



Foto: RIWA-Rijn

RIWA-Rijn in Nieuwegein; hier wordt rivierwater ingenomen voor drinkwaterproductie

AUTEURS



Mohammad Sadia
(Universiteit van
Amsterdam)



Annemarie P. van
Wezel
(Universiteit van
Amsterdam)



Thomas L. ter Laak
(Universiteit van
Amsterdam en KWR Water)

PFAS IN BRONNEN EN DRINKWATER IN NEDERLAND

PFAS zijn een grote en diverse groep organische fluorverbindingen. Ze worden op grote schaal toegepast: in zeer veel producten, van kleding en anti-aanbak pannen tot mobiele telefoons, maar ook in de lucht- en ruimtevaartindustrie. PFAS zijn moeilijk afbreekbaar ('forever chemicals'), hopen zich op in de voedselketen en worden zelfs aangetroffen in menselijk bloed [1]. Ze worden in verband gebracht met verschillende gezondheidsproblemen. Naar schatting minstens 17.000 locaties in Europa zijn ermee verontreinigd [2].

Veel PFAS zijn goed in water oplosbaar en moeilijk afbreekbaar, of ze worden afgebroken tot oplosbare en moeilijk afbreekbare stoffen. PFAS komen via lucht, afvalwater en afval in het milieu. Doordat de verwijdering in rwzi's en bij drinkwaterproductie niet altijd effectief is [3], verspreiden ze zich makkelijk in de waterketen. Vooral kleine PFAS met korte [C4-C6] en ultrakorte [C2-C3] koolstofketens zijn zeer lastig te verwijderen [4]. Mensen worden in Nederland vooral via voedsel blootgesteld, maar ook, zij het in lage concentraties, via drinkwater [5].

In 2021 onderzochten we PFAS-verbindingen in drinkwaterbronnen en gezuiverd drinkwater in het kader van PERFORCE3, een groot EU-onderzoeksproject over PFAS.

Onderzoeklocaties

Op achttien drinkwaterproductielocaties in Nederland zijn zowel de bron (elf oppervlaktewater; zeven grondwater) als het geproduceerde drinkwater bestudeerd. Naast conventionele technieken als flocculatie en beluchting worden op sommige locaties ook geavanceerde technieken zoals actieve kool/ozon of Uv-licht plus waterstofperoxide gebruikt.

Alle onderzochte locaties staan bloot aan verontreinigingen door menselijke activiteiten. Bij de oppervlaktewaters zijn dat bijvoorbeeld de landbouw of afvalwaterzuiveringen. Bij de grondwaterbronnen kan het gaan om lokale (historische) industriële activiteiten, landbouw, infiltrerend oppervlaktewater of historische stortplaatsen. Bovendien zijn ze niet of beperkt afgeschermd door moeilijk doordringbare kleilagen. De zeven geselecteerde grondwaterlocaties zijn dan ook niet representatief voor de 187 Nederlandse grondwaterbronnen.

De elf locaties die oppervlaktewater gebruiken zijn wel representatief, namelijk voor oppervlaktewater in dichtbevolkte en sterk geïndustrialiseerde delta's zoals West-Nederland.

PFAS-analyse

De watermonsters zijn geëxtraheerd op de Universiteit van Amsterdam en geanalyseerd met een nieuw ontwikkelde methode. Hiermee kunnen veel verschillende PFAS-verbindingen in zeer lage concentraties worden gemeten [4].

Tabel 1. De bestudeerde PFAS

TFA ^{u-short}	PFHxS ^{20, 4}	PFD ₀ DS ²⁰	PFOA ^{20, 4}
PFPrA ^{u-short}	PFHpS ²⁰	PFT _r DS ²⁰	PFNA ^{20, 4}
PFPrS ^{u-short}	PFOS ^{20, 4}	PFBa ²⁰	PFDA ²⁰
PFEtS ^{u-short}	PFNS ²⁰	PFPeA ²⁰	PFUnDA ²⁰
PFBS ²⁰	PFDS ²⁰	PFHxA ²⁰	PFD ₀ DA ²⁰
PFPeS ²⁰	PFUnDS ²⁰	PFHpA ²⁰	PFT _r DA ²⁰

u-short = ultrakorte PFAS / 4 = EFSA 4 PFAS / 20 = Drinkwaterbesluit 20 PFAS

In deze studie onderscheiden we drie groepen PFAS (zie de tabel):

- **20-PFAS**, twintig PFAS uit het Drinkwaterbesluit;
- **4-PFAS**, vier stoffen waarvoor de Europese Voedsel en Warenautoriteit (EFSA) een niet-bindend advies voor toelaatbare wekelijkse inname heeft afgeleid. Over deze vier is veel bekend, o.a. qua toxicologie. Ze behoren ook tot de groep 20-PFAS en zijn daarin de belangrijkste (o.a. PFOA en PFOS);
- **ultrakorte PFAS**, vier stoffen met koolstofketens van twee of drie koolstofatomen. Deze stoffen vallen buiten de andere twee categorieën.

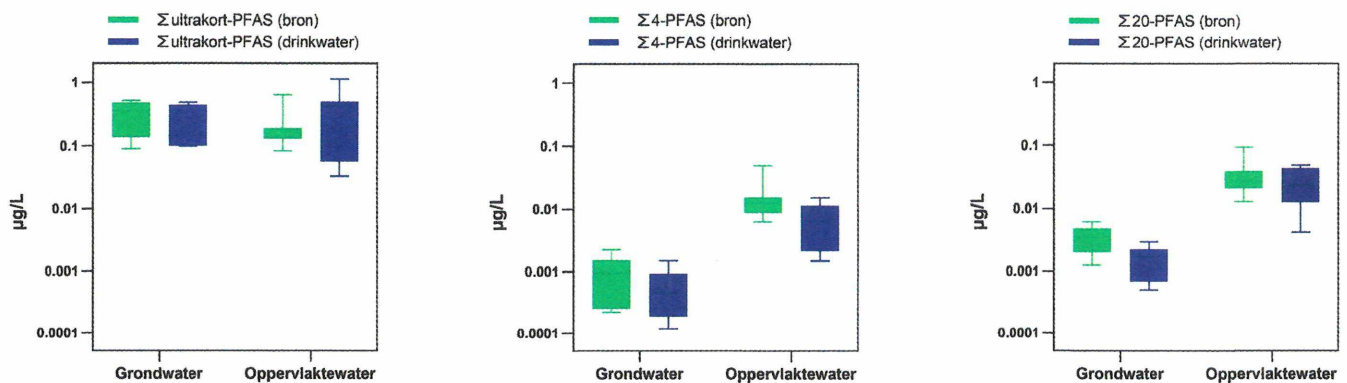
Bronnen en drinkwater

De grafieken laten de gesommeerde concentraties van de drie PFAS-groepen in drinkwater en drinkwaterbronnen zien. Let op: de y-assen hebben een logaritmische schaal om de grote concentratieverschillen te kunnen visualiseren.

Hoewel het om kwetsbare winningen gaat, scoren de grondwaterlocaties qua PFAS beter dan de oppervlaktewaterlocaties. De opgetelde concentraties van de 4-PFAS van de EFSA én van de 20-PFAS uit het Drinkwaterbesluit zijn significant hoger in het ruwe en gezuiverde drinkwater uit oppervlaktewater (p <0,001).

Ultrakorte PFAS

Ultrakorte PFAS domineren in het grondwater en het oppervlaktewater van de onderzochte bronnen: de concentraties liggen een factor 10 tot 100 hoger dan bij de andere PFAS-groepen. Opvallend genoeg verschillen de concentraties in grondwater en oppervlaktewater niet. Trifluorazijnzuur (TFA), de kleinste en best in water oplosbare PFAS, komt het meeste voor, met gehalten tussen 90 tot 521 nanogram per liter in de grondwaterbronnen en 82 tot 641 nanogram per liter in de oppervlaktewaterbronnen. TFA beslaat daarmee gemiddeld 76 procent van de gemeten PFAS in oppervlaktewater en het bijbehorende drinkwater en zelfs 95 procent in grondwater en drinkwater geproduceerd uit grondwater. Als het in deze studie over ultrakorte PFAS gaat, betreft dit dus vooral TFA.

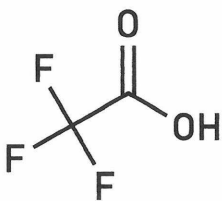


Afbeelding 1. Gesommeerde concentraties van ultrakorte PFAS, de 4-PFAS van het EFSA en de 20-PFAS uit het Drinkwaterbesluit van 7 grondwaterwinningen en 11 oppervlaktewaterwinningen (monsternamen lente 2021, elk monster in drievoud geanalyseerd)

Natuurlijke bronnen van TFA zijn niet bekend [6]. TFA kan door atmosferische depositie in oppervlaktewater en na uitspoeling in grondwater terecht komen. Daarnaast is TFA een eindafbraakproduct van veel PFAS-stoffen die gedeeltelijk afbreekbaar zijn, waaronder geneesmiddelen, polymeren, biociden en gewasbeschermingsmiddelen.

Zuiveringsrendement

De grafieken tonen ook de concentratieniveaus voor en na zuivering (resp. groen en blauw). De verwijdering is voor de 4-PFAS van de EFSA gemiddeld 66 procent en bovendien significant ($p < 0,05$). Voor de som van de 20 PFAS ($p = 0,17$) en de ultrakorte PFAS ($p = 0,25$) is de verwijdering echter niet significant. Al eerder bleek dat dat PFAS met kortere koolstofketens moeilijker uit water te verwijderen zijn [7]. De verwijderingsrendementen verschillen tussen de productielocaties, ook als de locaties dezelfde zuiveringstechnieken toepasten.



Afbeelding 2. Molecuulstructuur van trifluorazijnzuur (TFA)

Risico's

De menselijke blootstelling aan PFAS via voedsel is het grootst. Een kleiner deel verloopt via drinkwater [5]. Desondanks roept de aanwezigheid van PFAS in (bronnen van) drinkwater vragen op over emissieroutes, humane

blootstelling en mogelijke effecten. De normen voor PFAS in drinkwater worden geregeld bijgesteld door voortschrijdend inzicht. Grenswaarden in de wettelijk bindende Drinkwaterriichtlijn (EU-Drinking Water Directive) zijn aanmerkelijk minder streng dan de waarden voor de 4-PFAS uit het EFSA-advies.

Richtlijnen

De Drinkwaterriichtlijn kent twee criteria. Het eerste stelt een grens van maximaal 100 nanogram per liter voor het totaal van twintig geselecteerde PFAS (20-PFAS); het andere stelt een grens van 500 nanogram per liter voor alle PFAS (totaal-PFAS). Beide criteria mogen van de EU worden gebruikt. Wij kiezen hier voor de 20-PFAS omdat het onmogelijk is alle PFAS te meten en niet duidelijk is welke PFAS daaronder vallen. Volgens de OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) zijn er 4.730 PFAS terwijl het Environmental Protection Agency in de VS 14.735 PFAS in de toxiciteitsdatabase heeft zitten, en de Open Chemistry database (PubChem) stelt dat er theoretisch meer dan zes miljoen PFAS zijn. In ons onderzoek vonden we in drinkwater geen enkele overschrijding van de somnorm voor de 20-PFAS. Wel overschreden negen van de elf drinkwatermonsters uit oppervlaktewater het (strengere maar niet bindende) EFSA-advies voor de 4-PFAS, zoals eerder ook geconstateerd door het RIVM [5]. Samenvattend: het drinkwater geproduceerd uit de onderzochte grondwaterbronnen voldoet aan de bindende richtlijn én het EFSA-advies. Drinkwater uit oppervlaktewater voldoet echter niet altijd aan het EFSA-advies. Drinkwaterbedrijven spannen zich hier al wel voor in.

Uitdagingen

Ondanks deze positieve resultaten zijn PFAS-verontreinigingen in grondwater toch een grote uitdaging. Dit komt door het milieuedrag van deze stoffen en doordat sanering van met PFAS verontreinigd grondwater zeer complex is. Voor drinkwater uit grond- én oppervlaktewater is waakzaamheid geboden. Onze resultaten laten zien hoe belangrijk het is om bij beoordeling en beheer van de waterkwaliteit rekening te houden met een breed scala aan PFAS. Daarnaast is duidelijk hoe belangrijk het is om de productie en emissie te beperken. Dit zal zowel bronnen van drinkwater als het milieu in bredere zin beschermen, en voorkomt dat PFAS uiteindelijk in ons drinkwater én ons voedsel terechtkomen.

Maatregelen bij de bron én in de waterketen

Op dit moment ligt een Europees restrictievoorstel voor alle PFAS klaar, afkomstig van vijf Europese landen waaronder Nederland [8]. Het eerdere verbod van PFOS uit 2008 (voor veel toepassingen) heeft geleid tot lagere concentraties in de grote rivieren. Een restrictie heeft dus op de middellange termijn een positief effect op de

oppervlaktewaterkwaliteit. Wel wordt nog steeds PFOS in rivierwater aangetroffen.

Hoe een restrictie de concentraties in grondwater zal beïnvloeden is erg afhankelijk van de situatie. Grondwater zit meestal lang in de bodem voordat het wordt opgepompt voor de productie van drinkwater. Bovendien zijn PFAS ook nog gedeeltelijk gebonden aan bodemdeeltjes of aanwezig in historische bodemverontreinigingen. Daardoor zal een restrictie pas op veel langere termijn positief uitwerken op de grondwaterkwaliteit.

Door nu productie en gebruik beperken voorkom je dus een groter probleem in de toekomst. Ondertussen is het zaak om emissies, niveaus in lucht, bodem, voedsel en drinkwaterbronnen te blijven monitoren. Ook is verbetering van waterbehandelingstechnieken nodig om de emissie (afvalwaterzuivering) en humane blootstelling (drinkwaterzuivering) te beperken.

Mohammad Sadia (*Universiteit van Amsterdam*),
Annemarie P. van Wezel (*Universiteit van Amsterdam*)
en Thomas L. ter Laak (*Universiteit van Amsterdam* en *KWR Water*)

BRONNEN

1. Göckener B. et al. (2020). Human biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances in German blood plasma samples from 1982 to 2019, *Environment International* 2020: 145.
2. Dagorn G. et al. (2023). 'Forever pollution': Explore the map of Europe PFAS contamination, Paris, France: Le Monde; 2023, p. 7.
3. Eschauzier C. et al. (2011). Impact of Treatment Processes on the Removal of Perfluoroalkyl Acids from the Drinking Water Production Chain, *Environmental Science & Technology* 2011.
4. Sadia M. et al. (2023). Occurrence, Fate, and Related Health Risks of PFAS in Raw and Produced Drinking Water, *Environ. Sci. Technol.*
5. Tweede kamer (2021). Brief van de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat en de ministers voor Medische Zorg en van Infrastructuur en Waterstaat, kst-28089-190, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-28089-190.pdf>; Published June 4 2021.
6. Freeling F. & Björnsdotter M. K. (2023). Assessing the environmental occurrence of the anthropogenic contaminant trifluoroacetic acid (TFA), *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 2023: 41: 100807.
7. Rahman, M.F. et al. (2014). Behaviour and fate of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water treatment: A review. *Water Research* 50, 318-340.
8. ECHA (2023). PFAS restriction proposal. ECHA/NR/23/04. <https://echa.europa.eu/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>.

SAMENVATTING

Dit artikel gaat over PFAS in oppervlaktewater en grondwater, en in drinkwater dat daaruit geproduceerd wordt (op achttien productielocaties in Nederland). De somnorm voor twintig PFAS uit het Drinkwaterbesluit werd nergens overschreden. Wel overschreden de meeste drinkwatermonsters uit oppervlaktewater de (strengere) drempelwaarde voor vier veel voorkomende PFAS die de Europese Voedsel en Warenautoriteit heeft geadviseerd. Speciaal punt van zorg zijn de ultrakorte PFAS. De bestaande normen en adviezen gaan niet over deze stoffen terwijl ze verreweg het meeste voorkomen, en dan vooral trifluorazijnzuur (TFA). Het is zaak om PFAS in lucht, bodem, voedsel en drinkwaterbronnen te monitoren en emissies te verminderen. Ook is verbetering van zuivering nodig om de humane blootstelling (drinkwaterzuivering) en de emissie (afvalwaterzuivering) te beperken.