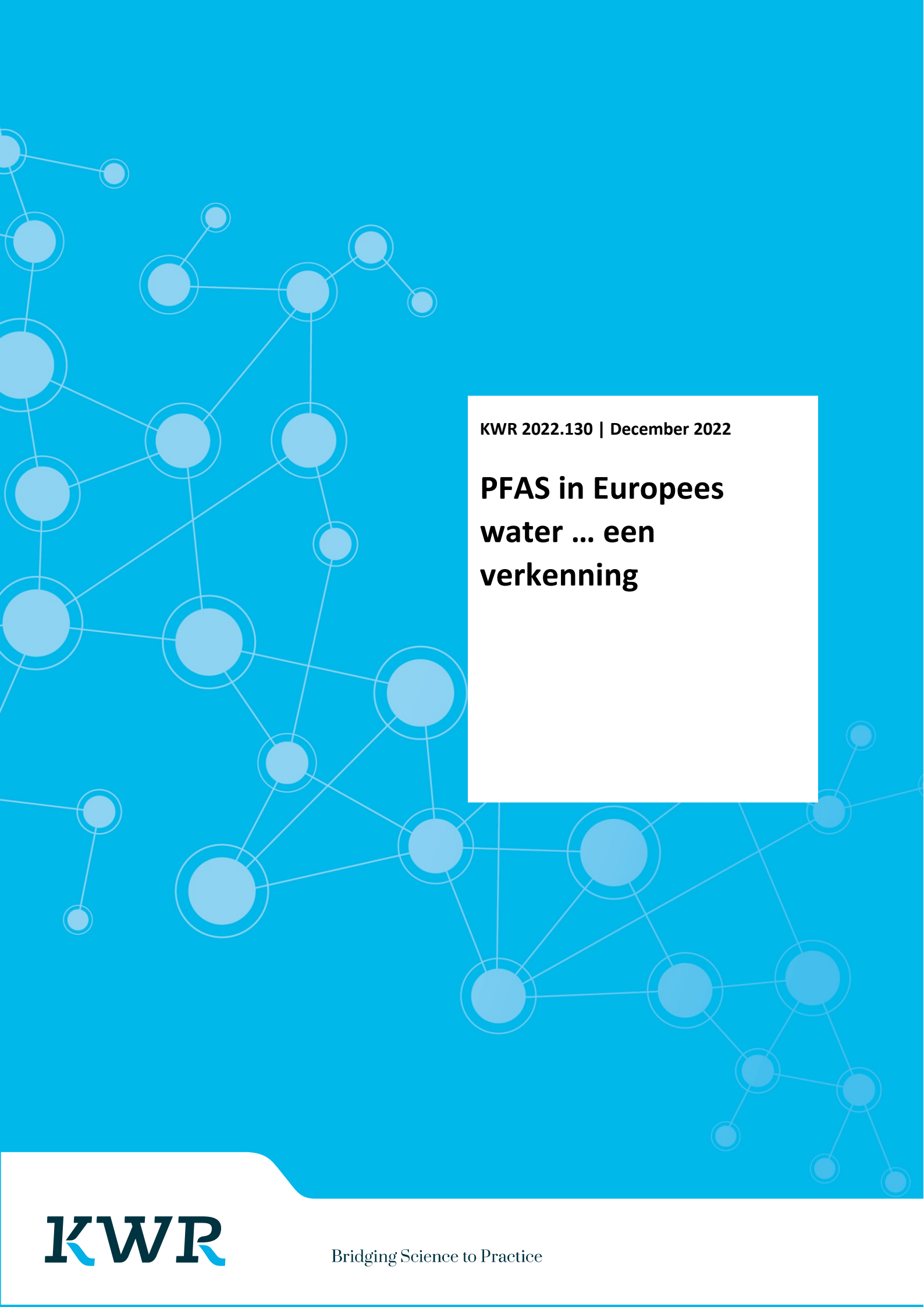




KWR 2022.130 | December 2022

PFAS in Europees water... een verkenning

Rapport

PFAS in Europees water

... een verkenning

KWR 2022.130 | December 2022

Opdrachtnummer

403595

Projectmanager

Astrid Reus, MSc.

Opdrachtgever

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Auteur(s)

Dr. Stefan Kools, Nienke Meekel MSc, Dr. Frederic Béen

Kwaliteitsborger(s)

Dr. Thomas ter Laak, Dr. Arnaut van Loon

Verzonden naar

Erik Verhofstadt (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat)

Dit rapport is verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject. KWR zal zich onthouden van verspreiding van dit rapport en het rapport derhalve niet verstrekken aan derden, tenzij partijen anders overeenkomen. Opdrachtgever is gerechtigd het rapport te verspreiden mits KWR daarvoor vooraf toestemming heeft verleend. Aan de toestemming voor de verspreiding van (onderdelen van) het rapport kan KWR voorwaarden verbinden.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

PFAS, monitoring, Europa

Jaar van publicatie

2022

Meer informatie

Dr. Stefan Kools

T +31 (0)30 60 69 511

E stefan.kools@kwrwater.nl

PO Box 1072

3430 BB Nieuwegein

The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

KWR

December 2022 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Samenvatting

PFAS en het milieu

PFAS zijn perfluor- en polyfluoralkylverbindingen, een groep chemische verbindingen, die in de afgelopen 60 jaar op grote schaal zijn gebruikt in uiteenlopende producten. Van deze grote groep zijn PFOS en PFOA de meest bekende stoffen, maar vormen slechts een fractie van de vele soorten stoffen die inmiddels zijn aangetoond. Zo is beschreven dat meer dan 800 soorten PFAS bestaan, waarvan 1400 afzonderlijke PFAS worden toegepast in meer dan 200 gebruikscategorieën. PFAS blijken zeer persistent, mobiel en in sommige gevallen bioaccumulerend en toxisch in het milieu. Deze inventariserende studie brengt het voorkomen van PFAS in Europese wateren en drinkwater in beeld, met een nadruk op hotspots en grote rivieren in Nederland.

PFAS in Nederland en grote rivieren

In Nederland zijn inmiddels verschillende locaties met verhoogde PFAS bekend, zoals door een lozing bij Schiphol, de productie in Dordrecht en Helmond en de afvalverwerking in het gebied rond de Westerschelde. In de Rijn en Maas worden al enige jaren PFAS gemeten en de monitoring is sterk geïntensiveerd vanuit de zorg voor mogelijke gezondheidseffecten. Recent zijn gegevens bijeengebracht over de mogelijke bronnen van PFAS en hieruit is vervolgonderzoek naar de emissie in Nederland gestart.

PFAS in Europees oppervlaktewater, grondwater en drinkwater

Naast de gegevens over PFAS in de grote rivieren in Nederland zijn vervolgens ook onderzoeksgegevens uit 7 andere Europese landen in deze studie bijeengebracht; België, Duitsland, Frankrijk, Denemarken, Zweden, Noorwegen en Italië. Deze landen kennen allemaal verschillende PFAS-emissies die ook drinkwater blijken te hebben beïnvloed. Landen als Nederland en Italië kennen verhoogde concentraties PFAS vanuit productielocaties en afvalverwerking. Andere gevallen van verhoogde PFAS zijn gekoppeld aan het gebruik van PFAS in blusschuim. Hier zijn oefenlocaties van brandweer rondom vliegvelden en militaire bases in beeld, zoals in Zweden en Denemarken. Naast deze oefenlocaties zijn ook in verschillende landen de afvalwaterzuiveringen duidelijk in beeld als een plek waar de PFAS-afvalstromen van industrie en huishoudens samenkomen. Hierdoor vormen de rioolwaterzuiveringen een route van PFAS naar het oppervlaktewater. Ook blijft een gedeelte achter in het zuiveringsslib. Het hergebruik van het zuiveringsslib heeft in onder andere Duitsland de verspreiding van PFAS over een groot gebied veroorzaakt.

Normstelling en internationale ontwikkelingen

In de periode dat het merendeel van de beschreven studies zijn gepubliceerd (2010-2015), bestonden nauwelijks nationale/EU-voorschriften over maximumgehalten aan PFAS in water (noch voor biota, oppervlaktewater of grondwater, noch voor drinkwater uit de kraan). Een richtwaarde voor PFAS in drinkwater vanuit bijvoorbeeld een mondiaal gremium als de WHO ontbrak lange tijd en is pas recent voorgesteld. Uit dit rapport wordt duidelijk dat de landen in die periode duidelijk verschillen in de aanpak en de toetsing op gezondheidkundige onderbouwde richtwaarden. Eerder werd de Duitse manier van toetsing vaak overgenomen door andere landen, terwijl bijvoorbeeld Italië en het VK een eigen manier van beoordelen hanteerden in de eerste jaren na detectie. De richtwaardes zijn in de loop der jaren verlaagd, zie bijvoorbeeld de recent gepubliceerde advieswaardes in de VS die ver onder de rapportagegrenzen liggen. De Europese voedselautoriteit EFSA heeft een gesommeerde waarde voor de zgn. 4PFAS van EFSA (PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA) afgeleid. Het is nog onderwerp van debat hoe deze waarde doorwerkt in een maximale richtwaarde voor consumptie van drinkwater, en momenteel bestaan verschillen in normstelling tussen de EU-lidstaten.

De recent aangepaste Europese Drinkwaterrichtlijn kent geen specifieke waarde voor de individuele PFAS, maar bevat een minimale kwaliteitseis (norm) voor de “som PFAS” (20PFAS): 100 ng/L en een minimale kwaliteitseis voor “totaal-PFAS”: 500 ng/L. De lidstaten mogen kiezen welke ze gaan implementeren in nationale wetgeving.

Monitoring en aanpak

De aanwezigheid van PFAS in water kent een impact voor verschillende sectoren. Naast de zorg om drinkwater hebben we de impact op landbouw (moestuinen) en veeteelt in verschillende regio's gezien. Ook is de consumptie van vis- en schaaldieren in verontreinigde gebieden afgeraden zoals in Denemarken en Vlaanderen, mede omdat de normstelling voor de maximaal toelaatbare gehalten fors is aangescherpt. Een uniforme aanpak van inventarisatie (monitoring) en risicobeoordeling van deze groep stoffen zal helpen in het beter begrijpen van de omvang van dit milieuvraagstuk. Europese en nationale wetgeving zal leiden tot meetcampagnes en brengen steeds beter emissies in beeld. Uit ons onderzoek is overigens duidelijk dat de landen die een geschiedenis kennen met de lokale PFAS problematiek nu ook juist de landen zijn waarmee Nederland samenwerkt om PFAS geheel te verbieden in de EU (Denemarken, Duitsland, Noorwegen en Zweden).

Inhoud

Rapport	2
Samenvatting	3
Inhoud	5
1 Introductie	6
1.1 Wat zijn PFAS?	6
1.2 Doel en aanpak	6
2 Onderzoeksgegevens over PFAS	7
2.1 Aanpak	7
2.2 Nederland	9
2.3 België (Vlaanderen)	12
2.4 Duitsland	14
2.5 Frankrijk	17
2.6 Denemarken	18
2.7 Zweden	20
2.8 Noorwegen	21
2.9 Italië	22
3 Beleid en normstelling van PFAS	25
3.1 Het ontbreken van een richtwaarden voor PFAS	25
3.2 Ontwikkelingen in de VS	25
3.3 Europese Drinkwaterrichtlijn en EFSA beoordeling	27
3.4 Ontwikkelingen in Europa	29
4 Discussie	36
4.1 Compleetheid meetgegevens	36
4.2 Precursors van PFAS	36
4.3 Toekomstige monitoring en gegevensbeheer	36
5 Conclusies	38
5.1 PFAS in de bronnen en drinkwater	38
5.2 Hotspots	38
5.3 Situatie Rijn en Maas	38
5.4 Normstelling in Europa	39
5.5 Toekomstige ontwikkelingen	39
Dankwoord	40
Referenties	40

1 Introductie

1.1 Wat zijn PFAS?

Perfluor- en polyfluoralkylverbindingen (PFAS) zijn een groep chemische verbindingen met een groot aantal toepassingen, die in de afgelopen 60 jaar op grote schaal zijn gebruikt. De productie start in 1947 als het bedrijf 3M begint met de massaproductie van perfluorooctaanzuur (PFOA). In 1951 gebruikt het bedrijf DuPont PFOA voor de productie van teflon zoals voor de beroemde anti-aanbaklaag in koekenpannen. In 1952 werd het water- en vetafstotende effect van perfluorooctaansulfonzuur (PFOS) bij toeval ontdekt, en door 3M gepatenteerd als Scotchgard. In de jaren 1960 ontwikkelden 3M en de Amerikaanse marine “waterig filmvormend schuim” (AFFF), een blusschuim dat PFOS en PFOA bevat. Sinds de jaren 1970 wordt AFFF wereldwijd gebruikt op militaire locaties, civiele luchthavens en trainingscentra voor brandbestrijding. Naast de toepassing in brandbestrijding worden de PFAS in zeer uiteenlopende toepassingen gebruikt. Volgens een studie zijn er meer dan 200 gebruikscategorieën en -subcategorieën vastgesteld voor meer dan 1400 afzonderlijke PFAS (Glüge et al., 2020). Naast bekende categorieën zoals textiel-impregneren, blusschuim en galvaniseren, omvatten de geïdentificeerde gebruikscategorieën ook vele categorieën die niet in de wetenschappelijke literatuur zijn beschreven, waaronder PFAS in munitie, klimtouwen, gitaarsnaren, kunstgras en bodemsanering. Inmiddels zijn meer dan 4000 PFAS geregistreerd, waarvan verschillende verbindingen uiteindelijk ook in het milieu terechtkomen.

PFAS blijken naast de brede toepassingen in het milieu zeer persistent, mobiel en in sommige gevallen bioaccumulerend en toxisch. PFOS en PFOA zijn de meest bekende stoffen, maar vormen slechts een fractie van de vele soorten stoffen die inmiddels zijn aangetoond in het milieu, menselijk bloed en in het wild levende dieren (Glüge et al., 2020; Koch et al., 2019). Vanuit deze milieu- en gezondheidsrisico's worden de stoffen verboden in diverse landen. Zo gebruikt fabrikant Chemours in Dordrecht sinds 2012 de GenX-technologie als vervanging van PFOA perfluorooctaanzuur (perfluorooctaanzuur). Daarna is echter duidelijk geworden dat ook GenX toxische eigenschappen kent en men spreekt dan ook wel van ‘regrettable substitutions’ (van Leeuwen, 2018).

1.2 Doel en aanpak

Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft inzicht gevraagd in de aanwezigheid en de gehalten van PFAS in bronnen voor drinkwater en drinkwater in Europa (EU). Het doel van dit onderzoek is het in beeld brengen van het voorkomen van PFAS in Europese oppervlaktewater, oever- en grondwater en drinkwater. Daarbij is in het bijzonder aandacht gevraagd voor hotspots en concentraties in Rijn en Maas (als bron van drinkwater).

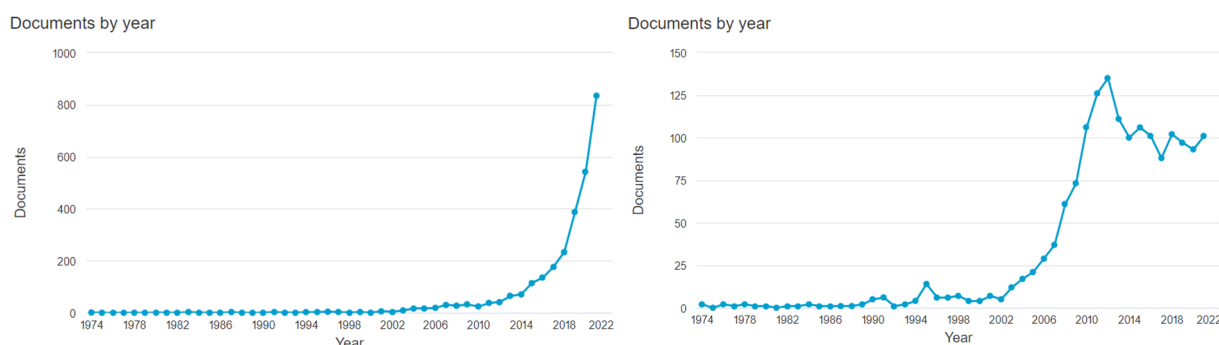
Vanuit deze vragen is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Allereerst presenteren we onderzoeksgegevens uit Nederland met aandacht voor de Rijn en Maas, en aanvullend de Nederlandse buurlanden België, Frankrijk en Duitsland samen, maar ook een aantal andere landen (hoofdstuk 2). Vanuit dit overzicht hebben we aanvullend in beeld gebracht waarop de verschillende landen met de verhoogde gehalten omgaan. In het volgende hoofdstuk zijn de ontwikkelingen in onderzoek en beleid beschreven (hoofdstuk 3). Tot slot worden een aantal conclusies beschreven en aanbevelingen gedaan (hoofdstuk 4).

2 Onderzoeksgegevens over PFAS

2.1 Aanpak

2.1.1 Literatuurgegevens

We hebben eerst een zo breed mogelijk overzicht gemaakt van de artikelen uit de wetenschappelijke literatuur met de zoekmachine SCOPUS. We hebben gezocht in trefwoorden, titels en samenvattingen. Het resultaat toonde aan dat er inmiddels meer dan 2000 papers zijn gepubliceerd waarin 'PFAS' worden genoemd. Een soortgelijke opbrengst is verkregen met het zoekwoord 'perfluorinated compounds' in SCOPUS. Dit gaf minder papers weer, ca. 1600, terwijl op basis van beide zoektermen een duidelijke toename zichtbaar is vanaf 2003-2004 (zie Figuur 1). Ook is zichtbaar dat meer dan de helft van de artikelen alleen al in de laatste 3 jaar gepubliceerd werden (2019-2021). Een zeer kleine hoeveelheid artikelen komen uit vakgebieden zoals informatica, verpleging, bosbouw of psychologie, en deze hebben we verder buiten beschouwing gelaten.



Figuur 1 Aantal artikelen uit de periode 1974-2021 zoals vermeld in Scopus, een wetenschappelijke zoekmachine met (links) de zoekfunctie TITEL-ABS-KEY (PFAS) en (rechts) de zoekfunctie TITEL-ABS-KEY ("perfluorinated compounds").

De relevante artikelen gaan over allerlei aspecten, waaronder analysetechnieken, monitoring en bevatten gegevens over de aanwezigheid in het milieu. Ook worden in veel studies de toxicologische effecten op mensen en organismen beschreven, terwijl in een reeks epidemiologische studies de associaties tussen menselijke bloedspiegels en ziektes worden onderzocht (met positieve, ontbrekende en ook negatieve associaties). Daarnaast worden verschillende behandelingen- en verwijderingstechnieken beschreven, waaronder benaderingen voor de sanering van PFAS in de bodem, de verwijdering van PFAS tijdens drinkwaterproductie- en/of rioolwaterzuiveringsinstallaties. In andere, meer recente artikelen, wordt ingegaan op de maatschappelijke aspecten of beleidskwesties in verband met de regulering van PFAS.

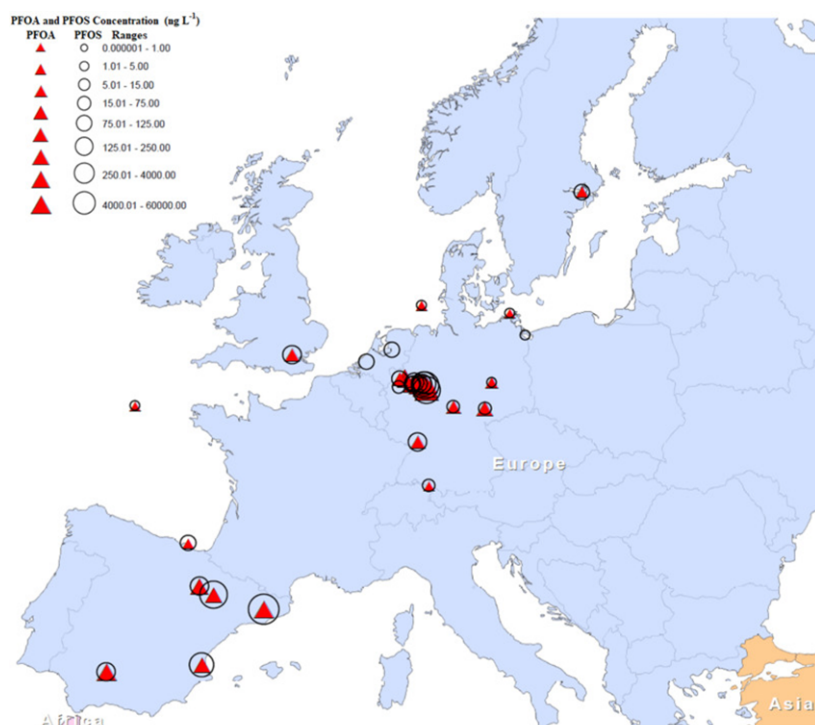
Een groot aantal studies is afkomstig van onderzoekers met affiliaties in de Verenigde Staten (1000+) en Canada (240+), China (360+), Australië (130) en in mindere mate in Latijns- en Zuid-Amerika en Afrika. Vanuit onze interesse in de Europese context zien we veel onderzoekers uit Zweden, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Denemarken en Italië de grootste bijdrage leveren met elk meer dan 100 artikelen.

Uit al deze studies blijkt duidelijk dat PFAS alomtegenwoordig zijn in het milieu en overal ter wereld bij mensen en organismen worden aangetroffen, op alle continenten. PFAS worden beschreven in de lucht, de bodem, planten, stortplaatsen, rioolwaterzuiveringsinstallaties, veel consumentenproducten en voedsel en dranken. Een poging om de brede toepassing van PFAS in producten is in een artikel beschreven, maar de auteurs stellen dat ook dit artikel wellicht niet eens volledig is (Glüge et al., 2020).

2.1.2 Gegevens over PFAS in Europese wateren

In dit document spitsen wij ons toe op de aanwezigheid van PFAS in grondwater en oppervlaktewater, beide belangrijk voor de productie van drinkwater. Naast de wetenschappelijke literatuur hebben we ook contact gezocht met een aantal onderzoekers uit Italië, Duitsland, Noorwegen om de laatste ontwikkelingen samen te vatten op het gebied van PFAS in water. Een goed uitgangspunt was de studie van naar het voorkomen van PFAS in oppervlaktewater, grondwater (Eschauzier et al., 2012). Dit overzicht gaf een overzicht van de wetenschappelijke literatuur tot het jaar 2011 en bespreekt verschillende regio's in Europa. Ook kwamen uit dit artikel verschillende zaken naar voren, zoals de mogelijke bronnen van verontreiniging voor het oppervlaktewater: rioolwaterzuiveringen (RWZI's) (Ahrens et al., 2009; Bossi et al., 2008) en percolatiewater van stortplaatsen (Eggen et al., 2010) en de auteurs melden de aanwezigheid van PFAS in drinkwater. Een review uit 2019 vormde een goede basis voor het aanvullen van het overzicht (Domingo & Nadal, 2019). Uit deze reviews zien we dat PFAS worden aangetroffen in alpensneeuw, het noordpoolgebied en de Antarctische wateren en in oceanen, meren, rivieren en grondwater. Ook de 'nieuwe' PFAS worden in toenemende mate gedetecteerd in Europese oppervlaktewateren ((Xiao, 2017); (Kurwadkar et al., 2021)) en recent is PFAS in regenwater aangetoond (Cousins et al., 2022).

Een van de eerste Europese studies door het onderzoekscentrum JRC omvatte PFAS analyses in een groot aantal Europese rivieren (Loos et al., 2009; McLachlan, Holmstrom, Reth, & Berger, 2007). Uit deze studie bleek dat De Po in Noord-Italië aangemerkt was als een rivier met sterk verhoogde PFOA, de hoogste op het Europese continent op dat moment. Zo werd in de Po ongeveer 200 ng/L PFOA aangetroffen. Verder werden hoge concentraties PFOA aangetoond in de Donau in Oostenrijk (25 ng/L), de Schelde in België en Nederland (88 en 73 ng/L); de Rhône in Frankrijk (116 ng/L) en de Wyre in het Verenigd Koninkrijk (100 ng/L). Naast PFOA werden relatief hoge PFOS-concentraties aangetroffen in de Schelde in België (154 ng/L) en in Nederland (110 ng/L), de Seine in Frankrijk (97 ng/L), de Krka in Slovenië (1371 ng/L), de Severn in het VK (238 ng/L), de Rijn in Duitsland (Wesel; 32 ng/L), en in enkele kleinere stromen (bijv. in de rivieren Llobregat en Besòs nabij Barcelona in Spanje). De mediaanconcentratie voor alle riviermonsters was hoger voor PFOS (6 ng/L) dan PFOA (3 ng/L). Figuur 2 geeft een overzicht van de geografische verdeling in Europa volgens een recente review van analyses van PFOA en PFOS (Kurwadkar et al., 2021). Opvallend aan dit kaartje is het ontbreken van de analyses in de Po regio (Italië), omdat dit juist een van de eerste en relatief goed gedocumenteerde gevallen van PFAS verontreinigingen in Europa is.



Figuur 2: Voorkomen van PFAS in water in Europa (bron: overgenomen uit (Kurwadkar et al., 2021).

2.2 Nederland

In Nederland kwamen de PFAS vooral in het nieuws nadat in 2008 een grote hoeveelheid PFOA was geloosd door een blusschuimincident nabij Schiphol. Door een ongeluk met een sprinklerinstallatie zijn vanuit de luchthaven Schiphol in juli 2008 grote hoeveelheden PFAS vrijgekomen. Het verontreinigde water werd opgevangen, verdund en geloosd in een afvalwaterzuiveringsinstallatie in de omgeving, die zijn effluent in de omliggende wateren loost. Een monitoring campagne door de Nederlandse overheid toonde piekconcentraties aan in het Noordzeekanaal (locatie Halfweg) van PFOS van 1300 ng/L, die na twee maanden daalden tot 100 ng/L. Andere PFAS waren naast PFOS ook PFHxS, en PFBS wat typisch is voor blusschuim (van Leeuwen, 2009). Hierna zijn door de overheden, zoals provincie Noord-Holland en Hoogheemraadschap Rijnland risicogrenzen gevraagd en criteria voor PFOS af te leiden om zo de aanpak en omgang met verontreinigingen in het gebied op en rond Schiphol te ondersteunen. Dit heeft geleid tot een aantal adviezen en milieukwaliteitsnormen voor PFOS en PFOA in Nederland (A. M. Wintersen, Lijzen, & Herwijnen, 2016).

2.2.1 Chemours, Dordrecht

Een andere locatie die bekend is door de PFAS concentraties is de omgeving van een fabriek in Dordrecht (Chemours, voorheen duPont). Hier werd de stof PFOA stroomafwaarts van de fabriek in rivierwater aangetoond (Gebink, et al., 2017), dat niet alleen is veroorzaakt door de lozing van afvalwater met PFAS maar waarschijnlijk ook via de rookgassen naar de lucht geëmitteerd en op de bodem en in het water terecht gekomen. Omdat er langs de Merwede grondwater is gewonnen voor de productie van drinkwater, hebben het drinkwaterbedrijf en RIVM onderzoek verricht (zie RIVM, 2016¹). Uit deze risicoschatting blijkt dat het drinken van kraanwater niet heeft geleid tot overschrijding van de veilige waarde in bloedserum. De inname van grondwater in Zwijndrecht vanaf 2009 gestopt².

De stof PFOA is tientallen jaren gebruikt voor de productie van fluorpolymeren (teflon) en wordt sinds 2012 niet meer geproduceerd. Momenteel wordt GenX (HFPO-DA; 2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionzuur) gebruikt als vervanger. Ook deze 'nieuwe' PFAS komen voor in de buurt van de fabriek, met de hoogste concentratie van 812 ng/L in naburig water. De auteurs toonden de GenX-stoffen ook aan in de drinkwatermonsters van aangrenzende gemeenten en ontdekten dat drie van de vier lokale gemeenten GenX-stoffen in hun drinkwater hadden in concentraties tot 11 ng/L (Gebink et al., 2017). Dit leidde ertoe dat GenX inmiddels is opgenomen in de reguliere analyses. Ook zijn sindsdien milieukwaliteitsnormen voor GenX afgeleid. Later liet bloedonderzoek van de plaatselijke bevolking en van werknemers van Chemours zien dat de concentraties in het bloed van verscheidene personen de veilig geachte waarde voor PFOA overschreden. Een artikel met een uitgebreid overzicht van de verontreiniging met PFOA en GenX in de buurt van puntbronnen in Nederland is gepubliceerd in 2020 (Gebink & van Leeuwen, 2020).

2.2.2 Andere locaties

Na de incidenten en metingen bij Schiphol en Chemours kwamen ook andere locaties in beeld, zoals in Helmond, Noord-Brabant (Bentum, et al., 2018). Net als bij Dordrecht is op deze locatie sprake van met het voorkomen van PFAS door historische productie. Andere productielocaties of hotspots zijn niet beschreven. In 2019 kwamen de PFAS in het landelijke nieuws door het strikt toepassen van de eis dat grond pas mag worden verplaatst als bekend is dat het gehalte aan verontreinigingen daarin niet hoger is dan van de ontvangende bodem. Omdat er weinig bekend was over de achtergrondwaarden van concentraties PFAS kon grond uitsluitend worden hergebruikt als het gehalte PFAS lager was dan rapportagegrens van 0,1 µg/kg. Hierdoor kwamen veel bouw- en baggerprojecten stil te liggen, wat tot veel onbegrip en protesten leidde.

Door het instellen van het Tijdelijk Handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het najaar van 2019 kwam aan deze problematiek een einde. Het Tijdelijk Handelingskader is inmiddels een aantal keer aangepast (laatste versie december 2021, zie link³).

¹ <https://www.rivm.nl/risicoschatting-pfoa-in-drinkwater>

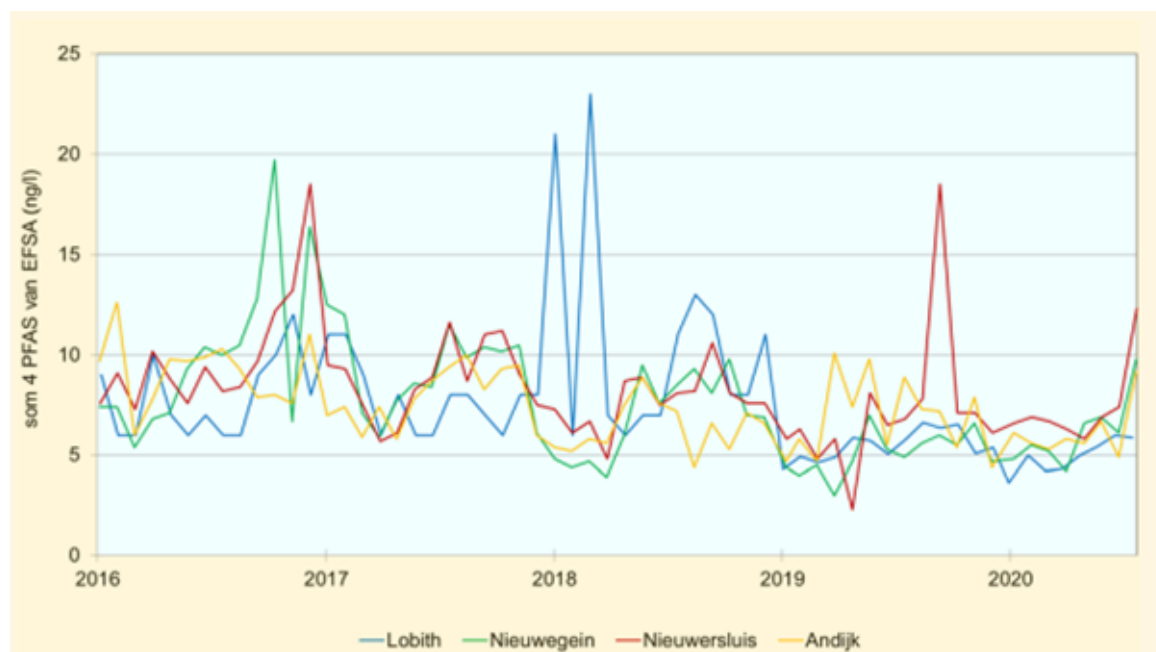
² <https://www.rivm.nl/pfoa/drinkwater/vragen-en-antwoorden>

³ <https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/wet-regelgeving/bbk/grond-bagger/handelingskader-pfas/handelingskader/>

Een studie uit 2018 beschrijft hoe naast de productielocaties de PFAS wijdverspreid aangetoond is in Nederland: in bodem, grondwater, bagger, afvalwater en oppervlaktewater (Pancras, 2018). In deze rapportage uit 2018 wordt melding gemaakt dat in ongeveer 50% van de metingen een of meer componenten van de PFAS-groep werd aangetroffen boven de detectielimiet. Hier zijn de maximaal gemeten waarde 50 ng/L PFOA of 47 ng/L GenX. (Pancras, 2018). Ook speelt recent de kwestie rond de afvalverwerking in Vlaanderen, op de grens met Nederland. Dit heeft ervoor gezorgd dat in de Westerschelde verhoogde PFAS zijn aangetoond. Deze milieucasus speelt pas recent en slechts een beperkte plek in deze studie. In dit voorliggende rapport wordt voornamelijk ingegaan op de concentraties in zoet oppervlaktewater en grondwater in Europa.

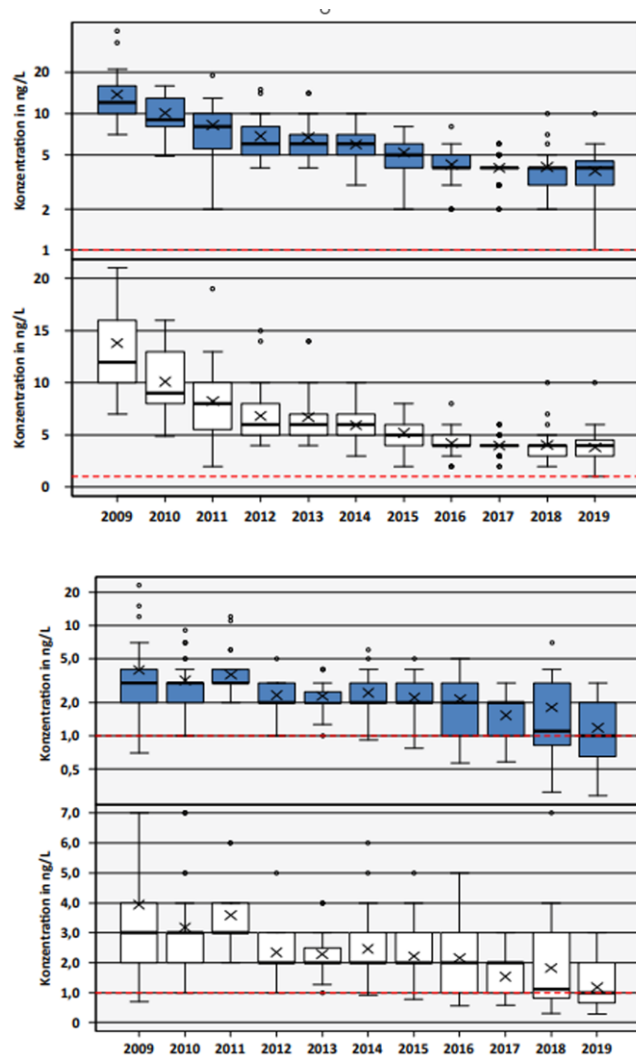
2.2.3 Trendanalyse van PFAS gegevens in de Rijn en Maas

Een belangrijk startpunt in het onderzoek naar de gegevens in Nederland volgt uit de gegevens over het stroomgebied van de grote rivieren Rijn en Maas. Dit is van belang omdat de aanvoer via deze rivieren uit het buitenland voor een groot deel bepalend is voor de kwaliteit van Nederlands oppervlaktewater. Deze rivieren integreren allerlei emissies van PFAS in hun stroomgebied en fungeren deze rivieren als belangrijke bronnen voor drinkwater. In de grote rivieren omvat de doorlopende monitoring door RIWA en Rijkswaterstaat dan ook al sinds 2016 diverse PFAS componenten. De rapportages over PFAS in de Rijn en Maas zijn voor 80-90 % bepaald door PFOS en PFOA. Als voorbeeld laten de gegevens over PFAS in het Nederlandse gedeelte van de Rijn laten een overzicht zien van een meetreeks waarin de concentraties van de 4PFAS van EFSA (PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA) op vier meetpunten zijn weergegeven (zie Figuur 3). Bovenstrooms van Nederland krijgen PFAS ook steeds meer aandacht (zie ook de volgende paragraaf over o.a. Duitsland). Zo is een overzicht van twee PFAS in een van de bovenstromen van de Rijn in beeld gebracht door het ARW (Lesmeister et al. 2020), zie Figuur 4. Hierin wordt de ontwikkeling van PFOA en PFAS samengevat, waaruit een beeld naar voren komt dat de jaargemiddelden van deze twee stoffen in deze regio langzaam lijken af te nemen.



Figuur 3 Som van de 4PFAS van EFSA (PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA) op de locaties waar drinkwater wordt gewonnen uit de Rijn over de periode 2016-2020. (overgenomen uit Jaarrapport 2020, RIWA-Rijn).

In een memo van het PFAS expertisecentrum aan de Nederlandse drinkwaterbedrijven (VEWIN) wordt beschreven dat voor PFOS en PFOA geen grote verdere reductie wordt verwacht omdat hiervoor al geruime tijd een verbod geldt. Industriële puntlozingen zijn gestopt, maar pluimen in het grondwater nabij oude bronnen zorgen mogelijk nog steeds voor verhoogde concentraties in Maas en Rijn (Slenders, et al., 2021). Bij het huidige beleid verwachten de auteurs dat in een periode van 8-15 jaar de concentraties voor de 4PFAS in het rivierwater zullen zijn gedaald tot niveaus op of net boven de huidige EFSA-richtwaarden (Slenders et al., 2021). Echter, kanttekeningen hierbij zijn dat het onduidelijk is hoe de verschillende labs de analyses hebben uitgevoerd en of sprake is van een consistente manier van rapporteren. Het is dan ook niet eenvoudig om een eenduidige trend te zien door enerzijds de seizoensinvloeden en anderzijds de wisseling in analysepakketten, met het ontbreken van een eenduidige rapportage van lineaire en vertakte isomeren van de 4PFAS. In een memo van Deltares aan het Ministerie van IenW wordt beschreven dat er op basis van een quick-scan van de beschikbare gegevens (o.a. een studie van Jonker, 2021, Slenders et al., 2021 en De Rijck et al., 2021) een daling in de concentraties PFOS en PFOA heeft plaatsgevonden tot 2015.



Figuur 4: Concentraties (ng/L) PFOS (boven) en PFOA (onder). Concentraties zijn uitgezet per jaar op de meetstations in Mainz, Keulen en Dusseldorf-Flehe; uitgezet op een logaritmische (boven) en normale schaal. Het kruis (X) geeft de gemiddelde aan, de rood gestippelde lijn de rapportagegrens. Figuur overgenomen uit (Lesmeister et al. 2020).

2.2.4 Grondwater

In het grondwater wordt het voorkomen van PFAS vermeld in studies die zijn uitgevoerd door de provincies en drinkwaterbedrijven. Zo startte de Provincie Noord-Brabant in 2012, en andere provincies zijn vanaf 2015 PFAS gaan monitoren in het grondwater (Sjerps et al., 2017; van Loon et al., 2020). Ook drinkwaterbedrijven tonen de PFAS in het grondwater aan (Kools et al., 2019). Opvallend is dat ook ouder grondwater verschillende soorten PFAS bevat (A. Wintersen et al., 2021).

2.2.5 Bronopsporing

Aanvullend komt ook steeds meer onderzoek naar de bronnen (Pancras, 2018) en specifiek het afvalwater (Jans & Berbee, 2020; van Gijn, et al., 2021). Hieruit blijkt dat de vorming van PFAS uit precursoren in rioolwaterzuiveringen nog aandacht verdient (van Gijn et al. 2021). Ook komen een aantal zuiveringen in beeld die nader aandacht verdienen (Derksen & Baltussen, 2021). Vervolgonderzoek op het rapport uit 2020 (Jans and Berbee, 2020) laat zien dat een aantal van de onderzochte branches inderdaad verantwoordelijk blijken voor een groot deel van de PFAS-jaarvrachten richting het oppervlaktewater. Dit zijn de bronnen vanuit verschillende branches: afvalwaterverwerkers (riool- en afvalwaterzuiveringen), oud-papierrecycling, blusactiviteiten, stortplaatsen en tankreinigers (Rijkswaterstaat, 2021).

2.3 België (Vlaanderen)

De Vlaamse milieumaatschappij (VMM) is het milieuagentschap dat rapportages opstelt over de milieumonitoring in Vlaanderen. Zo voert de VMM in een cyclus van 3 jaar op 40 plaatsen metingen uit aan PFOS in Vlaanderen. De VMM stelt op haar website dat de gemiddelde PFOS-gehalte in beken, rivieren en kanalen zo goed als overal boven de milieunormen uitkomt. Deze analyses zijn online beschikbaar via een geo-loket (<https://www.vmm.be/data/waterkwaliteit>). De hoogste PFOS-concentraties zijn aangetroffen in de Zeeschelde (14 ng/L) en de hoogste concentraties in zoetwater waren in de Zwarte Spierebeek (10 ng/L). Een studie uit Vlaanderen geeft de PFOS metingen in biota (baars en paling) zie link⁴). Op basis van deze meetresultaten concludeert de VMM verder dat PFOS wijdverspreid is in het Vlaamse oppervlaktewater. De biota MKN voor PFOS is in deze studie 9.1 µg kg⁻¹ ww. (natgewicht) en wordt overschreden op 71% van de locaties (gemeten in paling). Volgens VMM ging het om een historische verontreiniging en mogelijk om landsgrensoverschrijdende verontreiniging en secundaire bronnen. Een nader onderzoek naar PFAS emissies en bronnen volgde in 2021, omdat in kader van het aanleggen van de Antwerpse Oosterweelverbinding verhoogde PFAS concentraties in die regio vastgesteld werden. Al snel werden deze gelinkt aan chemiebedrijf 3M in Zwijndrecht. Ondertussen is bekend dat de Vlaamse PFAS-problematiek ruimer is dan alleen de PFOS in de regio Zwijndrecht. Het is dan ook de verwachting dat snel meer meetgegevens worden verzameld (zie een recente tussenrapportage over het onderzoek door de Vlaamse overheid, zie link⁵).

2.3.1 PFAS in Vlaams drinkwater

Een van de eerste studies naar PFAS in Vlaams drinkwater rapporteerde PFOS en PFOA in verschillende matrices, maar slechts vier 1L kraanwatermonsters van verschillende waterleveranciers werden verzameld (Cornelis et al. (2012). Hierin werden PFOS en PFOA concentraties gedetecteerd van gemiddeld 5 ng/L (4 – 10) PFOS en 2 ng/L (1-5) PFOA. Deze concentraties waren overigens vele malen lager dan in andere voeding, met als hoogste waarden voor zoetwatervis (gemiddeld 174 ng PFOA/g) en schaaldieren (gemiddeld 3,34 ng PFOS/g). Eind 2018 werd door het Agentschap Zorg en Gezondheid in samenwerking met de Vlaamse Milieumaatschappij een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid van 12 verschillende PFAS in leidingwater. Dit waren stoffen die nog niet (standaard) gemonitord werden door de drinkwatermaatschappijen. Naar aanleiding van diverse vragen in navolging van het recente PFAS-dossier Zwijndrecht (2021) werd in 2021 een duidingsdocument gepubliceerd⁶. Dit onderzoek omvatte in totaal 57 monsters; 7 monsters van een drinkwaterproductielocaties met oppervlaktewater en 13 monsters vanuit grondwater. Aanvullend werden 57 monsters van drinkwater uit de keukenkraan gemeten op PFAS. PFAS werden in hogere concentraties teruggevonden in drinkwater dat geproduceerd is vanuit

⁴ <https://www.vmm.be/publicaties/veldstudies-naar-monitoring-van-biota-algemene-trends-en-relaties>).

⁵ <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/46456>)

⁶ https://www.vmm.be/water/drinkwater/2018_verkennend-onderzoek-pfas-in-drinkwater_azg_vmm_20210618_tw.pdf

oppervlaktewater (gemiddeld 19 ng/L) in vergelijking met drinkwater dat geproduceerd is uit grondwater. (4,8 ng/L); zie Tabel 1. De som van de gemeten PFAS lag in alle monsters, die als representatief zijn beschouwd, lager dan 100 ng/L. De rapportage benadrukt het indicatieve karakter en bevat slechts een zeer indicatieve toetsing gezien niet alle 20 PFAS-verbindingen uit de Europese drinkwaterrichtlijn geanalyseerd werden en 2 van de gemeten parameters geen deel uitmaken van de lijst van 20 PFAS-verbindingen (EU som 20PFAS, zie Tabel 3).

Tabel 1: Overzichtstabel van PFAS in drinkwater, overgenomen uit het duidingsdocument i.v.m. oriënterende meetcampagne PFAS in drinkwater – najaar 2018, (Z&G en VMM, via website in 2021).

		WPC gevoerd door oppervlaktewater	WPC gevoerd door grondwater	Drinkwaterstalen bij klanten
Aantal drinkwaterstalen waarin één of meerdere PFAS teruggevonden		6 van de 7 stalen	7 van de 13 stalen	33 van de 57 stalen
Frequentie voorkomen van meest gedetecteerde PFAS in drinkwater	detectie PFOA	6 van de 7 stalen	7 van de 13 stalen	33 van de 57 stalen
	detectie PFHxA	6 van de 7 stalen	5 van de 13 stalen	29 van de 57 stalen
	detectie PFPeA	6 van de 7 stalen	3 van de 13 stalen	22 van de 57 stalen
	detectie PFBS	5 van de 7 stalen	2 van de 13 stalen	23 van de 57 stalen
	detectie PFHpA	5 van de 7 stalen	5 van de 13 stalen	20 van de 57 stalen
Maximale waarde som (12) van PFAS		37 ng/l	21 ng/l	38 ng/l
Gemiddelde waarde som (12) van PFAS		19 ng/l	4,8 ng/l	7,3 ng/l

Na de ophef en onrust in 2021 vanwege de verhoogde PFAS concentraties in de regio Zwijndrecht is een aanvullend onderzoek gestart door de VMM en de Vlaamse drinkwaterbedrijven (periode juli –september 2021). Dit omvat de een meer uitgebreide screening op de 20 PFAS uit de nieuwe Drinkwaterrichtlijn. In deze meetcampagne wordt gemeten in het distributienetwerk en omvat minimaal 3 monsternamen rondes. De voornaamste conclusies zijn dat PFAS wordt aangetroffen en dat de gemiddelde concentratie voor alle individuele PFAS lager is dan 2 ng/L (VMM, 2022). Het drinkwater voldoet aan de Europese norm voor de 20 PFAS (PFAS-20) en de Europese drinkwaternorm van 100 ng/L wordt bij geen enkele analyse overschreden (EU, 2020). In alle leveringsgebieden ligt de maximale concentratie onder de helft van deze norm. De top vijf PFAS teruggevonden in drinkwater zijn PFPeA (51,9%), PFHxA (48,3%), PFBS (47,8%), PFOA (43,7%) en PFHpA (32,9%). Op basis van bodemonderzoeken in 2021 en 2022 besliste de OVAM dat 3M moet instaan voor de sanering van de grondvervuiling met PFAS (Vlaanderen, 2022⁷). Hiervoor is een saneringsovereenkomst opgesteld tussen de Vlaamse Regering, OVAM, de VMM en 3M. Eerder was al overeengekomen dat 3M milieutechnologie gericht op de emissiebeperking op de site van 3M in Zwijndrecht.

⁷ <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/zwijndrecht/bodemonderzoeken-en-sanering-rond-3m>

2.4 Duitsland

In de afgelopen decennia is zijn in Duitsland diverse onderzoeken over PFAS. Het Duitse Federaal milieuagentschap (UBA) heeft recent veel aandacht besteed aan de communicatie over het voorkomen en de gevaren van PFAS. UBA publiceerde een overzicht van meetgegevens dat hoge concentraties PFAS laat zien in de buurt van fabrieken die PFAS vervaardigen of verwerken (zie Figuur 6). Zoals hierboven aangegeven zijn in Duits oppervlaktewater en in oeverfiltraten die worden gebruikt voor de productie van drinkwater PFAS aangetoond, waaronder in het Rijnstroomgebied.

2.4.1 Möhne (Regio HochSauerland)

Een van de eerste gevallen van PFAS in het milieu is in mei 2006 voor de regio HochSauerland, Möhne reservoir beschreven, zie Figuur 6. Onderzoekers hadden namelijk opmerkelijk hoge concentraties perfluorooctanoaat (PFOA) aangetroffen in de rivier de Ruhr (zijrivier van de Rijn, tot 180 ng/L), en nog veel sterker in de rivier de Möhne (zijrivier van de Ruhr, tot 7100 ng/L) (Skutlarek et al., 2006). Deze gebieden vormen het stroomgebied van het Ruhrgebied, waaruit 5 tot 6 miljoen mensen van drinkwater worden voorzien. Volgens berekeningen is rond de 110 kg PFAS in het reservoir terechtgekomen. Dit kwam geleidelijk vrij in het Ruhrgebied en de Rijn, om vervolgens zijn weg te vinden via de Rijn in Nederland naar uiteindelijk de Noordzee.

De bron van de verontreiniging was met PFAS verontreinigd slib dat industrieel afval bevatte, dat werd verkocht onder de naam "bioslib" en werd uitgereden op landbouwgronden. PFAS spoelde uit de bodem in de landbouwgebieden uiteindelijk ook naar het oppervlaktewater in het gebied en leidde uiteindelijk ook tot verontreiniging van het drinkwater. In deze regio wordt het drinkwater namelijk gewonnen uit de rivieren de Ruhr en de Möhne, via zogenaamde oeverfiltratie. De onderzoekers troffen vervolgens ook PFOA-gehalten aan van meer dan 500 ng PFOA/L in drinkwater, voornamelijk in Arnsberg, een stad in het district Hochsauerlandkreis (Noordrijn-Westfalen).

In de herfst van 2006 is ook een humaan biomonitoringsonderzoek uitgevoerd, waarbij een 4-8-voudige toename van PFOA-plasmaconcentraties in Arnsberg werd waargenomen in vergelijking met een referentiepopulatie (Hölzer et al., 2008). De blootstelling hield duidelijk verband met de consumptie van leidingwater en vis uit de regio. De aanpak om de blootstelling te verminderen kwam neer op het installeren van koolstoffilters en het afraden van visconsumptie. De koolstoffilters werden ongeveer om de 6 maanden gereactiveerd, door meer dan 800 graden Celsius te verhitten. De invoering van deze koolstoffiltratie vanaf juli 2006 verminderde de PFOA-concentraties in het drinkwater, en was ook terug te zien aan de resultaten van de vervolgstudie naar de PFOA-concentraties in het bloed (plasma) van de inwoners van Arnsberg. Hier was een vermindering van 10-20% zichtbaar. Deze studie suggereert dat de vermindering gedeeltelijk ook te danken kan zijn aan een verminderde consumptie van vis uit plaatselijke bronnen. In 2006 was 100 miljoen euro besteed aan investeringen in de regionale waterleidingbedrijven (R. Weber in: (Goldenman et al., 2019)). Het Duitse bedrijf dat het slib leverde, werd aangeklaagd; de CEO werd voor de rechter gedaagd. Het jaar daarop werd een begin gemaakt met nationale controleactiviteiten door de bevoegde autoriteiten.

2.4.2 Oberrhein-aquifer (Baden-Wuerttemberg)

In 2006 is direct na de PFAS crisis in Arnsberg door een andere deelstaat, Baden-Wuerttemberg, ook onderzoek gestart. Hier zijn 41 locaties die mogelijk met PFAS verontreinigd waren op PFAS geanalyseerd (LUBW, 2018 in: (Goldenman et al., 2019)). In 2013 werd PFAS aangetroffen in een put van de drinkwatervoorziening van Landkreis Rastatt. Nader onderzoek bracht een verontreinigingssituatie aan licht, wat destijds het grootste verontreinigingsgeval in Duitsland werd genoemd, zowel wat betreft het getroffen oppervlak als de complexiteit van de samenstelling van de verontreinigingen. In augustus 2018 bleek ongeveer 644 hectare grond in Rastatt en Baden-Baden, en ongeveer 240 hectare in Mannheim, verontreinigd met PFAS. Hoewel de oorzaak van de verontreiniging enigszins onduidelijk lijkt is vooral het gebruik van compost vermengd met verontreinigd afval van papierfabrieken dat tussen 2005 en 2008 op landbouwgronden uitgereden, de verdachte bron. De totale hoeveelheid PFAS die in het milieu terecht is gekomen, is echter moeilijk in te schatten (Goldenman et al., 2019).

Na de ontdekking van PFAS werden twee winningen gesloten, waardoor Rastatt nog slechts één waterleidingbedrijf ter beschikking had. Het drinkwaterbedrijf Stadtwerke Rastatt heeft vervolgens ook nog miljoenen euro's geïnvesteerd in een nieuwe infrastructuur, grondwatermonitoring, behandelingsmethoden zoals actieve koolfilters en/of omgekeerde osmose, en is gestart met onderzoek naar alternatieve waterbronnen. Hierdoor kon een van de productielocaties in februari 2018 weer opengaan. De reconstructie van leidingen, waterwerken en de installatie van actieve koolfilters hebben het bedrijf eind 2017 3,6 miljoen euro gekost. Dezelfde activiteiten hebben het bedrijf naar schatting nog eens 6,2 miljoen euro kosten in de periode 2018-2020 (Goldenman et al., 2019).

In het getroffen gebied ligt ook de Oberrhein-Aquifer, wat de zorg van dit verontreinigingsincident nog vergroot⁸. Dit is een van de grootste watervoerende pakketten van Europa en de watervoerende laag van de Bovenrijn wordt in het algemeen als goed beschermd tegen kwaliteitsinvloeden van bovenaf beschouwd. In het gebied tussen Basel en Rastatt voorziet dit watervoerende pakket ongeveer drie miljoen mensen in de Elzas en Baden-Württemberg; en levert het meer dan de helft van het water dat de lokale industrie nodig heeft.

Een studie uit 2005-2006 aan verschillende kleine rivieren in Duitsland analyseerde lozingen van afvalwater op het oppervlaktewater. Hier kwamen afvalwaterzuiveringsinstallaties van verschillende industrieën en ook rioolwaterzuiveringen die een mix van huishoudelijk en industrieel afvalwater ontvingen in beeld. Hier bleek dat de huishoudelijke instroom veel lagere niveaus van PFOS en PFOA bevatte dan de industriële stromen. Uit de studie bleek ook dat gezuiverd afvalwater PFOA bevat en dat een conventionele rioolwaterzuivering niet in staat is dit (goed) te verwijderen. PFOS werd wel voor een deel in het slib vastgehouden. De uiteindelijke conclusie was dat in deze regio de grootste emissie van PFOS plaatsvindt vanuit de zuivering van afvalwater.

Een studie rapporteerde de hoogste concentraties voor PFBS, met een maximum van 2,8 mg/L (Lange et al., 2007). De concentraties van de rest van de PFAS werden beschouwd als achtergrondconcentraties. In drinkwater geproduceerd uit water van het Bodensee zijn 3 ng/L PFOS en 1 ng/L PFOA bepaald (Lange et al., 2007).

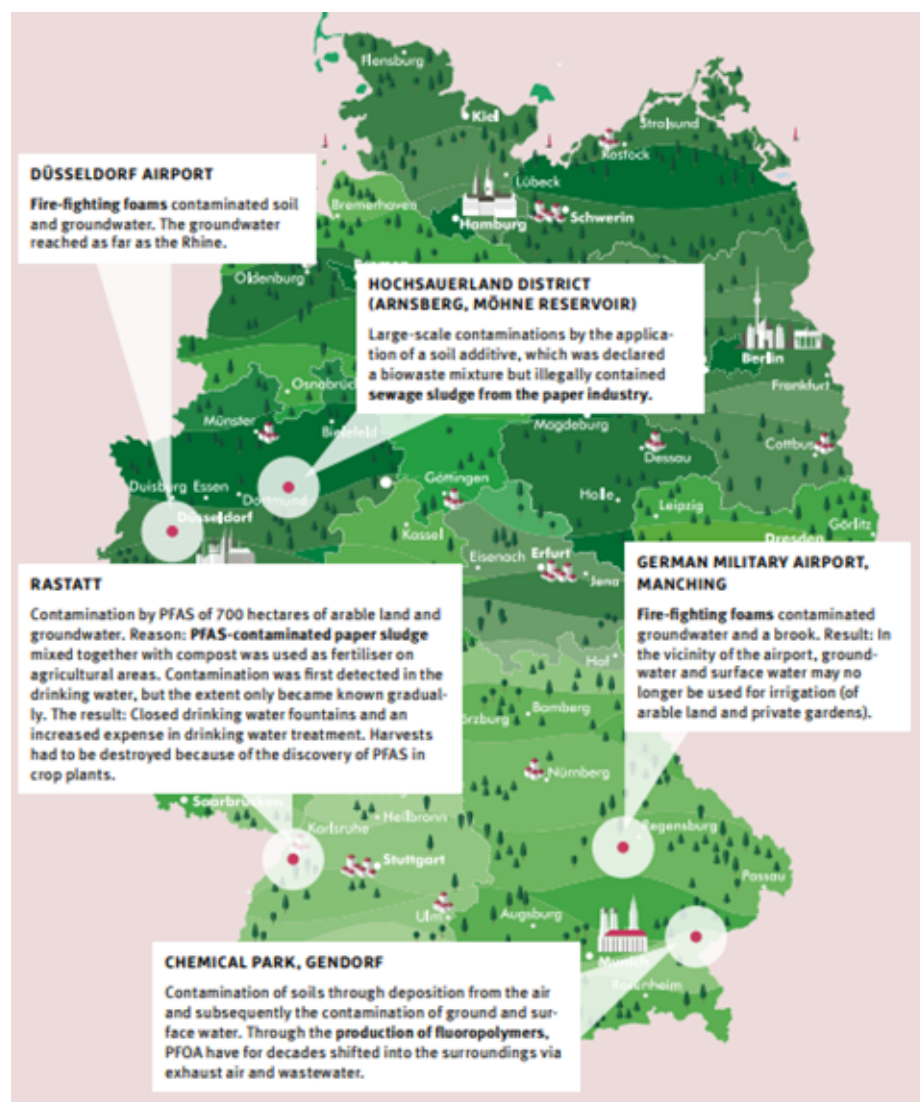
Langs de rivier de Elbe waren in 2007 de belangrijkste gemiddelde concentraties van een aantal PFAS als volgt: PFHxA met 3,4 ng/L, PFOA met 7,6 ng/L, PFBS met 2,3 ng/L en PFOS met 1,6 ng/L (Ahrens et al., 2009). In grondwater worden ook in Duitsland verschillende soorten PFAS aangetoond. Voor een evaluatie op EU-niveau naar het voorkomen in grondwater zijn door de UBA de gegevens van alle EU-lidstaten samengevoegd (UBA, 2020). De meest voorkomende aangetroffen stoffen waren perfluorbutaan- en perfluorhexaanzuur (PFBA en PFHxS). Door UBA is ook aangemerkt dat het opmerkelijk is dat precursorverbindingen in sommige grondwateren zijn aangetroffen en dat deze dus blijkbaar niet volledig omgezet worden in het milieu.

Van de Duitse drinkwaterbedrijven zijn de meetgegevens over PFAS in drinkwater niet eenvoudig te vinden, maar zijn gegevens in enkele gevallen wel online beschikbaar. Zo zijn de voor het district Altötting in Beieren meetgegevens van PFAS in drinkwater vanaf 2016 online te vinden en deze worden regelmatig bijgewerkt (zie v⁹). Op de website van het drinkwaterbedrijf uit de getroffen regio in Rastatt legt het bedrijf uit wat PFAS is, wat de kosten zijn voor zuivering en wat de meest recente meetgegevens zijn¹⁰. Een nadere beschouwing van de Duitse meetgegevens in relatie tot de Europese richtwaarden staat in hoofdstuk 3. Een interessante andere studie naar de aanwezigheid van 41 soorten PFAS in Duitsland in verschillende biota uit de zgn. 'biological specimen bank' (Kotthoff et al., 2020). Hierin staan ook aanwijzingen voor de relatie tussen de verschillende soorten PFAS, waaronder de precursors en temporele trends in biota.

⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Upper_Rhine

⁹ https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_59_trinkwasser/ue_2016_trinkwasser_pft_messwerte.htm
https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_59_trinkwasser/ue_2016_trinkwasser_pft_messwerte.htm

¹⁰ <https://www.stadtwerke-rastatt.de/de/wasser/Trinkwasser-Schutz-PFC/Was-ist-PFC/>



Figuur 5: PFAS hotspots in Duitsland, samengevat voor UBA en overgenomen uit *What Matters*, magazine of the German Environmental Agency, 1/2020 (June 2020).

2.5 Frankrijk

De eerste gegevens over PFAS in Frankrijk werden door ons gevonden in een wetenschappelijk artikel (Boiteux, et al., 2012). Deze lieten analyses zien aan PFOA, PFOS, PFBA, PFBS, PFHxS, PFHxA, PFPeA, PFHpA, PFNA en PFDA. De bemonstering was gelijkmatig verdeeld over de 100 Franse departementen. In totaal werden 331 monsters van ruw water en 110 monsters van reinwater (drinkwater) geanalyseerd tijdens dit onderzoek, wat ongeveer 20% van de nationale watervoorziening betreft. PFOS, PFHxS, PFOA en PFHxA waren de meest gedetecteerde PFAS in ruw water. PFHxA was de verbinding met de hoogste concentratie (139 ng/L). Op drie locaties was de som van alle bepaalde componenten boven de 100 ng/L (resp. 199, 117, en 115 ng/L). De waargenomen waarden voor PFOS en PFOA in drinkwater waren niet hoger dan de gezondheidkundige beschermwaarden op dat moment, zo stelden de auteurs. Dit onderzoek gaf aan geen zwaar verontreinigde locaties te vinden maar men ziet wel een verband met stedelijk gebied en industriële activiteiten. In navolging van deze studies werden meer PFAS gehalten in Franse rivieren gerapporteerd, zoals in de rivier de Seine en de rivier de Orge (gemiddelde Σ PFAS's = 55 ng L⁻¹ en 73 ng L⁻¹, respectievelijk) (Labadie et al., 2011). Hier waren perfluorhexaansulfonaat (PFHxS) en PFOS en perfluorhexanoaat (PFHxA) en PFOA de belangrijkste soorten PFAS, zoals ook was waargenomen bij de monding van de rivier de Seine (McLachlan et al., 2007).

Een studie uit 2015 beschrijft de monitoring van 22 soorten PFAS in een groot aantal rivieren en meren in Frankrijk, in relatie tot de Europese Kaderrichtlijn Water (Munoz et al., 2015). De som PFAS was gerapporteerd tot 725 ng/L met een mediaan van 7,9 ng/L. Deze studie liet zien dat de PFAS concentraties in oppervlaktewater significant hoger waren in de stedelijke omgeving en industriële locaties dan op (vooraf bepaalde) referentielocaties. PFOS was de meest voorkomende verbinding. In de Seine werden de hoogste PFAS concentraties gemeten, en deze was tot ongeveer drie keer zo hoog in vergelijking met het nationale gemiddelde (7,8 ng/L) (Munoz et al., 2018).

2.5.1 Fabriekslocaties nabij drinkwaterwinningen

Bach et al. (2017) rapporteren schattingen dat 4295 kg PFHxA, 1487 kg 6:2FTSA, 965 kg PFNA, 307 kg PFUnDA en 14 kg PFOA in 2013 door de twee fabrieken in een rivier werden geloosd, de hoogste vrachten die tot dan toe in Frankrijk werden gerapporteerd. De totale PFAS-concentraties in het oppervlaktewater varieerden tussen 86 en 169 ng/L. Dit water wordt ook gebruikt voor de productie van drinkwater, en in een latere studie van dezelfde onderzoeksgroep is aangetoond dat conventionele drinkwaterbehandelingen zoals beluchting, zand- of korrelige actieve koolfiltratie, ozonatie of chloreren de PFAS niet voldoende verwijderden (Boiteux et al., 2017). Na ozonatie werd zelfs een toename van de concentratie van bepaalde PFAS waargenomen, terwijl alleen nano-filtratie in staat was alle geanalyseerde PFAS te verwijderen.

2.5.2 Drinkwater en flessenwater

In een studie naar drinkwater werden de gehalten van 16 soorten PFAS in 38 merken flessenwater en 58 verschillende kraanwatermonsters uit Frankrijk (en twee andere landen, Brazilië en Spanje) bepaald (Schwanz et al., 2016). PFOS werd alleen in Frankrijk aangetroffen (26% van de monsters), terwijl PFBS werd aangetroffen in Frankrijk en Brazilië, maar niet in Spanje. Spanje daarentegen was het enige land waar PFHxA in 20% van de monsters werd gekwantificeerd. De mediane concentratie van de totale PFAS in gebotteld water was als volgt: Brazilië > Frankrijk > Spanje, met respectievelijk 15,0, 14,9 en 11,3 ng/L. Het hoogste verontreinigingsniveau in één enkel monster kwam echter overeen met een flessenwatermonster uit Frankrijk, met 116 ng/L (de som van alle gemeten PFAS). Hoe dan ook werd geconcludeerd dat PFAS in drinkwater in geen van de drie onderzochte landen een bedreiging voor de volksgezondheid was.

Een andere studie naar flessenwater richtte zich op 10 PFAS en claimt 70% van het Franse gebottelde water in kaart te brengen (Le Coadou et al., 2017). In deze studie werden zes PFAS gekwantificeerd in de range van 0,6 tot 9,5 ng/L, met PFAS niet hoger dan 20 ng/L (gemiddelde: 6,7 ng/L). De PFAS in de 40 typen flessenwater waren het voornamelijk PFOS (10%), PFHxS (5%) en PFBS (2,5%). PFPA, PFHxA, PFNA en PFDA konden niet worden aangetoond (Le Coadou et al., 2017).

2.6 Denemarken

PFAS analyses in Denemarken zijn voor het eerst gerapporteerd in een screeningonderzoek dat zes Noordelijke landen uitvoerde (Kallenborn et al., 2004). In deze screening waren de concentraties PFOA in het effluent van de afvalwaterzuivering tussen de 316 en 1041 ng/L gerapporteerd, zonder dat er sprake is van primaire verontreinigingsbronnen zoals de fluor-chemische productie (Kallenborn et al., 2004). In een andere studie werd een PFOS-concentratie (1115 ng/L) aangetroffen in het effluentwater. De hoogste PFAS-concentraties werden aangetroffen in het effluentwater van de textielindustrie en men vermoedde dat dit de door afbraak van fluorotelomer alcohol (FTOH) zou kunnen, gebruikt als impregneermiddel voor textiel (Berger & Herzke, 2006). In deze studies wijst men er overigens ook op de mogelijke verontreiniging van het grondwater indien verontreinigd slib wordt gebruikt als meststof op landbouwgrond. Verontreiniging van het grondwater door het accidenteel morsen van blusschuim zal minder waarschijnlijk zijn, aangezien PFOS-bevattend blusschuim in Denemarken niet wordt gebruikt, zo stelde men in deze studie (Paulsen et al., 2005).

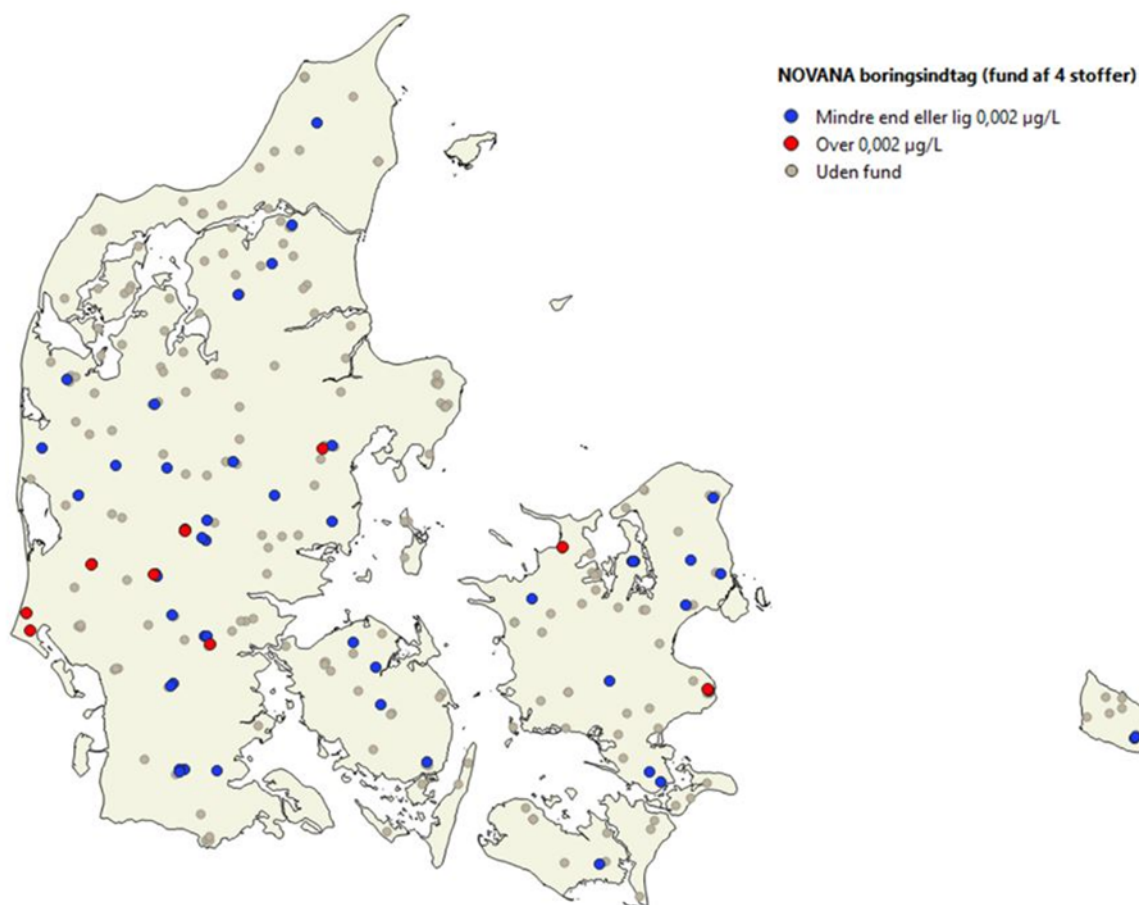
Denemarken kende geen PFAS industrie zo stellen auteurs in een artikel, maar ze hebben wel berekend dat het gebruik van PFAS in 2001 in Denemarken 50 ton per jaar omvatte (Havelund, 2001). Het gebruik van PFOS en verwante stoffen in blusschuim werd geschat op 0,3-1,1% van het totale jaarlijkse verbruik van 9-16 ton in 2005, d.w.z. ca. 160 kg. Ongeveer 50% van de totale hoeveelheid, namelijk 4,5-8 ton, wordt gebruikt in verschillende soorten producten voor textiel, leer en papier. Daarnaast werden grote hoeveelheden PFOS en verwante stoffen gebruikt in verven en vernissen, als oppervlakte-actieve stoffen in diverse reinigingsproducten, alsook bij de galvanisertechnieken. Ook van de tapijtindustrie werd bevestigd dat dit een potentiële PFAS-puntbron is. Na de uitfasering van PFOS zou het verbruik gedaald moeten zijn tot ca. 3 ton per jaar. Aangezien de PFAS-verbindingen al verscheidene jaren in diverse industrieën worden gebruikt, bestaat het risico dat deze industrieën kunnen fungeren als puntbronnen van bodem- en grondwaterverontreiniging met PFAS, vooral als gevolg van historisch gebruik van PFAS.

Een screeningsonderzoek (NOVANA) uit 2007 naar PFOS en andere PFAS wijst ook naar afvalwaterzuiveringsinstallaties als belangrijke locaties waar de PFAS emissies naar het water samenkomen (Strand, et al., 2007). PFOS en PFOA waren over het algemeen de meest aangetroffen stoffen en men concludeerde dat de concentraties van PFAS in het afvoerwater onder de destijds aangenomen kritische waarde lagen.

2.6.1 PFAS in Deense grondwater

Onderzoek naar grondwater in Denemarken wordt genoemd in een Europees metastudie uit 2011 die gegevens omvat van PFOS, PFOA en PFHxS, PFHpA (niet gerapporteerd). De maximale concentraties waren 35 ng PFOS, 39 ng PFOA, 19 ng PFHxS en 21 ng PFHpA /L. Daarna heeft de Deense overheid ook een aantal andere studies uitgevoerd, waaronder een screeningsstudie van geselecteerde PFAS-verbindingen als bodem- en grondwaterverontreiniging in verband met puntbronnen (Miljøstyrelsen, 2014), onderzoek naar de industrieën die PFAS gebruiken (Miljøstyrelsen, 2016a) en heeft het aandacht gegeven aan de verspreiding en samenstelling van PFAS in grondwater (Miljøstyrelsen, 2016b). In de studie in 2016 zijn op verschillende plaatsen in Denemarken PFAS-verbindingen in het Deense grondwater aangetroffen. PFAS bleken vooral aanwezig in de buurt van specifieke industrieën/ activiteiten, en voornamelijk nabij brandweer oefenlocaties. Ten minste 38 grotere locaties zijn geïdentificeerd en 27 daarvan worden relevant geacht voor vervolgonderzoek naar PFAS verontreinigingen. Acht van deze locaties zijn onderzocht in het kader van de screeningsonderzoeken. Op twee van de locaties overschreden de PFOS- en PFOA-concentraties de Duitse grenswaarde met ongeveer een factor 10, terwijl ook andere PFAS-verbindingen zijn aangetroffen.

In 2021 is ander onderzoek naar PFAS in Deens grondwater uitgevoerd, mede omdat de grenswaarde verder verlaagd werd door de Deense autoriteiten¹¹. De verlaging was ingegeven vanuit de sombeoordeling voor 4PFAS door EFSA van 2 ng/L, zie verder hoofdstuk 3 (de 4PFAS van EFSA zijn PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA). In het grondwater zijn 278 locaties bemonsterd (Figuur 6). Op 11 locaties (4%) werd de nieuwe PFAS-grenswaarde overschreden, op de kaart in rood aangegeven. Op 55 plekken (20 %) werd PFAS onder de grenswaarde aangetroffen, en op 212 locaties (76%) werd geen PFAS aangetroffen. Op geen van de locaties wordt drinkwater geproduceerd. Overigens vermeldt de website van het milieuagentschap dat uit gegevens van de waterleidingbedrijven blijkt dat het er tot nu toe nog maar heel weinig zijn overschrijdingen van de nieuwe PFAS grenswaarde.



Figuur 6: PFAS onderzoek naar grondwater in Denemarken (bron: website www.mst.dk¹²).

¹¹ <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2022/jan/pfas-stoffer-fundet-i-grundvandet/>

2.6.2 PFAS in de omgeving van Korsør

In het najaar van 2020 trof het water- en energiebedrijf (SK Forsyning in Korsør) verhoogde concentraties PFOS aan in water uit de afvalwaterzuiveringsinstallatie van Korsør¹². Uiteindelijk bleek een brandweeropleidingsinstituut de bron van de vervuiling. Het gebruik van de stof in blusschuim was inmiddels al enige tijd verboden, maar op de locatie bedraagt de concentratie van PFOS en PFOA in het grondwater 500x meer dan de grenswaarde van 100 ng/L voor deze verontreinigende stoffen waardoor afspoeling van verharde oppervlakken nog steeds leidt tot verontreiniging van het afvalwater. De verontreiniging op die locatie wordt momenteel ingedamd door pompen en behandelen.

De gemeente stelt dat in het gebied rond de zuiveringsinstallatie en de brandweerschool geen drinkwater wordt gewonnen en er dus geen risico is dat PFOS het drinkwater vervuult. Wel bestaan er zorgen over het gebruik van lokaal verontreinigd water dat wordt gebruikt in de landbouw en veehouderij. Begin 2021 heeft de landelijke overheid gemeenten en regio's opgeroepen maatregelen te nemen om te zorgen dat zich geen verontreinigingssituaties zoals in Korsør voordoen.

2.6.3 PFAS in Thyborøn, gemeente Lemvig

Een casus die recent (begin 2022) speelt is een onderzoek naar het voorkomen van PFOS in de gemeente Lemvig, ten zuiden van de stad Thyborøn. Hier was eerder een PFAS-verontreiniging aangetroffen in een meer in het Natura 2000-gebied en uit vervolgstudies blijkt het wijdverspreid te zijn. Het gevolg is dat mensen die rundvlees of wild uit Harboøre Tange in de vriezer hebben liggen deze uit voorzorg moeten weggooien. Tegelijkertijd wordt burgers in de getroffen gebieden van Thyborøn uit voorzorg afgeraden om zelfgekte weekte gewassen uit de tuin te eten. De vier PFAS-stoffen (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS), waarvoor de Deense Environmental Protection Agency in de zomer van 2021 de grenswaarden met betrekking tot grondwater/drinkwater heeft aangescherpt, zijn in te hoge waarden aangetroffen. De concentraties PFAS in het drainagewater liggen tussen de 92-470 ng/l water. De grenswaarde voor de concentratie in grondwater/drinkwater is 2 ng/l water voor deze 4 stoffen. Vervolgens is op basis van dit nieuws ook een onderzoek gestart naar het voorkomen van PFAS in zeewater. In zeewater in de buurt zijn namelijk overschrijdingen aangetroffen van de milieukwaliteitsnorm voor PFOS in zeewater. De stortplaats bij Thyborøn ligt in een gebied waar het grondwater niet wordt gebruikt voor de drinkwatervoorziening, maar de verontreiniging heeft dus wel gevolgen voor de consumptie van andere gewassen, vlees en vis.

2.7 Zweden

De eerste milieuonderzoeken vanaf ca. 2003 naar PFAS in Zweden kregen niet veel publieke aandacht. In 2011 werd het waterleidingbedrijf in Tullinge (gemeente Botkyrka) gesloten vanwege hoge PFOS-concentraties en in Uppsala werden in 2012 onder andere PFOS en PFOA in het drinkwater aangetroffen (Gyllenhammar et al., 2015). Om de blootstelling van de bevolking aan PFAS via het drinkwater tot een minimum te beperken, werden de zuiveringen van de waterleidingbedrijven in Uppsala uitgerust met koolstoffilters.

2.7.1 Ronneby

Deze case leidde niet tot grote publieke bezorgdheid, en de media besteedde er destijds nog weinig aandacht aan. Dit veranderde in 2013, toen een drinkwaterwinning moest sluiten in Ronneby (Banzhaf, et al., 2017). In deze regio werden PFAS-concentraties tot 10.000 ng/L gemeten in het uitgaande drinkwater. De bron van de verontreiniging werd gevonden in gebruik van blusschuim op een naburig militair vliegveld en oefenterrein. Uiteindelijk leidde dit in 2020 tot een rechtszaak. In 2015 richtte een aantal inwoners van Kallinge de PFAS-vereniging op, met als doel de verantwoordelijken voor de vervuiling van hun drinkwater voor de rechter te brengen. Op advies van hun advocaten besloot de vereniging de Zweedse strijdkrachten niet aan te klagen, maar een rechtszaak aan te spannen tegen het gemeentelijke waterbedrijf. In 2018 oordeelde het Zweedse Hooggerechtshof dat gemeentelijk water moet worden beschouwd als een product, volgens de Product Liability Act, dus werden de bewoners in het gelijk gesteld. In april 2021 besloot het waterbedrijf in beroep te gaan tegen het vonnis van de rechtbank.

¹² <https://www.esbjerg.dk/energi-og-miljoe/miljoe/pfos-status>

2.7.2 Andere locaties

In Zweden zijn sindsdien meerdere verdachte locaties in beeld gekomen, voornamelijk door PFAS houdend blusschuim (Banzhaf et al., 2017). Zweden heeft twee productiefaciliteiten die blusschuim produceren (Helsingborg en Vadstena). Echter, de plekken met de hoogste concentraties in het milieu zijn waar het schuim is toegepast, niet waar het is geproduceerd. Deze locaties liggen rondom luchthavens, en vier grote brandweeroefenterreinen (Revinge, Sandö, Rosersberg en Skövde; (Banzhaf et al., 2017)).

In Zweden is bekend dat vanaf 1985 tot 2003 blusschuim is gebruikt dat PFOS bevatte, terwijl het gebruik tussen 2003 en 2008 is afgebouwd en uiteindelijk is gestopt. Overigens bleken in 2010 nog steeds brandweerwagens verontreinigd met PFOS. Dat de uitfasering enige tijd en moeite duurde bleek toen in 2011 nog aanvullende maatregelen genomen moesten worden toen het door het Europees Parlement opgelegde verbod op PFOS van kracht werd. Ook is bekend dat vanaf 2008 blusschuim met andere gefluoreerde verbindingen gebruikt werd in Zweden, speciaal voor (petrochemische) branden (Banzhaf et al., 2017).

Als gevolg van het sluiten van de drinkwaterwinningen is een landelijke screening op PFAS bij waterleidingbedrijven gestart, (Livsmedelsverket, 2014) en vele andere onderzoeksprojecten naar bronnen van PFAS in grondwater, afvalwater en oppervlaktewater (Ahrens et al., 2016). De bemonstering van grondwater heeft zich vooral gericht op bekende of vermoedelijke PFAS-hotspots op vliegvelden en stortplaatsen (Ahrens et al., 2016; Ahrens, et al., 2015; Gyllenhammar et al., 2015). Recent is een overzicht geschreven over PFAS in Zweeds drinkwater, waarin verder wordt ingegaan op de problematiek, de bronnen en aanwezigheid in consumentenproducten (Svensk Vatten, 2022).

2.8 Noorwegen

Het onderzoeksinstituut NIVA rapporteert dat de eerste monsters in 1993 op PFAS werden geanalyseerd, maar dat pas sinds 2004 op meer regelmatige basis analyses worden uitgevoerd. Een deel van de gegevens is gerapporteerd op een PFAS-workshop in de VS (SETAC 2019), zie link 13. Het aantal geanalyseerde PFAS is in de tijd toegenomen en de laatste jaren worden >100 verschillende PFAS op regelmatige basis in het aquatisch milieu gemonitord.

Het monitoringsprogramma omvat de Noorse kust, meren, stedelijk gebied, grote rivieren. De locaties verschillen van ongerepte locaties tot aan de dichtbebouwde fjorden. De metingen brachten in de jaren daarna verschillende PFAS verontreinigde locaties aan bod, zoals een industriële locatie nabij Viul dat loosde op het Tyrifjord. Water in dit fjord wordt ook gebruikt als bron voor drinkwater, en hoewel relatief lage concentraties in water zijn aangetroffen zijn wel zeer hoge concentraties terug te vinden in vis en sedimenten (NGI/NIVA, 2019).

2.8.1 Noorse luchthavens en andere locaties

Uit de milieumonitoring werd duidelijk dat alle militaire en burgerluchthavens door PFAS zijn verontreinigd. Zo gebruikte de Noorse luchthavens (Avinor) tot 2011 verschillende soorten PFAS in blusschuim op haar brandweeroefenterreinen. De bekendste verbinding, PFOS, werd in 2001 uit gefaseerd (zie link 14). De sanering van burgerluchthavens is geprioriteerd en Avinor heeft allerlei maatregelen genomen, incl. sanering op basis van een risicobeoordeling en kosteneffectiviteitsanalyses¹⁵. Ook zijn PFAS-verontreinigingen afkomstig van de papierproductie-industrie opgespoord. De PFAS kunnen uiteindelijk ook in de grote meren terecht komen komt en op die manier ook drinkwater verontreinigen (Langberg et al., 2021). De saneringsmaatregelen op deze locatie van de industrie zijn aan de gang. Risicobeoordelingen op andere papierproductielocaties zijn gepland.

¹³ https://www.niva.no/publikasjoner/presentasjoner-og-postere/_/attachment/download/10c3c2fb-0938-45c3-8c0c-8ee6ba47d143:8d1a29768a6a4e57461bb8621445d5140df627a5/2019%20environmental%20monitoring%20PFAS%20SETAC%20USA.pdf

¹⁴ <https://avinor.no/en/corporate/community-and-environment/pfos-i-fokus/pfos-i-fokus>

¹⁵ <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/countryinformation/norway.htm>

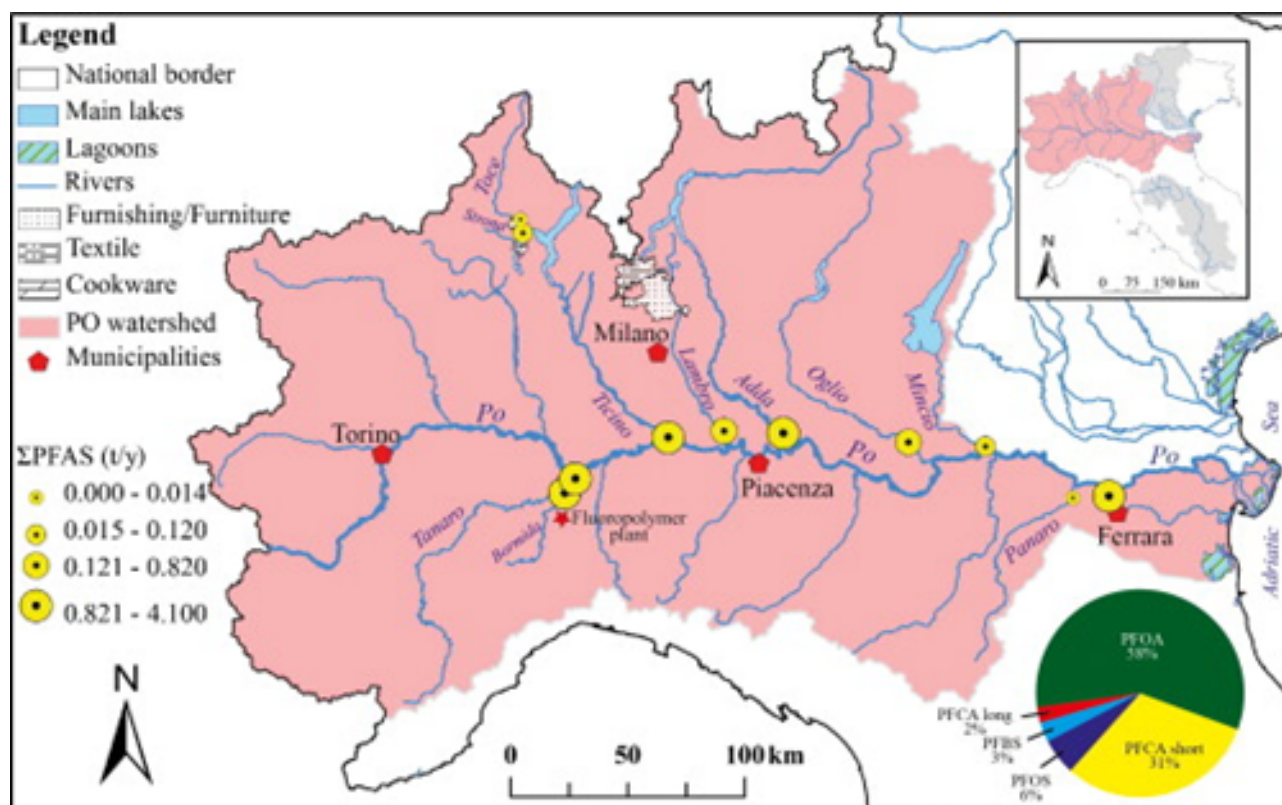
2.8.2 PFAS in Noorse consumentenproducten

In 2012 zijn PFAS bepaald in consumentenproducten (Herzke et al., 2012) en in voedingsmiddelen en dranken zoals vlees, vis, brood, groenten, melk, drinkwater en thee van de Noorse markt (Haug et al., 2010). In de 21 monsters werden 12 verschillende PFAS aangetroffen, vooral PFOA en PFOS (Haug et al., 2010). Haug et al. (2010) analyseerden de concentraties van 16 PFAS in 3 monsters van drinkwater (elk 1 L), die werden genomen uit de kraan in huishoudens die water ontvingen van verschillende leveranciers. PFOA was de meest voorkomende PFAS, met concentraties van 0,65, 1,2 en 2,5 ng/L in de geanalyseerde monsters (Haug et al., 2010). PFAS in oppervlaktewater dat als bron voor drinkwater en drinkwater zelf wordt gebruikt, zijn recent onderzocht door NIVA (resultaten volgen, persoonlijke mededeling Merete Gung, NIVA). Wel is duidelijk dat doorgaans zeer lage concentraties aangetroffen werden, maar dat in de buurt van bekende PFAS-bronnen hogere concentraties zijn aangetroffen. De verwijderingspercentages waren lager voor andere PFAS dan PFOA en voor waterleidingbedrijven die minder geavanceerde zuivering toepassen.

2.9 Italië

2.9.1 Het stroomgebied van de Po

Zoals de inleiding (Hoofdstuk 1) beschreven bleek uit een van de eerste Europese onderzoeken naar PFAS dat de rivier de Po in Italië de hoogste concentraties PFOA van alle onderzochte Europese rivieren bevatte (Mc Lachlan et al., 2007). Een vervolgstudie in het stroomgebied van de Po liet zien dat ook zijrivieren van de Po met PFOA en PFOS verhoogd waren (Loos et al., 2009). Uiteindelijk kwamen twee fabriekslocaties in beeld, zoals grafisch weergegeven in een van de vervolgstudies (Valsecchi et al., 2015). Een van de fabrieken loosde op de zijrivier Bormida (regio Piëmont). Deze fabriek is waarschijnlijk een van de belangrijkste bronnen van PFAS in de regio, maar ook een andere locatie in Italië kwam in beeld, zoals hieronder beschreven.



Figuur 7: Stroomgebied van de Po, overgenomen uit Valsecchi et al., 2015. De gele bolletjes geven de totale belasting (t y⁻¹) van PFAS weer. Het taartdiagram geeft de procentuele samenstelling van de PFAS-belasting in de Po weer. De industriegebieden en de fluorpolymeerfabriek zijn aangegeven.

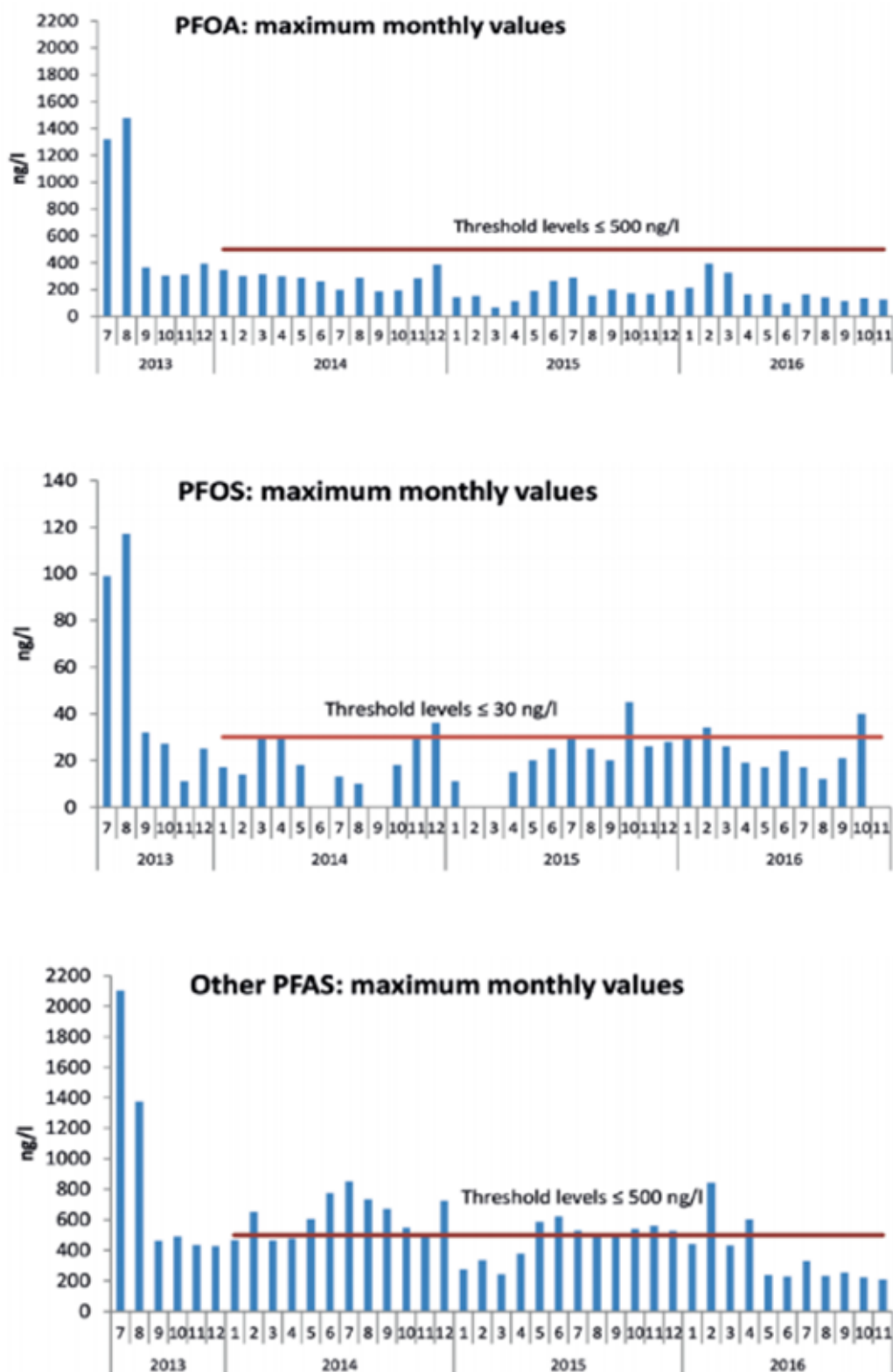
2.9.2 Regio Veneto

In 2011 startte een onderzoek door het Italiaanse milieuministerie naar een andere chemische fabriek, een casus die we hieronder met meer detail beschrijven in de Veneto regio (Noordoost Italië). Deze fabriek werd sinds 1964 geëxploiteerd door het bedrijf Miteni en produceerde verschillende PFAS-bevattende producten zoals herbiciden en farmaceutische producten. Het bedrijf meldde op zijn website dat de productie van PFOS en PFOA in 2011 was gestopt, maar hun productcatalogus bevatte later nog steeds PFHxS en PHxSF (WHO, 2016). Vanaf 2013 installeerde het chemiebedrijf ook actieve koolfilters voor de behandeling van afvalwater. In april 2018 werd een rechtszaak aangespannen tegen Miteni door het Openbaar Ministerie in Vicenza. Miteni werd onderzocht op de verontreiniging van het grondwater door PFAS. Op 26 oktober 2018 heeft de fabriek zich failliet verklaard en is inmiddels gesloten¹⁶. Tegen de verantwoordelijken binnen het bedrijf loopt nog wel een strafrechtelijk onderzoek (uitkomst nog niet bekend). De verspreiding van PFAS is in de regio rond de fabriek is aangetoond in een gebied van meer dan 200 vierkante kilometer, in bodems, grondwater, oppervlaktewater, en drinkwater. Het milieugentschap heeft uiteindelijk twee belangrijke emissieroutes voor de verontreiniging in het gebied werden geïdentificeerd. De ene route was verontreinigd afvalwater dat door de chemische fabriek rechtstreeks in een beek werd geloosd en gedeeltelijk in het grondwater infiltreerde. De andere route was via de waterzuiveringsinstallatie naar een kanaal dat uitmondde in het oppervlaktewater van de Brenta rivier (WHO, 2016). De bodem in dit rivierbekken is zeer doorlatend, waardoor de PFAS eenvoudig in het grondwater terecht kon komen en over een groot gebied kon verspreiden. Naast het drinkwater kwam de PFAS ook in de voedselketen via irrigatie en voedingsmiddelen zoals eieren en vis. De regio Veneto is beroemd en de landbouw kent belangrijke exportproducten. De landbouw in deze regio is verantwoordelijk voor ongeveer 10% van de nationale landbouwproductie. Het gezondheidsrisico was dus niet alleen regionaal maar ook daarbuiten (WHO, 2016).

Omdat zowel het oppervlaktewater als het grondwater was verontreinigd, was ook het drinkwater van ongeveer 127.000 burgers verontreinigd (WHO, 2016). De PFOA-concentraties in het drinkwater bleken hoger dan de destijds gangbare drempelwaarden. De hoogste gecombineerde concentraties van PFAS (geschat op 1214 ng/L) werden onder meer aangetroffen in de gemeenten Brendola, Lonigo en Sarego. Aanvullende monitoring toonde aan dat tussen 2013 en 2015 ook andere PFAS aanwezig waren in verhoogde concentraties: PFBA, PFBS, perfluorodecanoïne zuur (PFDA), perfluordodecaan zuur (PFDoDA), perfluorheptaan zuur (PFHpA), perfluorhexaan zuur (PFHxA), perfluorhexaansulfonaat (PFHxS), perfluorononaan zuur (PFNA), perfluoropentaaan zuur (PFPeA) en perfluorondodecaan zuur (PFUnDA). Een andere bron gaf aan dat PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFHxS, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFBA, en PFBS in het verontreinigde water aanwezig waren (WHO, 2016).

Binnen drie maanden na de bekendmaking in 2013 van de PFAS-verontreiniging in de regio Veneto werden actieve koolfilters in drinkwaterzuiveringsinstallaties en de productiefaciliteiten geïnstalleerd. Deze aanpassingen hebben geleid tot een aanzienlijke daling van de concentratie PFOA in het water van ongeveer 1475 ng/L naar 386 ng/L en een daling van PFOS van 117 ng/L tot 36 ng/L (Figuur 8). Het Italiaanse ministerie van Volksgezondheid heeft later de installaties met adsorptietechnologieën en/of filters aanbevolen om de concentraties van PFOA te verlagen (WHO, 2016). In een studie naar de maatschappelijke kosten van PFAS staan voor case studies de kosten in relatie tot de productiekosten van drinkwater, waaronder ook de Veneto regio. Uitbreiding van de drinkwaterinstallaties met actief kool filters kostten ca. 2 miljoen euro in aanschaf, betaald door de overheid. Daarnaast zijn de operationele kosten van de koolstoffilters daarnaast jaarlijks ca. 900.000 euro. Daarbij volgden ook de monitoringskosten van ca. 4,3 miljoen euro in totaal. De kosten op korte termijn (<5 jaar) werden geraamd op 6,5 miljoen euro, terwijl de investeringen op middellange termijn (>5-10 jaar) om de waterzuiveringsinstallaties te verbeteren werd geraamd op 4,2 miljoen euro. Een alternatieve oplossing om te investeren in geheel nieuwe systemen werd geraamd op 61,7 miljoen euro miljoen euro (WHO, 2016).

¹⁶ <https://www.eurofound.europa.eu/observatories/emcc/erm/factsheets/miteni>



Figuur 8: Maximum PFOS concentraties (boven), PFOS (midden) en andere PFAS (onder) in drinkwater voor (eerste helft 2013) en nadat koolstoffilters werden geïnstalleerd in regio Veneto, Italië (2013-2016). De rode lijn geeft de drempelwaarden aan die zijn vastgesteld door het Italiaanse ministerie van gezondheid. Tevens heeft de regio Veneto de volgende referentiestandaarden voor drinkwater vastgesteld: PFOA + PFOS < 90 ng/L, PFOS < 30 ng/L en $\Sigma 10$ PFAS < 300 ng/L. Ook is er een prestatiedoel vastgesteld op de som van PFOA en PFOS < 40 ng/L in drinkwater.

3 Beleid en normstelling van PFAS

3.1 Het ontbreken van een richtwaarden voor PFAS

In de periode dat het merendeel van de beschreven studies zijn gepubliceerd (2010-2015), bestonden geen uniforme nationale of EU-voorschriften voor de maximumgehalten aan PFAS in drinkwater. Een richtlijn vanuit bijvoorbeeld een mondiaal gremium als de WHO ontbrak ook en is tot in 2022 nog niet definitief vastgesteld. In de laatste editie van de 'Guidelines for Drinking Water' (World Health, 2017b) staan de PFAS niet genoemd. Wel wordt door de WHO aangegeven dat voorzien is dat factsheets worden opgenomen voor PFOS en PFOA in de (doorlopende) herziening van de richtlijnen voor drinkwaterkwaliteit. Deze factsheets zouden dan onderdeel kunnen vormen van een 2^e addendum of leiden tot een toekomstige 5^e editie. Bij het afronden van deze rapportage zijn inderdaad de factsheets voor de 'rolling revision' van de WHO-guidelines uitgebracht¹⁷, met een eerste aanzet tot waarden voor PFOS en PFOA.

Omdat in Europa tot kort geleden een duidelijke autoriteit ontbrak die een robuuste richtwaarde voor PFAS vaststelde, verschilt de toetsing per studie in de artikelen die we in deze publicatie samenbrengen. Een deel van de studies ziet de groep PFAS als geheel (soms aanpak) en een ander deel beschouwt de PFAS per stof (individuele aanpak). In de periode werden door internationale en nationale instanties richtwaarden voorgesteld in oppervlaktewater, grondwater of drinkwater en landen namen landen deze waarden soms van elkaar over. In de nieuwe EU drinkwaterrichtlijn worden kwaliteitseisen vastgesteld waaraan moet worden voldaan. We zien dat de normstelling nog steeds sterk in ontwikkeling is en studies elkaar in rap tempo opvolgen. In de volgende paragrafen beschrijven we de ontwikkelingen, eerst voor de Verenigde Staten omdat deze waardes goed gedocumenteerd zijn en ook werden gebruikt ter vergelijking in de Europese studies. Vervolgens maken we eenzelfde overzicht van de normstelling in een aantal Europese landen en beschouwen we de richtlijnen vanuit de Europese instanties.

3.2 Ontwikkelingen in de VS

Een artikel uit 2019 beschrijft voor de Verenigde Staten met veel detail de ontwikkeling van normstelling voor PFOS en PFOA. Hieruit wordt duidelijk hoe de normstelling van PFOS en PFOA steeds strenger werd en per staat aangepast werd (Cordner et al., 2019), Figuur 10.

Als voorbeeld hieronder laten we het voortschrijdende inzicht zien aan de adviezen over richtwaarden vanuit het Amerikaanse milieuagentschap US-EPA (Tabel 2). US-EPA publiceerde de eerste voorlopige richtwaarden in 2009, paste deze aan in 2016 en publiceerde in juni 2022 opnieuw bijgestelde waarden voor PFOS en PFOA (US-EPA, 2022).

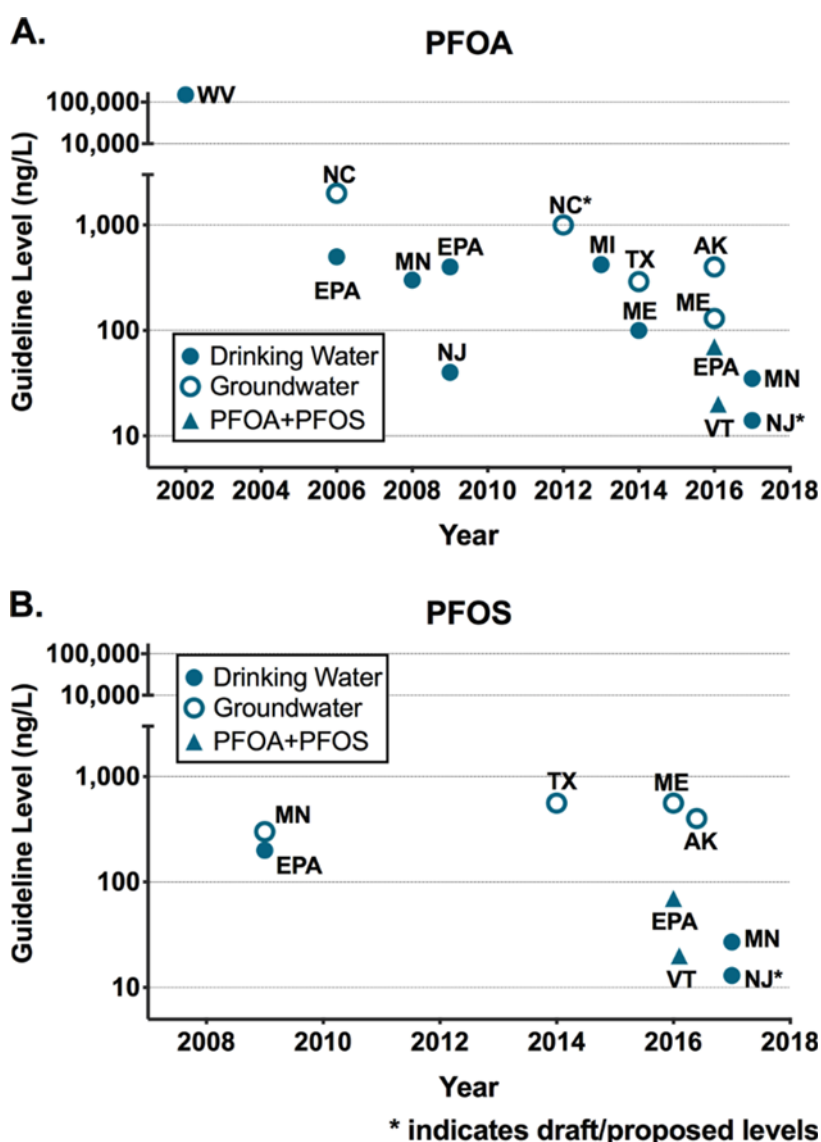
Tabel 2: US-EPA Health Advisories 2009, 2016 en 2022 (US-EPA)

US-EPA Health Advisories	2009	2016	2022
PFOS	200 ng/L	0.07 ng/L (Som PFOS+PFOA)	0,00002 ng/l
PFOA	400 ng/L	0.07 ng/L (som PFOS+PFOA)	0,000004 ng/L
Final Health Advisory for GenX chemicals			0,01 ng/L
Final Health Advisory for PFBS			2 ng/L

¹⁷ <https://www.who.int/news/item/29-09-2022-rolling-revision-of-the-guidelines-for-drinking-water-quality>).

De Engelstalige benaming voor deze waarden is de “*interim updated drinking water health advisories*” en vrij vertaald zijn dat de (tussentijdse) bijgewerkte gezondheidsadviezen (voor drinkwater), gebaseerd een levenslange blootstelling. De waarden zijn steeds strenger aangepast (Tabel 2) en de US-EPA onderkent dat de waarden uit 2022 inmiddels ver beneden de aantoonbaarheidsgrenzen liggen. Overigens zijn naast de richtwaarden voor PFOA en PFOS zijn nu ook waarden voor HFPO (GenX) en PFBS afgeleid¹⁸.

Let wel, het is goed te bedenken dat deze richtwaarden gezondheidsadviezen zijn en niet zijn gericht op inspectie en handhaving. Deze waarden zijn van kracht totdat het EPA een Nationale Drinkwaterverordening vaststelt (de zgn. National Primary Drinking Water Regulation). US-EPA spreekt op haar website de verwachting uit dat adviezen voor meer PFAS of PFAS-categorieën zullen volgen (laatste update, juni 2022).



Figuur 9: Tijdlijn van PFOA- en PFOS-drinkwaterrichtwaarden. (a) PFOA- en (b) PFOS-richtwaarden zijn in de loop der tijd gedaald. Verschillende staten hebben richtlijnen ontwikkeld voor PFOA of PFOS afzonderlijk (cirkels), terwijl Vermont (VT) en het EPA richtlijnen hebben die van toepassing zijn op PFOA en PFOS afzonderlijk of gecombineerd (driehoeken). PFOA- en PFOS-waterrichtsnoeren kunnen gelden voor verschillende soorten water, zoals drinkwater (gesloten cirkels) of grondwater, bijvoorbeeld op verontreinigde locaties (open cirkels). – overgenomen uit (Cordner et al., 2019)

¹⁸ <https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-health-advisories-has>

3.3 Europese Kader Richtlijn Water, de Drinkwaterrichtlijn en EFSA beoordeling

Vanuit de Europese Kader Richtlijn Water is in 2013 een milieukwaliteitseis afgeleid van 0,65 ng PFOS/L (EU 2013), maar voor drinkwater bestond lang geen toetswaarde. In 2018 was in het voorstel voor de aanpassing van de Europese drinkwaterrichtlijn nog een maximale waarde van 100 ng/L per stof apart en maximaal 500 ng/L -totaal opgenomen. In 2021 werd bij de vaststelling uiteindelijk gekozen voor maximaal 100 ng/L voor een specifieke groep van 20 PFAS (Tabel 3) en een maximale waarde van 500 ng/L voor 'totaal-PFAS', met het voorbehoud dat de analysemogelijkheden ook hiervoor beschikbaar komen.

Deze nieuwe EU drinkwaterrichtlijn, zal uiterlijk in 2023 in nationaal recht moet zijn omgezet en de lidstaten zullen vrij zijn om tussen deze twee vereisten te kiezen of om beide toe te passen. Bovendien worden termijnen genoemd: meetmethoden dienen te worden ontwikkeld en vastgesteld door de Europese Commissie voor 2024, monitoring moet vervolgens ook worden uitgevoerd en indien nodig moeten uiterlijk in 2026 maatregelen worden genomen om de EU-normstelling te behalen. Nederland heeft gekozen voor de somnorm van 100 ng/L voor 20PFAS (Zie hiervoor de aangepaste Nederlandse drinkwaterregelgeving).

Vrijwel gelijktijdig met de publicatie van de nieuwe EU-drinkwaterrichtlijn in 2020 werd een voor mensen veilige grenswaarde afgeleid door een groep wetenschappers van de EFSA (Europese voedselveiligheidsautoriteit). De grenswaarde is afgeleid voor 4 specifieke PFAS (PFOS, PFOA, PFNA en PFHxS), de PFAS die het best onderzocht zijn en vaak in bloed van mensen zijn aangetroffen (de zgn. EFSA-4). Nadat er nationaal en internationaal veel discussie is gevoerd over deze EFSA-grenswaarde wordt deze aanpak in Nederland momenteel geaccepteerd als de stand van de kennis over risico's van PFAS in voeding en drinkwater. Het RIVM heeft hieraan in 2021 een methode toegevoegd om concentraties van meer dan deze vier EFSA-PFAS mee te wegen op basis van hun toxische potentie (Bil et al., 2021). Deze methode werd ook gebruikt voor het berekenen van een veilige waarde in drinkwater, de zgn. indicatieve drinkwaterrichtwaarde voor PFAS (Van der Aa et al., 2021). Het is nog niet definitief duidelijk of deze waarde in de toekomst in wetgeving zal worden opgenomen, maar verschillende landen als Duitsland, Denemarken en ook Nederland houden hier rekening mee, zoals we hieronder beschrijven.

Tabel 3: De EU som 20PFAS genoemd in de EU richtlijn (2020).

CAS nummer	DW Richtlijn 'SOM van PFAS 0.1'	Afkorting
375-22-4	Perfluorbutaanzuur	PFBA
375-73-5	Perfluorbutaansulfonzuur	PFBS
335-76-2	Perfluordecaanzuur	PFDA
79780-39-5	Perfluordodecaansulfonzuur	PFDoAS
307-55-1	Perfluordodecaanzuur	PFDoDA
335-77-3	Perfluordecaansulfonzuur	PFDS
375-85-9	Perfluorheptaanzuur	PFHpA
375-92-8	Perfluorheptaansulfonzuur	PFHpS
307-24-4	Perfluorhexaanzuur	PFHxA
355-46-4	Perfluorhexaansulfonzuur	PFHxS*
375-95-1	Perfluornonaanzuur	PFNA*
474511-07-4	Perfluornonaansulfonzuur	PFNS
335-67-1	Perfluoroctaanzuur	PFOA*
1763-23-1	Perfluoroctaansulfonzuur	PFOS*
2706-90-3	Perfluorpentaanzuur	PFPeA
2706-91-4	Perfluorpentaansulfonzuur	PFPeS
791563-89-8	Perfluortridecaansulfonzuur	PFTDAS
72629-94-8	Perfluortridecaanzuur	PFTTrDA
749786-16-1	Perfluorundecaansulfonzuur	PFUDAS
2058-94-8	Perfluorundecaanzuur	PFUnDA

*EFSA 4PFAS.

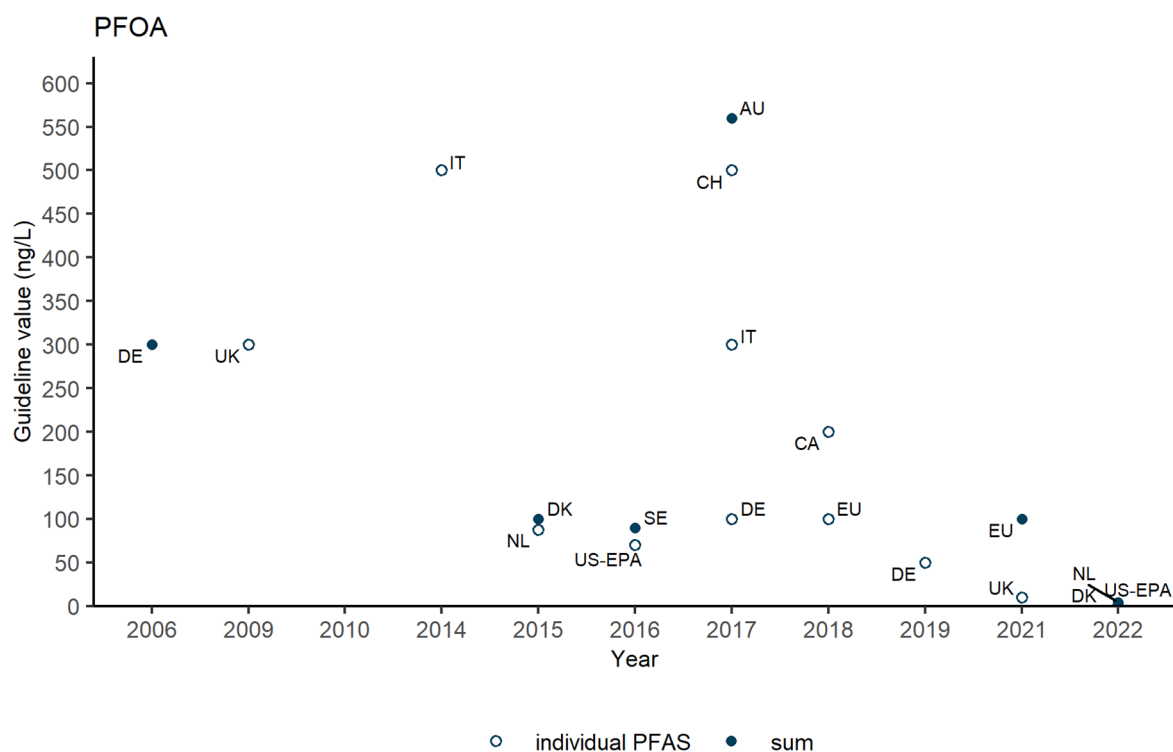
3.4 Ontwikkelingen in Europa

Een overzicht van de ontwikkeling van de normstellingen voor PFAS in drinkwater zoals in de Verenigde Staten uit paragraaf 3.1 hebben we ook voor de Europese landen getracht te maken (Figuur 10, Figuur 11 en Tabel 4). Net als in de beschouwing van Amerikaanse waarden hierboven (Figuur 9) is een aandachtspunt dat het hier gaat om richtwaarden voor vooral drinkwater, en soms de individuele stof betreft en soms de somwaarde van meerdere PFAS, incl. PFOA en PFOS.

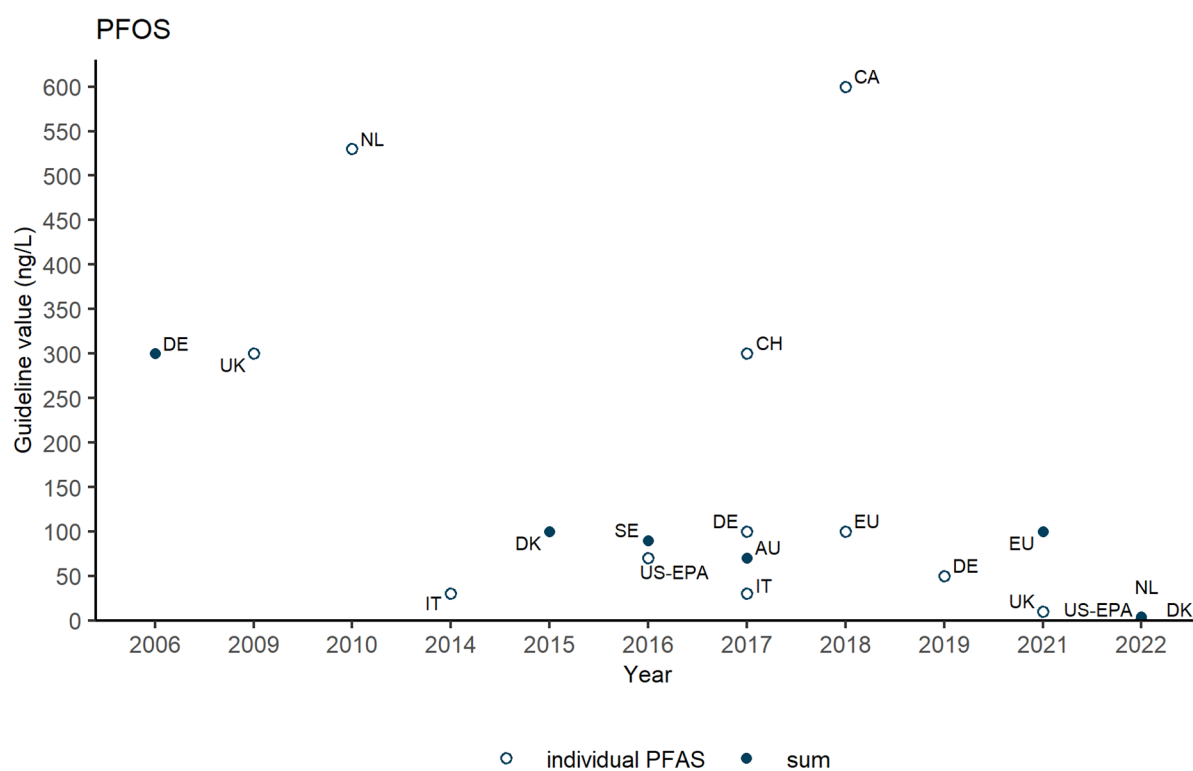
Een van de eerste richtwaarden vinden we in 2006. Toen had de Commissie Drinkwater van het Duitse ministerie van Volksgezondheid een op gezondheid gebaseerde veilige richtwaarde voor PFAS in drinkwater afgeleid voor de combinatie van PFOA en PFOS in drinkwater. Deze waarde is 300 ng/L en gebaseerd op levenslange blootstelling voor alle bevolkingsgroepen (Trinkwasserkommission, 2006). In ons overzicht zien we ook de vergelijking met de (voorlopige) gezondheidkundige richtwaarden van de US-EPA. Hier gaat het dan vaak over waarden 200 ng /L PFOS en 400 ng/L PFOA, zoals in de vorige paragraaf beschreven. Deze Duitse en Amerikaanse waardes zien we dan ook veel terug de andere studies als richtwaarden.

3.4.1 Italiaanse ontwikkelingen

Ook de Italiaanse onderzoekers die de casus in de regio Veneto beoordeelden konden niet beschikken over nationaal vastgestelde maximale waarden voor PFAS in drinkwater. Daarom werden de gemeten concentraties vergeleken met de drempelwaarden zoals aanbevolen door de US-EPA en de Duitse Trinkwasserkommission. In 2014 werden door het Italiaanse gezondheidsinstituut (ISS) de volgende drempelwaarden voor PFAS in drinkwater voorgesteld: PFOS: 30 ng/L; PFOA: 500 ng/L; andere PFAS: 500 ng/L (Mastrantonio et al., 2018). Aanvullend is informatie over gezondheidsrisico's van de mensen in de regio werd verzameld met behulp van epidemiologisch biomonitoringsonderzoek dat tussen juli 2015 en april 2016 werd uitgevoerd onder verschillende bevolkingsgroepen. Uit een analyse van de combinatie van bloedonderzoek met gegevens over gezondheid bleek dat PFAS blootstelling gekoppeld kon worden aan een hoger risico op sterfte, diabetes, cerebrovasculaire aandoeningen, myocardinfarct en de ziekte van Alzheimer (WHO, 2016). De discussies naar aanleiding van de PFAS-verontreinigen gaan over de emissiegrenswaarden in lozingsvergunningen, met zeer uiteenlopende voorstellen op parlementair en regionaal niveau (Stefano Polesello, pers. comm).



Figuur 10: Tijdlijn van richtwaardes (ng/L) van PFOA in drink- en grondwater in verschillende Europese landen



Figuur 11: Tijdlijn van richtwaardes (ng/L) van PFOS in drink- en grondwater in verschillende Europese landen.

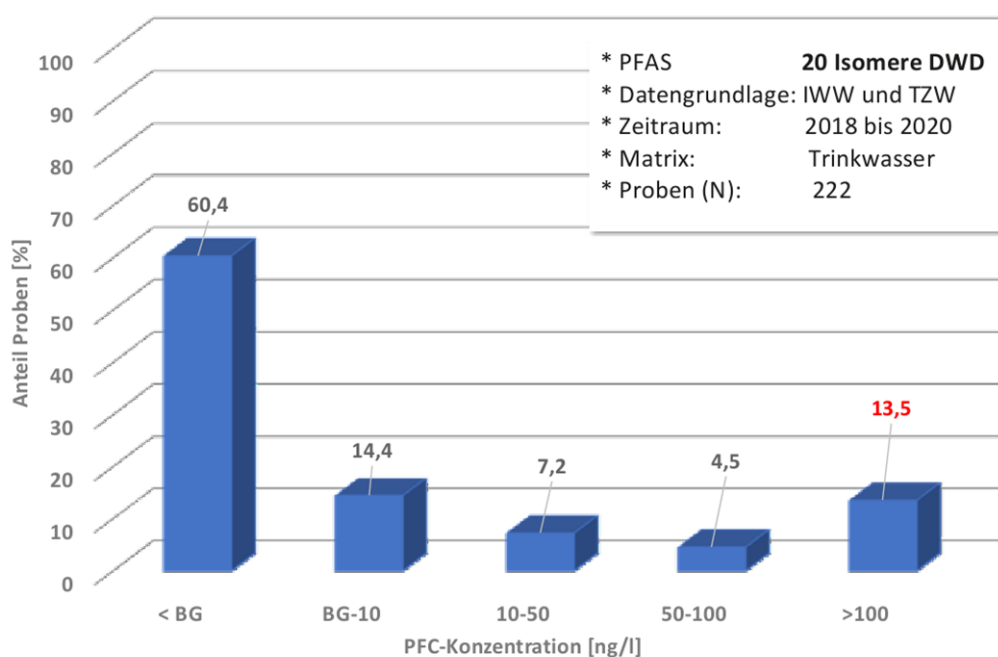
3.4.2 Duitse ontwikkelingen

De meetgegevens in Duitse studies worden logischerwijs gerelateerd aan de richtwaarden vanuit de Duitse Drinkwatercommissie, terwijl op te merken valt dat ook deze veranderen door voortschrijdend inzicht. In het onderzoek in Arnsberg hield men bijvoorbeeld lange tijd een op gezondheid gebaseerde richtwaarde aan van 300 ng/L voor PFOS en PFOA. Wilhelm et al. (2010) rapporteerden het voorkomen van PFAS in drinkwater en drinkwaterbronnen in Noordrijn-Westfalen voor de bemonsteringsperiode 2008-2009. De auteurs leidden hier een voorlopige gezondheid gerelateerde richtwaarden af voor veilig drinkwater op basis van levenslange blootstelling voor groot aantal andere PFAS: PFBA 7000 ng/L, PFPA 3000 ng/L, PFHxA 1000 ng/L, PFHpA 300 ng/L, PFBS 3000 g/L, PFPeS 1000 ng/L, PFHxS 300 ng/L, en PFHpS 300 ng/L (Wilhelm, et al., 2010). In september 2016 heeft UBA de richtwaarde voor PFOA in drinkwater, op basis van levenslange blootstelling, verlaagd van 300 ng/L naar 100 ng/L. In december 2019 was in Duitsland een richtwaarde voor een specifieke groep afgeleid: voor zwangere vrouwen, zuigelingen en kleine kinderen geldt een maximale waarde van 50 ng/L PFOA en 50 ng/L PFOS¹⁹ in water. Deze aanpassingen hebben geleid tot een breed onderzoek naar Duits drinkwater. In een project van DVGW is drinkwater en ruw water geanalyseerd met als resultaat dat in maximaal 0,5% van de monsters de concentratie van de 20 PFAS's boven 100 ng/L uitkomt (zie verder ook bijlage 1). Een afleiding voor drinkwater volgens de in Duitsland gebruikelijke regelgevingsprocedure gebaseerd op de TWI-waarde van EFSA zou resulteren in een somwaarde (som EFSA-4) van slechts ongeveer 2 ng/L. Van deze EFSA-4 PFAS is ongeveer 20% van de geanalyseerde ruwwater- of drinkwatermonsters boven deze richtwaarde van 2,2 ng/L (zie website DVGW, project PFAS-Trink, zie link²⁰).

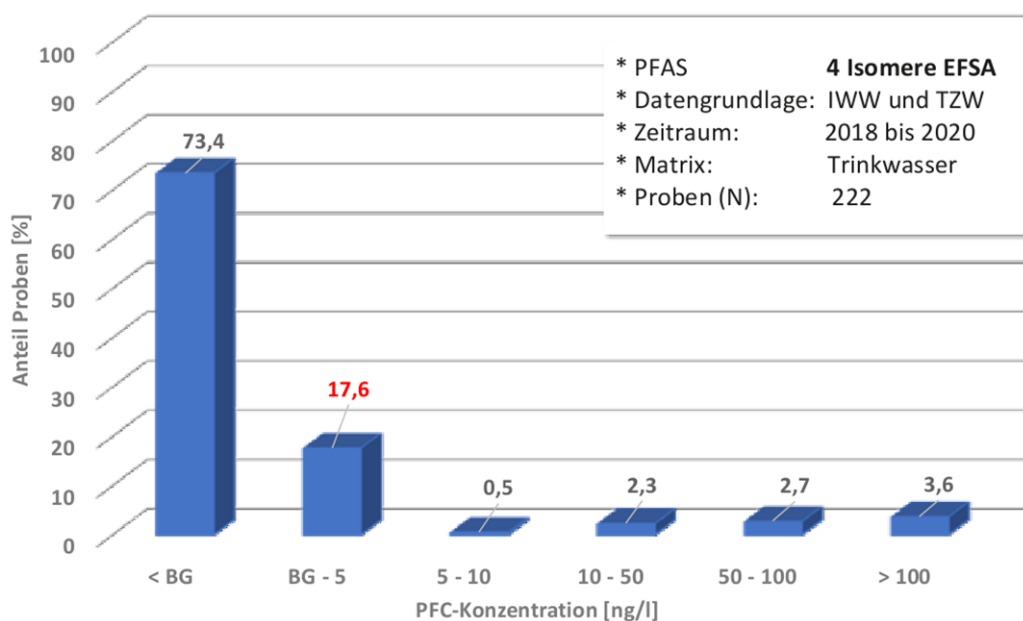
Borchers & Wiegand hebben in 2021 een overzicht van de PFAS meetgegevens geschreven in licht van de nieuwe EU-Drinkwaterrichtlijn, en deze in perspectief geplaatst voor de drinkwaterlaboratoria. Een overzicht van 222 geregistreerde drinkwatermonsters in de periode van 2018 t/m 2020 laat zien dat in 40% van de gevallen de concentratie (som van 20 PFAS) boven de LOQ ligt en 13,5% van de monsters boven de toekomstige grenswaarde van 100 ng/L (Figuur 7). Dit getal ligt dus hoger dan de eerder genoemde 0,5% uit het project van DVGW. Wanneer de 4 EFSA PFAS bekeken worden, blijkt dat in 9% van de monsters de gehalten hoger liggen dan 5 ng/L (Figuur 8). Een andere paper beschrijft de uitkomst van onderzoek uit november 2020 aan 46 monsters, en die zijn geanalyseerd op in totaal 43 verschillende soorten PFAS (Neuwald et al., 2022). Hieruit blijkt dat door verschillende analysemethoden te gebruiken ook verschillende soorten in beeld komen. De voornaamste conclusie was dat de PFAS met 'ultra-korte-ketens' de meest dominante en alomtegenwoordige PFAS zijn in 13 bronnen van drinkwater in Duitsland (Neuwald et al., 2022). De conclusie van deze auteurs is dan ook dat de nieuwe parameters van de EU-Drinkwaterrichtlijn zeker gevolgen zal hebben voor Duitsland. In ten minste 20% van de waterleidingbedrijven kan de inspanning aanzienlijk toenemen. Het is momenteel onderwerp van onderzoek welke gangbare behandelingsmethoden zoals actieve-koolfiltratie of (full-flow) omgekeerde osmose ingezet kunnen worden.

¹⁹ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/stellungnahme_pfoa_pfos_0.pdf

²⁰ <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-pfas-trink>



Figuur 12: Som 20PFAS (EU-Drinkwaterrichtlijn) in Duits drinkwater; 222 monsters (2018-2020), gegevens afkomstig van IWW Mülheim en TZW Karlsruhe (figuur overgenomen uit: Borchers en Wiegand, 2021). BG = rapportagegrens.



Figuur 13: Som 4PFAS (EFSA) in Duits drinkwater; 222 monsters (2018-2020), gegevens afkomstig van IWW Mülheim en TZW Karlsruhe (figuur overgenomen uit: Borchers en Wiegand, 2021). BG = rapportagegrens. De 4PFAS van EFSA zijn PFOS, PFOA, PFHxS en PFNA.

3.4.3 Ontwikkelingen in het Verenigd Koninkrijk

In het Verenigd Koninkrijk is in 2007 een getrapte aanpak voorgesteld, hoe hoger de concentratie, hoe strenger het handelingsperspectief dat wordt opgelegd door de autoriteit. Vanaf 300 ng/L was monitoring verplicht, en vanaf 9000 ng/L moest binnen 7 dagen reductie plaatsvinden (Inspectorate-UK, 2007). Het voortschrijdend inzicht dat PFAS (vooral PFOA en PFOS dus) nog gevaarlijker bleken dan eerst aangenomen leidde tot een aanpassing van deze normstelling. Deze werd in een relatief korte tijd (<15 jaar) veel strenger. De drempel voor monitoring is van 300 ng/L aangepast naar 10 ng/L (30 keer strenger). Bij 300 ng/L moet verplicht risicobeoordeling voor deze groep stoffen worden uitgevoerd. De drempelwaarde waarop direct actie ondernomen moet worden en reductie binnen 7 dagen moet plaatsvinden is aangepast naar 1000 ng/L en dus 9x strenger ten opzichte van de regeling uit 2007.

3.4.4 Ontwikkelingen in Denemarken en Zweden

Ook in de Zweedse en Deense studies werden in eerste instantie de Duitse en US-EPA normstellingen overgenomen. Later hebben de Zweedse en Deense autoriteiten richtwaarden voorgesteld voor drinkwater en ook deze waardes komen we tegen in de studies. Het Deense besluit van 2011 over kwaliteitseisen voor milieumetingen, nr. 231, van 05-03-2014, en de vorige versie, nr. 900, van 17-08-2011, bevatten kwaliteitseisen voor de analyse van 7 PFAS-verbindingen bij de controle/monitoring van “andere biota”, maar PFAS-verbindingen in grondwater en drinkwater worden niet genoemd (Miljøstyrelsen, 2016b). In 2015 is door het Deense EPA een beoordeling van de gezondheidseffecten van PFAS-verbindingen uitgevoerd en er is een kwaliteitscriterium vastgesteld voor de som van 12 PFAS-verbindingen in drinkwater (100 ng/l) en bodem (0,4 mg/kg TS), (Larsen & Giovalle 2015). Het Deense EPA stelt dat de gegevensbasis het slechts mogelijk maakt op de gezondheid gebaseerde kwaliteitscriteria vast te stellen voor 3 PFAS-verbindingen (100 ng/l voor PFOS, 100 ng/l voor PFOSA die tot PFOS worden getransformeerd en 300 ng/l voor PFOA). Omdat vaak meerdere PFAS-verbindingen voorkomen, is een administratief somcriterium voor 12 PFAS-verbindingen vastgesteld, vergelijkbaar met het criterium voor PFOS (Miljøstyrelsen, 2016b).

In 2018 werd een waterkwaliteitsnorm voor PFOS van 0,65 ng /L ingevoerd voor binnenwateren (beken en meren) en 0,13 ng/L voor andere oppervlaktewateren (fjorden en zeewateren). Vanaf januari 2022 heeft de Deense overheid de grenswaarde voor PFAS-stoffen in drinkwater aangepast naar de aanbeveling van de European Food Agency (Het nieuwe Drinkwaterbesluit lag in openbare consultatie tot 15 november 2021). Het is nu zo dat drinkwater in de toekomst niet meer mag bevatten dan maximaal 22 ng/L voor de som van de PFAS-stoffen PFOA, PFOS, PFNA en PFHxS. De achtergrond van de nieuwe grenswaarde is dat het DTU (Kenniscentrum Voeding) het advies van de European Food Agency over de drinkwaterkwaliteitscriteria heeft beoordeeld. Als in drinkwater het kwaliteitscriterium van 2 nanogram per liter wordt overschreden, moet de gemeente, na overleg met de Deense overheid, een besluit nemen of het drinkwater schadelijk is voor de gezondheid en welke maatregelen moeten worden genomen. Men stelt ook dat de huidige analysemethoden momenteel niet voldoende gevoelig zijn om een bevredigende zekerheid van de voorziening te verschaffen. Men denkt echter dat de laboratoria binnen enkele maanden analyses kunnen leveren met de nodige gevoeligheid voor een veilige bepaling van analyseresultaten rond de 2 ng/L.

3.4.5 Ontwikkelingen in Nederland

Nederland heeft vanuit de Europese Drinkwaterrichtlijn in de Nederlandse drinkwaterregelgeving de somnorm van 100 ng/L voor 20PFAS uit de EU Drinkwaterrichtlijn geïmplementeerd. Daarnaast kijkt het RIVM naar de doorwerking van het EFSA advies in mogelijke aanvullende risicogrenzen. Eerst zijn risicogrenzen afgeleid voor oppervlaktewater, en is ook die waarde recent strenger bijgesteld na afleiding van de gezondheidkundige grenswaarde voor PFAS door EFSA (2020). De beoordeling houdt namelijk rekening met de hoeveelheid PFAS die mensen kunnen binnenkrijgen via het eten van vis. De nieuwe risicogrenzen: zijn 0,3 ng/L PFOA, 0,007 ng/L (=7 picogram) PFOS en 10 ng/L HFPO-DA (GenX). De EFSA beoordeling van 4 PFAS werken uiteindelijk ook door naar de maximale waarde voor drinkwater in Nederland. Hier is in 2015 voor alleen de stof PFOA een richtwaarde van 87,5 ng/L vastgesteld. Het RIVM heeft inmiddels een aanpak voorgesteld om de PFAS als groep te beoordelen. In een recent RIVM advies staat een voorstel voor een drinkwaterrichtwaarde voor deze 4 PFAS (de EFSA-4) (Van der Aa et al., 2021). Met de standaard berekeningsmethode van het RIVM die uitgaat van een lichaamsgewicht van 70 kg, een consumptie van 2 liter water per dag en een bijdrage van drinkwater aan de opvulling van de gezondheidkundige grenswaarde van 20%, resulteert dit in een drinkwaterrichtwaarde van 4,4 ng/L PFOA-equivalenten (PEQ). Deze PEQ-benadering maakt gebruik van de zogenoemde relatieve potentie factoren (RPF's)

voor PFAS, waarmee de toxiciteit van verschillende PFAS relatieve ten opzichte van PFOA wordt uitgedrukt. Met deze aanpak is het mogelijk om de bijdrage van verschillende PFAS te wegen op hun toxicologische potentie ('relative potency factor'), zoals beschreven door RIVM onderzoekers (Van der Aa et al., 2021) (Bil et al., 2021).

De verschillende waardes spelen ook een sleutelrol in recent onderzoek op basis van de gegevens van de Nederlandse drinkwaterbedrijven (Van der Aa et al., 2022). De concentraties in drinkwater zijn niet alleen vergeleken met de Europese normen maar ook vergeleken met de (lagere) EFSA-grenswaarde (veilige inname via alle routes) en de (nog lagere) hierop gebaseerde indicatieve drinkwaterrichtwaarde. Blootstelling via drinkwater was op alle onderzochte locaties (meetpunten PFAS-concentraties in drinkwater in de huidige dataset) in alle gevallen gemiddeld lager dan de grenswaarde voor totale blootstelling, maar vaak wel hoger dan het beleidsmatig vastgestelde aandeel dat drinkwater daarin eigenlijk zou mogen bijdragen. Volgens het RIVM-rapport voldoet Nederlands drinkwater sowieso aan de Europese drinkwaterrichtlijn die in 2023 ook in Nederland geïmplementeerd moet zijn. Blootstelling aan PFAS via alle gecombineerde blootstellingsroutes ligt wel hoger dan wenselijk, en daarom wordt beleid gemaakt om deze effectief te verlagen. Daarvoor wordt onder andere onderzocht via welke voornaamste routes mensen PFAS binnenkrijgen.

Tabel 4: Richtwaarden voor PFAS in drinkwater, gebaseerd op (Kurwadkar et al. 2021), aangevuld met gegevens uit deze studie. Deze tabel pretendeert niet compleet te zijn. De getallen vormen de basis voor Figuur 11 en Figuur 12.

Landen (Europa)	Jaar	PFOA (ng/L)	PFOS (ng/L)	Bron	
Duitsland (DE)	2006	300	300	UBA ²¹ (som 2 PFOA en PFOS)	Som
Verenigd Koninkrijk (UK)	2009	300	300	Drinking water inspectorate	Ind.
Nederland (NL)	2011		530	RIVM (Lijzen et al., 2011)	Ind
Italië (IT)	2014	500	30	Italian National Health Institute ISS	Ind
Denemarken (DK)	2015	100	100	Danish Ministry of the Environment (Som 12 PFAS), ²²	Som
Nederland (NL)	2016	87,5		RIVM ²³	Ind
Zweden (SE)	2016	90	90	National food administration (Som 11 PFAS) Gobelius et al., 2018).	Som
Duitsland (DE)	2017	100	100	Umweltbundesamt (UBA /TWK, 2017)	Ind
Italië (I)	2017	300	30	Regio Veneto (WHO, 2016)	
Zwitserland (CH)	2016	500	300	Das Eidgenössische Departement des Innern (EDI), ²⁴	Ind
Duitsland (DE)	2019	50	50	Umweltbundesamt, ²⁵	Ind
Europa (EU)	2021	100	100	EU DWD – (som 20 PFAS)	Som
Verenigd Koninkrijk (UK)	2021	10	10	Drinking water inspectorate ²⁶	Ind
Nederland (NL)	2022	4.4	4.4	RIVM, van der Aa et al. (som 4-PFAS)	Som
Denemarken (DK)	2022	2	2	Danish Ministry of the Environment (som 4-PFAS) ²⁷	Som

²¹ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/grenzwerte_leitwerte.pdf

²² <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2015/04/978-87-93283-01-5.pdf>

²³ <https://www.rivm.nl/documenten/brief-over-advies-richtwaarde-pfoa-drinkwater>

²⁴ <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/153/de>

²⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/stellungnahme-zu-einem-voruebergehenden>

²⁶ <https://www.dwi.gov.uk/pfas-and-forever-chemicals/>

²⁷ https://mst.dk/media/227870/oversigt-over-pfas-graensevaerdier_.pdf

Tabel 4: vervolg

Landen (buiten Europa)	Jaar	PFOA (ng/L)	PFOS (ng/L)	Bron	
US-EPA (US)	2016	70	70	USEPA ²⁸	
Australië (AU)	2017	560	70	ADEH (som PFOS en PFHxS) ²⁹	Som
Canada (CA)	2018	200	600	CAN HC ³⁰	
US-EPA (US)	2022	0,004	0,02	US EPA ³¹	

²⁸ <https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-health-advisories-has>²⁹ <https://www.nhmrc.gov.au/sites/default/files/documents/attachments/australian-drinking-water-guidelines-may19.pdf>³⁰ <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-perfluorooctane-sulfonate/document.html>³¹ <https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-health-advisories-has>

4 Discussie

4.1 Compleetheid meetgegevens

We onderkennen dat we in ons overzicht niet alle (Europese) landen in detail hebben besproken, terwijl ook in andere landen mogelijk PFAS-productie en gebruik plaatsvindt, waardoor deze stoffen in het (water)milieu voorkomen. Zo troffen al in 2009 Loos et al. bij één bemonstering hoge concentraties PFOA aan in de rivier de Krka in Slovenië (tot 1371 ng/L), een rivier met een relatief klein debiet in vergelijking met de grote Europese rivieren (50 m³/s) (Loos et al., 2009). Het Oostenrijkse milieuagentschap stelde rond het uitkomen van dit rapport dat een goed inzicht in de PFAS concentraties nog ontbreekt³², en zo zullen er andere landen in de EU zijn die nog overzichten aan het maken zijn die we niet in dit rapport hebben kunnen meenemen. Ook erkennen we dat vooral studies naar de meest bekende PFAS zijn gevonden. Hierdoor ligt ook in dit rapport de nadruk op PFOA en PFOS, en minder op andere PFAS, zoals GenX stoffen.

4.2 Precursors van PFAS

Een reden dat we nog steeds de oudere PFAS aantreffen kan zijn omdat deze ook nog steeds gevormd worden uit andere PFAS. Een aanbeveling is dan ook onderzoek te laten verrichten naar het beter begrijpen van het voorkomen en afbreken van deze soort stoffen, mede door de inzet van screeningstechnieken of totaal-fluor of totaal-PFAS analyses.

Uit onderzoek naar het gedrag in waterzuiveringen blijkt immers dat bepaalde PFAS (zgn. PFAS-precursors) kunnen worden afgebroken tot meer stabielere PFAS, waaronder PFOA en andere gefluorideerde octaanzuren met kortere koolstofketen (bijvoorbeeld Fromel et al., 2016). De niet-gefluoreerde delen van de precursors kunnen wel worden afgebroken, waarna de perfluoralkylsulfonzuren (PFASs) en perfluoralkylcarbonzuren (PFCAs) overblijven. Deze PFASs en PFCAs zijn niet verder biologisch afbreekbaar, zodat deze PFAS, zoals PFOA en PFOS, het uiteindelijke afbraakproduct zijn (ook wel 'dead-end-daughters' genoemd). Dit illustreert dat zogenaamde afbreekbare PFAS geen oplossing bieden omdat de moederstof wel verdwijnt maar daarvoor niet verder afbreekbare dochters voor in de plaats komen (van Leeuwen, 2018).

Omdat de stoffen niet makkelijk worden afgebroken, zal afname van productie, gebruik en aanvullende maatregelen om emissies naar het (water) milieu te beperken lokaal grote invloed hebben maar op een globale schaal de hoeveelheid PFAS niet snel doen reduceren. Dit is vergelijkbaar met stoffen als polychloorbiphenylen (PCBs), die ondanks dat ze al decennia nauwelijks meer worden gemaakt en toegepast, nog steeds overal ter wereld, zelfs op de meest afgelegen locaties, aangetroffen worden³³.

4.3 Toekomstige monitoring en gegevensbeheer

Meetcampagnes zouden zich (ook) moeten richten op de mogelijke emissies en de bedreigingen voor drinkwaterproductie. Dit zou kunnen leiden tot effectieve maatregelen in de aanpak tot het verminderen van de blootstelling in het kader van de groeiende zorg over de gezondheidseffecten van deze groep stoffen. De Europese drinkwater richtlijn schrijft voor dat lidstaten gerichte monitoring starten op PFAS als groep (som 20) of PFAS totaal in drinkwater. Dit vraagt nauwe afstemming over analysemethoden en manier van rapportage. Het is dan ook aan te bevelen dat deze meetgegevens op een uniforme wijze verzameld en samengebracht worden.

³² <https://www.umweltbundesamt.at/news221129>

³³ <https://www.kwrwater.nl/actueel/zullen-we-onze-liefde-voor-onverwoestbare-koolstofhalogeenverbindingen-heroverwegen/>

Hoewel een uitputtend overzicht met PFAS concentraties van Europese landen in deze studie dus niet is gegeven, is wel de verwachting dat dit soort informatie steeds meer beschikbaar komt. Een goed voorbeeld van een recente grote monitoringscampagne is de studie door Ng et al., 2022 waarin 82 soorten PFAS werden geïdentificeerd in het stroomgebied van de Donau (11 landen). PFOS was de verbinding die in alle water- en biota monsters werd aangetroffen. Aan de hand van een prioritering werden bij de screening 13 PFAS aangeduid. Opvallend was dat in alle 31 grondwatermonsters PFAS werden gedetecteerd in verhoogde concentraties, boven de voorgestelde drempelwaarde voor het afzonderlijke PFAS-niveau. Omdat dit soort studies steeds meer zullen komen is het aan te bevelen om goed overzicht te houden. Een aanbeveling is dan ook dat dit soort gegevens niet alleen uniform worden verzamelen maar ook goed ontsloten worden. Databases die nationale overheden beheren, zoals Duitsland en netwerken als NORMAN zijn hiervoor goede voorbeelden die vervolg onderzoek naar de aanwezigheid van PFAS (maar ook andere stoffen) vereenvoudigen.

5 Conclusies

Het doel van dit onderzoek was het in beeld brengen van het voorkomen van PFAS in Europese oppervlaktewater, oever- en grondwater en drinkwater. Daarbij is in het bijzonder aandacht gevraagd voor hotspots en concentraties in Rijn en Maas (als bron van drinkwater).

5.1 PFAS in de bronnen en drinkwater

Uit deze studie wordt duidelijk dat in een aantal Europese landen de laatste twee decennia verkennende studies naar deze groep stoffen zijn gestart, en dat deze vooral hebben gekeken naar het voorkomen van de meest bekende: PFOA en PFOS. Dit onderzoek geeft de bevestiging ook vele andere soorten PFAS op grote schaal worden aangetroffen. We zagen in het onderzoek verhoogde concentraties in allerlei typen water: oppervlaktewater, grondwater, oevergrondwater en regenwater. Aangezien deze ook bronnen voor drinkwater vormen en de stoffen slecht verwijderen zijn ook verhoogde concentraties in drinkwater aangetroffen. Dit leidde in een aantal landen zoals Zweden en Italië tot het sluiten van drinkwaterwinningen of het versneld aanpassen van de zuivering. Ook betekent de PFAS-verontreiniging een impact voor de landbouw, veeteelt, jacht en visvangst.

5.2 Hotspots

Het totale aantal locaties dat PFAS emitteert, wordt geschat op ongeveer 100.000 in Europa (Goldenman et al., 2019). Industriële gebieden blijken in een aantal gevallen ernstig verontreinigd te zijn, en niet alleen in Nederland (Dordrecht en Helmond) maar ook in andere Europese landen als Duitsland, België en Italië. Locatie specifiek onderzoek laat zien dat ook luchthavens, militaire bases en (historische) brandweer oefenlocaties puntbronnen (hotspots) van PFAS zijn. We hebben voorbeelden gezien van dergelijke locaties in bijv. Noorwegen, Denemarken, Duitsland en Zweden.

5.3 Situatie Rijn en Maas

PFOA en PFOS worden ook al enige tijd aangetoond in oppervlaktewater op de grensstations van Nederland langs Rijn en Maas en bij waterinnamepunten voor de drinkwaterproductie. De metingen aan PFOS en PFOA in het stroomgebied van de Rijn lijken aan te geven dat de stoffen de laatste jaren afnemen maar ook dat de afname stabiliseert, en een aanbeveling is om de trends goed uit te zoeken en hier ook andere soorten PFAS in te betrekken. Het is uit de overzichten (beschikbaar bij aanvang van dit onderzoeksrapport) nog niet eenvoudig aan te geven wat de trend is in de concentraties. De meetgegevens op dat moment waren nog niet consequent op een specifieke locatie gemeten maar afkomstig van verschillende locaties. In een specifiek stroomgebied kan een rivier vele diffuse en puntbronnen integreren (zie bijvoorbeeld het onderzoek in Italië) en het zou mogelijk moeten zijn om op deze manier ook trends in de tijd af te leiden, mits rekening wordt gehouden met tijdsgebonden emissies en afvoervariaties (Sjerps et al., 2017). Uit studies naar het voorkomen van PFAS in andere matrices, zoals sediment en/of biota kan ook meer informatie komen naar de langdurige trends en voorkomen van de vele soorten PFAS, zoals in Kotthoff et al., 2020. Vervolgstudies naar de concentraties en trends in Rijn en Maas zijn dan ook aanbevolen, mede gezien de belangen voor drinkwaterproductie.

5.4 Normstelling in Europa

Uit de beschouwing van de Europese studies volgt het beeld dat de omvang van bepaalde verontreinigingssituaties burgers, bedrijven maar ook overheden hebben verrast. Niet alleen de snelheid waarmee de omvang van de grote verspreiding van PFAS in beeld kwam is een verrassing maar ook het ontbreken van eenvoudige handelingsopties en gedegen beoordelingskaders maakten de zaak complex. Terwijl het beeld duidelijker werd dat PFAS overal aan te treffen zijn bleek ook de normstelling van PFAS van ca. 10 jaar geleden niet voldoende veilig. Voortschrijdend inzicht leidde tot de aanpassing naar lagere veilige waarden voor zowel de ecologie als ook mensen.

De normstelling in de vernieuwde Europese Drinkwaterrichtlijn stelt verschillende manieren van beoordelen voor (som organische fluorverbindingen som 20PFAS), terwijl kort daarna een advies van EFSA duidt op een veel strengere normstelling (EFSA, 2020).

5.5 Toekomstige ontwikkelingen

Hoe de normstelling precies zal ontwikkelen is nog onderwerp van (wetenschappelijke) discussie, maar de tendens is duidelijk dat deze steeds strenger zijn geworden en dat gewerkt wordt aan een groepsgewijze aanpak. Gezien de groeiende (media) aandacht voor PFAS is het aannemelijk dat de zorgen voor burgers de komende jaren toenemen en het verdient aanbeveling om hier aandacht voor te hebben. In verschillende landen hebben de PFAS verontreinigingen geleid tot crisesachtige situaties, zoals in Italië, Zweden, Duitsland en ook in Nederland. Van meer recent datum is de situatie in Vlaanderen en Denemarken, getuige de rapportages in media en overheidsinstanties. Op plekken zoals de gemeenten rond de Westerschelde waar de aanwezigheid en bronnen van PFAS controversieel is, in dit geval aangewakkerd door de vele media-aandacht over de illegale lozingen van het Belgische chemiebedrijf 3M³⁴. Hier is onrust ontstaan bij burgers over de blootstelling en mogelijke gezondheidseffecten.

Vanwege de persistentie en zorg om de gezondheidsrisico's is verregaande restrictie van deze stoffen een optie die voorgesteld is door diverse overheden, mede vanuit het perspectief van de drinkwaterproductie. De landen die een geschiedenis kennen met de lokale PFAS problematiek zijn nu juist ook de landen waarmee de Nederlandse regering samenwerkt aan een voorstel om PFAS geheel te verbieden in de EU (Denemarken, Duitsland, Noorwegen en Zweden).

³⁴ <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/14919548/minister-landelijk-bevolkingsonderzoek-pfas-komt-er-met-specifieke-aandacht-voor-zeeland>

Dankwoord

Dank is verschuldigd aan Andrew Segrave en Jos Boere (collega's van KWR) en Jelka Appelman (MinlenW) die commentaar hebben geleverd op eerdere versies van deze publicatie. Daarnaast hebben we informatie verkregen van Harrie Timmer (Vewin), van Merete Grung (NIVA) uit Noorwegen, van Jan Kosschoreck (UBA) uit Duitsland, van Sara Valsecchi (IRSA) en van Stefano Polesello (IRSA) uit Italië.

Referenties

- Ahrens, L., Felizeter, S., Sturm, R., Xie, Z., & Ebinghaus, R. (2009). Polyfluorinated compounds in waste water treatment plant effluents and surface waters along the River Elbe, Germany. *Marine Pollution Bulletin*, 58(9), 1326-1333. Doi:10.1016/j.marpolbul.2009.04.028
- Ahrens, L., Hedlund, J., Dürig, W., Tröger, R., & Wiberg, K. (2016). Screening of PFASs in groundwater and surface water. SLU, Vatten och miljö: Rapport 2016:2. ISBN 978-91-576-9386-0.
- Ahrens, L., Norström, K., Viktor, T., Cousins, A. P., & Josefsson, S. (2015). Stockholm Arlanda Airport as a source of per- and polyfluoroalkyl substances to water, sediment and fish. *Chemosphere*, 129, 33-38. Doi:10.1016/j.chemosphere.2014.03.136
- Banzhaf, S., Filipovic, M., Lewis, J., Sparrenbom, C. J., & Barthel, R. (2017). A review of contamination of surface-, ground-, and drinking water in Sweden by perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Ambio*, 46(3), 335-346. Doi:10.1007/s13280-016-0848-8
- Bentum, E. v., Pancras, T., Slenders, H., & Linden, P. v. d. (2018). *Verkennd onderzoek naar PFOA en GenX in het milieu in Helmond* (Kenmerk: C05044.000267.0200/083692045).
- Berger, U., & Herzke, D. (2006). Per- and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) extracted from textile samples. *Organohalogen Compd.*, 68, 2023-2026.
- Bil, W., Zeilmaker, M., Fragki, S., Lijzen, J., Verbruggen, E., & Bokkers, B. (2021). Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(3), 859-870. Doi:10.1002/etc.4835
- Boiteux, V., Dauchy, X., Bach, C., Colin, A., Hemard, J., Sagres, V., . . . Munoz, J. F. (2017). Concentrations and patterns of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in a river and three drinking water treatment plants near and far from a major production source. *Science of the Total Environment*, 583, 393-400. Doi :10.1016/j.scitotenv.2017.01.079
- Boiteux, V., Dauchy, X., Rosin, C., & Boiteux, J. F. V. (2012). National screening study on 10 perfluorinated compounds in raw and treated tap water in France. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 63(1), 1-12. Doi:10.1007/s00244-012-9754-7
- Borchers U. en Wiegand L. (2021) Die analytischen Herausforderungen der neuen EU-Trinkwasserrichtlinie: Was kommt auf die Deutsche Wasserversorgung zu? In: Gwf-Wasser 2021 link: <https://gwf-wasser.de/download/gwf-wasserabwasser-exklusiv-die-analytischen-herausforderungen-der-neuen-eu-trinkwasserrichtlinie/>
- Bossi, R., Strand, J., Sortkjær, O., & Larsen, M. M. (2008). Perfluoroalkyl compounds in Danish wastewater treatment plants and aquatic environments. *Environment International*, 34(4), 443-450. Doi:10.1016/j.envint.2007.10.002
- Brede, E., Wilhelm, M., Göen, T., Müller, J., Rauchfuss, K., Kraft, M., & Hölzer, J. (2010). Two-year follow-up biomonitoring pilot study of residents' and controls' PFC plasma levels after PFOA reduction in public water system in Arnsberg, Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213(3), 217-223. Doi:10.1016/j.ijheh.2010.03.007
- Cordner, A., De La Rosa, V. Y., Schaidler, L. A., Rudel, R. A., Richter, L., & Brown, P. (2019). Guideline levels for PFOA and PFOS in drinking water: the role of scientific uncertainty, risk assessment decisions, and social factors. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 29(2), 157-171. Doi:10.1038/s41370-018-0099-9

- Cousins, I. T., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Miller, M., Ng, C. A., . . . DeWitt, J. C. (2019). The concept of essential use for determining when uses of PFASs can be phased out. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 21(11), 1803-1815. Doi:10.1039/C9EM00163H
- Cousins I.T., Johansson J.H., Salter, M.E., Sha B., Scheringer M. (2022) Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) *Environ. Sci. Technol.* 2022, 56, 16, 11172–11179. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>
- Derksen, A., & Baltussen, J. (2021). *PFAS in influent, effluent en zuiveringsslib : resultaten van een meetcampagne op acht rwzi's*. Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- Domingo, J. L., & Nadal, M. (2019). Human exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water: A review of the recent scientific literature. *Environmental Research*, 177. Doi:10.1016/j.envres.2019.108648
- EFSA (2020). Outcome of a public consultation on the draft risk assessment of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Supporting Publications*, 17(9), 1931E. doi:<https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.EN-1931>
- Eggen, T., Moeder, M., & Arukwe, A. (2010). Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants. *Science of the Total Environment*, 408(21), 5147-5157. Doi:10.1016/j.scitotenv.2010.07.049
- Eschauzier, C., de Voogt, P., Brauch, H. J., & Lange, F. T. (2012) Polyfluorinated chemicals in european surface waters, ground- and drinking waters. In: *Vol. 17. Handbook of Environmental Chemistry* (pp. 73-102): Springer Verlag.
- EU, 2013. DIRECTIVE 2013/39/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12. august 2013 amending directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy.
- Filipovic, M., & Berger, U. (2015). Are perfluoroalkyl acids in waste water treatment plant effluents the result of primary emissions from the technosphere or of environmental recirculation? *Chemosphere*, 129, 74-80. Doi:10.1016/j.chemosphere.2014.07.082
- Frömel, T., Gremmel, C., Dimzon, I. K., Weil, H., Knepper, T. P., & de Voogt, P. (2016). Investigations on the presence and behavior of precursors to perfluoroalkyl substances in the environment as a preparation of regulatory measures. Umweltbundesamt, Texte 08|2016. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/investigations-on-the-presence-behavior-of>
- Gebbink, W. A., Van Asseldonk, L., & Van Leeuwen, S. P. J. (2017). Presence of Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in River and Drinking Water near a Fluorochemical Production Plant in the Netherlands. *Environmental Science and Technology*, 51(19), 11057-11065. Doi:10.1021/acs.est.7b02488
- Gebbink, W. A., & van Leeuwen, S. P. J. (2020). Environmental contamination and human exposure to PFASs near a fluorochemical production plant: Review of historic and current PFOA and GenX contamination in the Netherlands. *Environment International*, 137. Doi:10.1016/j.envint.2020.105583
- Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Goldenman, G., Herzke, D., . . . Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(12), 2345-2373. Doi:10.1039/D0EM00291G
- Goldenman G., Fernandes M., Holland M., Tugran T., Nordin A., Schoumacher, C., & McNeill, A. (2019). *The cost of inaction. A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS* (2019:516).
- Gyllenhammar, I., Berger, U., Sundström, M., McCleaf, P., Eurén, K., Eriksson, S., . . . Glynn, A. (2015). Influence of contaminated drinking water on perfluoroalkyl acid levels in human serum – A case study from Uppsala, Sweden. *Environmental Research*, 140, 673-683. Doi:10.1016/j.envres.2015.05.019
- Haug, L. S., Salihovic, S., Jogsten, I. E., Thomsen, C., van Bavel, B., Lindström, G., & Becher, G. (2010). Levels in food and beverages and daily intake of perfluorinated compounds in Norway. *Chemosphere*, 80(10), 1137-1143. Doi:10.1016/j.chemosphere.2010.06.023
- Havelund, S. (2001). *Kortlægning af perfluoroktanylsulfonat og lignende stoffer i forbrugerprodukter— fase 1*.
- Herzke, D., Olsson, E., & Posner, S. (2012). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in consumer products in Norway— A pilot study. *Chemosphere*, 88(8), 980-987. doi:10.1016/j.chemosphere.2012.03.035
- Hölzer, J., Midasch, O., Rauchfuss, K., Kraft, M., Reupert, R., Angerer, J., . . . Wilhelm, M. (2008). Biomonitoring of perfluorinated compounds in children and adults exposed to perfluorooctanoate-contaminated drinking water. *Environmental Health Perspectives*, 116(5), 651-657. doi:10.1289/ehp.11064
- Inspectorate-UK, D. W. (2007). *Guidance on the Water Supply (Water Quality) Regulations 2000/01 Specific to PFOS (Perfluorooctane Sulphonate) and PFOA (Perfluorooctanoic Acid) Concentrations in Drinking Water*.

- Jans, A., & Berbee, R. (2020). *Bronnen van PFAS voor het Nederlandse oppervlaktewater*.
https://aandeslagmetdeomgevingswet.nl/publish/pages/181740/bronnen_van_pfas_voor_het_nederlandse_oppervlaktewater_-_definitief_rapport.pdf
- Jonker, M.T.O. Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Rijkswateren. April 2021.
https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_643202_31/1/
- Kallenborn R., Berger U., & U., J. (2004). *Perfluorinated alkylated substances (PFAS) in the Nordic environment*.
http://www.sft.no/nyheter/dokumenter/pfas_nmr2004.pdf
- Koch, A., Kärrman, A., Yeung, L. W. Y., Jonsson, M., Ahrens, L., & Wang, T. (2019). Point source characterization of per- And polyfluoroalkyl substances (PFASs) and extractable organofluorine (EOF) in freshwater and aquatic invertebrates. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 21(11), 1887-1898.
doi:10.1039/c9em00281b
- Kools, S. A. E., van Loon, A. H., Sjerps, R. M. A., & Rosenthal, L. P. M. (2019). De kwaliteit van bronnen van drinkwater in Nederland— (EN) The Quality of sources of drinking water in The Netherlands (KWR 2019.072).
- Kotthoff, M., Fliedner, A., Rüdell, H., Göckener, B., Bücking, M., Biegel-Engler, A., & Koschorreck, J. (2020). Per- and polyfluoroalkyl substances in the German environment – Levels and patterns in different matrices. *Science of the Total Environment*, 740, 140116. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140116>
- Kurwadkar, S., Dane, J., Kanel, S. R., Nadagouda, M. N., Cawdrey, R. W., Ambade, B., . . . Wilkin, R. (2021). Per- and polyfluoroalkyl substances in water and wastewater: A critical review of their global occurrence and distribution. *Science of the Total Environment*, 151003.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151003>
- Labadie, P., & Chevreuil, M. (2011). Biogeochemical dynamics of perfluorinated alkyl acids and sulfonates in the River Seine (Paris, France) under contrasting hydrological conditions. *Environ Pollut*, 159(12), 3634-3639.
doi:10.1016/j.envpol.2011.07.028
- Labadie, P., & Chevreuil, M. (2011). Partitioning behaviour of perfluorinated alkyl contaminants between water, sediment and fish in the Orge River (nearby Paris, France). *Environmental Pollution*, 159(2), 391-397.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.039>
- Langberg, H. A., Arp, H. P. H., Breedveld, G. D., Slinde, G. A., Høiseter, Å., Grønning, H. M., . . . Hale, S. E. (2021). Paper product production identified as the main source of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a Norwegian lake: Source and historic emission tracking. *Environmental Pollution*, 273.
doi:10.1016/j.envpol.2020.116259
- Lange, F. T., Wenz, M., Schmidt, C. K., & Brauch, H. J. (2007) Occurrence of perfluoroalkyl sulfonates and carboxylates in German drinking water sources compared to other countries. In: Vol. 56. *Water Science and Technology* (pp. 151-158).
- Larsen, P.B. & Giovalle, E., 2015. Perfluoroalkylated substances: PFOA, PFOS and PFOSA. Evaluation of health hazards and proposal of a health based quality criterion for drinking water, soil and ground water. Danish Ministry of the Environment. Environmental project 1665 (overgenomen uit: Miljøstyrelsen, 2016b).
- Le Coadou, L., Le Ménach, K., Labadie, P., Dévier, M. H., Pardon, P., Augagneur, S., & Budzinski, H. (2017). Quality survey of natural mineral water and spring water sold in France: Monitoring of hormones, pharmaceuticals, pesticides, perfluoroalkyl substances, phthalates, and alkylphenols at the ultra-trace level. *Science of the Total Environment*, 603-604, 651-662. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.11.174
- Livsmedelsverket. (2014). Intake calculations as the basis for the development of health-based action levels for perfluorinated alkyl acids (PFAA) in drinking water.
- Loos, R., Gawlik, B. M., Locoro, G., Rimaviciute, E., Contini, S., & Bidoglio, G. (2009). EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environ Pollut*, 157(2), 561-568.
doi:10.1016/j.envpol.2008.09.020
- Mastrantonio M, Bai E., Raffaella Uccelli, Vincenzo Cordiano, Augusto Screpanti, Paolo Crosignani, Drinking water contamination from perfluoroalkyl substances (PFAS): an ecological mortality study in the Veneto Region, Italy, *European Journal of Public Health*, Volume 28, Issue 1, February 2018, Pages 180–185,
<https://doi.org/10.1093/eurpub/ckx066>
- McLachlan, M. S., Holmstrom, K. E., Reth, M., & Berger, U. (2007). Riverine discharge of perfluorinated carboxylates from the European continent. *Environmental Science and Technology*, 41(21), 7260-7265.
doi:10.1021/es071471p
- Miljøstyrelsen. (2014). *Screeningsundersøgelse af udvalgte PFASforbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder*.
- Miljøstyrelsen. (2016a). *Kortlægning af brancher der anvender PFAS*.

- Miljøstyrelsen. (2016b). *Spredning og sammensætning i grundvand ved PFAS-forureninge— Litteraturstudie*. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/11/978-87-93529-29-8.pdf>
- van der Aa M, Hartmann J, & te Biesebeek, J. D. (2021). *Analyse bijdrage drinkwater en voedsel aan blootstelling EFSA-4 PFAS in Nederland en advies drinkwaterrichtwaarde*. <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2021-06/Advies%20drw%204-PFAS%20DEF%20beveiligd.pdf>
- van der Aa, N., Hartmann, J., & Smit, C. (2022). PFAS in Nederlands drinkwater vergeleken met de nieuwe Europese Drinkwaterrichtlijn en relatie met gezondheidkundige grenswaarde van EFSA. In PFAS in Dutch drinking water compared to the new European Drinking water Directive and relation with EFSA's health based limit value: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM. <https://rivm.openrepository.com/handle/10029/626162>
- Munoz, G., Fechner, L. C., Geneste, E., Pardon, P., Budzinski, H., & Labadie, P. (2018). Spatio-temporal dynamics of per and polyfluoroalkyl substances (PFASs) and transfer to periphytic biofilm in an urban river: case-study on the River Seine. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(24), 23574-23582. doi:10.1007/s11356-016-8051-9
- Munoz, G., Giraudel, J. L., Botta, F., Lestremay, F., Dévier, M. H., Budzinski, H., & Labadie, P. (2015). Spatial distribution and partitioning behavior of selected poly- and perfluoroalkyl substances in freshwater ecosystems: A French nationwide survey. *Science of the Total Environment*, 517, 48-56. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.02.043
- Neuwald, I. J., Hübner, D., Wiegand, H. L., Valkov, V., Borchers, U., Nödler, K., . . . Zahn, D. (2022). Ultra-Short-Chain PFASs in the Sources of German Drinking Water: Prevalent, Overlooked, Difficult to Remove, and Unregulated. *Environmental Science & Technology*, 56(10), 6380-6390. doi:10.1021/acs.est.1c07949
- NGI/NIVA. (2019). *PFAS Tyrifjorden 2018 - ENVIRONMENTAL MONITORING OF PFAS IN BIOTIC AND ABIOTIC MEDIA*.
- Poulsen, P.B. Jensen, A.A., Wallström, E. (2005). *More environmentally friendly alternatives to PFOS-compounds and PFOA*.
- Pancras, T. B., E. van ; Slenders, H. (2018). *Poly- en PerFluor Alkyl Stoffen (PFAS) : Kennisdocument over stoffeigenschappen, gebruik, toxicologie, onderzoek en sanering van PFAS in grond en grondwater*.
- Rusconi, M., Marziali, L., Stefani, F., Valsecchi, S., Bettinetti, R., Mazzoni, M., . . . Polesello, S. (2015). Evaluating the impact of a fluoropolymer plant on a river macrobenthic community by a combined chemical, ecological and genetic approach. *Science of the Total Environment*, 538, 654-663. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.086
- Schwanz, T. G., Llorca, M., Farré, M., & Barceló, D. (2016). Perfluoroalkyl substances assessment in drinking waters from Brazil, France and Spain. *Science of the Total Environment*, 539, 143-152. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.034
- Sjerps, R. M. A., ter Laak, T. L. and Zwolsman, G. J. J. G. (2017) Projected impact of climate change and chemical emissions on the water quality of the European rivers Rhine and Meuse: A drinking water perspective. *Science of the Total Environment* Volume: 601-602 Pages: 1682-1694 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.250
- Sjerps, R., Maessen, M., Raterman, B., Ros, S. E. M., ter Laak, T., & Stuyfzand, P. (2017). Grondwaterkwaliteit Nederland 2015-2016. Chemie grondwatermeetnetten en nulmeting nieuwe stoffen (KWR 2017.024
- Skutlarek, D., Exner, M., & Färber, H. (2006). Perfluorinated surfactants in surface and drinking waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 13(5), 299-307. doi:10.1065/espr2006.07.326
- Slenders, H., Pancras, T., Houten, M. v., Naus, F. L., & Rits, D. S. (2021). Vragen inzake EFSA opinie over PFAS (105009 - taak 8).
- Steindal, E. H., & Grung, M. (2021). Management of PFAS with the aid of chemical product registries—an indispensable tool for future control of hazardous substances. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17(4), 835-851. doi:https://doi.org/10.1002/ieam.4380
- Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F., & Larsen, M. M. (2007). *PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø, NOVANA screeningsundersøgelse*.
- Svenskt Vatten (2022) PFAS. The poison on everybody's lips (Rapport R2022-01 April 2022). Stockholm, Sweden: https://www.svensktvatten.se/globalassets/om-oss/in-english/pfas-report-in-english_2022a.pdf
- Trinkwasserkommission. (2006). Drinking Water Commission of the German Ministry of Health at the Federal Environment Agency, Provisional Evaluation of PFT in Drinking Water with the Guide Substances Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) as Examples.
- UBA / TWK (2017): Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) im Trinkwasser. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission. Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-016-2508-3>

- UBA. (2020). *What Matters, magazine of the German Environmental Agency*.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/twk_210706_empfehlung_pfas.pdf.
- US-EPA (2022) Technical Fact Sheet: Drinking Water Health Advisories for Four PFAS (PFOA, PFOS, GenX chemicals, and PFBS). EPA 822-F-22-002 <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-06/technical-factsheet-four-PFAS.pdf>
- Valsecchi, S., Rusconi, M., Mazzoni, M., Viviano, G., Pagnotta, R., Zaghi, C., . . . Polesello, S. (2015). Occurrence and sources of perfluoroalkyl acids in Italian river basins. *Chemosphere*, 129, 126-134.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.044>
- van Gijn, K., Oom, B., & van der Enden, A. (2021). *Literatuuronderzoek naar bronnen en gedrag van PFAS in afvalwater*. Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- van Leeuwen, S. P. J. (2009). *Bluswater calamiteit Schiphol juli 2008 - Monitoring van PFOS in het oppervlaktewater*.
<https://research.vu.nl/en/publications/03138366-64c6-4f7e-b74d-7ca92e987bdf>
- van Leeuwen C.J. (2018) Perverse incentives van milieubeleid. Substitutie van schadelijke stoffen met minder schadelijke stoffen. "Juich niet te vroeg" BTO Trendalert, via link:
<https://library.kwrwater.nl/publication/59220165/>
- van Loon, A. H., Pronk, T. E., Raterman, B. W., & Ros, S. E. M. (2020). *Grondwaterkwaliteit Nederland 2020: Anorganische parameters, bestrijdingsmiddelen, farmaceutica en overige verontreinigende stoffen in de grondwatermeetnetten van de provincies* (KWR 2020.067). Nieuwegein:
<https://Livelink.kwrwater.nl/Livelink/Livelink.exe/open/61459076>
- VMM (2022) Perfluorverbindingen in drinkwater – 2021 Depotnummer D/2022/6871/002, link:
<https://www.vmm.be/publicaties/perfluorverbindingen-in-drinkwater-2021>
- WHO. (2016). *Keeping our water clean: the case of water contamination in the Veneto Region, Italy*.
- WHO. (2017a). *Chemical mixtures in source water and drinking-water*. Geneva: World Health Organization.
- WHO (2017b). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum* (4th ed + 1st add ed.). Geneva: World Health Organization.
- WHO (2022) Rolling revision of the Guidelines for Drinking-water Quality <https://www.who.int/news/item/29-09-2022-rolling-revision-of-the-guidelines-for-drinking-water-quality>
- Wilhelm, M., Bergmann, S., & Dieter, H. H. (2010). Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4-C7 PFCs. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213(3), 224-232.
doi:10.1016/j.ijheh.2010.05.004
- Wintersen, A., Claessens, J., Wit, M., van Helvoort, K., Wolters, M., Stoffelsen, B., . . . van Breemen, P. (2021). Landsdekkend beeld van PFAS in Nederlands grondwater. In *National survey of PFAS in Dutch groundwater*: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
- Wintersen, A. M., Lijzen, J. P. A., & Herwijnen, R. v. (2016). *Milieukwaliteitswaarden voor PFOS. Uitwerking van generieke en gebiedsspecifieke waarden voor het gebied rond Schiphol*.
- Xiao, F. (2017). Emerging poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: A review of current literature. *Water Research*, 124, 482-495. doi:10.1016/j.watres.2017.07.024