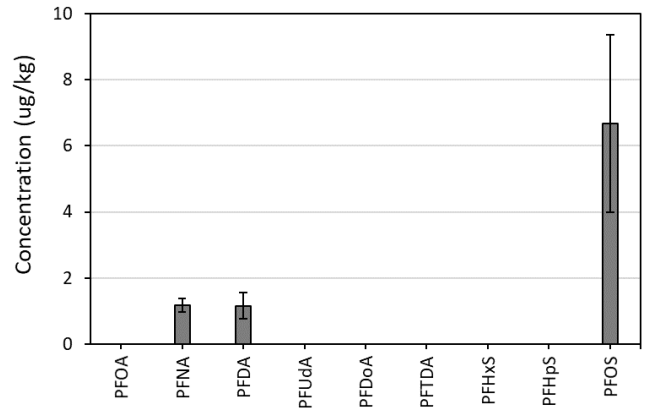
DOGGBK

Schol



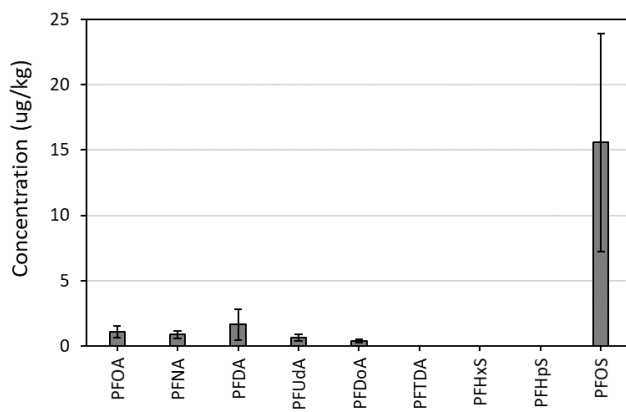
IJMDWT80

Schol



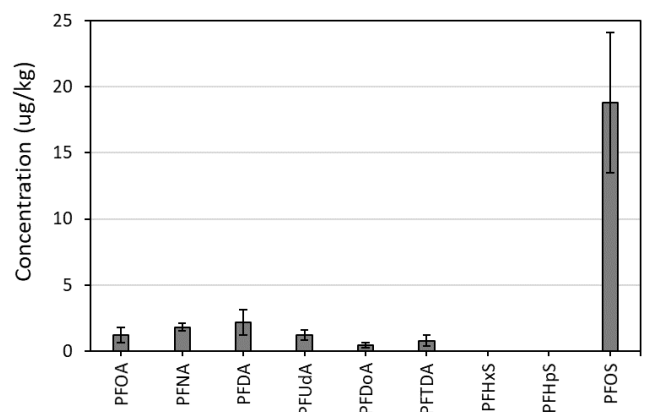
NOORDWWT

Bot



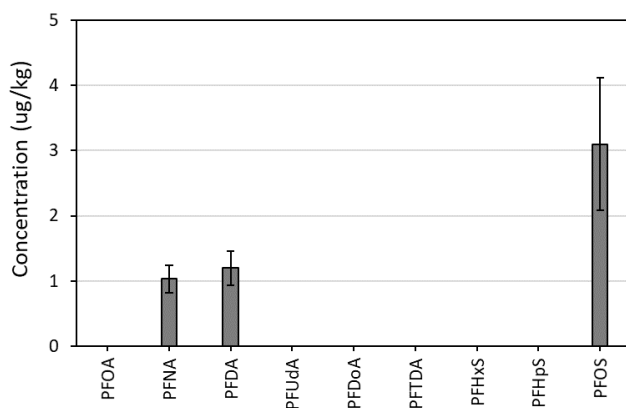
PAAPGTGRDPT

Bot

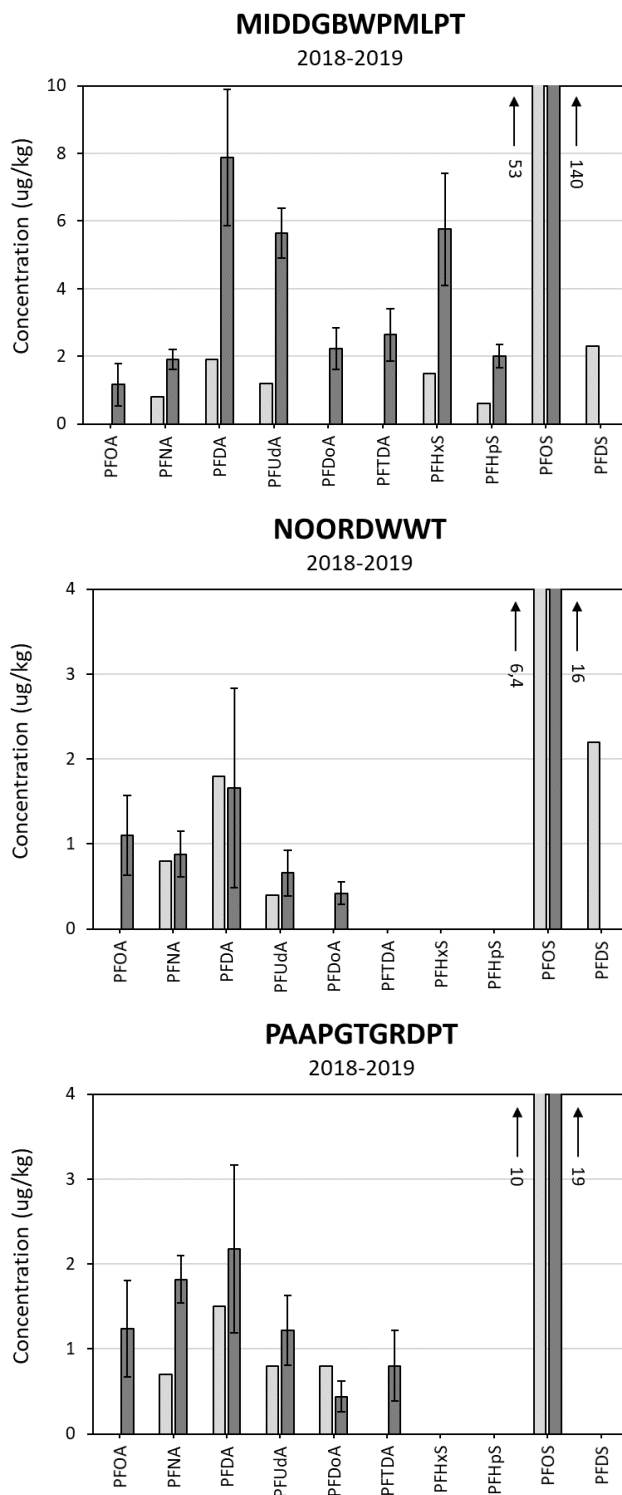


TERSLNWT40

Schol



E.2: Concentraties van 10 PFAS, gemeten in vis (bot) bemonsterd op 3 locaties in zowel 2018 (lichtgrijze staven) als 2019 (donkergrijze staven). De staven voor PFOS zijn afgekapt (met aanduiding werkelijke concentraties) om een beter beeld van de (stofprofielen van de) andere stoffen te krijgen.



Bijlage F. Locatie-specifieke bioaccumulatiefactoren.

De logaritmische bioaccumulatiefactoren (logBAF) in de onderstaande tabellen zijn berekend uit de gemiddelde concentraties van een bepaalde PFAS gemeten in vis in het betreffende jaar en de jaargemiddelde concentraties bepaald in de waterfase van dezelfde of nabijgelegen locatie.

2019 data

Locatie vis	BOVSS	MIDDGB WPMLPT	NOORD WWT	PAAPGT GRDPT	STEEN BGN	VELWM MDN	VROUW ZD
Locatie water	BOVSS	SCHAAR VODDL	NOORD WK2	BOCHT VWT	DREISR	VELWM MDN	VROUW ZD
Vissoort	Blank voorn	Bot	Bot	Bot	Blank voorn	Blank voorn	Blank voorn
PFOA		2,07	2,99	2,85			1,48
PFNA		3,47	3,81	3,97	3,77	2,54	3,51
PFDA	3,76	4,08	3,94	4,35	4,64	4,13	4,53
PFUdA	4,33*	4,54	4,30*	4,43*	4,91*	4,42*	4,59*
PFDoA	4,64*	4,43	4,16*	4,48*		4,51*	4,90*
PFTDA		5,51*		4,55*			
PFHxS		2,99					
PFHpS		3,71					
PFOS	3,57	3,86	4,22	4,11	4,15	3,24	4,11

* logBAF-waarde is gebaseerd op een jaargemiddelde concentratie van de betreffende verbinding in de waterfase onder de rapportagegrens.

2018 data

Locatie vis	IJMDN1	IJMDN1	KEIZVR	MAASSS	MIDDGB WPMLPT	NOORD WWT	PAAPGT GRDPT
Locatie water	IJMDN2	IJMDN2	KEIZVR	MAASSS	SCHAAR VODDL	NOORD WK2	BOCHT VWT
Vissoort	Blank voorn	Bot	Blank voorn	Bot	Bot	Bot	Bot
PFOA							
PFNA		4,01			2,98	3,86	3,63
PFDA	4,39	4,42	3,81	3,90	3,37	4,35	4,20
PFUdA		4,32*	4,17*	4,93*	3,71	4,25*	4,11*
PFDaA							
PFTDA							
PFHxS		2,82			2,36		
PFHpS		4,23*			3,11		
PFOS	3,37	3,65	3,47	3,76	3,32	3,81	3,92

* logBAF-waarde is gebaseerd op een jaargemiddelde concentratie van de betreffende verbinding in de waterfase onder de rapportagegrens.

2017 data

Locatie vis	KETMWT
Locatie water	KETMWT
Vissoort	Blank voorn
PFOA	2,61
PFNA	
PFDA	3,78
PFUdA	4,58*
PFDaA	4,41*
PFTDA	5,01*
PFHxS	
PFHpS	
PFOS	3,32

* logBAF-waarde is gebaseerd op een jaargemiddelde concentratie van de betreffende verbinding in de waterfase onder de rapportagegrens.